ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ

AÑO 2010

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB

Bogotá, D.C. 2011

BOGOTÁ POSITIVA
GOBIERNO DE LA CIUDAD

ISO 9001:2000
NTCGP 1000:2004
BUREAU VERITAS Certification

Samuel Moreno Rojas
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Juan Antonio Nieto Escalante
Secretaría Distrital de Ambiente

Samir José Abisambra Vesga
Subsecretaría Distrital de Ambiente

Germán Darío Álvarez Lucero
Director Control Ambiental

Orlando Quiroga Ramírez
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Ernesto Romero Tobón
Coordinador de la RMCAB

Mayra Alejandra Lancheros Barragán
Tammy Goretty Trujillo Escobar
Andrea Niño Penagos
Nicolás Cuadros Rubio
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Henry Ospino Dávila
Darío Alejandro Gomez Flechas
José Luis López Parra
Norbey Alirio Barahona González
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
-SDA.-

© Marzo de 2011, Colombia
Informe Anual de la Red de Calidad de Aire
de Bogotá D.C. Año 2010.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOG BOGOTÁ POSITIVA
GOBIERNO DE LA CIUDAD

ISO 9001: 2000
NTCGP 1000:2004
BUREAU VERITAS
Certification

RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ D.C.

INFORME ANUAL 2010

INFORME ANUAL DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ 2010

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO ..... **I**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **II**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **V**
RESUMEN **1**
INTRODUCCIÓN **6**
1. CALIDAD DEL AIRE **8**
1.1. MATERIAL PARTICULADO - MP O PM (*PARTICULATE MATTER*) 9
1.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM10 ..... *9*
1.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM2.5 ..... *21*
1.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PST *26*
1.2. GASES CONTAMINANTES 30
1.2.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SO2 ..... *31*
1.2.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO2 ..... *38*
1.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO *45*
1.2.4. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE O3 ..... *51*
1.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS 60
2. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE **76**
2.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA MATERIAL PARTICULADO 79
2.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM_{10} 79
2.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA $PM_{2.5}$ 82
2.4. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA OZONO (O_3) 83
2.5. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA EL MONÓXIDO DE CARBONO (CO), DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2) Y DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 85
3. METEOROLOGÍA **87**
3.1. PRECIPITACIÓN 88
3.2. VIENTOS 99
3.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL 107
3.4. RADIACIÓN SOLAR 115
3.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA 119
3.6. HUMEDAD RELATIVA 121
4. ANÁLISIS COMPUESTO PARA VARIABLES METEOROLÓGICAS Y DE CONTAMINANTES **128**
4.1. TABLAS DE CONTINGENCIA Y ANÁLISIS DE VARIABLES CONTINUAS 128
4.1.1. RESULTADOS: *129*
GLOSARIO **132**
ANEXOS **138**

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM_{10} DURANTE EL 2010 3
FIGURA 2 EPISODIO DE MÁXIMA CONCENTRACIÓN PM_{10} DURANTE EL AÑO 2010. PROMEDIO DIARIO 4
FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS EN LA CIUDAD AÑO 2010 4
FIGURA 4. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MADRUGADA –2010. 5
FIGURA 5. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MAÑANA –2010. 5
FIGURA 6. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA TARDE –2010. 5
FIGURA 7. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA NOCHE –2010. 5
FIGURA 8. CONCENTRACIONES DE PM_{10} PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 10
FIGURA 9. PROMEDIOS MENSUALES POR ESTACIÓN 2010 12
FIGURA 10. INTERPOLACIÓN DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS 24 HORAS DE PM_{10} DURANTE EL 2010 13
FIGURA 11. INTERPOLACIÓN DE LAS MEDIAS DE LOS PROMEDIOS 24 HORAS DE PM10 DURANTE EL 2010. 14
FIGURA 12 GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PM_{10} 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 15
FIGURA 13. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 16
FIGURA 14. PROMEDIOS ANUALES, POR ESTACIÓN, AÑO 2010. 17
FIGURA 15. MÁXIMA CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 19
FIGURA 16. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PM10 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 20
FIGURA 17. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PM10 24 HORAS POR AÑOS 21
FIGURA 18. CONCENTRACIONES DE PM2.5 PARA 24 HORAS DURANTE EL 2010 22
FIGURA 19. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PM2.5 POR DÍAS DE LA SEMANA (SOBRE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2010. 23
FIGURA 20. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PM10 POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2010. 24
FIGURA 21. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE $PM_{2,5}$ 25
FIGURA 22. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM10 24 HORAS POR AÑO 2010 25
FIGURA 23. CONCENTRACIONES DE PST PARA 24 HORAS DURANTE EL AÑO 2010 26
FIGURA 24. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PST POR DÍAS DE LA SEMANA (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 27
FIGURA 25. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA PST POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 28
FIGURA 26. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PST EN EL 2010 EN LA ESTACIÓN DE CARVAJAL. 29
FIGURA 27. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 29
FIGURA 28. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR AÑOS 30
FIGURA 29. CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE SO2 PARA 3 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 32
FIGURA 30. CONCENTRACIÓN DE SO_2 PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010. 33
FIGURA 31. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA SO2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO EL AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 34
FIGURA 32. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA SO2 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 35
FIGURA 33. MÁXIMA CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE SO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010. 36
FIGURA 34. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA SO2 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 37
FIGURA 35, GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA SO2 24 HORAS POR AÑOS. 38
FIGURA 36. CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE NO_2 PARA 1 HORA POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010. 39
FIGURA 37. CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE NO_2 PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 40
FIGURA 38, GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES. 41
FIGURA 39. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA NO_2 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES. 42
FIGURA 40. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 43
FIGURA 41. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA NO2 POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES (BASE 24 HORAS). 44
FIGURA 42. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA NO_2 24 HORAS POR AÑOS. 45
FIGURA 43. CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MEDIAS HORARIAS DE CO DURANTE EL 2010 46
FIGURA 44. CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE CO PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010. 47
FIGURA 45. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA CO 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 48

FIGURA 46. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 49
FIGURA 47. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA CO 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 50
FIGURA 48. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA CO 24 HORAS POR AÑOS 51
FIGURA 49. CONCENTRACIÓN MEDIA Y MÁXIMA HORARIA DE O_3 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010. 52
FIGURA 50. CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE O_3 PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2010 53
FIGURA 51. EPISODIO DE CONTAMINACIÓN DE O3, EN PPB, PROMEDIO 8 HORAS, 2010 55
FIGURA 52. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE OZONO EN PPB, AÑO 2010 56
FIGURA 53. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA O3 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES 57
FIGURA 54. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O3 PROMEDIO MENSUAL (DESDE BASE DIARIA) COMPARANDO AÑO 2010 CON AÑOS ANTERIORES. 58
FIGURA 55. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O3 PROMEDIOS ANUALES (DESDE BASE DIARIO) POR ESTACIONES COMPARANDO 2010 CON AÑOS ANTERIORES. 59
FIGURA 56. GRÁFICO DE *BOX-PLOT* PARA O3 PROMEDIO ARITMÉTICO DE LAS ESTACIONES (DESDE BASE DIARIA). 60
FIGURA 57. ICA PARA PM_{10} DEL AÑO 2010, POR ESTACIÓN. FUENTE RMCAB 80
FIGURA 58. ICA DE PM10 DEL AÑO 2010, PORCENTAJE POR CATEGORÍA, TODAS LAS ESTACIONES. FUENTE RMCAB, ... 80
FIGURA 59. ICA Y SU CLASIFICACIÓN PARA PM_{10} DEL AÑO 2010 EN LA ESTACIÓN DE CARVAJAL (SONY). FUENTE RMCAB 81
FIGURA 60. ICA Y SU CLASIFICACIÓN PARA PM_{10} DEL AÑO 2010 EN LA ESTACIÓN DE KENNEDY. FUENTE RMCAB 82
FIGURA 61. ICA PARA $PM_{2.5}$ DEL AÑO 2010, ESTACIÓN KENNEDY. FUENTE RMCAB 82
FIGURA 62. CLASIFICACIÓN ICA KENNEDY PARA $PM_{2.5}$ DEL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 83
FIGURA 63. ICA PARA O_3 DEL AÑO 2010, POR ESTACIÓN. FUENTE RMCAB 84
FIGURA 64. CLASIFICACIÓN ICA PARA O_3 DEL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 84
FIGURA 65. ICA PARA CO Y NO_2 DEL AÑO 2010, POR ESTACIÓN. FUENTE RMCAB 85
FIGURA 66. ICA PARA SO_2 DEL AÑO 2010, POR ESTACIÓN. FUENTE RMCAB 85
FIGURA 67. CONDICIONES ACTUALES Y CONDICIONES SIMILARES DEL ÍNDICE DEL NINO REGIÓN 3.4. FUENTE IRI 89
FIGURA 68 ACUMULADO PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN DE LA RMCAB DEL PERIODO 1998-2009 COMPARADA CON EL PROMEDIO DE LOS DE 2010. FUENTE RMCAB 89
FIGURA 69. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LAS ESTACIONES DE LA RMCA EN EL AÑO 2010 PARA EL PERIODO 1998 A 2010. FUENTE RMCAB 90
FIGURA 70. DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE LA RMCAB DEL PERIODO 1998-2009 COMPARADA CON EL PROMEDIO PARA EL AÑO DE 2010. FUENTE RMCAB 91
FIGURA 71. PROMEDIO DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCA PARA EL PERIODO 1998 AL 2010. FUENTE RMCAB 91
FIGURA 72. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB. 92
FIGURA 73 ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN EN EL ÚLTIMO TRIMESTRE. FUENTE. RMCAB 94
FIGURA 74. DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN EN EL ÚLTIMO TRIMESTRE. FUENTE. RMCAB 94
FIGURA 75. ACUMULADOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN PARA EL 2010 Y SU COMPARACIÓN CON EL PROMEDIO 1997-2009 . 95
FIGURA 76. MAPA DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2010 DE 2010.FUENTE RMCAB 96
FIGURA 77. MAPAS DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL PRIMER SEMESTRE DE 2010. FUENTE RMCAB 97
FIGURA 78. MAPAS DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA SEGUNDO SEMESTRE DE 2010. FUENTE RMCAB 98
FIGURA 79. VELOCIDAD DEL VIENTO POR ESTACIÓN, SEGÚN LA MEDIA HORARIA. FUENTE RMCAB. 102
FIGURA 80. ROSA DE LOS VIENTOS DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 104
FIGURA 81. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DE BOGOTÁ PARA EL AÑO 2010 105
FIGURA 82. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA DISTINTAS HORAS EN EL AÑO 2010. FUENTE RMCAB. 107
FIGURA 83. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 1997-2009 Y SU COMPARACIÓN CON EL 2010. FUENTE RMCAB 107
FIGURA 84, GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL TRIMESTRE JAS DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 2002- 2010. FUENTE RMCAB 108
FIGURA 85. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PARA CADA HORA MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 110
FIGURA 86. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS 4 TRIMESTRES PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL 2010. FUENTE RMCAB. 111
FIGURA 87. MAPA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 112
FIGURA 88. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL PARA EL AÑO 2010. 114

FIGURA 89. TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 115
FIGURA 90. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 2006-2009 Y SU COMPARACIÓN CON EL TRIMESTRE JAS DE 2010. FUENTE RMCAB..... 117
FIGURA 91. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL HORARIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL AÑO 2010 Y EL PROMEDIO 2002-2009. FUENTE RMCAB 118
FIGURA 92. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PARA CADA HORA EN EL TRIMESTRE JAS DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 119
FIGURA 93. GRÁFICA DE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA PARA CADA HORA EN EL TRIMESTRE JAS DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2010. FUENTE RMCAB 120
FIGURA 94. PRESIÓN ATMOSFÉRICA MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB..... 121
FIGURA 95. COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN EN LOS TRIMESTRES PARA CADA ESTACIÓN DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB 121
FIGURA 96. HUMEDAD RELATIVA MENSUAL MEDIA DEL PERIODO 1997-2009 Y SU COMPARACIÓN CON LOS MESES DEL 2010. FUENTE RMCAB 122
FIGURA 97. PROMEDIO HORARIO DE LA HUMEDAD EN EL PERIODO 1997-2010 Y SU COMPARACIÓN CON EL AÑO 2010. 123
FIGURA 98. GRÁFICA DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA CADA HORA EN AÑO 2010 DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB 124
FIGURA 99. MAPA DE HUMEDAD RELATIVA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA AÑO DE 2010. FUENTE RMCAB 125
FIGURA 100. MAPAS DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA LOS MESES DE 2010. FUENTE RMCAB 127
FIGURA 101. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPUESTO PARA LA ESTACIÓN DE PARQUE SIMÓN BOLÍVAR 130
FIGURA 102. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPUESTO PARA LA ESTACIÓN DE KENNEDY 131
FIGURA 103. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB, SENSORES METEOROLÓGICOS..... 139
FIGURA 104. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB Y ANALIZADORES DE CONTAMINANTES..... 140

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESTACIONES DE LA RMCAB Y CONTAMINANTES MONITOREADOS EN CADA UNA DE ELLAS. 8
TABLA 2. RESUMEN DE DATOS PM_{10} PROMEDIOS 24 HORAS POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2010 11
TABLA 3. RESUMEN DE DATOS PM10 PROMEDIOS ANUALES POR ESTACIÓN PARA EL 2010 17
TABLA 4. CONCENTRACIONES DE PM10 PROMEDIOS ANUALES A 31 DE DICIEMBRE DE CADA AÑO. 18
TABLA 5. RESUMEN DE DATOS $PM_{2.5}$ PROMEDIOS CORRIDOS DE 24 HORAS POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2010 22
TABLA 6. RESUMEN DE DATOS PM2.5 PROMEDIOS ANUALES POR ESTACIÓN PARA EL 2010 24
TABLA 7. PERIODO DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE SO_2 PARA 3 HORAS DURANTE EL AÑO 2010, 601 NORMA (ANUAL): 287 PPB 32
TABLA 8. PERIODO DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE SO_2 PARA 24 HORAS DURANTE EL TERCER TRIMESTRE DE 2010 33
TABLA 9. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES DE SO_2 CALCULADAS EL 31 DE DICIEMBRE DE CADA AÑO. 36
TABLA 10. DÍA Y HORA DE OCURRENCIA DE LOS MÁXIMOS PROMEDIOS HORARIOS DE NO_2 DURANTE EL 2010. 39
TABLA 11. PERIODO DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE NO_2 PARA 24 HORAS DURANTE EL 2010 40
TABLA 12. CONCENTRACIONES DE NO_2 – PROMEDIOS ANUALES, CALCULADO A 31 DE DICIEMBRE DE 2010 43
TABLA 13. DÍA Y HORA DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS HORARIOS DE CO DURANTE EL 2010. 46
TABLA 14. DÍA Y HORA DE OCURRENCIA DE LOS MÁXIMOS PROMEDIOS 8 HORAS DE CO DURANTE EL 2010. 47
TABLA 15. MEDIANAS DEL PROMEDIO DIARIO DEL CONTAMINANTE CO EN LOS AÑOS 2006 - 2010 50
TABLA 16. DÍA Y HORA DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS HORARIOS DE O_3 DURANTE EL 2010. 51
TABLA 17. PERIODO DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE O_3 PARA 8 HORAS DURANTE EL 2010. 53
TABLA 18. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS PARA MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 10 MICRAS (PM_{10}).. 62
TABLA 19. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 10 MICRAS (PM_{10}) 63
TABLA 20, CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS PARA MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 2,5 MICRAS ($PM_{2,5}$). 64
TABLA 21, CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 2,5 MICRAS ($PM_{2,5}$) 64
TABLA 22. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST), AÑO 2010 65
TABLA 23. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) , AÑO 2010 65
TABLA 24. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE SO_2 PARA 3 HORAS, AÑO 2010 66
TABLA 25. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE SO_2 PARA 24 HORAS, AÑO 2010 67
TABLA 26. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE SO_2 , AÑO 2010 68
TABLA 27. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE NO_2, AÑO 2010 69
TABLA 28. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE NO_2 PARA 24 HORAS, TERCER TRIMESTRE DE 2010 70
TABLA 29. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE NO_2 ANUALES, AÑO 2010 71
TABLA 30. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE CO, AÑO 2010 72
TABLA 31. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE CO PARA 8 HORAS, AÑO 2010. 73
TABLA 32. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE O_3, AÑO 2010 74
TABLA 33. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE O_3 PARA 8 HORAS, AÑO 2010 75
TABLA 34. ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE POR CATEGORÍAS. FUENTE SDS 76
TABLA 35. ESTACIONES DE LA RMCAB Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS MONITOREADAS EN CADA UNA DE ELLAS. FUENTE RMCAB 87
TABLA 36. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA EL 2010 COMPARADA CON EL PERIODO 1998 - 2009 90
TABLA 37. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN PARA EL 2010 COMPARADA CON EL PERIODO 1998 - 2009 91
TABLA 38. ACUMULADOS DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL AÑO 2010 PARA EL PERIODO 1998-2010. FUENTE RMCAB. 92
TABLA 39. DÍAS DE LLUVIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL PERIODO 1998-2010 FUENTE RMCAB 93
TABLA 40. VELOCIDADES DE VIENTO MENSUALES PROMEDIO ENTRE LAS 1-6, 7-12, 13-18 Y 19-24 HORAS DE 2010 100
TABLA 41.VALORES MÁXIMOS ABSOLUTOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 101
TABLA 42. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA TEMPERATURA MENSUAL PROMEDIO DE BOGOTÁ 108
TABLA 43. PROMEDIOS DE TEMPERATURA MEDIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 2002-2010. FUENTE RMCAB 108
TABLA 44. TEMPERATURAS MÁXIMAS REGISTRADAS POR LA RMCAB EN EL AÑO 2010 Y SU PROMEDIO. FUENTE RMCAB 110
TABLA 45. TEMPERATURAS MÍNIMAS REGISTRADAS POR LA RMCAB EN EL AÑO 2010 Y SU PROMEDIO. FUENTE RMCAB . 110
TABLA 46: AMPLITUD TÉRMICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 111

TABLA 47. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL MENSUAL PROMEDIO DE BOGOTÁ. 117
TABLA 48. PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA CON RESPECTO A LOS PROMEDIOS DE LOS MESES HISTÓRICOS 122
TABLA 49. LÍMITES PARA LOS TERCILES DE LAS VARIABLES ESTACIÓN PARQUE SIMÓN BOLÍVAR AÑO 2009. 128
TABLA 50. LÍMITES PARA LOS TERCILES DE LAS VARIABLES ESTACIÓN KENNEDY AÑO 2009. 129
TABLA 51. ETIQUETA DE LOS CASOS PARA CADA VARIABLE CATEGÓRICA 129
TABLA 52. CARACTERÍSTICAS DE LOS SECTORES DONDE SE ENCUENTRAN UBICADAS LAS ESTACIONES DE MONITOREO 141

RESUMEN

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)[1]. La RMCAB cuenta con 16 estaciones (incluidas una estación móvil y dos meteorológicas), ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa. De éstas estaciones 2 interrumpieron el registro, la estación de Chico Lago por demolición del edificio de la Universidad Santo Tomás, a partir del 14 de octubre de 2010 y Sagrado Corazón por modificación de la terraza a partir del 6 de julio de 2010 la cual será nuevamente emplazada en el sitio en el 2011.

Dentro de los contaminantes monitoreados cabe resaltar el material particulado de diámetro menor a 10 micras conocido como PM_{10}, las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono (O_3), pues en algunas oportunidades sus concentraciones promedio superan los límites máximos permisibles por la norma (Resolución 601 de 2006). También se resalta el material particulado de diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), que se mide en cinco estaciones, pero que para el presente documento sólo se reportará para la estación de Kennedy.

Los demás contaminantes (CO, NO_2 y SO_2) están presentes en concentraciones bajas y no representan riesgo para la salud de la población.

En cuanto al PM_{10} durante 2010 las concentraciones de éste contaminante mostraron un comportamiento equiparable al 2009 y 2008 con la diferencia que para el 2010 las condiciones meteorológicas fueron menos favorables a la dispersión de este contaminante, las lluvias fueron las mayores de las registradas en la RMCAB en los últimos 10 años.

El PM_{10} se monitoreó en 13 estaciones que se reducen a 11, las series de datos reportados en la estación No 10 Chico Lago – Santo Tomás en intercomparación se encontraron no normales, por lo anterior, no se reportan dichos datos en éste informe, será objeto de un anexo especial la valoración de los datos históricos; y la estación de Sagrado Corazón que no acumuló suficiente cantidad de datos. La estación No 3 Carvajal y la No 9 Kennedy (sector suroccidental), registraron datos de concentración por encima de la norma 24 horas, establecida en 150 µg/m3. En cuanto al promedio anual de la concentración de PM_{10}, éste superó la norma en estas mismas estaciones, ubicadas en el sector sur occidente de la ciudad, como se aprecia en la Figura 1.y Figura 2 En este

[1] *El 24 de marzo de 2010 se expidió la Resolución 610 por la cual se modifica la Resolución 601/2006.*

informe se referirán los cambios que significan la reducción del control al promedio diario a 100 µg/m3 que opera desde el 2011.

Por otro lado, el PST contó con un analizador ubicado en la estación No. 3 Carvajal (Sector Suroccidental), el cual superó la norma anual en promedio en 44 µg/m3. Para los promedios de 24 horas, ningún registro obtenido excedió la norma.

En cuanto a los gases contaminantes, se resalta que el SO_2 nunca excedió los límites permisibles para los promedios horarios, 24 horas, ni anuales y sigue consolidando un comportamiento caracterizado por la disminución.

El monitoreo del NO_2 permitió establecer que en las estaciones de Parque Simón Bolívar, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal se reportan las mayores concentraciones promedio, en 6 oportunidades se estuvo por encima de los límites para el contaminante en promedios horarios. Los promedios de 24 horas y anuales no superaron la norma en ninguna oportunidad.

Los registros de concentraciones de CO permiten determinar que éste contaminante se encuentra en bajas concentraciones en la ciudad, pues los datos no superan los valores de la norma horaria ni octohoraria.

Finalmente, el reporte de concentraciones de O_3, presenta concentraciones que superan los límites máximos establecidos en la norma, tanto para el promedio horario como el promedio de 8 horas, en todas las estaciones que monitorearon este contaminante, exceptuando en la estación Móvil, es importante resaltar que los límites nacionales establecidos exceden los aceptados por agencias ambientales internacionales, si se tienen en cuenta el previsto por la EPA para 8 horas el número de excedencias baja de 1996 a 242, lo cual se referirá por estación en el capítulo correspondiente.

Respecto a las variaciones de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2010 la precipitación en la ciudad se registró en quince (15) estaciones de la RMCAB que cuentan con pluviómetros. Los datos recolectados en cada una de las estaciones permitieron establecer el comportamiento de éste parámetro en la ciudad. El acumulado de precipitación para el 2010 fue el mayor registrado por la red desde 1998 con un acumulado promedio de 1085 mm en la ciudad. En la Figura 3 se muestra la precipitación acumulada para el 2010. Como se observa los más altos registros acumulados de precipitación se registraron en las estaciones del sector Centro y Norte como son las estaciones No. 5 Parque Simón Bolívar, No. 10 Chico Lago y No. 1 Usaquén, y en contraste las estaciones que presentaron los menores registros acumulados durante el periodo analizado fueron la estaciones No. 14 Fontibón, No 13 Puente Aranda y la No. 9 Kennedy.

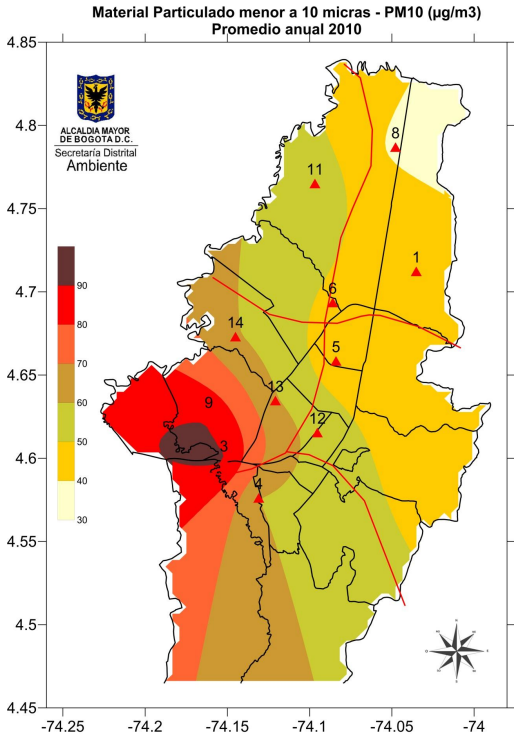


Figura 1 Distribución de la concentración promedio de PM_{10} durante el 2010

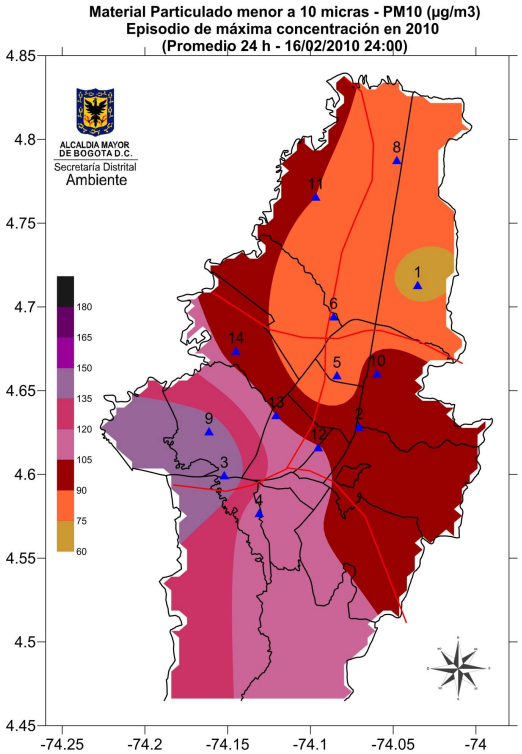


Figura 2 Episodio de máxima concentración PM_{10} durante el año 2010. Promedio diario

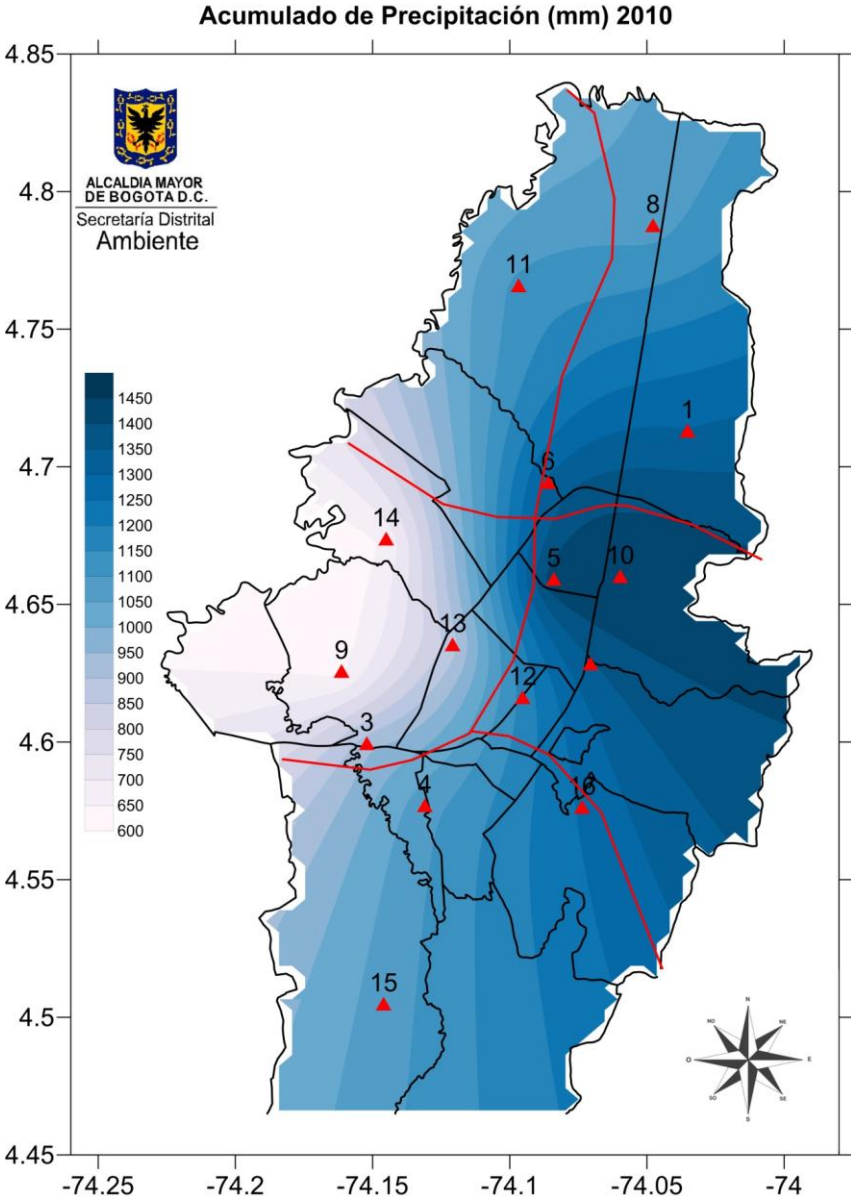


Figura 3 Distribución de las lluvias en la ciudad año 2010

En las Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se resume el comportamiento de los vientos para el año 2010. Durante todos los intervalos horarios en el sector sur los vientos predominantes provienen del sur, el sector suroccidental presenta vientos provenientes en general del occidente y sur occidente (Sabana de Bogotá). En el norte y noroccidente, los vientos se presentaron en promedio en la mañana de occidente hacia oriente y de sur a norte, en las tardes la dirección predominante fue en dirección sur-norte.

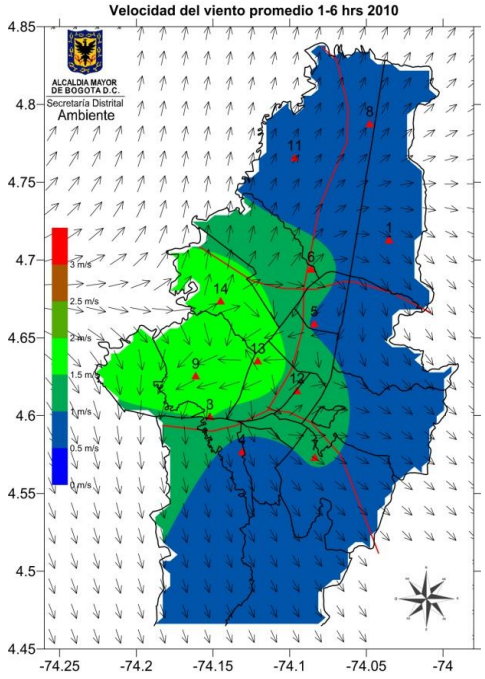


Figura 4. Flujo de vientos promedio durante la madrugada –2010.

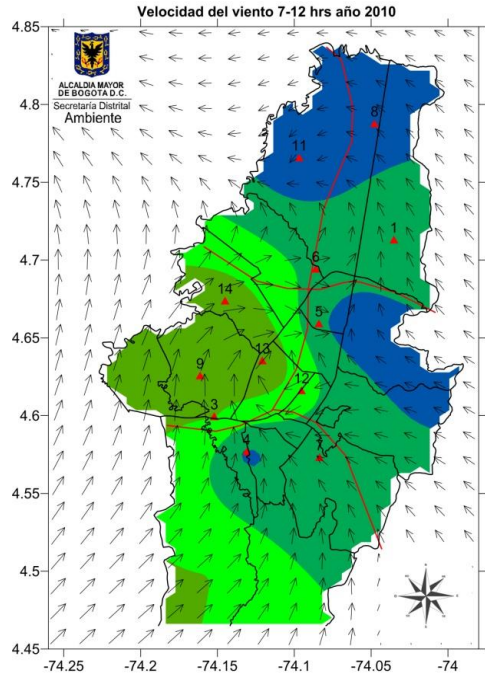


Figura 5. Flujo de vientos promedio durante la mañana –2010.

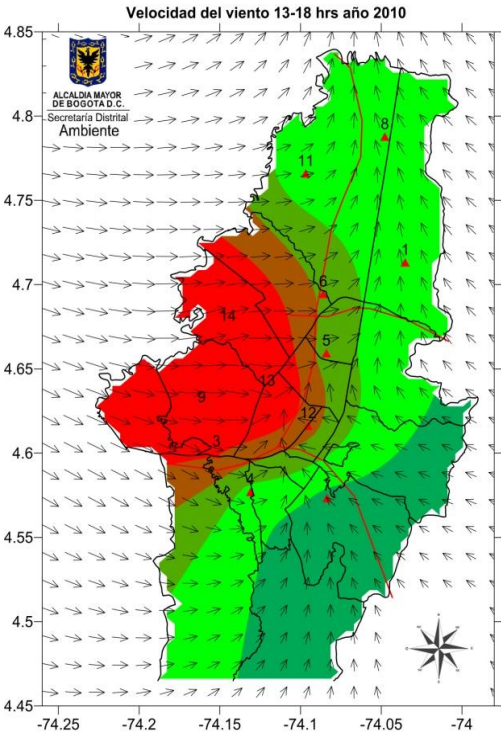


Figura 6. Flujo de vientos promedio durante la tarde –2010.

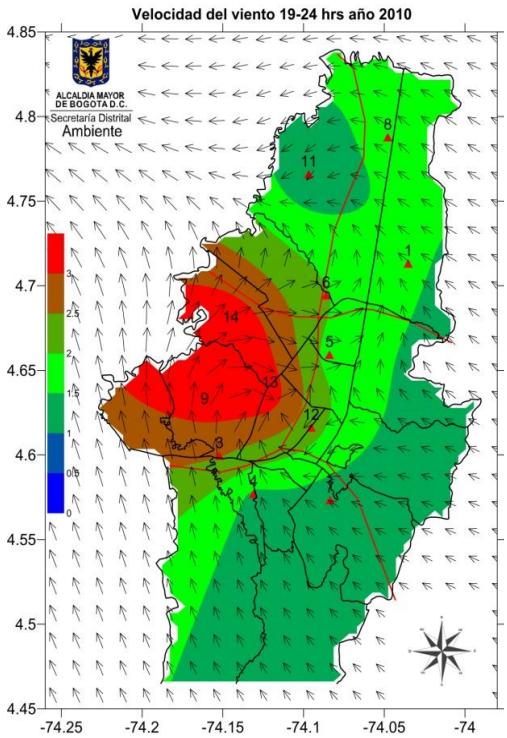


Figura 7. Flujo de vientos promedio durante la noche –2010.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de los factores meteorológicos que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central y se someten a un proceso de validación y posterior análisis con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

La RMCAB desde 2008 modernizó su estructura, que involucró el cambio de software de manejo de datos, el reemplazo de los equipos que tenían más de 10 años de funcionamiento, la instalación de nuevos equipos para ampliar el monitoreo de los contaminantes en los diferentes sitios de la ciudad y la adquisición de una unidad móvil que comenzó a operar en el mes de noviembre de 2008 en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud y para la cual se reportarán datos en el presente informe. Para el 2010 la RMCAB sumó 15 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y de los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de vientos, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El presente informe contiene en el primer capítulo el análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante el año en cuestión y la tendencia de estos en los últimos años en el segundo capítulo se presenta el comportamiento del índice de calidad del aire que persigue la protección de grupos sensibles. En el tercer capítulo se presenta información meteorológica que contempla la precipitación, la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y la presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. En el cuarto capítulo se entrega un informe especial sobre la relación entre la concentración de contaminantes y las variables meteorológicas.

Para tener una idea del comportamiento que tienen los contaminantes, se hace un análisis exploratorio de los datos, una forma sencilla para observar si los valores que toman las variables son muy diferentes (medianas, *outliers*), tienen simetría, localización y como se distribuyen los datos, es con un gráfico de *Box-Plot*. En cada contaminante se presentarán tres distintos *Box-Plot* los cuales muestran el comportamiento entre los años 2005 al 2010 y días de la semana, meses y por último estaciones.

Para generar las bases de datos se tomó como criterio el porcentaje de datos por años; en el 2005 como mínimo se debe reportar el 70% de los datos para cada estación, en los años restantes se tomó como base el 75%.

Debido a que los años no tienen las mismas actuaciones y es importante saber sus caracterizaciones a continuación se plasmará el análisis para cada uno de los contaminantes

El glosario con la terminología utilizada se ubica después del capítulo cuatro y posteriormente se encuentran los anexos que incluyen información sobre las características de la configuración de la RMCAB y la localización geográfica de las estaciones de monitoreo, así como las características de las zonas dónde se ubica cada una de las estaciones, la normatividad vigente que se utiliza como referencia para evaluar las concentraciones de los contaminantes en el aire y las escalas utilizadas para estudiar los diferentes parámetros meteorológicos.

1. CALIDAD DEL AIRE

El presente capítulo se dividirá en tres secciones: la primera contiene el análisis del material particulado que incluye el PM_{10}, el PST y el $PM_{2.5}$, la segunda los gases contaminantes, el SO_2, el NO_2, el CO y el O_3 y la tercera el comportamiento del índice de calidad del aire. Para esto, la RMCAB durante el año 2010 contó con 15 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST) y de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital. En la Tabla 1 se presentan las catorce estaciones y los contaminantes que se monitorearon en cada una de ellas, junto con la asignación de sectores según su ubicación.

Tabla 1. Estaciones de la RMCAB y contaminantes monitoreados en cada una de ellas.

ESTACIÓN	LOCALIDAD	SECTOR	Contaminantes						
			PM_{10}	PST	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO	O_3
No. 1 Usaquén (Bosque)	Usaquén	Norte	X		X				X
No. 2 Sagrado Corazón	Santa Fe	Centro	X					X	X
No. 3 Carvajal (Sony)	Kennedy	Suroccidente	X	X		X	X	X	X
No. 4 Tunal	Tunjuelito	Sur	X		X	X	X	X	X
No. 5 Parque Simón Bolívar	Barrios Unidos	Centro	X		X	X	X	X	X
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	Engativá	Norte	X		X	X	X	X	X
No. 7 San Cristóbal[3]	San Cristóbal	Sur	X			X	X	X	X
No. 8 Guaymaral (Escuela)	Suba	Norte	X				X		X
No. 9 Kennedy	Kennedy	Suroccidente	X		X	X	X	X	
No. 10 Chico Lago (Santo	Chapinero	Centro	X			X		X	X
No. 12 Estación Móvil	Puente Aranda	Centro	X			X	X	X	X
No. 11 Suba (Corpas)	Suba	Noroccidente	X			X	X		X
No. 13 Puente Aranda	Puente Aranda	Suroccidente	X			X	X	X	X
No. 14 Fontibón	Fontibón	Suroccidente	X			X	X	X	X

[2] Estación en desmonte temporal a solicitud del MAVDT.
[3] La estación San Cristóbal se encuentra en periodo de prueba

1.1. Material Particulado - MP o PM (*particulate matter*)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades está el material particulado, cuyas características físico-químicas y los efectos sobre la salud humana hacen que su monitoreo sea de suma importancia. Éste material está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros.

Una de las características físicas más importantes de este material es su diámetro de partícula por el riesgo que representa para la salud humana, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman o servir como vehículo para bacterias y virus. Son de mayor interés las partículas **PM_{10}** y **$PM_{2.5}$**. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micras. Las de $PM_{2.5}$ tienen tamaño menor o igual a 2.5 micras, y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas). Son respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (**PST**), son fracciones de este el PM_{10} y el PM2.5.

La Resolución 601 del 4 de Abril de 2006, establece los niveles máximos permisibles para PST y PM_{10}. Estos son de 100 µg/m3 concentración anual y de 300 µg/m3 para el período de 24 horas en el caso de PST, y de 60 µg/m3 y 150 µg/m3, concentración anual y 24 horas respectivamente para PM_{10}. Para el caso de $PM_{2.5}$ se han establecido límites en la Resolución 610 de 2010, por lo que se pueden tomar como referencia los valores de 25 µg/m3 como concentración anual y de 50 µg/m3 para 24 horas. La Resolución SDA 1208 de 2003 establece 50 µg/m3 concentración anual para PM_{10}, por ser más estricta el informe se referirá para este periodo a este nivel. A partir de 2011 el periodo de 24 horas para PM_{10} se controlará con 100 µg/m3

1.1.1. Comportamiento de la Concentración de PM10

La RMCAB contó con trece (13) estaciones para medir la concentración de PM_{10}, como se observa en la Tabla 1. Durante el año 2008 se cambiaron ocho equipos de PM10 marca *DASIBI* por marca *MET ONE* (tecnología de cuantificación por atenuación beta), en el marco del proceso de modernización de la RMCAB; éstos equipos reemplazaron los existentes en las estaciones No. 8 Guaymaral, No. 5 Parque Simón Bolívar, No. 3 Carvajal, No. 4 Tunal, No. 6 Las Ferias, No. 9 Kennedy, No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón. El cambio de tecnología hizo que para el segundo semestre de 2008 se registraran niveles de concentración de PM_{10} diferentes a los reportados en el primer semestre del año, por lo que se realizaron estudios de intercomparación entre equipos.

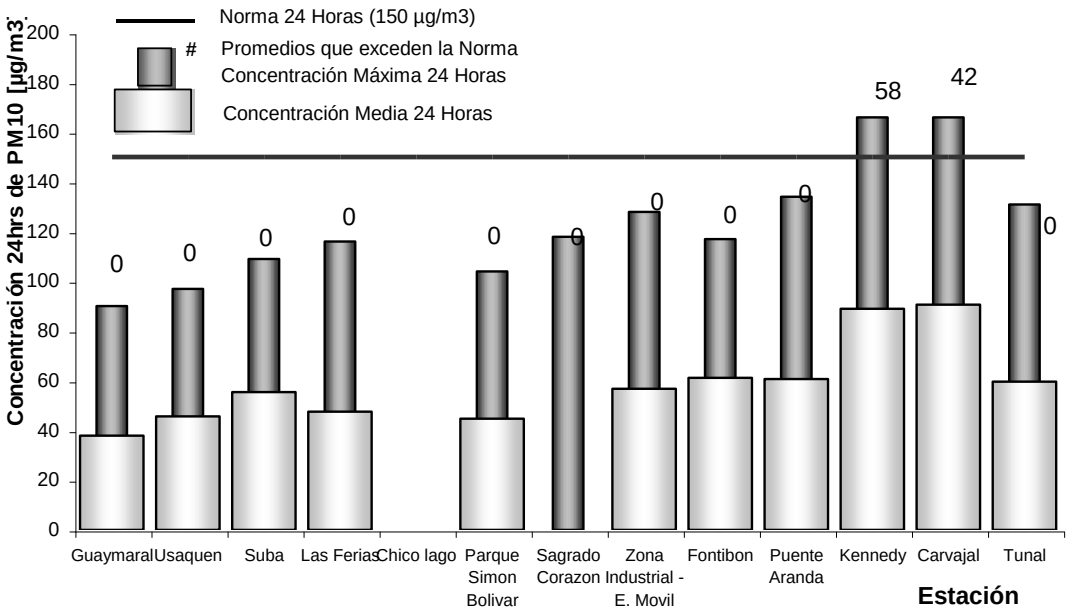
En cuanto a la serie de la estación No 10 Chicó Lago se encuentran en revisión y no será reportada en el presente informe.

Por otro lado, se observa que la concentración promedio anual de éste contaminante para el año 2010 en algunas estaciones mantuvo los niveles del 2009 en otras no, hecho al que pueden contribuir diferentes factores entre ellos la meteorología, donde la mayor inestabilidad (vientos) de 2009 favorece la dispersión de contaminantes, igualmente afectan las menores temperaturas promedio que se verificaron en el 2010.

Máximos en 24 Horas

El comportamiento de la concentración de PM_{10} se establece mediante la recolección de datos de medias móviles de 24 horas. Durante el 2010 se reportó una representatividad temporal[4] para el año mayor o igual al 75% en 11 (once) estaciones (quedaron por fuera Chicó Lago que se encuentra en análisis y Sagrado Corazón cuyo porcentaje de recuperación de datos fue del 44%).

Del total de datos registrados, tan solo el 0.11% superó el valor de la norma para 24 horas establecido en 150 µg/m3, porcentaje equivalente a 32 datos presentados en las Estaciones de Carvajal (42) y Kennedy (58). Las concentraciones medias, máximas y la cantidad de datos que superaron la norma sobre promedios corridos de 24 horas se presentan en la **Figura**



8

[4] *El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.*

Figura 8. Concentraciones de PM_{10} para 24 horas por estación durante el 2010

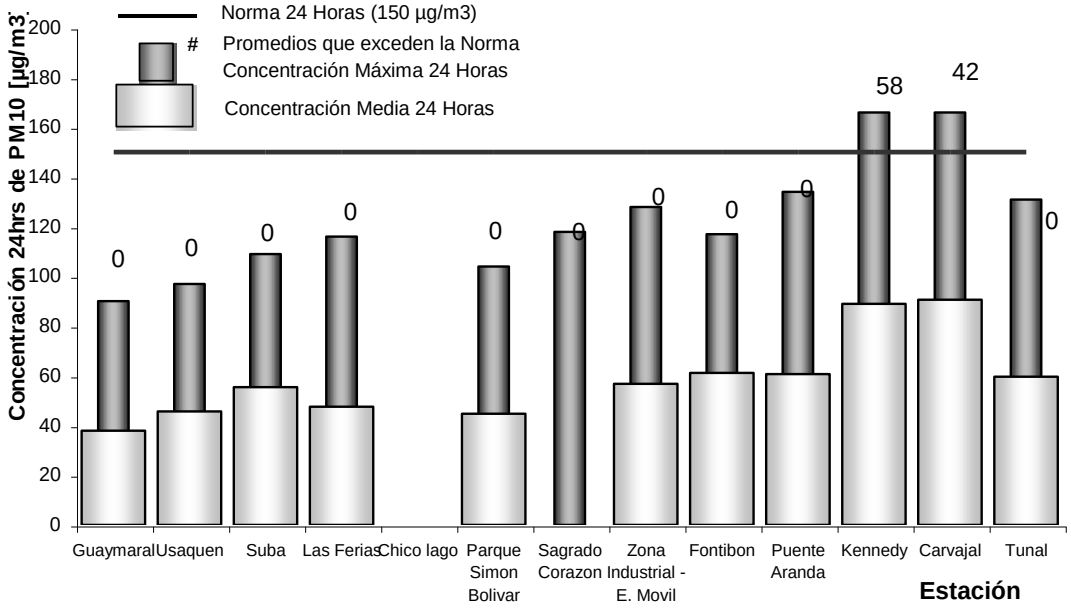


Figura 8. Concentraciones de PM_{10} para 24 horas por estación durante el 2010

Considerando la información presentada en la Tabla 2 de resumen de datos de PM_{10} en cada una de las estaciones de la RMCAB durante el 2010, se aprecia que para el mes de octubre se registraron la mayoría de las máximas concentraciones de PM_{10}. El promedio de 24 horas del martes 16/02/2010 configuró un episodio generalizado en la ciudad que se presenta en la **Figura 10**.

Tabla 2. Resumen de datos PM_{10} promedios 24 horas por estación para el año 2010

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio	excedencia sobre 150 µg/m^3	excedencia / 100 µg/m^3 Futura norma	Máximo	Fecha de concentración máxima
Guaymaral (Escuela)	84%	38	0	0	90	16/02/2010 20:00
Usaquén (Bosque)	89%	46	0	0	97	01/10/2010 18:00
Suba (Corpas)	82%	55	0	23	109	04/01/2010 24:00
Las Ferias (Carrefour)	94%	48	0	48	116	01/10/2010 08:00
Chico lago (Sto. Tomas)						27/03/2010 13:00
Parque Simon Bolívar (IDRD)	91%	45	0	10	104	25/02/2010 20:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	44%		0	35	118	01/07/2010 06:00
Zona Industrial – E. Móvil	93%	57	0	202	128	16/02/2010 04:00
Fontibón	86%	61	0	158	117	01/10/2010 17:00
Puente Aranda	94%	61	0	231	134	01/10/2010 15:00
Kennedy	93%	89	58	1018	166	16/02/2010 04:00
Carvajal (Sony)	95%	91	42	1439	166	22/07/2010 18:00
Tunal	89%	60	0	163	131	17/12/2010 19:00

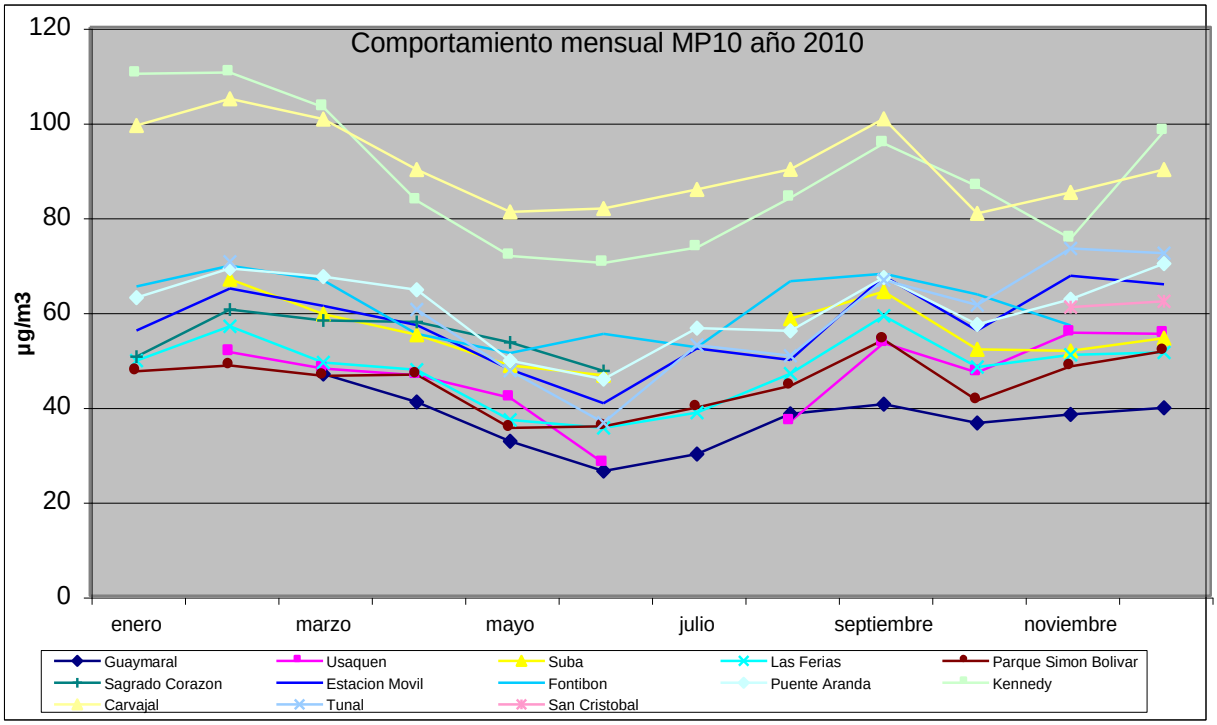


Figura 9. Promedios mensuales por estación 2010

La distribución de la concentración de este contaminante en la ciudad de Bogotá puede visualizarse en la Figura 10, dónde se muestra un mapa resultado de la interpolación del episodio de mayor concentración de PM_{10}, como promedio diario, que se presentó en la ciudad durante el 2010. Se debe tener presente que las estaciones No.15 Usme y No.16 Vitelma no tienen muestreadores de partículas y la representación de estas zonas son el resultado de la interpolación de los datos máximos de otras estaciones.

En cuanto al mapa de concentraciones medias, el comportamiento del PM_{10} es similar al descrito anteriormente; las localidades menos afectadas por material particulado son Usaquén, Teusaquillo, Chapinero y parte de Suba, mientras que las más afectadas son las del sur occidente de la ciudad (Figura 11).

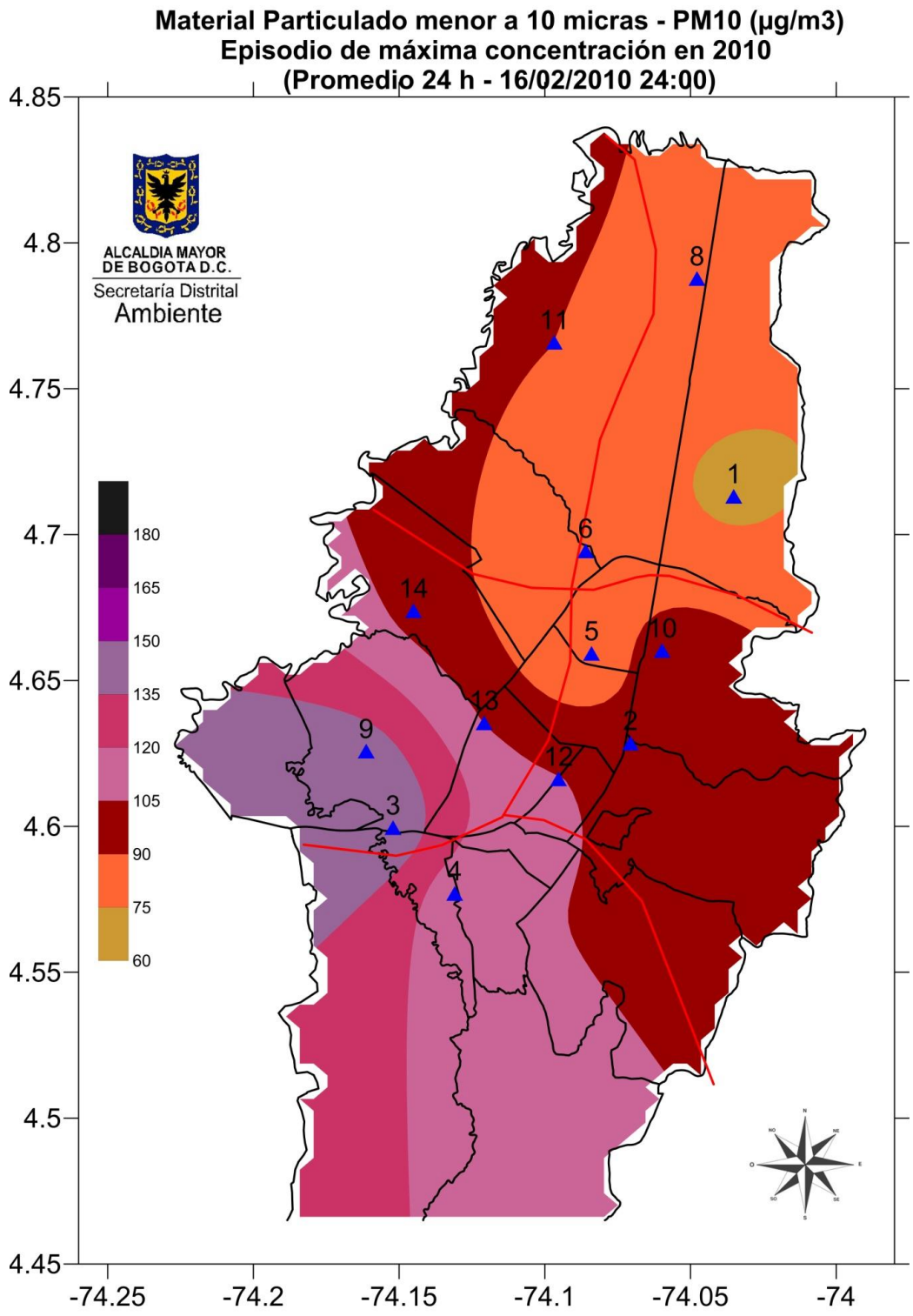


Figura 10. Interpolación de los promedios máximos 24 horas de PM_{10} durante el 2010

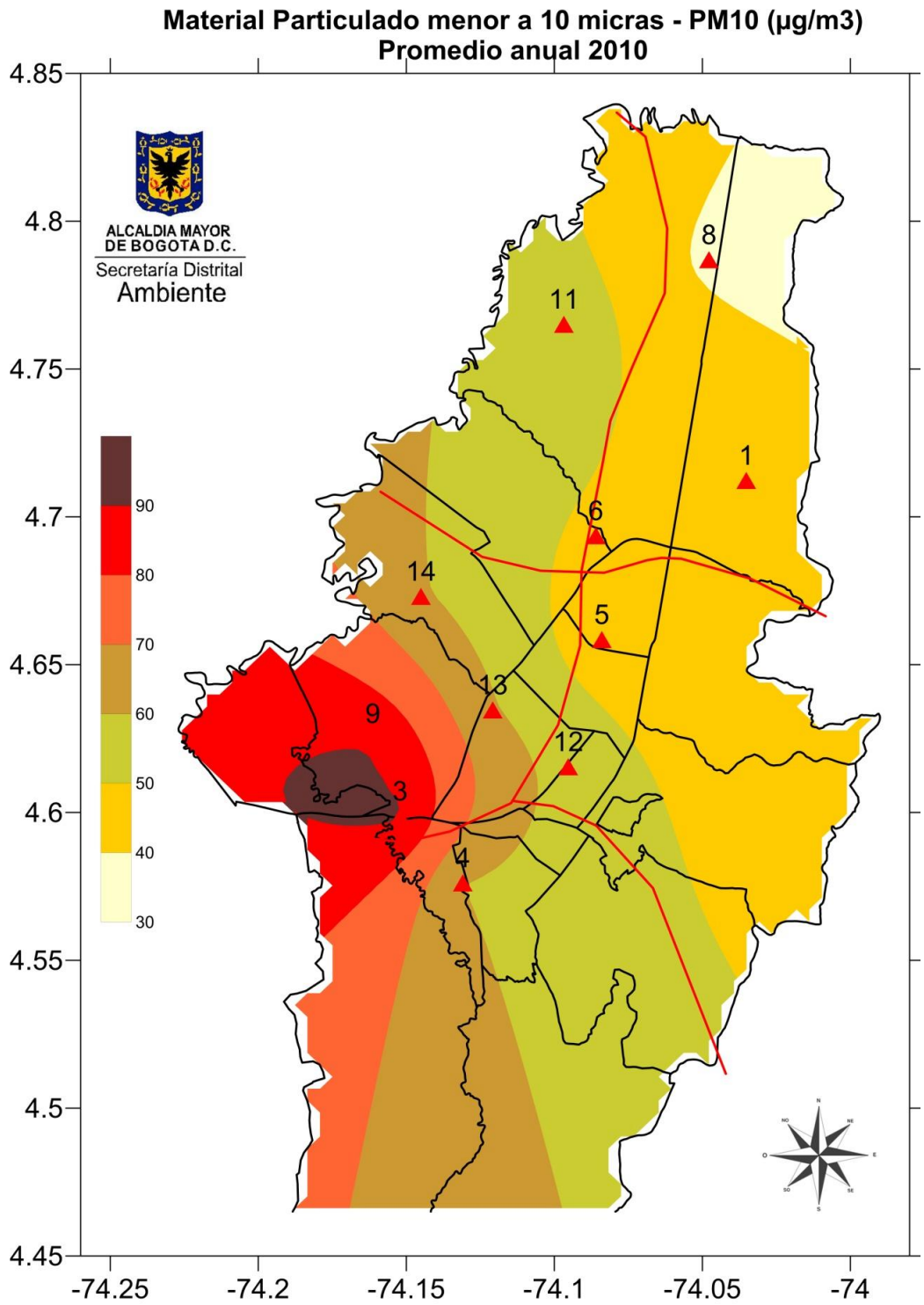


Figura 11. Interpolación de las medias de los promedios 24 horas de PM10 durante el 2010.

Comportamiento histórico de promedios por fracciones temporales de PM10

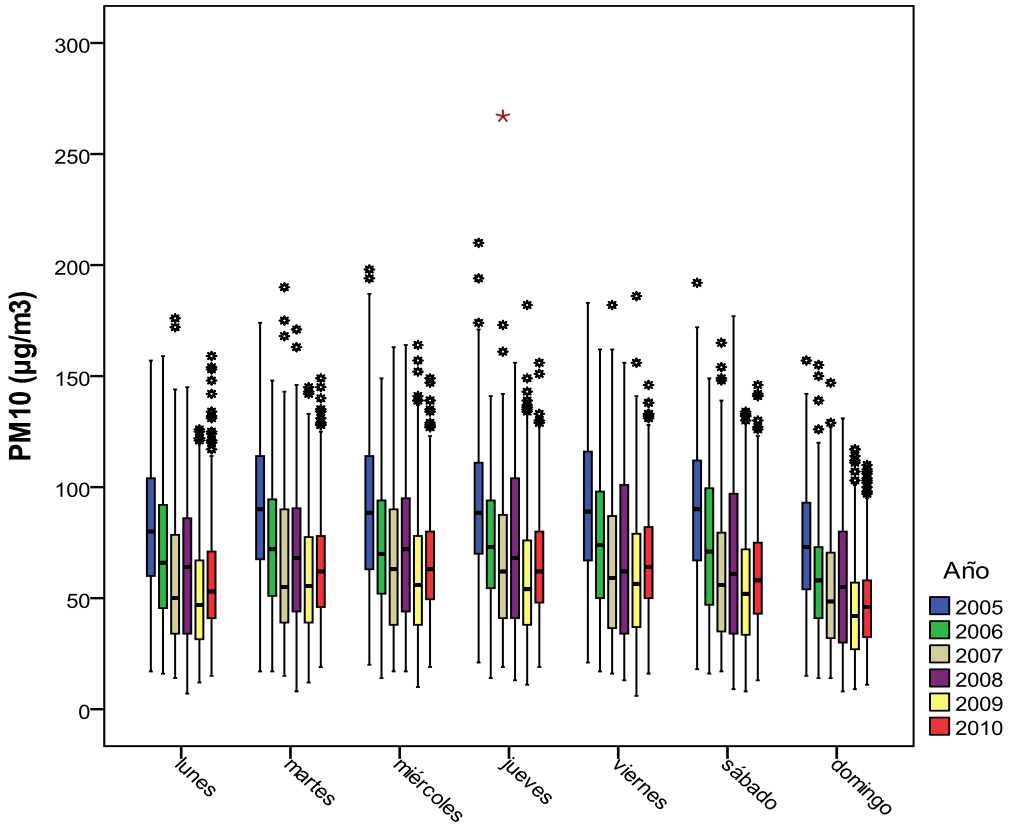


Figura 12 Gráfico de *Box-Plot* para PM_{10} 24 horas por días de la semana comparando año 2010 con años anteriores

El comportamiento para el contaminante PM10 en los días de la semana para el último año mantiene el registro usual de años anteriores el cual tiene una tendencia de incremento al iniciar la semana hasta el día miércoles, el jueves se mantiene y el viernes es el día que muestra un mayor registro, descendiendo el fin de semana y siendo el domingo el de menor registro; gráficamente este comportamiento se puede representar con una leve figura cóncava. Aunque la concentración del contaminante mantuvo niveles equiparables con respecto al año anterior la dispersión de los datos es menor con respecto al 2009; el lunes es el día que mayor registra datos atípicos y el viernes el de menor.

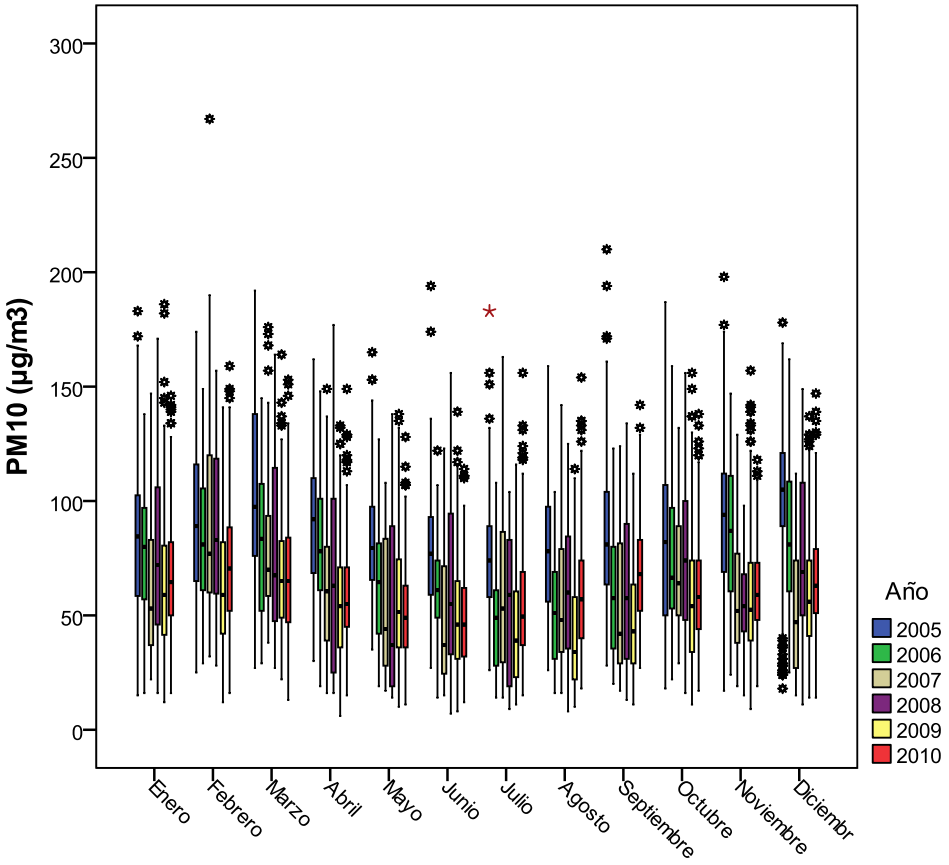


Figura 13. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por meses comparando año 2010 con años anteriores.

En la Figura 13 se puede apreciar bastante bien como es el comportamiento del contaminante en el transcurso del año, la cual se muestra una variabilidad intra-anual con una cresta en el primer trimestre y otra a partir de Julio sin la misma intensidad, para el segundo trimestre muestra descenso lento, y en el mes de Octubre se muestra una caída paulatina hasta el mes de Noviembre, Diciembre presenta aumento terminando así el ciclo del contaminante. El ciclo descrito es para el año 2010 pero como se muestra en la Figura 13 es el comportamiento regular en el año del PM_{10}; realizando la comparación en cuanto a la concentración con el año anterior se refleja claramente el incremento en la mayoría de los meses exceptuando marzo que registra una mediana igual a 65 $\mu g/m^3$ y Junio con 46 $\mu g/m^3$ para los dos últimos años, y mayo con medianas de 51.5 $\mu g/m^3$ y 49 $\mu g/m^3$ para los años 2009 y 2010 respectivamente; en general la dispersión de los datos es mayor para el año 2009

Promedios Anuales de PM_{10}

El promedio anual se calcula para cada día utilizando los promedios diarios de los 365 días anteriores, así el promedio anual del 1 de enero de 2010 se calcula como el promedio de los datos diarios entre el 2 de enero de 2009 y el 1 de enero de 2010, y el promedio anual calculado el 31 de diciembre de 2010 se toma como el promedio de los

datos diarios entre el 1 de enero de 2009 y el 31 de diciembre de 2010. No se incluyen estaciones de Sagrado Corazón y Chicó Lago, ambas por baja representatividad y adicionalmente Chicó Lago por revisión de la serie de datos.

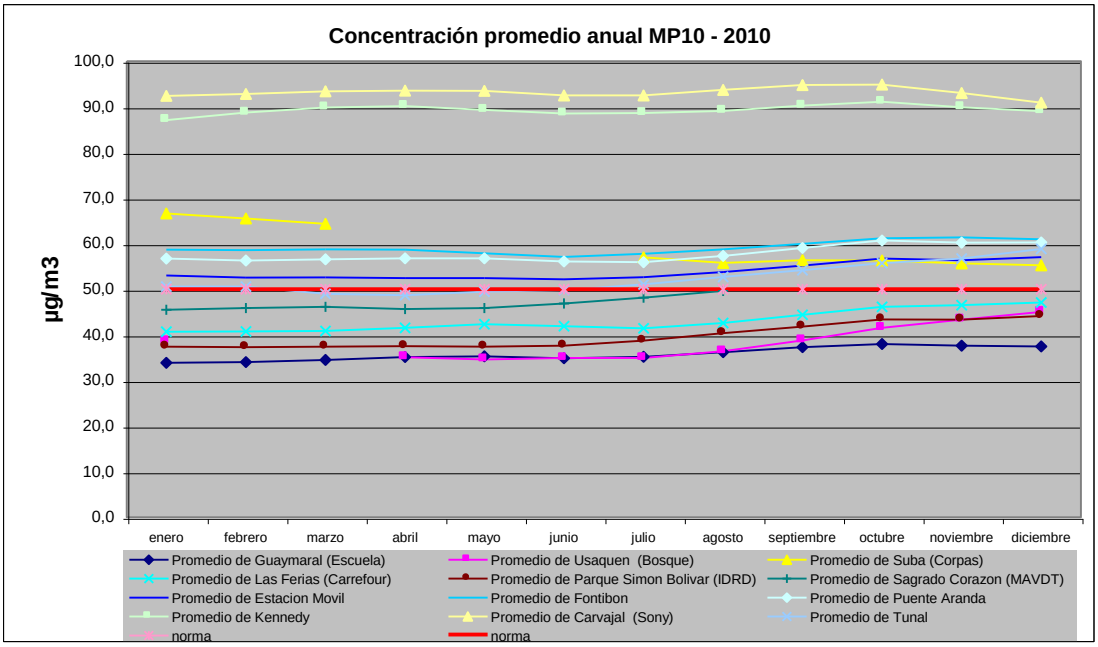


Figura 14. Promedios anuales, por estación, año 2010.

En la Figura 14 se presentan los promedios anuales calculados para cada mes del año 2010 en cada una de las estaciones que monitorearon este contaminante y cuya representatividad fue mayor al 75%. La norma de referencia que para 2009 estaba en 60 µg/m^3 pasó a estar en 50 µg/m^3 a nivel local para el 2010 y a nivel nacional pasará desde el 2011. Respecto a 50 µg/m^3, aumenta el número de estaciones comprometidas, además de las estaciones No. 3 Carvajal (Sony), No. 9 Kennedy, No 11 Suba, se agregan las estaciones de la Zona industrial -E. Móvil que durante el año estuvo situada en la calle 13 con carrera 32, Fontibón y Puente Aranda, donde se supera la norma anual en todos los meses. En las demás estaciones se mantuvo por debajo del límite establecido en la normatividad.

Tabla 3. Resumen de datos PM10 promedios anuales por estación para el 2010

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio Anual	Máximo Anual Norma 1208 (Anual): 50 µg/m^3
Guaymaral	100%	36	38
Usaquén	72%		46
Suba	70%	59	69
Las Ferias	100%	43	47
Chico lago			
Parque Simón Bolívar	100%	40	45
Sagrado Corazón	63%		50

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio Anual	Máximo Anual Norma 1208 (Anual): 50 µg/m^3
Zona Industrial – E. Móvil	100%	54	57
Fontibón	100%	59	62
Puente Aranda	100%	59	62
Kennedy	100%	89	91
Carvajal	100%	93	95
Tunal	100%	52	60

El promedio de las concentraciones anuales de PM_{10} encontradas en las estaciones de la RMCAB para el 2010 se presentan en la Figura 15. La estación No. 3 Carvajal reportó el máximo promedio, seguida de la estación No. 9 Kennedy. Con el nivel de control en 50 las estaciones de Suba, Móvil, Fontibón, Puente Aranda y Tunal exceden este nivel.

En la Tabla 4 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales entre 1999 y el 2010, para cada una de las estaciones, calculadas el 31 de Diciembre de cada año se incluyen todas las estaciones, para los años 2007 a 2010 se exceptúan los datos de la estación de Chico Lago que se encuentra en estudio; los cortes en las figuras corresponden a periodos de tiempo donde, por problemas operacionales, no se puede calcular el promedio anual por falta de representatividad; también se muestra el valor dado por la Resolución 1208 de 2003 de la SDA como norma para promedios anuales.

Para la correcta lectura del cuadro se debe tener en cuenta que los datos de 2005 a mayo de 2008 de las estaciones Las Ferias, Fontibón, Carvajal, Tunal se hicieron con equipos que al correlacionarlos con los actuales muestran un promedio horario de concentración distinto, fundamentado en el cambio tecnológico que prevé ajustes por presión y temperatura que los equipos anteriores no hacía, lo que ocasionó para las nuevas series de datos, aumento en la concentración de la estación de Carvajal desde mayo de 2008 y disminución desde la misma fecha en las estaciones de Las Ferias, Fontibón, Puente Aranda y Tunal.

De los equipos cambiados solamente los de las estaciones de Parque Simón Bolívar y Guaymaral conservaron los niveles que traía la serie histórica de datos, en concordancia con esta situación no se reportan los niveles de 2008 para estas estaciones.

Tabla 4. Concentraciones de PM10 promedios anuales a 31 de diciembre de cada año.

Estación	Concentración PM10 en [µg/m^3][5]												
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
8 Guaymaral				43	50	54	54	55	30	35	35	34	38
1 Usaquén	33	31	31	29	24				38	40	44	37	46
11 Suba (Corpas)	54	40	47	81	97	91	80	90	83	71	52	69	56
6 Las Ferias				78	97		85	79	60	71		40	48
10 Chico Lago	32	34	35	37	39	33	33	29	44				
5 P. Simón Bolívar								58	42	50	41	37	45

[5] Los cuadros en amarillo corresponden a datos en revisión por cambio en la serie de datos.

Estación	Concentración PM10 en [µg/m^3][5]												
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Sagrado Corazón													
Zona Industrial E. Móvil												52	57
14 Fontibón			93	91	96	97	94	101	85	87		59	61
13 Pte. Aranda			103	93	98	102	107	113	93	99		56	61
9 Kennedy									100	98	96	86	89
3 Carvajal (Sony)	80	77	63	86	61	53	49	69	73	59		93[6]	91
4 Tunal									107	98		50	60
San Cristóbal													
7 Cazucá	86	69	69	62	62	54	57	69	64	71	63		

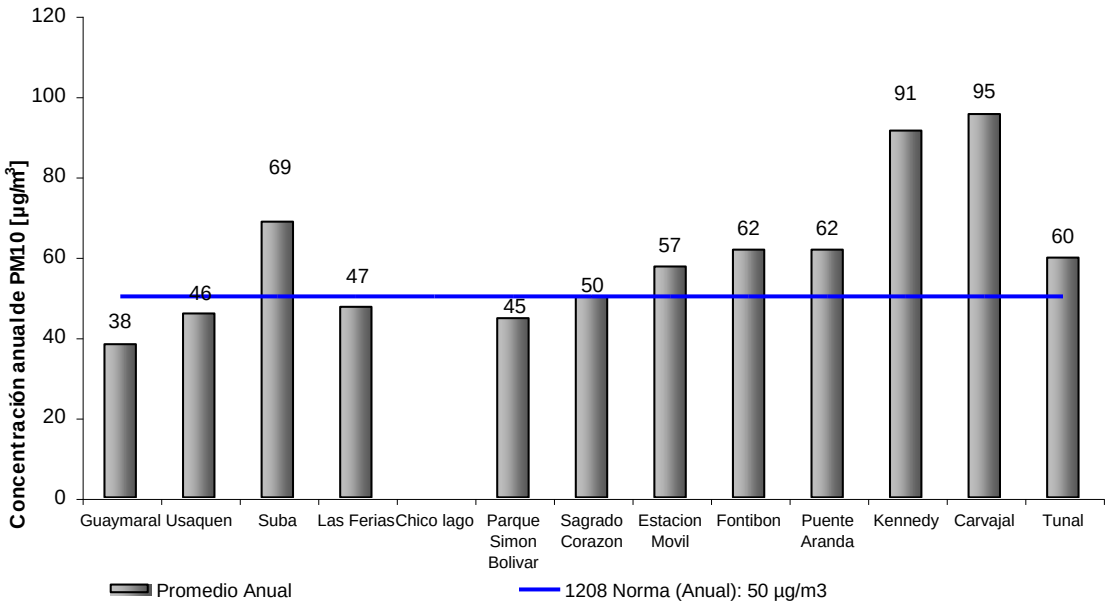


Figura 15. Máxima concentración promedio anual de PM_{10} por estación durante el 2010

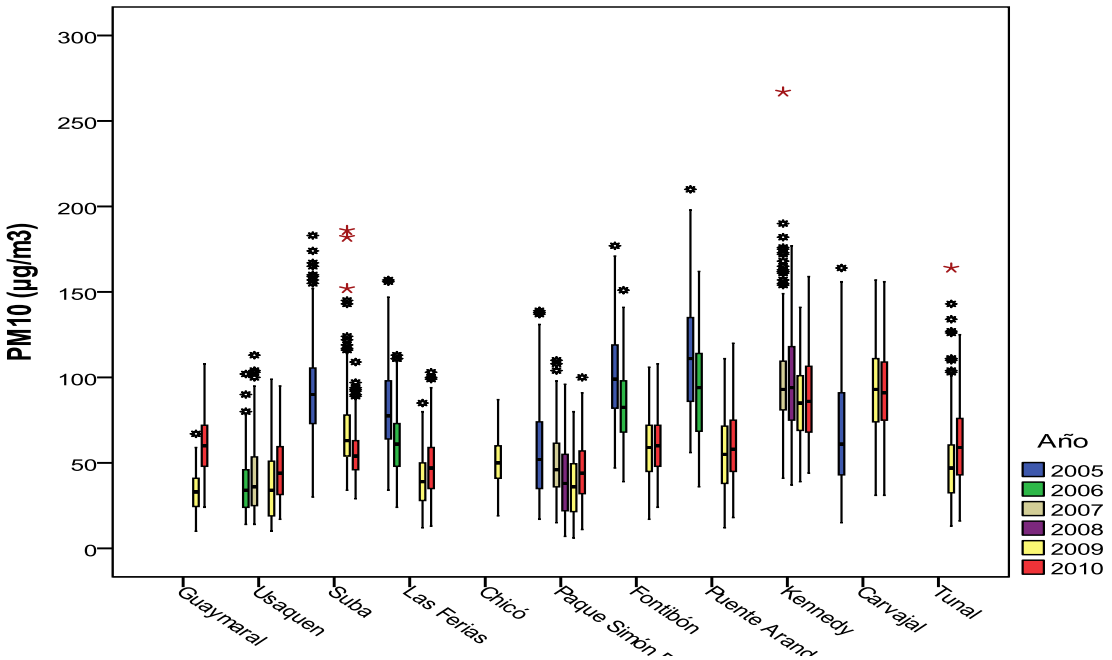


Figura 16. Gráfico de *Box-Plot* para PM10 24 horas por estaciones comparando 2010 con años anteriores

En el contaminante PM10 no se tienen en cuenta los datos en las estaciones Tunal, Carvajal, Puente Aranda, Fontibón Guaymaral y Las Ferias para los años 2007 y 2008, adicionalmente Chico no entra en el análisis en los años 2007 - 2009 por que las series están siendo analizadas técnicamente por variación con el cambio de equipos; por esto se va a realizar comparaciones de los dos últimos años entre las estaciones; para el año 2010 las estaciones que registran menor concentración son Usaquén y Parque Simón Bolívar con mediana de 44 $\mu g/m^3$ cada una, las de mayor son Carvajal y Kennedy con 91 y 86 $\mu g/m^3$ respectivamente; el contaminante en el último año tuvo un comportamiento similar con respecto al 2009 en la mayoría de las estaciones, para Carvajal presenta un leve descenso y en Suba adicionalmente sus *outliers* descendieron, en el 2010 no se registran *outliers* extremos

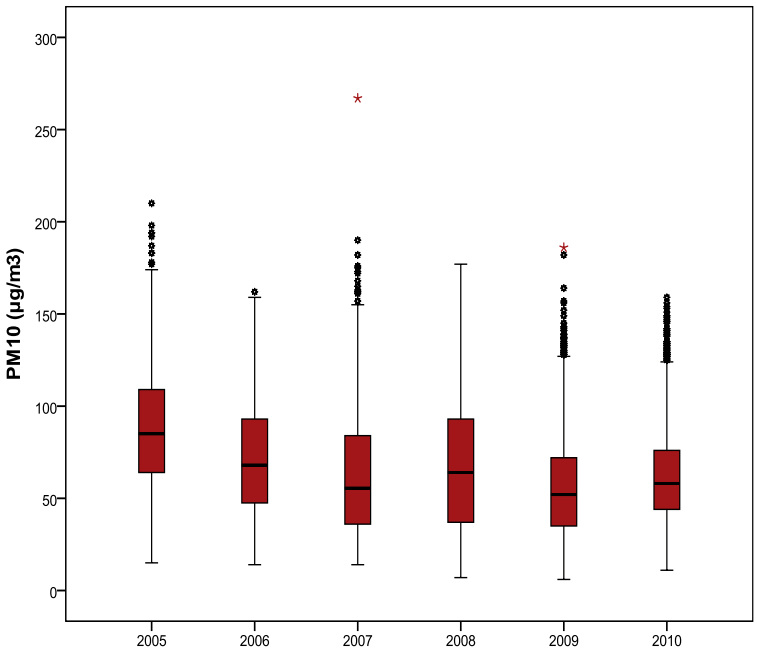


Figura 17. Gráfico de *Box-Plot* para PM10 24 horas por años.

En esta gráfica se resume el comportamiento que se ha descrito en las diferentes graficas del contaminante PM10, su nivel medio para el último año muestra un registro similar al año anterior aunque su dispersión es menor, además, la mayoría de los datos se encuentran distribuidos de una forma simétrica alrededor de la mediana, se presentan datos atípicos pero no *outliers* extremos.

1.1.2. Comportamiento de la Concentración de PM2.5

La RMCAB cuenta actualmente con 5 estaciones en que se hace medición de este contaminante, a la fecha se publica el resultado de las estaciones No. 5 Parque Simón Bolívar y No. 9 Kennedy, atendiendo que los equipos instalados en las estaciones de Usaquén, Las Ferias y Tunal se encuentran en revisión. Como la Resolución 601 de 2006 ha establecido límites para este contaminante que entran a regir a partir de enero de 2011, de 50µg/m3 como límite de concentración diaria y de 25 µg/m3 para promedio anual, éstos se toman como guía para este informe.

Máximos en 24 Horas

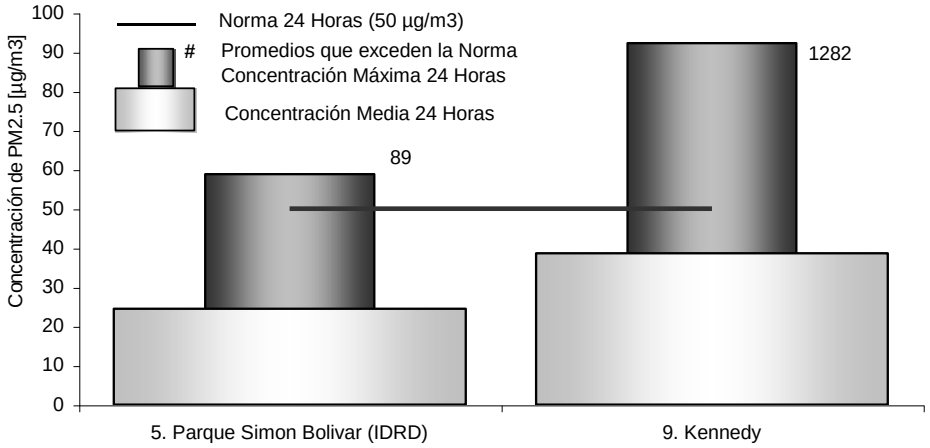


Figura 18. Concentraciones de PM2.5 para 24 horas durante el 2010

A partir de los registros de la estación que monitorea este contaminante, se obtuvieron 15867 medias móviles de 24 horas de concentración de $PM_{2.5}$ para el año 2010, que registra un 91% de representatividad temporal. De los promedios hallados 1371 superaron el valor establecido por la resolución 601 de 2006, lo que corresponde a un 9% de los promedios calculados.

Tabla 5. Resumen de datos $PM_{2.5}$ promedios corridos de 24 horas por estación para el año 2010

ESTACION	Promedio	Máximo	Fecha de concentración máxima
Parque Simón Bolívar (IDRD)	24.5	58.8	25/08/2010 09:00
Kennedy	38.6	92.3	08/12/2010 22:00

Para el contaminante PM2.5 en la comparación histórica solo se tendrá en cuenta la estación de Kennedy porque es la que tiene una serie suficiente de las dos estaciones; se registran datos para la estación analizada desde el 2009 aun cuando el porcentaje de datos registrados es de 67, lo cual está por debajo del criterio recomendado por la EPA y seguido en la RMCAB[7]; a continuación se presenta los gráficos de *box-plot* por días de las semana y meses.

[7] A pesar que en conjunto para el 2009 no se tiene en conjunto una representatividad mayor o igual al 75%, esta circunstancia se presenta fundamentalmente por déficit de datos en los meses de octubre a diciembre, periodo en que se realizaron ínter comparaciones por el canal del PM2.5, no obstante se realizan comparaciones entre años, haciendo esta salvedad.

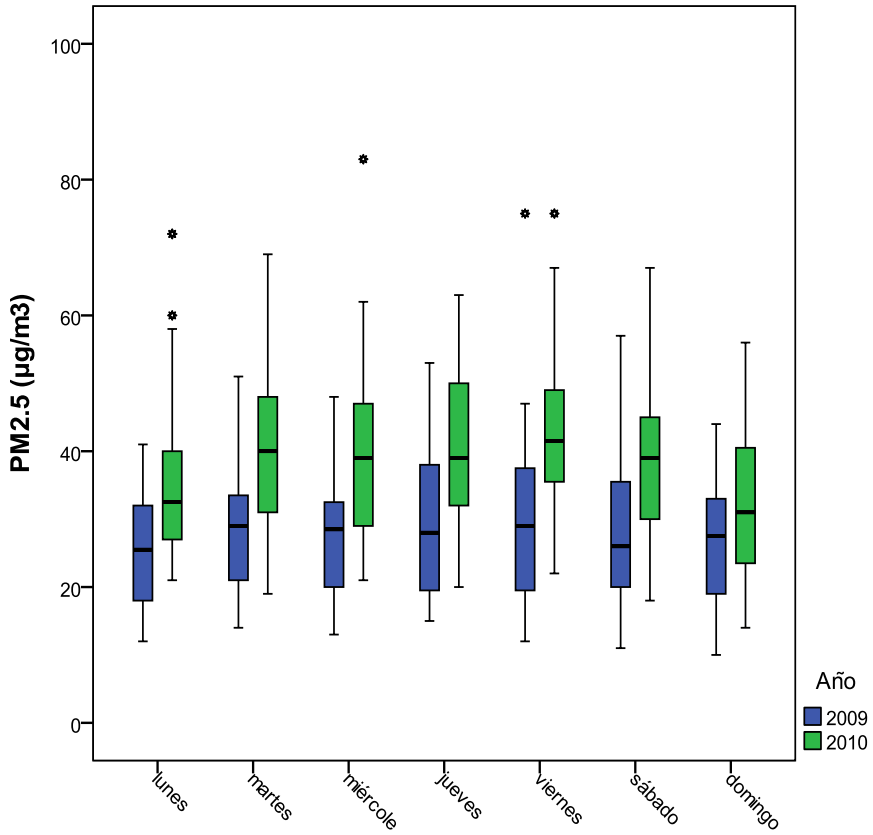


Figura 19. Gráfico de *Box-Plot* para PM2.5 por días de la semana (sobre base 24 horas) comparando año 2010.

El comportamiento del contaminante en los días de la semana para el año 2010 (ver Figura 19) registra una forma cóncava con un pequeño punto de inflexión el día miércoles puesto que tiene un leve descenso para ese día; los días con mayor registro son el viernes y martes con 42 y 40 µg/m3 respectivamente y los de menor domingo y lunes con 33 y 31 µg/m3 respectivamente; para el 2010 los datos presenta dispersión en general siendo la de menor el lunes y viernes; con respecto a la simetría los que cumplen con ello son martes, viernes y domingo; miércoles y sábado registran asimetría entre el primer y segundo cuartil y jueves entre el segundo y tercer cuartil; se registran pocos datos atípicos. Comparando con el año anterior se presenta el mismo comportamiento pero en menor escala con respecto a la concentración para el año 2009, siguiendo la comparación entre los dos años la dispersión para el 2009 es un poco mayor con respecto al 2010.

El PM2.5 para el 2010 (ver Figura 20) no se registran datos en el mes de Junio; el comportamiento del contaminante presenta una figura sinusoidal con puntos de inflexión en Febrero, Julio, Septiembre y Octubre, con 44, 25, 41 y 33 µg/m3 respectivamente, siendo los meses de Febrero y Septiembre picos y Julio y Octubre valles; lo que esto refleja son ondas más cortas para el segundo semestre; el mes de Marzo presenta simetría y dispersión baja pero que más datos atípicos registra y el único en poseer *outliers* extremos, el mes de mayor dispersión es Agosto. Con respecto al año anterior el 2010 presenta el mismo comportamiento pero con mayor concentración en todos los

meses y registro de datos atípicos, para el 2009 los meses que registran mayor dispersión son Febrero y Mayo, los de menor son Enero y Julio.

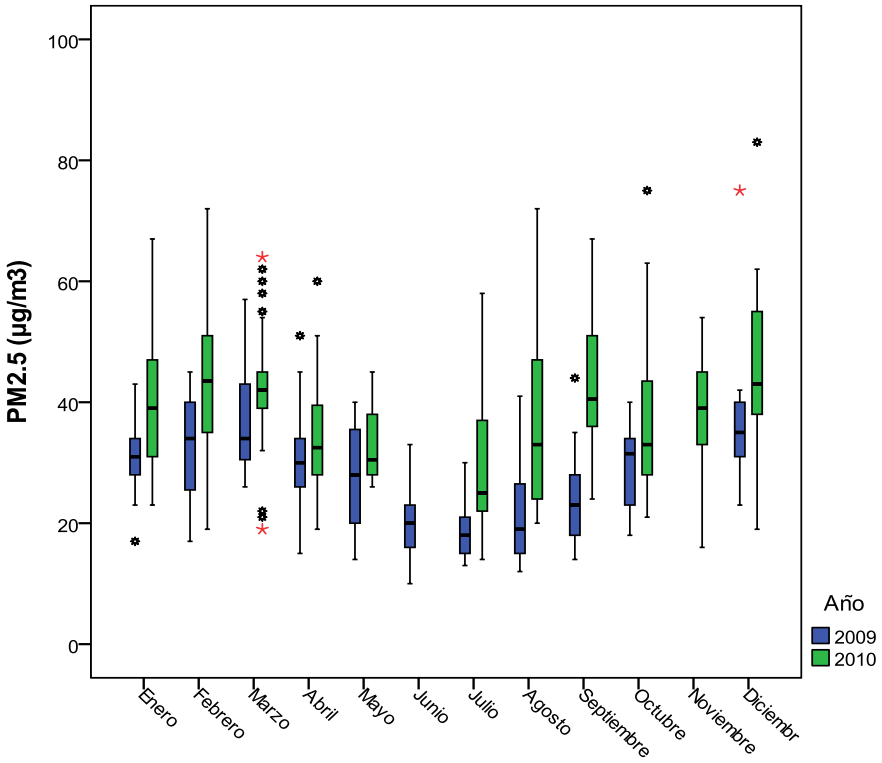


Figura 20. Gráfico de *Box-Plot* para PM10 por meses (desde base 24 horas) comparando Año 2010.

Promedios Anuales de $PM_{2.5}$

En la Tabla 6 se relaciona el número de excedencias a la norma anual (que entra a regir desde el 1 de enero de 2011), el 100% de los promedios exceden el nivel normado en la estación de Kennedy[8] y el 2% en la estación de Parque Simón Bolívar.

Tabla 6. Resumen de datos PM2.5 promedios anuales por estación para el 2010

ESTACION	Promedio	Máximo Anual	Excedencia sobre 25 µg/m3 (norma anual R.601)
Parque Simón Bolívar (IDRD)	21.6	25.0	1
Kennedy		38.8	37

[8] La representatividad temporal fue baja, del 10% de los promedios anuales, el canal de PM2.5 entre octubre y diciembre de 2009 se usó para realizar intercomparación entre equipos de PM10.

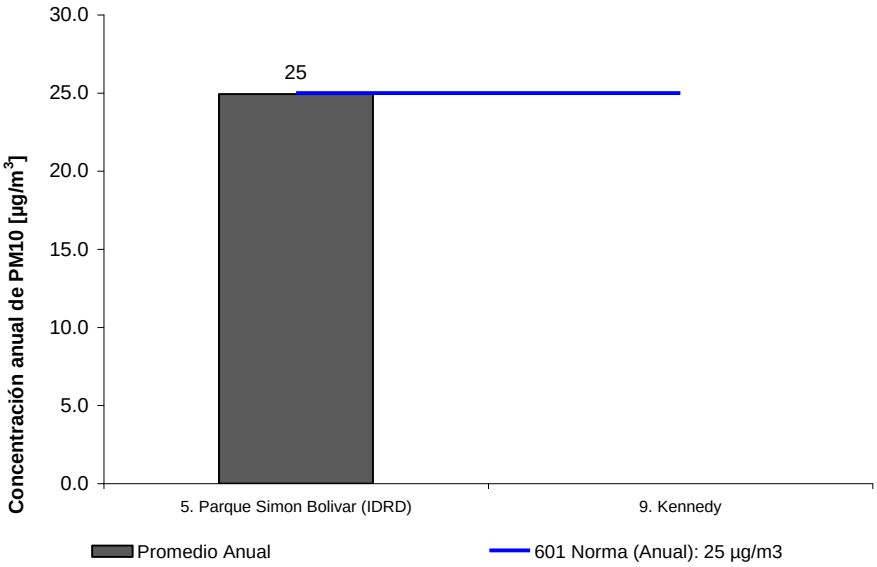


Figura 21. Concentración promedio anual de $PM_{2,5}$

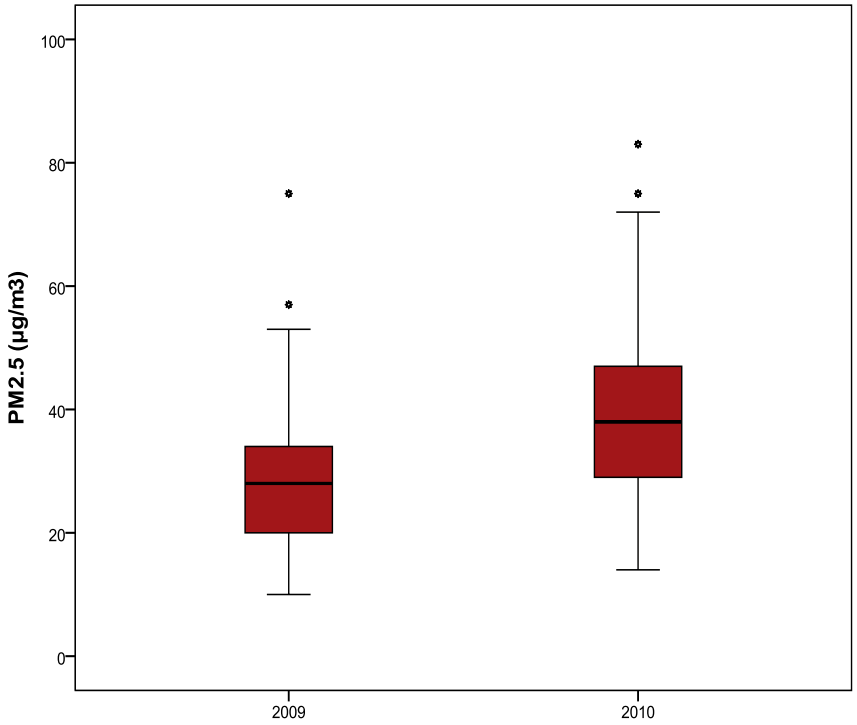


Figura 22. Gráfico de Box-Plot para PM10 24 horas por año 2010

El contaminante $PM_{2.5}$ en la estación de Kennedy (ver Figura 22) para el año 2010 presenta simetría con respecto a su mediana que es de 38 µg/m3, dispersión baja es decir la mayoría de datos se encuentra alrededor de la mediana, presenta pocos datos

atípicos y no presenta *outliers* extremos, Para el 2009 también se registra baja dispersión, una leve asimetría en el primer cuartil, en comparación para los dos años se nota claramente un aumento para el ultimo año concerniente a la concentración.

1.1.3. Comportamiento de la Concentración de PST

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST) la RMCAB durante el 2010 se ha contado con un analizador ubicado en la estación No. 3 Carvajal.

Máximos en 24 Horas

En la estación No. 3 Carvajal, se reportaron 8081 promedios corridos de 24 horas recolectados para de los cuales ningún promedio excedió la norma y el 50% de éstos estuvo por debajo de 150 µg/m3 (la mitad del valor de la norma).

En la Figura 23 se resume lo expuesto anteriormente y se identifican los valores máximos del promedio 24 horas de PST registrados para Carvajal.

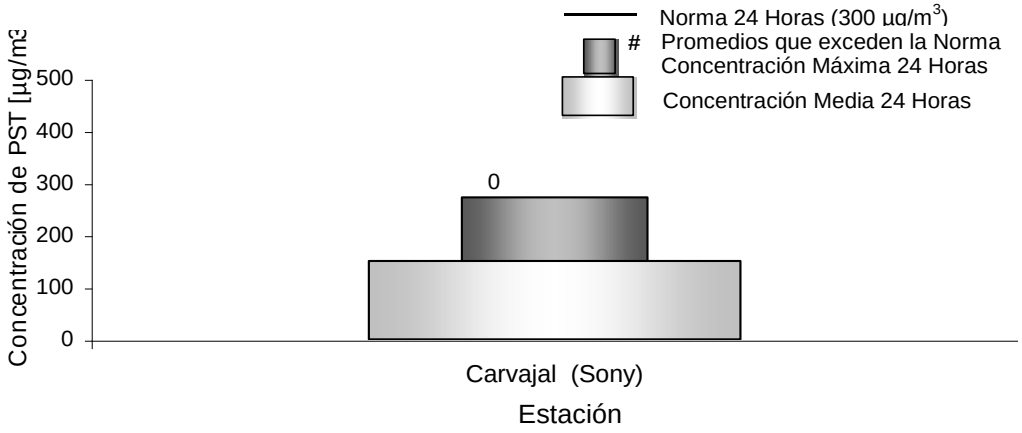


Figura 23. Concentraciones de PST para 24 horas durante el año 2010

El comportamiento de los días de la semana en el 2010 (Figura 24) presenta similitud a una forma cóncava, esto se debe que la semana inicia con incremento del contaminante hasta llegar a su máximo el día jueves con una concentración de 170[9] *µg/m³*, luego baja en el fin de semana hasta medir el domingo 103 *µg/m³* siendo el menor registro de PST; como se puede apreciar esta descripción es similar en todos los años; ahora comparando la concentración del contaminante del último año con respecto al 2009 se muestra un incremento en casi todos los días exceptuando al martes que para el 2009 registra una concentración de 167 *µg/m³* y en el 2010 baja a 157 *µg/m³*; la dispersión de los datos para el ultimo año bajo considerablemente los días sábado y domingo, por el contrario el Lunes fue el día que mas incremento registró.

[99] Las cantidades que se reportan en el informe son las medianas de las concentraciones, ya que presentan variabilidad alta y utilizar el promedio no es una medida robusta pues se deja afectar por valores extremos.

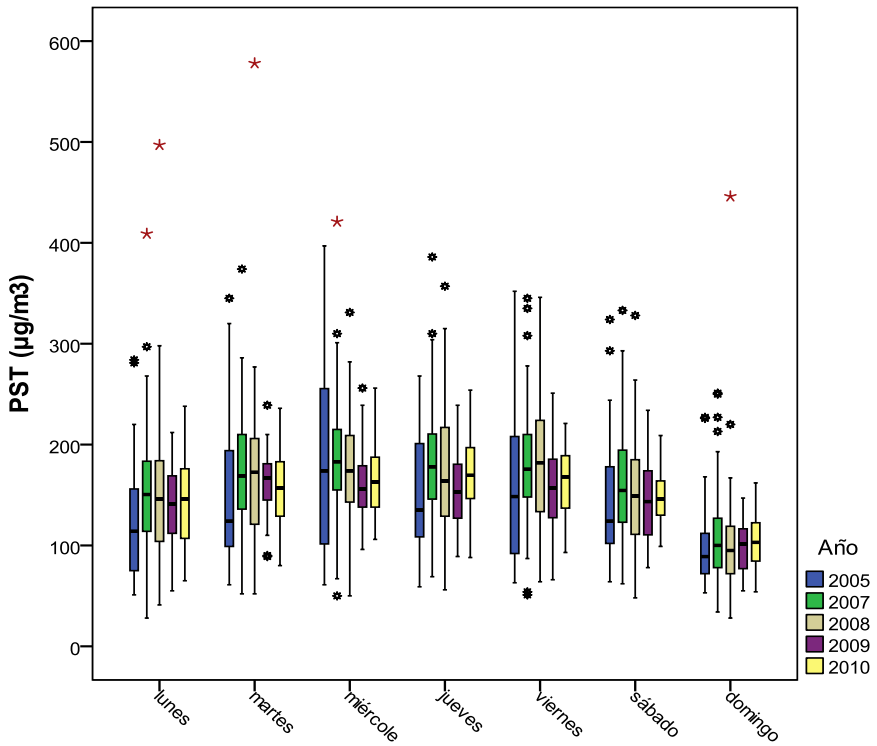


Figura 24. Gráfico de *Box-Plot* para PST por días de la semana (desde base 24 horas) comparando año 2010 con años anteriores

Los meses en el 2010 (Figura 25) muestra un comportamiento sinusoidal con una amplitud mayor para el primer semestre, en el segundo la amplitud es menor ya que presenta crecientes y descensos en forma alterna; en años anteriores la amplitud en cada semestre se presenta de similar forma; la concentración con respecto al año anterior presenta aumento en más de la mitad de los meses y disminución en Enero, Marzo, y el último trimestre; no se registran datos atípicos lo cual muestra que los datos tienen variabilidad pero no es extrema.

Para el análisis de los promedios anuales de PST se puede observar la Figura 25 en la cual se aprecia el comportamiento de la concentración promedio anual mes a mes de la estación de Carvajal.

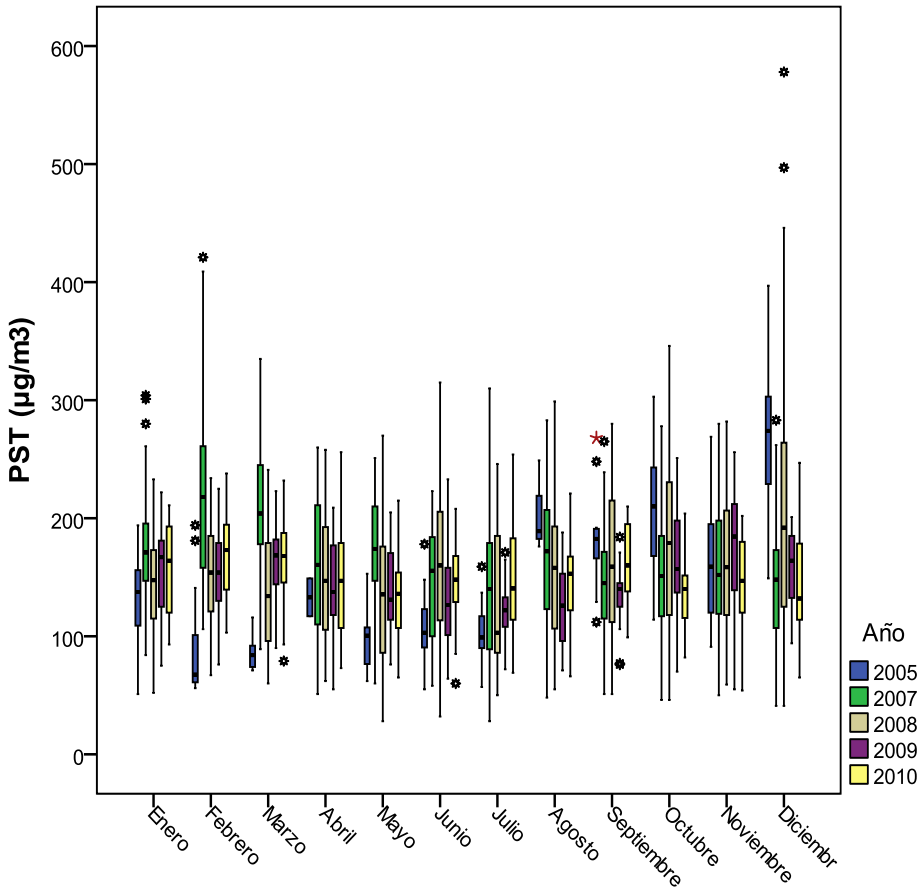


Figura 25. Gráfico de *Box-Plot* para PST por meses (desde base 24 horas) comparando año 2010 con años anteriores

Promedio Anual de PST

Se debe recordar que éste valor es el promedio geométrico de las concentraciones medias diarias en 365 días. La estación Carvajal reportó en el 2010 un promedio de concentración anual de 150 µg/m3 (Figura 27). Se debe tener en cuenta que durante todo el año se excedió el límite máximo establecido por la Resolución 601 de 2006 de 100 µg/m3.

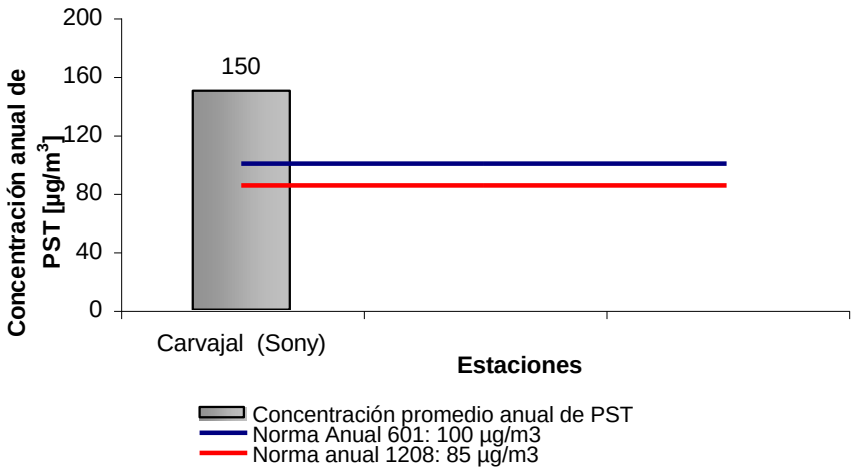


Figura 26. Concentración promedio anual de PST en el 2010 en la estación de Carvajal.

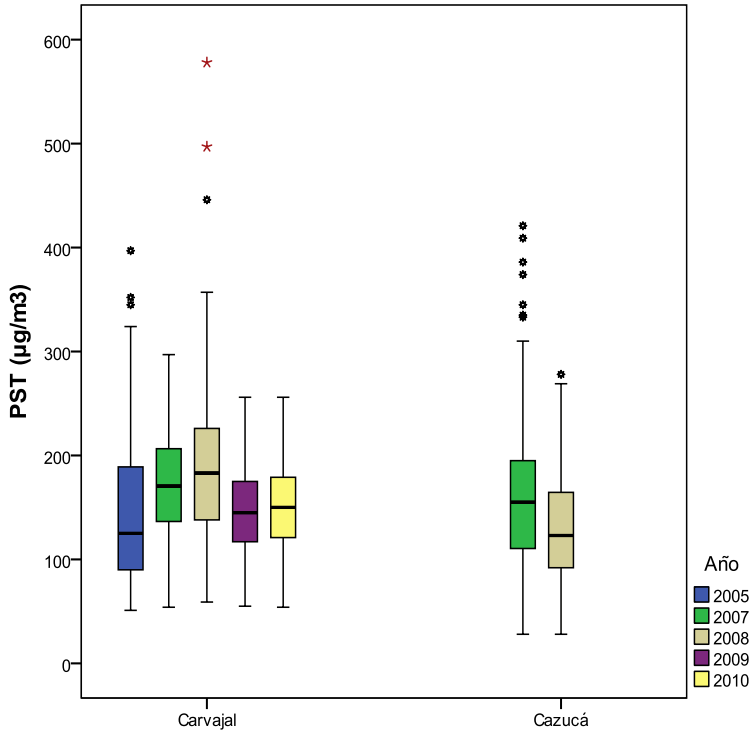


Figura 27. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por estaciones comparando año 2010 con años anteriores

La mediana (Figura 28) para el año 2010 tiene un leve incremento con el año anterior, es decir de 145 $\mu g/m^3$ para el 2009 pasa a 150 $\mu g/m^3$ para el 2010; también la poca variabilidad que presenta pues no presenta datos atípicos y los datos están concentrados alrededor de la mediana.

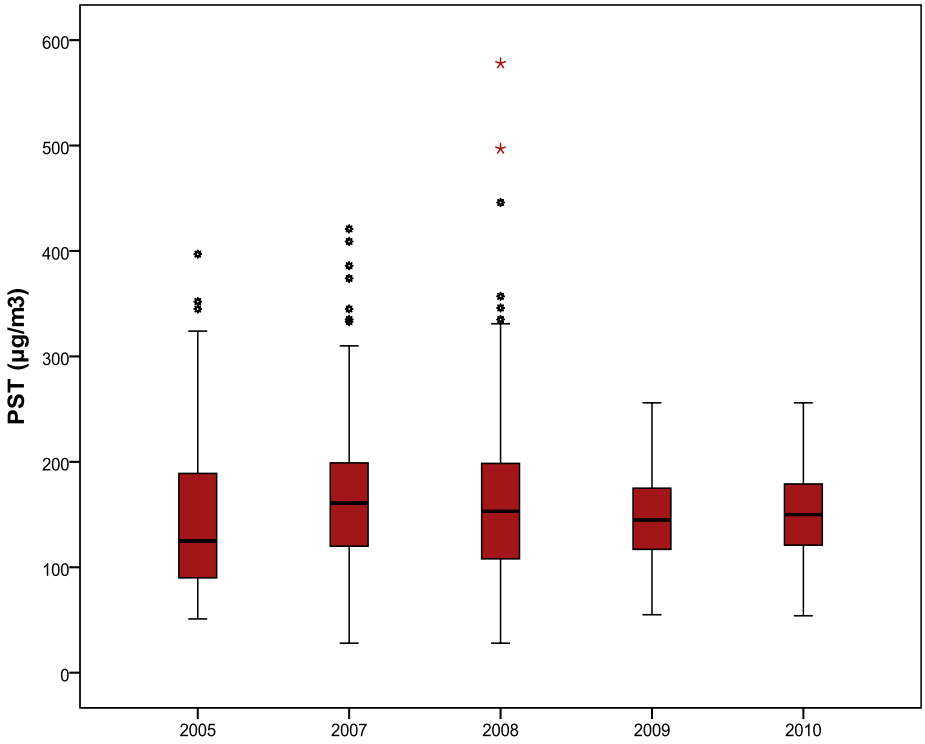


Figura 28. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por años

1.2. **Gases Contaminantes**

La RMCAB, además de medir el material particulado realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3), gases producto principalmente del uso de combustibles fósiles y de reacciones fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diesel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas. El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, y afecta pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual puede llegar a interferir sustancialmente en el proceso de transporte de oxígeno en el torrente sanguíneo.

El O_3 es un gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar. Es un oxidante fuerte, muy fácil de producir pero a la vez muy fácil de destruir; es el compuesto más representativo de los compuestos fotoquímicos. Sus efectos en el sistema respiratorio son de cuidado ya que es un gas altamente oxidante e irritante.

1.2.1. Comportamiento de la Concentración de SO2

Para analizar este contaminante, la RMCAB contó con 10 analizadores de dióxido de azufre (SO_2), ubicados según configuración mostrada en la Tabla 1. De estos equipos, tres se han visto afectados por reparación durante el 2010, éstos son los que corresponden a Carvajal, Chico Lago (estación clausurada desde el 14 de octubre de 2010) y Tunal. Por el proceso de puesta a punto de los anteriores equipos y el inicio de registro en mayo de 2010 de la estación Las Ferias, la representatividad de estas estaciones para el año es baja. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio anuales, horarias de 24 horas y de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 601 de 2006.

SO_2 en 3 horas

Durante el periodo analizado se obtuvieron 60916 (sesenta mil novecientos diez y seis) datos de concentraciones promedio horarias en 3 horas, que representan el 67% de los promedios posibles en el periodo. En la Tabla 7 se muestran los valores promedio y máximos de SO_2 obtenidos para promedios de 3 horas por estación, así como los días en los cuales se presentó este máximo. Para las representaciones gráficas se escogieron las estaciones que garantizaban más de un 75% de representatividad de los datos, en la Figura 29 se visualizan las concentraciones máximas y medias de cada una de las estaciones. El valor límite máximo permisible en la Resolución 601/06 (287 ppb) no fue excedido en ninguna oportunidad. El valor más alto de la Red registradas por la estación No. 3 Carvajal (Sony) y la media más alta se presentó en la Zona Industrial – E. Móvil

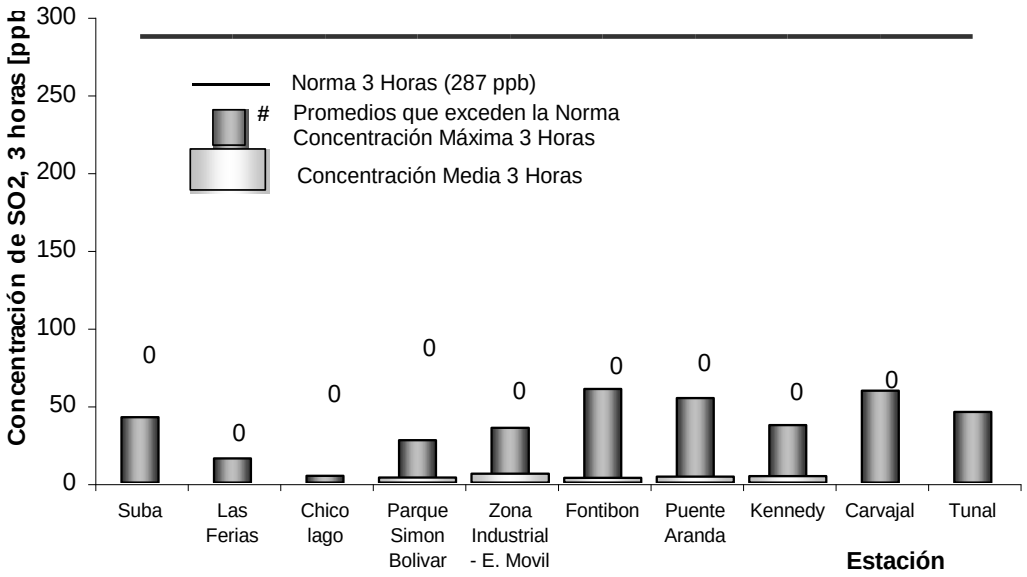


Figura 29. Concentración máxima de SO2 para 3 horas por estación durante el 2010

Tabla 7. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de SO_2 para 3 horas durante el año 2010, 601 Norma (Anual): 287 ppb.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Periodo de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	72%		42	23/11/2010 07:00
Las Ferias (Carrefour)	62%		15	16/04/2010 24:00
Chico lago (Sto.	63%		4	25/02/2010 10:00
Parque Simón Bolívar	80%	3	27	04/01/2010 09:00
Zona Industrial - Estación	77%	6	35	26/02/2010 04:00
Puente Aranda	91%	4	54	04/03/2010 10:00
Fontibón	81%	3	60	25/03/2010 09:00
Kennedy	80%	4	37	25/03/2010 09:00
Carvajal (Sony)	33%		59	18/01/2010 15:00
Tunal	58%		45	16/04/2010 09:00

SO_2 en 24 horas

Para el estudio de la concentración promedio horaria en 24 horas de SO_2, se contó con 62203 (sesenta y dos mil doscientos tres) promedios, cuya representatividad temporal es del 69%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 601/2006 (96ppb). Los mayores promedios de

cada una de las estaciones se reportan en la Tabla 8, junto con la fecha de ocurrencia del evento.

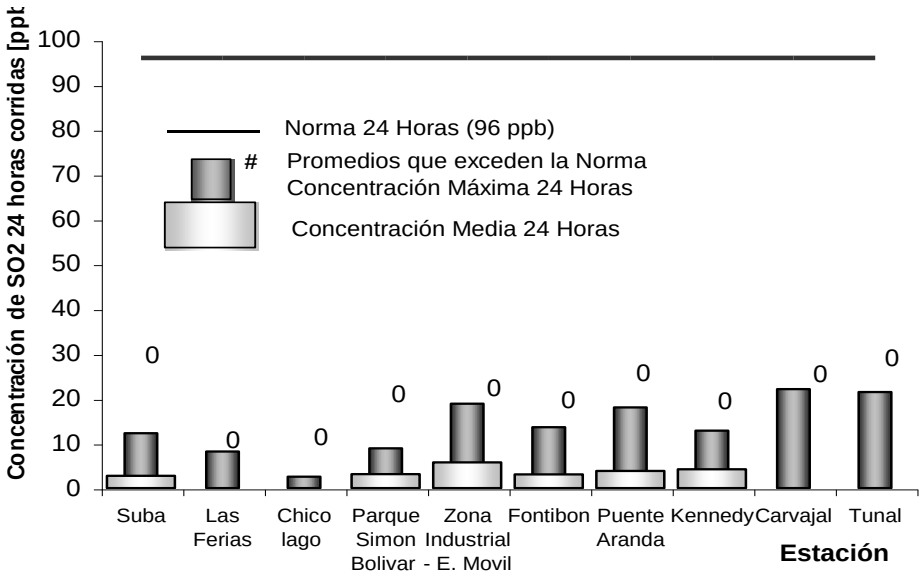


Figura 30. Concentración de SO_2 para 24 horas por estación durante el 2010

Para las representaciones gráficas se escogieron las estaciones que contaron con más de un 75% de representatividad de los datos, la Figura 30 muestra de manera gráfica las concentraciones máximas y medias de SO2 en cada una de éstas estaciones. Al igual que en los máximos de tres horas, la estación Zona Industrial presenta la mayor concentración promedio 24 horas.

Tabla 8. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de SO_2 para 24 horas durante el tercer trimestre de 2010

ESTACION	Representatividad	Promedio	Máximo [ppb]	Periodo de ocurrencia
Suba (Corpas)	75%	3	12	13/02/2010 21:00
Las Ferias (Carrefour)	63%		8	17/04/2010 07:00
Chico lago (Sto. Tomas)	64%		3	16/02/2010 06:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	83%	3	9	04/03/2010 03:00
Zona Industrial - Estación Móvil	77%	6	19	13/11/2010 13:00
Puente Aranda	93%	4	18	04/03/2010 16:00
Fontibón	81%	3	14	25/03/2010 18:00
Kennedy	82%	4	13	18/11/2010 17:00
Carvajal (Sony)	33%		22	13/02/2010 01:00
Tunal	59%		21	16/04/2010 11:00

Para el año 2010 se ha disminuido la cantidad de estaciones que monitorean el SO_2 por efectos de mantenimiento de equipos.

Revisado el histórico de datos se aprecia un cambio en los niveles de concentración desde 2009, que coincide con la modernización mediante la instalación de nuevos equipos marca THERMO en las estaciones Suba, Chico Lago, Fontibón y Puente Aranda, hacia el mes de mayo de 2009, por eso en los gráficos históricos se aprecia una mayor dispersión de los datos para 2009, por que involucra dos niveles distintos. La serie se expone en su totalidad, pero se advierte que se encuentra en estudio, para identificar si los niveles de concentración son correctos, en lo que sigue se omitirán entonces referencias distintas a las tendencias inscritas en cada serie y que puedan ser relacionadas con el 2010.

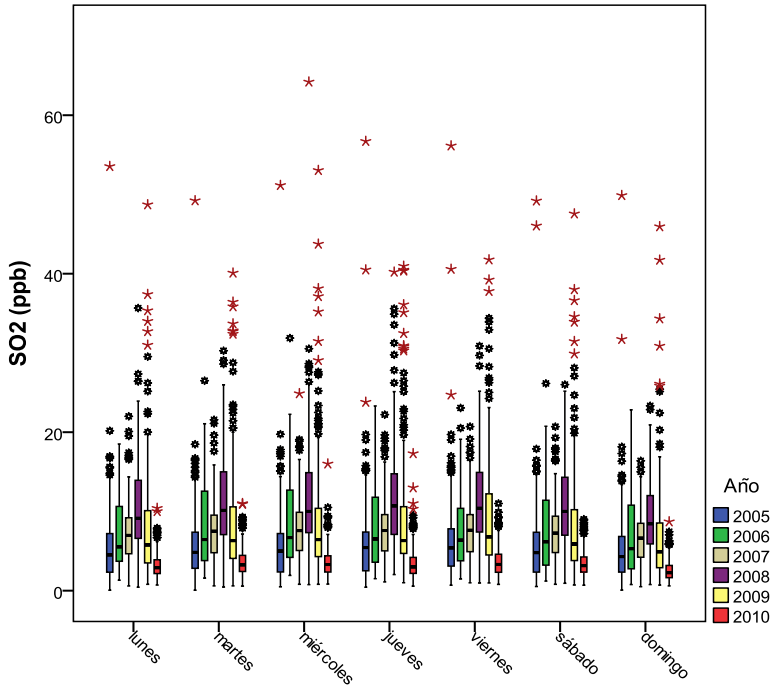


Figura 31. Gráfico de *Box-Plot* para SO2 por días de la semana (base 24 horas) comparando el año 2010 con años anteriores

El comportamiento del contaminante SO2 muestra una leve forma cóncava en el transcurso de la semana para el año 2010, registrando la mayor concentración los días miércoles y viernes con 3.30 y 3.31 ppb respectivamente, el fin de semana la concentración baja siendo el domingo el de menor emisión del contaminante en la semana.

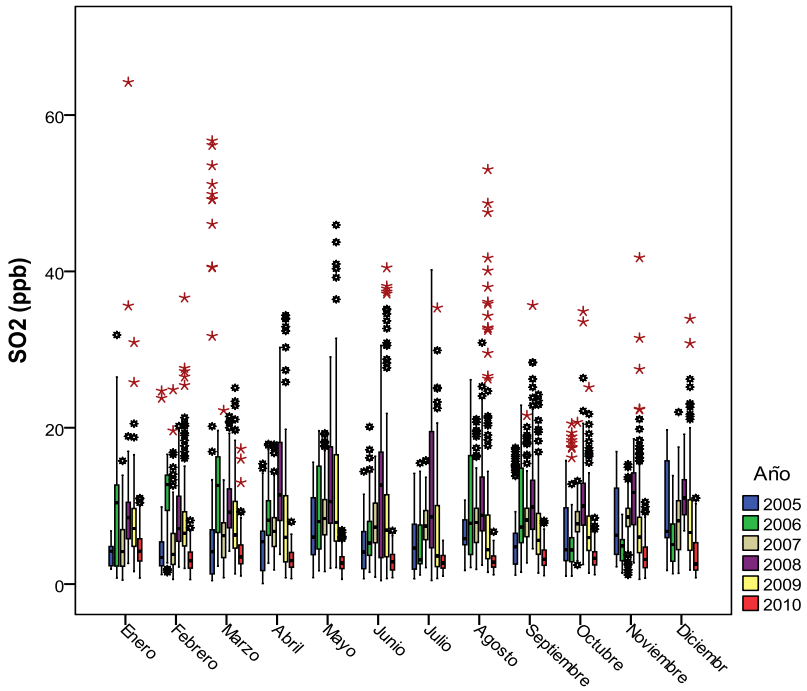


Figura 32. Gráfico de *Box-Plot* para SO2 24 horas por meses comparando Año 2010 con años anteriores

El comportamiento del contaminante SO2 en el transcurso de los meses para el año 2010 (Figura 32) presenta en general una leve tendencia decreciente para el primer semestre salvo por el mes de marzo que registró un crecimiento, para el segundo semestre se reporta una tendencia creciente pero en Diciembre tiene disminución en su mediana; como se menciono en la grafica anterior la disminución de su dispersión es notoria así como reducción de los datos atípicos y atípicos extremos, el mes que mayor concentración registrado es Enero y el de menor Mayo; con respecto años anteriores los cuatro primeros meses no siguen el patrón en los años 2005 a 2008 de tendencia lineal creciente, para los otros meses si se desarrolla dicha conducta.

SO_2 anuales

Durante el tercer trimestre de 2010 se obtuvieron 2053 (dos mil cincuenta y tres datos) de promedios anuales de la concentración de SO_2, ninguno de los cuales superó lo establecido en la Resolución 601 del 2006 (31ppb). Estos datos tienen una representatividad de 44%, en relación con los equipos instalados.

En la Figura 33 se muestran los promedios anuales del 2010 para cada una de las estaciones que contaron con representatividad.

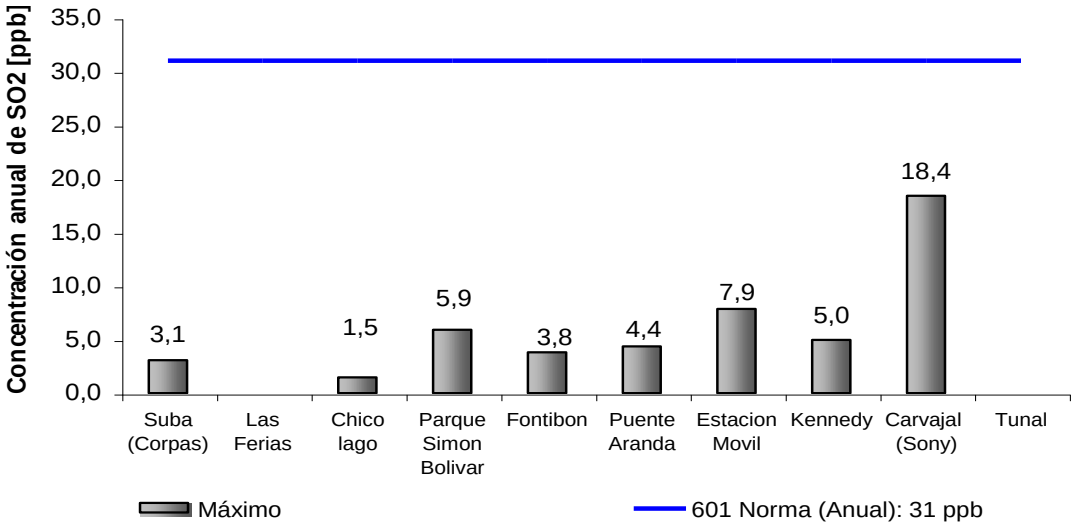


Figura 33. Máxima concentración promedio anual de SO_2 por estación durante el 2010.

En la Tabla 9 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales de los años 1998 hasta 2010, correspondientes a las estaciones que miden SO_2, calculadas el 31 de Diciembre de cada año. En la estación No. 12 Zona Industrial- E Móvil se presentó la mayor concentración promedio anual del SO_2.

Tabla 9. Concentraciones promedio anuales de SO_2 calculadas el 31 de Diciembre de cada año.

No	NOMBRE	Concentración en [ppb]												
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
11	Suba (Corpas)												4	3
6	Las Ferias			8	9	8	3	19	5		6	7		
10	Chico Lago	8	6	6	8	6	6	2	4	5	5	9		
5	Parque S.B.						18	6	9	6	6	7	6	3
2	Sagrado Corazón	5	7	6	4	4	6			4	4	4		
12	Zona Industrial- E Móvil													6
14	Fontibón		10	21	9	6	8	9	7	7	7	11		3
13	Pte. Aranda	28	25	28	25	13	11	17	6		5	9	4	4
9	Kennedy		20	26	13	7	3	18	6	3	3	8	5	4
3	Carvajal (Sony)	13	13	11	17	14	9	17		12	11	14	18	
7	Cazucá	29	19	27	16	21	15	11	17	7	14	14		
4	Tunal												8	

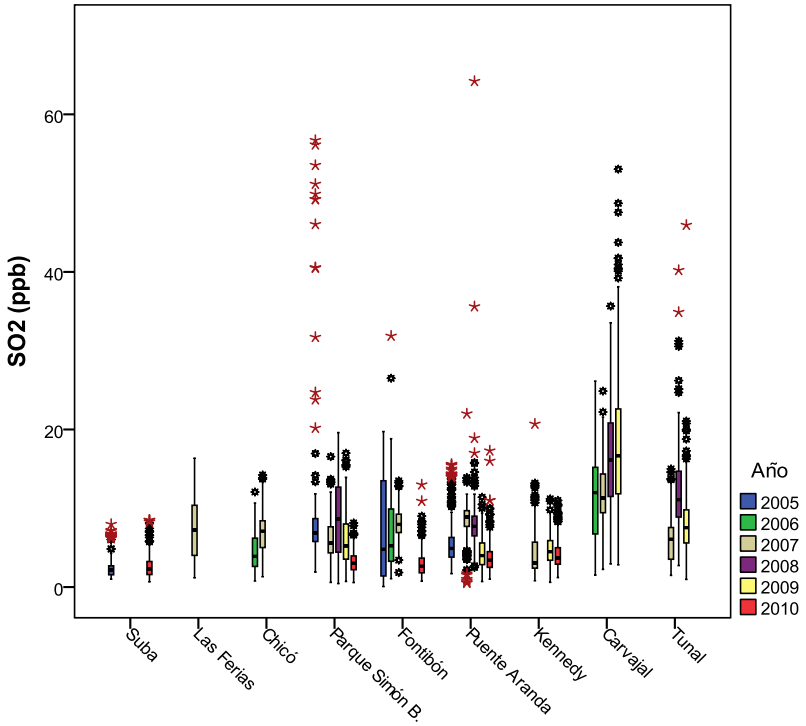


Figura 34. Gráfico de *Box-Plot* para SO2 24 horas por estaciones comparando año 2010 con años anteriores

El comportamiento general del contaminante se vuelve a ratificar en las graficas de las estaciones (Figura 34) donde su mediana y dispersión son muy bajas con respecto años anteriores; para el año 2010 cinco estaciones registraron el porcentaje de datos mayor a 75% de los datos por ellos entraron en el informe, siendo la estación de Kennedy la que registra un leve nivel de superioridad en cuento a su mediana por ello es la de mayor registro, las otras estaciones presentan un comportamiento similar; la estación de Puente Aranda presenta el mayor registro en cuanto datos atípicos y *outliers* extremos, la disminución de estos datos atípicos en el último año comparado con años anteriores es sensible.

Como se advirtió el SO2 para el 2010 muestra un comportamiento excepcional (ver Figura 35), que sugiere que tienen incidencia la influencia de la modernización de equipos a mediados de 2009 y la insuficiencia de datos de la estación de Carvajal, que normalmente aporta los datos altos de la serie, con lo cual se muestra en relación con años anteriores, una mediana y dispersión de los datos bajas. La situación descrita tiene efectos en el año 2009 donde se aprecia una gran presencia de datos atípicos y *outliers* extremos que hayan explicación en parte, en el cambio reseñado que obró a mediados de ese año. La relación en la serie histórica se reevaluará una vez se verifique la situación de los datos históricos.

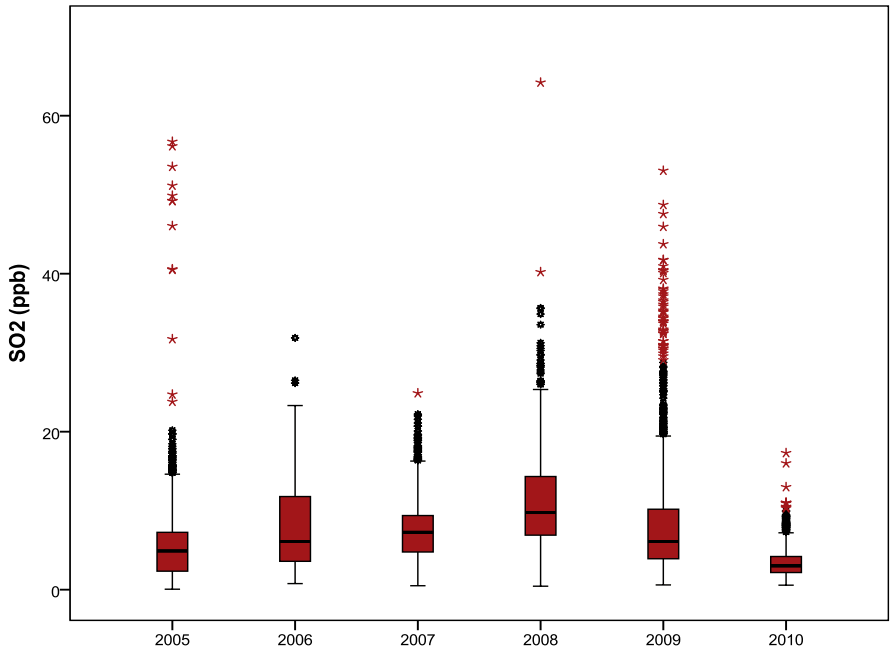


Figura 35, Gráfico de *Box-Plot* para SO2 24 horas por años.

1.2.2. Comportamiento de la Concentración de NO2

En el año 2009 se calcularon promedios horarios, de 24 horas y anuales de concentración de NO_2 para las estaciones configuradas en la Tabla 1. Durante el año 2008 se adquirieron cinco analizadores nuevos instalados en las estaciones No. 3 Carvajal (Sony), No. 4 Tunal, No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, en el 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones No. 11 Suba, No. 5 Parque Simón Bolívar y en marzo de 2010 se inicia registro en la estación No. 9 Kennedy..

NO_2 1 hora

Durante el periodo analizado se obtuvieron 68373 (sesenta y ocho mil trescientos setenta y tres) datos de promedios horarios, con una representatividad del 77% afectada especialmente por la representatividad de las estaciones de Guyamaral, Zona Industrial – E. Móvil y Fontibón que se sometieron a mantenimiento correctivo y Kennedy que inicia en el mes de marzo. Se registraron 6 promedios horarios superiores a la norma (106 ppb Resolución 601 2006), como se observa en la figura 36. Además, en esta gráfica se pueden apreciar los valores de concentración máxima horaria presentada en cada una de las estaciones y las medias; estas últimas no superaron el 25% de la norma. Los días en que ocurrieron los máximos promedios horarios en cada estación se presentan en la Tabla 10.

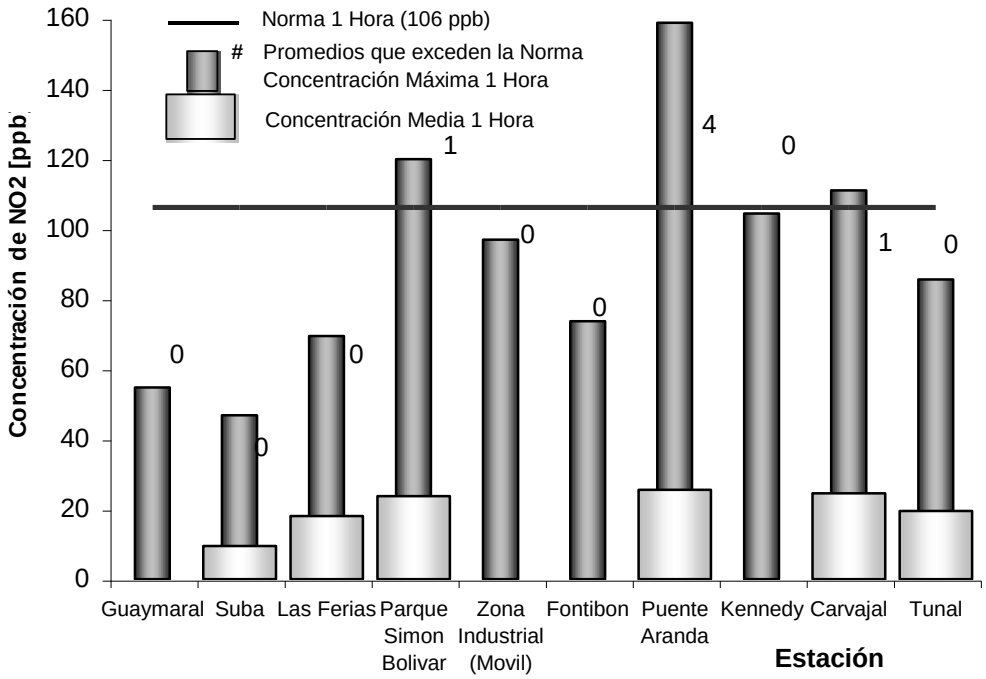


Figura 36. Concentración máxima de NO_2 para 1 hora por estación durante el 2010.

Tabla 10. Día y hora de ocurrencia de los máximos promedios horarios de NO_2 durante el 2010.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio	Máximo, Norma (1 hora): 106 ppb	Periodo de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	68%		55	07/10/2010 14:00
Suba	97%	9	47	29/11/2010 17:00
Las Ferias	82%	18	69	04/03/2010 09:00
Parque Simón Bolívar	93%	24	120	25/02/2010 10:00
Zona Industrial (Móvil)	56%		97	01/10/2010 09:00
Fontibón	63%		74	29/09/2010 10:00
Puente Aranda	90%	26	159	04/03/2010 10:00
Kennedy	69%		104	30/09/2010 18:00
Carvajal	84%	25	111	04/03/2010 09:00
Tunal	79%	19	86	23/10/2010 09:00

NO_2 en 24 horas

Para el 2010 se calcularon **64720 (**sesenta y cuatro mil setecientos veinte) datos de promedios 24 horas de NO_2, que corresponden a una representatividad del 77%. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida para NO_2 en medias móviles de 24 horas (80 ppb) como se observa en la
; además se observa que las estaciones del centro (P. Simón Bolívar) y sur occidente (Fontibón y Carvajal), presentan las concentraciones medias más altas del año, las cuales se encuentran por debajo del 40% del valor de la norma. En la Tabla 11 se reportan éstos promedios 24h por estación, las concentraciones máximas y el día en que ocurrieron.

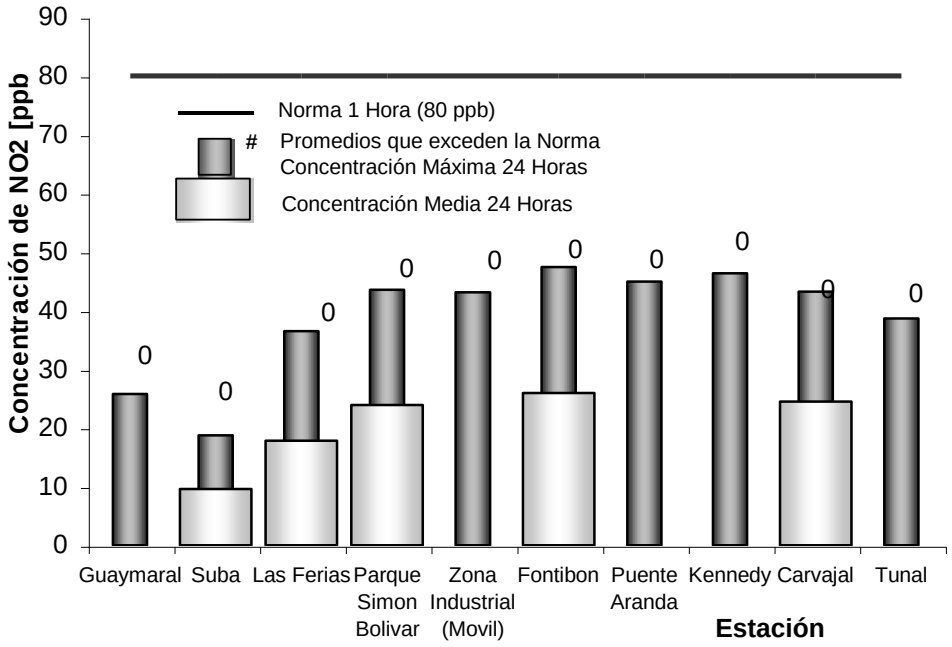


Figura 37. Concentración máxima de NO_2 para 24 horas por estación durante el 2010

Tabla 11. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de NO_2 para 24 horas durante el 2010.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio	Máximo Norma (24 horas): 80 ppb	Periodo de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	63%		26	29/12/2010 07:00
Suba	86%	10	19	29/09/2010 05:00
Las Ferias	79%	18	36	08/03/2010 19:00
Parque Simón Bolívar	91%	24	44	26/02/2010 07:00
Zona Industrial (Móvil)	53%		43	29/09/2010 13:00
Fontibón	88%	26	47	30/09/2010 08:00
Puente Aranda	57%		45	12/10/2010 12:00
Kennedy	65%		46	30/09/2010 20:00
Carvajal	82%	24	43	24/10/2010 08:00
Tunal	75%		39	24/10/2010 05:00

El comportamiento del contaminante NO2 para el 2010 (Figura 38) presenta un forma cóncava con su máximo nivel de concentración el día martes 22.07 ppm de ahí en adelante presenta decrecimiento con un pequeño salto el viernes y luego vuelve a su curso normal de decrecimiento hasta llegar al más bajo el domingo con 16.7 ppm; comparado con el año anterior se presenta un alza en el contaminante para todos los días de la semana, su dispersión también registra aumento y se redujo la presencia de datos atípicos y *otuliers* extremos.

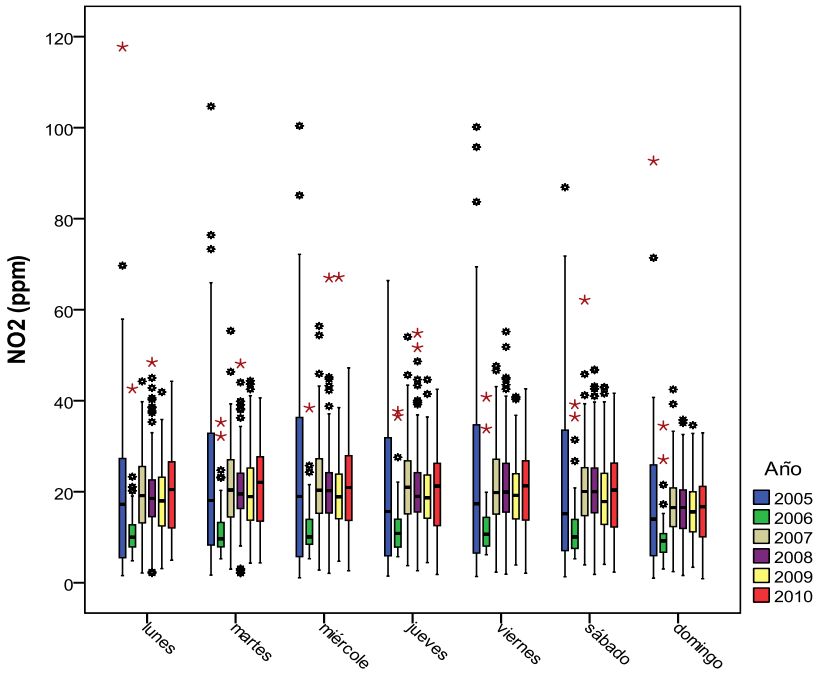


Figura 38, Gráfico de Box-Plot para NO2 por días de la semana (base 24 horas) comparando año 2010 con años anteriores.

Como se observa en la Figura 39 este contaminante se encuentra bien definido el comportamiento sinusoidal el cual para el primer semestre se registra decrecimiento y para el segundo un crecimiento donde el punto de inflexión se encuentra en el mes de Junio; revisando el registro de la mediana del 2010 con respecto al año anterior se refleja que en casi todos los meses se presentó incremento salvo en algunos meses del segundo semestre estos son Agosto, Octubre y Diciembre; el contaminante registraba descenso en su tendencia desde el 2007 pero para el último año se incrementó tanto en su mediana como en su dispersión donde sí se noto disminución es en los datos atípicos y *outliers* extremos.

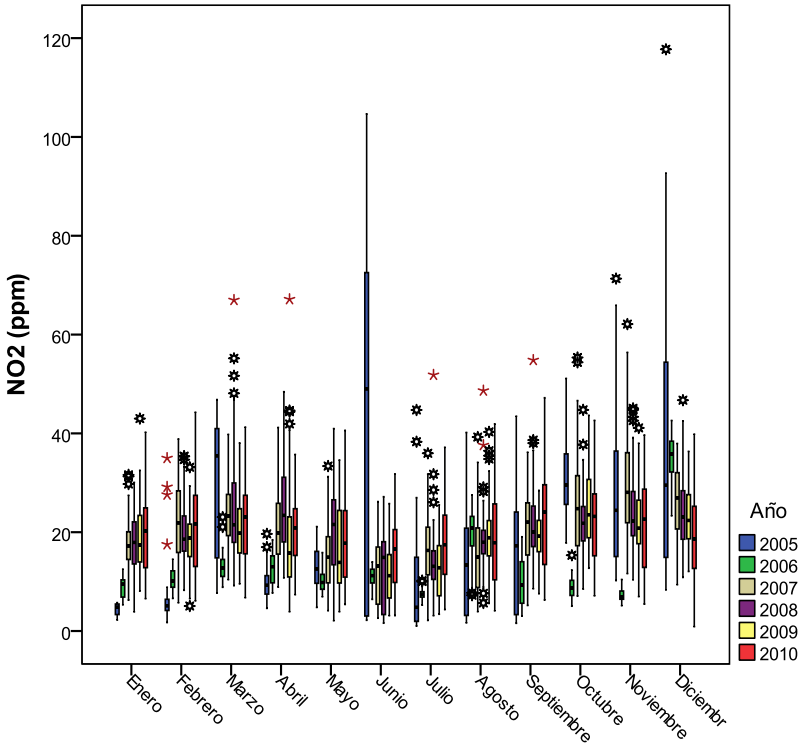


Figura 39. Gráfico de *Box-Plot* para NO_2 24 horas por meses comparando Año 2010 con años anteriores.

Promedio Anual de NO_2

Durante el 2010 se obtuvieron 1742 (un mil setecientos cuarenta y dos) datos de promedios anuales de la concentración de NO_2, ninguno de los cuales superó lo establecido en la Resolución 601 del 2006 (53 ppb). Estos datos tienen una representatividad de 45% atendiendo que los equipos de Suba y Kennedy iniciaron a funcionar respectivamente en mayo de 2009 y marzo de 2010, lo cual baja la representatividad para este tipo de promedios.

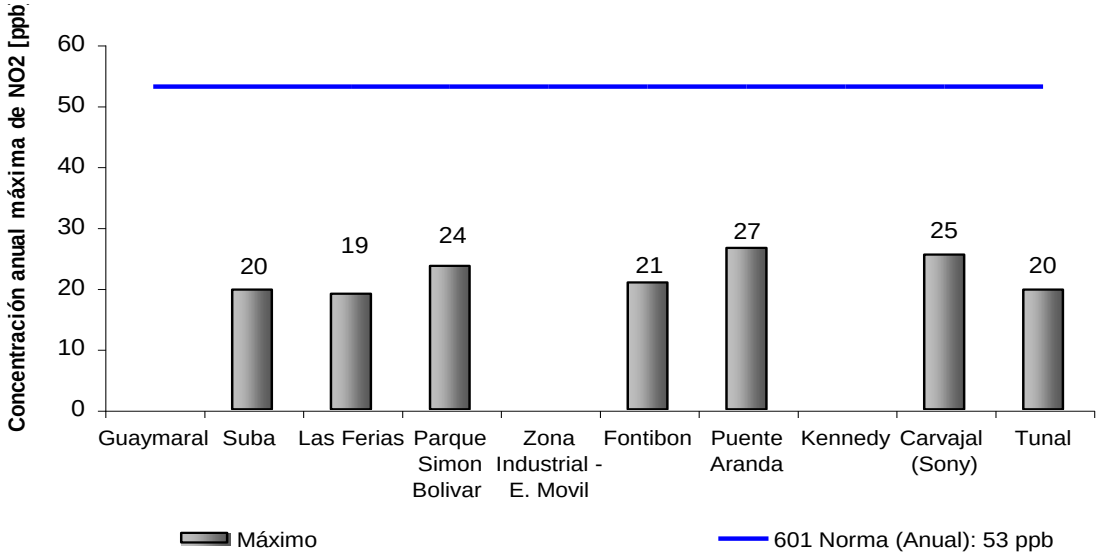


Figura 40. Concentración promedio anual de NO_2 por estación durante el 2010

Ninguno de los promedios anuales superó la norma anual establecida en 53 ppb. Sólo las estaciones de Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda y Carvajal presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. En la Figura 40 se muestran los promedios anuales del 2010 para cada una de las estaciones.

Tabla 12. Concentraciones de NO_2 – Promedios anuales, calculado a 31 de diciembre de 2010

SECTOR	No	NOMBRE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Norte	8	Guaymaral				*10*	8	6	*6*						
	1	Usaquén	**12**	**8**	**9**	**7**		*12*							
Noroccidente	11	Suba	8	5	**5**			*12*	*12*	**16**					10
	6	Las Ferias			***4***	**16**	**9**	17		***21***	12				18
		Engativá	***7***	9											
Centro	10	Chico Lago	**24**	**20**	**13**	**20**	**19**	16	*4*	**6**					
	5	Parque Simón Bolívar	19	22				*4*	6	**11**	15	13	21	22	24
		Universidad Nacional	**18**	**21**	24	23	35								
	2	Sagrado Corazón	***14***	***21***	***21***	***20***	***19***			22					
	12	Zona Industrial – E. Móvil													
	12	Zona Industrial – CADE	**18**	**7**	7	8	**11**								
sur occidente	14	Fontibón		19	14	**14**	**12**	*1*	5	**4**		19	20	21	
	13	Puente Aranda		***27***	**20**	19	**19**	*5*		**36**		27		18	26
		olaya	***16***	21	19	14									
	9	Kennedy													
	3	Carvajal	**19**	**18**	**16**	**49**		*1*	*4*	**1**				25	25

SECTOR	No	NOMBRE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	4	Tunal													20
		central de mezclas				7	8								
	7	Cazucá	**18**	**14**	**17**	***14***	***7***	*3*							

En la Tabla 12 se aprecia que en la estación No. 13 Puente Aranda se presentó la mayor concentración promedio anual del NO para el 2010. En esta tabla los cuadros en gris refieren promedios reportados con representatividad inferior al 75%

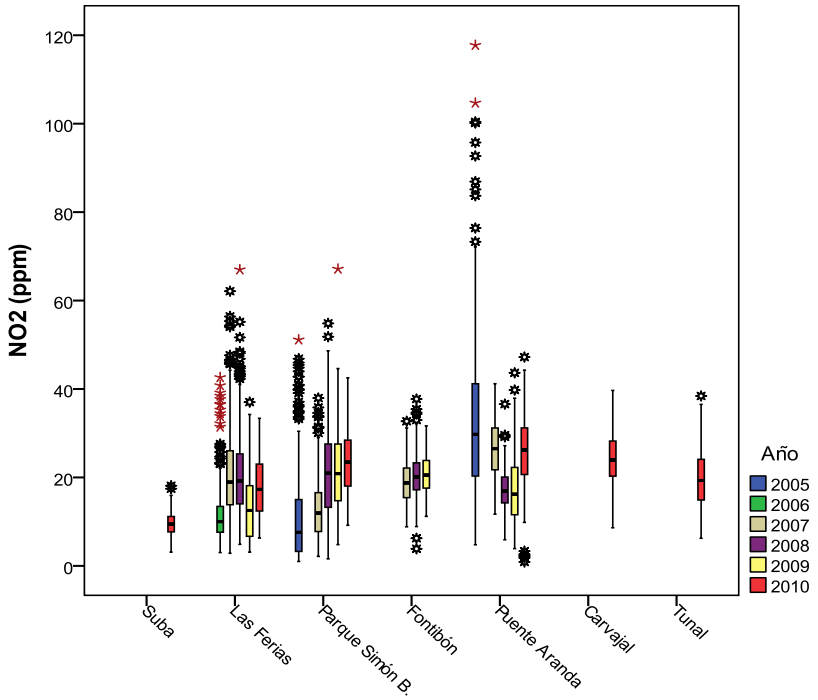


Figura 41. Gráfico de *Box-Plot* para NO2 por estaciones comparando año 2010 con años anteriores (base 24 horas).

La estación que mejor comportamiento registra por su baja concentración y dispersión en el último año es Suba (ver Figura 41), las demás presenta una mediana superior siendo Puente Aranda la de mayor registro; en las estaciones que se puede hacer comparación con el 2009 se muestra aumento de la concentración como se ha registrado en las anteriores graficas, también se corrobora la disminución de datos atípicos y *otuliers* extremos.

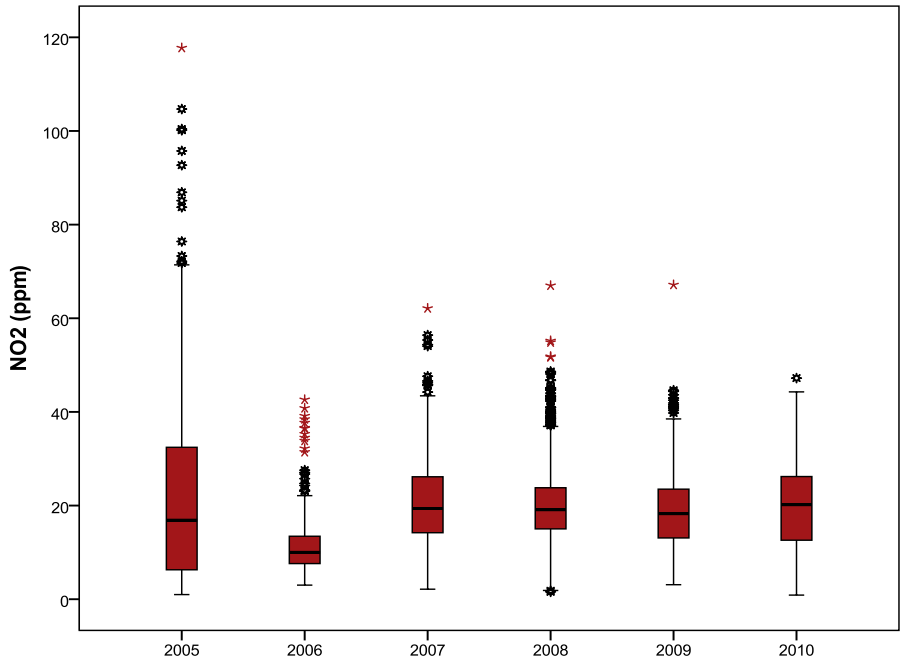


Figura 42. Gráfico de *Box-Plot* para NO_2 24 horas por años.

En la Figura 42 se resume el comportamiento general del contaminante, se venía presentando una baja en la concentración desde el 2007 hasta el 2009, ya para el 2010 se registro aumento tanto en su mediana como en su dispersión, lo contrario pasó con respecto a los datos atípicos puesto que estos disminuyeron conforme pasaban los años y en el último año se registró tan solo un dato atípico

1.2.3. Comportamiento de la Concentración de CO

En el 2010 fueron reportaron datos de promedios horarios y 8 horas de CO por las estaciones indicadas en la Tabla 1. El registro del contaminante en las Estaciones de Chicó Lago y Sagrado Corazón se suspendió por remodelación de la sede y en la estación de San Cristóbal se inicia a registrar desde el mes de noviembre y entra en observación operativa. El índice de captura de datos para este contaminante fue del 85% respecto a los que se podrían obtener si no se presentaran fallas en la recolección de la información

CO 1 hora

Se obtuvieron 76924 (setenta y seis mil novecientos veinticuatro) datos de promedios horarios de CO, respecto al año representa el 66% atendiendo el retiro de equipos e inicio de uno nuevo. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (35 ppm Res. 601 2006) y todos los promedios se registraron por debajo del 50% de la norma. Esto se evidencia en la Figura 43 donde además se observa que la estación Carvajal registró los mayores valores de concentración promedio de horarios de CO. En la Tabla 13 se presenta el día y hora en que ocurrieron los máximos promedios horarios por estación; la estación Fontibón presenta el mayor valor de estos promedios.

Tabla 13. Día y hora de ocurrencia de los promedios máximos horarios de CO durante el 2010.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio	Máximo Norma (Horario): 35 ppb	Periodo de ocurrencia del Máximo
Usaquén	32%		2,8	01/12/2010 20:00
Las Ferias	85%	1,1	5,9	18/12/2010 23:00
Chico lago	75%	1,1	3,9	08/02/2010 09:00
Parque Simón Bolívar	93%	1,0	5,8	17/11/2010 21:00
Sagrado Corazón	44%		4,1	15/02/2010 09:00
Zona Industrial – E. Móvil	82%	0,9	4,1	16/12/2010 21:00
Fontibón	81%	0,6	11,7	20/10/2010 15:00
Puente Aranda	92%	0,8	5,8	08/12/2010 23:00
Kennedy	95%	1,8	5,3	04/12/2010 23:00
Carvajal	94%	1,8	8,7	07/05/2010 02:00
Tunal	93%	0,8	5,1	16/12/2010 22:00

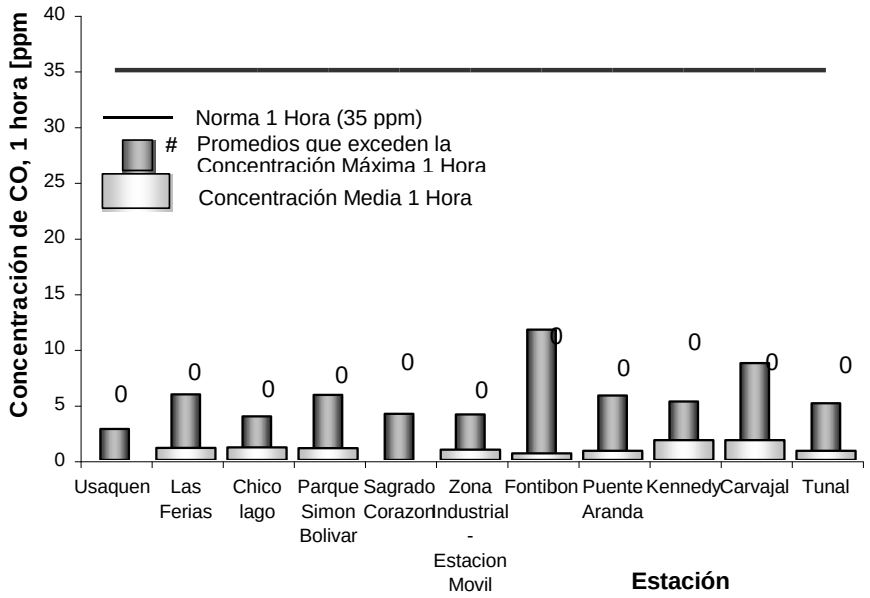


Figura 43. Concentraciones máximas y medias horarias de CO durante el 2010

CO 8 horas

Para el 2010 se calcularon **75504 (**setenta y cinco mil quinientos cuatro) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 66% de los datos de promedio anuales teniendo en cuenta los equipos instalados. Durante el periodo analizado no se presentaron excedencias a la norma (8,8 ppm Resolución 601 2006). La estación No. 14 Fontibón registró las menores concentraciones promedio de 8 horas, mientras que las estaciones de Kennedy y Carvajal presentaron la mayor concentración promedio (Ver Figura 44). La Tabla 14 presenta el periodo en que ocurrieron los máximos datos de este parámetro.

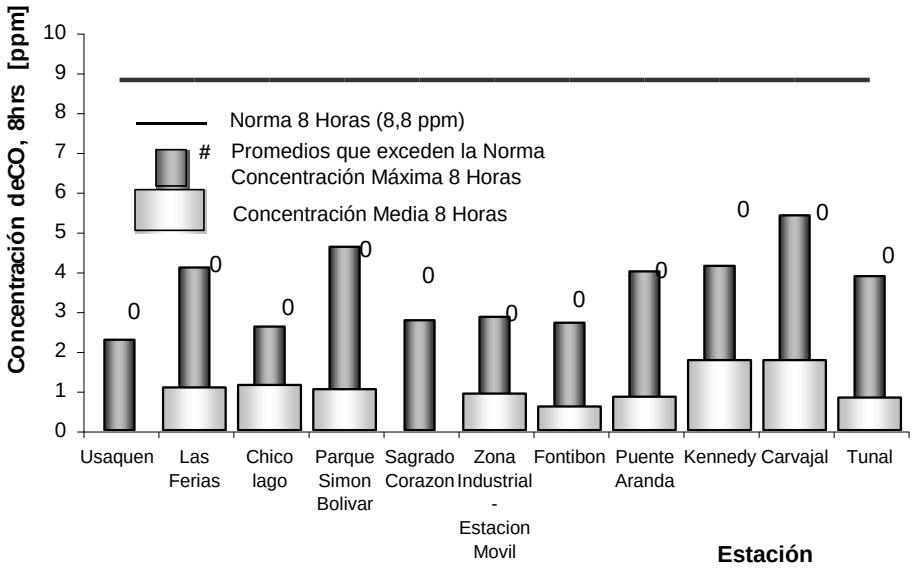


Figura 44. Concentración máxima de CO para 8 horas por estación durante el 2010.

Tabla 14. Día y hora de ocurrencia de los máximos promedios 8 horas de CO durante el 2010.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio	Máximo Norma (8 Horas): 8,8 ppb	Periodo de ocurrencia del Máximo
Usaquén	31%		2,3	01/12/2010 23:00
Las Ferias	84%	1,1	4,1	19/12/2010 03:00
Chico lago	75%	1,1	2,6	25/05/2010 15:00
Parque Simón Bolívar	91%	1,0	4,6	20/11/2010 02:00
Sagrado Corazón	43%		2,8	15/02/2010 16:00
Zona Industrial – E. Móvil	79%	0,9	2,9	16/12/2010 24:00
Fontibón	77%	0,6	2,7	19/12/2010 03:00
Puente Aranda	89%	0,8	4,0	09/12/2010 02:00
Kennedy	95%	1,8	4,1	04/12/2010 23:00
Carvajal	94%	1,8	5,4	07/05/2010 07:00
Tunal	90%	0,8	3,9	17/12/2010 01:00
San Cristóbal	13%		1,8	09/12/2010 11:00

Análisis de tendencia

Los días de la semana para el contaminante CO presenta una leve forma sinusoidal que inicia el lunes con alza (Figura 45), el miércoles disminuye hasta el jueves y el viernes vuelve a subir, para el fin de semana su disminución es evidente siendo el domingo el día de menor concentración registrada; los picos en la onda lo registra el martes y viernes como ya se había comentado con 1.02 *ppm*, y los valles el jueves y domingo con 0.95 y 0.79*ppm* respectivamente; respecto al año anterior los primeros días de la semana aumentó en el 2010 con respecto al año anterior el lunes, martes y miércoles y disminuyó para los otros días, cabe aclarar que su aumento o reducción fue muy leve; la dispersión de los datos para el último año muestra una susceptible reducción salvo el miércoles, pero en consecuencia se elevó el registro de datos atípicos.

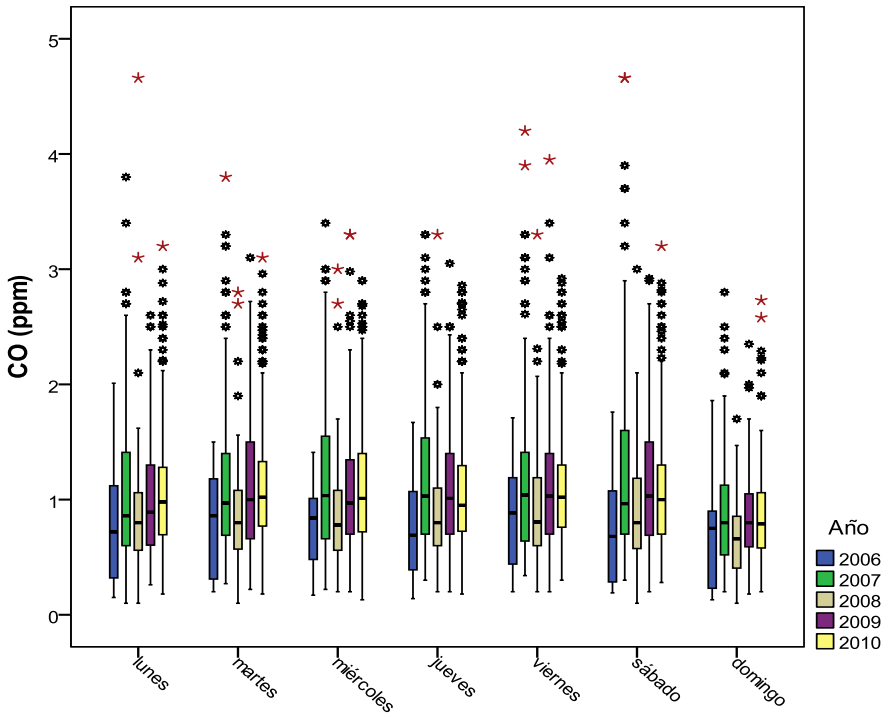


Figura 45. Gráfico de *Box-Plot* para CO 24 horas por días de la semana comparando año 2010 con años anteriores

Los meses en el año tienen un comportamiento sinusoidal pero para este contaminante los periodos son más cortos como se ve en la Figura 46, los meses que registran mayores concentraciones en el 2010 son Abril, Noviembre y Diciembre con 1.06, 1.13 y 1.18 ppm respectivamente, adicionalmente los de menor concentración son Marzo y Junio con 0.86 y 0.80 ppm; así como al realizar comparaciones en los días de la semana con el año anterior, los meses tienen su comportamiento particular, Enero, Abril, Julio, Agosto, Septiembre, Noviembre y Diciembre registran incremento con respecto al 2009; la dispersión para el 2010 en general se redujo exceptuando a los meses de Agosto y Septiembre que se incrementó; los datos atípicos y atípicos extremos siguen siendo predominantes.

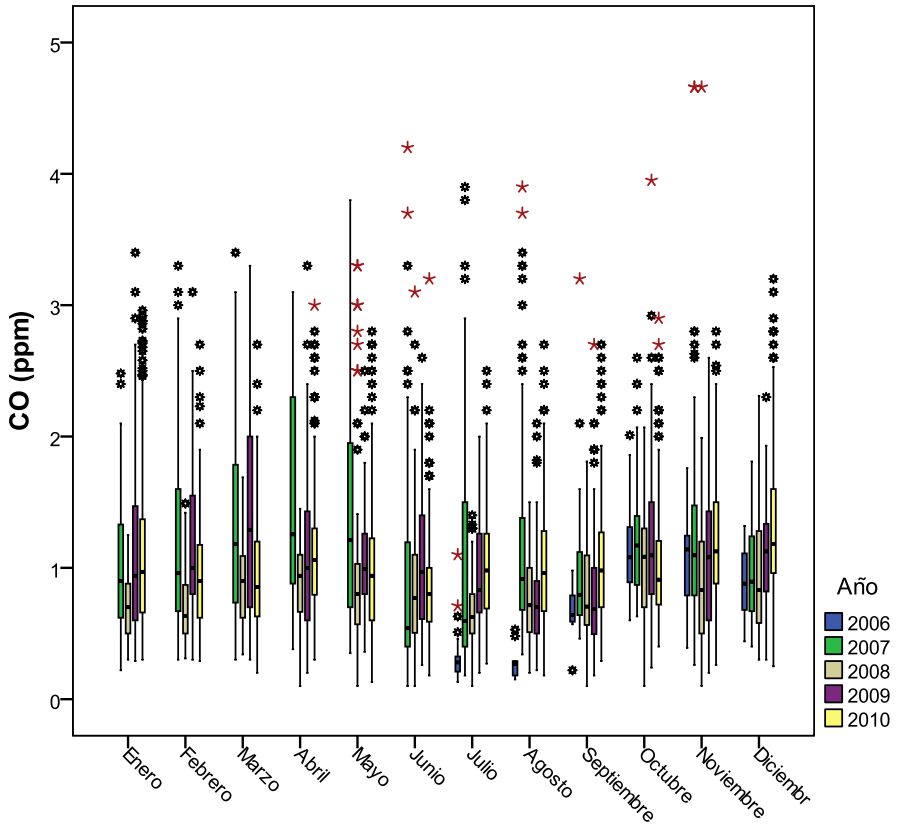


Figura 46. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por meses comparando Año 2010 con años anteriores

Por estaciones (ver Figura 47) para el contaminante CO no se tienen en cuenta los datos en las estaciones de Kennedy, Sagrado corazón, Tunal y Chicó para el año 2009 por que las series están siendo analizadas técnicamente; la estación con mayor registro de concentración es Carvajal con 1.70 *ppb* y la de menor es Fontibón con 0.60ppb que se mantuvo igual al 2009 pero con una dispersión mucho menor, la estación de Kennedy tiene muchos datos extremos atípicos; las estaciones que tienen registro en el 2009 subieron la concentración para el 2010.

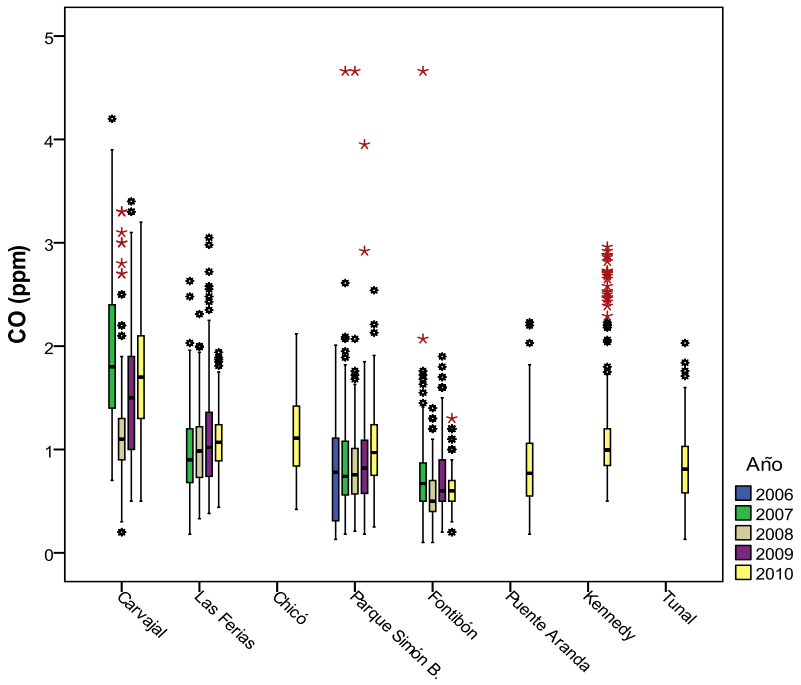


Figura 47. Gráfico de *Box-Plot* para CO 24 horas por estaciones comparando Año 2010 con años anteriores

El contaminante CO no presenta una tendencia definida a través de los años, puesto que se alterna su crecimiento y descenso según la Figura 48, el año 2010 registra un leve crecimiento con respecto al año anterior, su dispersión es menor pero se registra *outliers* y datos extremos atípicos.

Tabla 15. Medianas del promedio diario del contaminante CO en los años 2006 - 2010

Año	2006	2007	2008	2009	2010
Mediana	0,78	0,96	0,77	0,94	0,97

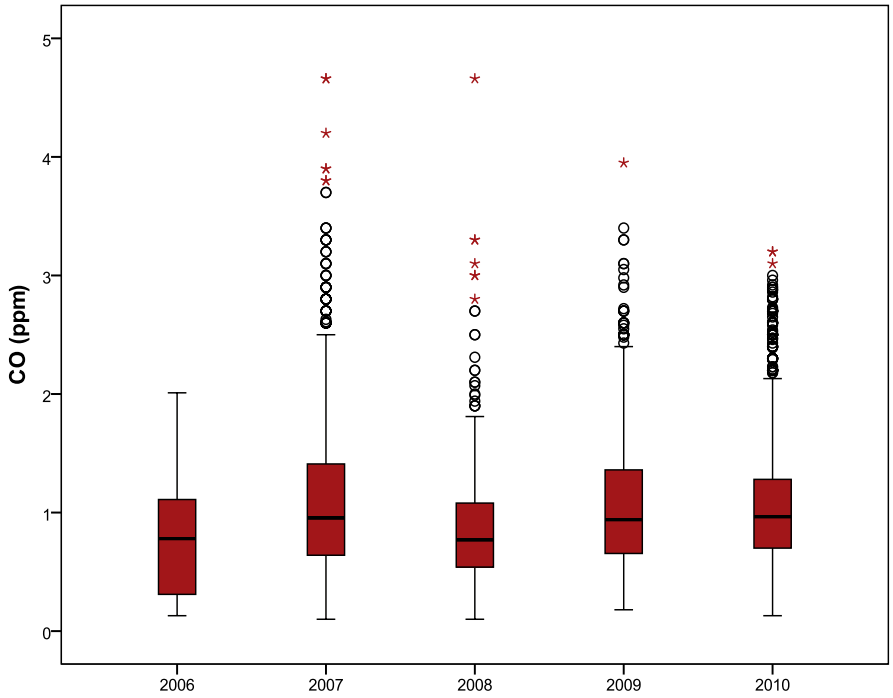


Figura 48. Gráfico de *Box-Plot* para CO 24 horas por años

1.2.4. Comportamiento de la Concentración de O3

La RMCAB contó con doce (12) equipos para monitorear el ozono durante el 2010, ubicados según se reporta en la Tabla 1. En 2008 se instalaron siete (7) nuevos equipos en las estaciones No. 1 Usaquén (Bosque), No. 3 Carvajal (Sony), No. 5 Parque Simón Bolívar (IDRD), No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 10 Chico Lago (Santo Tomás), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, por lo que respecto a estas estaciones no se cuentan con muchos datos históricos.

Máximos en 1 hora

Durante el 2010 se calcularon 72794 (setenta y dos mil setecientos noventa cuatro) promedios de 1 hora de O_3, los cuales tienen una representatividad del 71%. Los promedios máximos obtenidos en cada una de las estaciones se presentan en la Tabla 16, junto con el día y hora en que ocurrieron. A excepción de la estación Móvil, todas las estaciones presentaron promedios máximos por encima de la norma y corresponden a 0,8% del total calculado. La concentración media horaria y el número de promedios que excedieron la norma en cada estación se presentan en la Figura 49.

Tabla 16. Día y hora de ocurrencia de los promedios máximos horarios de O_3 durante el 2010.

Número y nombre de la Estación	Representatividad Temporal	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	601 Norma (Horario): 61 ppb	ocurrencia del máximo
Guaymaral (Escuela)	61%		84	61	11/02/2010 15:00

Número y nombre de la Estación	Representatividad Temporal	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	601 Norma (Horario): 61 ppb	ocurrencia del máximo
Usaquén (Bosque)	84%	22,8	133	61	09/09/2010 16:00
Suba (Corpas)	45%		102	61	27/02/2010 15:00
Las Ferias (Carrefour)	89%	12,1	106	61	13/02/2010 14:00
Chico lago (Sto. Tomas)	74%		105	61	14/04/2010 14:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	83%	13,8	94	61	13/02/2010 14:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	38%		127	61	01/01/2010 13:00
Zona Industrial - Estación Móvil	60%		57	61	16/02/2010 13:00
Fontibón	79%	13,8	83	61	13/02/2010 13:00
Puente Aranda	46%		71	61	01/01/2010 13:00
Carvajal (Sony)	82%	9,7	81	61	01/01/2010 12:00
Tunal	76%	11,1	81	61	01/01/2010 12:00

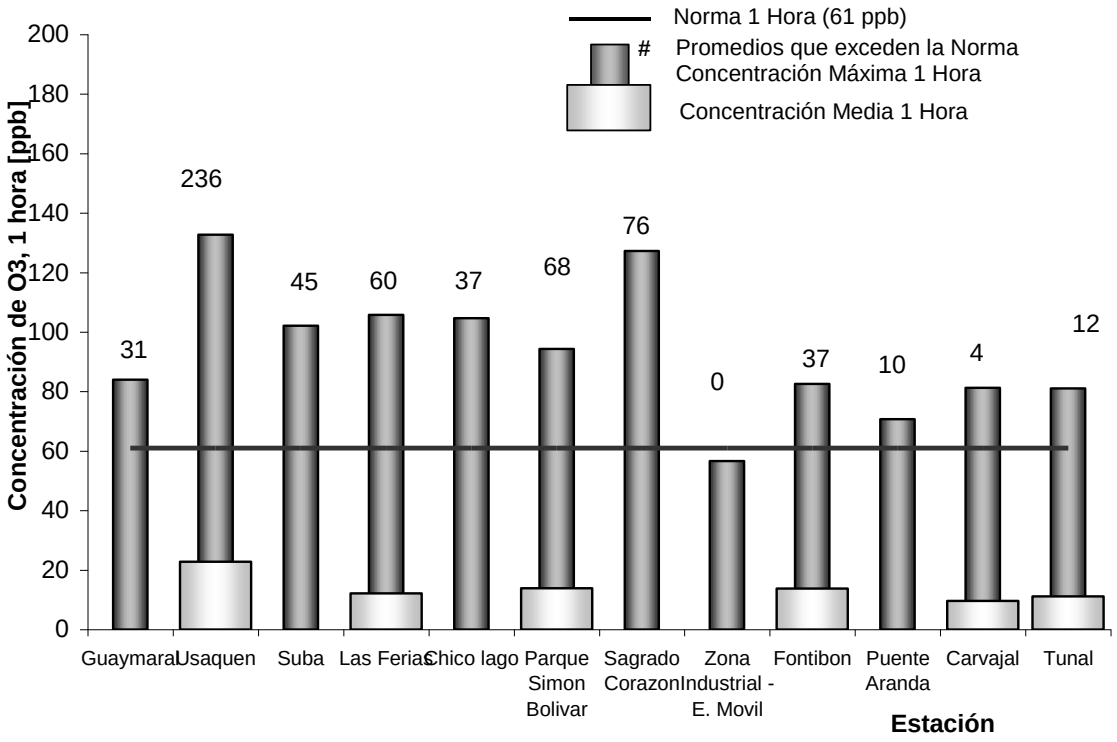


Figura 49. Concentración media y máxima horaria de O_3 por estación durante el 2010.

Máximos en 8 horas

Para reportar la concentración de O_3 para un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 83975 promedios que equivalen al 68% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el año. Se obtuvo el 2,7% de los datos por encima de la norma (41 ppb Res. 601 2006). Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrió el máximo por estación se presentan en la Tabla 17. Como se aprecia el mayor número de

excedencias se concentran en el sector norte, noroccidental y central, el mayor número se registraron en la estación de Usaquén con 915. Este número de excedencias se reducen a 131 si el nivel de comparación es 59 ppb, que es el nivel recomendado por la EPA.

Tabla 17. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O_3 para 8 horas durante el 2010.

Número y nombre de la Estación	Representatividad Temporal	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	ocurrencia del máximo	Excedencias a Norma 601 (octo horario): 41 ppb	Excedencias a nivel aceptado EPA (octo horario): 59 ppb
Guaymaral (Escuela)	59%		58	23/03/2010 18:00	92	0
Usaquén (Bosque)	83%	23,0	104	22/08/2010 08:00	915	131
Suba (Corpas)	45%		73	27/02/2010 18:00	148	25
Las Ferias (Carrefour)	90%	12,0	74	13/02/2010 17:00	129	19
Chico lago (Sto. Tomas)	75%	12,7	72	01/01/2010 17:00	106	5
Parque Simón Bolívar	83%	13,8	67	13/02/2010 17:00	194	13
Sagrado Corazón	37%		101	01/01/2010 17:00	198	44
Zona Industrial – E. Móvil	59%		34	09/09/2010 17:00	0	0
Fontibón	79%	13,7	48	13/01/2010 15:00	18	0
Puente Aranda	45%		48	01/01/2010 18:00	18	0
Carvajal (Sony)	83%	9,6	54	01/01/2010 16:00	13	0
Tunal	75%	11,0	56	25/11/2010 19:00	40	0

En la Figura 50 se muestran las concentraciones máximas y medias de O3 para 8 horas, de cada una de las estaciones.

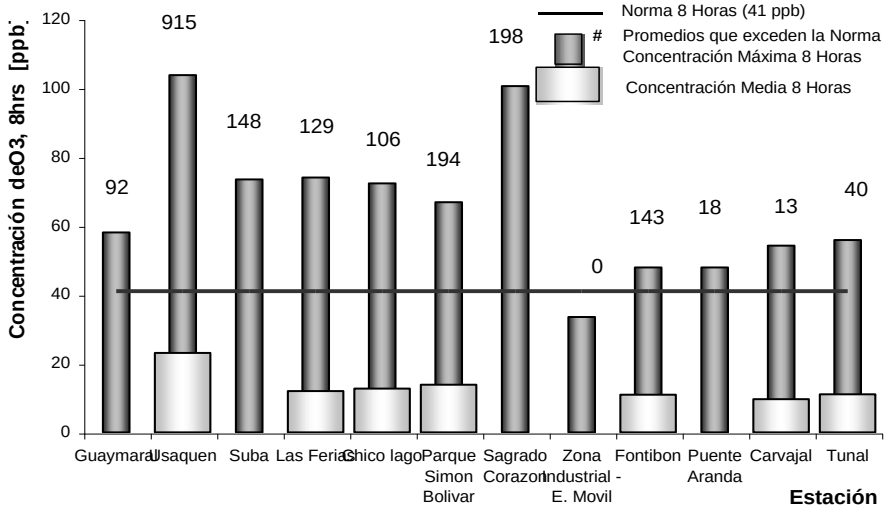


Figura 50. Concentración máxima de O_3 para 8 horas por estación durante el 2010

En la Figura 51 y la Figura 52 se observa espacialmente como afecta este contaminante a la ciudad, se aprecia como las concentraciones altas del contaminante primordialmente se asocian a las estaciones de pie de montaña, Sagrado Corazón y Usaquén, y en alguna medida Suba.

El episodio que se muestra en la primera Figura 51 bien puede configurarse sobre la estación de Usaquén.

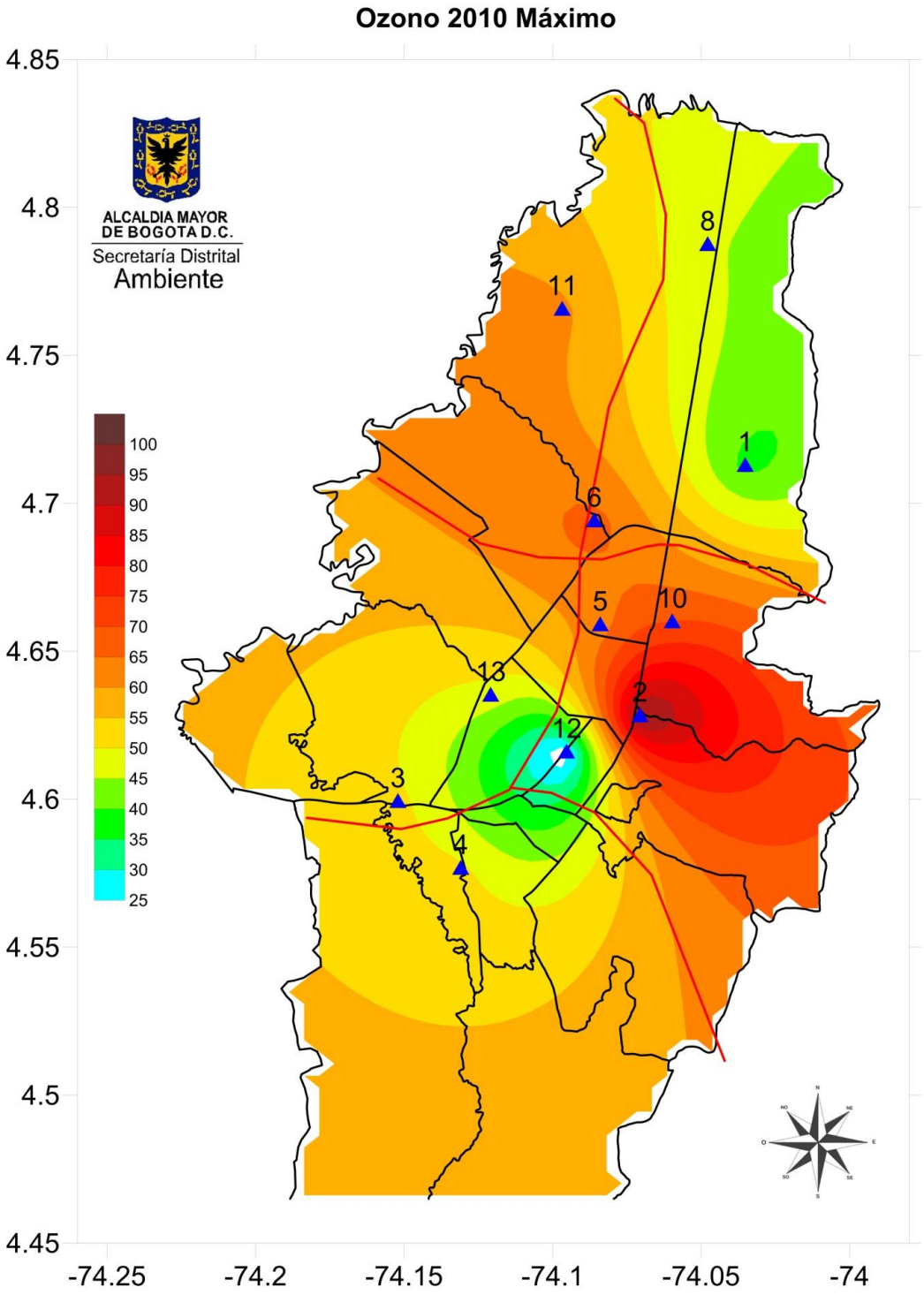


Figura 51. Episodio de contaminación de O3, en ppb, promedio 8 horas, 2010

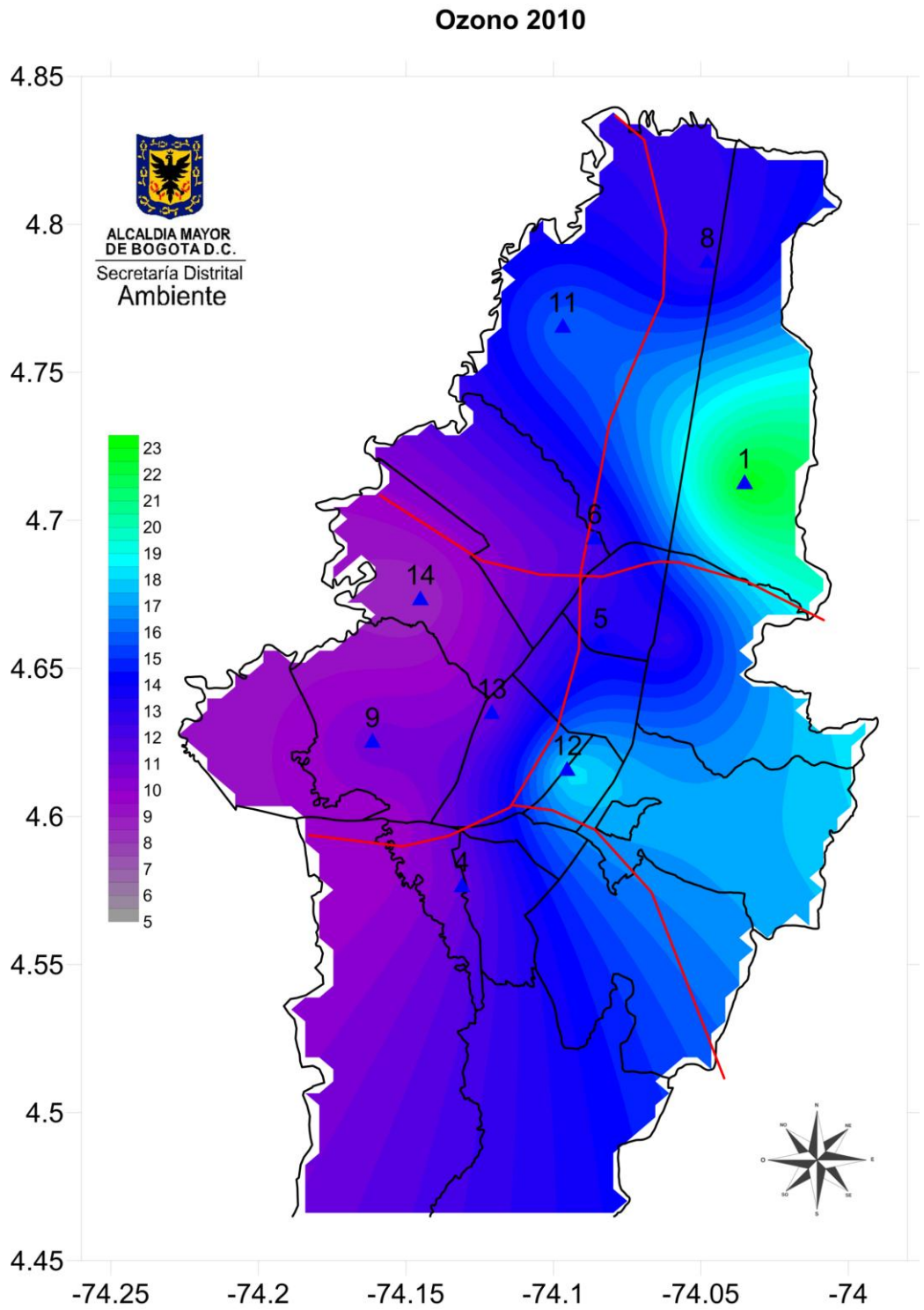


Figura 52. Concentración promedio de Ozono en ppb, año 2010

Comportamiento histórico del O3

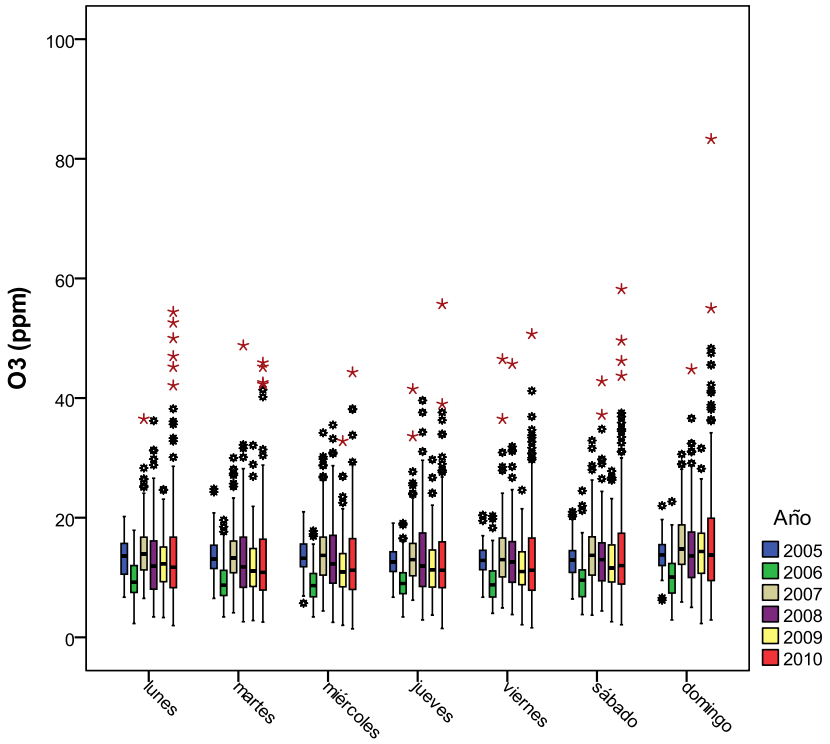


Figura 53. Gráfico de *Box-Plot* para O3 24 horas por días de la semana comparando año 2010 con años anteriores

Para el contaminante Ozono (Figura 53) el promedio diario en el 2010 muestra el lunes con 11.70 ppm luego se registra el nivel más bajo con 10.85 siendo el día martes el punto de inflexión, pasa después a mantenerse el nivel constante hasta el viernes con 11.20 ppm y el fin de semana aumenta registrándose la mayor concentración el domingo con 13.76 ppm; en comparación al año anterior los días miércoles viernes y sábado aumentaron en el 2010, el resto de la semana muestra disminución con respecto al 2009; en general la dispersión de los datos en el último año aumentó considerablemente casi de igual forma que el 2008 o un poco más, de igual forma se registra incremento en la presencia de datos atípicos y *outliers* extremos siendo interesante el dato extremo reportado el domingo 22 de Agosto en la estación de Usaquén.

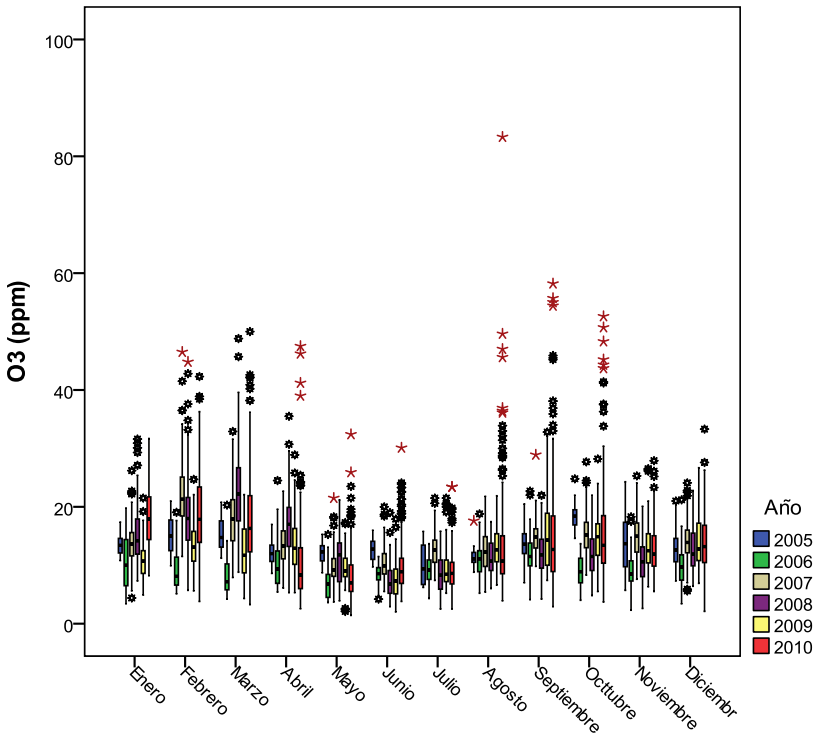


Figura 54. Gráfico de Box-Plot para O3 promedio mensual (desde base diaria) comparando año 2010 con años anteriores.

El contaminante Ozono presenta el mismo comportamiento general que los otros contaminante a grandes rasgos sinusoidal con dos ondas una por cada semestre (Figura 54), en el primer trimestre están los mayores registros del contaminante en todo el año 2010, a continuación se reportan los cuatro meses más bajos siendo Mayo el de menor con 7.0 *ppm*, seguido se vuelve a subir la concentración pero no a los niveles del primer trimestre; comparando con el año anterior se refleja que tres meses registran una alza particular puesto que sus medianas distan de una forma significativa que no se ve en otros meses que presentan también incremento, siendo estos Junio, Julio y Diciembre; para los otros meses se presentó reducción en la concentración; la dispersión de los datos es muy similar con el 2009 salvo nuevamente con el primer trimestre del 2010 que presenta incremento considerable. Con respecto a los datos atípicos en el último año se presenta incremento tanto en datos *outliers* como *outliers* extremos, esto se refleja más en los meses de Agosto Septiembre y Octubre, sobresaliendo el dato registrado en la estación de Usaquén como se muestra en el grafico siguiente.

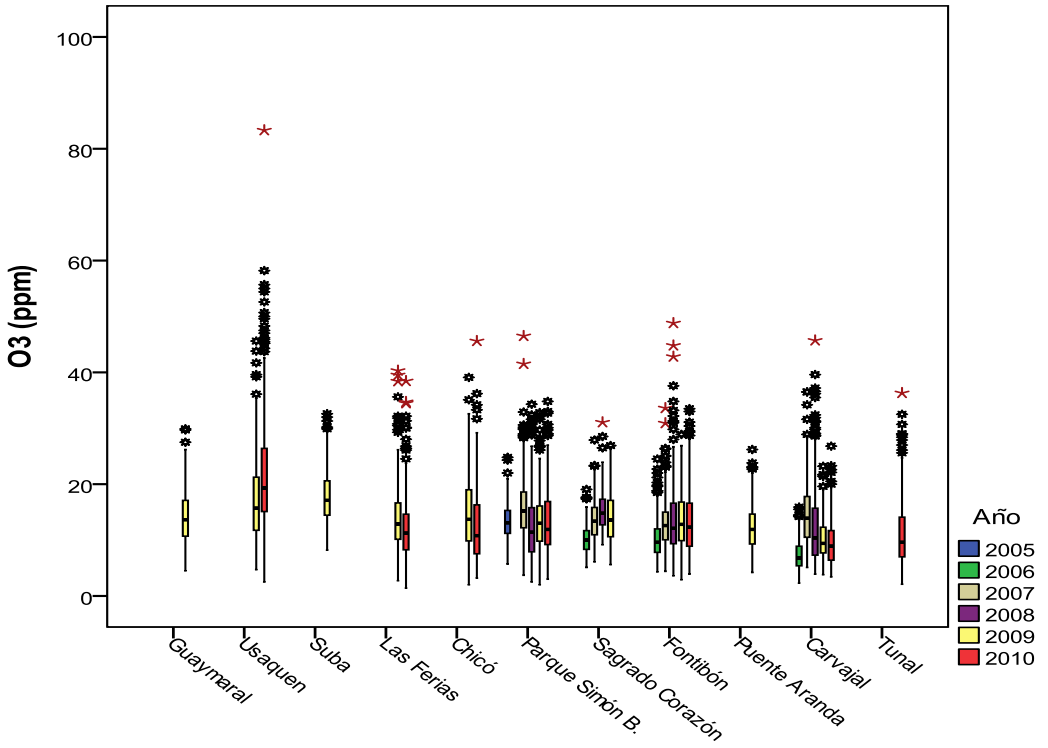


Figura 55. Gráfico de Box-Plot para O3 promedios anuales (desde base diario) por estaciones comparando 2010 con años anteriores.

La estación de Usaquén para el último año muestra una mayor concentración que las demás estaciones que registran Ozono con 19.3 ppm, la de menor concentración es Carvajal con 8.9 ppm; comparando con el 2009 casi todas las estaciones bajaron la concentración excepto la estación de Usaquén, con respecto a la dispersión se nota un leve crecimiento en proporción al año inmediatamente anterior; como se ha venido observando en las graficas que describen al contaminante Ozono el aumento de los datos atípicos y *outliers* extremos es evidente, como un ejemplo claro el dato extremo que se registra en la estación de Usaquén.

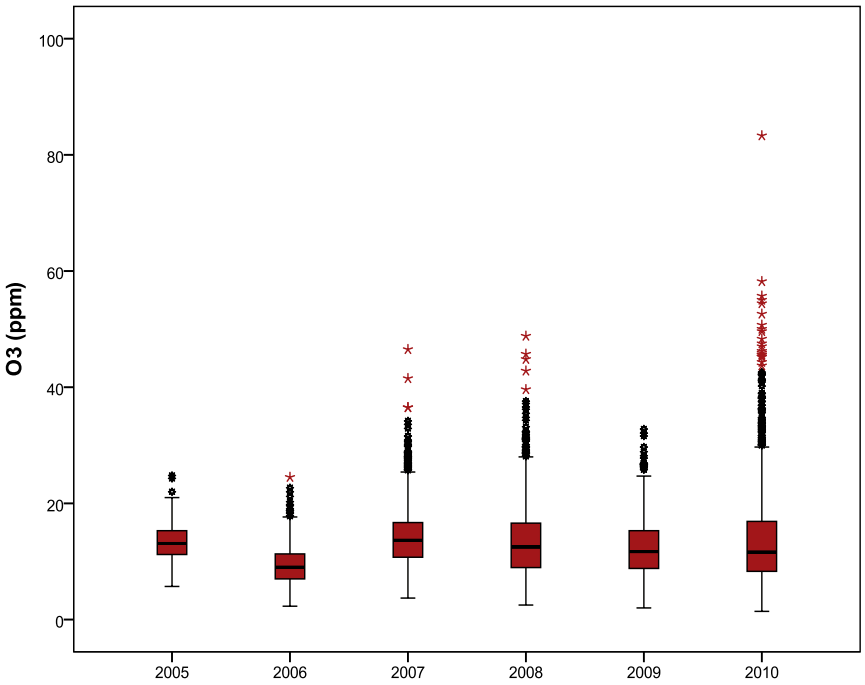


Figura 56. Gráfico de *Box-Plot* para O3 promedio aritmético de las estaciones (desde base diaria).

El resumen del comportamiento del Ozono se puede reducir en la Figura 56, puesto que se ve el aumento de datos atípicos y *outliers* extremo para el 2010, la leve disminución del contaminante, el aumento tenue en cuanto a su dispersión algo que no se presentaba desde el 2008, a partir el 2007 se está registrando disminución sistemática del contaminante.

1.3. **Síntesis de Resultados**

En la Tabla 18 se resumen los resultados de los promedios de 24 horas para PM10. En la primera columna se especifica la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre de cada estación y en la tercera columna se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el año de operación que se está reportando. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima y octava columna informan el número de promedios que están por encima del 50% y del 75% del valor de la norma respectivamente. En la novena columna se muestra el máximo promedio hallado y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma. Finalmente, en la última

columna se presenta el valor promedio de las ponderaciones de PM_{10} para 24 horas durante el año.
Una síntesis similar se realiza para los promedios anuales de PM10 en la Tabla 19

En la Tabla 19 se muestra el resultado del análisis de los promedios 24h de PST. En la columna 9 se presenta el máximo promedio 24h de PST presentado en el año. En la columna 6 se presenta el porcentaje de datos que exceden la norma anual de PST; así mismo, en la columna 10 se presenta la relación entre el promedio 24h máximo y su correspondiente norma para cada estación y finalmente en la columna 4 se muestra la representatividad temporal del promedio anual de PST; para cada uno de los contaminantes se presentan tablas similares.

Tabla 18. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micras (PM_{10})

Información de los promedios de 24 horas (corridos) de concentración de PM10 [Norma: 150 µg/m3]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	7353	84%	0	0,00%	144	0	90	0,6	38
	1. Usaquén	7762	89%	0	0,00%	266	0	97	0,6	46
	Subtotal	**15115**	**86%**	**0**	**0,00%**	**410**	**0**	**94**		**42**
Noroccidente	11. Suba	7190	82%	0	0,00%	637	0	109	0,7	55
	6. Las Ferias	8262	94%	0	0,00%	451	4	116	0,8	48
	Subtotal	**15452**	**88%**	**0**	**0,00%**	**1088**	**4**	**113**		**51**
Centro	10. Chico lago									
	5. Parque Simon Bolívar (IDRD)	7982	91%	0	0,00%	482	0	104	3,2	45
	2. Sagrado Corazón	3876	44%	0	0,00%	417	2	118	0,8	54
	12. Zona Industrial E. Movil	8175	93%	0	0,00%	1569	37	128	0,9	57
	Subtotal	**20033**	**76%**	**0**	**0,00%**	**2468**	**39**	**117**		**52**
sur occidente	14. Fontibón	7498	86%	0	0,00%	1382	19	117	0,8	61
	13. Puente Aranda	8270	94%	0	0,00%	1857	84	134	0,9	61
	9. Kennedy	8168	93%	58	0,71%	4325	1555	166	1,1	89
	3. Carvajal	8291	95%	42	0,51%	4664	1454	166	1,1	91
	Subtotal	**32227**	**92%**	**100**	**0,30%**	**12228**	**3112**	**146**		**75**
Sur	4. Tunal	7759	89%	0	0,00%	1819	66	131	0,9	60
	Subtotal	**7759**	**89%**	**0**	**0,00%**	**1819**	**66**	**131**		**60**
TOTALES		90586	86%	100	0,11%	18013	3221			

Tabla 19. Consolidado de los promedios anuales material particulado inferior a 10 micras (PM_{10})

Información de los promedios anuales de concentración de PM10 [Norma: 50 µg/m3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Represent atividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	365	100%	0	0%	365	0	38	0,8	36
	1. Usaquén	263	72%	0	0%	245	18	46	0,9	39
	Subtotal	***628***	***86%***	***0***	***0%***	***610***	***18***	***42***		***37***
Noroccidente	11. Suba	254	70%	254	100%	0	0	69	1,4	59
	6. Las Ferias	365	100%	0	0%	265	100	47	0,9	43
	Subtotal	***619***	***85%***	***254***	***50%***	***265***	***100***	***58***		***51***
Centro	10. Chico lago									
	5. Parque Simon Bolívar (IDRD)	365	100%	0	0%	365	0	45	0,9	40
	2. Sagrado Corazón	230	63%	2	1%	0	228	50	1,0	IA
	12. Zona Industrial E. Movil	365	100%	365	100%	0	0	57	1,1	54
	Subtotal	***960***	***88%***	***367***	***34%***	***365***	***228***	***51***		***47***
sur occidente	14. Fontibón	365	100%	365	100%	0	0	62	1,2	59
	13. Puente Aranda	365	100%	365	100%	0	0	61	1,2	58
	9. Kennedy	365	100%	365	100%	0	0	91	1,8	89
	3. Carvajal	365	100%	365	100%	0	0	95	1,9	93
	Subtotal	***1460***	***100%***	***1460***	***100%***	***0***	***0***	***77***		***75***
Sur	4. Tunal	365	100%	250	68%	0	115	60	1,2	52
	Subtotal	***365***	***100%***	***250***	***68%***	***0***	***115***	***60***		***52***
TOTALES		**4032**	**92%**	**2331**	**58%**	**1240**	**461**			52

Tabla 20, Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

Información de los promedios 24 horas corridas de concentración de PM2.5 [Norma: 50 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios diarios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Centro	5. Parque Simon Bolívar (IDRD)	8521	97%	89	1%	3264	600	59	2.4	25
sur occidente	9. Kennedy	7346	84%	1282	17%	4004	2292	92	3.7	39
TOTALES		***15867***	***91%***	***1371***	***9%***	***7268***	***2892***	***76***		***32***

Tabla 21, Consolidado de los promedios anuales material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

Información de los promedios anuales de concentración de PM2.5 [Norma: 25 µg/m3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Cantro	5. Parque Simon Bolívar (IDRD)	365	100%	1	0%	50	314	25	1.0	22
sur occidente	9. Kennedy	37	10%	37	100%	0	0	39	1.6	
TOTALES		**402**	**55%**	**38**	**50%**	**50**	**314**	32		

Tabla 22. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST), año 2010

Información de los registros de concentración de PST para un periodo de 24 horas [Norma: 300 µg/m3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No. de datos**	**Representatividad Temporal**	**No. de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m3]**	**Max/Norma**	**Promedi0**
sur occidente	3. Carvajal (Sony)	8081	92%	0	0%	3775	219	272	0,91	150
TOTALES		**8081**	**92%**	**0**	**0%**	**3775**	**219**			**150**

Tabla 23. Consolidado de los promedios anuales de partículas suspendidas totales (PST) , año 2010

Información de los promedios anuales de concentración de PST [Norma: 100 µg/m3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No. de Promedios Anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
sur occidente	3. Carvajal (Sony)	365	100%	365	100%	0	0	150	1,5	144
TOTALES		***365***	***100%***	**365**	**100%**	***0***	**0**			

Tabla 24. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2010

Información de los promedios trihorarios de concentración de SO2 [Norma: 287 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/ Norma**	**Promedio**
Noroccidente	11. Suba	6276	72%	0	0%	0	0	42	0,1	3
	6. Las Ferias	5397	62%	0	0%	0	0	15	0,1	2
	Subtotal	***11673***	***67%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***37***		***2***
Centro	10. Chico lago	5478	63%	0	0%	0	0	4	0,0	1
	12. Zona Industrial - E. Movil	6733	77%	0	0%	0	0	35	0,1	6
	5. Parque Simon Bolívar	6984	80%	0	0%	0	0	27	0,1	3
	Subtotal	***19195***	***73%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***22***		***3***
sur occidente	14. Fontibón	7099	81%	0	0%	0	0	60	0,2	3
	13. Puente Aranda	7957	91%	0	0%	0	0	54	0,2	4
	9. Kennedy	6966	80%	0	0%	0	0	37	0,1	4
	3. Carvajal	2920	33%	0	0%	0	0	59	0,2	8
	Subtotal	***24942***	***71%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***53***		***5***
Sur	4. Tunal	5106	58%	0	0%	0	0	45	0,2	5
	Subtotal	***5106***	***58%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***45***		***5***
TOTALES		**60916**	**67%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 25. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2010

Información de los promedios 24 horas corridas de concentración de SO2 [Norma: 96 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/ Norma**	**Promedio**
Noroccidente	11. Suba	6573	75%	0	0%	0	0	12	0,1	3
	6. Las Ferias	5561	63%	0	0%	0	0	8	0,1	2
	Subtotal	***12134***	***69%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***13***		***2***
Centro	10. Chico lago	5565	64%	0	0%	0	0	3	0,0	1
	5. Parque Simon Bolívar	7259	83%	0	0%	0	0	9	0,1	3
	12. Zona Industrial - E. Movil	6734	77%	0	0%	0	0	19	0,2	6
	Subtotal	***19558***	***74%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***10***		***3***
sur occidente	14. Fontibón	7064	81%	0	0%	0	0	14		3
	13. Puente Aranda	8185	93%	0	0%	0	0	18	0,2	4
	9. Kennedy	7212	82%	0	0%	0	0	13	0,1	4
	3. Carvajal (Sony)	2898	33%	0	0%	0	0	22	0,2	8
	Subtotal	***25359***	***72%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***17***		***5***
Sur	4. Tunal	5152	59%	0	0%	0	0	21	0,2	5
	Subtotal	***5152***	***59%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***21***		***5***
TOTALES		**62203**	**69%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 26. Consolidado de los promedios anuales de SO_2 , año 2010

Información de los promedios anuales de concentración de SO2 [Norma: 31 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/ Norma**	**Promedio**
Noroccidente	11. Suba	217	59%	0	0%	0	0	3	0,1	3
	6. Las Ferias	0	0%							
	Subtotal	***217***	***30%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5***		***3***
Centro	10. Chico lago	185	51%	0	0%	0	0	1	0,0	1
	5. Parque Simon Bolívar	365	100%	0	0%	0	0	6	0,2	4
	12. Zona Industrial - E. Movil	80	22%	0	0%	0	0	8		7
	Subtotal	***630***	***58%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5***		***4***
sur occidente	14. Fontibón	293	80%	0	0%	0	0	4	0,1	4
	13. Puente Aranda	351	96%	0	0%	0	0	4	0,1	4
	9. Kennedy	365	100%	0	0%	0	0	5	0,2	4
	3. Carvajal	197	54%	0	0%	142	0	18	0,6	16
	Subtotal	***1206***	***83%***	***0***	***0%***	***142***	***0***	***8***		***7***
Sur	4. Tunal	0	0%							
	Subtotal	***0***	***0%***							
TOTALES		**2053**	**42%**	**0**	**0%**	**142**	**0**			

Tabla 27. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2010

Información de los promedios horarios de concentración de NO2 [Norma: 106 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	1. Guaymaral	5969	68%	0	0%	1	0	55	0,5	12
	Subtotal	***5969***	***68%***	***0***	***0%***	***1***	***0***	***55***		***12***
Noroccidente	11. Suba	8466	97%	0	0%	0	0	47	0,4	9
	6. Las Ferias	7205	82%	0	0%	5	0	69	0,7	18
	Subtotal	***15671***	***89%***	***0***	***0%***	***5***	***0***	***58***		***14***
Centro	5. Parque Simon Bolívar	8127	93%	1	0%	155	6	120	1,1	24
	12. Zona Industrial - Estacion Movil	4937	56%	0	0%	136	12	97	0,9	23
	Subtotal	***13064***	***75%***	***1***	***0%***	***291***	***18***	***108***		***23***
sur occidente	14. Fontibón	5534	63%	0	0%	34	0	74	0,7	20
	13. Puente Aranda	7871	90%	4	0%	220	21	159	1,5	26
	9. Kennedy	6017	69%	0	0%	124	7	104	1,0	25
	3. Carvajal	7357	84%	1	0%	81	3	111	1,0	25
	Subtotal	***26779***	***76%***	***5***	***0%***	***459***	***31***	***112***		***24***
Sur	4. Tunal	6890	79%	0	0%	64	4	86	0,8	19
	Subtotal	***6890***	***79%***	***0***	***0%***	***64***	***4***	***86***		***19***
TOTALES			**68373**	**77%**	**6**	**0%**	**815**	**53**		

Tabla 28. Consolidado de los promedios de NO_2 para 24 horas, tercer trimestre de 2010

Información de los promedios 24 horas corridas de concentración de NO2 [Norma: 80 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	5552	63%	0	0%	0	0	26	0,3	12
	Subtotal	***5552***	***63%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***26***		***12***
Noroccidente	11. Suba (Corpas)	7559	86%	0	0%	0	0	19	0,2	10
	6. Las Ferias	6894	79%	0	0%	0	0	36	0,5	18
	Subtotal	***14453***	***82%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***28***		***14***
Centro	5. Parque Simon Bolívar	7940	91%	0	0%	76	0	44	0,5	24
	12. Zona Industrial - Estacion Movil	4683	53%	0	0%	79	0	43	0,5	23
	Subtotal	***12623***	***72%***	***0***	***0%***	***155***	***0***	***43***		***23***
sur occidente	14. Fontibón	5033	57%	0	0%	7	0	45	0,6	20
	13. Puente Aranda	7667	88%	0	0%	288	0	47	0,6	26
	9. Kennedy	5703	65%	0	0%	70	0	46	0,6	24
	3. Carvajal	7141	82%	0	0%	43	0	43	0,5	24
	Subtotal	***25544***	***73%***	***0***	***0%***	***408***	***0***	***45***		***24***
Sur	4. Tunal	6548	75%	0	0%	0	0	39	0,5	20
	Subtotal	***6548***	***75%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***39***		***20***
TOTALES		**64720**	**73%**	**0**	**0%**	**408**	**0**			

Tabla 29. Consolidado de los promedios de NO_2 anuales, año 2010

Información de los promedios anuales de concentración de NO2 [Norma: 53 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	0	0%							
	Subtotal		0%							
Noroccidente	11. Suba (Corpas)	251	69%	0	0%	0	0	12	0,2	10
	6. Las Ferias	320	88%	0	0%	0	0	19	0,4	17
	Subtotal	***571***	***78%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***16***		***14***
Centro	5. Parque Simon Bolívar	364	100%	0	0%	0	0	24		23
	12. Zona Industrial - Estacion Movil	0	0%							
	Subtotal	***364***	***50%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***24***		***23***
sur occidente	14. Fontibón	32	9%	0	0%	0	0	21	0,4	21
	13. Puente Aranda	364	100%	0	0%	15	0	27	0,5	23
	9. Kennedy	0								
	3. Carvajal	364	100%	0	0%	0	0	25	0,5	24
	Subtotal	***760***	***70%***	***0***	***0%***	***15***	***0***	***24***		***23***
Sur	4. Tunal	47	13%	0	0%	0	0	20	0,4	19
	Subtotal	***47***	***13%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***20***		***19***
TOTALES		**1742**	**42%**	**0**	**0%**	**15**	**0**			

Tabla 30. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2010

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 35 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/ Norma**	**Promedio**
Norte	1. Usaquen	2769	32%	0	0%	0	0	3	0,1	1
	Subtotal	***2769***	***32%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***12***		***1***
Noroccidente	6. Las Ferias	7477	85%	0	0%	0	0	6	0,2	1
	Subtotal	***7477***	***85%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6***		***1***
Centro	10. Chico lago	6580	75%	0	0%	0	0	4	0,1	1
	5. Parque Simon Bolívar	8153	93%	0	0%	0	0	6	0,2	1
	2. Sagrado Corazón	3817	44%	0	0%	0	0	4	0,1	1
	12. Zona Industrial - Estación Móvil	7201	82%	0	0%	0	0	4	0,1	1
	Subtotal	***25751***	***73%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***		***1***
Sur occidente	14. Fontibón	7075	81%	0	0%	0	0	12	0,3	1
	13. Puente Aranda	8046	92%	0	0%	0	0	6	0,2	1
	9. Kennedy	8327	95%	0	0%	0	0	5	0,2	1
	3. Carvajal	8206	94%	0	0%	0	0	9	0,2	2
	Subtotal	***31654***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***8***		***1***
Sur	4. Tunal	8106	93%	0	0%	0	0	5	0,1	1
	7. San Cristóbal	1167	13%	0	0%	0	0	3	0,1	1
	Subtotal	***9273***	***53%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***		***1***
TOTALES		**76924**	**67%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 31. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2010.

Información de los promedios 8 horas de concentración de CO [Norma: 8,8 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	1. Usaquén	2755	31%	0	0%	0	0	2	0,3	1
	Subtotal	***2755***	***31%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3***		***1***
Noroccidente	6. Las Ferias	7329	84%	0	0%	0	0	4	0,5	1
	Subtotal	***7329***	***84%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***		***1***
Centro	10. Chico lago	6587	75%	0	0%	0	0	3	0,3	1
	5. Parque Simon Bolívar	7945	91%	0	0%	3	0	5	0,5	1
	2. Sagrado Corazón	3777	43%	0	0%	0	0	3	0,3	1
	12. Zona Industrial - Estación Móvil	6927	79%	0	0%	0	0	3	0,3	1
	Subtotal	***25236***	***72%***	***0***	***0%***	***3***	***0***	***3***		***1***
Sur occidente	14. Fontibón	6772	77%	0	0%	0	0	3	0,3	1
	13. Puente Aranda	7825	89%	0	0%	0	0	4	0,5	1
	9. Kennedy	8355	95%	0	0%	0	0	4	0,5	1
	3. Carvajal	8219	94%	0	0%	19	0	5	0,6	2
	Subtotal	***31171***	***89%***	***0***	***0%***	***19***	***0***	***4***		***1***
Sur	4. Tunal	7848	90%	0	0%	0	0	4	0,4	1
	7. San Cristóbal	1165	13%	0	0%	0	0	2	0,2	1
	Subtotal	***9013***	***51%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3***		***1***
TOTALES		**75504**	**66%**	**0**	**0%**	**22**	**0**			

Tabla 32. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2010

Información de los promedios horarios de concentración de O3 [Norma: 61 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	5305	61%	31	1%	745	665	84	1,4	12
	1. Usaquén	7376	84%	236	3%	1496	2447	133	2,2	23
	Subtotal	***12681***	***61%***	***31***	***1%***	***745***	***665***	***127***		***12***
Noroccidente	11. Suba	3964	45%	45	1%	653	770	102	1,7	16
	6. Las Ferias	7811	89%	60	1%	1030	1021	106	1,7	12
	Subtotal	***11775***	***67%***	***105***	***1%***	***1683***	***1791***	***57***		***14***
Centro	10. Chico lago	6509	74%	37	1%	1001	664	105	0,0	13
	5. Parque Simon Bolívar	7248	83%	68	1%	1007	1234	94	1,5	14
	2. Sagrado Corazón	3301	38%	76	2%	517	779	127	2,1	18
	12. Zona Industrial - Estación Móvil	5229	60%	0	0%	495	173	57	0,9	8
	Subtotal	***22287***	***64%***	***181***	***1%***	***3020***	***2850***	***96***		***13***
Sur occidente	14. Fontibón	6913	79%	37	1%	971	1024	83	1,4	14
	13. Puente Aranda	3993	46%	10	3%	467	338	71	1,2	11
	3. Carvajal (Sony)	7220	82%	4	3%	621	382	81	1,3	10
	Subtotal	***18126***	***69%***	***51***	***2%***	***2059***	***1744***	***78***		***11***
Sur	4. Tunal	6623	76%	12	3%	789	503	81	1,3	11
	Subtotal	***6623***	***76%***	***12***	***3%***	***789***	***503***	***81***		***11***
TOTALES		**71492**	**67%**	**380**	**0,5%**	**8296**	**7553**			

Tabla 33. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2010

Información de los promedios 8 horas de concentración de O3 [Norma: 41 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	8. Guaymaral	5126	59%	92	2%	636	231	58	1,4	12
	1. Usaquén	7310	83%	915	13%	1852	920	104	2,5	23
	Subtotal	***12436***	***71%***	***1007***	***7%***	***2488***	***1151***	***101***		***18***
Noroccidente	11. Suba	3936	45%	148	4%	713	282	73	1,8	16
	6. Las Ferias	7841	90%	129	2%	943	334	74	1,8	12
	Subtotal	***11777***	***67%***	***277***	***3%***	***1656***	***616***	***34***		***14***
Centro	10. Chico lago	6583	75%	106	2%	734	224	72	1,8	13
	5. Parque Simon	7294	83%	194	3%	1094	415	67	1,6	14
	2. Sagrado Corazón	3243	37%	198	6%	682	320	101	2,5	18
	12. Zona Industrial - Estación Móvil	5200	59%	0	0%	204	12	34	0,8	8
	Subtotal	***22320***	***64%***	***498***	***3%***	***2714***	***971***	***68***		***13***
Sur occidente	14. Fontibón	6917	79%	143	2%	949	332	65	1,6	14
	13. Puente Aranda	3948	45%	18	13%	348	111	48	1,2	11
	3. Carvajal (Sony)	7269	83%	13	13%	420	98	54	1,3	10
	Subtotal	***18134***	***69%***	***174***	***9%***	***1717***	***541***	***56***		***11***
Sur	4. Tunal	6594	75%	40	13%	553	170	56	1,4	11
	Subtotal	***6594***	***75%***	***40***	***13%***	***553***	***170***	***56***		***10***
TOTALES		**71261**	**69%**	**1996**	**2,8%**	**9128**	**3449**			

2. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE

Este capítulo presenta los Índices de Calidad del Aire (ICA) para el año 2010, la RMCAB de manera continua, los 365 días del año con un retardo aproximado de una hora en su página *Web*[10] publica el ICA para cada uno de las estaciones que la conforma; el ICA que establece que tan saludable o no se encuentra el aire del Distrito Capital. El ICA se elabora con la información obtenida de calidad del aire de la ciudad.

La metodología para el cálculo de cada uno de los ICA contenidos en el presente capítulo se basa en los puntos de corte específicos para cada uno de los contaminantes a tener en cuenta (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, NO_2 y SO_2), los cuales corresponden a los efectos de la calidad del aire en la salud. Para esto, se toman los promedios diarios de 2010 para cada uno de los contaminantes, según el tiempo de exposición estipulado y se procede a hacer la clasificación del nivel concerniente en salud (*Bueno, Moderado, Desfavorable para Grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso*) con base al valor máximo reportado; para los promedios de las bases 1h y 8h la clasificación se hace según el máximo valor del día.

Los ICA son una herramienta de gran importancia para la ciudadanía, al suministrar información simple en relación a la calidad del aire local, a su vez, proveen información sobre qué se debe hacer cuando los contaminantes atmosféricos presenten niveles poco saludables que pueden afectar la salud pública, en especial, la población más vulnerable (Niños y niñas menores de 12 años con antecedente de asma, o síndrome bronco-obstructivo recurrente, y mayores de 60 años con antecedentes de Enfermedad pulmonar obstructiva crónica – EPOC - asma, enfisema).

La Secretaría Distrital de Salud – SDS en noviembre de 2009, realizó una adaptación del Índice de Calidad del Aire (AQI, por su sigla en inglés), para su correcto entendimiento se divide en seis categorías (Ver Tabla 34).

Tabla 34. Índice de Calidad de Aire por categorías. Fuente SDS

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud

[10] *Calidad del aire en Bogotá en www.secretariadeambiente.gov.co*

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud
0 – 50	**Bueno**	Ninguna	Niños y niñas menores 12 años con antecedente de asma, o síndrome bronco-obstructivo recurrente, y mayores de 60 años con antecedentes de Enfermedad pulmonar obstructiva crónica - EPOC (asma, enfisema).	A pesar que los niveles de contaminación están por debajo de la norma de calidad del aire, cualquier concentración de contaminantes puede tener afectación en la salud, con el inicio de síntomas o molestias asociadas al sistema respiratorio, tales como la irritación de mucosas.	Prestar atención a la presencia de los síntomas asociados al sistema respiratorio en las personas. Sin embargo dentro de esta categoría, toda la población podrá realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
51 – 100	**Moderado**	La gente extremadamente sensible debe considerar reducir la actividad física prolongada y pesada que esté haciendo al aire libre. Por ejemplo niños con síntomas compatibles con Asma y adultos con enfermedades cardio-cerebro-vasculares como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como Asma, enfisema y bronquitis crónica deben de reducir la actividad física fuerte o prolongada.	El grupo anterior, fumadores, todos los niños y niñas menores de 12 años, y adultos mayores 60 años y población que realiza ejercicio o labora al aire libre.	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos en personas sensibles, con enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas hay irritación de mucosas.	Personas extremadamente sensibles, por ejemplo niños con asma y adultos mayores de 60 años con enfermedad cardio- cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 a.m. a las 5 p.m. realizar actividad física fuerte o prolongada realizar ventilación de la vivienda. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
101 – 150	**Desfavorable para Grupos Sensibles**	Los niños, los adultos activos, y personas con enfermedades cardiacas o pulmonares, tales como asma, deben reducir los esfuerzos prolongados o pesados que realizan al aire libre, sobre todo los niños y los mayores de 60 años.	El grupo anterior mas población general.	Personas de los grupos sensibles pueden presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares o complicación de las mismas.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años, deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 a.m. a las 5 p.m. realizar actividad física preferiblemente en espacios cerrados y no por mucho tiempo.

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud
				En cuanto a las personas sanas presenta un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos.	Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
151 – 200	**Desfavorable**	Los niños, los adultos activos, y personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, tal como asma, deben evitar al realizar actividades prolongadas o pesadas al aire libre. Se debe reducir la actividad que se esté realizando al aire libre, sobre todo en niños y personas mayores de 60 años.	El grupo anterior mas población general.	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos sensibles. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Los demás grupos poblacionales deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria
201 – 300	**Muy Desfavorable**	Los niños y los adultos activos, y la gente con enfermedades cardiacas o pulmonares, tal como asma, deben evitar todo el esfuerzo al aire libre. Especialmente los niños, debe evitar la actividad fuerte o prolongada al aire libre.	El grupo anterior mas población general.	La población sensible presenta efectos severos y en la población en general se aumenta el número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar cualquier actividad física en exteriores. La demás población debe evitar la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria
301 – 500	**Peligroso**	Todas las personas deben evitar cualquier actividad física al aire libre.	El grupo anterior mas población general.	Continúa la activación de la alerta epidemiológica pues la población en general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular.	Efectos severos en toda la población. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria restringiendo la salida al aire libre de toda la población, en caso de salir al aire libre se recomienda el uso de tapabocas.

2.1. Índice de Calidad del Aire (ICA) para Material Particulado

Frente al material particulado las partículas de mayor interés para la RMCAB son el PM_{10} y $PM_{2.5}$ cuyo tamaño es menor a 10 y 2.5 micras respectivamente, al respirar pueden ingresar al tracto respiratorio produciendo tos, dificultad al respirar profundo y resfriados con mayor frecuencia. Las personas con asma o problemas del corazón pueden verse afectadas al punto de tener que ser hospitalizadas. En presencia del ICA de color naranja o superior a este, se debe evitar la exposición en vías de alto flujo vehicular[11].

2.2. Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{10}

En Figura 57 y Figura 58 se representan los datos diarios para 2010 de PM10 24h con relación a los puntos de corte del ICA para las estaciones de Guaymaral (Escuela), Usaquén (Bosque), Suba (Corpas), Las Ferias (Carrefour), Chico Lago (Santo Tomás), Parque Simón Bolívar (IDRD), Sagrado Corazón (MAVDT), Zona Industrial - E. Móvil, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal (Sony), Tunal y San Cristóbal.

[11] EPA (2010). http://www.epa.gov/aircompare/. Consultado el 4 de marzo de 2011.

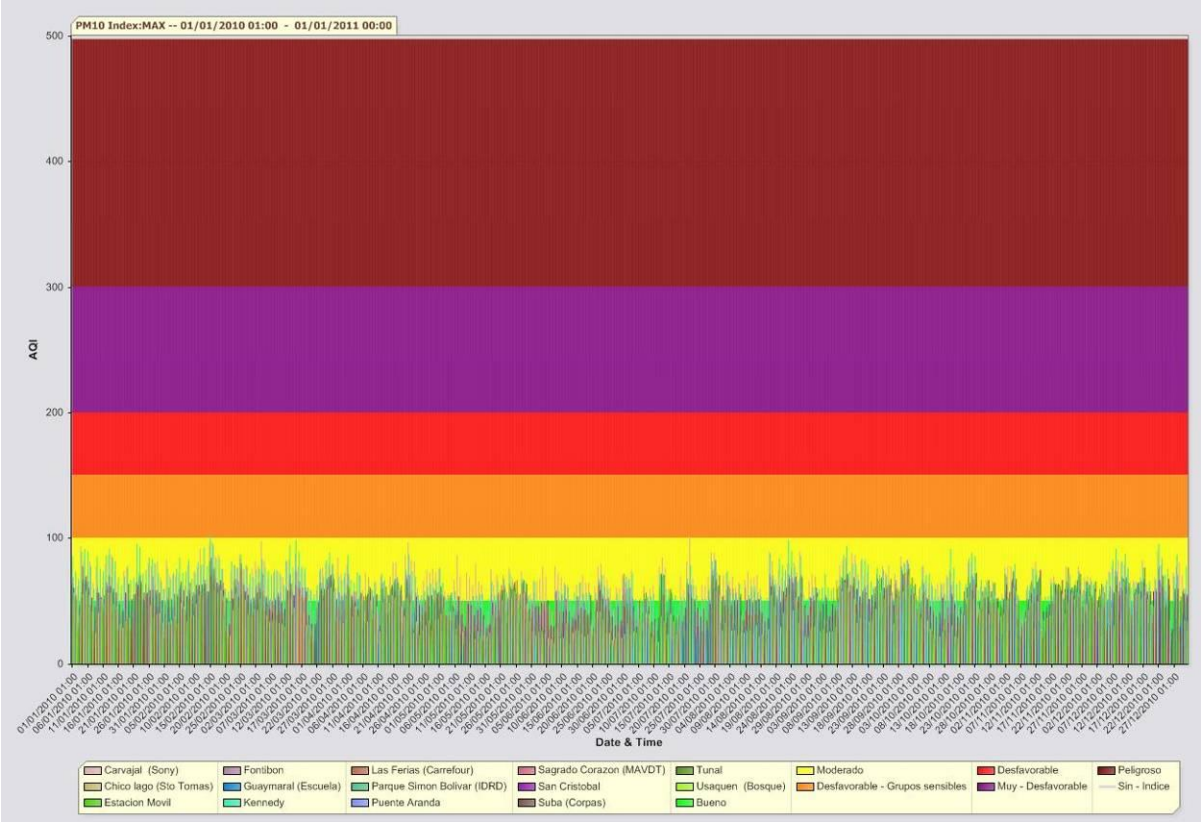


Figura 57. ICA para PM_{10} del año 2010, por estación. Fuente RMCAB

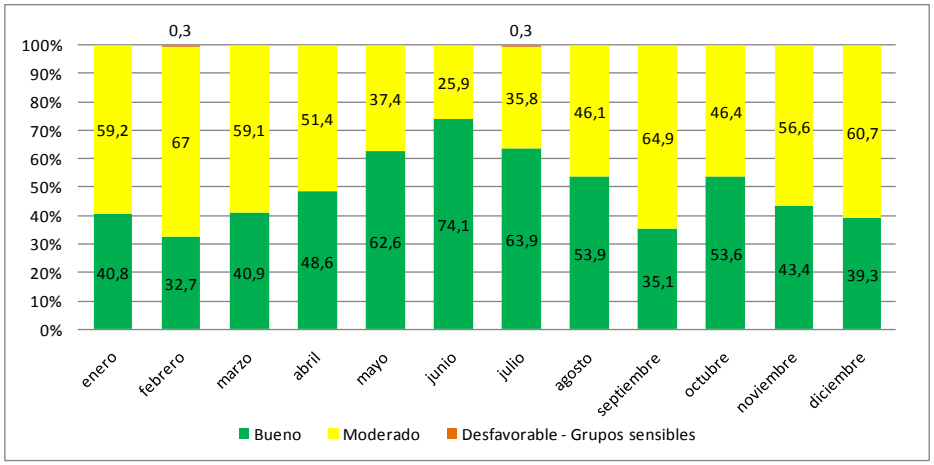


Figura 58. ICA de PM10 del año 2010, porcentaje por categoría, todas las estaciones. Fuente RMCAB,

Como se aprecia en las Figura 57 y Figura 58, el ICA para PM_{10} dependiendo de la época del año se mantuvo en la clasificación *Bueno y Moderado,* entre 33%-74% y 26%-67% respectivamente, con excepción de los meses de febrero y julio que presentaron algún porcentaje de clasificación *Desfavorable.* En la Figura 59 y la Figura 60 se presenta el ICA

de la estación Carvajal (Sony) y de la estación de Kennedy, que son las 2 estaciones críticas para este contaminante en Bogotá, para éstas, el 22 de julio y el 15 de febrero de 2010 respectivamente, se presentaron casos de clasificación *Desfavorable – Grupos Sensibles*, que significan el 0,3% de los ICA calculados, y que corrobora como el sector suroccidental fue el más afectado por este contaminante.



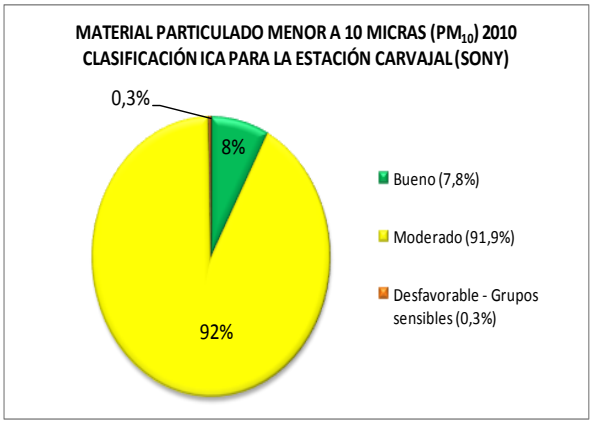
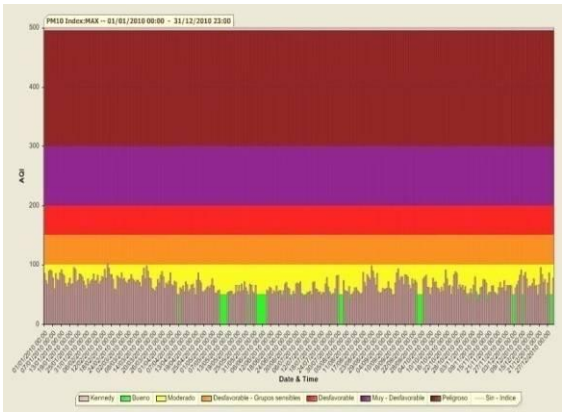


Figura 59. ICA y su clasificación para PM_{10} del año 2010 en la estación de Carvajal (Sony). Fuente RMCAB



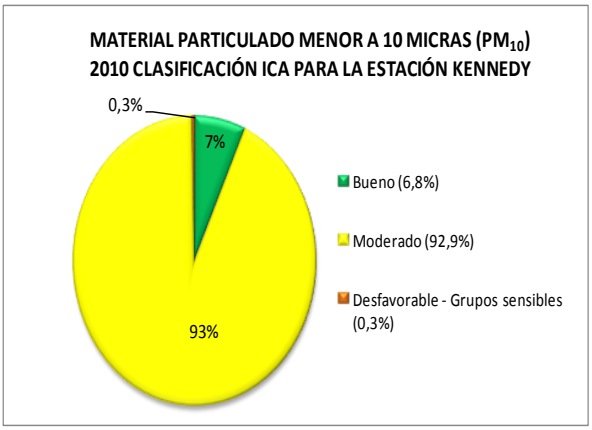


Figura 60. ICA y su clasificación para PM_{10} del año 2010 en la estación de Kennedy. Fuente RMCAB

2.3. Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$

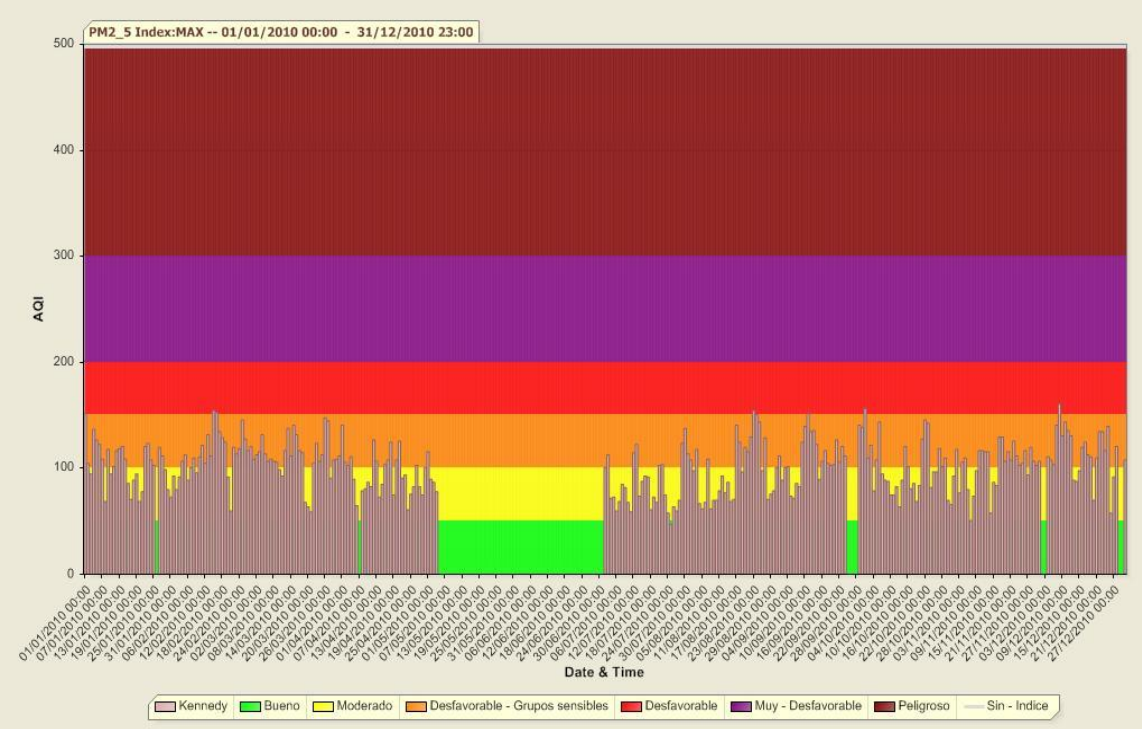


Figura 61. ICA para $PM_{2.5}$ del año 2010, estación Kennedy. Fuente RMCAB

Las Figura 61 y Figura 62 contiene los datos diarios para 2010 de PM2.5 24h con relación a los puntos de corte del ICA de la estación de Kennedy, durante este periodo en su mayoría se mantuvo en la clasificación *Moderado* entre el 19.4% y 75%. En los meses de febrero y julio se presentó la clasificación *Desfavorable– Grupos Sensibles* entre el 67.9% y 30% de representación respectivamente; se observa una ausencia casi total de la clasificación *Bueno* durante el año, solo apreciable en el mes de julio en un 3,3%. Los niveles de concentración del $PM_{2.5}$ refieren puntos de concentración promedio para la generación del ICA distintos al PM_{10}, para esta estación la situación en la fracción más fina resulta más desfavorable.

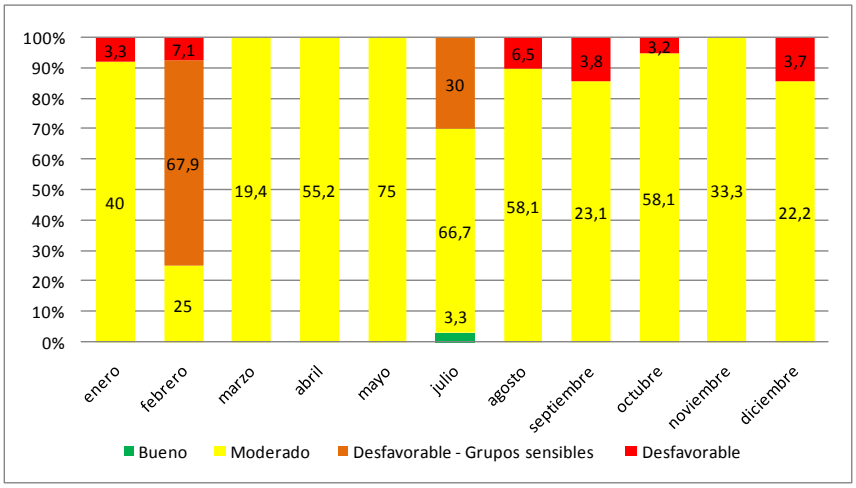


Figura 62. Clasificación ICA Kennedy para $PM_{2.5}$ del año 2010. Fuente RMCAB[12]

En la estación de Kennedy se presentaron 8 casos de clasificación *Desfavorable*, los días 1 de enero, 15 y 16 de febrero, 23 y 24 de agosto, 11 de septiembre 1 de octubre y 8 de diciembre de 2010.

2.4. Índice de Calidad del Aire (ICA) para Ozono (O_3)

El ozono es un gas que se encuentra presente en la tropósfera o estratósfera, dependiendo de la capa en la que se encuentre puede ser benéfico o perjudicial para la salud de las personas. El ozono bueno es el que se encuentra en la estratósfera y forma la capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta; el ozono nocivo es el que se encuentra cerca de la superficie terrestre y puede ser respirado, causando efectos negativos en la salud especialmente para niños con asma[13].

La Figura 63 y la Figura 64 contienen los datos diarios para 2010 de O_3 8h con relación a los puntos de corte del ICA de las estaciones de Guaymaral (Escuela), Usaquén (Bosque), Suba (Corpas), Las Ferias (Carrefour), Chico Lago (Santo Tomás), Parque Simón Bolívar (IDRD), Sagrado Corazón (MAVDT), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal (Sony), y Tunal.

[12] En el mes de junio en la estación de Kennedy no se tienen datos de AQI $PM_{2.5}$

[13] Ibíd

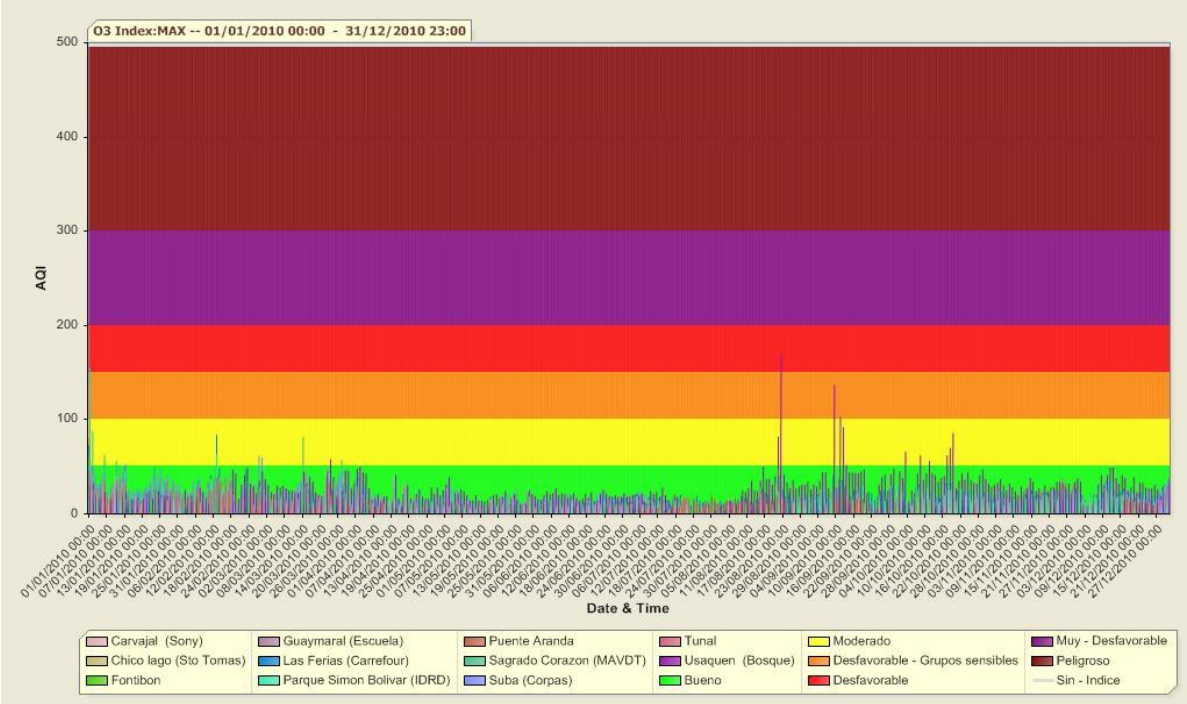


Figura 63. ICA para O_3 del año 2010, por estación. Fuente RMCAB

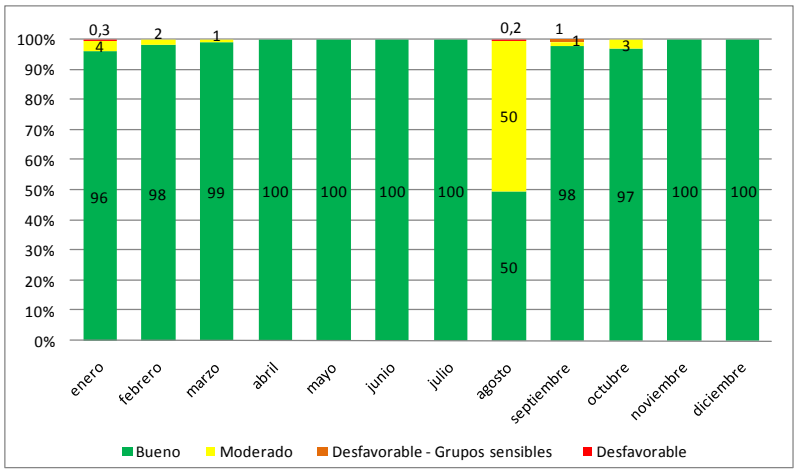


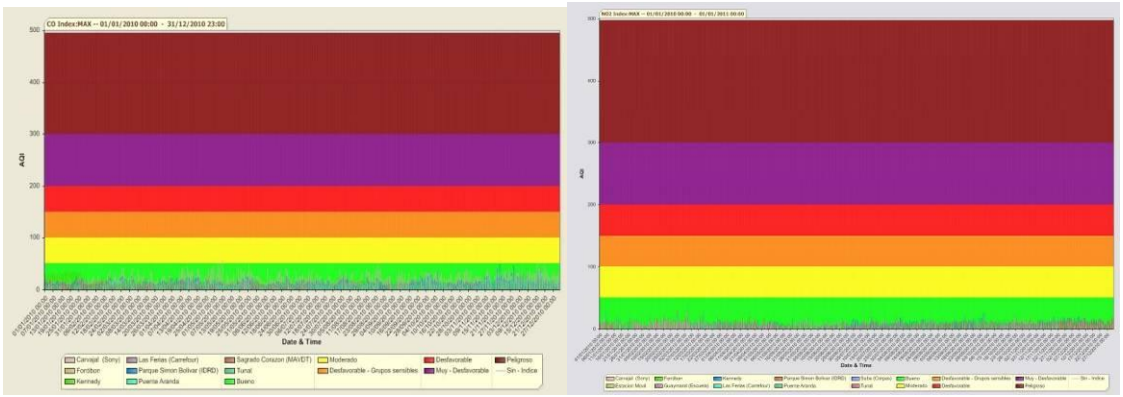
Figura 64. Clasificación ICA para O_3 del año 2010. Fuente RMCAB

Como se aprecia en La Figura 63 y la Figura 64, el ICA para O3 durante el 2010 se presentó en la clasificación Bueno en el 92% del registro, seguido de un 7% en la clasificación Moderado, este último se concretó en los meses de enero, febrero, marzo, agosto, septiembre y octubre. Se presentaron 4 casos en las clasificaciones Desfavorable – Grupos Sensibles y Desfavorable, uno en la estación de Sagrado Corazón (MAVDT) el día 1 de enero de 2010 y otro en la estación de Usaquén (Bosque) los días 22 de agosto, 9 y 11 de septiembre de 2010, lo que exhibe la afectación de este contaminante en los sectores norte y centro de la ciudad.

2.5. Índices de Calidad del Aire (ICA) para el Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2)

La Figura 65 contiene los datos diarios para 2010 de CO 8h con relación a los puntos de corte del ICA de las estaciones de Las Ferias (Carrefour), Parque Simón Bolívar (IDRD), Sagrado Corazón (MAVDT), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal (Sony) y Tunal; junto con los datos diarios ICA de NO2 1h con relación a de las estaciones de (Escuela), Suba (Corpas), Las Ferias (Carrefour), Parque Simón Bolívar (IDRD), Zona Industrial E. Móvil, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal (Sony).

La Figura 66 contiene los datos diarios del ICA para 2010 de SO2 24h de las estaciones de Las Ferias (Carrefour), Chico Lago (Santo Tomás), Parque Simón Bolívar (IDRD), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal (Sony) y Tunal.



a.) Monóxido de Carbono (CO) b.) Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Figura 65. ICA para CO y NO_2 del año 2010, por estación. Fuente RMCAB

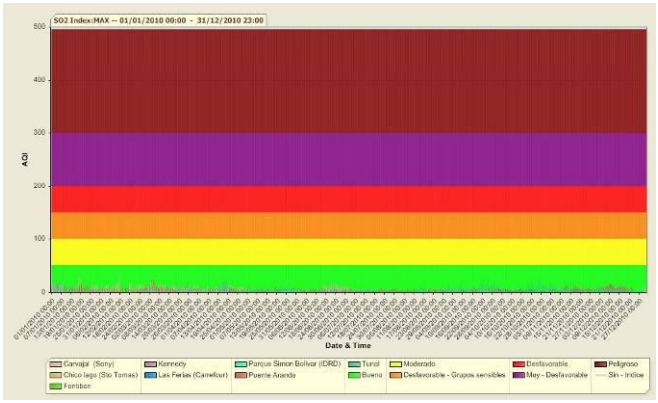


Figura 66. ICA para SO_2 del año 2010, por estación. Fuente RMCAB

Como se aprecia en la Figura 65 y Figura 66, el ICA para el CO, NO_2 y SO_2 durante el 2010 se mantuvo en la clasificación *Bueno;* sin embargo se presentaron 2 casos en la estación de Carvajal para los días 7 de mayo y 16 de diciembre de 2010 en los cuales el CO presentó clasificación *Moderado.* Lo que pone a la vista la poca afectación de estos tres contaminantes en la salud pública del Distrito.

3. METEOROLOGÍA

Este capítulo presenta el estudio de las variaciones de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2010. Tal y como aparece registrado en la Tabla **35**, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Tabla 35. Estaciones de la RMCAB y variables climatológicas monitoreadas en cada una de ellas. Fuente RMCAB

ESTACION	VARIABLES METEOROLÓGICAS					
	PRECIPITACIÓN	VEL. Y DIR. DEL VIENTO	TEMPERATURA	RADIACION	HUMEDAD RELATIVA	PRESION
No. 1 Usaquén (Bosque)	X	X	X			
No. 3 Carvajal (Sony)	X	X	X			
No. 4 Tunal	X	X	X	X	X	
No. 5 Parque Simón Bolívar (I.D.R.D)	X	X	X	X	X	
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	X	X	X		X	X
No. 7 San Cristóbal		X	X			
No. 8 Guaymaral (Escuela)	X	X	X	X	X	X
No. 9 Kennedy	X	X	X	X	X	X
No. 10 Chicó Lago (Santo Tomás)	X	X				
No. 11 Suba (Corpas)	X	X	X			
No.12 Estación Móvil	X	X	X	X	X	X
No. 13 Puente Aranda	X	X	X			
No. 14 Fontibón	X	X	X			X
No. 15 Usme	X	X	X	X	X	
No. 16 Vitelma	X		X	X	X	

Generalidades climatológicas de Bogotá:

Bogotá se encuentra ubicada en la región andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad y sus lluvias son generadas especialmente por un tipo de circulación Valle – montaña que se caracteriza por vientos ascendentes durante el día y descendentes durante la noche. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas[14].

3.1. **Precipitación**

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro, conformado de partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo. Existen varios tipos de precipitación dependiendo de la cantidad o forma en que caen las partículas, el diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, (1 mm de precipitación es la lámina que alcanzaría un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado, sin que se evapore o percole), y caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. Dependiendo del tamaño de las gotas que lleguen al suelo y de cómo caigan existen distintos tipos de precipitación líquida: llovizna (gotas pequeñas que caen uniformemente), chubasco (gotas de mayor tamaño y que caen de forma violenta e intensa), etc.

El comportamiento de la precipitación en Bogotá durante el año 2010 se afectó debido a los efectos del fenómeno ENOS (el niño oscilación del sur) dado que al iniciar el año se presentó un periodo seco (El Niño) y a mediados del año se pasa a un periodo lluvioso (La Niña), el cual incrementó de manera histórica la precipitación en la ciudad.

[14] *La precipitación en Colombia. Hurtado 1998*

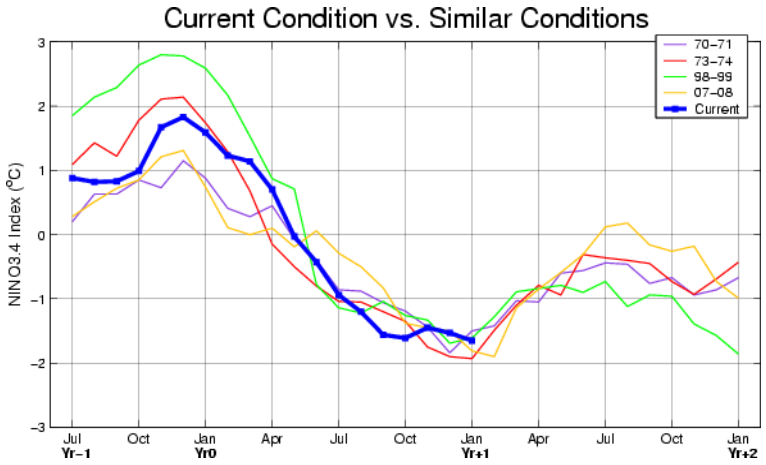


Figura 67. Condiciones actuales y condiciones similares del Índice del NINO región 3.4. Fuente IRI

Se pronostica que este fenómeno estará presente hasta el trimestre mayo junio julio de 2011 como se obseva en la Figura 67 según datos de *The International Research Institute for Climate and Society* (IRI) [2] aunque desde principio de este año. La presencia de este evento y la finalización del Niño que permaneció durante el I trimestre de 2010 se refleja en las diferencias de acumulado de precipitación del promedio 1997-2009 observadas en la Figura 68, la cual muestra estas cifras en mm discriminados mensualmente y su comparación con los acumulados medidos por la RMCAB para cada uno de los meses del año 2010.

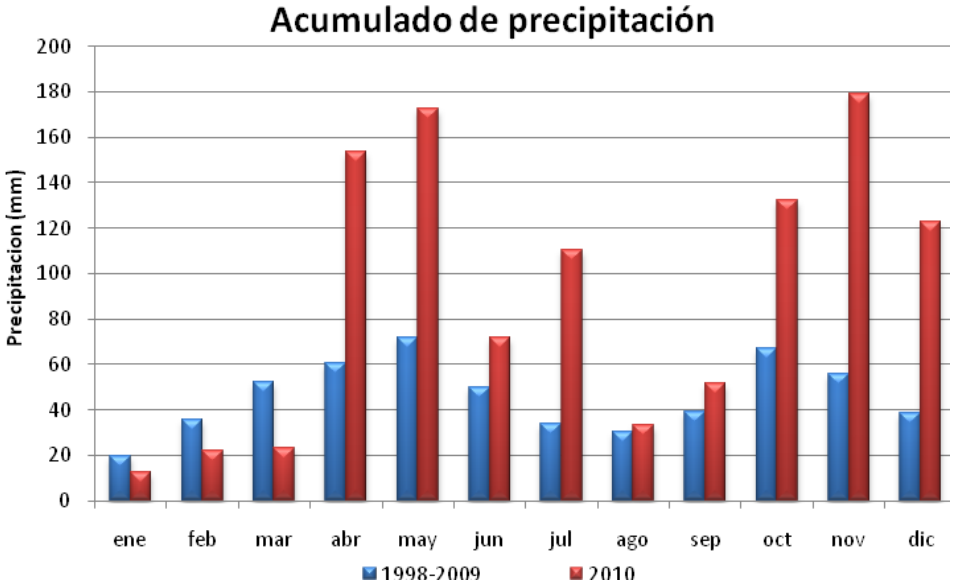


Figura 68 Acumulado promedio de precipitación de la RMCAB del periodo 1998-2009 comparada con el promedio de los de 2010. Fuente RMCAB

Se puede observar el incremento de la precipitación desde el mes de abril comparado con el promedio 1998-2009, descrita en porcentaje (Tabla 36). Este aumento obedece al fenómeno de la Niña, como se mencionó anteriormente.

Tabla 36. Variación porcentual de la precipitación para el 2010 comparada con el periodo 1998 - 2009

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-35%	-38%	-56%	153%	140%	45%	225%	10%	32%	97%	209%	219%

La Figura 69 muestra que en efecto, el acumulado de precipitación fue el mayor registrado por la red históricamente, con un acumulado promedio de 1085 mm promedio de las estaciones de la ciudad. También se evidencia que el menor acumulado de precipitación en años anteriores se presentó en 2001, con un valor de 393 mm, seguido de 2003 con 462 mm y 2009 con 469 mm. Los días de lluvia en Bogotá registraron un promedio de 3.6 mm diarios, mientras que en periodos como el de 2003, el promedio de lluvia por día de precipitación fue de 1.5 mm.

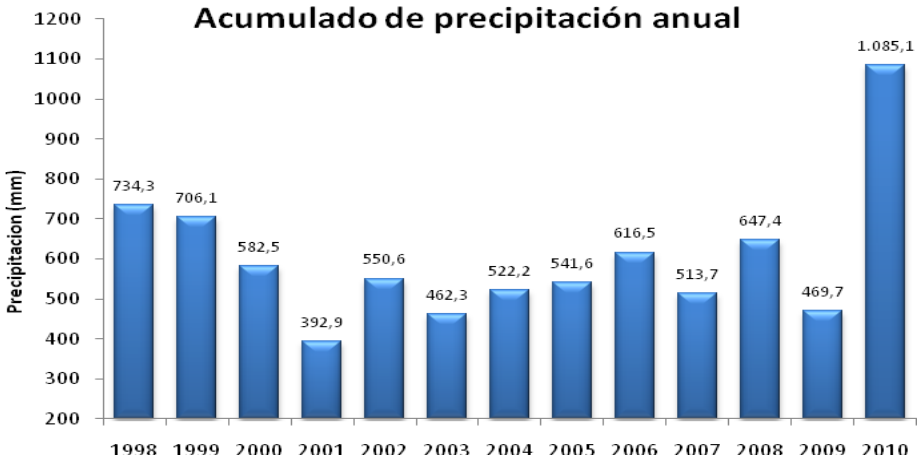


Figura 69. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones de la RMCA en el Año 2010 para el periodo 1998 a 2010. Fuente RMCAB

Con respecto a los valores promedio de días de precipitación tomados en el periodo 1997-2009, el aumento de días de precipitación es evidente a partir del mes de abril. La Tabla 37 presenta el porcentaje de variación de los días de precipitación.

Comparado con los años anteriores, el Año 2010 presentó el tercer mayor número de días de precipitación en Bogotá con un total de 297 días, como se puede apreciar en la Figura 71. Esto indica una gran cantidad de precipitación en cada día de lluvia y también se explica por el hecho de que en los primeros meses las temperaturas del Pacífico presentaban anomalías de temperatura cálidas que inhibieron las lluvias en los primeros 3 meses.

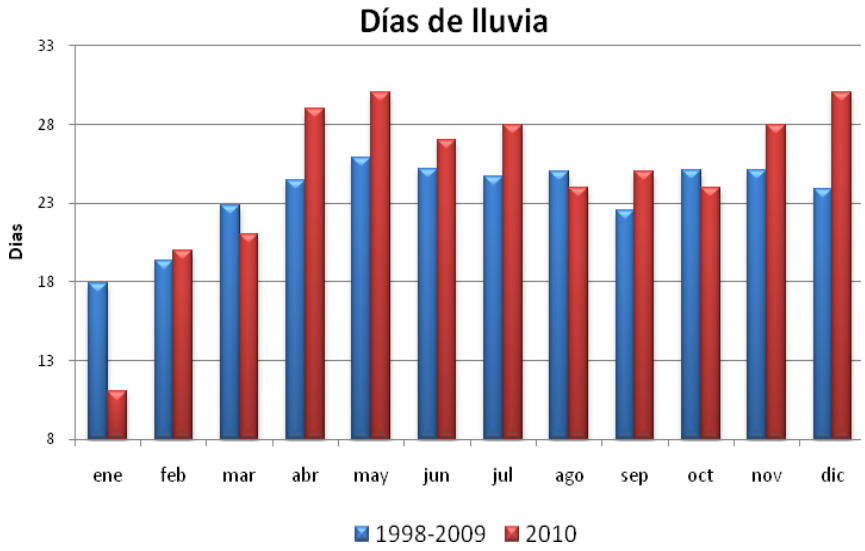


Figura 70. Días de precipitación de la RMCAB del periodo 1998-2009 comparada con el promedio para el año de 2010. Fuente RMCAB

Tabla 37. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2010 comparada con el periodo 1998 - 2009

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-39%	3%	-8%	19%	16%	7%	14%	-4%	11%	-4%	12%	25%

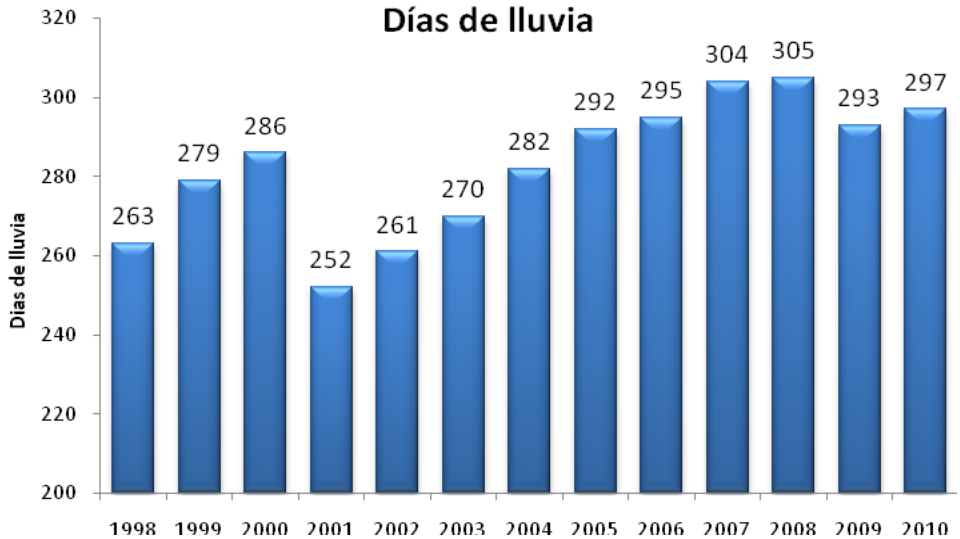


Figura 71. Promedio de los días de precipitación de las estaciones de la RMCA para el periodo 1998 al 2010. Fuente RMCAB

En la Figura 72 se observan los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB en el periodo 1997-2010. Junto con la Tabla 38, se puede apreciar que el Año 2010 se midieron entre lluvias moderadamente por encima de lo normal como es el

caso de Zona Industrial - Estación Móvil y Kennedy y muy por encima de lo normal**, como es el caso de Guaymaral, Usaquén, suba, las Ferias, Chicó (dejó de funcionar en octubre) Carvajal, Tunal y Parque Simón Bolívar

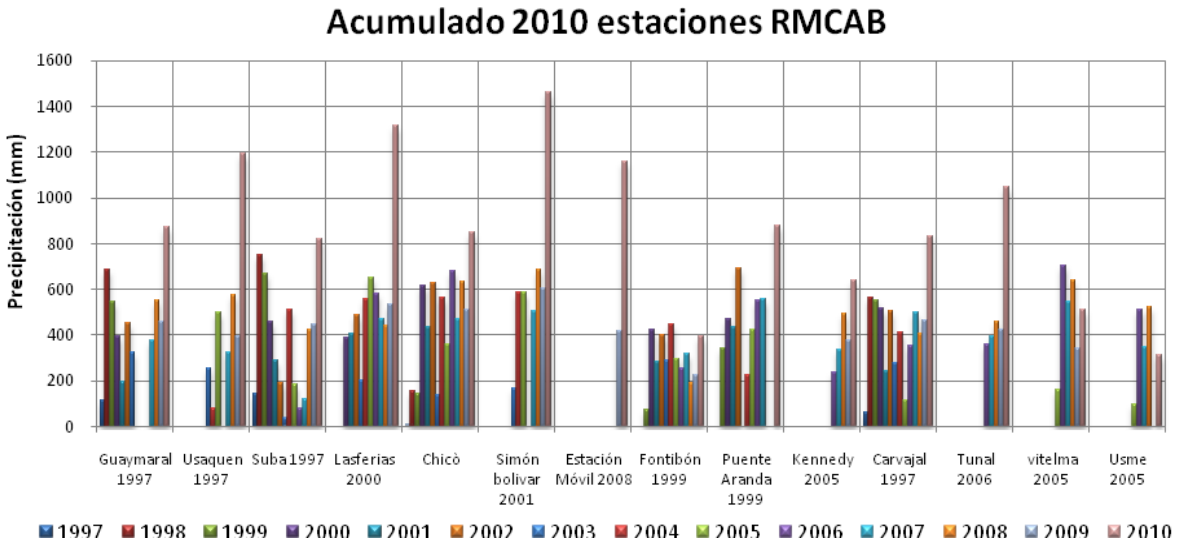


Figura 72. Acumulado de precipitación para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

Tabla 38. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el Año 2010 para el periodo 1998-2010. Fuente RMCAB.

Estación	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Índice de Precipitación (%)
Guaymaral	687.9	543.9	394.0	193.7	452.5	324.9				378.3	548.4	459.4	874.2	194%
Usaquén						252.9	77.6	500.0		326.2	574.6	393.5	1193.6	252%
Suba	752.0	666.1	457.8	286.3	188.4	34.8	512.7	180.9	80.3	117.6	425.3	445.1	820.0	225%
Las ferias			386.8	402.9	487.4	199.1	555.3	649.5	579.9	470.1	438.9	536.3	1316.3	240%
Chicó	152.8	142.1	617.7	434.5	629.2	134.5	564.1	359.5	680.2	466.8	634.1	511.1	850.4	193%
Simón Bolívar						164.8	583.2	584.0		502.0	683.0	601.7	1220.4	197%
Zona Industrial - Estación Móvil												418.7	1158.2	147%
Fontibón		72.8	420.8	282.4	399.4	288.6	448.6	296.4	252.5	319.2	189.8	225.9	395.1	132%
Puente Aranda		343.4	466.5	435.0	689.4	0.0	222.6	425.4	550.0	558.0			876.7	192%
Kennedy									237.7	335.8	494.6	374.8	640.9	154%
Carvajal	565.1	548.7	513.3	243.3	506.3	278.4	409.5	116.1	350.5	496.1	405.8	465.6	832.7	201%
Tunal									356.0	396.2	456.9	425.4	1046.4	195%
Vitelma								157.7	704.5	545.4	638.7	338.6	512.5	106%
Usme								94.6	511.7	349.0	522.0		310.4	87%

** El índice de precipitación se interpreta de la siguiente manera:

0-30 %	lluvias muy por debajo de lo normal (periodo extremadamente seco)
31-60 %	lluvias moderadamente por debajo de lo normal (periodo muy seco)
61-90 %	lluvias ligeramente por debajo de lo normal (periodo seco)
91-110 %	lluvias normales para el periodo

111-140 %	lluvias ligeramente por encima de lo normal (periodo lluvioso)
141-170 %	lluvias moderadamente por encima de lo normal (periodo muy lluvioso)
Mayor de 170 %	lluvias muy por encima de lo normal (periodo extremadamente lluvioso)

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, niveles de contaminación entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. La Tabla **39** muestra que la estación del Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos, detectó lluvias en 244 oportunidades con un promedio de 5 mm por día de lluvia, la estación de Guaymaral con un total de 216 días de precipitación con un valor de 4.0 mm por día de lluvia, Suba y Puente Aranda 212 y 213 días cada uno con 3.8 y 4.1 mm por día de lluvia respectivamente. Las estaciones de Usaquén y Chicó Lago registraron 202 y 152 días de precipitación con 5.9 y 5.6 mm por día de precipitación, Carvajal, Kennedy y Fontibón 181, 189 y 179 días con 3.4, 3.5, y 2.2 mm por día de precipitación y la estación de tunal con 193 días y 5.4 mm por día de precipitación.

Para el año 2010, noviembre presentó el mayor número de acumulado precipitación en la mayoría de estaciones de la RMCAB de acuerdo con lo observado en la Figura 73 y la Figura 78. La Zona Industrial - Estación Móvil presentó el mayor acumulado para noviembre seguido de Parque Simón Bolívar. La estación que presentó mayor número de días de precipitación fue la de Guaymaral en diciembre seguida por la estación de Suba. En octubre el mayor número de días se presentó en Parque Simón Bolívar y Usaquén. Para el mes de noviembre, Estación Móvil y Parque Simón Bolívar presentaron el mayor número de días de precipitación.

Tabla 39. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB para el periodo 1998-2010 Fuente RMCAB

Estación	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Guaymaral 1997	186	172	147	93	174	181				202	217	202	216
Usaquén 1997	175	185	184	120	164	139	89	155	143	160	168	140	202
Suba 1997	221	222	199	173	138	25	189	132	144	150	175	160	212
Las ferias 2000			153	133	128	62	149	187	161	146	175	161	218
Chicó	177	192	165	149	157	63	167	136	182	182	148	145	152
Simón bolívar 2001						55	186	183		168	198	208	244
Zona Industrial - Estación Móvil 2008												144	206
Fontibón 1999		45	165	122	128	137	141	136	113	145	127	128	179
Puente Aranda 1999		73	112	138	147	0	124	209	216	199			213
Kennedy 2005								18	146	140	162	130	181
Carvajal	158	188	194	116	154	131	154	94	153	159	131	149	189
Tunal 2006									121	146	158	146	193
Vitelma 2005								47	217	199	206	165	162
Usme 2005								40	196	176	207	80	112

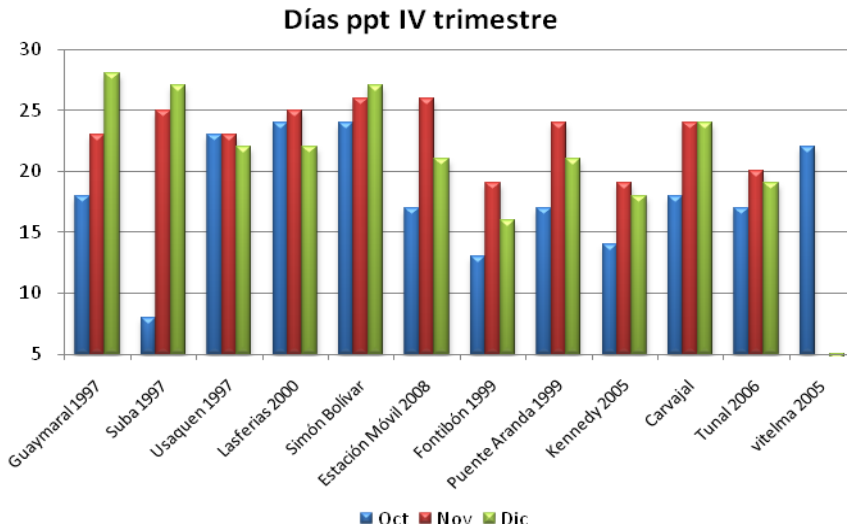


Figura 73 Acumulado de precipitación de cada estación en el último trimestre. Fuente. RMCAB

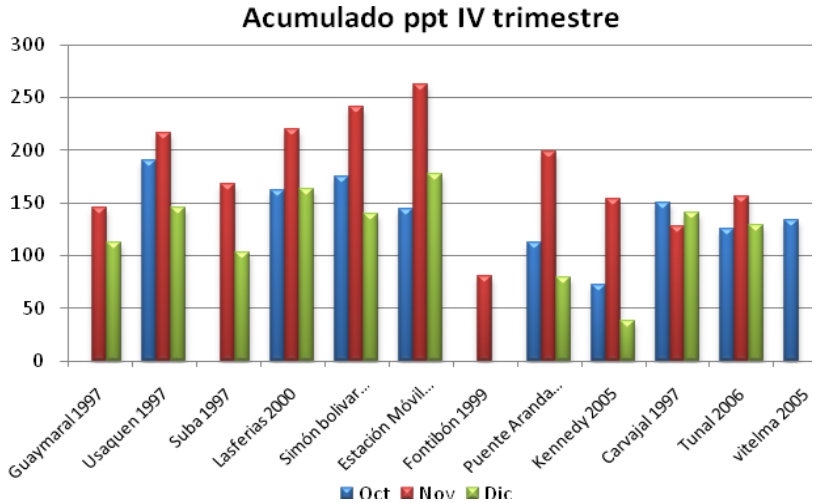


Figura 74. Días de precipitación de cada estación en el último trimestre. Fuente. RMCAB

La Figura 75 presenta los acumulados horarios de precipitación para el 2010 y su comparación con el acumulado promedio de 1997-2009 de las estaciones de la RMCAB. En horas de la mañana fue relativamente inusual la presencia de precipitación en la ciudad, mientras que en horas de la tarde, las precipitaciones fueron altas debido al calentamiento diurno.

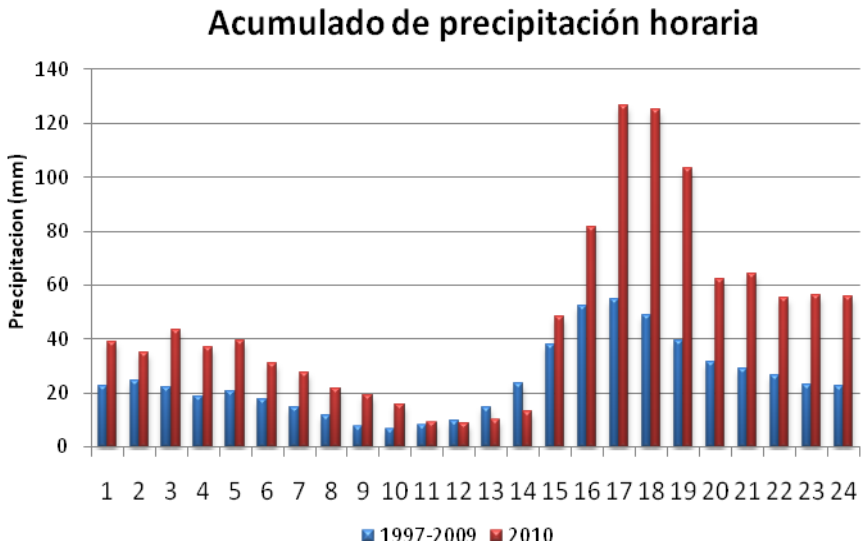


Figura 75. Acumulados horarios de precipitación para el 2010 y su comparación con el promedio 1997-2009

El mapa de la Figura 76 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación para el año 2010 sobre esta superficie. Cada isoyeta está separada 50 mm una de la otra. En ella se puede observar los dos sectores con menos precipitación de la capital, la estación de Fontibón que abarca el suroeste de la localidad de su mismo nombre y la estación de Kennedy que comprende el norte de Bosa y el noroccidente de Kennedy. Los mayores acumulados se encuentran en el sector sur de Barrios Unidos y norte de Teusaquillo, representados por la estación de Parque Simón Bolívar y en la localidad de Chapinero

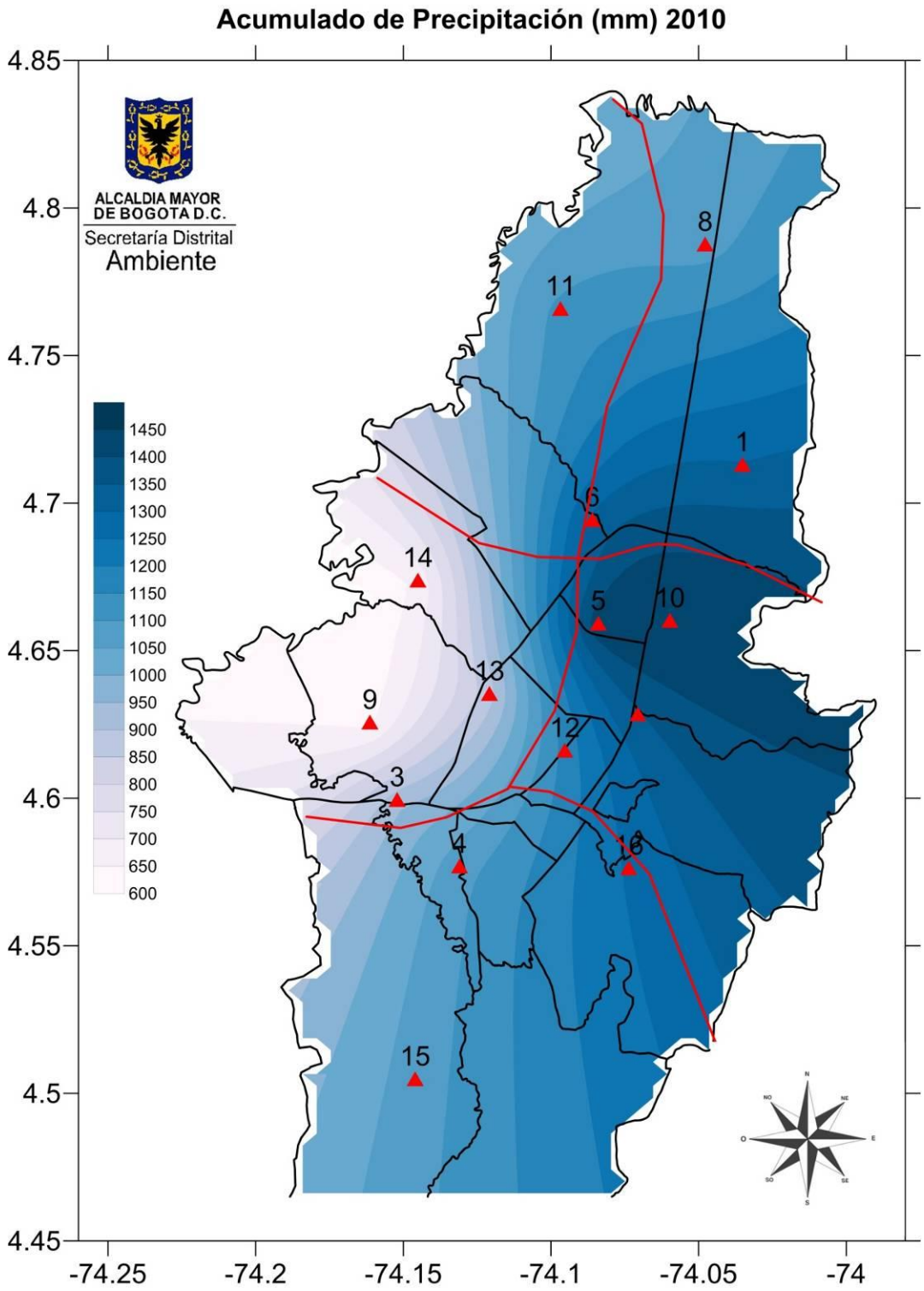


Figura 76. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el Año 2010 de 2010.Fuente RMCAB

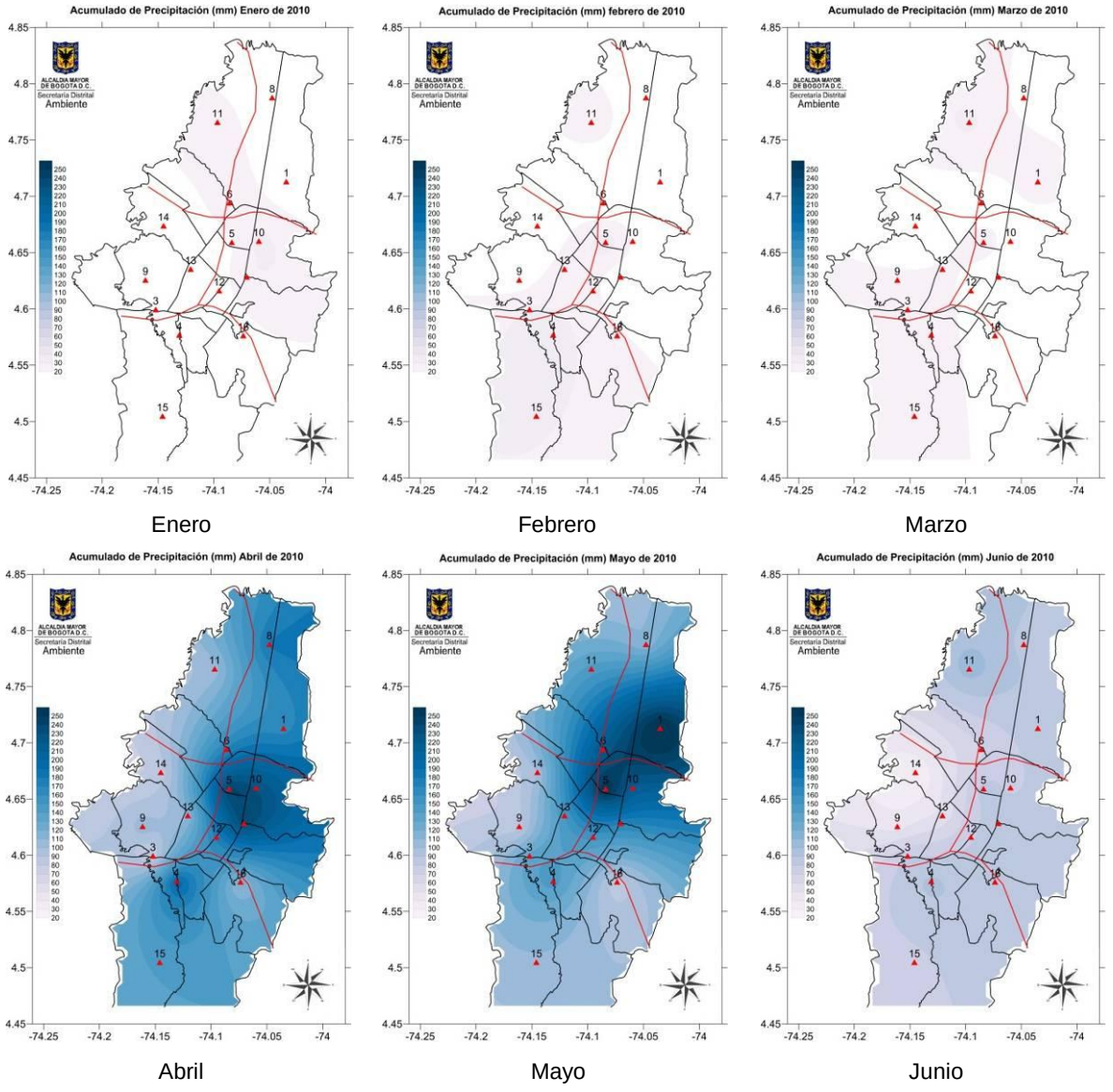


Figura 77. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el primer semestre de 2010. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 77 presentan la precipitación sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del primer semestre del Año 2010 en los cuales se observa la evolución de la precipitación. En abril y mayo se concentraron los acumulados de precipitación en el occidente de chapinero, sur de barrios unidos y norte de teusaquillo, mientras que al occidente de la ciudad se presentaron los menores acumulados. El mes de enero presentó el acumulado de la precipitación mas bajo viéndose precipitaciones al centro-oriente de la ciudad. En el mes de febrero y marzo se presenta un aumento del acumulado de precipitación con cierta homogeneidad en la mayoria de las localidades.

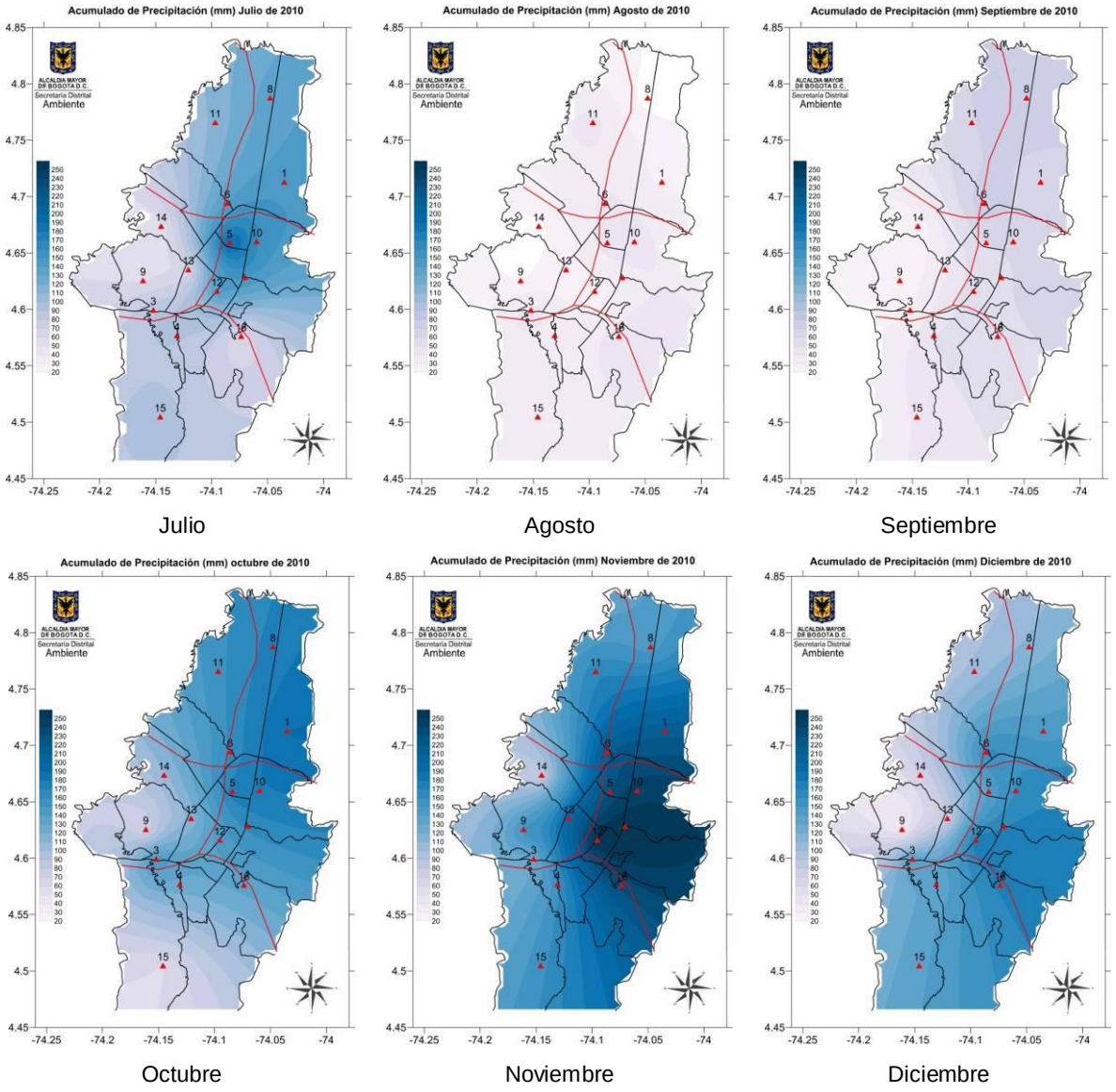


Figura 78. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para segundo semestre de 2010. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 78 presentan la precipitación sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del segunto semestre del Año 2010 en los cuales se observa que la precipitación en julio se concentró en el occidente de chapinero, sur de Barrios Unidos y norte de Teusaquillo, mientras que al occidente de la ciudad se presentaron los menores valores, aún así es un mes atípico debido a que se esoeraba menor acumulado de precipitación. El mes de agosto y septiembre se presenta una disminución del acumulado de precipitación con cierta homogeneidad en la mayoria de las localidades exceptuando las que estan al occidente de la capital. Para el último trimestre el acumulado mayor, inclusive del año, se presento en el mes de noviembre con cifras que alcanzaron los 250 mm.

3.2. **Vientos**

El comportamiento de los vientos en Colombia responde a los vientos alisios del noreste y sudeste, los cuales confluyen en la región intertropical formando una zona de baja presión llamada zona de confluencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio provoca las temporadas de lluvia en el país. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, tal es el caso del fenómeno del Niño. Otro aspecto que influye depende de las condiciones orográficas, las diferencias horizontales de temperatura en una montaña producen alteraciones locales del viento que genéricamente se llaman brisas. La brisa terrestre, llamada circulación valle-montaña, montaña-valle, se debe a diferencias de temperatura entre las montañas y el aire libre que las rodea, en la mañana se presenta un brisa soplando junto al suelo desde los valles y llanuras hacia las laderas que están recibiendo el Sol (solana), remontándolas. De noche desciende una brisa desde las montañas a los valles y llanuras.

En la ciudad de Bogotá, el comportamiento de los vientos se caracteriza por ser de calmas en las mañanas y de intensidad suave y leve en las tardes; esta tendencia se conserva en el año en estudio. Durante dicho periodo, la dirección y velocidad del viento en la ciudad se registró en catorce estaciones de la RMCAB, según se reporta en la Tabla 35. La Tabla 40 resume el comportamiento de la velocidad del viento para el año 2010 en cada uno de los meses y para 4 horarios distintos, y la Tabla 41 presenta los valores de velocidad máxima en 2010. Fontibón y Puente Aranda son las estaciones en que se presentó la mayor velocidad de viento en el trimestre seguido de Kennedy. La predominancia de los vientos en general varía según la estación como se observa en la Figura 80. Rosa de los vientos de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 40. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1-6, 7-12, 13-18 y 19-24 horas de 2010

Hora	1-6
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	1,0	1,1				0,4	0,9
Usaquén	0,9	1,1	0,8	0,4	0,7	1,1	0,8	1,5	1,0	0,9	0,6	0,6	0,9
Suba	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,7	0,3	0,4	0,8	0,8	0,5
Las ferias	1,3	1,7	1,3	1,0	1,1	1,2	1,1	1,3	1,0	1,1	0,9	0,9	1,2
Chicò	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6			0,6
Simón bolívar	0,9	1,2	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9
Estación Móvil	1,2	1,5	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2	1,7	1,3	1,3	1,0	1,0	1,3
Fontibón	2,0	2,2	1,9	1,7	1,9	1,9	1,7	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9
Puente Aranda	2,2	2,4	2,1	1,8	1,9	2,1	1,9	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	2,0
Kennedy	1,9	2,1	1,8	1,5	1,7	1,7	1,7	1,9	1,6	1,6	1,3	1,4	1,7
Carvajal	2,0	2,1	1,8	1,3	1,4	1,7	1,6	1,7	1,4	1,3	0,9	0,8	1,5
Tunal	0,8	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
vitelma								3,6	4,4		2,2		2,4
San Cristóbal	1,5	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0

Hora	13-18
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	2,1	2,1	2,3	1,6	1,7	1,8	1,4	1,9				1,3	1,9
Usaquen	1,5	1,6	1,5	1,3	1,4	2,0	1,6	2,6	1,8	1,8	1,4	1,6	1,7
Suba	1,8	1,7	1,8	1,4	1,5	1,7	1,1	1,6	1,3	1,4	2,0	2,3	1,7
Lasferias	2,8	3,0	3,0	2,1	2,5	2,4	2,2	2,4	2,2	2,4	1,9	2,2	2,4
Chicò	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2			1,1
Simón bolivar	2,6	2,5	2,5	2,1	2,3	2,1	2,1	2,2	2,1	2,3	2,0	2,1	2,2
Estación Móvil	2,8	3,0	3,0	2,3	2,5	3,1	2,7	3,5	2,6	3,0	2,1	2,2	2,7
Fontibón	4,4	4,4	4,3	3,7	3,8	3,9	3,6	4,3	4,1	4,3	3,8	3,9	4,0
Puente Aranda	4,0	4,1	4,0	3,4	3,6	4,0	3,6	4,2	3,7	4,1	3,2	3,3	3,8
Kennedy	3,8	3,9	3,8	3,4	3,5	3,5	3,5	3,7	3,7	3,9	3,2	3,1	3,6
Carvajal	3,3	3,4	3,3	2,9	3,0	3,2	3,0	3,3	3,0	3,1	2,4	2,4	3,0
Tunal	1,9	1,9	1,7	1,7	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	1,8	1,7	1,8
vitelma								4,8			1,9		2,2
San Cristóbal	1,6	1,5	1,6	1,2	1,4	1,6	1,2	1,7	1,2	1,2	0,9	1,0	1,3

Hora	7-12
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	1,0	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0	0,8	1,6				0,5	1,0
Usaquen	0,8	0,9	0,7	0,5	0,7	1,1	0,7	1,3	0,9	0,9	0,6	0,6	0,8
Suba	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,7	0,5	0,6	1,0	1,1	0,7
Lasferias	1,5	1,8	1,4	1,1	1,2	1,2	1,0	1,1	1,0	1,2	0,8	0,8	1,2
Chicò	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6			0,7
Simón bolivar	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9
Estación Móvil	1,1	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,5	1,3	1,3	1,0	1,0	1,2
Fontibón	1,9	2,2	2,1	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,6	1,7	1,6	1,6	1,8
Puente Aranda	1,8	2,0	1,9	1,8	1,7	1,8	1,7	1,9	1,7	1,7	1,6	1,5	1,7
Kennedy	1,6	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,5	1,7	1,4	1,4	1,2	1,2	1,5
Carvajal	1,8	1,7	1,6	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,3	1,2	0,9	0,8	1,4
Tunal	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7
vitelma								3,4			1,9		2,0
San Cristóbal	1,1	0,9	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8

Hora	19-24
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	2,1	2,1	1,9	1,6	1,3	1,5	1,5	1,6				1,1	1,7
Usaquen	1,6	1,7	1,4	1,0	1,3	1,9	1,2	2,6	1,7	1,7	1,0	1,3	1,5
Suba	1,3	1,3	1,2	0,9	1,0	1,2	0,8	1,1	0,7	0,8	1,2	1,5	1,1
Lasferias	2,6	2,5	2,4	1,8	2,0	2,2	1,9	2,1	1,8	1,9	1,5	2,0	2,1
Chicò	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9			0,9
Simón bolivar	2,2	2,2	2,1	1,6	1,6	1,9	1,7	1,8	1,5	1,6	1,3	1,7	1,8
Estación Móvil	2,6	2,5	2,4	1,8	2,1	2,4	2,2	3,0	2,0	2,3	1,5	1,8	2,2
Fontibón	4,3	4,0	3,7	3,2	3,1	3,7	3,2	3,7	3,3	3,3	2,8	3,1	3,5
Puente Aranda	4,0	3,8	3,6	2,9	3,0	3,5	3,1	3,8	3,0	3,1	2,5	2,9	3,3
Kennedy	3,8	3,6	3,6	2,7	3,0	3,1	3,0	3,4	2,9	2,9	2,3	2,8	3,1
Carvajal	3,1	3,0	2,9	2,2	2,5	2,8	2,5	2,8	2,3	2,3	1,7	2,0	2,5
Tunal	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2	1,5	1,4
vitelma								4,7			1,8		2,2
San Cristóbal	1,6	1,5	1,5	1,1	1,2	1,4	1,1	1,5	1,2	1,2	0,9	1,0	1,2

Tabla 41.valores máximos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

Velocidad	Máxima
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	4,7	4,4	5,2	4,2	4,0	4,7	3,7	4,4				3,7	5,2
Usaquen	4,8	5,2	3,9	3,8	4,0	5,9	3,8	6,4	6,6	4,7	4,1	4,1	6,6
Suba	3,3	3,9	3,7	3,3	3,5	3,0	2,5	3,3	2,6	3,0	3,7	5,6	5,6
Lasferias	5,6	5,1	5,2	5,2	5,9	4,6	4,4	4,6	4,6	5,8	5,4	5,3	5,9
Chicò	2,7	2,4	3,1	2,7	3,2	2,8	2,6	3,0	2,1	2,9			3,2
Simón bolivar	5,2	4,8	5,6	4,8	5,4	4,4	4,2	4,1	5,1	5,0	4,9	5,0	5,6
Estación Móvil	6,3	6,6	5,8	6,0	5,8	6,1	7,3	6,8	6,1	6,3	4,3	5,5	7,3
Fontibón	8,4	9,2	8,5	7,7	8,2	7,9	7,2	8,7	8,2	8,1	8,2	7,9	9,2
Puente Aranda	7,5	8,6	7,5	7,0	6,8	6,7	7,8	8,1	7,1	7,3	6,4	6,6	8,6
Kennedy	6,6	6,9	6,7	6,9	6,3	6,8	5,8	6,5	6,7	6,8	6,2	6,5	6,9
Carvajal	5,3	5,9	5,4	5,0	5,9	5,5	5,7	6,2	5,0	5,0	4,5	5,1	6,2
Tunal	4,4	4,5	4,7	3,7	4,4	3,9	3,3	3,8	4,4	4,2	3,9	4,2	4,7
vitelma								5,5	4,4		3,6		5,5
San Cristóbal	3,5	3,8	2,7	2,8	3,2	4,0	2,7	4,2	3,3	3,0	2,2	2,6	4,2

Velocidad	Mínima
Año	2010

	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2010**
Guaymaral	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2				0,1	0,1
Usaquen	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Suba	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0
Lasferias	5,6	5,1	5,2	5,2	5,9	4,6	4,4	4,6	4,6	5,8	5,4	5,3	5,9
Chicò	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2			0,2
Simón bolivar	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Estación Móvil	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Fontibón	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
Puente Aranda	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4
Kennedy	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2
Carvajal	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Tunal	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
vitelma								3,0	4,3		0,1		0,1
San Cristóbal	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

La Figura 79 muestra gráficas de las velocidades del viento en escala horaria para cada uno de los meses del año 2010, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la velocidad del viento. Todas las estaciones muestran el comportamiento típico de la velocidad del viento, en horas de la madrugada se observan velocidades muy pequeñas o incluso cero y las velocidades máximas se presentan cerca de las 2 pm. También se presenta una característica que puede relacionarse con la variabilidad propia de Bogotá y por eventos tales como el ENSO (El Niño Southern Oscilation) y de otras escalas, lo que representa la

disminución de la velocidad comparado con el primer semestre. La tendencia de la velocidad fue de disminuir levemente en los últimos meses del año.

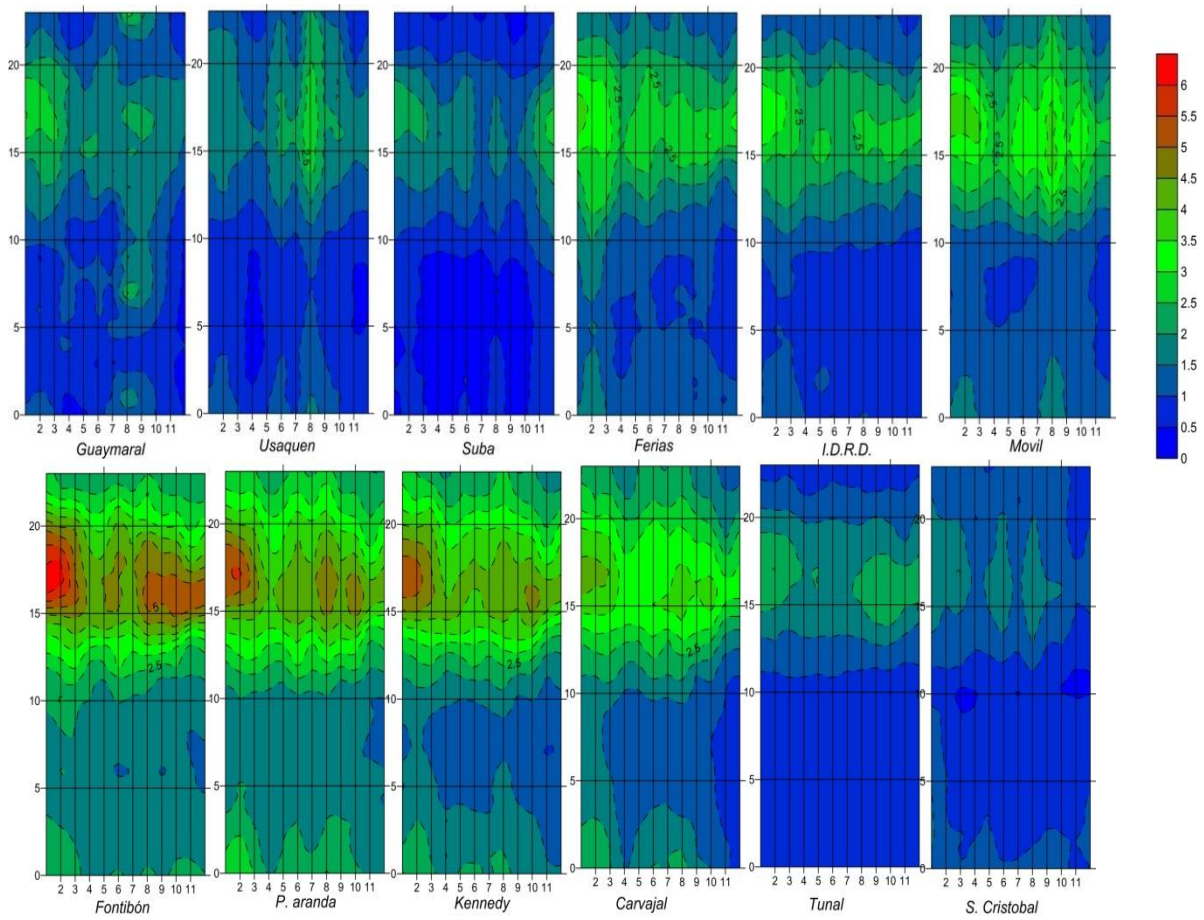
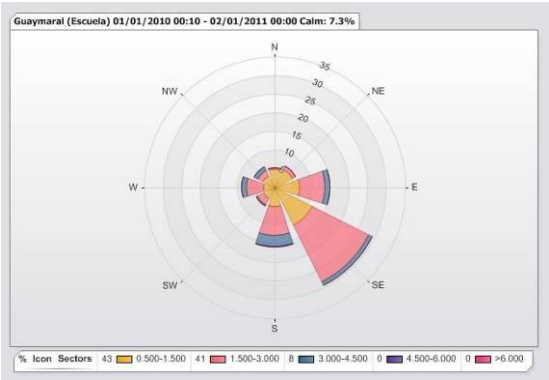
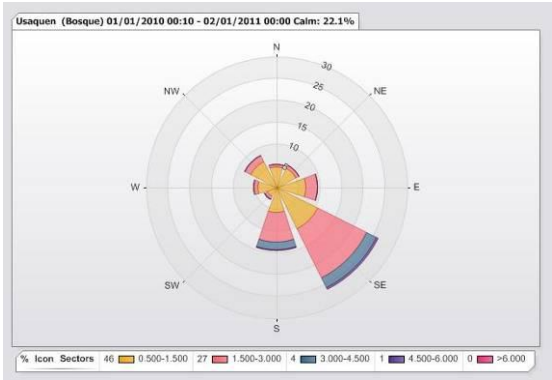


Figura 79. Velocidad del viento por estación, según la media horaria. Fuente RMCAB.

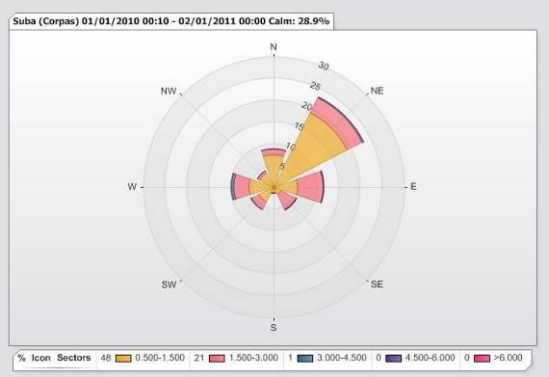
La Figura 80 esquematiza las rosas de viento para cada una de las estaciones del año de estudio, en escala horaria, se franjea hacia el sitio donde proviene el viento.



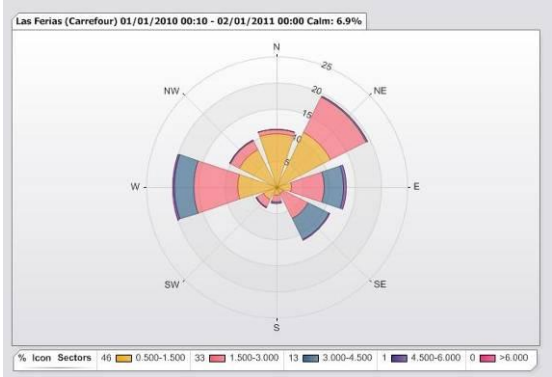
Guaymaral (Escuela)



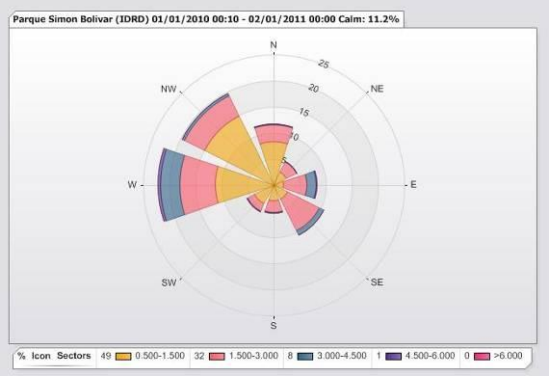
Usaquén (Bosque)



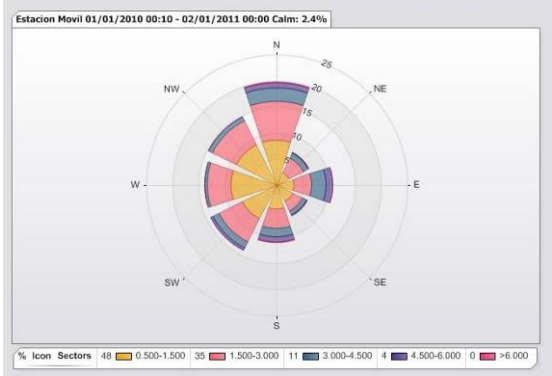
Suba (Corpas)



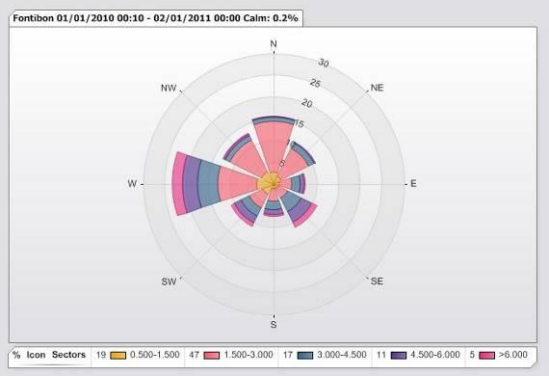
Las Ferias (Carrefour)



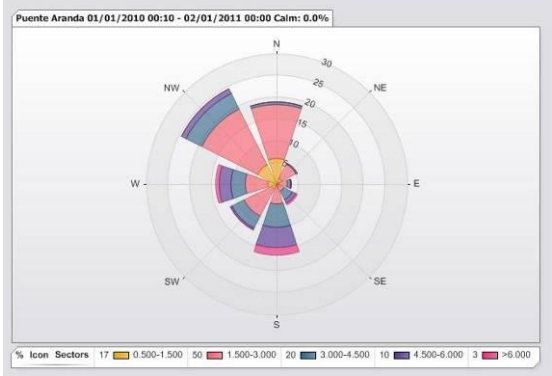
Parque Simón Bolívar (IDRD)



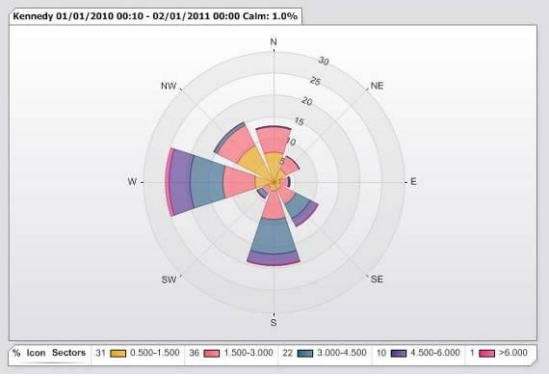
Zona Industrial - Estación Móvil

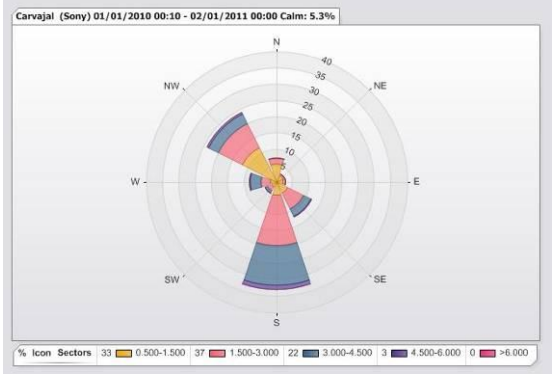


Fontibón

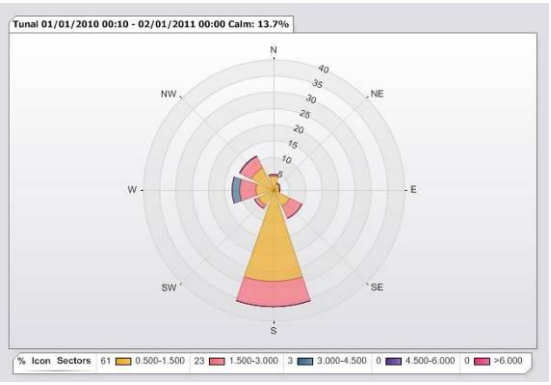


Puente Aranda



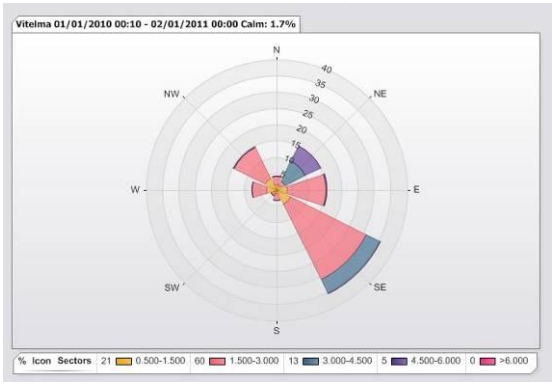


Kennedy

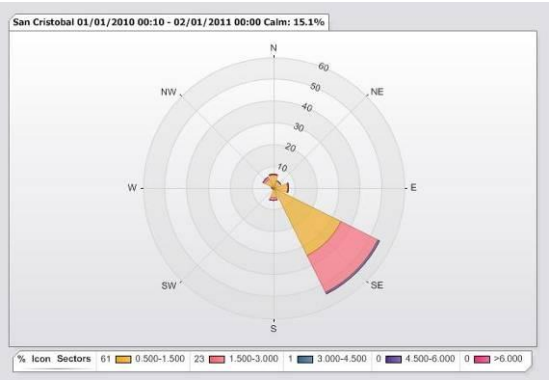


Tunal

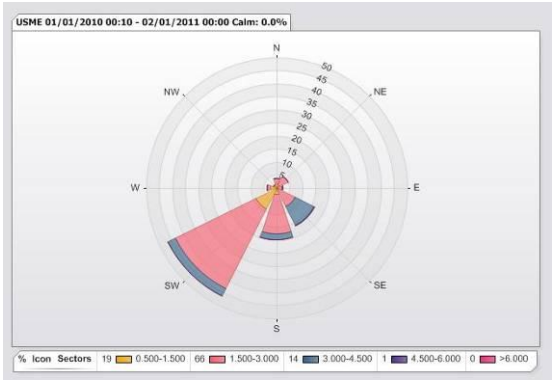
Carvajal (Sony)



Vitelma



San Cristóbal



Usme

Figura 80. Rosa de los vientos de las estaciones de la RMCAB[15].

El mapa de la Figura 81 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para el año 2010 sobre esta superficie. Cada isotaca está separada 0,5 m/s una de la otra. En ella se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento; al sur de la ciudad. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente de la ciudad, alcanzando velocidades de más de 2.5 m/s ubicado en parte de la localidad de Fontibón y norte de Kennedy. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes bajas desde el suroriente hacia el occidente de la ciudad, comportamiento que se presentó en cada uno de los meses del año 2010.

En la Figura 82 se encuentran los mapas de la ciudad en 4 diferentes escalas horarias, es evidentemente que la velocidad en horas de la tarde alcanza su máximo valor además de la variación de la dirección del viento como en el caso de la localidad de Engativá. Otras localidades como el sur de la ciudad muestran vientos predominantes de los llanos orientales exceptuando las horas de la mañana.

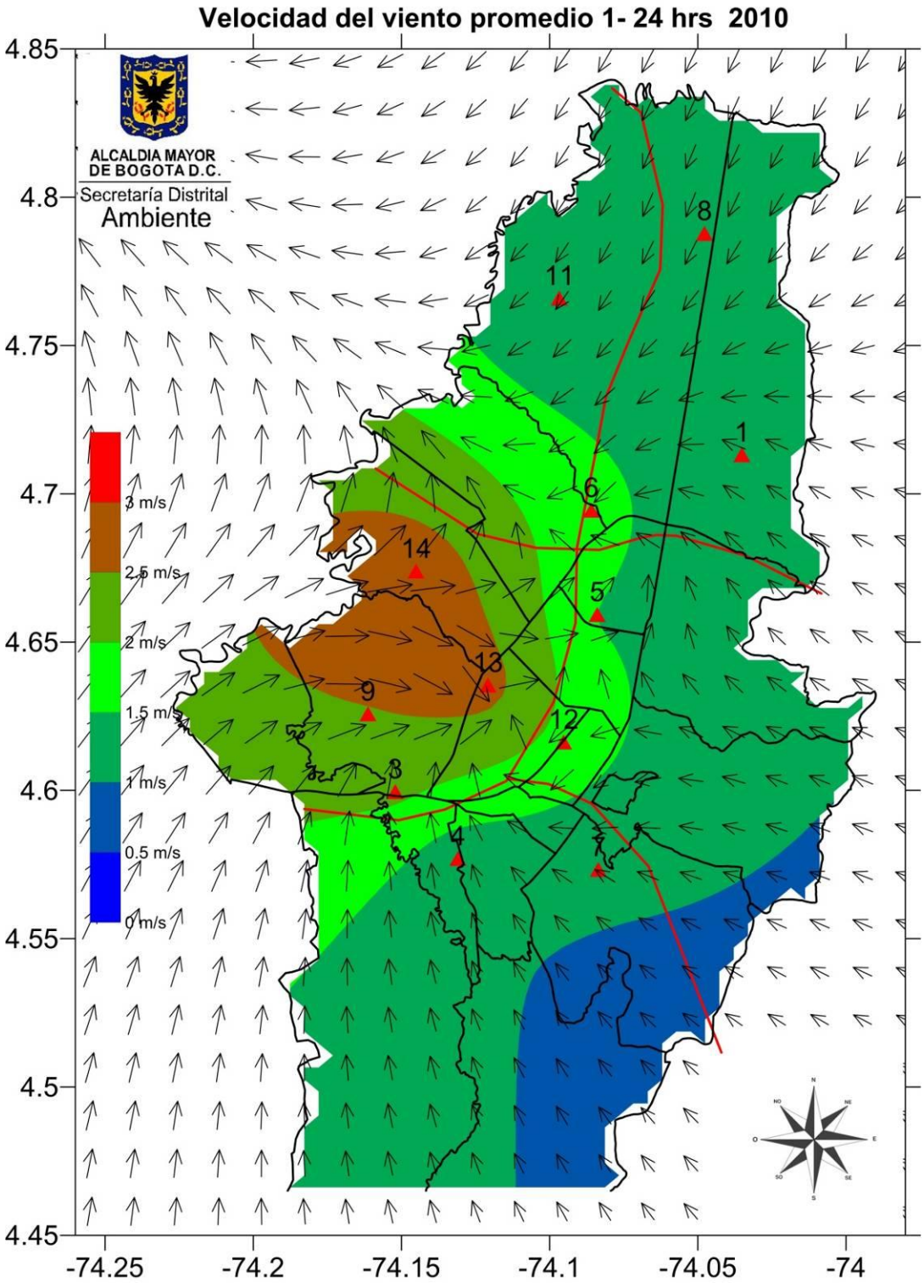
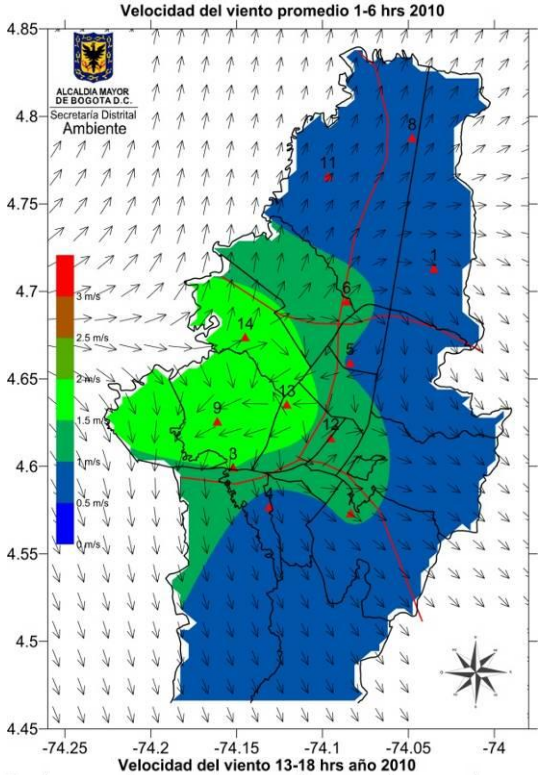
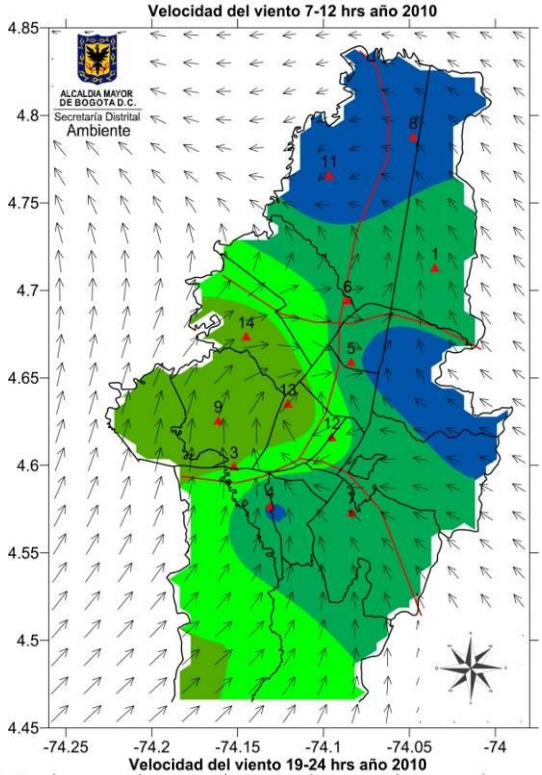


Figura 81. Velocidad y dirección del viento de Bogotá para el año 2010

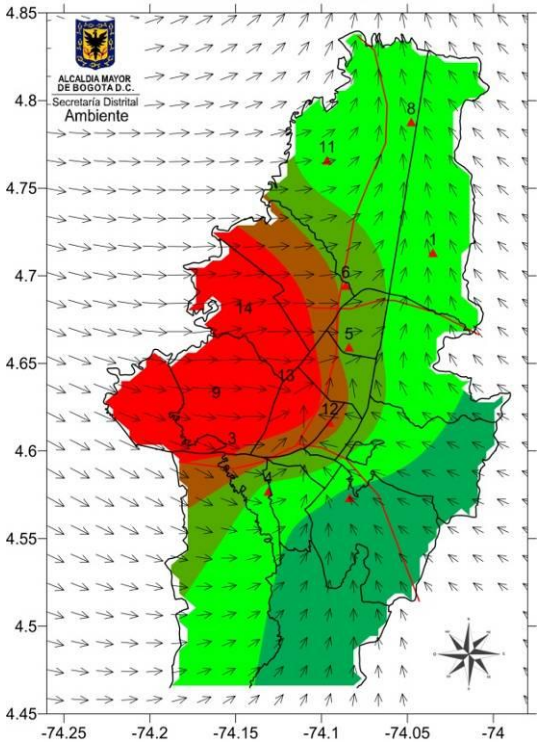
Velocidad del viento promedio 1-6 hrs 2010



Velocidad del viento 7-12 hrs año 2010



Velocidad del viento 13-18 hrs año 2010



Velocidad del viento 19-24 hrs año 2010

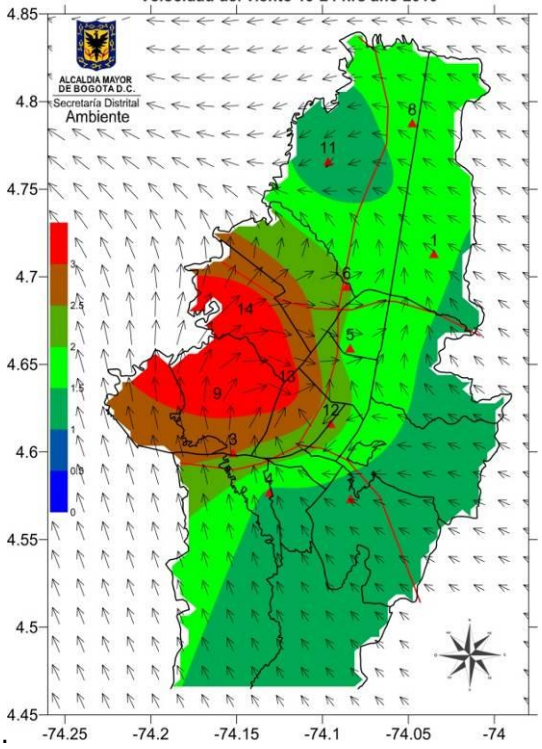


Figura 82. Promedio de velocidad y dirección del viento para distintas horas en el año 2010. Fuente RMCAB.

3.3. **Temperatura Superficial**

La temperatura superficial se refiere esencialmente a la temperatura del aire libre o temperatura ambiental cerca de la superficie de la tierra. Para el tercer trimestre de 2010 se contó con catorce estaciones de la RMCAB dotadas con sensores de temperatura, según se reporta en la Tabla 35. Para analizar el comportamiento de la temperatura superficial registrada por las estaciones de la RMCAB se presentan mapas y gráficas según la variación ya sea horaria o mensual en comparación con los promedios registrados desde el año 1997.

El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el Año 2010 se caracterizó por promedios altos en el primer semestre y normales en el segundo, comprarándolos con los promedios para el periodo 1997-2009, Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 83 la cual muestra la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura en cada uno de los meses del año 2010.

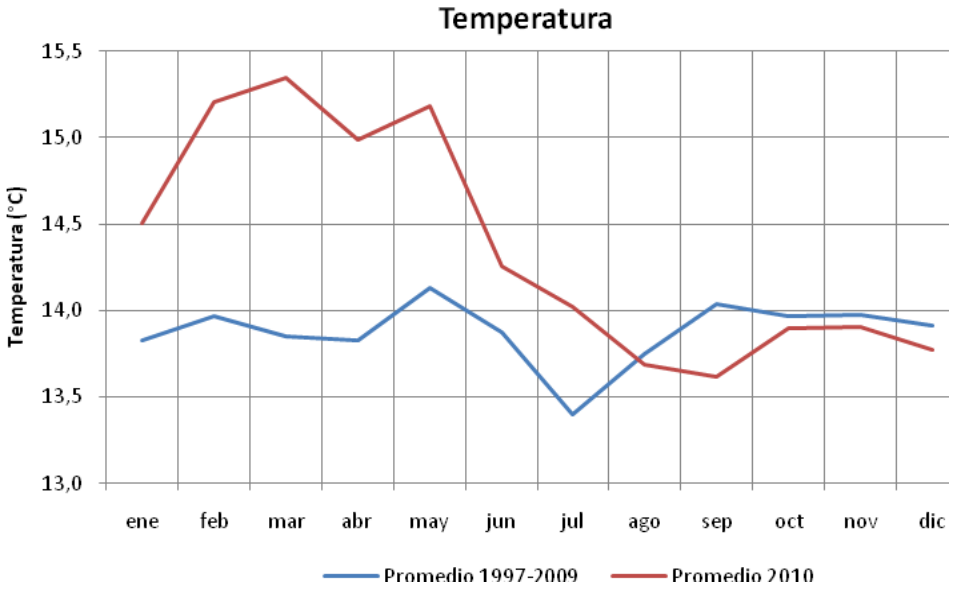


Figura 83. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1997-2009 y su comparación con el 2010. Fuente RMCAB

Con respecto a los promedios de temperatura mensuales medidos en el periodo 1997-2009 se pueden observar en la Tabla 42 la variación porcentual en cada uno de los meses. La Figura 84, muestra la evolución de la temperatura promedio en el periodo 1997-2010 para cada uno de los trimestres del año. Los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2005 y 1998.

Tabla 42. Variación Porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
4.9%	8.8%	10.8%	8.4%	7.5%	2.7%	4.7%	0.4%	-3.0%	-0.5%	-0.5%	-1.0%

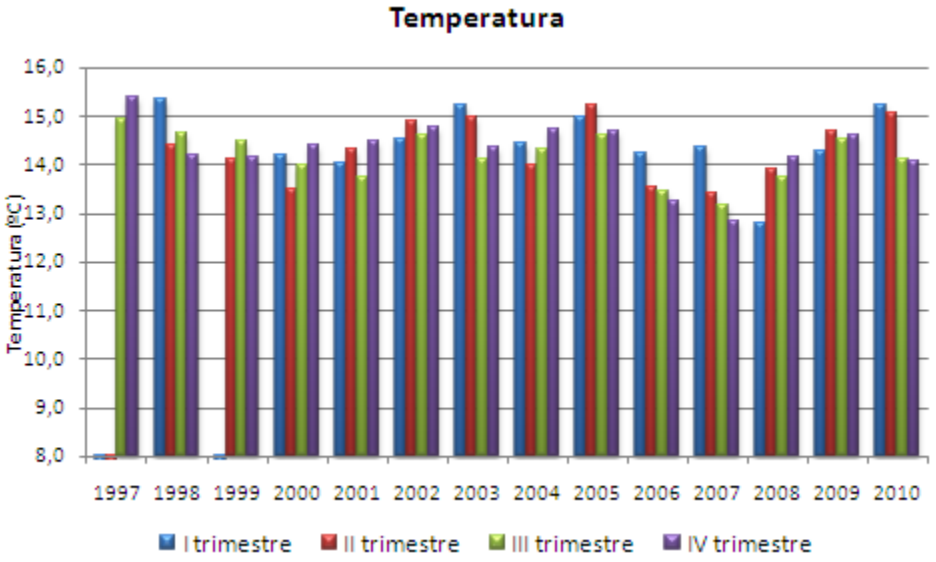


Figura 84, Gráfica de la temperatura promedio del trimestre JAS de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2002- 2010. Fuente RMCAB

La Tabla 43 muestra esta evolución distribuido en las estaciones de la RMCAB

Tabla 43. Promedios de temperatura media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2002-2010. Fuente RMCAB

Temperatura (°C)	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**
Guaymaral 2m	15.2	15.9	15.3	13.1	12.9							13.9	14.4	14.8
Usaquén											12.4	12.0	14.5	15.0
Suba		12.0	11.5	11.6	13.2			12.1	14.2	13.3	13.3	13.7	13.0	13.3
Las ferias				15.4	15.8	15.7	15.9	15.3	15.4		13.8	13.4	14.0	14.1
Parque Simón Bolívar								15.8	15.9		14.3	14.1	14.7	14.9
Zona Industrial - Estación Móvil												14.6	15.3	15.2
Fontibón			13.4	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.2	14.0	13.9	14.2	14.7	14.6
Puente Aranda			14.1	14.0	14.5	14.6	14.6	14.5	14.7	14.5	14.5	14.0	14.6	14.5
Kennedy												13.5	14.7	14.7
Carvajal									12.6	12.0	11.5	14.8	15.4	15.5
Vitelma									10.7	12.2	11.7	11.5	12.6	12.9

San Cristóbal													13.5	13.4
Usme										12.7	12.4	13.8		12.2

El comportamiento horario de la temperatura varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la capa nubosa presente en la atmósfera entre otros, observándose los datos de temperatura máximos en horas de la tarde y los valores mínimos en horas de la madrugada. La Figura 85 muestra gráficas de las temperaturas superficiales en escala horaria para cada uno de los meses del año 2010, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la magnitud de la temperatura. Se observa un período de disminución leve de la temperatura entre las 2 y las 5 de la mañana, un posterior aumento significativo entre las 6:00 y las 12:00, hora en la cual se alcanzan los máximos valores hasta las 14:00. A continuación desciende levemente hasta alcanzar temperaturas similares a las registradas en las primeras horas del día

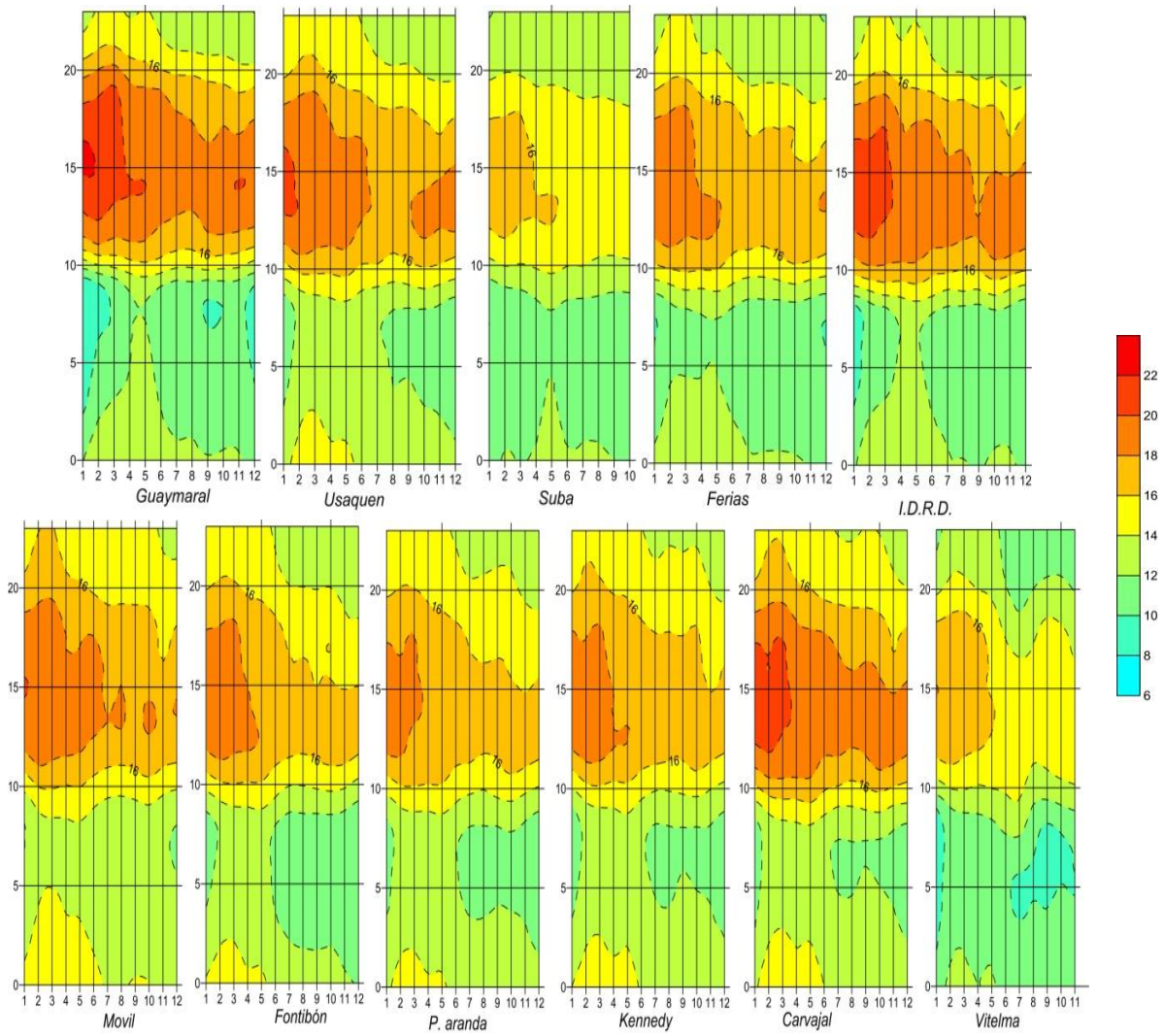


Figura 85. Gráfica de la temperatura para cada hora mensual de las estaciones de la RMCAB para el año 2010. Fuente RMCAB

Adicionalmente la Tabla 44 y Tabla 45 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación del 2010. La estación del Parque Simón Bolívar presenta la segunda mayor amplitud térmica con 10,5°C despues de la estación de Guaymaral con 11°C. Las menores diferencias entre temperaturas máximas y mínimas promedio diarias se presentaron en la estación de Suba con 5.8° C y la estación de San Cristóbal con 6.1° C.

Tabla 44. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en el año 2010 y su promedio. Fuente RMCAB

Temperatura Max (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Guaymaral 2m 1997	22.8	22.7	22.3	21.4	21.1	20.1	19.3	19.5	20.0	20.7	20.7	21.0	21.0
Usaquén 1997	21.2	20.6	20.8	20.3	20.1	19.3	18.9	18.7	19.0	19.4	19.4	19.9	19.8
Suba 1997	18.0	18.1	17.4	16.5	16.9	16.4	16.0	15.9	15.8	16.1			16.7
Las ferias 2000	20.5	19.9	20.1	19.6	19.6	18.7	18.0	18.1	18.2	19.0	18.7	19.1	19.1
Parque Simón Bolívar 2001	22.2	22.3	21.5	21.0	21.0	20.1	20.0	19.9	19.5	20.9	20.3	20.8	20.8
Zona Industrial - Estación Móvil 2008	20.8	20.7	20.7	19.7	19.8	19.5	18.9	18.6	18.6	19.1	18.4	19.0	19.5
Fontibón 1999	20.0	20.1	19.8	19.5	19.4	18.2	17.5	17.7	17.5	17.5	17.0	17.8	18.5
Puente Aranda 1999	19.7	19.5	19.2	18.9	18.8	17.9	17.7	17.4	17.6	18.1	17.7	18.0	18.4
Kennedy 2005	19.9	20.2	20.0	19.0	19.1	18.8	18.0	18.1	17.3	18.3	17.6	17.7	18.7
Carvajal 1997	21.8	21.7	21.6	21.1	20.8	20.1	19.7	19.5	19.2	20.3	19.9	20.2	20.5
Vitelma 2005	18.6	18.5	18.1	17.6	17.3	16.3	16.1	15.5	16.7	16.7	16.2		17.1
San Cristóbal 2009	18.3	18.3	17.3	17.0	17.3	16.7	16.3	16.1	16.7	16.8	16.5	16.6	17.0
Usme 2005					17.5	15.8	16.1	15.6	16.5	16.4	15.9		16.2

Tabla 45. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en el año 2010 y su promedio. Fuente RMCAB

Temperatura Min (°C)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Guaymaral 2m 1997	7.3	9.6	9.7	11.4	11.8	10.7	10.3	11.0	9.6	9.8	10.2	8.8	10.0
Usaquen 1997	10.2	12.6	12.5	12.8	13.0	12.2	11.9	11.6	11.4	11.1	11.1	10.1	11.7
Suba 1997	9.8	10.8	10.7	11.3	11.7	11.1	11.3	11.2	11.1	11.1			11.0
Las ferias 2000	9.2	11.6	11.3	11.6	11.6	10.9	10.6	10.4	10.5	10.4	10.4	9.5	10.7
Parque Simón Bolívar 2001	8.0	10.1	10.7	11.7	11.9	10.8	10.3	10.2	10.4	10.2	10.7	9.6	10.4
Zona Industrial - Estación Móvil 2008	11.6	13.2	13.7	13.4	13.5	12.8	12.2	12.8	12.5	12.3	12.1	11.5	12.6
Fontibón 1999	10.7	11.9	12.3	12.4	12.4	11.5	10.9	10.7	10.9	11.0	11.1	10.0	11.3
Puente Aranda 1999	10.8	12.3	12.4	12.5	12.5	11.8	11.3	11.3	11.5	11.3	11.3	10.4	11.6
Kennedy 2005	10.3	12.1	12.3	12.8	12.8	12.1	11.5	11.4	11.7	11.4	11.6	11.0	11.8
Carvajal 1997	10.6	12.5	12.7	12.8	12.9	12.1	11.8	11.6	11.9	11.5	11.5	10.7	11.9
vitelma 2005	8.2	10.4	10.2	10.7	11.0	9.8	9.5	9.6	9.2	9.3	9.9		9.8
San Cristóbal 2009	9.7	11.4	12.2	11.8	11.8	11.1	10.6	10.7	11.0	11.0	10.7	9.9	11.0
Usme 2005					10.5	9.4	9.1	9.0	8.9	9.1	9.5		9.4

Tabla 46: Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB.

Estación	Guaymaral 2m	Usaquén	Suba	Las ferias	Parque Simón Bolívar	Zona Industrial - Estación Móvil	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal	Vitelma	San Cristóbal	Usme
Amplitud	11	8.1	5.8	8.5	10.5	6.8	7.2	6.8	6.9	8.6	7.3	6.1	6.9

El promedio histórico muestra que la amplitud térmica en Bogotá no supera los 11°C. A continuación se presenta los valores de temperatura parta cada trimestre de las estaciones RMCAB.

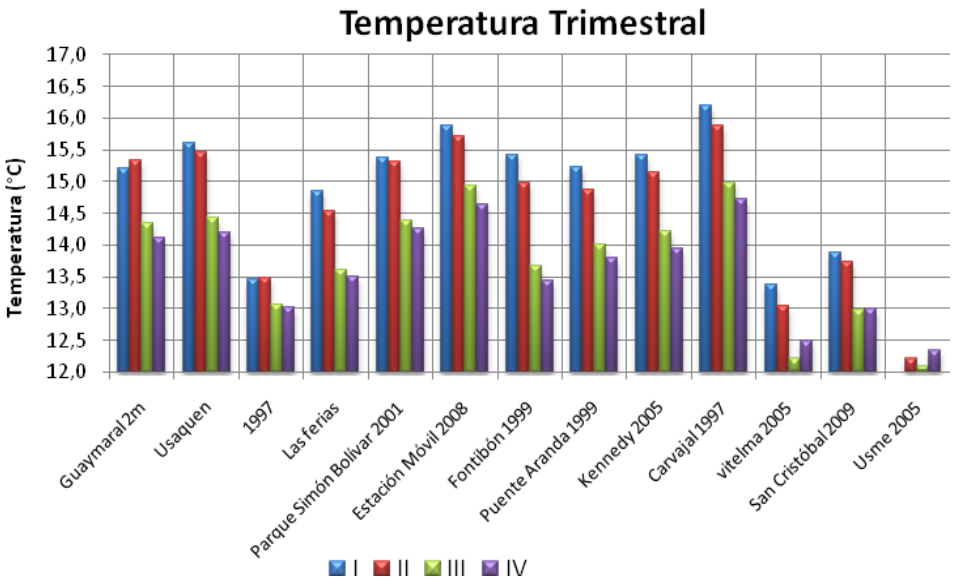


Figura 86. Gráfica de la temperatura promedio de los 4 trimestres para cada una de las estaciones de la RMCAB en el 2010. Fuente RMCAB.

El mapa de la Figura 87 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el año 2010 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada cada 0.5°C una de la otra. En ella se puede observar que los dos sectores con menor temperatura se encuentran al sur de la capital y un pequeño sector de la localidad de Suba. Los mayores promedios se encuentran cercanos a las fronteras de las localidades Puente Aranda, los Mártires Antonio Nariño y Tunjuelito, representados por la estación de Carvajal y en el oriente de la localidad de Usaquén, representada por su estación.

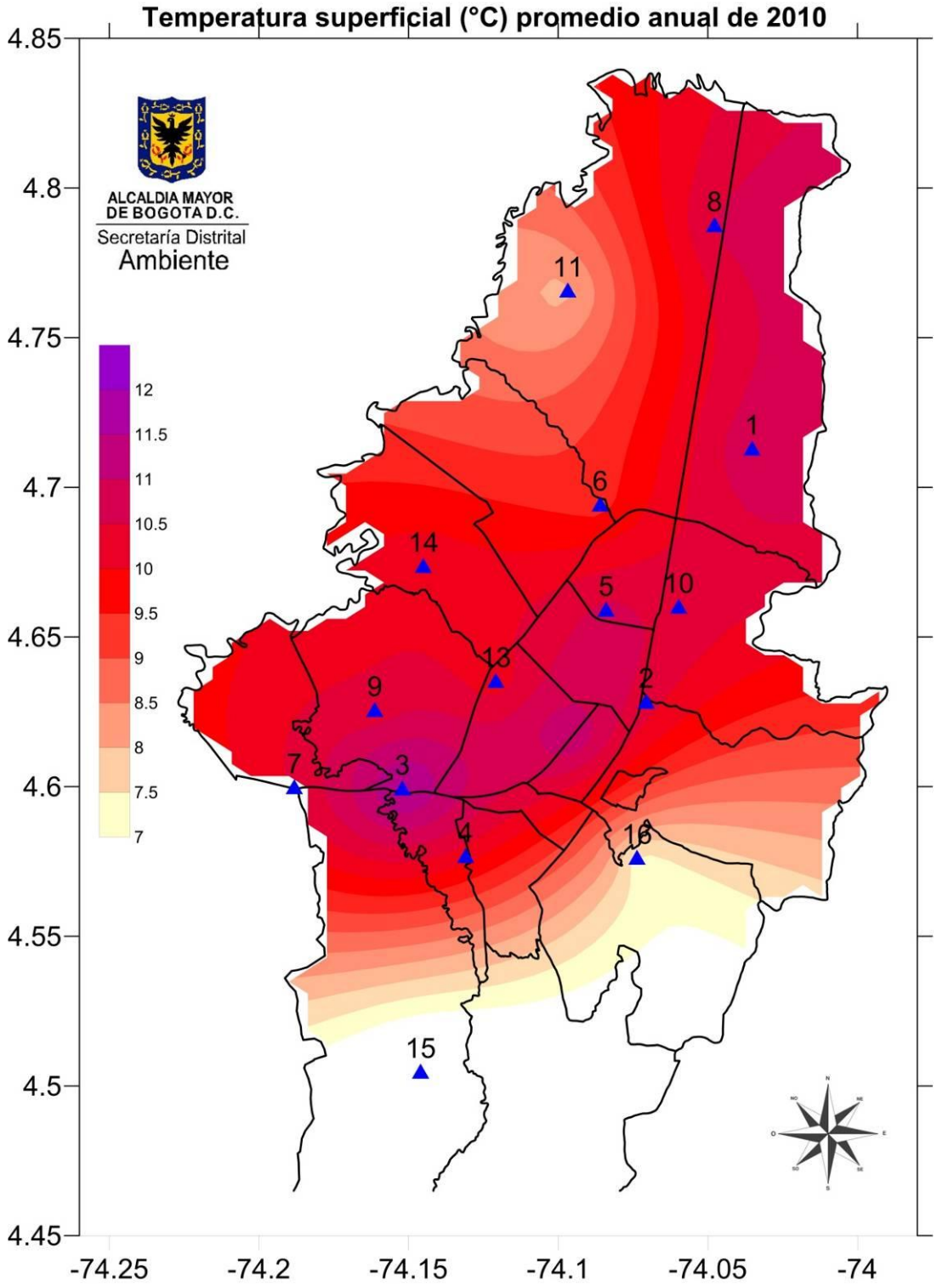
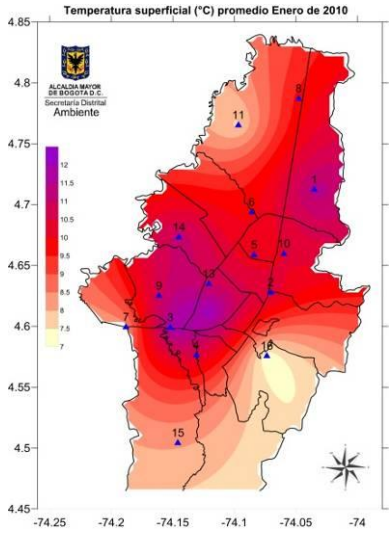
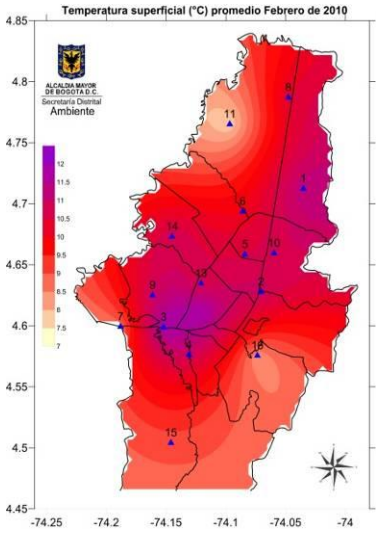


Figura 87. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB para el año 2010. Fuente RMCAB

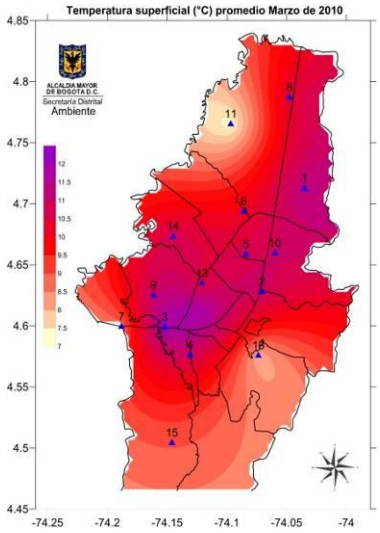
Los mapas de la Figura 88 presentan la temperatura sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del año 2010 en los cuales se observa la evolución mensual en las distintas localidades de Bogotá. El primer semestre se caracterizó por temperaturas altas y el último semestre por temperautras más bajas.



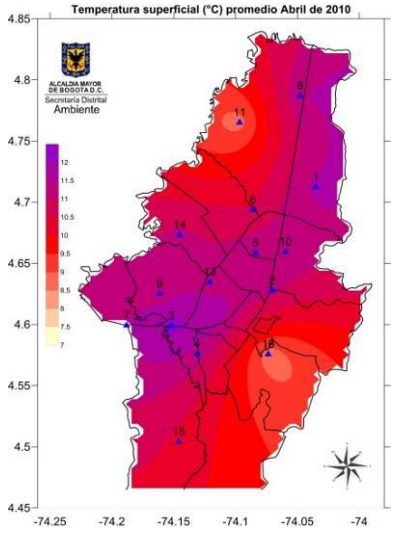
Enero

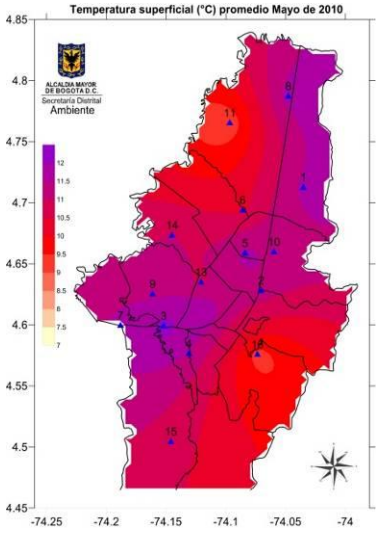


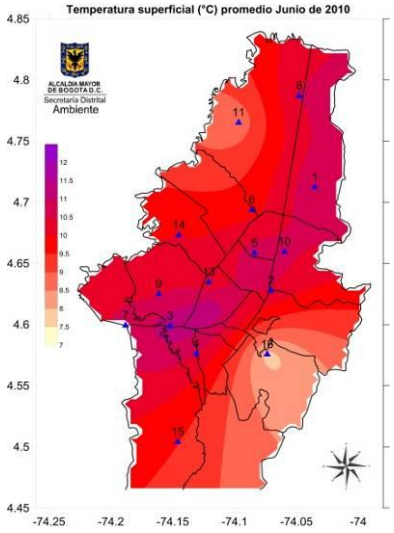
Febrero



Marzo







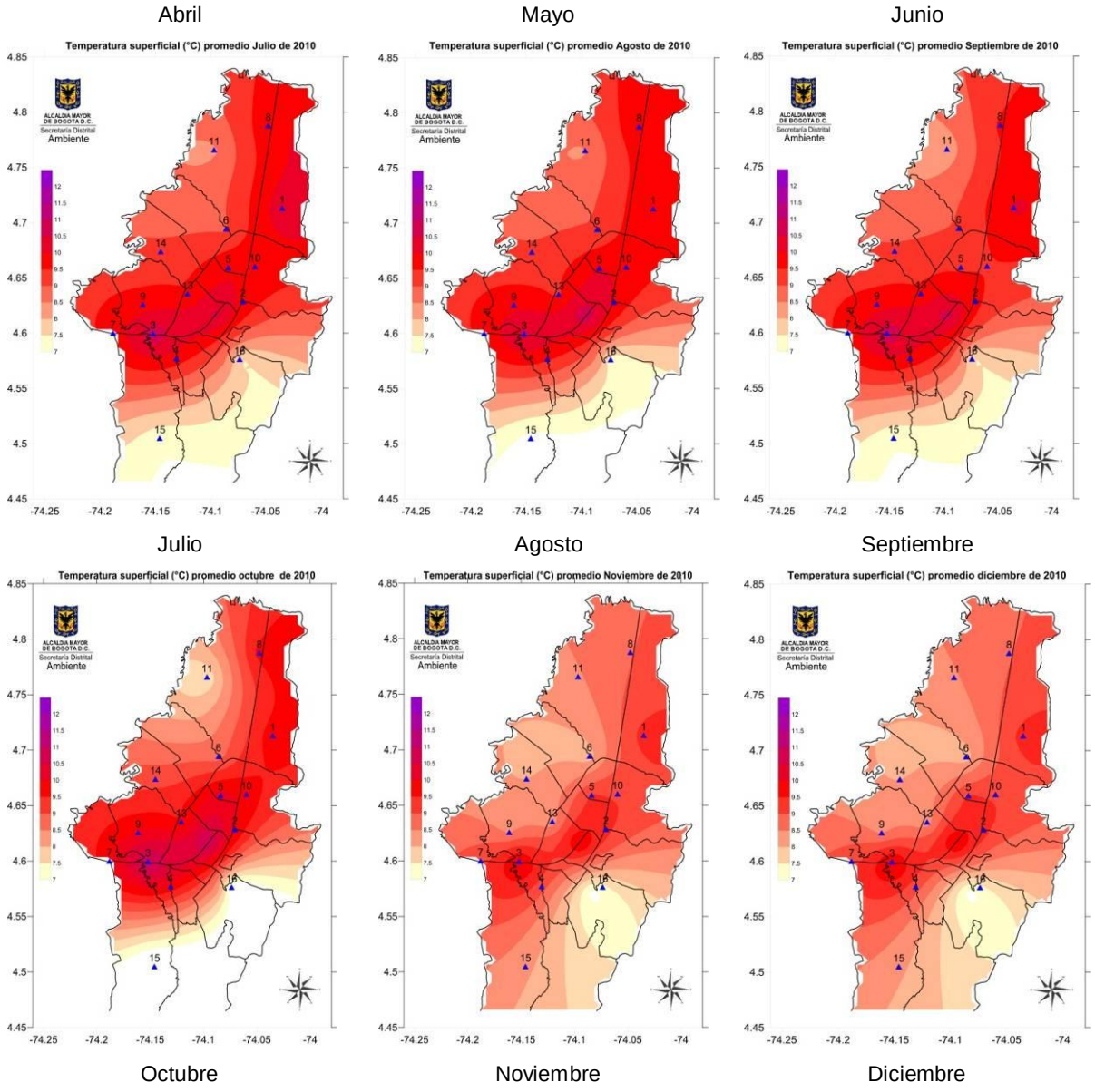
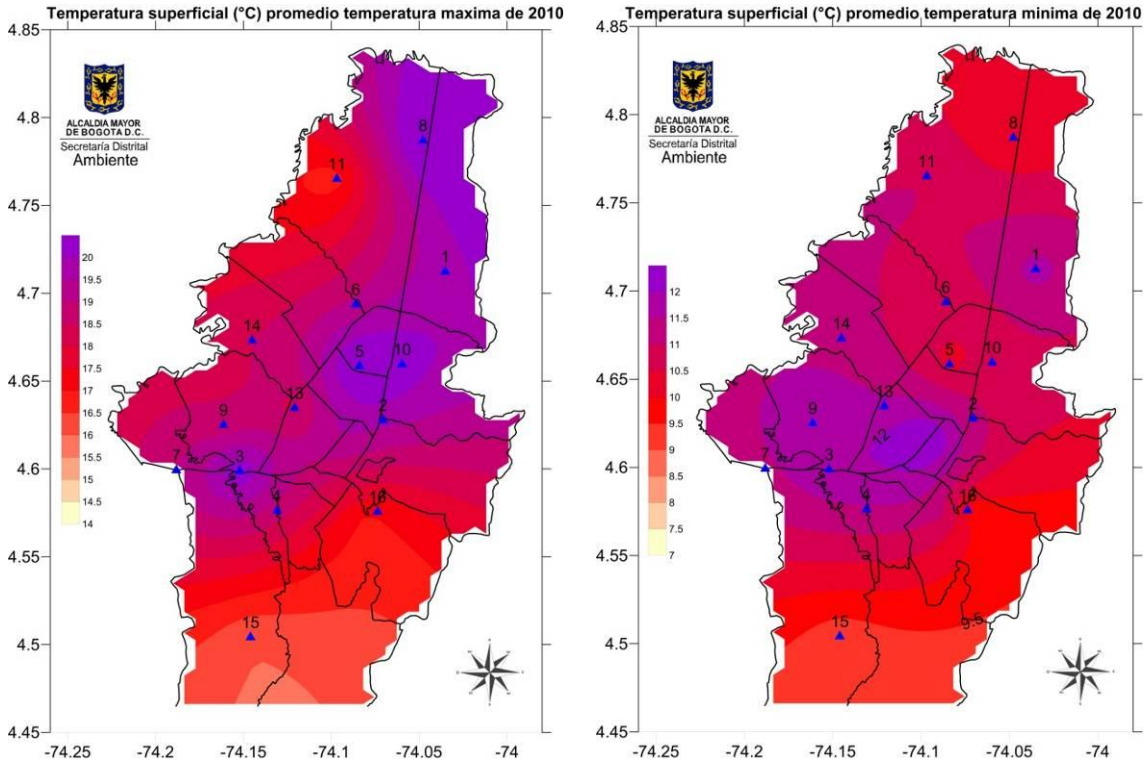


Figura 88. Temperatura promedio mensual para el año 2010.

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio del 2010 de las estaciones de la RMCAB. La Figura 89 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente y su seguimiento permite detectar zonas con susceptibilidad de heladas y/o alto consumo de energía, entre otros.



Promedio Temperatura máxima 2010 | Promedio Temperatura mínima 2010

Figura 89. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

La Figura 89 muestra que los valores mas altos de temperaturas para máximas y mínimas se observaron en el sector central de la ciudad,. El sector de Suba presentó las mayores temperaturas máximas con cerca de 20°C mientras que las temperaturas mínimas tuvieron su valor mas bajo al extremo norte y sur de la ciudad.

3.4. **Radiación solar**

La radiación solar que llega a la Tierra está expresada por la magnitud irradiancia, que mide la intensidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre. La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir cuatro tipos de radiación[16]:

a. Radiación directa. Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

[16] *Definiciones* http://www.solarpedia.es/index.php/Radiación_solar

b. Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

c. Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

d. Radiación global: es la suma de las tres radiaciones.

La radiación solar global se puede apreciar en la Figura xx, la cual muestra los valores promedio de 2006-2009 de radiación mensual para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 35) y su comparación con el promedio de radiación global en cada uno de los meses del primer semestre de 2010. Las condiciones que actúan de manera general en la radiación global dependen de:

— La Distancia tierra-sol. Hay que tener en cuenta que a mediados del año la distancia tierra-sol es mayor (afelio) y por lo tanto llega menos radiación a la superficie de la tierra, mientras que, a principios del año, en el perihelio, la tierra está más cerca al sol, por lo que llega mayor radiación.

— La Nubosidad. En los meses en los que se registra menor radiación, se presenta la primera temporada de lluvias, la cual está asociada a un incremento generalizado de la nubosidad. (IDEAM)

Se puede observar en la Figura 90 que la tendencia de la radiación en los últimos meses del año 2010 fue de disminuir en su acumulado con respecto al periodo histórico de referencia, la Tabla 47 muestra la variación porcentual de la radiación con respecto al periodo de referencia

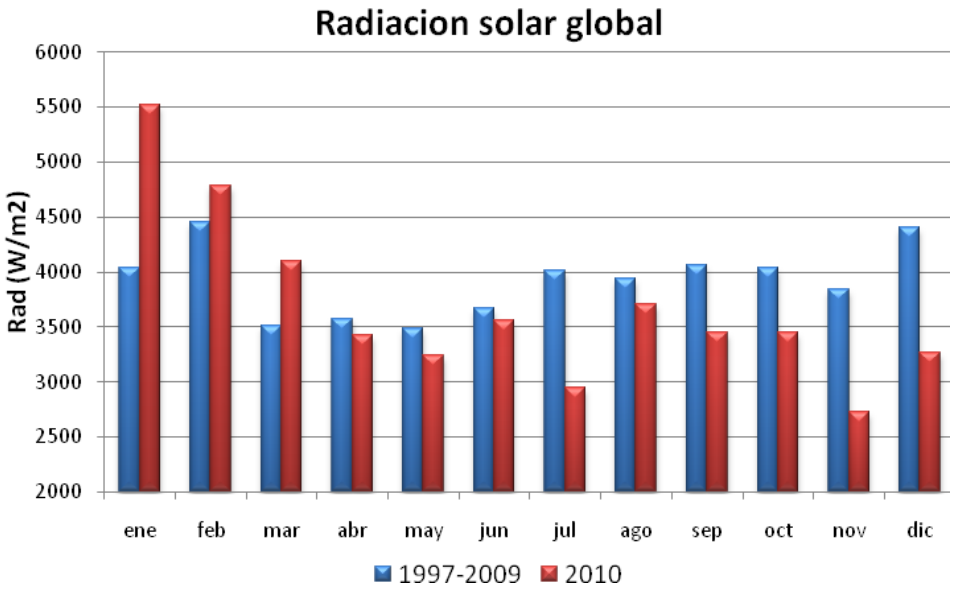


Figura 90. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2009 y su comparación con el trimestre JAS de 2010. Fuente RMCAB

Tabla 47. Variación Porcentual de la la radiación solar global mensual promedio de Bogotá.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
36.7%	7.3%	16.6%	-3.9%	-7.0%	-3.1%	-26.6%	-5.9%	-15.2%	-14.6%	-29.0%	-25.8%

La Figura 91 muestra el comportamiento entre la radiación solar global horaria para el año 2010 y el promedio en el periodo 1997-2009. El comportamiento estuvo levemente menor de los valores esperados luego de las 10 de la mañana.

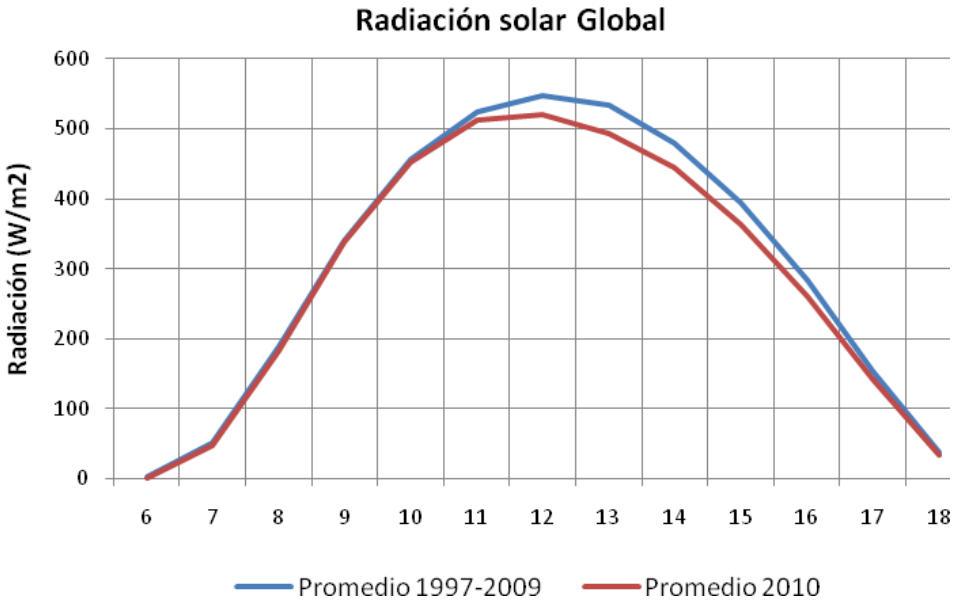


Figura 91. Gráfica de la radiación solar global horaria de las estaciones de la RMCAB en el año 2010 y el promedio 2002-2009. Fuente RMCAB

Las radiaciones globales registradas por cada una de las estaciones de la RMCAB que miden esta variable () mostraron un comportamiento similar a excepción de la estación de Guaymaral la cual registró valores más altos de radiación solar global en los primeros meses del año. Esto se observa en la Figura 92, la cual muestra gráficas de radiación en escala horaria para cada uno de los meses del año 2010, de tal manera que el eje de las abscisas corresponden a los meses, las ordenadas a las horas y la escala de colores representa la magnitud de la radiación. Así, los promedios en la mayoría de estaciones fueron similares. Se puede observar que la radiación solar global ha disminuido en lo corrido de este año presentando su menor magnitud el mes de mayo, desde entonces se presenta un crecimiento de los valores sin alcanzar el mes más fuerte del año que corresponde a enero. Se observa un leve aumento de radiación en todas las estaciones entre julio y agosto en horas de la tarde en especial en la estación de Tunal.

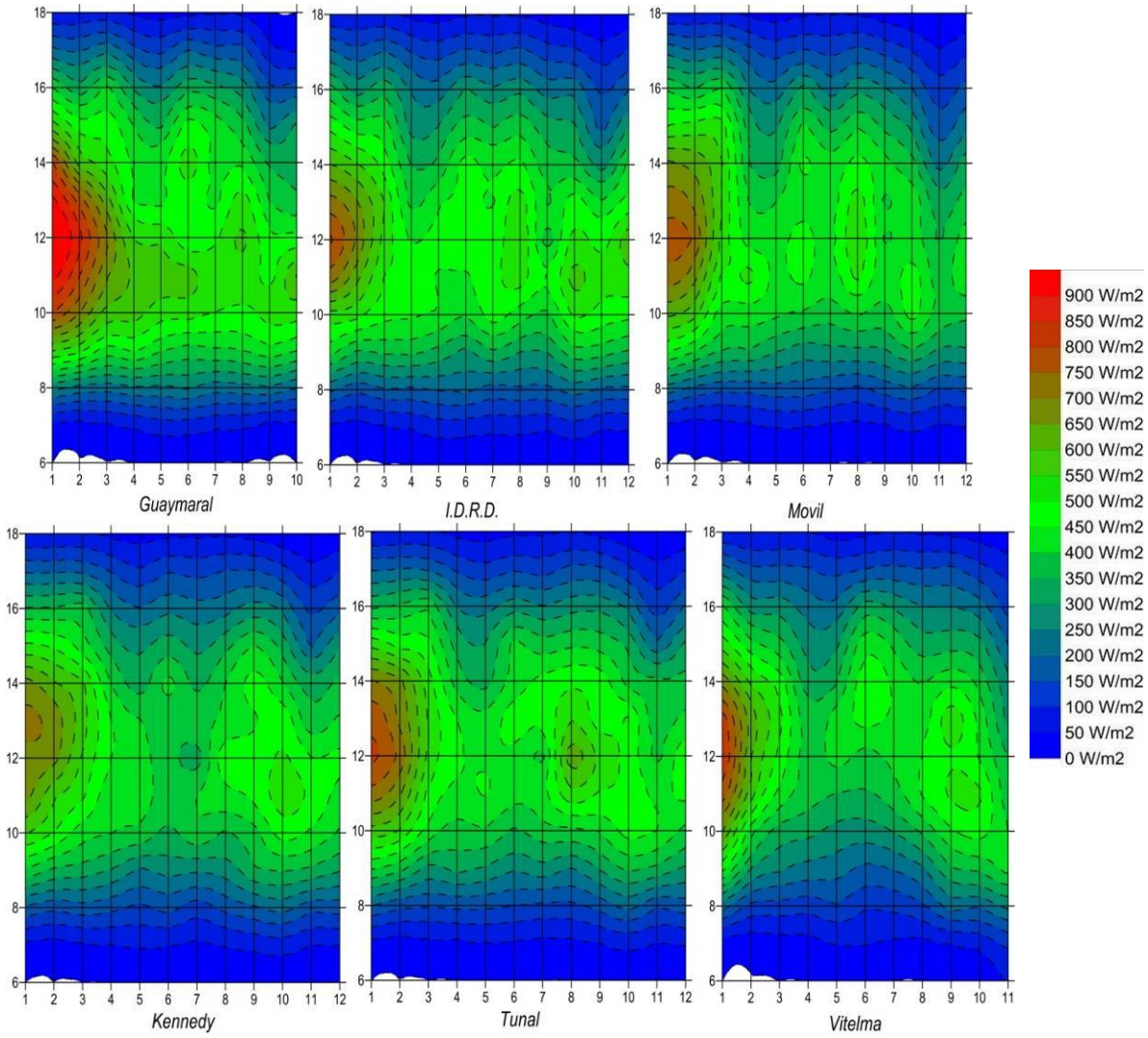


Figura 92. Gráfica de la radiación solar global para cada hora en el trimestre JAS de las estaciones de la RMCAB para el año 2010. Fuente RMCAB

3.5. **Presión Atmosférica**

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona más alta es la presión, esto significa que la presión atmosférica cambia con la altitud a razón, en las capas atmosféricas más bajas, de un (1) mm Hg cada 10 metros (ó un (1) mb ó hpa cada ocho (8) metros). Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes, la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar. Este ajuste es conocido como presión barométrica, es decir, la presión barométrica es la presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión

atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas. Debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental.

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones meteorológicas mostradas en la Tabla 35. La ciudad de Bogotá está situada en la sabana del mismo nombre, sobre el altiplano cundiboyacense (Cordillera Oriental de los Andes) y presenta mayor altitud en su parte oriental junto a los cerros, cuyo clima está influenciado por la convección producto del ascenso forzado de masas de aire, entre otros. Aunque el tiempo actúa de manera considerable en los valores de presión, en general se observan variaciones entre las estaciones debidas a la diferencia que hay entre la altitud y el fenómeno de marea barométrica que produce dos crestas y dos valles en el comportamiento diario. Las estaciones que miden la variable de presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación, tal como se observa en la Figura 93 .

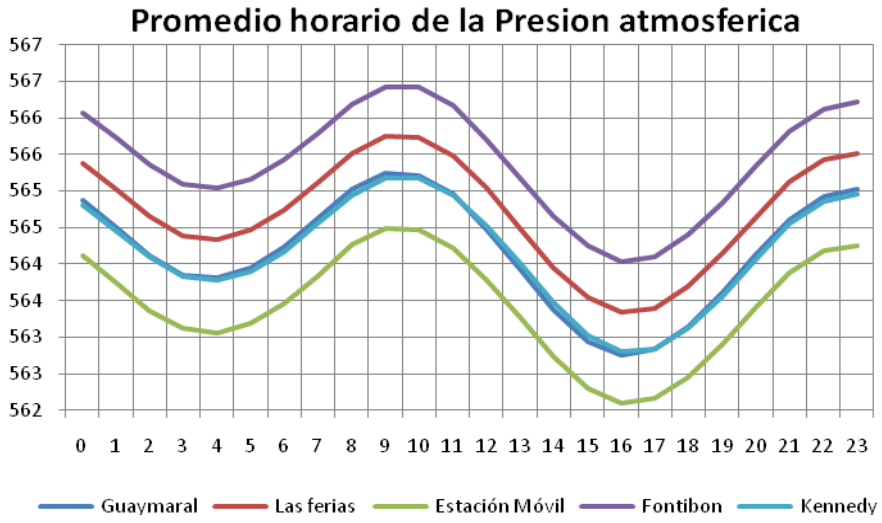


Figura 93. Gráfica de la Presión barométrica para cada hora en el trimestre JAS de las estaciones de la RMCAB para el año 2010. Fuente RMCAB

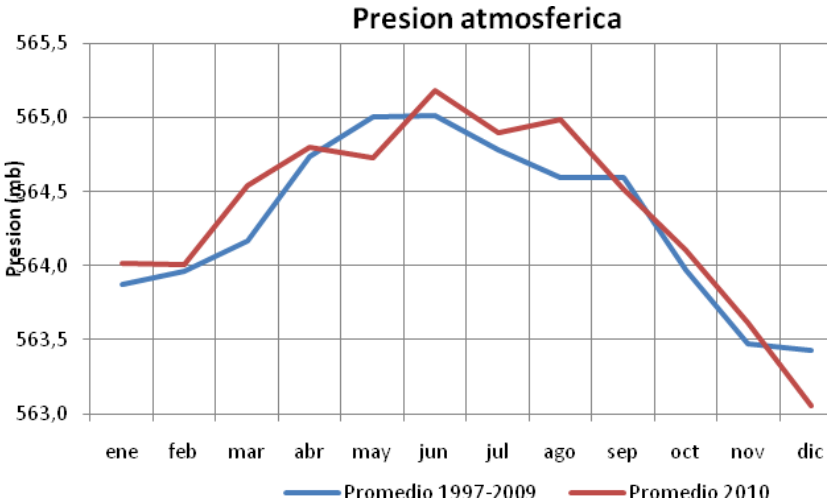


Figura 94. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

La Figura 94 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general para el año 2010 la presión estuvo por encima del promedio histórico exceptuando los meses de mayo, septiembre y diciembre. El cuarto trimestre presenta el menor valor de presión con respecto a los trimestres anteriores de 2009, 2009 y 2010, como se observa en la Figura 95

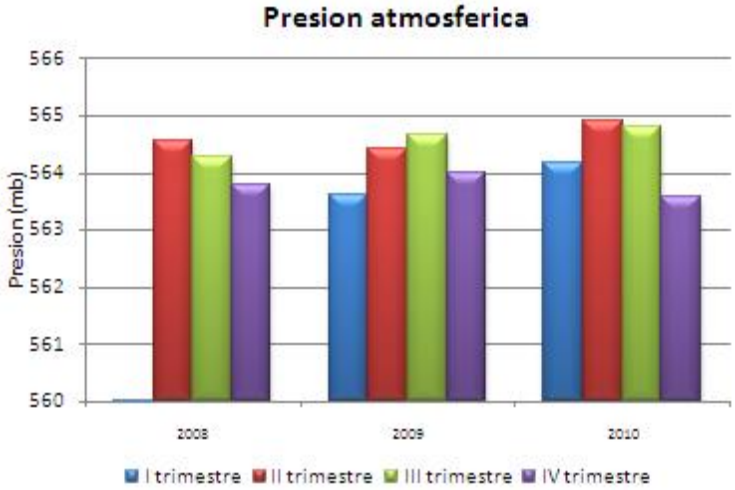


Figura 95. Comparación de la presión en los trimestres para cada estación de la RMCAB. Fuente RMCAB

3.6. **Humedad Relativa**

La humedad de una masa de aire no depende de la cantidad de agua por metro cúbico que contenga, eso es la humedad absoluta y obedece a la evaporación, sino de la capacidad del aire para absorber agua. Esta capacidad depende de la temperatura del aire, puesto que esta absorción de agua necesita energía calorífica. A esta capacidad se le llama humedad relativa y se mide en tantos por ciento. Para una misma humedad

absoluta, la humedad relativa aumenta cuando desciende la temperatura. Para el clima lo más interesante es la humedad relativa ya que una masa de aire saturada, o cercana a la saturación, es una masa de aire húmeda y por ejemplo, las plantas pueden aprovechar su agua; mientras que de una masa de aire seca no, aunque tenga mayor humedad absoluta.

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones meteorológicas como se describió en la Tabla 35. En la Figura 96 puede notarse que la humedad relativa en el año 2010 fue similar al promedio 1997-2009 después del segundo trimestre, considerando la relación de la temperatura con esta variable (Figura 83) tal como se mencionó anteriormente.

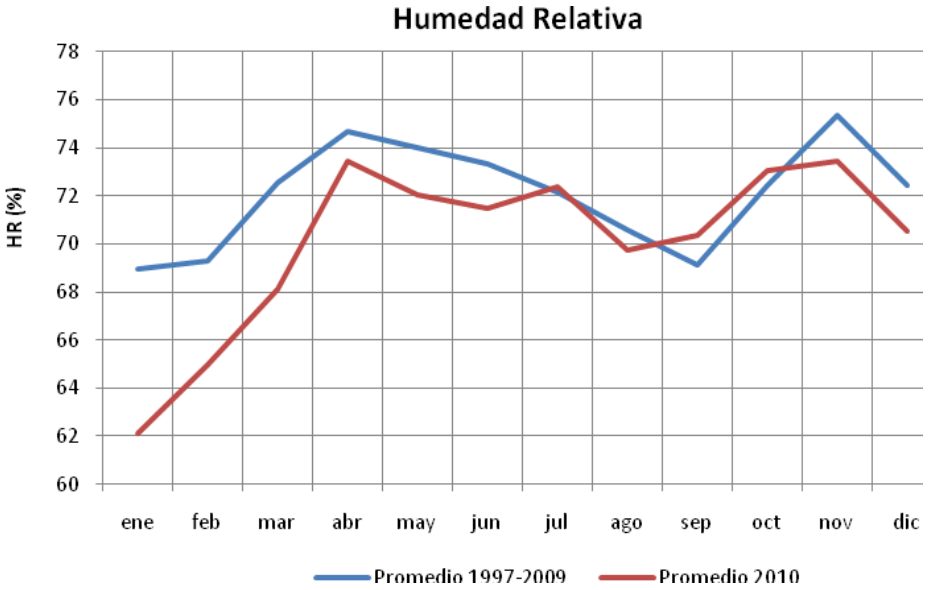


Figura 96. Humedad relativa mensual media del periodo 1997-2009 y su comparación con los meses del 2010. Fuente RMCAB

La disminución de humedad relativa el año 2010 con respecto al promedio en el periodo 1997-2009 se observa en Tabla 48. Como se puede observar en la Tabla 48, los promedios de humedad relativa están por encima del año 2009, y por debajo del 2008. Considerando que la media de humedad relativa de Bogotá es del 72% (IDEAM), se concluye que únicamente el primer trimestre del año estuvo por debajo del promedio, esto debido a que aparte del periodo seco característico del trimestre, el fenómeno del niño disminuyó de manera considerable la humedad al aumentar la temperatura.

Tabla 48. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
-9,9%	-6,2%	-6,1%	-1,7%	-2,7%	-2,5%	0,4%	-1,2%	1,8%	0,8%	-2,5%

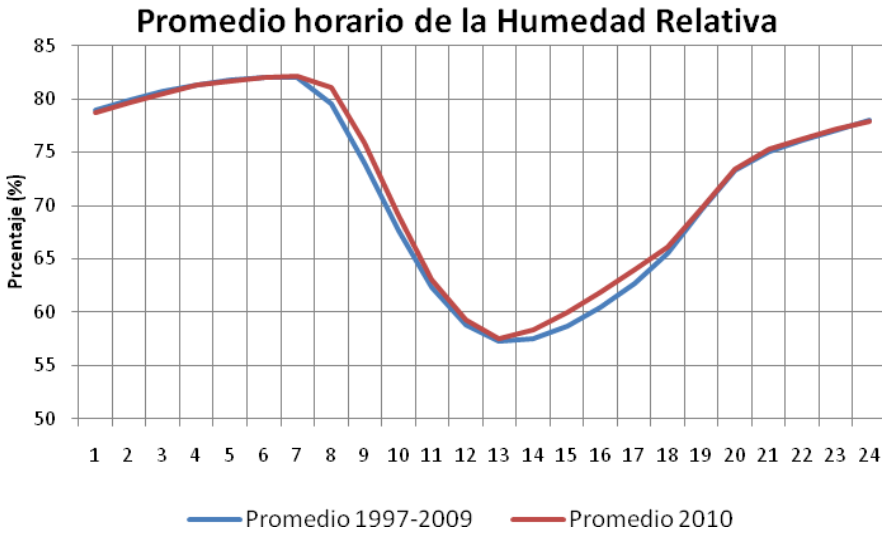


Figura 97. Promedio horario de la humedad en el periodo 1997-2010 y su comparación con el año 2010.

El comportamiento horario de la humedad relativa varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la temperatura entre otros, evidenciándose los datos máximos en horas de la madrugada cuando se observa la mayor estabilidad atmosférica y los valores mínimos en horas de la tarde, cuando la temperatura es máxima. Esto se observa en la Figura 97, en donde se nota que la humedad horaria no fue significativamente distinto al promedio histórico.

La Figura 98 muestra gráficas de la humedad relativa en escala horaria para cada uno de los meses del año 2010, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, el eje de las ordenadas las horas y la escala de colores representan la magnitud de la humedad. Se observa un período de disminución de la humedad entre las 7 y las 18 horas, luego aumentan hasta alcanzar la humedad similar a la registrada en las primeras horas del día. El comportamiento de la humedad de 2010 estuvo levemente por debajo del promedio del histórico de la RMCAB, la diferencia entre la humedad es mayor en horas de la madrugada y se disminuye en horas de la tarde. La estación de Vitelma, por su ubicación en una zona rural presenta los porcentajes mayores de humedad seguido de la estación de Guaymaral y el Parque Simón Bolívar, en contraste con la Zona Industrial - Estación Móvil y Las Ferias que presentan magnitudes significativamente menores.

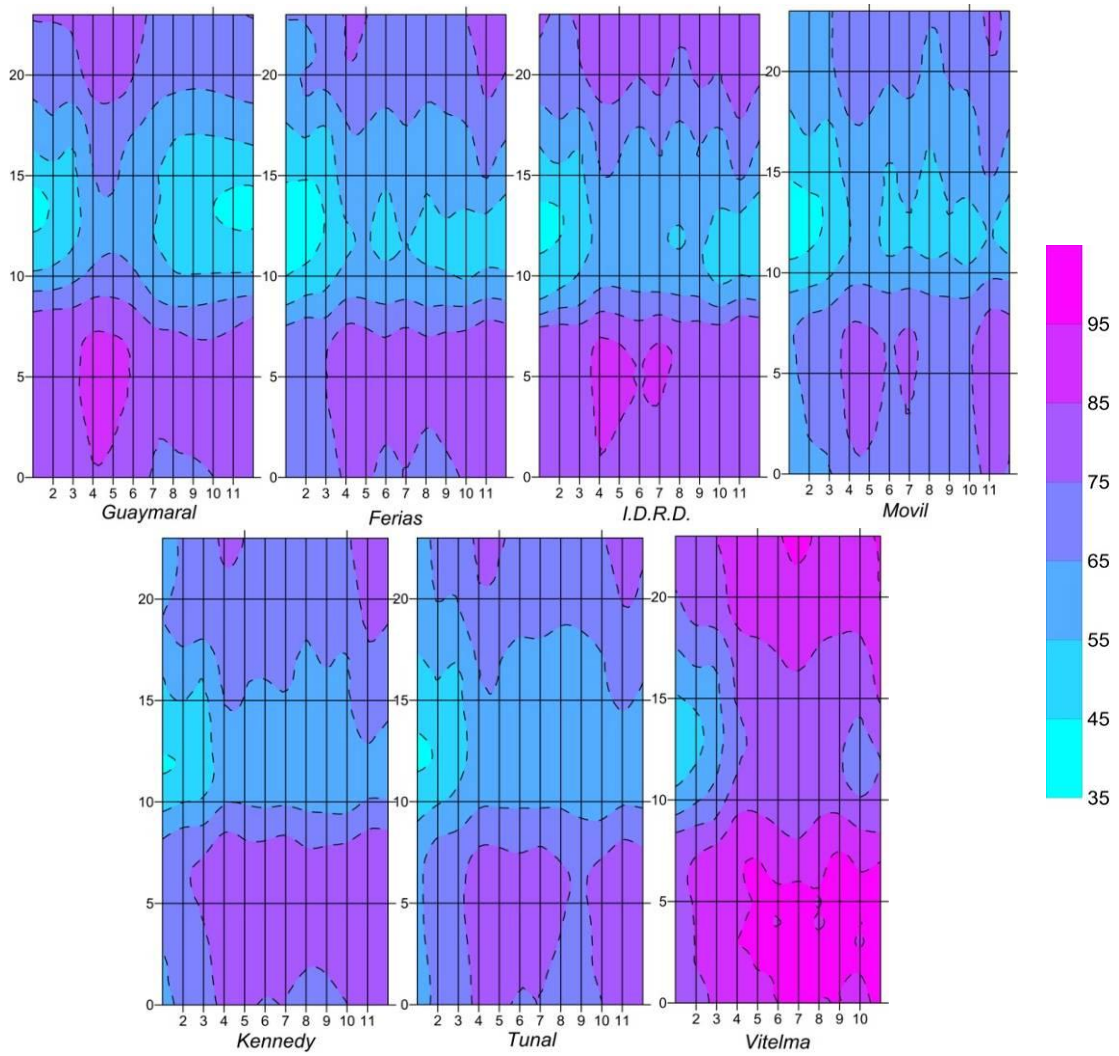


Figura 98. Gráfica de la humedad relativa para cada hora en año 2010 de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB

Como se puede observar en la Figura 99 y Figura 100, la distribución espacial de la humedad relativa se comportó de acuerdo a las condiciones de temperatura y precipitación descritas anteriormente. Este mapa muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de humedad relativa para el trimestre de JAS de 2010 sobre esta superficie. Cada isohuma está separada en 4% una de la otra. En ella se puede observar que el sector con menor humedad relativa de la capital se encuentra en la localidad de Puente Aranda sobre gran parte del sector oriental y central de la ciudad. Los mayores promedios se encuentran en las localidades de San Cristóbal y Santa Fe, y al sur de la ciudad.

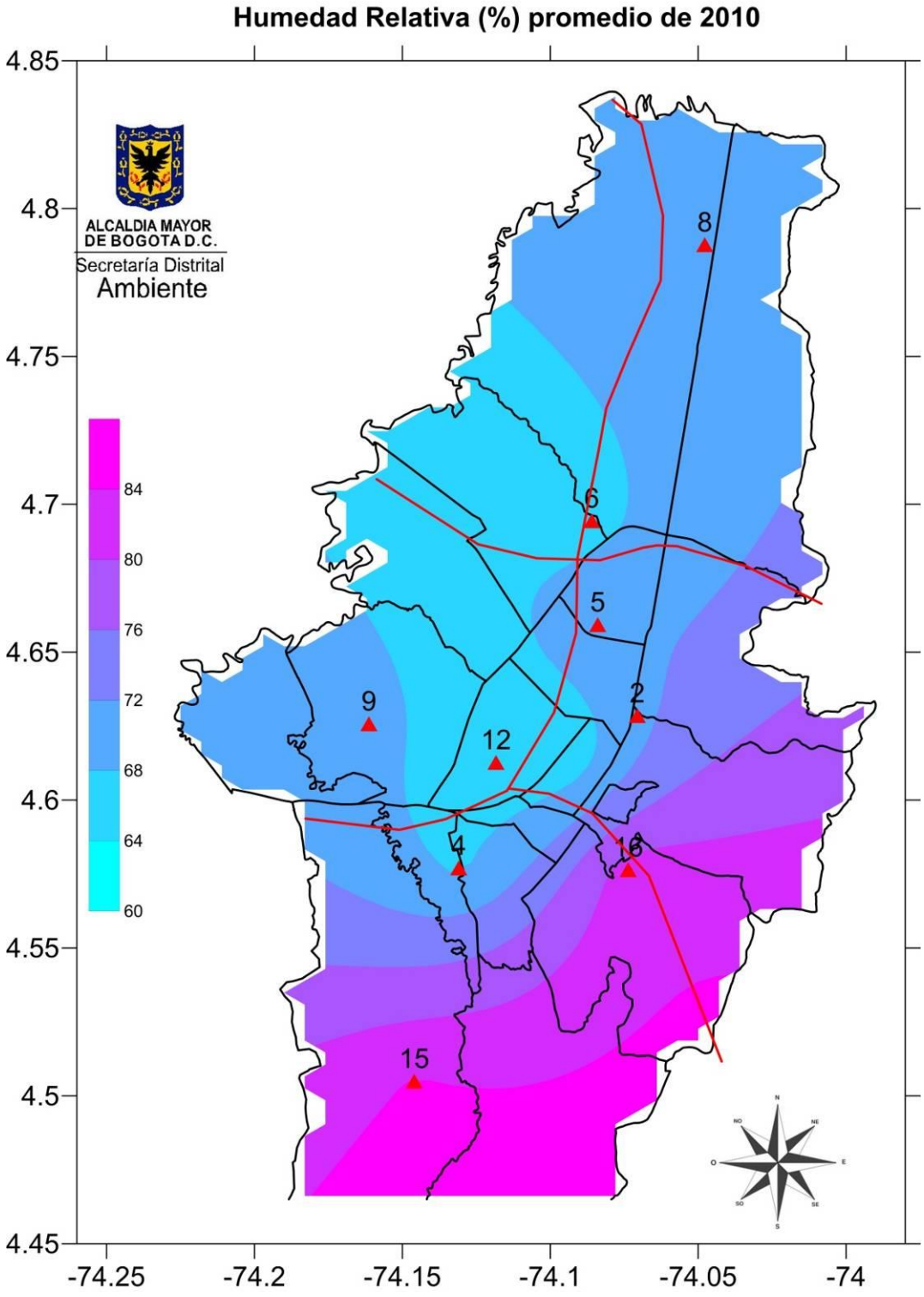
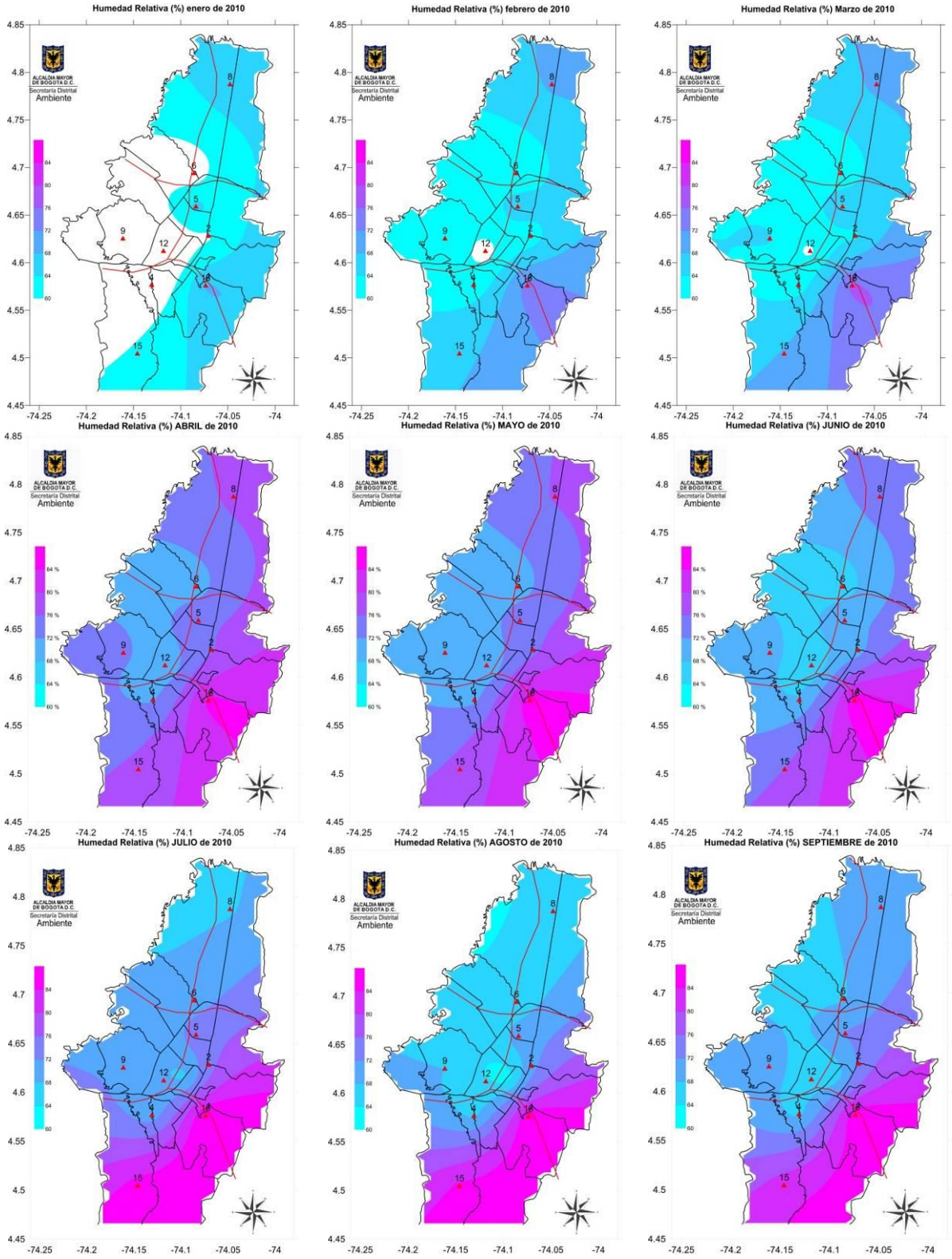


Figura 99. Mapa de humedad relativa de las estaciones de la RMCAB para año de 2010. Fuente RMCAB


Humedad Relativa (%) enero de 2010
Humedad Relativa (%) febrero de 2010
Humedad Relativa (%) Marzo de 2010
Humedad Relativa (%) ABRIL de 2010
Humedad Relativa (%) MAYO de 2010
Humedad Relativa (%) JUNIO de 2010
Humedad Relativa (%) JULIO de 2010
Humedad Relativa (%) AGOSTO de 2010
Humedad Relativa (%) SEPTIEMBRE de 2010
ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

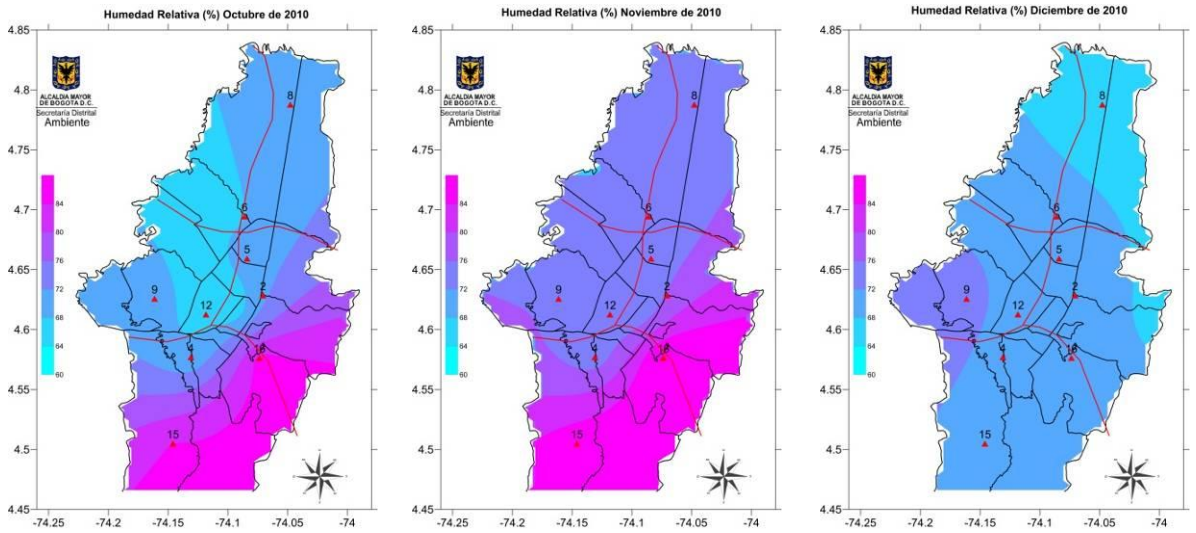


Figura 100. Mapas de humedad relativa media de las estaciones de la RMCAB para los meses de 2010. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 100 presentan la humedad relativa sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del año 2010 en los cuales se observa la evolución de esta variable. En julio las localidades de Suba, Puente Aranda, Engativá, Fontibón y parte de Kennedy se comportaron como el periodo más seco en contraste con la localidad de San Cristóbal con magnitudes altas. El mes de agosto disminuyó la humedad en toda la ciudad a excepción del sur, aumentando levemente en el mes de septiembre en el occidente de Bogotá.

4. Análisis compuesto para Variables meteorológicas y de contaminantes

La presente sección realiza un acercamiento entre las variables meteorológicas y de contaminantes utilizando los datos correspondientes a las estaciones de Parque Simón Bolívar y Kennedy serie horaria para las variables meteorológicas de temperatura (TEMP), humedad relativa (HR) y velocidad de viento (VV), para contaminantes NO_2, O_3, SO_2 y PM_{10} en el horario de 6:00 a 20:00 en el año 2009. Se decidió no incluir los datos de 21:00 a 5:00 a.m., ya que las variables meteorológicas suelen ser mucho más bajas que los que se presentan durante el periodo analizado y pueden generar un grupo de temperaturas o velocidades de viento bajas que no siempre mostrará una relación con los contaminantes, además que las emisiones en ese horario cambian.

4.1. Tablas de contingencia y análisis de variables continuas

Las tablas de contingencia muestran el valor de la frecuencia con la que se presentan las combinaciones posibles entre variables categóricas. Como regla general las mediciones meteorológicas y de contaminantes se registran como variables continuas, sin embargo es posible crear variables categóricas ordinales creando grupos dentro de las variables registradas. Una forma común de crear grupos en análisis meteorológicos es utilizando terciles[17], manejando estos grupos como variables categóricas (p. ej. Si durante un mes la menor temperatura presentada en una estación fue 6 C y la máxima 18, la división por terciles implica agrupar los datos en tres grupos de 6 C a 10 C, de 10 C a 14 C y de 14 C a 18 C, donde seguramente el número de datos agrupado en cada categoría van a ser diferentes).

Así, se generaron variables categóricas ordinales a partir de los terciles de cada una de las series cuyos límites se presentan en la Tabla 49 y Tabla 50

Tabla 49. Límites para los terciles de las variables estación Parque Simón Bolívar año 2009.

Percentiles	NO2	O3	SO2	NO2	PM10	TEMP	HR	VV
Mínimo	0,5	0,6	0,3	0,5	1,0	3,7	17,2	0,4
0,33	11,9	9,7	3,4	11,9	18,0	15,1	57,2	2,3
0,66	24,8	22,0	6,6	24,8	45,0	18,2	71,4	3,9
Máximo	137,0	81,3	39,5	137,0	221,0	24,2	90,1	7,7
Desviación	15,9	12,8	4,6	15,9	29,0	3,0	12,9	1,4

[17] Dividir un grupo de datos continuo en tres intervalos iguales.

Promedio	21,7	17,4	6,0	21,7	37,5	16,6	63,7	3,2

Tabla 50. Límites para los terciles de las variables estación Kennedy año 2009.

Percentiles	TEMP	HR	VV	SO2	PM10
Mínimo	6,8	16,9	0,4	0,1	26,0
0,33	14,9	57,0	2,5	2,5	68,5
0,66	17,2	70,4	4,0	4,3	97,0
Máximo	22,4	90,1	7,6	40,4	471,0
Desviación	2,4	12,6	1,4	3,9	42,4
Promedio	16,0	63,2	3,2	4,4	92,0

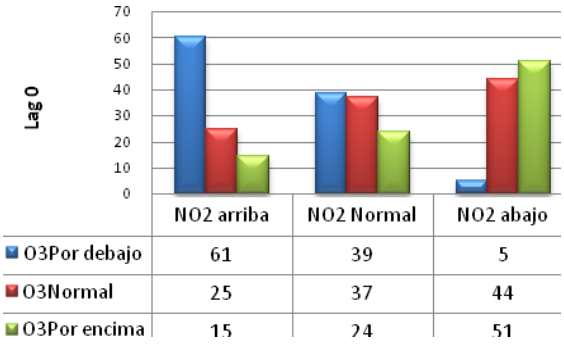
Los casos se determinan así:

Tabla 51. Etiqueta de los casos para cada variable categórica

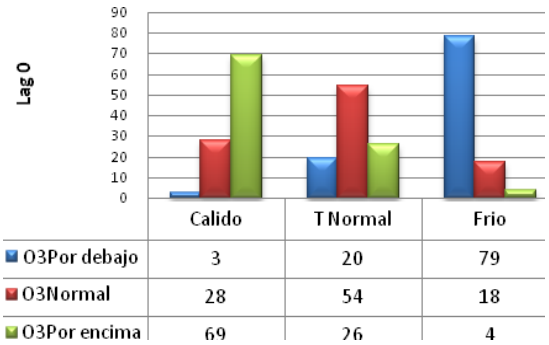
Variable Explicativa		Variable explicada	
3	Por debajo	-1	Por debajo
6	Normal	0	Normal
9	Por encima	1	Por encima

4.1.1. Resultados:

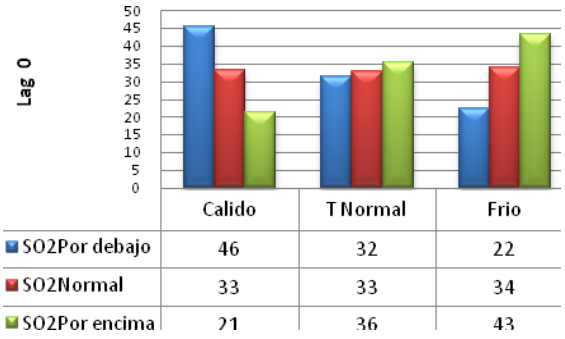
Se presentan a continuación cada uno de las probabilidades empíricas considerando las variables mencionadas anteriormente para la estación del Parque Simón Bolívar



(a) NO2 - O3

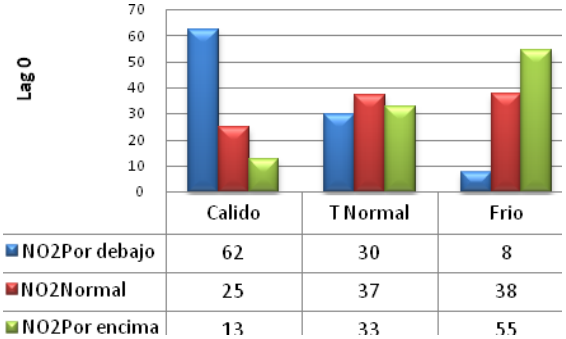


(b) Temperatura-O3



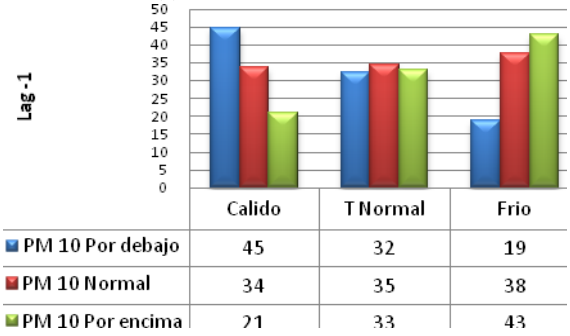
	Calido	T Normal	Frio
SO2Por debajo	46	32	22
SO2Normal	33	33	34
SO2Por encima	21	36	43

(c) Temperatura – SO2



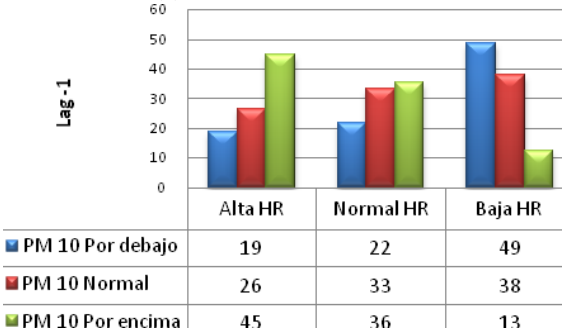
	Calido	T Normal	Frio
NO2Por debajo	62	30	8
NO2Normal	25	37	38
NO2Por encima	13	33	55

(d) Temperatura - NO2



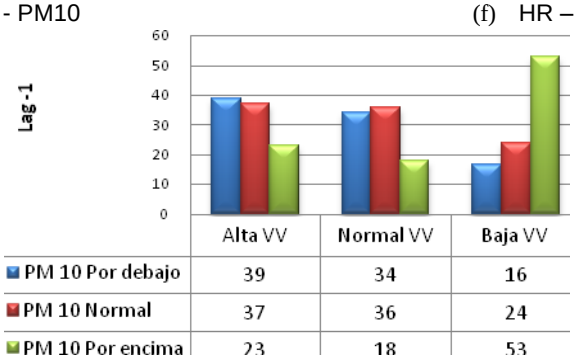
	Calido	T Normal	Frio
PM 10 Por debajo	45	32	19
PM 10 Normal	34	35	38
PM 10 Por encima	21	33	43

(e) Temperatura - PM10



	Alta HR	Normal HR	Baja HR
PM 10 Por debajo	19	22	49
PM 10 Normal	26	33	38
PM 10 Por encima	45	36	13

(f) HR – PM10



	Alta VV	Normal VV	Baja VV
PM 10 Por debajo	39	34	16
PM 10 Normal	37	36	24
PM 10 Por encima	23	18	53

(g) Velocidad del viento – PM10

Figura 101. Resultados del análisis compuesto para la estación de Parque Simón Bolívar

Este análisis cuantitativo muestra que cuando las temperaturas son “cálidas” es más probable que las concentraciones de NO2 se ubiquen en rangos bajos, PM10 y SO2 se ubiquen en los grupos bajos y medios, mientras el ozono muestra concentraciones en rangos altos.

Cuando la humedad relativa se encuentra en grupos altos, el PM10 también se encuentra en esos niveles, en contraste a velocidades de viento clasificadas en el tercil bajo, el PM10 tiene alta probabilidad de ubicarse en niveles altos.

Para corroborar estadísticamente las relaciones entre variables meteorológicas y contaminantes, se tomaron los datos utilizados en la generación de las tablas de contingencias y se aplicaron pruebas Chi-cuadrado y correlaciones de Pearson, la primera

prueba la independencia entre variables y la segunda el grado de correlación y su proporcionalidad.

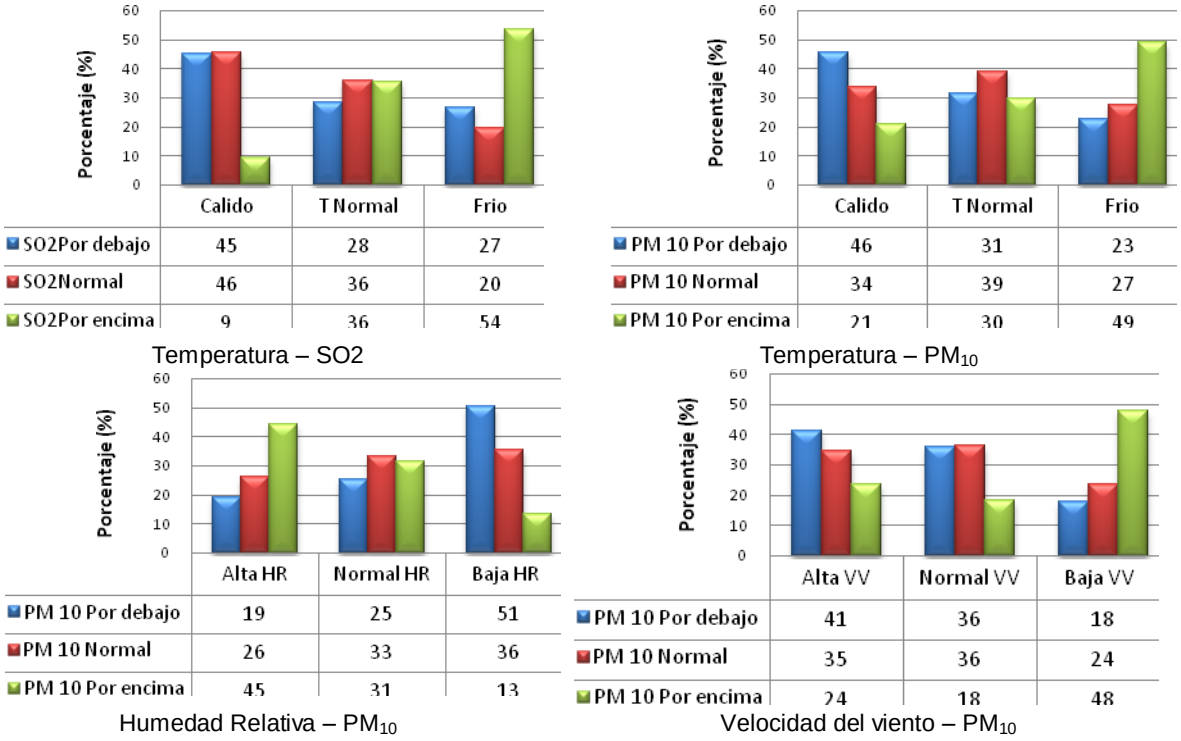


Figura 102. Resultados del análisis compuesto para la estación de Kennedy

La Figura 102 presenta las tablas de contingencia y gráficos de probabilidad empírica de ocurrencia para las variables descritas en la Tabla 50. Se observa que la temperatura explica el comportamiento del SO2 y PM10 con probabilidades altas y se observa la dependencia de cada una de las variables. Así, se observa que el 54% de las oportunidades en que la temperatura estuvo por debajo de 14.9 C, el SO2 se encontró por encima de 4.3 ppb. Cuando la temperatura estuvo por encima de 17.2 C, el PM 10 tendió estar por debajo de 68.5 ppm, esto ocurrió en un 49% de los casos; si la humedad relativa estuvo por debajo de 57%, el PM10 se encontró por encima de 97ppm en un 51% de los casos analizados y por último si la velocidad del viento disminuyó encontrándose por debajo de 2.5 m/s, el PM10 aumento quedando por encima de 97 ppm en un 48% de los casos.

GLOSARIO

Aire: Es el fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

Aire cero: Es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo, la purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.

Agentes contaminantes convencionales: Se entiende por agentes contaminantes convencionales los *contaminantes primarios* (Monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y *contaminantes secundarios* (ozono, Dióxido de nitrógeno).

Analizador: Equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que da señales de salida cíclicas o puntuales.

Anemómetro: Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.

Aseguramiento de la Calidad (AC): Sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].

Auditoria: Evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].

Bandera: Registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.

Barómetro: Instrumento para medir la presión atmosférica.

Bitácora: Libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.

Calibración: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Cilindro de gas patrón certificado: Es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.

Concentración de fondo: Fracción de la calidad del aire observado que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian.

Concentración de una sustancia en el aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones Normales para normas de calidad del aire y fuentes fijas: Las normas de emisión previstas en la presente Resolución están establecidas teniendo en cuenta las condiciones Normales a 298.15 K y 101.325 kPa.

Confiabilidad: Capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.

Contaminación atmosférica: Es el fenómeno de acumulación de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adverso en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.

Control de Calidad (CC): Sistema de actividades técnicas que mide los atributos y rendimiento de un proceso, producto o servicio con estándares definidos para verificar que ellos cumplan los requisitos establecidos por el cliente. Las técnicas y actividades operacionales usadas para cumplir con los requisitos de calidad. Sistema de actividades y chequeos para asegurar que los sistemas de medición sean mantenidos dentro de los límites prescritos a fin de proporcionar una protección contra las condiciones fuera de control y asegurar que los resultados sean de calidad aceptable. [EPA].

Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

Diagrama de caja (Box-Plot): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.

Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (g/m3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C[\mu g/m3] = \frac{C[ppm] \times PM}{24.466} 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:

$C[\mu g/m^3]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
C[ppm] = Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM[kg/kmol] = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.

24.466 = Volumen de una kmol en m3/kmol a temperatura de 298.15 K y presión de 101.325 kPa

Episodio de contaminación: Es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.

Equipo Para Calibración: Es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.

Estabilidad atmosférica: Característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire.

Estación de monitoreo: Es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos primarios y/o de referencia y de medición meteorológica manuales o automáticos situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.

Estándar de calidad del aire: Valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.

Gas de calibración: Término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.

Generador de aire cero: Dispositivo utilizado para generar aire cero.

Hidrometeoro: Fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

Índice. Expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.

Isohuma: Línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.

Isotaca: Línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.

Isoterma: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.

Isoyeta: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.

Material particulado: Término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.

Media aritmética: Es la sumatoria de todos los datos a promediar. Dividida por el número total de datos.

Media Móvil: Se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de n datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.

Método Equivalente: Es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.

Método de Referencia: Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.

Monitoreo: En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

Nivel Normal (Nivel I): Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.

Nivel de exposición: Concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.

Nivel de Prevención (Nivel II): Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (Nivel III): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de emergencia (Nivel IV): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Norma anual: Establece la concentración máxima anual permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras diarias cuando se trata de contaminantes en estado gaseoso, o el promedio geométrico de los valores de las muestras diarias cuando se refieran a partículas suspendidas totales - PST.

Norma diaria: Establece la concentración máxima diaria permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras horarias, que podrá excederse solo una vez en un año.

Norma promedio horaria: Establece la concentración máxima permisible de un contaminante, de las mediciones realizadas en un periodo de tiempo establecido (media hora, una hora, tres horas, 6 horas y 8 horas).

Obstáculo: Elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: Toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: Grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio Geométrico: Es la raíz enésima del producto de todos los datos a promediar, Para su cálculo utilícese la siguiente ecuación:
$G = (X1*X2*X3*....*Xn)^{1/n}$
Donde:
G = Promedio geométrico
X1, X2, X3. …….Xn = Todos los datos a promediar.

Protocolo: Plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: Se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: Véase Rango de tolerancia

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: Es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetibilidad: Grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Representatividad: Grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

Sustancia: Todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.

Toma-muestras: Conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.

Unidades: Las unidades más utilizadas son:
Nm^3/h: Metros cúbicos por hora en condiciones Normales.
mg / Nm^3: Miligramos por metro cúbico en condiciones Normales.
mg/m^3: Miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: Microgramos por metro cúbico.
kg/h: Kilogramos por hora.
g/h: Gramos por hora.
ppm: Partes por millón.

Validación: Confirmación por medio de análisis y la provisión de evidencias objetivas de que se cumplen los requisitos particulares para el uso específico de un método. (Para calidad de aire, la validación incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, Calibración de equipos y análisis de los datos).

ANEXOS

ANEXO 1. LOCALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RMCAB

La RMCAB está conformada por quince estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central de datos en donde se evalúa la calidad de la información, se depura y se procesa. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de los datos y la verificación del cumplimiento de las normas de calidad del aire, para detectar las áreas o sectores que requieren atención prioritaria, en relación con los contaminantes que alcanzan concentraciones de interés.

A continuación se presentan los mapas de localización de las estaciones que conforman la RMCAB, señalando el primero los parámetros meteorológicos medidos en cada una de las estaciones y el segundo los parámetros contaminantes y las características de las zonas de influencia de las estaciones. Es importante resaltar que de estás, existen dos estaciones que son: la No. 15 Usme y la No. 16 Vitelma, las cuales manejan únicamente las variables meteorológicas.

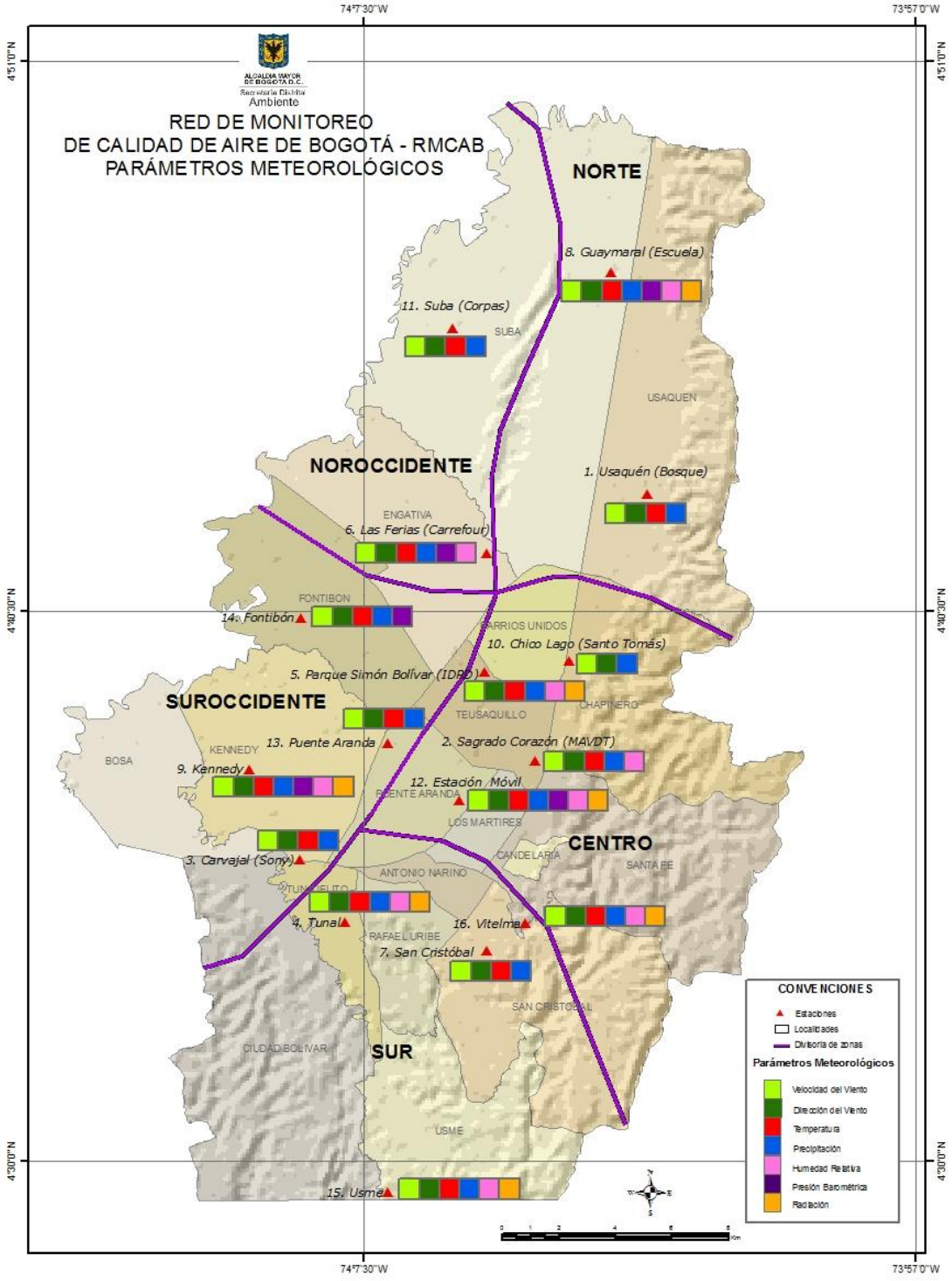


Figura 103. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, sensores meteorológicos.

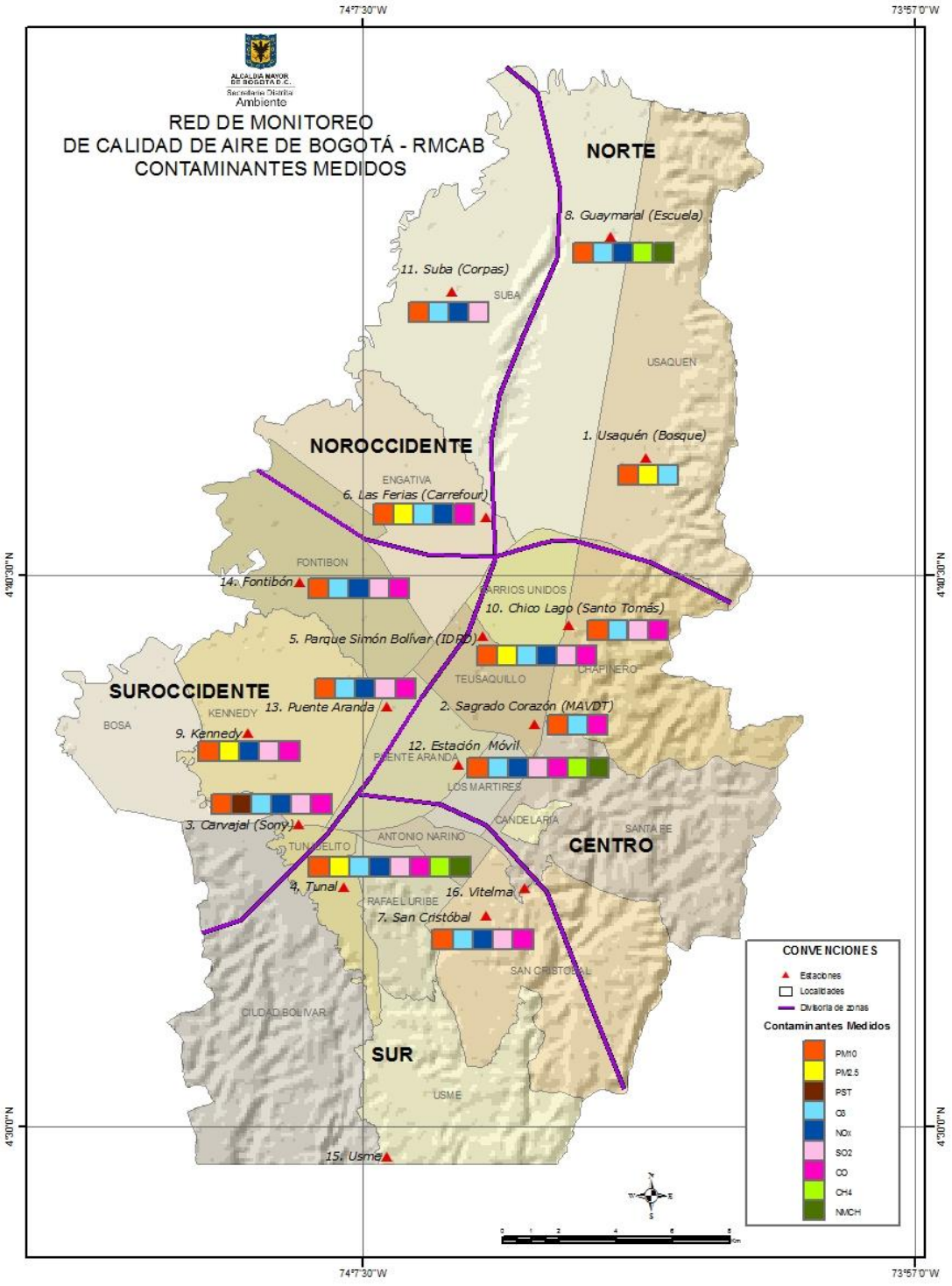


Figura 104. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB y analizadores de contaminantes

Tabla 52. Características de los sectores donde se encuentran ubicadas las estaciones de monitoreo

ZONIFICACIÓN DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE		
SECTOR	**ESTACIÓN**	**CARACTERÍSTICAS**
Norte	Guaymaral (Escuela) Usaquén (Bosque)	Zona residencial de baja densidad poblacional y alto tráfico vehicular
Noroccidente	Suba (Corpas) Las Ferias (Carrefour)	Alto tráfico vehicular y uso residencial y comercial
Centro	Chico Lago (Santo Tomás) Parque Simón Bolívar (IDRD) Sagrado Corazón (MAVDT) Estación Móvil	Alto tráfico vehicular y uso residencial, comercial e institucional
Suroccidente	Fontibón Puente Aranda Kennedy	Zona industrial con alto tráfico vehicular y uso residencial
Sur	Carvajal (Sony) San Cristóbal Tunal Vitelma Usme	Alto tráfico vehicular, uso residencial. Comercial

INFORME ANUAL
CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ

AÑO 2011

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
RMCAB

Bogotá, D.C. 2012

126PM04-PR84-M-A2-V1.0

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

Gustavo Francisco Petro Urrego
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Margarita Flores
Secretaría Distrital de Ambiente

Milton Rengifo Hernández
Subsecretaría Distrital de Ambiente

Julio César Pulido Puerto
Director Control Ambiental

Edgar Alberto Rojas
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Ernesto Romero Tobón
Coordinador de la RMCAB

Giovana Constanza Saavedra Plazas
Mayra Alejandra Lancheros Barragán
Nicolás Cuadros Rubio
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Henry Ospino Dávila
Darío Alejandro Gómez Flechas
José Luis López Parra
Norbey Alirio Barahona González
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Abril de 2012, Colombia
Informe Anual de la Red de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2011.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia 126PM04-PR84-M-A2-V1.0

BOGOTÁ
HUMANA

RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ D.C.

INFORME ANUAL 2011

2012

126PM04-PR84-M-A2-V1.0

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 11
INTRODUCCIÓN 16
1. GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES 18
1.1. INFORMACIÓN SOBRE ESTACIONES Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN 18
1.1.1. ESTACIÓN USAQUÉN (BOSQUE) 18
1.1.2. SAGRADO CORAZÓN 18
1.1.3. ESTACIÓN CARVAJAL (SONY) 19
1.1.4. ESTACIÓN TUNAL 19
1.1.5. ESTACIÓN PARQUE SIMÓN BOLÍVAR (IDRD) 20
1.1.6. ESTACIÓN LAS FERIAS (CARREFOUR) 20
1.1.7. ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL 21
1.1.8. ESTACIÓN GUAYMARAL (ESCUELA) 21
1.1.9. ESTACIÓN KENNEDY 22
1.1.10. ESTACIÓN SUBA (CORPAS) 22
1.1.11. ESTACIÓN MÓVIL (ACTUAL UBICACIÓN) 23
1.1.12. ESTACIÓN PUENTE ARANDA 23
1.1.13. ESTACIÓN FONTIBÓN 24
1.1.14. ESTACIÓN USME 24
1.1.15. ESTACIÓN VITELMA 24
2. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 25
2.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 25
2.1.1. ESTACIÓN 25
2.1.2. PARÁMETRO 26
2.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS 26
2.2.1. ESTACIÓN 26
2.2.2. PARÁMETRO 27
3. CALIDAD DEL AIRE 29
3.1. MATERIAL PARTICULADO – MP O PM (PARTICULATE MATTER) 30
3.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} 30
3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE $PM_{2.5}$ 42
3.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PST 46
3.2. GASES CONTAMINANTES 51
3.2.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SO_2 52
3.2.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_2 59
3.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO 66

3.2.4. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE O_3 72
3.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS 80
3.4. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE 96
3.4.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA MATERIAL PARTICULADO 99
3.4.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA OZONO (O_3) 105
3.4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2), DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) Y MONÓXIDO DE CARBONO (CO). 108

4. METEOROLOGÍA 109

4.1. PRECIPITACIÓN 110
4.2. VIENTOS 124
4.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL 143
3.3. RADIACIÓN SOLAR 153
4.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA 156
4.5. HUMEDAD RELATIVA 158

GLOSARIO 163

ANEXOS 170

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM_{10} DURANTE EL 2011 13
FIGURA 2. EPISODIO DE MÁXIMA CONCENTRACIÓN PM_{10} DURANTE EL AÑO 2011. PROMEDIO DIARIO. 13
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS EN LA CIUDAD AÑO 2011 14
FIGURA 4. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MADRUGADA –2011. 15
FIGURA 5. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MAÑANA –2011....15
FIGURA 6. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA TARDE –2011. 15
FIGURA 7. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA NOCHE –2011. 15
FIGURA 8. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR ESTACIÓN – 2011. 25
FIGURA 9. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR PARÁMETRO – 2011. 26
FIGURA 10. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS POR ESTACIÓN – 2011. 27
FIGURA 11. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS POR PARÁMETRO – 2011. 28
FIGURA 12. CONCENTRACIONES DE PM_{10} PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 31
FIGURA 13. PROMEDIOS MENSUALES POR ESTACIÓN PARA EL 2011. 33
FIGURA 14. INTERPOLACIÓN DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS 24 HORAS DE PM_{10} DURANTE EL 2011. 34
FIGURA 15. INTERPOLACIÓN DE LAS MEDIAS DE LOS PROMEDIOS 24 HORAS DE PM_{10} DURANTE EL 2011. 35
FIGURA 16. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 36
FIGURA 17. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 37
FIGURA 18. PROMEDIOS ANUALES ($\mu G/M^3$), POR ESTACIÓN, AÑO 2011. 38
FIGURA 19. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 40
FIGURA 20. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO 2011 CON AÑOS ANTERIORES 41
FIGURA 21. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR AÑOS. 42
FIGURA 22. CONCENTRACIONES DE $PM_{2.5}$ 24 HORAS DURANTE EL 2011. 43
FIGURA 23. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ POR DÍAS DE LA SEMANA (SOBRE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2011. 44
FIGURA 24. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS), DESDE 2009 HASTA 2011. 45
FIGURA 25. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE $PM_{2.5}$. 46
FIGURA 26. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ 24 HORAS POR AÑO, DESDE 2009 HASTA 2011 46
FIGURA 27. CONCENTRACIONES DE PST PARA 24 HORAS DURANTE EL AÑO 2011. 47
FIGURA 28. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST POR DÍAS DE LA SEMANA (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 48
FIGURA 29. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES 49
FIGURA 30. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PST EN EL 2011 EN LA ESTACIÓN DE CARVAJAL. 50
FIGURA 31. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 50
FIGURA 32. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR AÑOS, DESDE 2005 HASTA 2011. 51
FIGURA 33. CONCENTRACIÓN DE SO_2 PARA 3 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 53
FIGURA 34. CONCENTRACIÓN DE SO_2 PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 54
FIGURA 35. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO EL AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 55
FIGURA 36. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS, POR MESES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 56
FIGURA 37. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE SO_2 PARA EL 2011. 57
FIGURA 38. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 58
FIGURA 39. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS POR AÑOS. 59
FIGURA 40. CONCENTRACIÓN HORARIA DE NO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 60
FIGURA 41. CONCENTRACIÓN DE NO_2 24 HORAS POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 61
FIGURA 42. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES 62

FIGURA 43. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 63
FIGURA 44. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 64
FIGURA 45. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES (BASE 24 HORAS). 65
FIGURA 46. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 24 HORAS POR AÑOS. 66
FIGURA 47. CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MEDIAS HORARIAS DE CO DURANTE EL 2011.....67
FIGURA 48. CONCENTRACIÓN MÁXIMA Y MEDIA DE CO PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011.....68
FIGURA 49. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES.....69
FIGURA 50. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 70
FIGURA 51. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR ESTACIONES, COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES.....71
FIGURA 52. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR AÑOS, DESDE 2006 HASTA 2011. 71
FIGURA 53. CONCENTRACIÓN MEDIA Y MÁXIMA HORARIA DE O_3 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 73
FIGURA 54. CONCENTRACIÓN MEDIA Y MÁXIMA DE O_3 PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2011. 74
FIGURA 55. EPISODIO DE CONTAMINACIÓN DE O_3, EN PPB, PROMEDIO 8 HORAS, 2011. 75
FIGURA 56. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE OZONO EN PPB, AÑO 2011, BASADO EN PROMEDIOS DIARIOS 76
FIGURA 57. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O3 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA, COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES.....77
FIGURA 58. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O3 PROMEDIO MENSUAL (DESDE BASE DIARIA) COMPARANDO AÑO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 78
FIGURA 59. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 PROMEDIOS ANUALES (DESDE BASE DIARIO) POR ESTACIONES COMPARANDO 2011 CON AÑOS ANTERIORES. 79
FIGURA 60. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 PROMEDIO ARITMÉTICO DE LAS ESTACIONES (DESDE BASE DIARIA). 80
FIGURA 62. ICA POR ESTACIÓN PARA PM_{10} – 2011. ESTACIONES DEL CENTRO, SUR, NORTE Y NOROCCIDENTE DE LA CIUDAD. 100
FIGURA 63. ICA POR ESTACIÓN PARA PM_{10} – 2011. ESTACIONES DEL SUROCCIDENTE DE LA CIUDAD. 101
FIGURA 64. ICA PM_{10} POR ESTACIÓN Y CATEGORÍA – 2011. SECTOR SUROCCIDENTAL DE LA CIUDAD. 102
FIGURA 65. ICA PM_{10} POR ESTACIÓN Y CATEGORÍA – 2011. SECTORES DIFERENTES AL SUROCCIDENTE DE LA CIUDAD. 102
FIGURA 66. CLASIFICACIÓN ICA PM_{10} – COMPARACIÓN ENTRE LOS AÑOS 2010 Y 2011. 103
FIGURA 67. ICA POR ESTACIÓN PARA $PM_{2.5}$ – 2011. ESTACIONES DEL SUROCCIDENTE DE LA CIUDAD.....104
FIGURA 68. CLASIFICACIÓN ICA PARA $PM_{2.5}$ – COMPARACIÓN 2010 Y 2011.....105
FIGURA 69. CLASIFICACIÓN ICA PARA OZONO (O_3) – AÑO 2011.....106
FIGURA 70. ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE PM_{10} POR ESTACIÓN Y CATEGORÍA – 2011 107
FIGURA 71. ESQUEMATIZACIÓN HORA-MES DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN DEL AEROPUERTO EL DORADO EN BOGOTÁ. FUENTE: IDEAM 110
FIGURA 72. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DEL NINO REGIÓN 3.4. FUENTE IRI 111
FIGURA 73. SERIE DE TIEMPO DE LAS PRECIPITACIONES PROMEDIO EN ESCALA MENSUAL DESDE AGOSTO DE 1997 HASTA SEPTIEMBRE DE 2011 PARA LAS ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO DE LA RMCAB. 112
FIGURA 74. SERIE DE TIEMPO DE PRECIPITACIÓN PARA 2011. 112
FIGURA 75. ACUMULADO PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN DE LA RMCAB DEL PERIODO 1998 – 2010. COMPARADA CON EL REGISTRO PROMEDIO DE 2011. 113
FIGURA 76. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LAS ESTACIONES DE LA RMCA EN EL TERCER TRIMESTRE DESDE 1998 HASTA 2011.....114
FIGURA 77. DÍAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB DESDE 1998-2010 COMPARADA CON EL PROMEDIO PARA LOS MESES DEL AÑO 2011.....115
FIGURA 78. PROMEDIO DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB DESDE 1998 HASTA 2011.....115
FIGURA 79. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN ANUAL DESDE 1998 – 2011 PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB.....116
FIGURA 80. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN EN LOS TRIMESTRE DE 1998-2011. 117
FIGURA 81. DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE CADA TRIMESTRE DE 1998-2011.....118
FIGURA 82. ACUMULADOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN PARA EL 2011 Y SU COMPARACIÓN CON EL PROMEDIO 1998 – 2010.....118
FIGURA 83. PRECIPITACIÓN ACUMULADA HORARIA PROMEDIO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 119
FIGURA 84. PRECIPITACIÓN ACUMULADA HORARIA PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 121
FIGURA 85. MAPA DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RED PARA 2011 122

FIGURA 86. MAPAS DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA 2011.....124
FIGURA 87. SERIE DE TIEMPO EN RESOLUCIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL PROMEDIO DE LAS ESTACIONES ACTIVAS DE LA RMCAB.....125
FIGURA 88. SERIE DE TIEMPO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO HORARIA PARA EL TERCER TRIMESTRE DE 2011 EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 126
FIGURA 89. FRECUENCIAS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2011 Y SU COMPARACIÓN CON EL MISMO PERIODO EN EL PROMEDIO 1998 – 2010. 131
FIGURA 90. ROSA DE LOS VIENTOS Y PORCENTAJE DE FRECUENCIAS DE DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 135
FIGURA 91. VELOCIDAD DEL VIENTO POR ESTACIÓN, SEGÚN LA MEDIA HORARIA EN 2011. 136
FIGURA 92. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DE BOGOTÁ PARA EL 2011 137
FIGURA 93. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA DISTINTAS HORAS EN EL 2011. 138
FIGURA 94. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS 1-6 HORAS DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2011. 139
FIGURA 95. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS 7-12 HORAS DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2011. 140
FIGURA 96. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS 13-18 HORAS DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2011. 141
FIGURA 97. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS 18-24 HORAS DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2011. 142
FIGURA 98. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 1998 – 2010 Y SU COMPARACIÓN CON EL 2011. 143
FIGURA 99. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 1998 – 2011. 144
FIGURA 100. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL 145
FIGURA 101. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PARA CADA HORA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL TERCER TRIMESTRE DE 2011. 146
FIGURA 102. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS TRES TRIMESTRES PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL 2011. 148
FIGURA 103. MAPA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL TERCER TRIMESTRE DE 2011. 149
FIGURA 104. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL EN 2011. 151
FIGURA 105.TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 152
FIGURA 106. DELTA DE TEMPERATURA ENTRE 2 Y 20 M EN LA ESTACIÓN DE GUAYMARAL PARA LOS TRES PRIMEROS TRIMESTRES DE 2011.....152
FIGURA 107. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 2006 – 2010 Y SU COMPARACIÓN HASTA AGOSTO DE 2011. 154
FIGURA 108. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL HORARIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL 2011 Y EL PROMEDIO 2002 – 2010. 155
FIGURA 109. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PARA CADA HORA EN EL AÑO 2011 DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2011. 155
FIGURA 110. SERIE DE PRESIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2011. 157
FIGURA 111. GRÁFICA DE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA PARA CADA HORA EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2011. 157
FIGURA 112. PRESIÓN ATMOSFÉRICA MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 158
FIGURA 113. COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN EN LOS TRIMESTRES DESDE 2008. 158
FIGURA 114. SERIE DE HUMEDAD RELATIVA PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB - 2011. 159
FIGURA 115. HUMEDAD RELATIVA MENSUAL MEDIA DEL PERIODO 1997 – 2009 Y SU COMPARACIÓN CON 2011. 159
FIGURA 116. HUMEDAD RELATIVA TRIMESTRAL EN EL PERIODO 2006-2011. 160
FIGURA 117. PROMEDIO HORARIO DE LA HUMEDAD EN EL PERIODO 1997-2010 Y SU COMPARACIÓN CON EL AÑO 2011. 161
FIGURA 118. GRÁFICA DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA CADA HORA EN 2011. 162
FIGURA 119. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB, SENSORES METEOROLÓGICOS. 171
FIGURA 120. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB Y ANALIZADORES DE CONTAMINANTES.....172

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESTACIONES DE LA RMCAB Y CONTAMINANTES MONITOREADOS EN CADA UNA DE ELLAS. 29
TABLA 2. RESUMEN DE DATOS PROMEDIOS 24 HORAS DE PM_{10} POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 32
TABLA 3. MEDIANA DE LAS ESTACIONES QUE MONITOREAN EL CONTAMINANTE PM_{10} POR DÍA COMPARANDO DISTINTOS AÑOS. 36
TABLA 4. MEDIANA DE LAS ESTACIONES QUE MONITOREAN EL CONTAMINANTE PM_{10} POR MES COMPARANDO DISTINTOS AÑOS. 37
TABLA 5. RESUMEN DE PROMEDIOS Y MÁXIMOS ANUALES PM_{10} POR ESTACIÓN PARA EL 2011. 39
TABLA 6. CONCENTRACIONES DE PM_{10} PROMEDIOS ANUALES A 31 DE DICIEMBRE DE CADA AÑO.[5] 40
TABLA 7. CONCENTRACIONES DE PM_{10} PROMEDIOS 24 HORAS.[5] 42
TABLA 8. RESUMEN DE DATOS 24 HORAS DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 43
TABLA 9. RESUMEN DE DATOS ANUALES DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN PARA EL 2011. 45
TABLA 10. RESUMEN DE DATOS ANUALES DE PST PARA EL 2011. 49
TABLA 11. RESUMEN DE DATOS DE SO_2 3 HORAS POR ESTACIÓN PARA EL 2011. 53
TABLA 12. RESUMEN DE PROMEDIOS 24 HORAS DE SO2 POR ESTACIÓN PARA EL 2011 54
TABLA 14. RESUMEN DE PROMEDIOS ANUALES DE SO_2 POR ESTACIÓN PARA EL 2011. 57
TABLA 15. CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUALES DE SO_2 CALCULADAS EL 31 DE DICIEMBRE DE CADA AÑO. 57
TABLA 16. RESUMEN DE DATOS HORARIOS DE NO_2 POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 60
TABLA 17. RESUMEN DE DATOS 24 HORAS DE NO_2 POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 61
TABLA 18. RESUMEN DE DATOS ANUALES DE NO_2 POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 63
TABLA 19. CONCENTRACIONES DE NO_2 – PROMEDIOS ANUALES, CALCULADO A 31 DE DICIEMBRE DE 2011. 64
TABLA 20. RESUMEN DE DATOS HORARIOS DE CO POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 67
TABLA 21. RESUMEN DE DATOS DE CO POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 68
TABLA 22. RESUMEN DE DATOS DE O_3 POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2011. 72
TABLA 23. PERIODO DE OCURRENCIA DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE O_3 PARA 8 HORAS DURANTE EL 2011. 73
TABLA 24. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS PARA MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 10 MICRAS (PM10), AÑO 2011 82
TABLA 25. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 10 MICRAS (PM10), AÑO 2011. 83
TABLA 26. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS PARA MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 2,5 MICRAS ($PM_{2.5}$), AÑO 2011. 84
TABLA 27. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES MATERIAL PARTICULADO INFERIOR A 2,5 MICRAS ($PM_{2.5}$), AÑO 2011. 84
TABLA 28. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE 24 HORAS DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST), AÑO 2011. 85
TABLA 29. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST), AÑO 2011. 85
TABLA 30. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE SO_2 PARA 3 HORAS, AÑO 2011. 86
TABLA 31. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE SO_2 PARA 24 HORAS, AÑO 2011. 87
TABLA 32. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS ANUALES DE SO_2, AÑO 2011. 88
TABLA 33. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE NO_2, AÑO 2011. 89
TABLA 34. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE NO_2 PARA 24 HORAS, AÑO 2011. 90
TABLA 35. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE NO_2 ANUALES, AÑO 2011. 91
TABLA 36. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE CO, AÑO 2011. 92
TABLA 37. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE CO PARA 8 HORAS, AÑO 2011. 93
TABLA 38. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS HORARIOS DE O_3, AÑO 2011. 94
TABLA 39. CONSOLIDADO DE LOS PROMEDIOS DE O_3 PARA 8 HORAS, AÑO 2011. 95
TABLA 40. ÍNDICE DE CALIDAD DE AIRE POR CATEGORÍAS. FUENTE SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD (2009) 96
TABLA 41. PUNTOS DE CORTE DEL ICA. FUENTE EPA 98
TABLA 42. ESTACIONES DE LA RMCAB Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS MONITOREADAS EN CADA UNA DE ELLAS. 109
TABLA 43. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO 2011 COMPARADA CON EL PERIODO 1998 – 2010 113
TABLA 44. VARIACIÓN PORCENTUAL DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN PARA EL 2011 COMPARADA CON EL PERIODO 1998–2010 114
TABLA 45. ACUMULADOS DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB DESDE 1998 HASTA 2011 Y SU RESPECTIVO ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN. 116

Tabla 46. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 – 2011. 117
Tabla 47. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1 – 6, 7 – 12, 13 – 18 y 19 – 24 horas en 2011 126
Tabla 48. Valores máximos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB. 128
Tabla 49. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en el año 2011 144
Tabla 50. Promedios de temperatura media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2002-2011. 145
Tabla 51. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en 2011 y su promedio. 146
Tabla 52. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en 2011 y su promedio. 147
Tabla 53. Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en 2011. 147
Tabla 54. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en 2011. 154
Tabla 55. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos 160
Tabla 56. Normas de Calidad del Aire 173
Tabla 57. Escala de precipitación 174
Tabla 58. Escala de velocidad del viento – Beaufort 174

RESUMEN

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)[1]. La RMCAB cuenta con 16 estaciones (incluidas una estación móvil y dos meteorológicas), ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa. De éstas estaciones 3 interrumpieron el registro, la estación de Chico Lago por demolición del edificio de la Universidad Santo Tomás a partir del 14 de octubre de 2010, la estación Vitelma a partir del 25/10/2011 se desmontó por restructuración de la RMCAB, y la estación Usme a partir del 12/04/2011debido a que varios de los equipos fueron hurtados. La estación Sagrado Corazón había interrumpido su servicio por modificación de la terraza donde estaba ubicada desde el 6 de julio de 2010, y en septiembre de 2011 fue nuevamente emplazada en el sitio.

Dentro de los contaminantes monitoreados cabe resaltar el material particulado de diámetro menor a 10 micras conocido como PM_{10}, las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono (O_3), pues en algunas oportunidades sus concentraciones promedio superan los límites máximos permisibles por la norma (Resolución 601 de 2006). También se resalta el material particulado de diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), que se mide en cinco estaciones, pero que para el presente documento sólo se reportará para la estación de Kennedy. Para este último parámetro empezó a regir la norma nacional a partir del 1 de enero de 2011.

Los demás contaminantes (CO, NO_2 y SO_2) están presentes en concentraciones bajas y no representan riesgo para la salud de la población. El comportamiento de la concentración de hidrocarburos metánicos y no metánicos durante el 2011 se presentó en el Informe del Tercer Trimestre, publicado en la página web de la RMCAB.

En cuanto al PM_{10}, durante el 2011 las concentraciones de éste contaminante mostraron una disminución en comparación con el 2010. Las estaciones que presentaron mayores niveles de este contaminante durante el año fueron Carvajal y Kennedy, y las que presentaron los menores niveles Guaymaral y Parque Simón Bolívar.

El PM_{10} se monitoreó en 13 estaciones, pero durante el año los equipos de Sagrado Corazón y Usaquén no acumularon suficiente cantidad de datos, y no cuentan con representatividad. Las estaciones Zona Industrial - Estación Móvil (sector centro), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal, Kennedy (sector suroccidental), Tunal y San Cristóbal (sector sur) registraron datos de concentración por encima de la norma 24 horas, establecida en 100 $\mu g/m^3$.

[1] *El 24 de marzo de 2010 se expidió la Resolución 610 por la cual se modifica la Resolución 601/2006.*

En cuanto al promedio anual de PM_{10}, éste superó la norma anual (50 µg/m^3) en las estaciones No. 11 Suba, No. 12 Zona Industrial - Estación Móvil, No. 14 Fontibón, No. 13 Puente Aranda, No. 9 Kennedy, No. 3 Carvajal y No. 4 Tunal, como se aprecia en la Figura 1 y Figura 2. Es importante mencionar que la norma diaria de 100 µg/m^3 empezó a regir a partir del 2011.

Por otro lado, el PST contó con un analizador ubicado en la estación No. 3 Carvajal (Sector Suroccidental). Para esta estación se obtuvo un promedio anual de PST de 134 µg/m^3, promedio que supera la norma anual (100 µg/m^3) en 34 µg/m^3. Para los promedios de 24 horas, se excedió una vez el valor de la norma, 300 µg/m^3.

En cuanto a los gases contaminantes, se resalta que el SO_2 nunca excedió los límites permisibles para los promedios horarios, 24 horas, ni anuales y sigue consolidando un comportamiento caracterizado por la disminución.

El monitoreo del NO_2 permitió establecer que las estaciones Las Ferias y Kennedy reportan las mayores concentraciones promedio (teniendo en cuenta las estaciones que alcanzan representatividad del 75%). Los promedios horarios, 24 horas y anuales no superaron la norma en ninguna oportunidad.

Los registros de concentraciones de CO permiten determinar que éste contaminante se encuentra en bajas concentraciones en la ciudad, pues los datos no superan los valores de la norma horaria ni octohoraria.

Finalmente, para O_3 en el 2011 se registraron concentraciones que superaron los límites máximos establecidos en la norma horaria y octohoraria. Las excedencias se presentaron en todas las estaciones que monitorearon este contaminante, exceptuando la estación Móvil (Zona Industrial), Carvajal y San Cristóbal. Es importante resaltar que los límites nacionales establecidos exceden los aceptados por agencias ambientales internacionales. Si se tiene en cuenta el límite previsto por la EPA para 8 horas, el número de excedencias baja de 561 a 25, lo cual se referirá por estación en el capítulo correspondiente.

Respecto a las variaciones de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2011 la precipitación en la ciudad se registró en doce (12) estaciones de la RMCAB que cuentan con pluviómetros y el registro es suficiente para el reporte anual. Los datos recolectados en cada una de las estaciones permitieron establecer el comportamiento de éste parámetro en la ciudad. En el mapa 3 el nivel de precipitación se divide en 17 clases partiendo como dato mínimo 650 mm y máximo 1250 mm. Los sectores en gris, principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, altura, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. Se puede observar los dos sectores con menos precipitación de la capital, la estación de Fontibón que abarca la localidad de su mismo nombre. Los mayores acumulados se encuentran en el sector Norte y Centro hacia Barrios Unidos y Norte de Teusaquillo además de algunos sectores de Usaquén y Suba, representados por la estación de Parque Simón Bolívar y Suba.

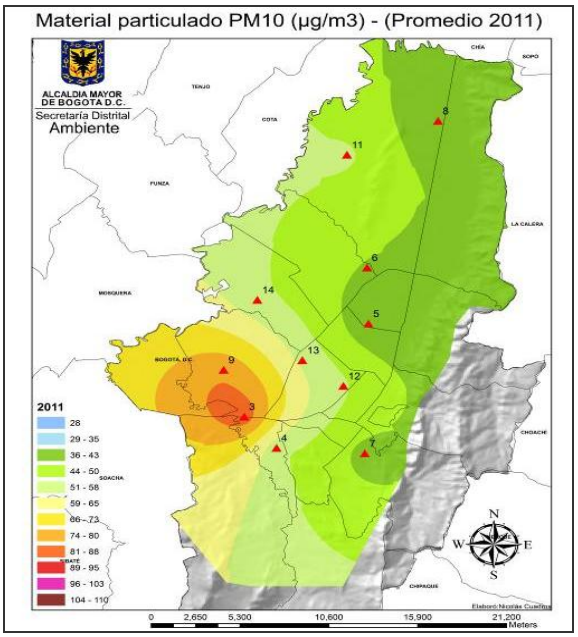


Figura 1. Distribución de la concentración promedio de PM_{10} durante el 2011

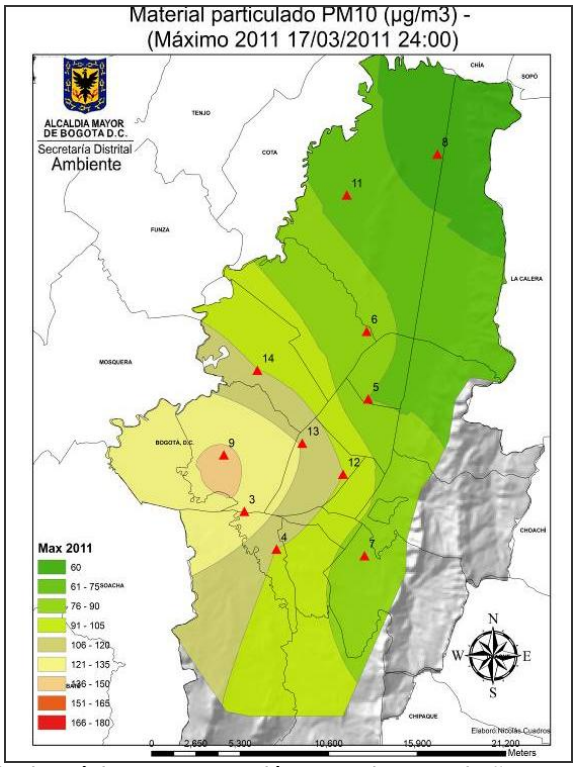


Figura 2. Episodio de máxima concentración PM_{10} durante el año 2011. Promedio diario.

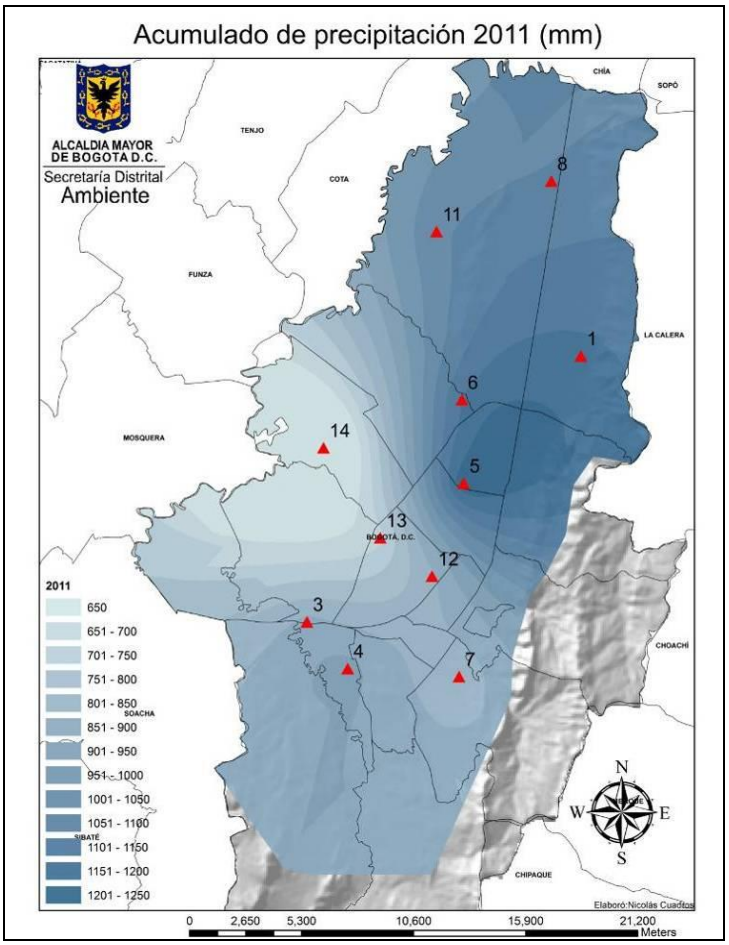


Figura 3. Distribución de las lluvias en la ciudad año 2011

En las Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se resume el comportamiento de los vientos para el año 2011. Durante todos los intervalos horarios en el sector sur los vientos predominantes provienen del sur y del este, el sector suroccidental presenta vientos provenientes en general del occidente y sur occidente (Sabana de Bogotá). En el norte, los vientos se presentaron en promedio en la mañana de occidente hacia oriente y de sur a norte, en las tardes la dirección predominante fue en dirección sur-norte, y en el noroccidente desde el noroccidente en la mañana y el occidente en las horas de la tarde, en la noche desde el nororiente.

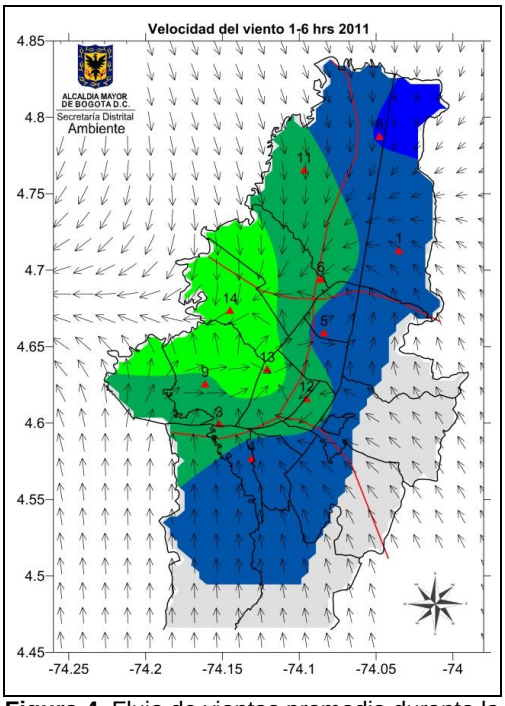


Figura 4. Flujo de vientos promedio durante la madrugada –2011.

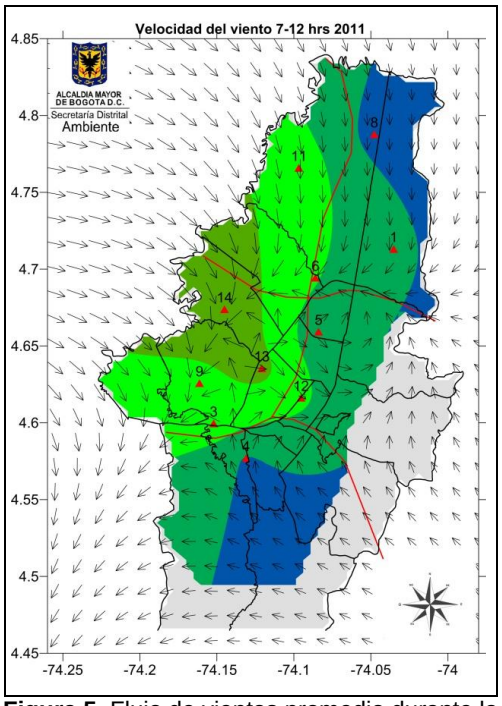


Figura 5. Flujo de vientos promedio durante la mañana –2011.

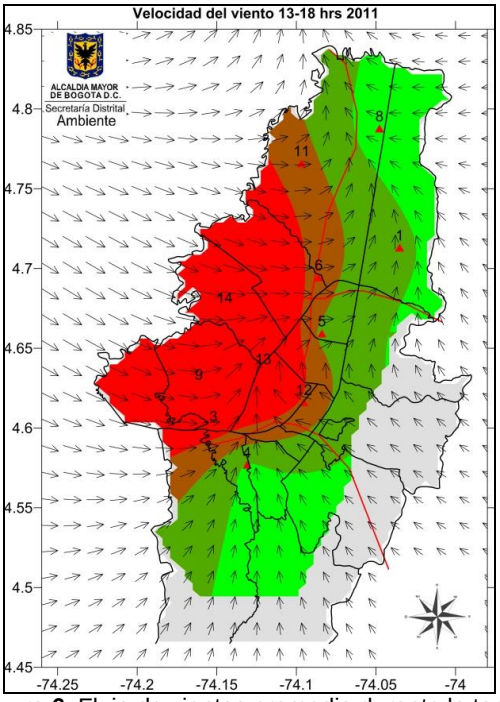


Figura 6. Flujo de vientos promedio durante la tarde –2011.

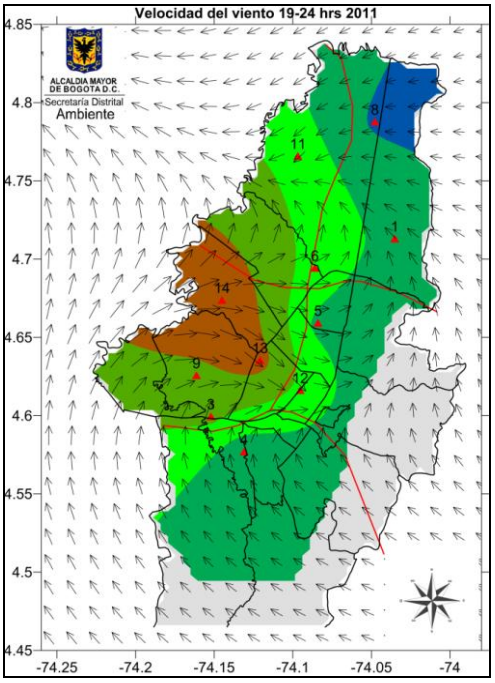


Figura 7. Flujo de vientos promedio durante la noche –2011.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de los factores meteorológicos que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central y se someten a un proceso de validación y posterior análisis con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

La RMCAB desde 2008 modernizó su estructura, que involucró el cambio de software de manejo de datos, el reemplazo de los equipos que tenían más de 10 años de funcionamiento, la instalación de nuevos equipos para ampliar el monitoreo de los contaminantes en los diferentes sitios de la ciudad y la adquisición de una unidad móvil que comenzó a operar en el mes de noviembre de 2008 en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud y para la cual se reportarán datos en el presente informe. Para el 2010 la RMCAB sumó 15 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y de los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de vientos, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El presente informe contiene en el primer capítulo el análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante el año en cuestión y la tendencia de estos en los últimos años en el segundo capítulo se presenta el comportamiento del índice de calidad del aire que persigue la protección de grupos sensibles. En el tercer capítulo se presenta información meteorológica que contempla la precipitación, la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y la presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes.

Para tener una idea del comportamiento que tienen los contaminantes, se hace un análisis exploratorio de los datos, una forma sencilla para observar si los valores que toman las variables son muy diferentes (medianas, *outliers*), tienen simetría, localización y como se distribuyen los datos, es con un gráfico de *Box-Plot*. En cada contaminante se presentarán tres distintos *Box-Plot* los cuales muestran el comportamiento entre los años 2005 al 2011 y días de la semana, meses y por último estaciones.

Para generar las bases de datos se tomó como criterio el porcentaje de datos por años; en el 2005 como mínimo se debe reportar el 70% de los datos para cada estación, en los años restantes se tomó como base el 75% (para el NO_2 en el 2011 se tomó como base 70% de representatividad).

Es importante tener en cuenta que todos los años no se tienen las mismas estaciones, ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años. A continuación se plasmará el análisis para cada uno de los contaminantes.

El glosario con la terminología utilizada se ubica después del capítulo cuatro y posteriormente se encuentran los anexos que incluyen información sobre las características de la configuración de la RMCAB y la localización geográfica de las estaciones de monitoreo, así como las características de las zonas donde se ubica cada una de las estaciones, la normatividad vigente que se utiliza como referencia para evaluar las concentraciones de los contaminantes en el aire y las escalas utilizadas para estudiar los diferentes parámetros meteorológicos.

1. GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES

1.1. INFORMACIÓN SOBRE ESTACIONES Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Las estaciones utilizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente, las cuales se encuentran a cargo de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual y que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB pueden ser consultadas en la página web www.secretariadeambiente.gov.co. A continuación se presenta una descripción de cada una de las estaciones.

1.1.1. ESTACIÓN USAQUÉN (BOSQUE)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		1 (estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Transversal 9 N° 133 – 95	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4.70939	Longitud: -74.03199
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14-DHS	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech 9811	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de infrarrojo
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		21.0 m	
Altura de meteorológicos		23,0 m	

1.1.2. SAGRADO CORAZÓN

Código Asignado a la estación en la RMCAB		2 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Calle 37 No 8-40	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4.62529	Longitud: -74.0724
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech 9811	Fotómetro UV no dispersivo
Localización del punto de toma de muestra			
Altura del punto de toma de muestra		10.0 m	
Altura de meteorológicos		10.0 m	

1.1.3. ESTACIÓN CARVAJAL (SONY)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		3 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Autopista Sur N° 61 – 40	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4.59580	Longitud: -74.14855
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Industria	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	PST	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Teledyne API 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Teledyne API 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Teledyne API 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Teledyne API 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		10.0 m	
Altura de meteorológicos		10.0 m	

1.1.4. ESTACIÓN TUNAL

Código Asignado a la estación en la RMCAB		4 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 24 N° 49 – 86 Sur	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4.57619	Longitud: -74.13093
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de Fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14-DHS	Atenuación Beta
	O_3	Teledyne API 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Teledyne API 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Teledyne API 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	Thermo Scientific	
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.5. ESTACIÓN PARQUE SIMÓN BOLÍVAR (IDRD)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		5 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Calle 63 N° 47 – 06	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.39.30,5	Longitud: -74.05.02,3
Tipo de Zona		urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Ecotech EC 9830	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,6 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.6. ESTACIÓN LAS FERIAS (CARREFOUR)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		6 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Av. Calle 80 N° 69Q – 50 (antigua Calle 81 68 – 50)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.41.37,0	Longitud: -74.05.09,5
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech ML9811	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Ecotech EC 9830	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Ecotech 9841	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.7. ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

Código Asignado a la estación en la RMCAB		7 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 2 este N° 12 – 78 sur	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.57.25	Longitud: -74.08.36
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.8. ESTACIÓN GUAYMARAL (ESCUELA)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		8 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		AV Carrera 45 N° 205 – 59 (antigua Autopista Norte Km. 13)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.47.13,0	Longitud: -74.02.52,0
Tipo de Zona		Rural	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	Thermo Scientific	
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.9. ESTACIÓN KENNEDY

Código Asignado a la estación en la RMCAB		9 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 86 N° 40-55 sur	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.37.29,9	Longitud: -74.09.40,7
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		7,0 m^2	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.10. ESTACIÓN SUBA (CORPAS)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		11 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 111 N° 157 – 45 (Clínica Corpas AV. Corpas Km. 13)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.45.54,4	Longitud: -74.05.48,4
Tipo de Zona		Suburbano	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech ML9811	Fotómetro UV no dispersivo
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		10,3 m	
Altura de meteorológicos		12,3 m	

[2] Se corrige este dato de la versión 1 del Informe Anual de 2011. Inicialmente la estación se encontraba en piso. La estación fue elevada por posible alteración del flujo de aire por el Coliseo cercano a la estación, La estación está ubicada en el parque Cayetano Cañizales.

1.1.11. ESTACIÓN MÓVIL (ACTUAL UBICACIÓN)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		12 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 32 N° 12 – 81	
Coordenadas geográficas		Latitud:	Longitud: -
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	DANI	
Localización del punto de toma de muestra		Patio	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.12. ESTACIÓN PUENTE ARANDA

Código Asignado a la estación en la RMCAB		13 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 65 N° 10 – 95	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.38.04,8	Longitud: -74.07.15,0
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		24,0 m	
Altura de meteorológicos		26,0 m	

1.1.13. ESTACIÓN FONTIBÓN

Código Asignado a la estación en la RMCAB		14 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 96G N° 17B – 49 (antigua Carrera 95 N° 24 – 49)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04.40.23,1	Longitud: -74.08.42,2
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		14,0 m	
Altura de meteorológicos		16,0 m	

1.1.14. ESTACIÓN USME

Código Asignado a la estación en la RMCAB	15 (Estación fija)	
Tipo de SVCA	Automática	
Ubicación	Carretera a Usme N° 16 – 71	
Coordenadas geográficas	Latitud: 04.29.87,8	Longitud: -74.07.58,1
Tipo de Zona	Rural	
Tipo de Estación	Meteorológica	
Localización del punto de toma de muestra	Zona Verde	
Altura de meteorológicos	10 m	

1.1.15. ESTACIÓN VITELMA

Código Asignado a la estación en la RMCAB	16 (Estación fija)	
Tipo de SVCA	Automática	
Ubicación	Calle 9 sur con Carrera 9 este	
Coordenadas geográficas	Latitud: 04.34.53,6	Longitud: -74.04.40,2
Tipo de Zona	Rural	
Tipo de Estación	Meteorológica	
Localización del punto de toma de muestra	Zona verde	
Altura de meteorológicos	10 m	

2. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

A continuación se presentan los indicadores de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2011.

A lo largo del capítulo se podrá observar que no se registran datos en las estaciones de Sagrado Corazón (MAVDT) y Chico Lago (Santo Tomás), ya que la primera tiene baja representatividad debido a que empezó a operar a finales del mes de septiembre y la segunda se encuentra en proceso de traslado.

2.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

2.1.1. ESTACIÓN

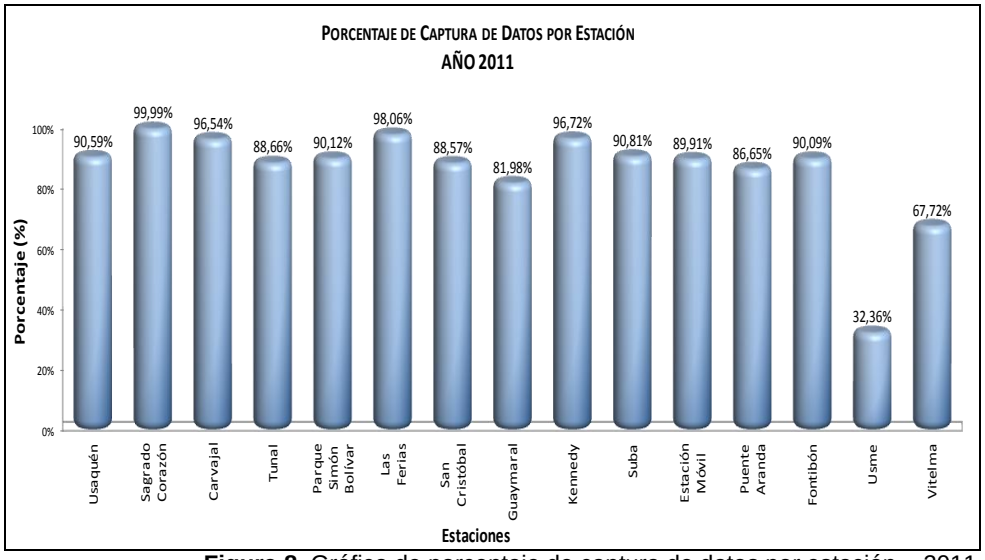


Figura 8. Gráfica de porcentaje de captura de datos por estación – 2011.

Se recolectaron aproximadamente el 89% de los datos posibles de recibir durante el periodo.

No se tuvieron en cuenta periodos en los que alguno de los equipos de la RMCAB estuvo fuera de servicio por circunstancias de fuerza mayor, que estaban fuera del alcance de la institución, como se reporta en los informes trimestrales del año.

En cuanto a la estación Usme, se puede apreciar una escasa captura de datos debido a fallas en el sistema de energía solar durante el principio de año y posteriormente tuvo que ser puesta fuera de operación debido a hurto de equipos en la estación.

2.1.2. PARÁMETRO

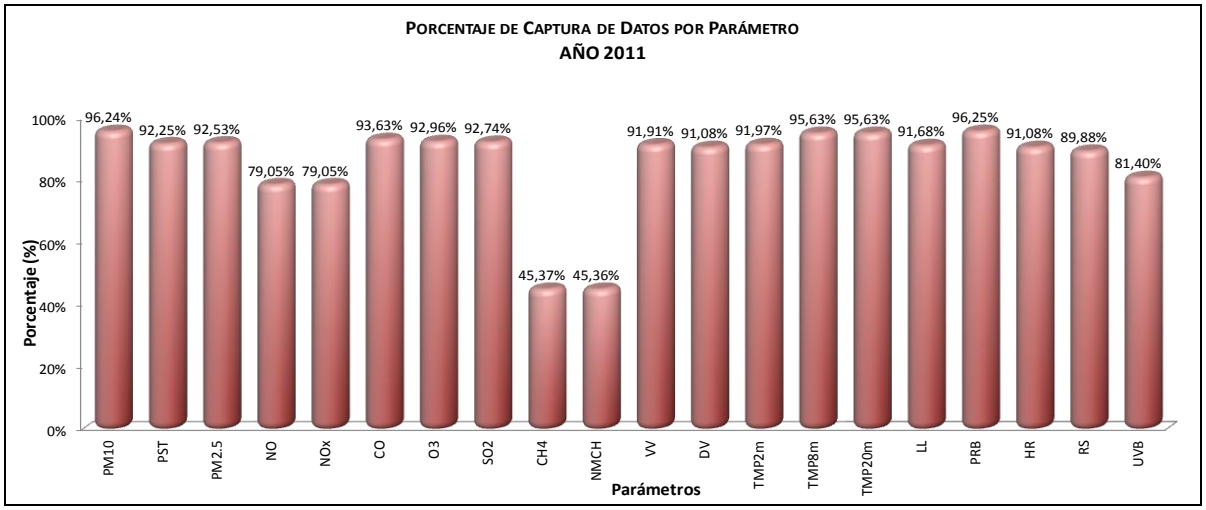


Figura 9. Gráfica de porcentaje de captura de datos por parámetro – 2011.

Como se aprecia en la figura anterior los porcentajes más bajos de recuperación de datos se tienen en los parámetros de CH4, NMCH, NO y NO_x. Es de tener en cuenta que esto se debe a que se presentaron continuas fallas técnicas en estos equipos que obligaron a mantenerlos en estado apagado en varias estaciones, alterando de esta manera el porcentaje de captura de datos.

2.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS

2.2.1. ESTACIÓN

Para el año se logra un porcentaje de datos válidos del 78% a nivel general dentro de la RMCAB, sin tener en cuenta las estaciones de Sagrado Corazón y Chico Lago, así como los datos que no se pudieron registrar debido a las adecuaciones realizadas en la estación Kennedy, entre otras.

De las 15 estaciones que estuvieron en operación durante el 2011, 5 tuvieron porcentaje por debajo del 75%, debido a las siguientes razones.

- Guaymaral: Se encuentran en observación el analizador de hidrocarburos

- Usaquén: Durante cerca de la mitad del año los datos de PM_{10} fueron puestos en observación teniendo en cuenta la diferencia de la serie de datos a partir del cambio del equipo de muestreo. Aún continúan en análisis. Adicionalmente se debe tener en cuenta que esta estación cuenta con un muestreador de $PM_{2.5}$, cuyos datos se encuentran en observación.

- Parque Simón Bolívar: Los datos registrados por el equipo de $PM_{2.5}$ marca Thermo se encuentran en observación

- Estación Móvil (Zona Industrial): Porcentaje afectado principalmente por la puesta fuera de servicio del analizador de NO_x por fallas técnicas. Los datos de hidrocarburos se encuentran en revisión.

- Tunal: Los datos registrados por el equipo de $PM_{2.5}$ marca Thermo se encuentran en observación, así como el analizador de hidrocarburos.

- Usme: Por fallas del panel solar

- Vitelma: Por continuas fallas técnicas del datalogger que obligaron a poner la estación durante largos periodos de tiempo fuera de servicio. Esta estación a finales del mes de octubre fue puesta fuera de operación por traslado.

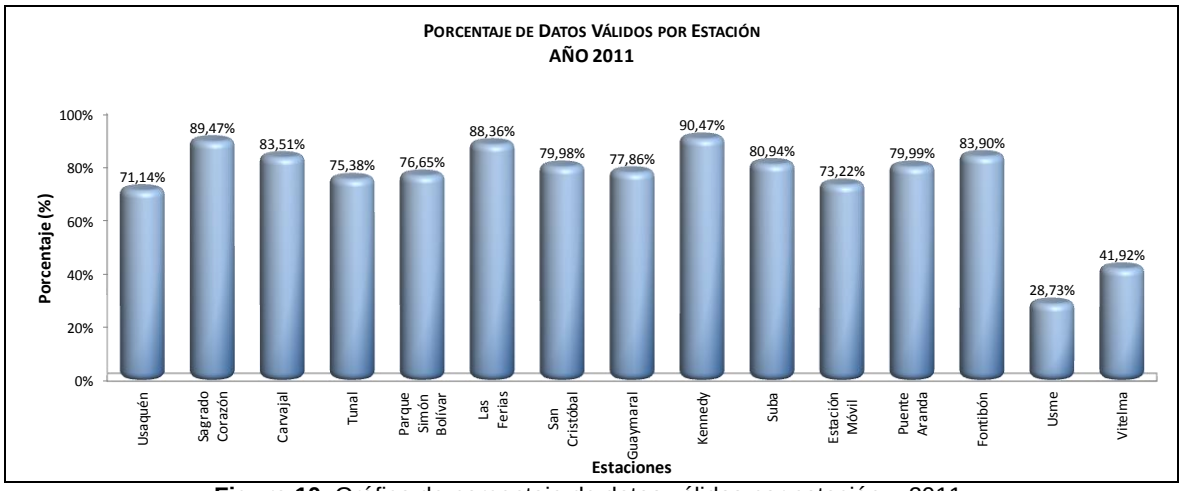


Figura 10. Gráfica de porcentaje de datos válidos por estación – 2011.

2.2.2. PARÁMETRO

En cuanto a los equipos en importante señalar las siguientes situaciones:

- $PM_{2.5}$: Los equipos de marca Thermo para este parámetro, con que cuenta la Red, se encuentran en observación por ello el porcentaje para este parámetro es bajo.

- CH4 y NMCH: Como son series que se iniciaron recientemente los datos se encuentran en observación, por ello el porcentaje de datos válidos para este parámetro es 0.

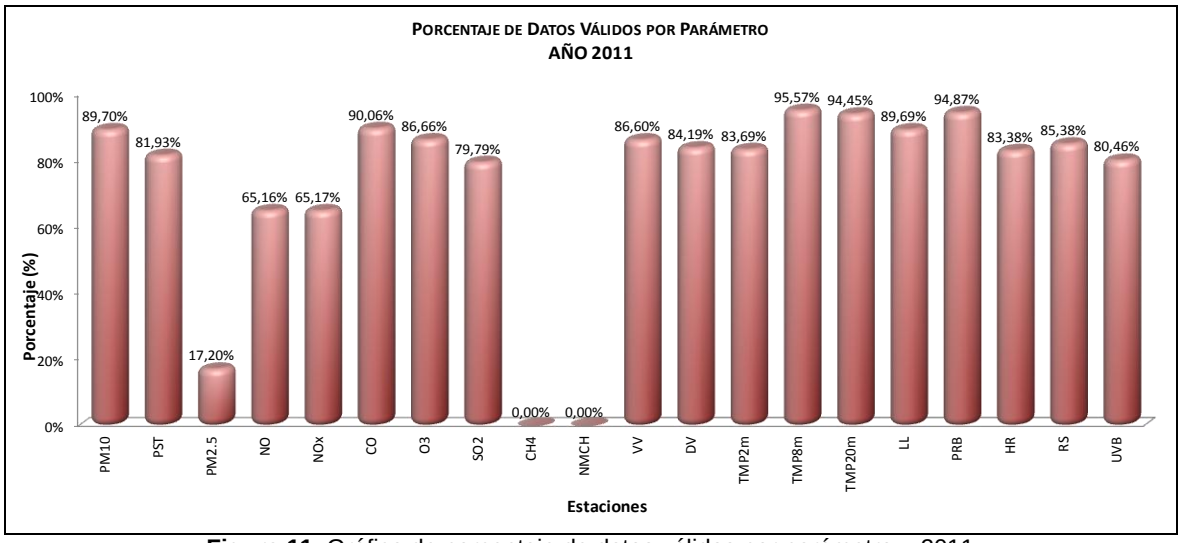


Figura 11. Gráfica de porcentaje de datos válidos por parámetro – 2011.

3. CALIDAD DEL AIRE

El presente capítulo se dividirá en tres secciones: la primera contiene el análisis del material particulado que incluye el PM_{10}, el PST y el $PM_{2.5}$, la segunda los gases contaminantes, el SO_2, el NO_2, el CO y el O_3 y la tercera el comportamiento del índice de calidad del aire. Para esto, la RMCAB durante el año 2011 contó con 13 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST) y de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital. En la Tabla 1 se presentan las trece estaciones y los contaminantes que se monitorearon en cada una de ellas, junto con la asignación de sectores según su ubicación.

Tabla 1. Estaciones de la RMCAB y contaminantes monitoreados en cada una de ellas.

ESTACIÓN	LOCALIDAD	SECTOR	Contaminantes								
			PM_{10}	PST	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO	O_3	CH4	NMCH
No. 1 Usaquén (Bosque)	Usaquén	Norte	X		X			X	X		
No. 2 Sagrado Corazón (MAVDT)[3]	Santa Fe	Centro	X						X		
No. 3 Carvajal (Sony)	Kennedy	Suroccidente	X	X		X	X	X	X		
No. 4 Tunal	Tunjuelito	Sur	X		X	X	X	X	X	X	X
No. 5 Parque Simón Bolívar (I.D.R.D.)	Barrios Unidos	Centro	X		X	X	X	X	X		
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	Engativá	Norte	X		X	X	X	X	X		
No. 7 San Cristóbal[4]	San Cristóbal	Sur	X			X		X	X		
No. 8 Guaymaral (Escuela)	Suba	Norte	X				X		X	X	X
No. 9 Kennedy	Kennedy	Suroccidente	X		X	X	X	X			
No. 12 Estación Móvil (Zona Industrial)	Puente Aranda	Centro	X			X	X	X	X	X	X
No. 11 Suba (Corpas)	Suba	Noroccidente	X			X	X		X		
No. 13 Puente Aranda	Puente Aranda	Suroccidente	X			X	X	X	X		
No. 14 Fontibón	Fontibón	Suroccidente	X			X	X	X	X		

[3] *La estación fue desmontada temporalmente a solicitud del MAVDT y reinició operación en septiembre de 2011. Para este último periodo del año en esta estación únicamente se monitoreó PM_{10} y Ozono.*
[4] *La estación San Cristóbal empieza a operar en noviembre de 2010 para la medición de parámetros contaminantes*

3.1. MATERIAL PARTICULADO – MP O PM (PARTICULATE MATTER)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades está el material particulado, cuyas características físico-químicas y los efectos sobre la salud humana hacen que su monitoreo sea de suma importancia. Éste material está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros.

Una de las características físicas más importantes de este material es su diámetro de partícula por el riesgo que representa para la salud humana, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman o servir como vehículo para bacterias y virus. Son de mayor interés las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micras. Las de $PM_{2.5}$ tienen tamaño menor o igual a 2.5 micras, y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas). Son respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST), son fracciones de este el PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

La Resolución 601 del 4 de Abril de 2006, estableció los niveles máximos permisibles para PST y PM_{10}. Estos son de 100 µg/m^3 concentración anual y de 300 µg/m^3 para el período de 24 horas en el caso de PST. A partir de 2011 el periodo de 24 horas para PM_{10} se controlará con 100 µg/m^3 y el anual con 50 µg/m^3. Para el caso de $PM_{2.5}$ se toma como referencia los valores de 25 µg/m^3 como concentración anual y de 50 µg/m^3 para 24 horas.

3.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10}

La RMCAB contó con trece (13) estaciones para medir la concentración de PM_{10}, como se observa en la Tabla 1. Durante el año 2008 se cambiaron 8 equipos de PM_{10} marca *DASIBI* y GBAM por marca *MET ONE*, en el marco del proceso de modernización de la RMCAB; éstos equipos reemplazaron los existentes en las estaciones No. 8 Guaymaral, No. 5 Parque Simón Bolívar, No. 6 Las Ferias, No. 14 Fontibón, No. 13 Puente Aranda, No. 9 Kennedy ($PM_{2.5}$), No. 3 Carvajal y No. 4 Tunal.

El cambio de tecnología hizo que se registraran niveles de concentración de PM_{10} diferentes a los reportados históricos anteriores al primer semestre del año 2008, en las estaciones No 6 Las Ferias, No. 14 Fontibón, No. 13 Puente Aranda, No. 9 Kennedy ($PM_{2.5}$), No. 3 Carvajal y No. 4 Tunal, por lo que se realizaron estudios de intercomparación entre equipos.

Por otro lado, en cuanto a la concentración del contaminante monitoreado para el año 2011, la concentración promedio anual aumentó respecto a 2010 en las estaciones

Guaymaral, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Zona Industrial - Estación Móvil y Tunal; la concentración promedio disminuyó respecto al 2010 en las estaciones Suba (Corpas), Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, y Carvajal (Sony), estas últimas estaciones caracterizadas por registrar las mayores concentraciones de este contaminante en la ciudad.

PM_{10} 24 Horas

El comportamiento de la concentración de PM_{10} se establece mediante la recolección de datos promedios de 24 horas. Durante el 2011 se reportó una representatividad temporal[5] para el año mayor o igual al 75% en 11 (once) estaciones (quedaron por fuera Usaquén y Sagrado Corazón con un porcentaje de recuperación de datos del 43% y 21% respectivamente). Las mayores concentraciones promedio se presentaron en la estación Carvajal (Sony) y Kennedy.

Del total de datos registrados, el 4.4% superó el valor de la norma para 24 horas establecido en 100 µg/m^3, porcentaje equivalente a 168 datos presentados en las Estaciones de Carvajal (100), Kennedy (50), Zona Industrial - Estación Móvil (7), Puente Aranda (5), Fontibón (2) Tunal (2) y San Cristóbal (2).

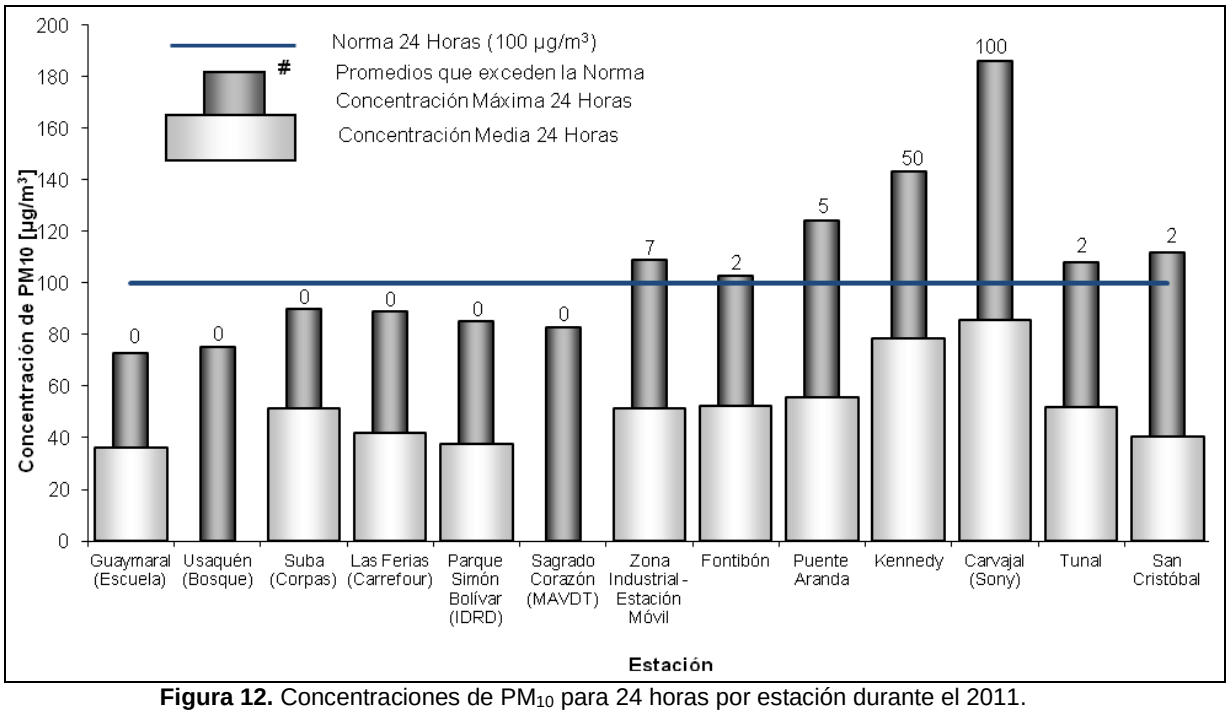


Figura 12. Concentraciones de PM_{10} para 24 horas por estación durante el 2011.

[5] *El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.*

Las concentraciones medias, máximas y la cantidad de datos que superaron la norma se presentan en la Figura 12.

La Tabla 2 resume los datos de PM_{10} 24 horas para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el 2011. En el mes de marzo se registraron la mayoría de las máximas concentraciones de PM_{10}. El promedio de 24 horas del jueves 17 de marzo de 2011 configuró un episodio generalizado en un sector importante de la ciudad.

Tabla 2. Resumen de datos promedios 24 horas de PM_{10} por estación para el año 2011.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]	Excedencia norma 100 µg/m^3 ([6])	Excedencia sobre 150 µg/m^3 ([7])	Máximo	Fecha de concentración máxima
Guaymaral (Escuela)	94%	36,2	0	0	73	20/05/2011 24:00
Usaquén (Bosque)	43%		0	0	75	04/11/2011 24:00
Suba (Corpas)	90%	51,4	0	0	90	07/04/2011 24:00
Las Ferias (Carrefour)	96%	41,9	0	0	89	20/05/2011 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	89%	37,5	0	0	85	02/08/2011 24:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	21%		0	0	83	13/12/2011 24:00
Zona Industrial - Estación Móvil	85%	51,3	7	0	109	17/03/2011 24:00
Fontibón	84%	52,1	2	0	103	17/03/2011 24:00
Puente Aranda	95%	55,5	5	0	124	17/03/2011 24:00
Kennedy	83%	78,5	50	0	143	17/03/2011 24:00
Carvajal (Sony)	96%	85,6	100	7	186	02/07/2011 24:00
Tunal	98%	52,1	2	0	108	20/05/2011 24:00
San Cristóbal	84%	40,4	2	0	112	22/01/2011 24:00

La distribución de la concentración de este contaminante en la ciudad de Bogotá puede visualizarse en la Figura 14 y la Figura 15. En la Figura 14 se muestra un mapa resultado de la interpolación del episodio de mayor concentración de PM_{10}, basado en promedios diarios, presente en la ciudad durante el 2011. Se debe tener presente que las estaciones No.15 Usme y No.16 Vitelma no tienen muestreadores de partículas y la representación de estas zonas son el resultado de la interpolación de los datos máximos de otras estaciones. En el episodio de máxima concentración, los mayores niveles fueron registrados en las estaciones Kennedy, Carvajal, Puente Aranda, Estación móvil, Fontibón y Tunal, con concentraciones que exceden la norma diaria.

En cuanto al mapa de concentraciones medias, Figura 15, el comportamiento del PM_{10} es similar al descrito anteriormente; las localidades más afectadas por material particulado son las del sur occidente de la ciudad y las menos afectadas Usaquén, Teusaquillo, Chapinero y parte de Suba.

[6] *Promedio diario*
[7] *Promedio Corrido 24 horas*

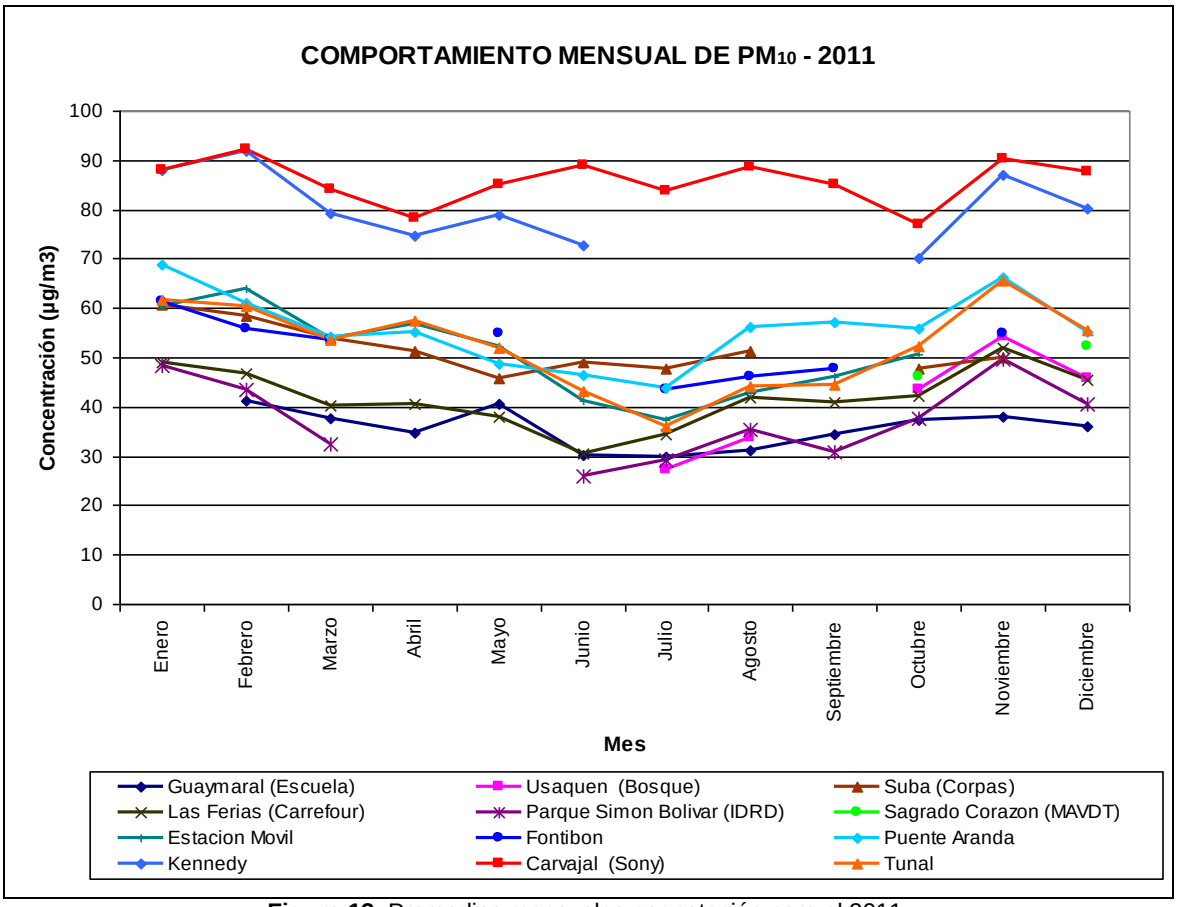


Figura 13. Promedios mensuales por estación para el 2011.

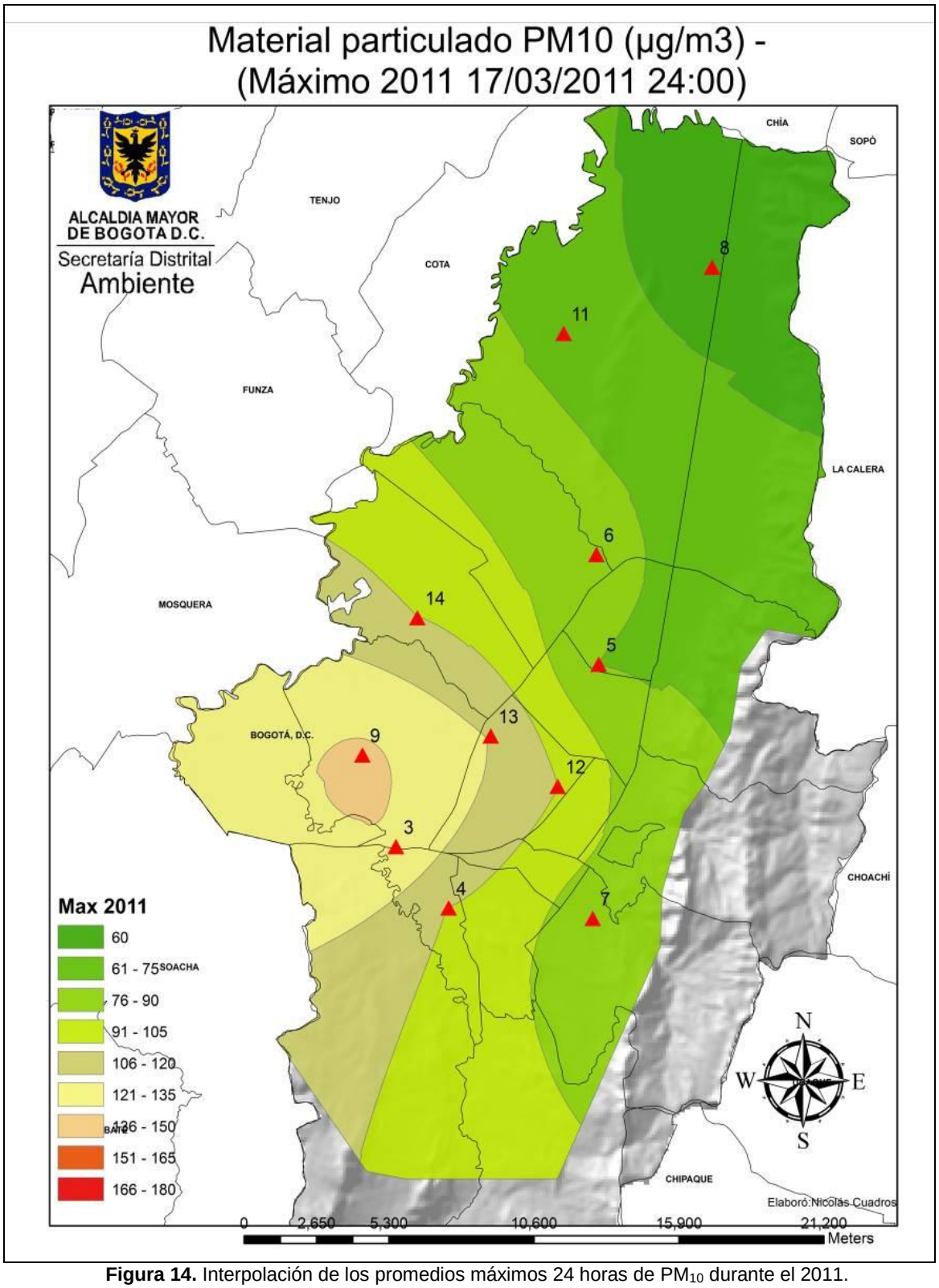


Figura 14. Interpolación de los promedios máximos 24 horas de PM_{10} durante el 2011.

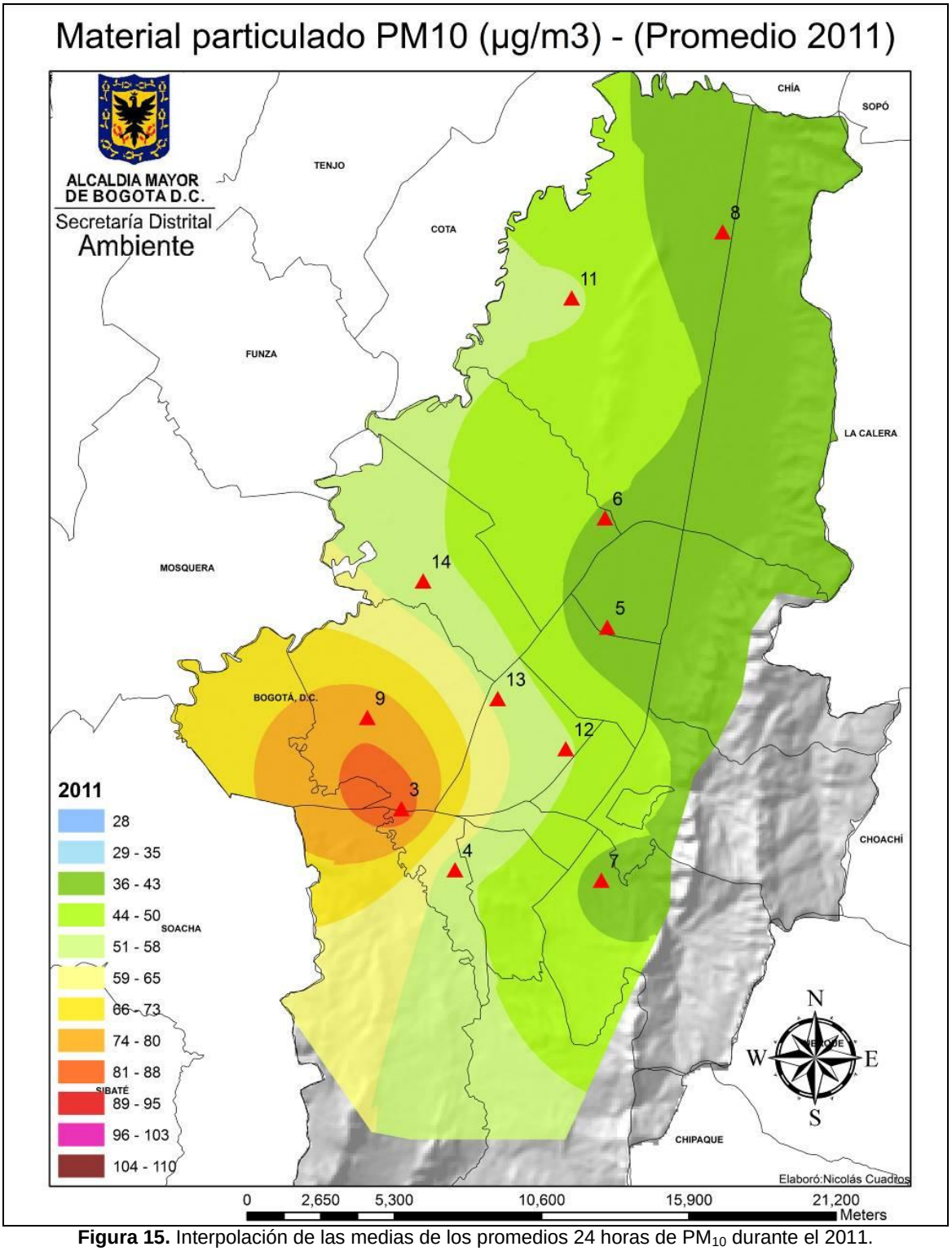


Figura 15. Interpolación de las medias de los promedios 24 horas de PM_{10} durante el 2011.

Comportamiento histórico de promedios por fracciones temporales de PM_{10}

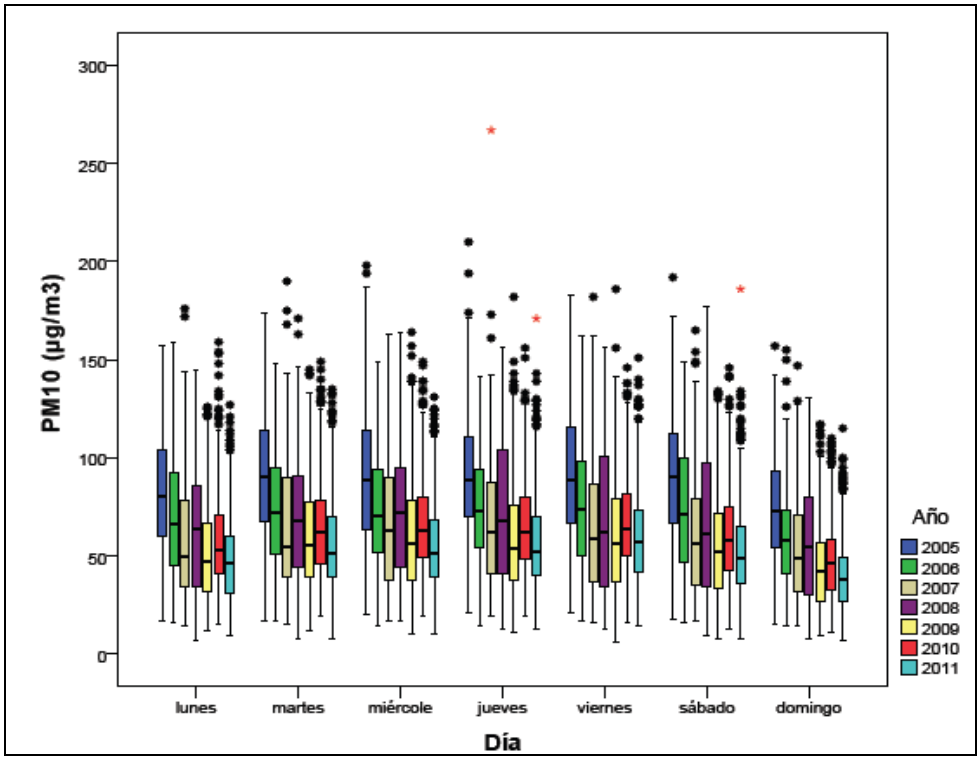


Figura 16. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por días de la semana comparando año 2011 con años anteriores.

El comportamiento para el contaminante PM_{10} en los días de la semana para el último año mantiene el registro usual de años anteriores el cual tiene una tendencia de incremento al iniciar la semana hasta el día miércoles, el jueves se mantiene y el viernes es el día que muestra un mayor registro, descendiendo el fin de semana y siendo el domingo el de menor registro; gráficamente este comportamiento se puede representar con una leve figura cóncava. La concentración del contaminante disminuyó con respecto al año anterior y es la menor de los últimos 3 años, la dispersión de los datos es menor también; el domingo es el día que registra mayor cantidad de datos atípicos y el viernes el de menor.

Tabla 3. Mediana de las estaciones que monitorean el contaminante PM_{10} por día comparando distintos años.

Medianas contaminante PM_{10} por días							
Día	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
Lunes	80	66	50	64	47	53	46
Martes	90	72	55	68	56	62	51
Miércoles	89	70	63	72	56	63	52
Jueves	89	73	62	68	54	62	52
Viernes	89	74	59	62	57	64	57
Sábado	90	71	56	61	52	58	49
Domingo	73	58	49	55	42	46	38

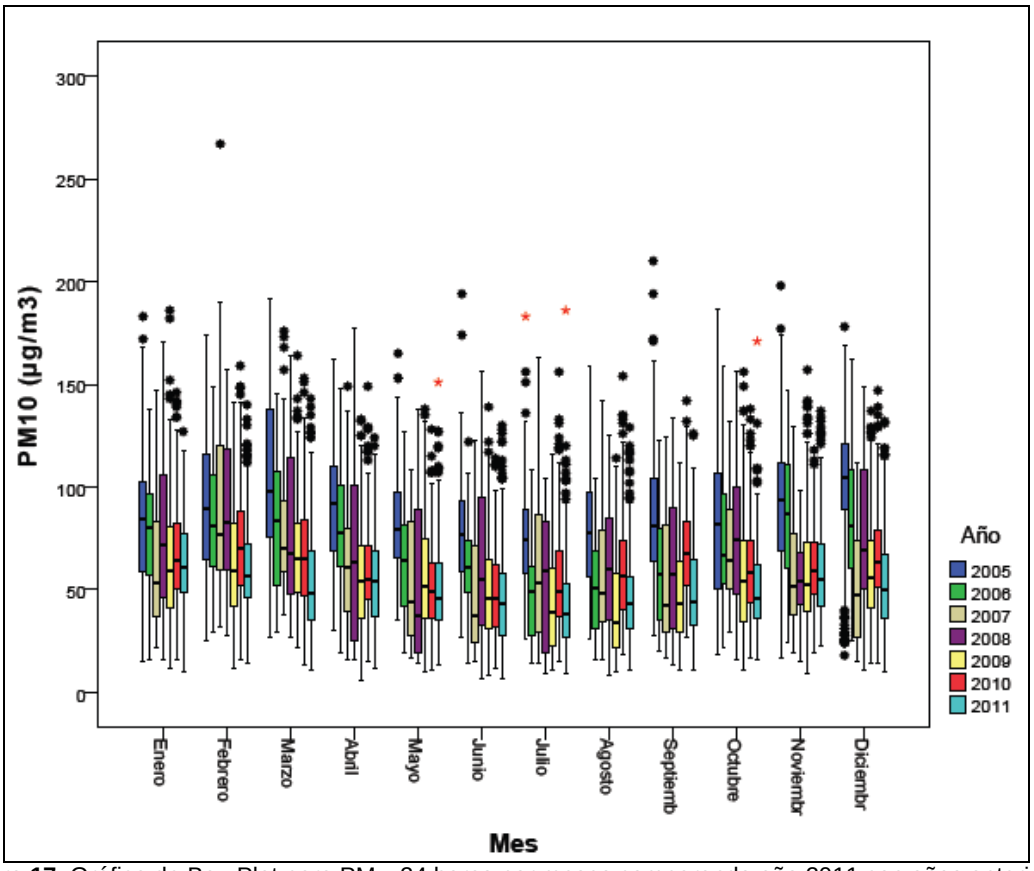


Figura 17. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por meses comparando año 2011 con años anteriores.

En la Figura 17 se puede apreciar bastante bien como es el comportamiento del contaminante en el transcurso del año 2011. Se muestra una variabilidad intra-anual con una cresta en el primer trimestre y otra a partir de Julio sin la misma intensidad, para el segundo trimestre muestra descenso lento, a partir de Julio se presenta un ascenso que va hasta Noviembre y baja la concentración para el mes de Diciembre; realizando la comparación de la concentración del 2011 con el año anterior se refleja el descenso generalizado de las medianas en todos los meses, siendo particularmente alto el descenso en los meses de febrero, marzo, entre julio y octubre y en el mes de diciembre; en general la dispersión de los datos se mantiene respecto al año 2010.

Tabla 4. Mediana de las estaciones que monitorean el contaminante PM_{10} por mes comparando distintos años.

Medianas contaminante PM_{10} por mes							
Mes	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
Enero	84	80	53	72	59	65	61
Febrero	90	81	77	83	59	71	57
Marzo	98	84	70	68	65	65	48
Abril	92	78	61	63	54	55	54
Mayo	80	65	44	37	52	49	46

Medianas contaminante PM_{10} por mes							
Junio	77	61	37	55	46	46	43
Julio	74	49	53	59	39	50	38
Agosto	78	51	48	60	34	57	43
Septiembre	81	58	42	58	43	68	44
Octubre	82	67	64	74	54	58	46
Noviembre	94	87	52	54	53	59	55
Diciembre	105	81	47	69	56	63	50

PM_{10} anual

El promedio anual se calcula para cada día utilizando los promedios diarios de los 365 días anteriores, así el promedio anual del 1 de enero de 2011 se calcula como el promedio de los datos diarios entre el 2 de enero de 2010 y el 1 de enero de 2011, y el promedio anual calculado el 31 de diciembre de 2011 se toma como el promedio de los datos diarios entre el 1 de enero de 2011 y el 31 de diciembre de 2011. No se incluyen las estaciones de Sagrado Corazón y Chicó Lago, la primera por baja representatividad y la segunda por encontrarse fuera de servicio por traslado.

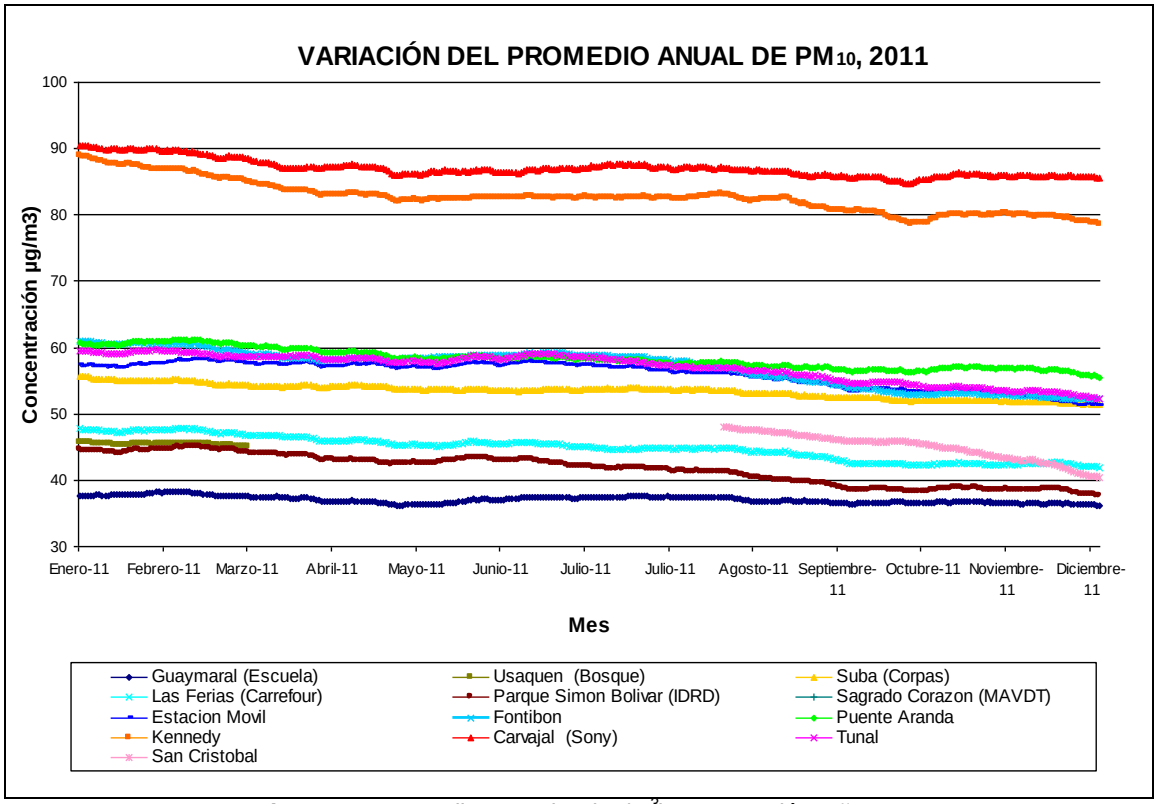


Figura 18. Promedios anuales (µg/m^3), por estación, año 2011.

En la Figura 18 se presentan los promedios anuales calculados para el año 2011 en cada una de las estaciones que monitorearon este contaminante y cuya representatividad fue

mayor al 75%. La norma de referencia desde el 2011 es de 50 µg/m^3 a nivel nacional Respecto a 50 µg/m^3, las estaciones comprometidas, son la No. 3 Carvajal (Sony), No. 9 Kennedy, No 11 Suba, No. 12 Zona industrial - Estación. Móvil que durante el año estuvo situada en la calle 13 con carrera 32, la No. 14 Fontibón y la No. 13 Puente Aranda, en las cuales se supera la norma anual en todos los meses. En las demás estaciones se mantuvo la concentración por debajo del límite establecido en la normatividad.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los datos anuales de PM_{10} para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el 2011.

Tabla 5. Resumen de promedios y máximos anuales PM_{10} por estación para el 2011.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio Anual [µg/m^3]	Máximo Anual Norma 601 (Anual): 50 µg/m^3
Guaymaral (Escuela)	100%	37	38
Usaquén (Bosque)	16%		46
Suba (Corpas)	100%	53	56
Las Ferias (Carrefour)	100%	45	48
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100%	42	45
Zona Industrial – Estación Móvil	100%	56	58
Fontibón	100%	57	61
Puente Aranda	100%	58	61
Kennedy	100%	83	89
Carvajal (Sony)	100%	87	91
Tunal	100%	57	60
San Cristóbal	37%		48

El promedio de las concentraciones anuales de PM_{10} encontradas en las estaciones de la RMCAB para el 2011 se presentan en la Figura 19. La estación No. 3 Carvajal reportó el máximo promedio con 87 µg/m^3, seguida de la estación No. 9 Kennedy con 83 µg/m^3. Carvajal y Kennedy, junto con las estaciones de Suba, Zona Industrial - Estación Móvil, Fontibón, Puente Aranda y Tunal exceden la norma anual de 50 µg/m^3.

En la Tabla 6 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales entre 1999 y el 2011, para cada una de las estaciones, calculados el 31 de Diciembre de cada año. Se incluyen todas las estaciones y para los años 2007 a 2011 se exceptúan los datos de la estación de Chico Lago que se encuentra en estudio; los cortes en las figuras corresponden a periodos de tiempo donde por problemas operacionales, no se cumple con el porcentaje de representatividad y no se puede calcular el promedio anual.

Para la correcta lectura de la Tabla 6, se debe tener en cuenta que los datos de 2005 a mayo de 2008 de las estaciones Las Ferias, Fontibón, Carvajal, y Tunal, fueron tomados con equipos anteriores y que al correlacionarlos con los datos registrados por los equipos actuales muestran un promedio horario de concentración distinto, fundamentado en el cambio tecnológico que prevé ajustes por presión y temperatura que algunos de los equipos anteriores no hacían, lo que ocasionó para las nuevas series de datos, aumento en la concentración de la estación de Carvajal desde mayo de 2008, y disminución desde la misma fecha en las estaciones de Las Ferias, Fontibón, Puente Aranda y Tunal. De los

equipos cambiados solamente los de las estaciones de Parque Simón Bolívar y Guaymaral conservaron los niveles que traía la serie histórica de datos. En concordancia con la situación anteriormente expuesta, no se reportan los niveles de 2008 para estas estaciones.

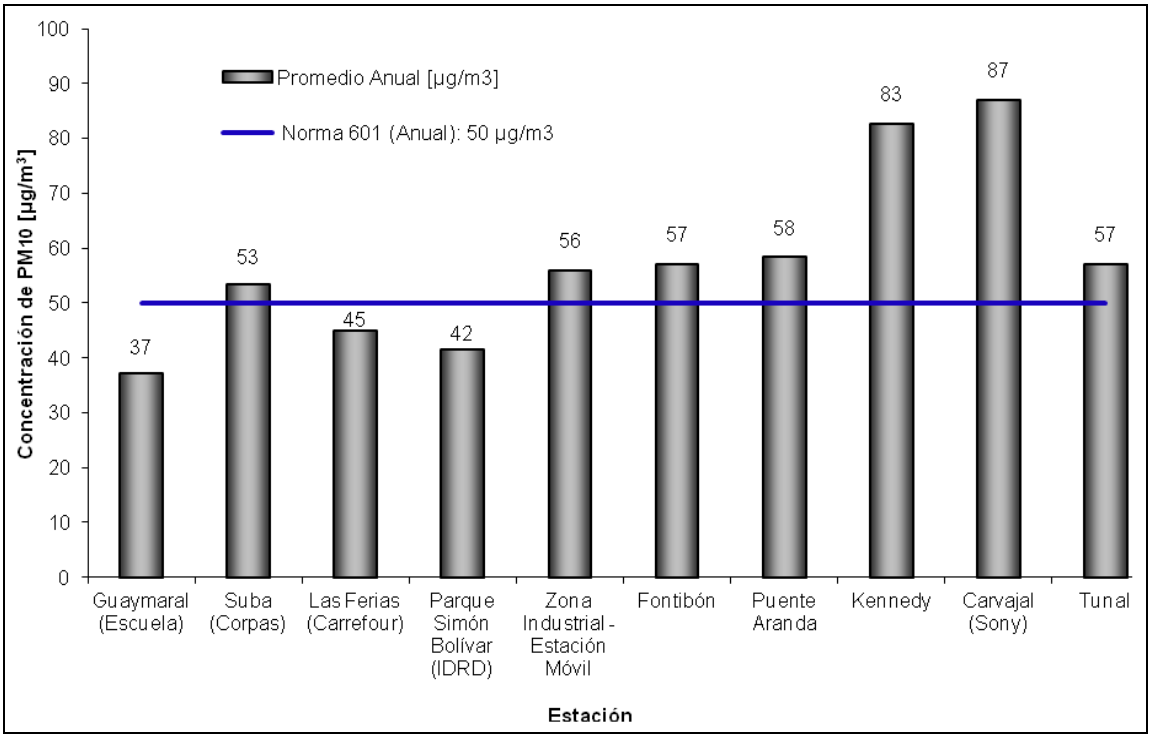


Figura 19. Concentración promedio anual de PM_{10} por estación durante el 2011.

Tabla 6. Concentraciones de PM_{10} promedios anuales a 31 de diciembre de cada año.[5]

Estación	Concentración PM_{10} en [µg/m³]													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
8. Guaymaral				43	50	54	54	55	30	35	35	34	38	36
1. Usaquén	33	31	31	29	24				38	40	44	37	46	
11. Suba (Corpas)	54	40	47	81	97	91	80	90	83	71	52	69	56	51
6. Las Ferias				78	97		85	79	60	71		40	48	42
10. Chico Lago	32	34	35	37	39	33	33	29	44					
5. P. Simón Bolívar								58	42	50	41	37	45	38
2. Sagrado Corazón														
12. E. Móvil (Z.Ind)												52	57	51
14. Fontibón			93	91	96	97	94	101	85	87		59	61	52
13. Puente Aranda			103	93	98	102	107	113	93	99		56	61	56
9. Kennedy									100	98	96	86	89	79
3. Carvajal (Sony)	80	77	63	86	61	53	49	69	73	59		93[8]	91	86

[5]Los cuadros en amarillo corresponden a datos en revisión por cambio en la serie de datos y los cuadros en gris corresponden a periodos de tiempo donde por problemas operacionales, no se cumple con el porcentaje de representatividad.

Estación	Concentración PM_{10} en [µg/m^3]													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
4. Tunal									107	98		50	60	52
7. San Cristóbal														40
Cazucá	86	69	69	62	62	54	57	69	64	71	63			

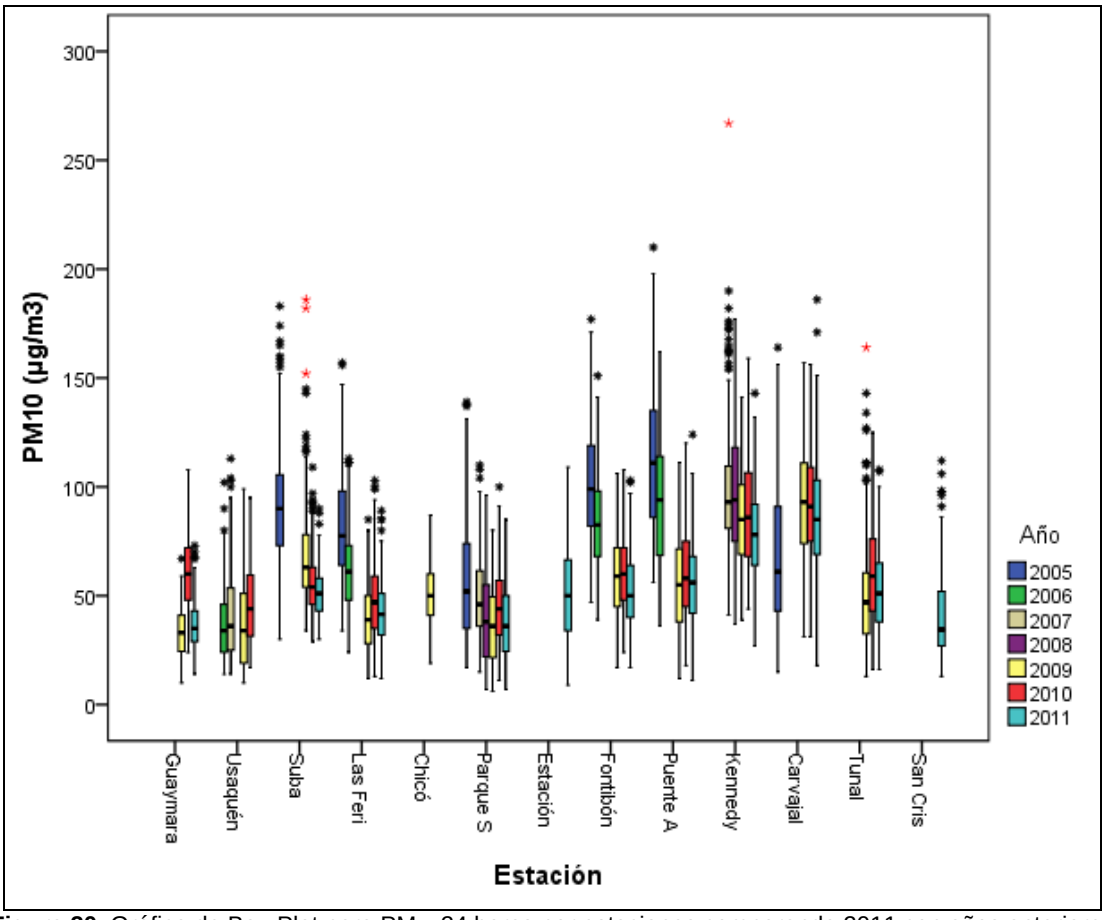


Figura 20. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por estaciones comparando 2011 con años anteriores

En el contaminante PM_{10} no se tienen en cuenta los datos en las estaciones Tunal, Carvajal, Puente Aranda, Fontibón Guaymaral y Las Ferias para los años 2005 a 2008, adicionalmente Chico no entra en el análisis en los años 2007 – 2009 porque las series están siendo analizadas técnicamente por variación con el cambio de equipos; para el año 2011 las estaciones que registran menor concentración son Guaymaral y Parque Simón Bolívar con mediana de 35 y 36 µg/m^3 respectivamente, las de mayor mediana son Carvajal y Kennedy con 85 y 78 µg/m^3 respectivamente; el contaminante en el último año tuvo un descenso con respecto al 2010 en todas las estaciones; en el 2011 no se registran outliers extremos.

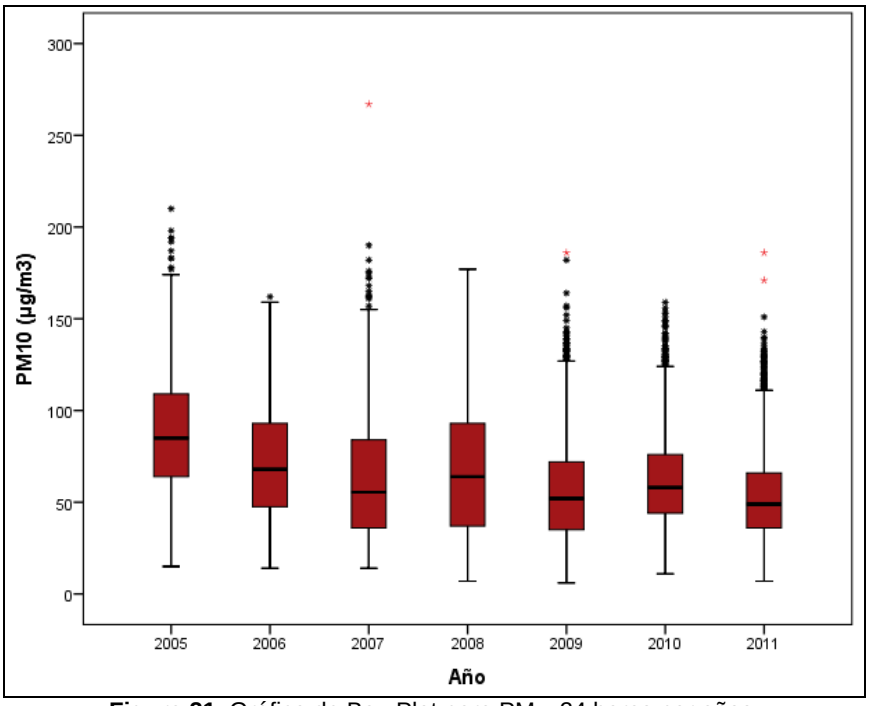


Figura 21. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por años.

En esta gráfica se resume el comportamiento que se ha descrito en las diferentes graficas del contaminante PM_{10}, su nivel medio para el último año tiene un descenso con dispersión menor, además, la mayoría de los datos se encuentran distribuidos de una forma simétrica alrededor de la mediana, se presentan datos atípicos y outliers extremos.

Tabla 7. Concentraciones de PM_{10} promedios 24 horas.[5]

Año	Media	Mediana	Máximo	Mínimo
2005	87	85	210	15
2006	71	68	162	14
2007	63	56	267	14
2008	68	64	177	7
2009	56	52	186	6
2010	62	58	159	11
2011	53	49	186	7

3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE $PM_{2.5}$

La RMCAB cuenta actualmente con 5 estaciones en las que se hace medición de este contaminante. A la fecha se publica el resultado de la estación No. 9 Kennedy, atendiendo a que los datos de los equipos instalados en las estaciones de Parque Simón Bolívar, Usaquén, Las Ferias y Tunal se encuentran en revisión. Según Resolución 601 de 2006 el

valor de la norma para este contaminante, que entró a regir a partir de enero de 2011, es de 50 µg/m^3 como límite de concentración diaria y de 25 µg/m^3 para promedio anual.

$PM_{2.5}$ 24 Horas

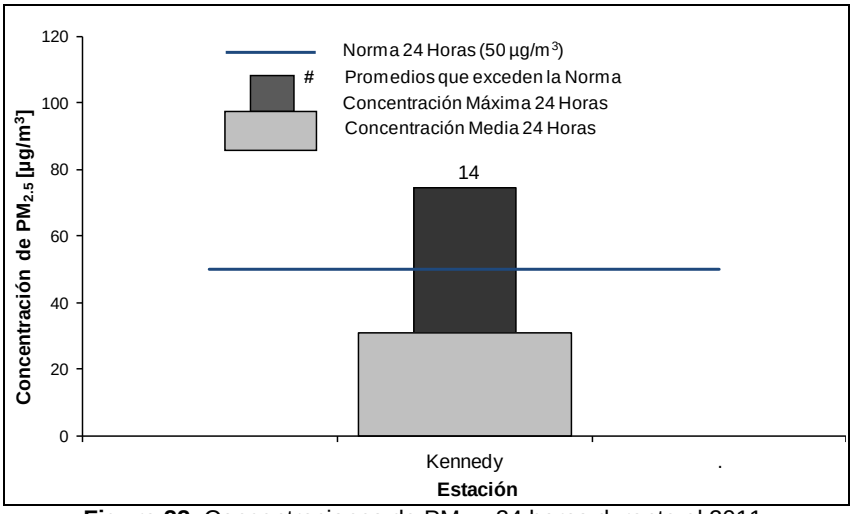


Figura 22. Concentraciones de $PM_{2.5}$ 24 horas durante el 2011.

A partir de los registros de la estación que monitorea este contaminante se obtuvieron 302 promedios de concentración 24 horas de $PM_{2.5}$ para el año 2011, lo que corresponde a un 83% de representatividad temporal. De los promedios hallados, 14 superaron el valor establecido por la resolución 601 de 2006, lo que corresponde a un 4.6% de los promedios calculados.

Tabla 8. Resumen de datos 24 horas de $PM_{2.5}$ por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	Representatividad Temporal	Promedio [µg/m^3]	Máximo [µg/m^3]	Fecha de concentración máxima
Kennedy	83%	31	75	17/03/2011 24:00

Se encuentra que al igual que para el PM_{10}, en la estación Kennedy se alcanza una concentración de $PM_{2.5}$ 24 horas máxima el 17 de marzo de 2011.

Para el contaminante $PM_{2.5}$, en la comparación histórica sólo se tendrá en cuenta la estación de Kennedy porque es la que tiene una serie suficiente de datos; se registran datos para la estación analizada desde el 2009, aún cuando el porcentaje de datos registrados para el 2009 es de 67%, porcentaje que está por debajo del criterio recomendado del 75% seguido en la RMCAB[9]; a continuación se presenta los gráficos de box-plot por días de las semana y meses.

[9] A pesar que en conjunto para el 2009 no se tiene en conjunto una representatividad mayor o igual al 75%, esta circunstancia se presenta fundamentalmente por déficit de datos en los meses de octubre a diciembre, periodo en que se

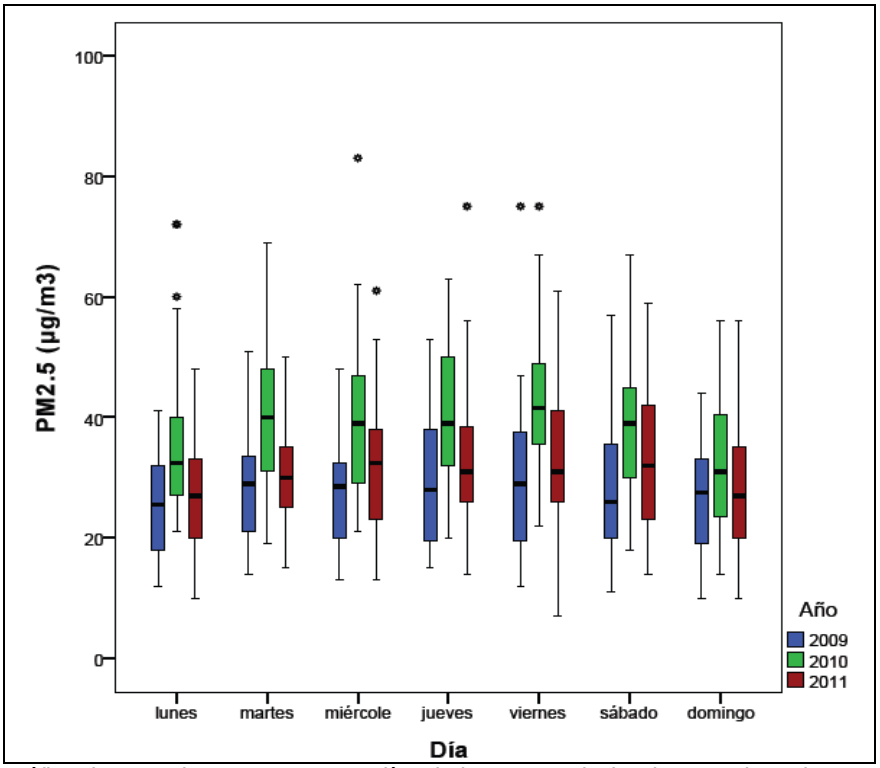


Figura 23. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ por días de la semana (sobre base 24 horas) comparando año 2011.

El comportamiento del contaminante en los días de la semana para el año 2011 (ver Figura 23) registra una forma de ese (S) con un punto de inflexión el día jueves puesto que tiene un leve descenso para ese día; los días con mayor mediana son el miércoles y sábado con 33 y 32 µg/m^3 respectivamente, y los de menor, domingo y lunes con 27µg/m^3; para el 2011 los datos presentan dispersión en general, siendo la de menor el martes y lunes; con respecto a la simetría, los que cumplen con ello son lunes, martes, sábado y domingo; el miércoles registra asimetría entre el primer y segundo cuartil, y jueves y viernes entre el segundo y tercer cuartil; no se registran datos atípicos. Comparando con el año anterior se presenta cambio en la forma de la concentración diaria durante la semana, siguiendo la comparación entre los dos años la dispersión en promedio se mantiene estable con respecto al 2010.

En el 2011 (ver Figura 24) no se registran datos de $PM_{2.5}$ para el mes de agosto. Para el 2011 en la Figura 24 se observa una forma sinusoidal con puntos de inflexión en Febrero, junio, Septiembre y noviembre, siendo los meses de febrero y noviembre picos con medianas de 38 y 35 µg/m^3 respectivamente, y mayo, julio y octubre valles con medianas de 26, 23 y 27 µg/m^3 ; se reflejan también ondas más cortas para el segundo semestre; el mes de mayo presenta simetría y dispersión baja, pero registra datos atípicos y es el único en poseer outliers extremos;. Con respecto al año anterior, el 2011 presenta el

realizaron ínter comparaciones por el canal del $PM_{2.5}$, no obstante se realizan comparaciones entre años, haciendo esta salvedad.

mismo comportamiento pero con menor concentración en todos los meses, y registro de datos atípicos; para el 2011 los meses que registran mayor dispersión son marzo, abril y diciembre, y, los de menor son mayo y noviembre.

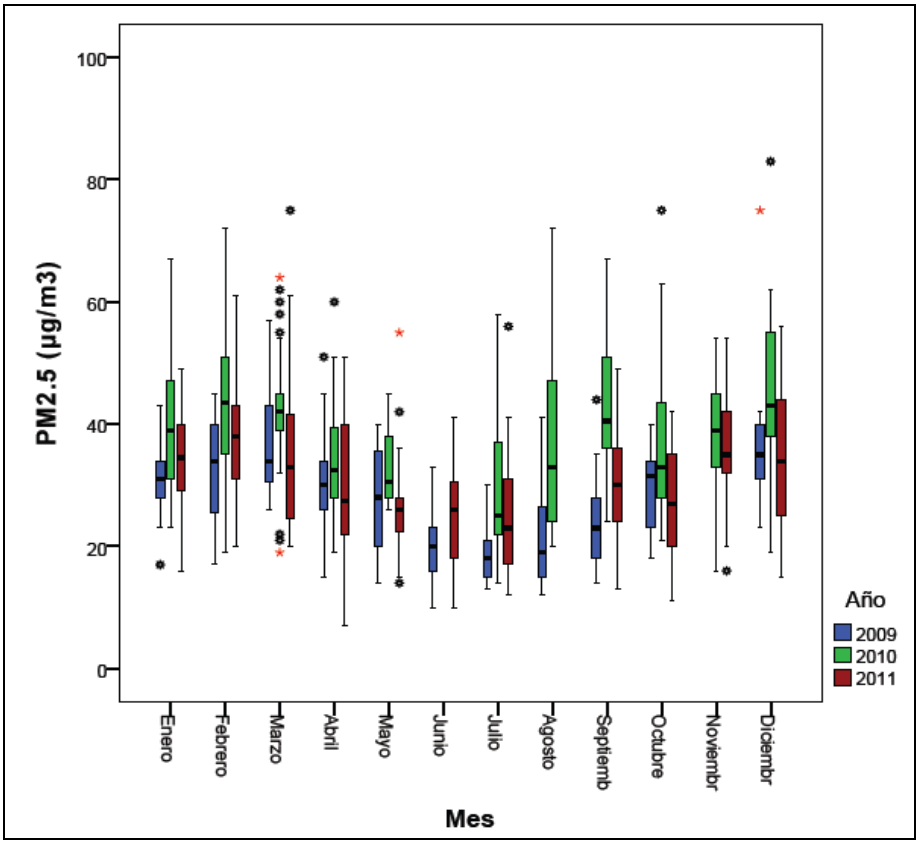


Figura 24. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ por meses (desde base 24 horas), desde 2009 hasta 2011.

$PM_{2.5}$ anual

En la Tabla 9 se relaciona el número de excedencias a la norma anual (que entró a regir desde el 1 de enero de 2011), y se observa que el 100% de los promedios exceden el nivel de 25 µg/m^3 en la estación de Kennedy[10].

Tabla 9. Resumen de datos anuales de $PM_{2.5}$ por estación para el 2011.

ESTACION	Promedio Anual	Máximo Anual	Excedencia sobre 25 µg/m^3 (norma anual R.601)
Kennedy	35,1	38,7	365

La Figura 25 muestra la concentración promedio anual de material particulado 2.5 micras para la estación de Kennedy, la cual excede en 10,1 µg/m^3 el valor dado por la norma.

[10] La representatividad temporal fue del 100% de los promedios anuales.

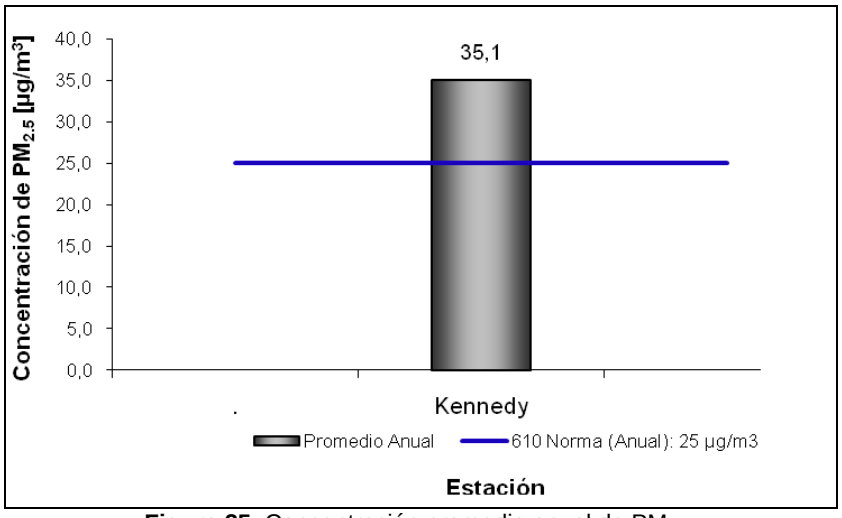


Figura 25. Concentración promedio anual de $PM_{2.5}$.

El contaminante $PM_{2.5}$ en la estación de Kennedy (ver Figura 26) para el año 2011 presenta simetría con respecto a su mediana que es de 31 µg/m^3. Para el 2011 se observa dispersión baja, es decir la mayoría de datos se encuentran alrededor de la mediana, se presentan pocos datos atípicos y no se presentan outliers extremos. Para el 2010 también se registra baja dispersión, una leve asimetría en el primer cuartil. En comparación con los dos años anteriores, en el 2011 se observa claramente una disminución en la concentración con respecto al 2010 y un leve incremento con respecto a 2009.

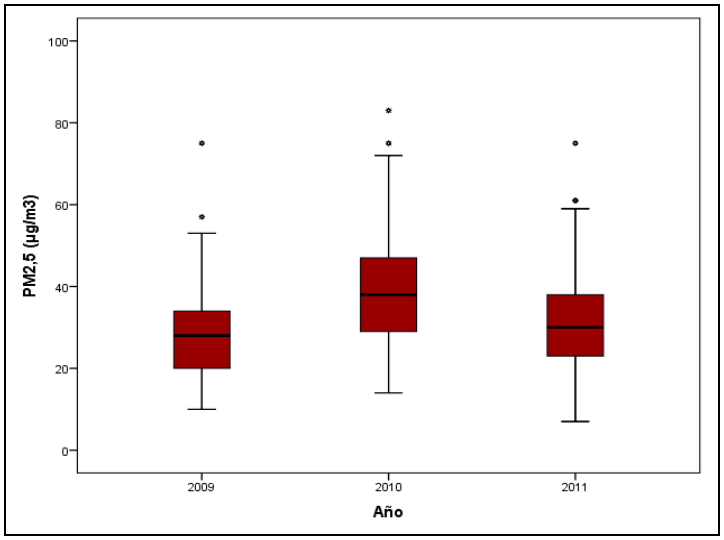


Figura 26. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ 24 horas por año, desde 2009 hasta 2011.

3.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PST

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST) la RMCAB durante el 2011 ha contado con un analizador ubicado en la estación No. 3 Carvajal.

PST 24 Horas

En la estación No. 3 Carvajal, se registraron 287 promedios de 24 horas, de los cuales un (1) promedio excedió la norma, lo que representa el 0,3% de los datos. El 56,4% de los promedios diarios estuvo por debajo de 150 µg/m^3 (la mitad del valor de la norma). El promedio máximo alcanzó un valor de 335 µg/m^3 y el promedio de los datos fue 139 µg/m^3. En esta estación el porcentaje de recuperación de los datos fue del 79%.

En la Figura 27 se resume lo expuesto anteriormente y se identifica el promedio y el valor máximo de los promedios 24 horas de PST, registrados en la estación Carvajal.

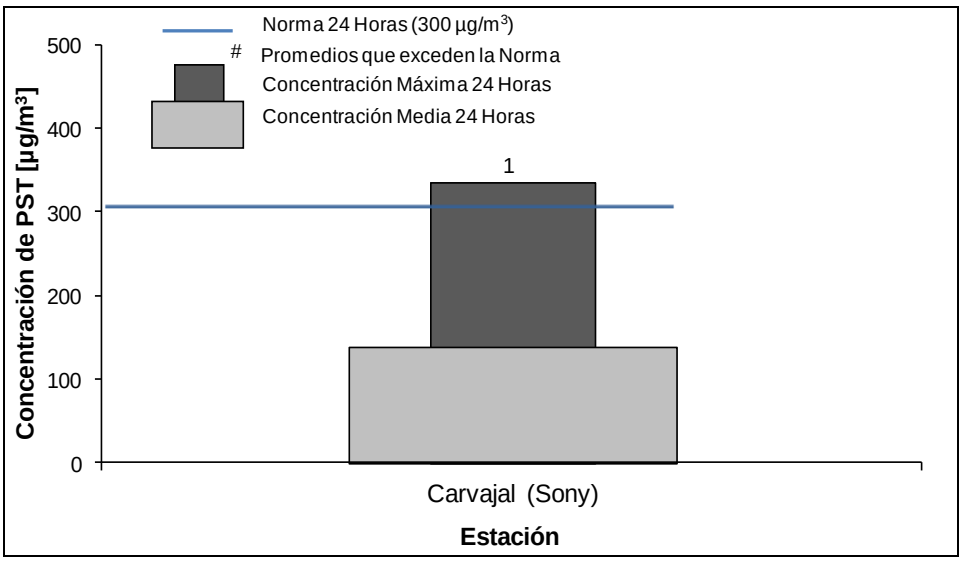


Figura 27. Concentraciones de PST para 24 horas durante el año 2011.

El comportamiento de los días de la semana en el 2011 (Figura 28) presenta similitud a una forma cóncava, esto se debe que la semana inicia con incremento del contaminante hasta llegar a su máximo el día viernes con 158 µg/m^3 como mediana, luego baja en el fin de semana, siendo el domingo el día con menor registro de PST con 96 µg/m^3 como mediana; como se puede apreciar esta descripción es similar en todos los años. Comparando la concentración del contaminante del último año con respecto al 2010 se muestra un descenso en casi todos los días exceptuando el sábado; la dispersión de los datos para el último año en general se mantuvo, aunque los días jueves y sábado se incrementaron ligeramente.

Para el análisis de los promedios anuales de PST se puede observar la Figura 29 en la cual se aprecia el comportamiento de la concentración promedio anual mes a mes de la estación de Carvajal.

Los meses en el 2011 (Figura 29) muestra un comportamiento sinusoidal con una amplitud mayor para el primer semestre, en el segundo la amplitud es menor ya que presenta crecientes y descensos en forma alterna; en años anteriores la amplitud en cada semestre se presenta de similar forma; la concentración con respecto al año anterior presenta descenso en todos los meses, en mayor proporción para marzo y abril; no se registran datos atípicos lo cual muestra que los datos tienen variabilidad pero no es extrema. Los meses con mayor mediana son agosto y diciembre con 164 y 153 µg/m^3, y los de menor marzo y abril con 117 µg/m^3.

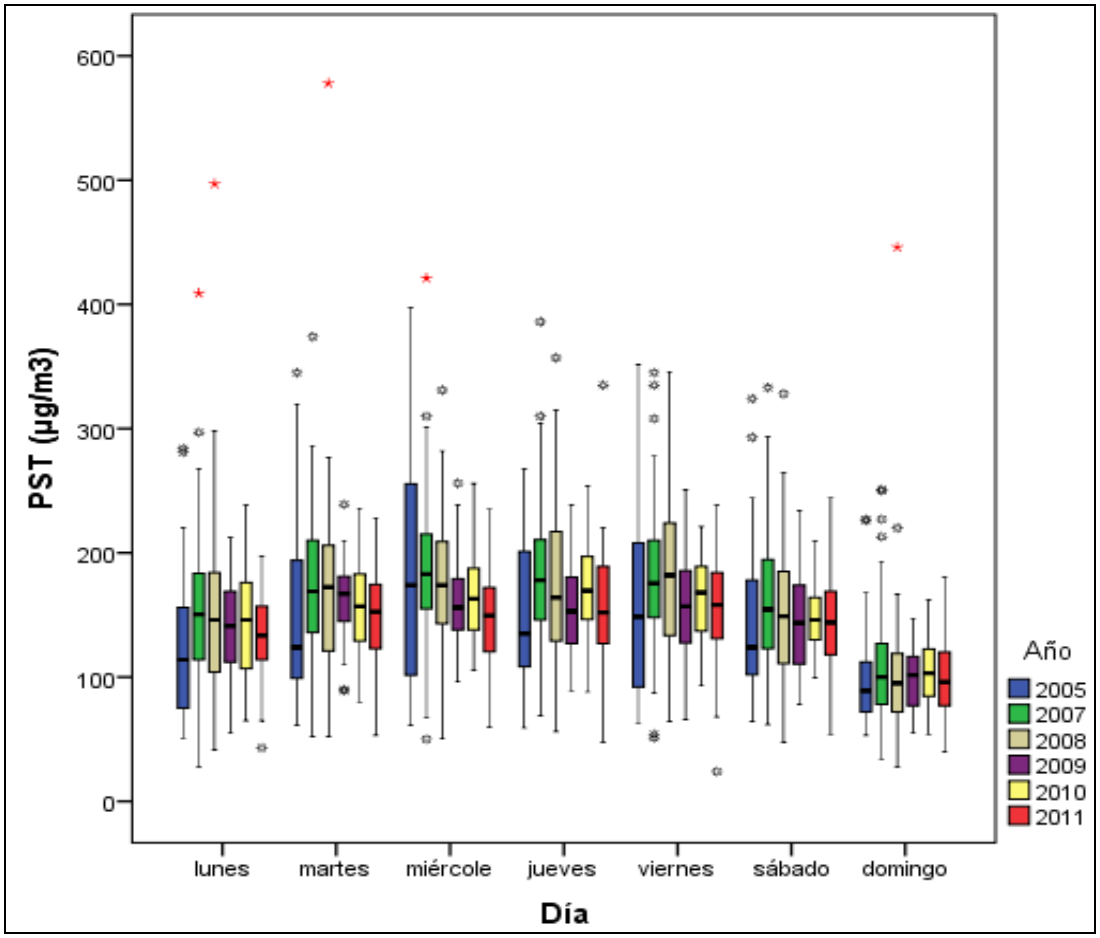


Figura 28. Gráfico de Box-Plot para PST por días de la semana (desde base 24 horas) comparando año 2011 con años anteriores.

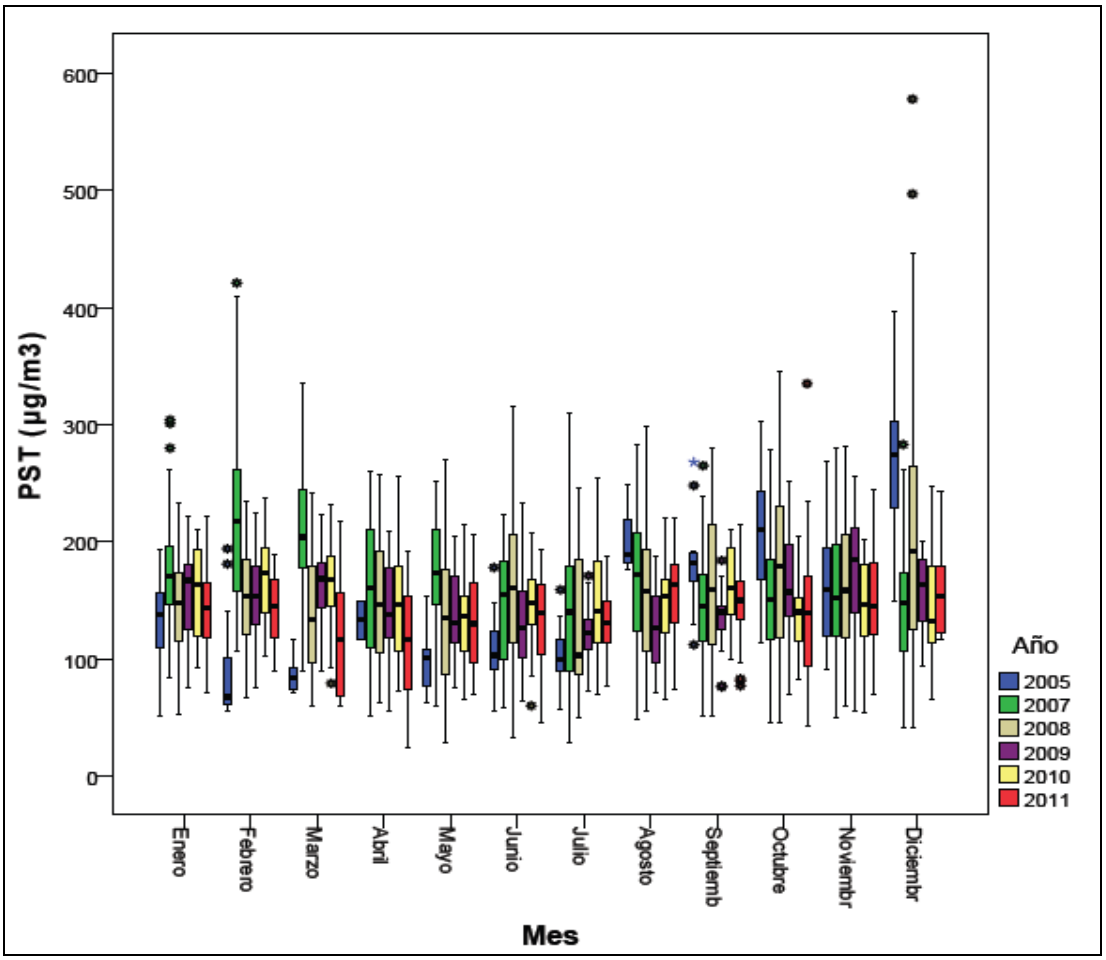


Figura 29. Gráfico de Box-Plot para PST por meses (desde base 24 horas) comparando año 2011 con años anteriores

PST anual

Se debe recordar que éste valor es el promedio geométrico de las concentraciones medias diarias en 365 días. La estación Carvajal reportó en el 2011 un promedio de concentración anual de 134 µg/m^3 (Tabla 10). Durante todo el año se excedió el límite máximo establecido por la Resolución 601 de 2006 de 100 µg/m^3, con un porcentaje de excedencias del 100%.

Tabla 10. Resumen de datos anuales de PST para el 2011.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]	Promedios anuales con excedencia	Promedio anual máximo [µg/m^3]
Carvajal (Sony)	100%	134	365	144

En la Figura 30 se muestra lo anteriormente mencionado.

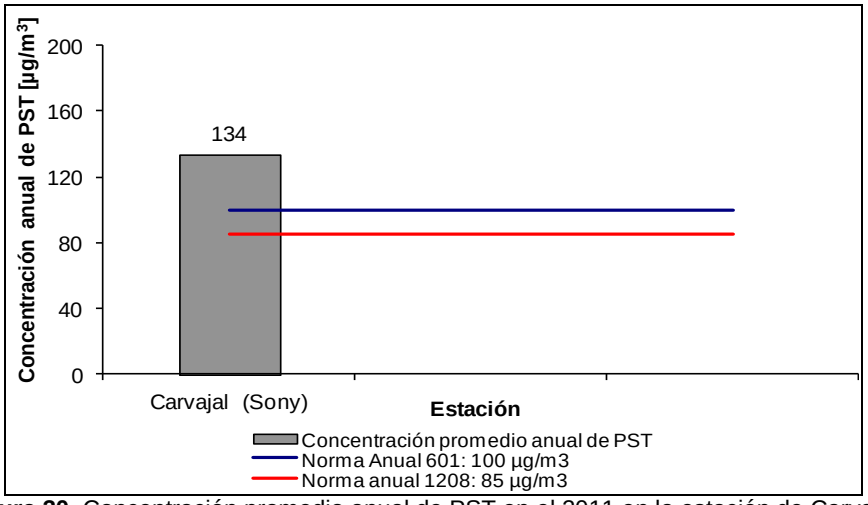


Figura 30. Concentración promedio anual de PST en el 2011 en la estación de Carvajal.

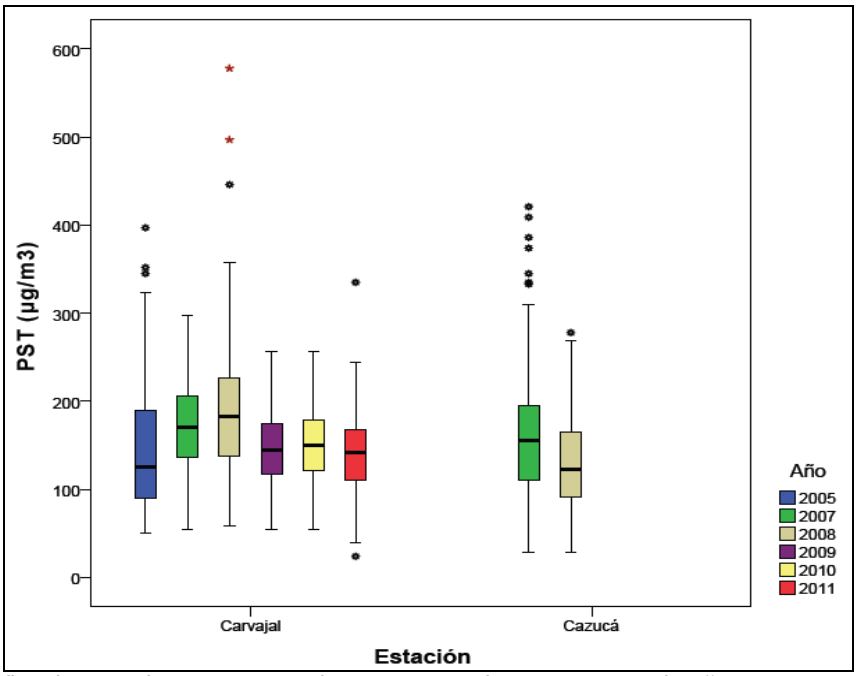


Figura 31. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por estaciones comparando año 2011 con años anteriores.

La mediana (Figura 32) para el año 2011 tiene un leve descenso respecto al año anterior, es decir de 150 µg/m^3 en el 2010 pasa a 142 µg/m^3 en el 2011 esto para la estación Carvajal; también se presenta poca variabilidad y los datos están concentrados alrededor de la mediana.

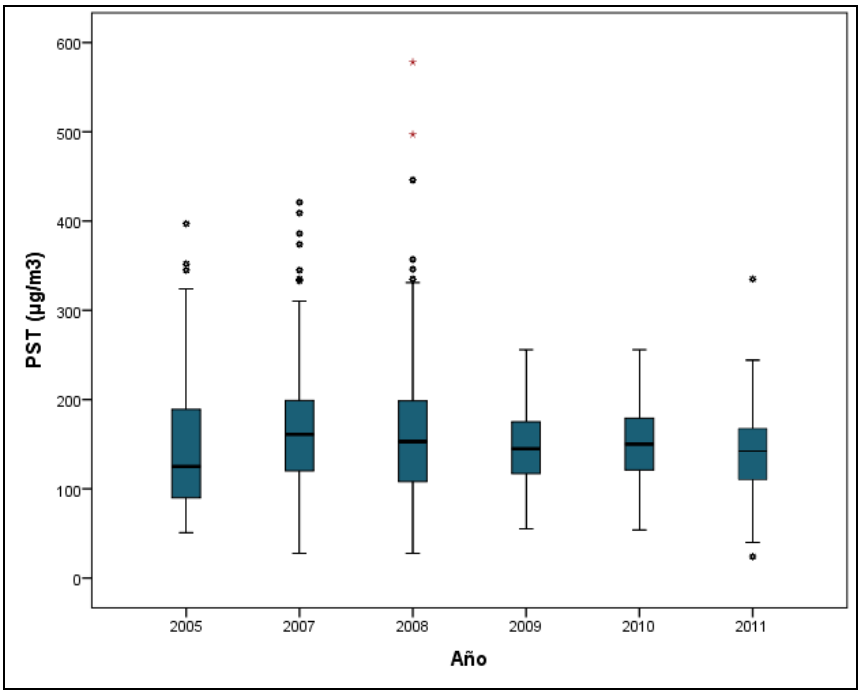


Figura 32. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por años, desde 2005 hasta 2011.

3.2. GASES CONTAMINANTES

La RMCAB, además de medir el material particulado realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3), gases producto principalmente del uso de combustibles fósiles y de reacciones fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diesel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas. El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, y afecta pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la

hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual puede llegar a interferir sustancialmente en el proceso de transporte de oxígeno en el torrente sanguíneo.

El O_3 es un gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar. Es un oxidante fuerte, muy fácil de producir pero a la vez muy fácil de destruir; es el compuesto más representativo de los compuestos fotoquímicos. Sus efectos en el sistema respiratorio son de cuidado ya que es un gas altamente oxidante e irritante.

3.2.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SO_2

Para analizar este contaminante, la RMCAB contó con 10 analizadores de dióxido de azufre (SO_2), ubicados según configuración mostrada en la Tabla 1. Los equipos de Carvajal y Tunal se vieron afectados por reparación en el 2011; Kennedy cuenta con baja representatividad debido a obras realizadas en la estación y a que se tiene una serie de datos en evaluación; de San Cristóbal se tienen registros a partir de noviembre de 2010; y en Parque Simón Bolívar durante el año se presentaron inconvenientes con el aire acondicionado. Por el proceso de puesta a punto de los anteriores equipos, la representatividad de estas estaciones para el año es baja. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio anuales, horarias de 24 horas y de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 601 de 2006.

SO_2 en 3 horas

Durante el periodo analizado se obtuvieron 63628 (sesenta y tres mil seiscientos veintiocho) datos de concentraciones promedio 3 horas, que representan el 73% de los promedios posibles en el periodo. En la Tabla 11 se muestran los valores promedio y máximos de SO_2 obtenidos para promedios de 3 horas por estación, así como los días en los cuales se presentó este máximo. En la Figura 33 se visualizan las concentraciones máximas y medias de cada una de las estaciones. El valor límite máximo permisible en la Resolución 601 de 2006 (287 ppb) no fue excedido en ninguna oportunidad. El valor máximo de concentración y la media más alta se presentó en la estación No. 3 Carvajal (Sony).

En la Tabla 11 se observa un episodio generalizado de máxima concentración en la estación Suba, Las Ferias y Parque Simón Bolívar (IDRD), el que se presentó el día 19 de mayo de 2011 a la misma hora, 8:00 a.m.

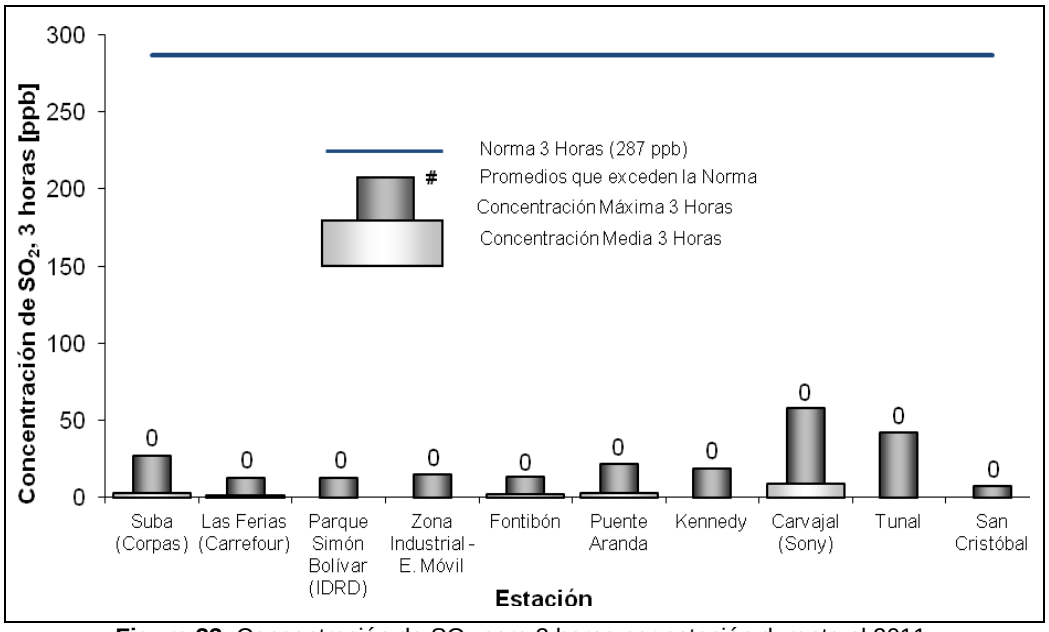


Figura 33. Concentración de SO_2 para 3 horas por estación durante el 2011.

Tabla 11. Resumen de datos de SO_2 3 horas por estación para el 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	88%	2,7	26,7	19/05/2011 08:00
Las Ferias (Carrefour)	91%	1,6	12,6	19/05/2011 08:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	55%		12,8	19/05/2011 08:00
Zona Industrial - E. Móvil	72%		14,9	25/01/2011 10:00
Fontibón	79%	1,7	13,2	04/02/2011 09:00
Puente Aranda	93%	2,4	21,8	09/12/2011 24:00
Kennedy	37%		18,9	02/07/2011 07:00
Carvajal (Sony)	82%	8,8	57,7	25/02/2011 24:00
Tunal	68%		41,7	02/07/2011 08:00
San Cristóbal	61%		6,9	25/10/2011 10:00

SO_2 en 24 horas

Para el estudio de la concentración promedio horaria en 24 horas de SO_2, se contó con 2797 (dos mil setecientos nueva y siete) promedios, cuya representatividad temporal es del 77%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 601 de 2006 (96ppb). En la Figura 34 se muestran las concentraciones máximas y medias de SO_2 para cada una de las estaciones. El valor máximo de concentración y la media más alta, se registró en la estación No. 3 Carvajal (Sony), al igual que en los promedios 3 horas.

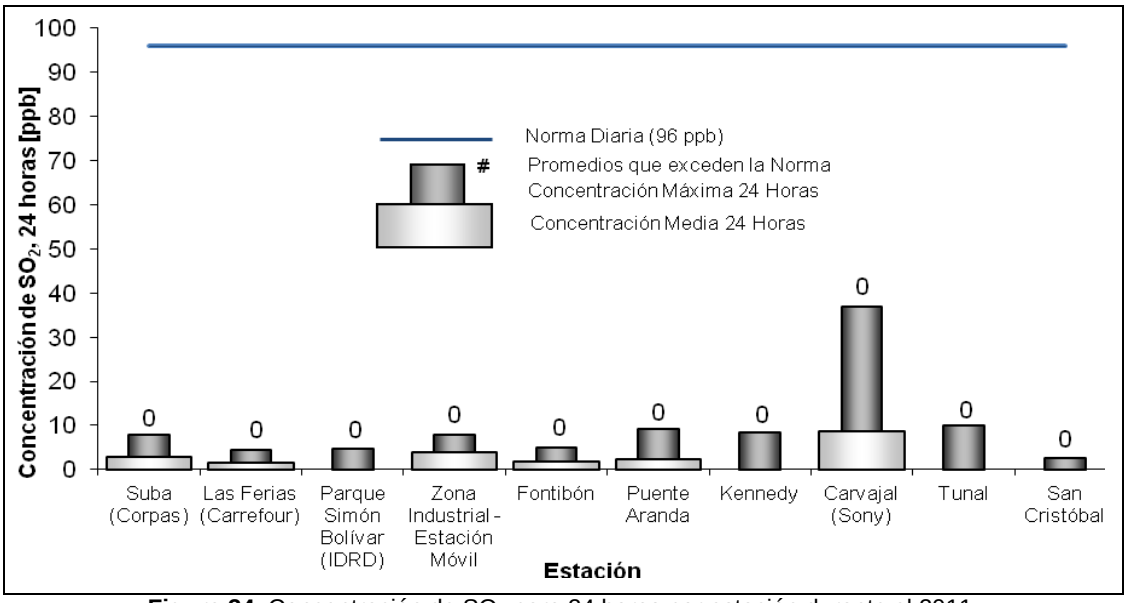


Figura 34. Concentración de SO_2 para 24 horas por estación durante el 2011.

Los promedios, máximos, y fecha de los máximos registrados en cada una de las estaciones se reportan en la Tabla 12

Tabla 12. Resumen de promedios 24 horas de SO2 por estación para el 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	93%	2,8	8,0	19/07/2011 24:00
Las Ferias (Carrefour)	95%	1,6	4,4	19/05/2011 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	57%		4,7	04/11/2011 24:00
Zona Industrial - Estación Móvil	82%	3,8	7,8	04/02/2011 24:00
Fontibón	80%	1,8	5,1	21/09/2011 24:00
Puente Aranda	96%	2,4	9,1	01/11/2011 24:00
Kennedy	38%		8,3	02/07/2011 24:00
Carvajal (Sony)	85%	8,8	36,8	25/02/2011 24:00
Tunal	73%		9,9	05/07/2011 24:00
San Cristóbal	68%		2,7	25/11/2011 24:00

Revisado el histórico de datos se aprecia un cambio en los niveles de concentración desde 2009, que coincide con la modernización mediante la instalación de nuevos equipos marca THERMO en las estaciones Suba, Chico Lago, Fontibón y Puente Aranda, hacia el mes de mayo de 2009, por eso en los gráficos históricos se aprecia una mayor dispersión de los datos para 2009, porque involucra dos niveles distintos. La serie se expone en su totalidad, pero se advierte que se encuentra en estudio para identificar si los niveles de concentración son correctos, en lo que sigue se omitirán entonces referencias distintas a las tendencias inscritas en cada serie y que puedan ser relacionadas con el 2011.

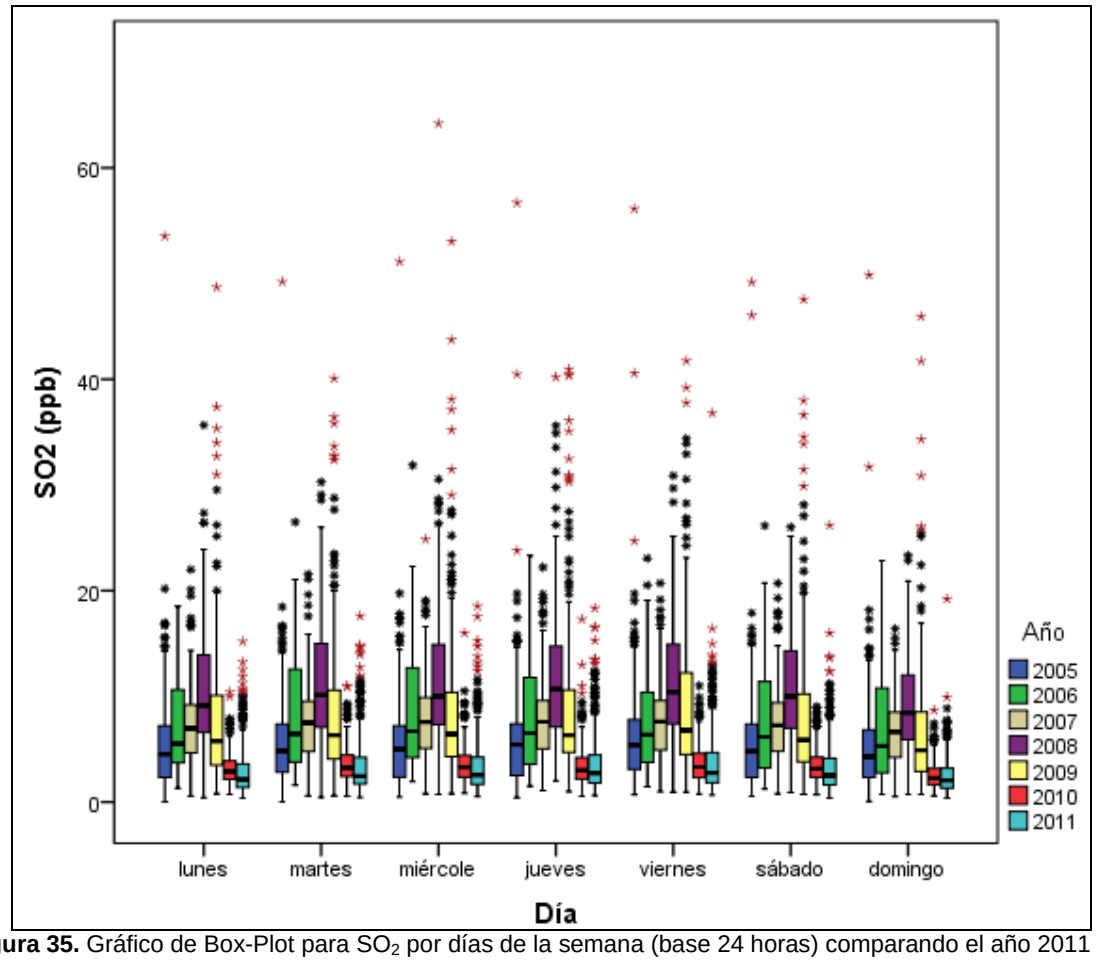


Figura 35. Gráfico de Box-Plot para SO_2 por días de la semana (base 24 horas) comparando el año 2011 con años anteriores.

El comportamiento del contaminante SO_2 muestra una leve forma cóncava en el transcurso de la semana para el año 2011, registrando la mayor concentración los días jueves y viernes con una mediana de3.93 y 3.99 ppb respectivamente. El fin de semana la concentración baja, siendo el domingo el de menor emisión del contaminante en la semana, con 2.55 como mediana.

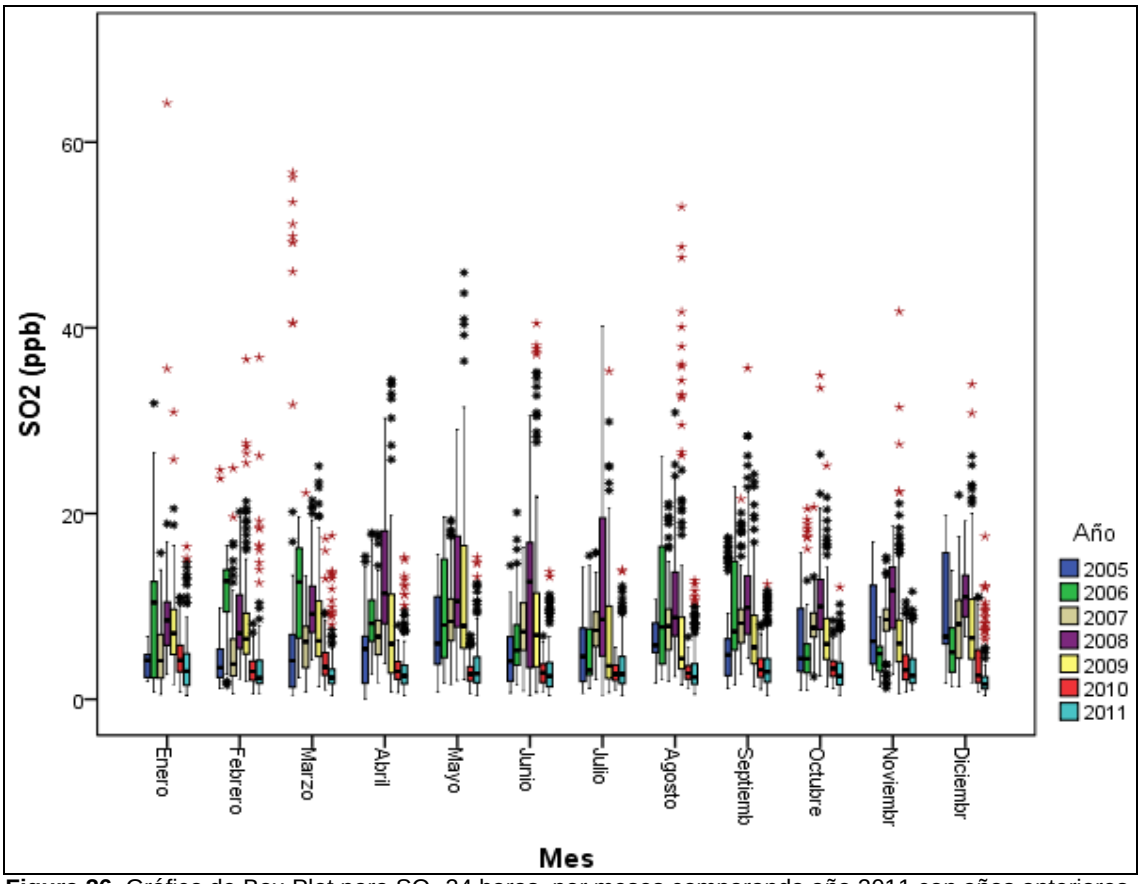


Figura 36. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas, por meses comparando año 2011 con años anteriores.

El comportamiento del contaminante SO_2 en el transcurso de los meses para el año 2011 (Figura 36) presenta en general una leve tendencia decreciente para el primer semestre salvo por el mes de enero que registró un crecimiento, para el segundo semestre se reporta una tendencia creciente pero en Diciembre tiene disminución en su mediana; como se mencionó en la gráfica anterior la disminución de su dispersión es notoria, pero aumentan los datos atípicos y atípicos extremos. El mes que mayor mediana registra es Enero con 3,02 ppb, y el de menor diciembre con 1,61 ppb.

SO_2 anual

Durante el 2011 se obtuvieron 2150 (dos mil ciento cincuenta) promedios anuales de SO_2, ninguno de los cuales superó lo establecido en la Resolución 601 del 2006 (31ppb). Estos datos tienen una representatividad de 44%, en relación con los equipos instalados.

En la Figura 37 se muestran los promedios anuales para cada una de las estaciones que contaron con representatividad en el 2011.

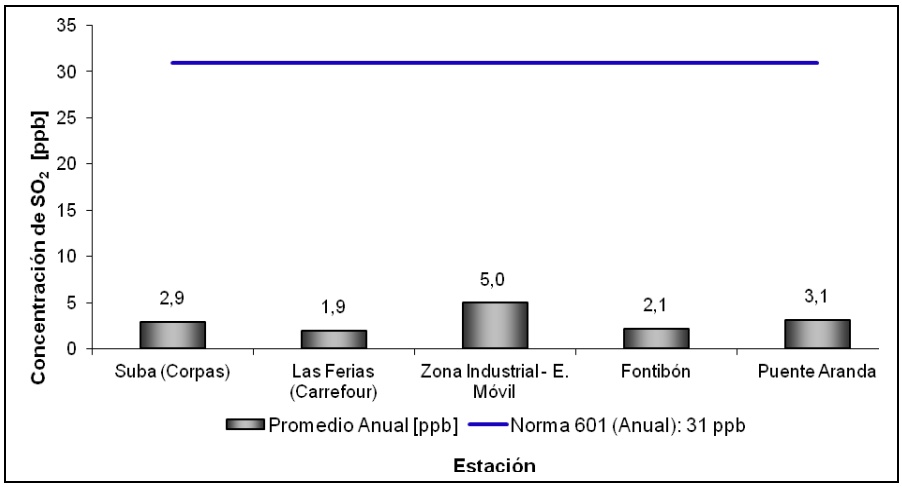


Figura 37. Concentración promedio anual de SO_2 para el 2011.

El resumen de los datos anuales de los monitores de SO_2 para el 2011 se presenta en la Tabla 13. Se observa que la mayor concentración promedio de las estaciones que cuentan con representatividad se presenta en la Zona Industrial- E Móvil, y el máximo promedio anual se presentó en la estación Carvajal, con 8,9 ppb.

Tabla 13. Resumen de promedios anuales de SO_2 por estación para el 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio Anual [ppb]	Máximo Anual [ppb]
Suba (Corpas)	100%	2,9	3,1
Las Ferias (Carrefour)	92%	1,9	2,1
Parque Simón Bolívar (IDRD)	24%		3,1
Zona Industrial- E Móvil	100%	5,0	5,8
Fontibón	100%	2,1	3,0
Puente Aranda	100%	3,1	3,8
Kennedy	20%		4,2
Carvajal (Sony)	12%		8,9
Tunal	27%		4,0
San Cristóbal	15%		0,9

En la Tabla 14 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales desde 1998 hasta 2010, correspondientes a las estaciones que miden SO_2, calculadas el 31 de Diciembre de cada año. En la estación No. 12 Zona Industrial- E Móvil se presentó la mayor concentración promedio anual del SO_2.

Tabla 14. Concentraciones promedio anuales de SO_2 calculadas el 31 de Diciembre de cada año.

Estación	Concentración SO_2 en [ppb]													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
11. Suba (Corpas)												4	3	3
6. Las Ferias (Carrefour)			8	9	8	3	19	5		6	7			2
10. Chico Lago	8	6	6	8	6	6	2	4	5	5	9			

Estación	Concentración SO_2 en [ppb]													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
(Santo Tomás)														
5. Parque Simón Bolívar						18	6	9	6	6	7	6	3	
2. Sagrado Corazón	5	7	6	4	4	6			4	4	4			
12. Z. Industrial - E Móvil													6	4
14. Fontibón		10	21	9	6	8	9	7	7	7	11		3	2
13. Puente Aranda	28	25	28	25	13	11	17	6		5	9	4	4	2
9. Kennedy		20	26	13	7	3	18	6	3	3	8	5	4	
3. Carvajal (Sony)	13	13	11	17	14	9	17		12	11	14	18		9
Cazucá	29	19	27	16	21	15	11	17	7	14	14			
4. Tunal												8		

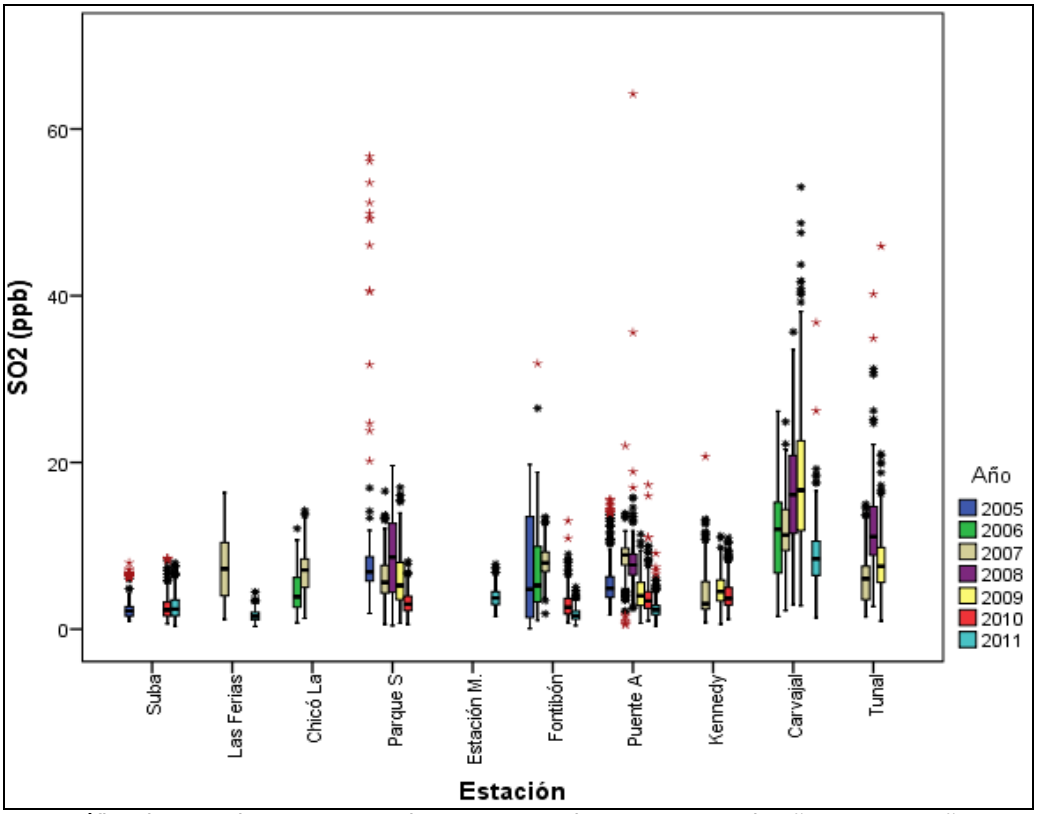


Figura 38. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas por estaciones comparando año 2011 con años anteriores.

El comportamiento general del contaminante se vuelve a ratificar en las gráficas de las estaciones (Figura 38) donde su mediana y dispersión son muy bajas con respecto años anteriores; para el año 2011 cinco estaciones registraron el porcentaje de datos mayor a 75% de los datos por ellos entraron en el informe, siendo la estación de Carvajal la que registra un nivel de superioridad en cuento a su mediana por ello es la de mayor registro, las otras estaciones presentan un comportamiento similar; la estación de Puente Aranda

presenta el mayor registro en cuanto datos atípicos y outliers extremos, la disminución de estos datos atípicos en el último año comparado con años anteriores es sensible.

Como se advirtió el SO_2 para el 2011 muestra un comportamiento excepcional (ver Figura 39), que sugiere que tienen incidencia la influencia de la modernización de equipos a mediados de 2009, con lo cual se muestra en relación con años anteriores, una mediana y dispersión de los datos bajas. La situación descrita tiene efectos en el año 2009 donde se aprecia una gran presencia de datos atípicos y outliers extremos que hayan explicación en parte, en el cambio reseñado que obró a mediados de ese año. La relación en la serie histórica se reevaluará una vez se verifique la situación de los datos históricos.

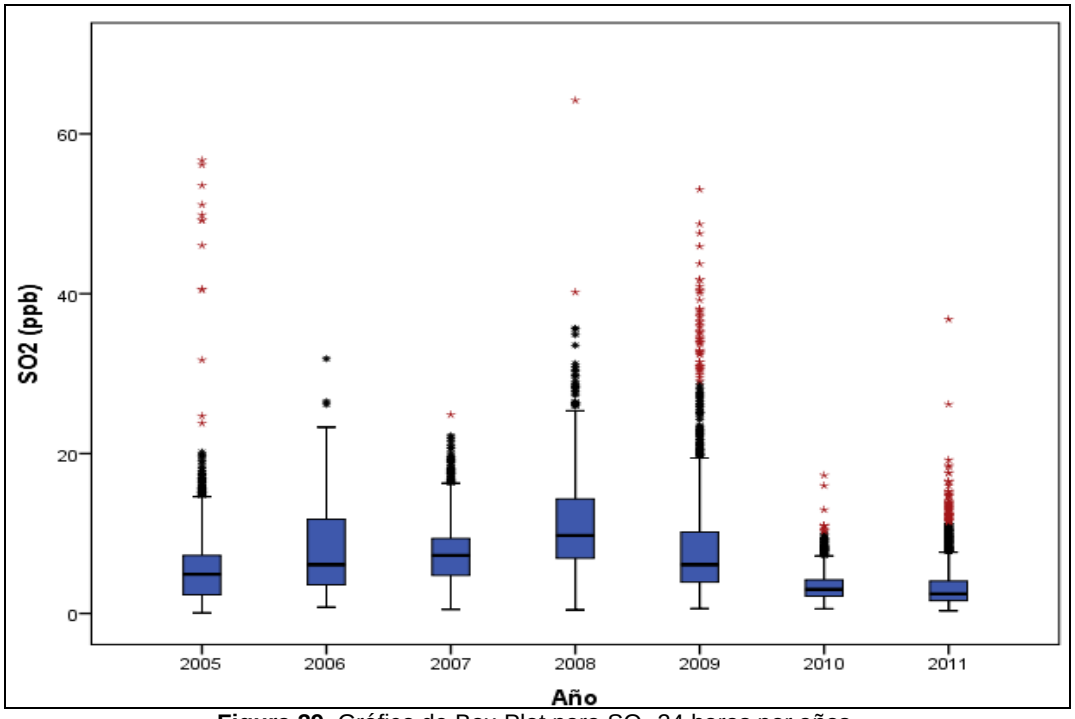


Figura 39. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas por años.

3.2.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_2

En el año 2011 se calcularon promedios horarios, de 24 horas y anuales de concentración de NO_2 para las estaciones configuradas en la Tabla 1 Durante el año 2008 se adquirieron cinco analizadores nuevos instalados en las estaciones No. 3 Carvajal (Sony), No. 4 Tunal, No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, en el 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones No. 11 Suba, No. 5 Parque Simón Bolívar y en marzo de 2010 se inicia registro en la estación No. 9 Kennedy. Para el análisis de los datos de NO_2 se tuvo como criterio de representatividad el 70% ya que con un 75% se debían excluir varias de los sectores de la ciudad.

NO_2 1 hora

Durante el periodo analizado se obtuvieron 55139 (cincuenta y cinco mil ciento treinta y nueve) datos de promedios horarios, con una representatividad del 63% afectada especialmente por la representatividad de las estaciones de Guaymaral, Zona Industrial – E. Móvil, Puente Aranda y Carvajal, cuyos equipos presentaron fallas durante el año. No se registraron promedios horarios superiores a la norma (106 ppb Resolución 601 2006), como se observa en la Figura 40. Además, en esta gráfica se pueden apreciar los valores de concentración máxima horaria presentada en cada una de las estaciones y las medias; estas últimas no superaron el 30% de la norma.

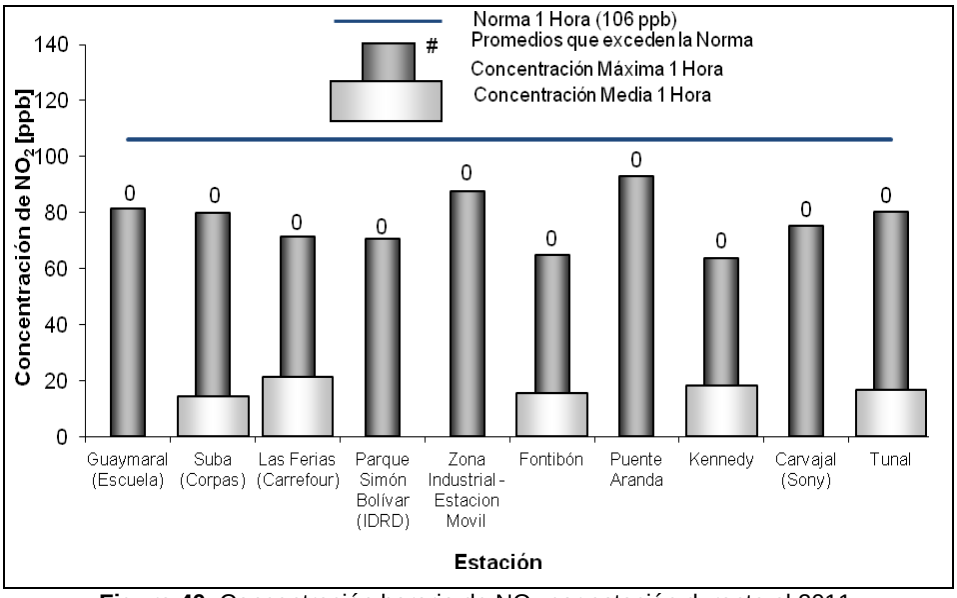


Figura 40. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el 2011.

Los días en que ocurrieron los máximos promedios horarios en cada estación se presentan en la Tabla 15

Tabla 15. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	65,8%		81,3	17/01/2011 18:00
Suba (Corpas)	74,1%	14,4	79,9	22/03/2011 17:00
Las Ferias (Carrefour)	96,2%	21,4	71,5	02/12/2011 16:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	69,5%		70,5	21/01/2011 09:00
Zona Industrial - Estación Móvil	19,4%		87,6	12/01/2011 12:00
Fontibón	72,4%	15,6	65,1	27/05/2011 18:00
Puente Aranda	17,4%		92,9	27/10/2011 08:00
Kennedy	81,4%	18,1	63,9	17/01/2011 09:00
Carvajal (Sony)	38,8%		75,3	17/03/2011 14:00
Tunal	94,6%	16,7	80,4	15/01/2011 09:00

NO_2 en 24 horas

Para el 2011 se calcularon 2276 (Dos mil doscientos setenta y seis) datos de promedios 24 horas de NO_2, que corresponden a una representatividad del 62%. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para 24 horas (80 ppb) como se observa en la Figura 41.

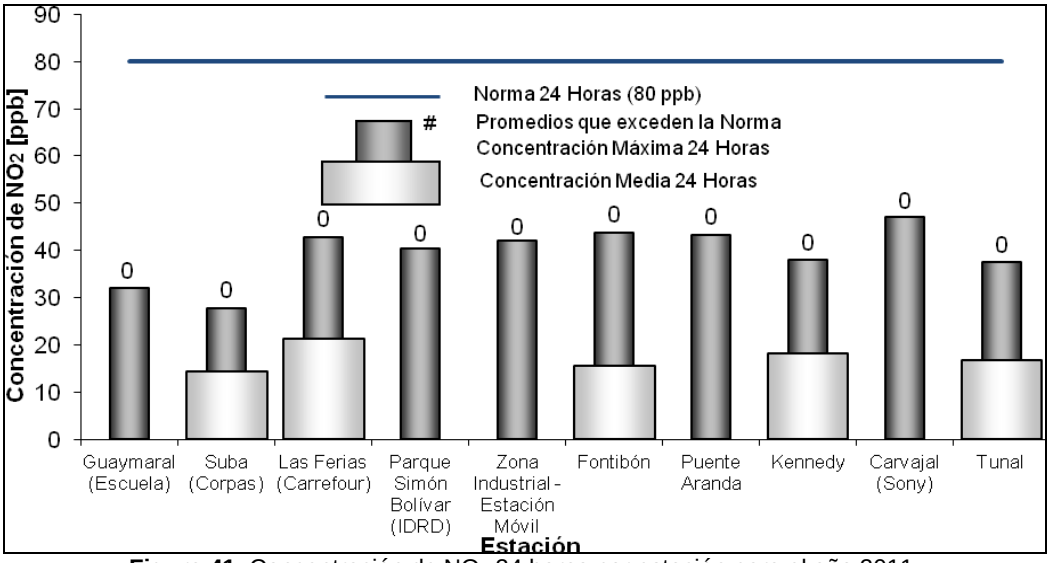


Figura 41. Concentración de NO_2 24 horas por estación para el año 2011.

De las estaciones que cumplen con el 70% de representatividad, las que registraron las concentraciones medias más altas fueron Las Ferias y Kennedy con 21.4 ppb y 18.1 ppb respectivamente, promedios que se encuentran por debajo del 30% del valor de la norma. En la Tabla 16 se reportan los promedios 24 horas por estación, las concentraciones máximas y el día en que ocurrieron. En Carvajal se registra la máxima concentración 24 horas del año, 47,1 ppb.

Tabla 16. Resumen de datos 24 horas de NO_2 por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	64,7%		32,0	11/02/2011 24:00
Suba (Corpas)	74,0%	14,4	27,9	04/10/2011 24:00
Las Ferias (Carrefour)	96,4%	21,4	42,9	05/10/2011 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	69,0%		40,4	11/02/2011 24:00
Zona Industrial - Estación Móvil	18,6%		42,2	07/01/2011 24:00
Fontibón	72,1%	15,5	43,7	27/05/2011 24:00
Puente Aranda	16,7%		43,4	25/10/2011 24:00
Kennedy	80,0%	18,1	38,0	30/10/2011 24:00
Carvajal (Sony)	38,4%		47,1	26/02/2011 24:00
Tunal	93,7%	16,8	37,6	10/01/2011 24:00

Para el análisis estadístico se incluyeron para el 2011 las estaciones con representatividad superior al 70%.

El comportamiento del contaminante NO_2 para el 2011 (Figura42) presenta una forma cóncava con su máximo nivel de concentración el día viernes con 18.11 ppb como mediana. El valor de la mediana más bajo corresponde al día domingo con 12.98 ppb. Comparado con el año anterior, se presenta una disminución en el contaminante para todos los días de la semana, su dispersión también registra disminución y respecto al 2010 aumenta la presencia de datos atípicos; no se presentan otuliers extremos en el 2011.

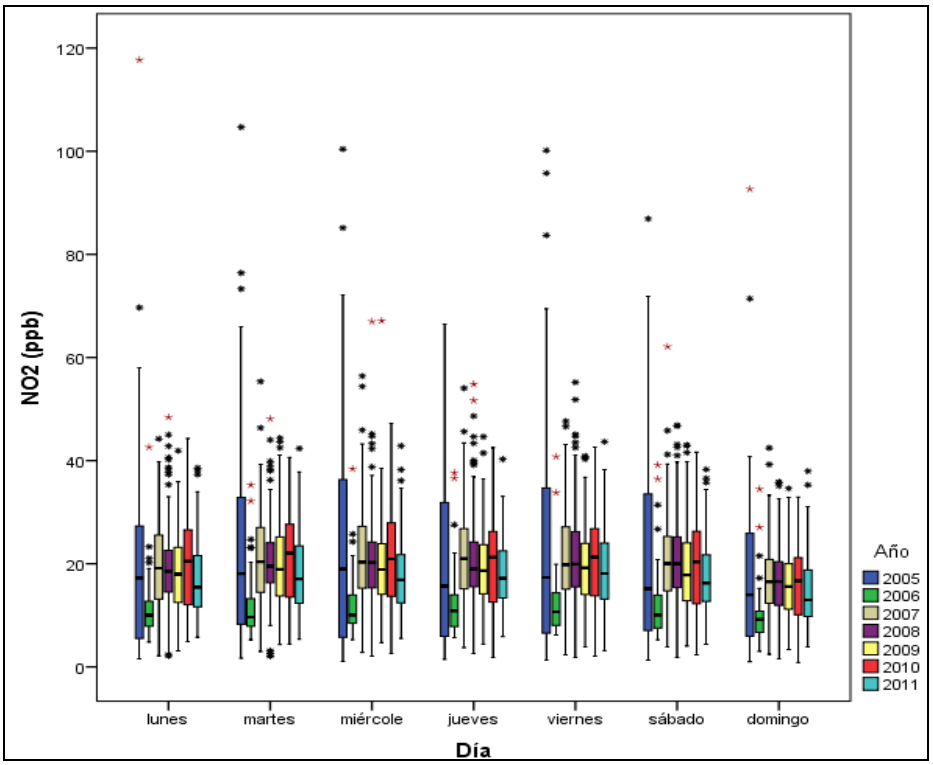


Figura 42. Gráfico de Box-Plot para NO_2 por días de la semana (base 24 horas) comparando año 2011 con años anteriores

Mensualmente, como se observa en la Figura 43, para este contaminante se encuentra bien definido el comportamiento sinusoidal. Para el primer semestre de 2011 se registra decrecimiento y para el segundo semestre un crecimiento, donde el punto de inflexión se encuentra en el mes de Julio, con 12,37 ppb como mediana; el mes con mayor mediana es noviembre con 24 ppb; revisando el registro de la mediana del 2011 con respecto al año anterior, se observa que en casi todos los meses se presentó disminución salvo en noviembre; el contaminante en el 2010 se incrementó tanto en su mediana como en su dispersión, para 2011 vuelve a registros de concentración bajos, con disminución en los datos atípicos y outliers extremos.

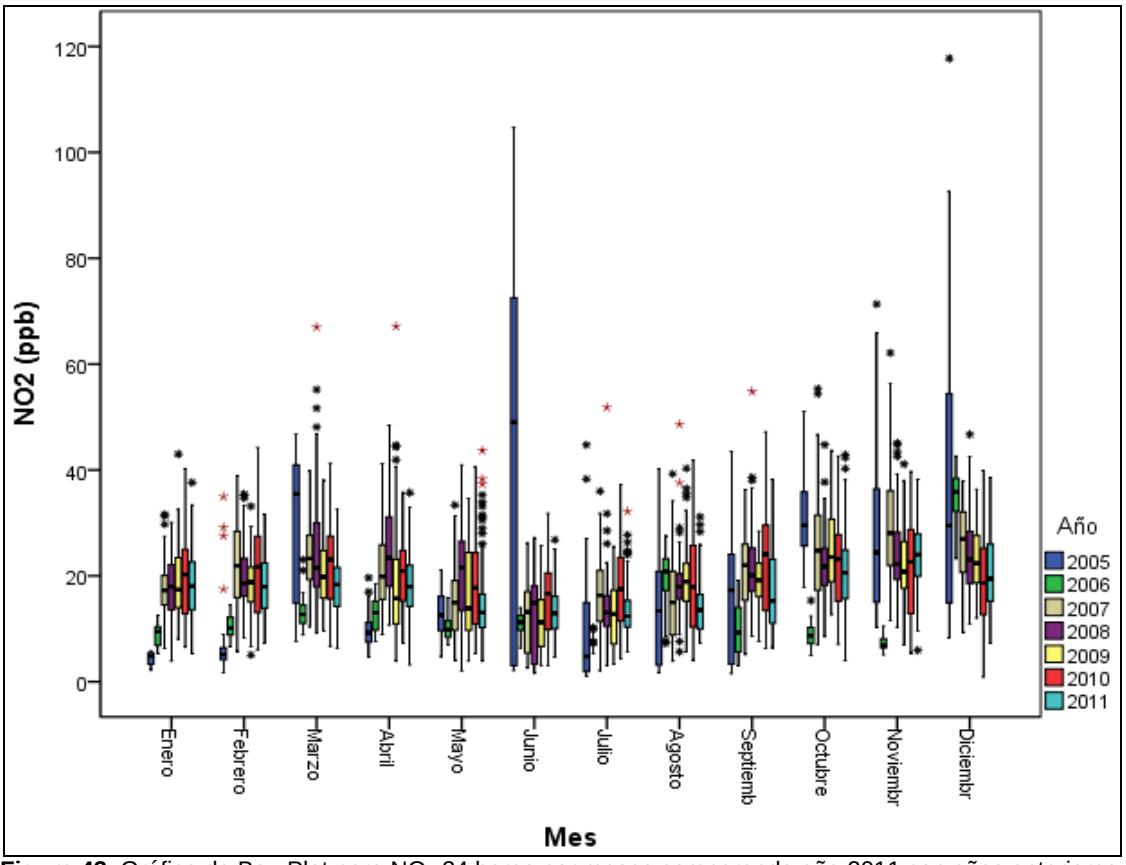


Figura 43. Gráfico de Box-Plot para NO_2 24 horas por meses comparando año 2011 con años anteriores.

NO_2 anual

Durante el 2011 se obtuvieron 1830 (mil ochocientos treinta) datos de promedios de concentración anuales de NO_2, ninguno de los cuales superó lo establecido en la Resolución 601 del 2006 (53 ppb). Estos datos corresponden a una representatividad del 50,1% para el año. El resumen de los datos registrados por los monitores de NO_2 se presenta en la Tabla 17

Tabla 17. Resumen de datos anuales de NO_2 por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio Anual [ppb]	Máximo Anual [ppb]
Guaymaral (Escuela)	28%		13,6
Suba (Corpas)	99%	11,7	14,3
Las Ferias (Carrefour)	100%	18,8	21,6
Parque Simón Bolívar (IDRD)	55%		24,3
Puente Aranda	13%		26,1
Kennedy	92%	20,5	24,0
Carvajal (Sony)	13%		25,5
Tunal	100%	18,6	19,9

En la Figura 44 se muestran los promedios anuales del 2011 para las estaciones de Suba, Las Ferias, Kennedy y Tunal, las cuales presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. Se puede observar que ninguno de los promedios anuales superó la norma anual establecida en 53 ppb.

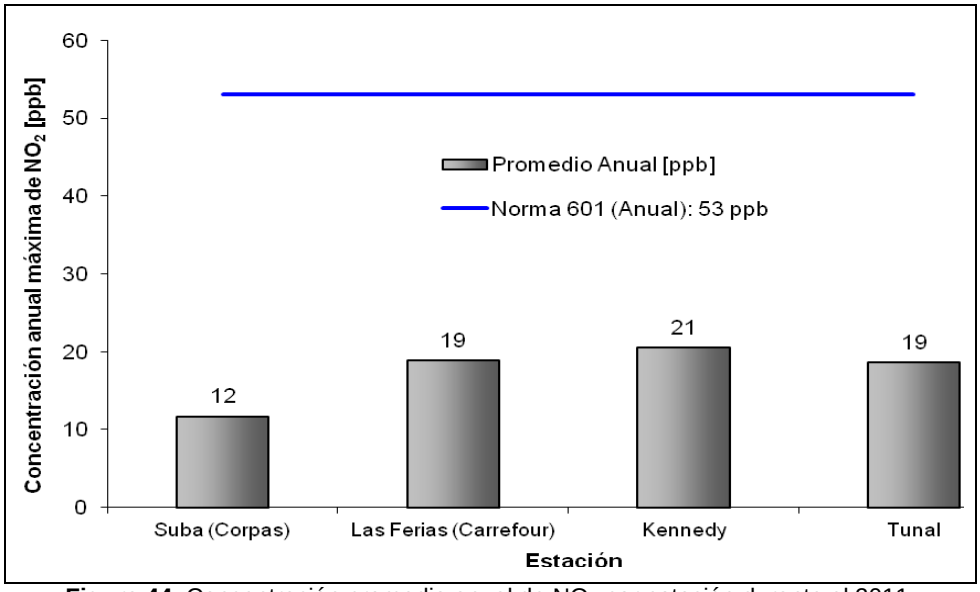


Figura 44. Concentración promedio anual de NO_2 por estación durante el 2011.

En la Tabla 18 se presentan las concentraciones promedio anuales desde 1998 hasta 2011 para cada una de las estaciones. Se aprecia que en la estación No. 9 Kennedy se presentó la mayor concentración promedio anual de NO_2 para el 2011. En esta tabla los cuadros en gris refieren promedios reportados con representatividad inferior al 75%.

Tabla 18. Concentraciones de NO_2 – Promedios anuales, calculado a 31 de diciembre de 2011.

SECTOR	NOMBRE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Norte	Guaymaral (Escuela)				10	8	6	6							
	Usaquén	**12**	**8**	**9**	**7**		12								
Noroccidente	Suba (Corpas)	8	5	**5**			12	12	**16**					10	12
	Las Ferias (Carrefour)			**4**	**16**	**9**	17		**21**	12				18	19
	Engativá	**7**	9												
Centro	Chico Lago (S. Tomás)	**24**	**20**	**13**	**20**	**19**	16	4	**6**						
	P. Simón Bolívar	19	22				4	6	**11**	15	13	21	22	24	
	U. Nacional	**18**	**21**	24	23	35									
	Sagrado Corazón	**14**	**21**	**21**	**20**	**19**			22						
	Z. Ind. – E. Móvil														
	Z. Ind. – CADE	**18**	**7**	7	8	**11**									

SECTOR	NOMBRE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Sur occidente	Fontibón		19	14	**14**	**12**	1	5	**4**		19	20	21		
	Puente Aranda		**27**	**20**	19	**19**	5		**36**		27		18	26	
	Olaya	**16**	21	19	14										
	Kennedy														21
	Carvajal	**19**	**18**	**16**	**49**		1	4	**1**				25	25	
	Tunal													20	19
	Central de mezclas				7	8									
	Cazucá	**18**	**14**	**17**	**14**	**7**	3								

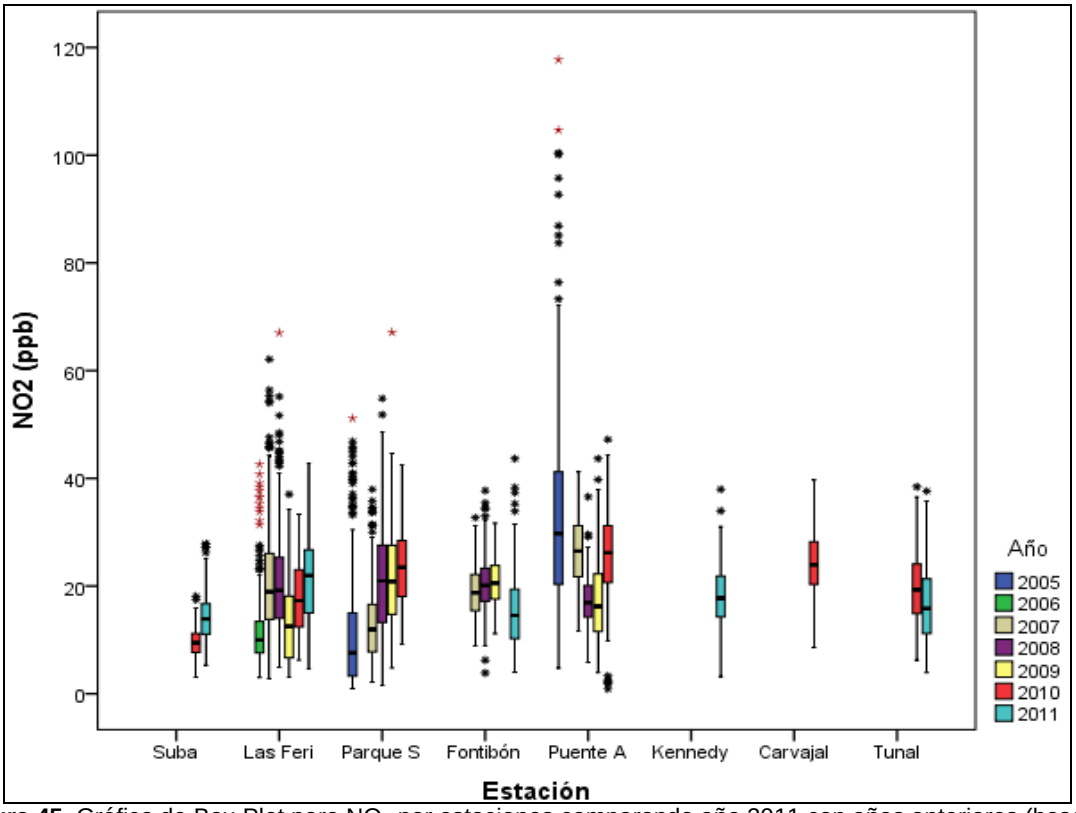


Figura 45. Gráfico de Box-Plot para NO_2 por estaciones comparando año 2011 con años anteriores (base 24 horas).

La estación que mejor comportamiento registra por su baja concentración y dispersión en el último año es Suba (ver Figura 45) con 9,45 ppb como mediana, las demás presenta una mediana superior siendo Las Ferias la de mayor registro, con 21,95 ppb; en las estaciones que se puede hacer comparación con el 2010 se muestra aumento de la concentración en Las Ferias, y Suba y disminución en Tunal, también se corrobora la disminución de datos atípicos y otuliers extremos.

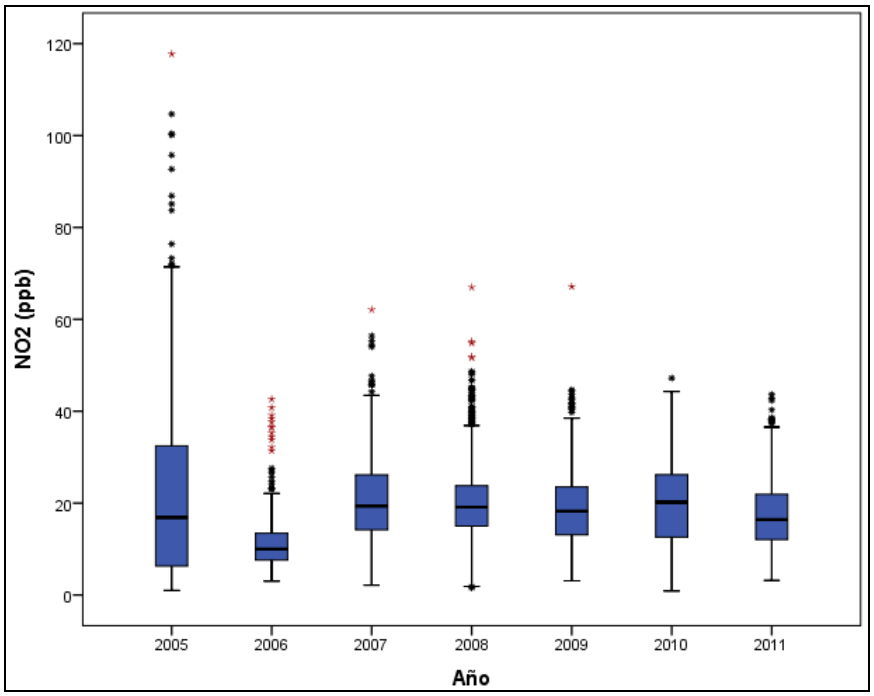


Figura 46. Gráfico de Box-Plot para NO_2 24 horas por años.

En la Figura 46 se resume el comportamiento general del contaminante, se venía presentando una disminución en la concentración desde el 2007 hasta el 2009, en el 2010 aumentó y ya para el 2011 disminuye la mediana y se presenta baja dispersión, lo contrario pasó con respecto a los datos atípicos puesto que estos vuelven a figurar conforme pasaba en los años anteriores. Mientras en el 2010 se registró una mediana de 20.19 ppb, en el 2011 se pasa a 16,40 ppb.

3.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO

En el 2011 se contó con promedios de CO horarios y octohorarios para las estaciones indicadas en la Tabla 1. El registro del contaminante en las Estaciones de Chicó Lago y Sagrado Corazón se suspendió por remodelación de la sede. El índice de captura de datos para este contaminante fue del 87% respecto a los que se podrían obtener si no se presentaran fallas en el proceso de recolección de la información.

CO 1 hora

Se obtuvo 76326 (setenta y seis mil trescientos veintiséis) datos de promedios horarios de CO. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (35 ppm Res. 601 2006), y todos los promedios se registraron por debajo del 50% de la norma (ver Tabla 19).

En la Tabla 19 se presenta el promedio, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron los máximos promedios horarios por estación; la estación Usaquén presenta el mayor valor máximo. Las estaciones Las Ferias, Parque Simón Bolívar y Puente Aranda coinciden en presentar el valor máximo de concentración el 04 de marzo de 2011 entre las 21 y las 23.

Tabla 19. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén (Bosque)	88%	0,8	7,9	06/12/2011 19:00
Las Ferias (Carrefour)	96%	0,8	5,5	04/03/2011 23:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	67%		6,6	04/03/2011 22:00
Zona Industrial - Estación Móvil	85%	0,9	3,4	27/01/2011 20:00
Fontibón	77%	0,6	3,0	15/02/2011 07:00
Puente Aranda	97%	1,0	5,0	04/03/2011 21:00
Kennedy	84%	1,0	5,0	04/06/2011 23:00
Carvajal (Sony)	97%	1,6	6,4	15/11/2011 02:00
Tunal	88%	0,8	5,1	03/12/2011 22:00
San Cristóbal	91%	0,7	3,7	12/01/2011 10:00

En la Figura 47, se observa que en ninguna estación se superó la norma, y que además la estación Carvajal registró la mayor concentración promedio horaria de CO.

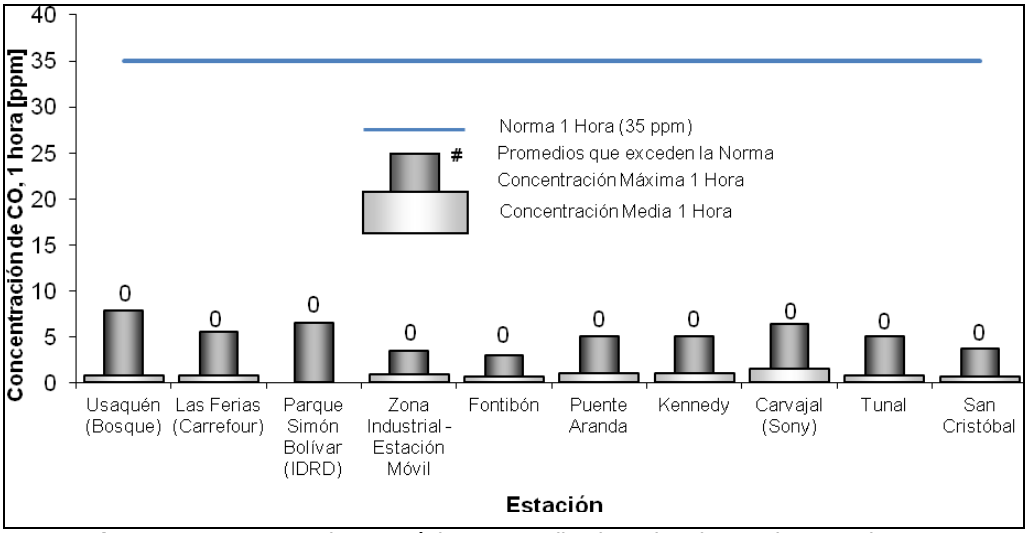


Figura 47. Concentraciones máximas y medias horarias de CO durante el 2011.

CO 8 horas

Para el 2011 se calcularon 76278 (setenta y seis mil doscientos setenta y ocho) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 87% de los datos promedios anuales teniendo en cuenta los equipos instalados. Durante el periodo analizado no se presentaron excedencias a la norma (8,8 ppm Resolución 601 2006). La estación No. 14

Fontibón registró las menores concentraciones promedio de 8 horas, mientras que la estación de Carvajal presentó la mayor concentración promedio (Ver Figura 48)

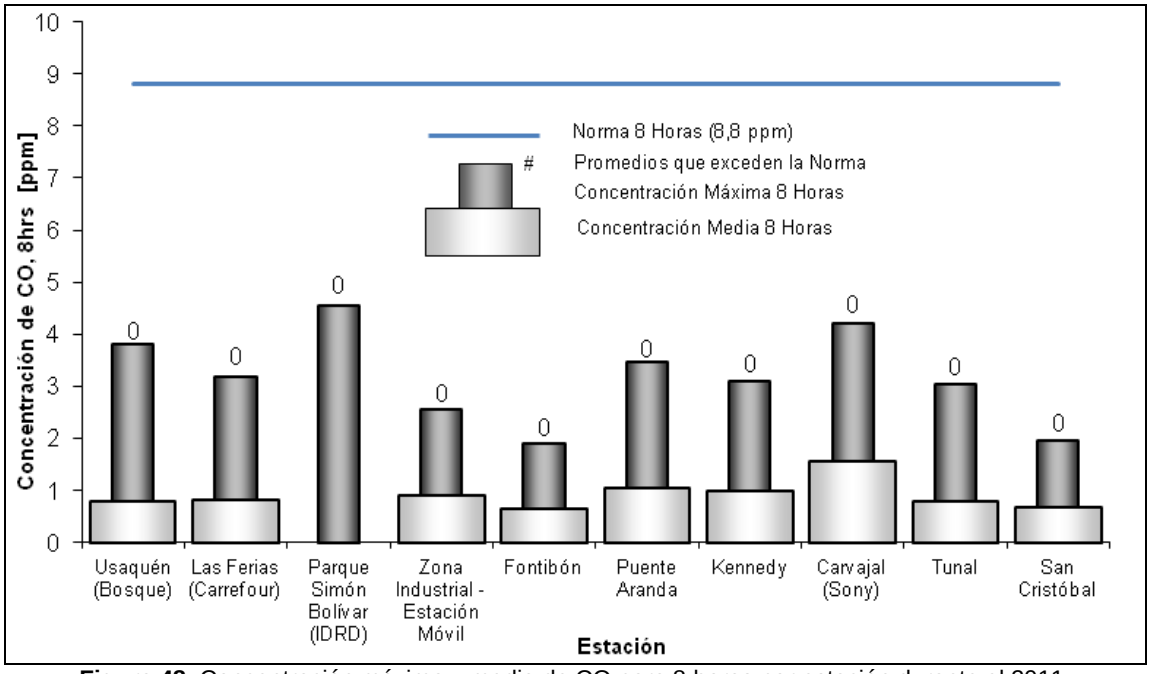


Figura 48. Concentración máxima y media de CO para 8 horas por estación durante el 2011.

La Tabla 20 presenta un resumen de los datos de CO que incluyen la concentración media 8 horas, y la concentración máxima con la fecha y hora en la que esta ocurre.

Tabla 20. Resumen de datos de CO por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén (Bosque)	88%	0,8	3,8	04/12/2011 01:00
Las Ferias (Carrefour)	96%	0,8	3,2	05/03/2011 01:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	67%		4,6	05/03/2011 02:00
Zona Industrial - Estación Móvil	86%	0,9	2,6	06/11/2011 03:00
Fontibón	76%	0,6	1,9	05/03/2011 02:00
Puente Aranda	98%	1,0	3,5	05/03/2011 01:00
Kennedy	84%	1,0	3,1	14/11/2011 23:00
Carvajal (Sony)	97%	1,6	4,2	05/10/2011 04:00
Tunal	88%	0,8	3,0	11/12/2011 24:00
San Cristóbal	91%	0,7	2,0	05/12/2011 23:00

Análisis de tendencia

La gráfica de los días de la semana para el contaminante CO presenta una leve forma sinusoidal que inicia el lunes con alza (Figura 49), el miércoles disminuye y el viernes vuelve a subir, para el fin de semana su disminución es evidente y el domingo es el día de menor concentración registrada; los picos en la onda lo registra el martes y viernes como

ya se había comentado con 0.88 y 0.94 ppm respectivamente como mediana ,y los valles el lunes y domingo con 0.80 y 0.75 ppm respectivamente; respecto al año anterior, en el 2011 todos los días de la semana disminuye la mediana, cabe aclarar que su reducción fue leve; la dispersión de los datos para el último año muestra en general una susceptible reducción salvo el miércoles, pero en consecuencia se elevó el registro de datos atípicos.

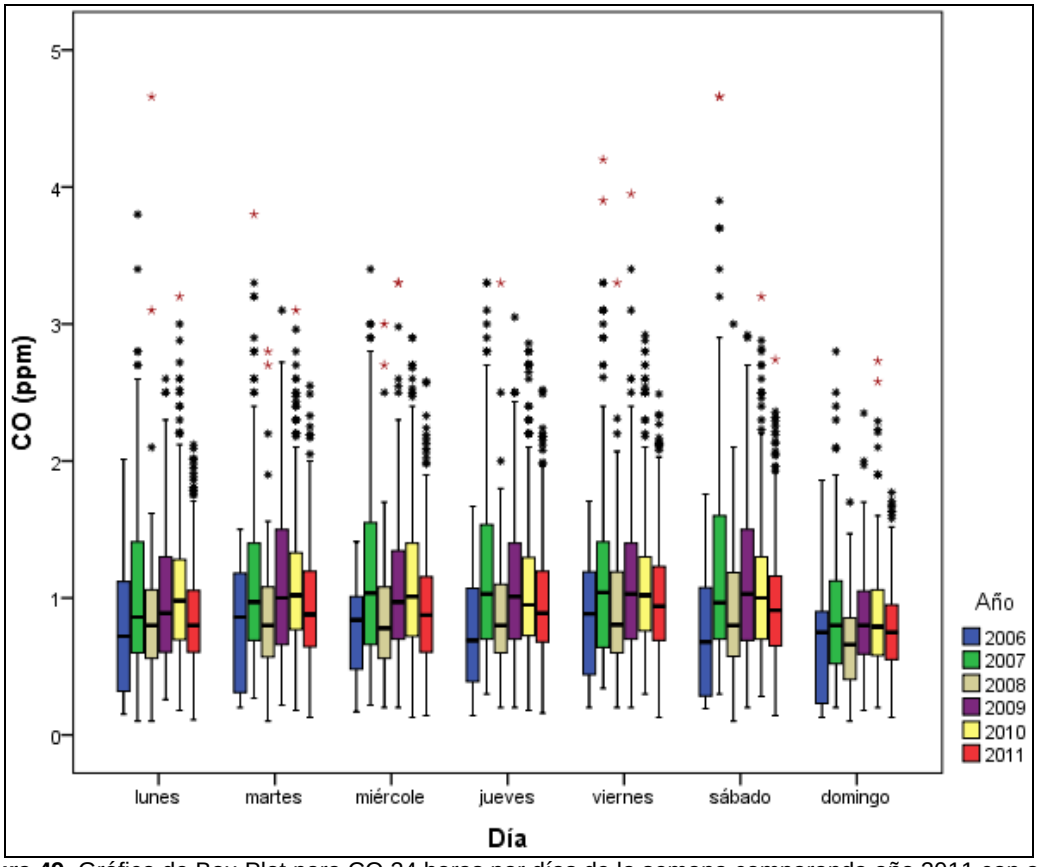


Figura 49. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por días de la semana comparando año 2011 con años anteriores.

Los meses en el año tienen un comportamiento sinusoidal pero para este contaminante los periodos son más cortos como se ve en la Figura 50. Los meses que registran una mayor mediana en el 2011 son noviembre, octubre y diciembre con 1.10, 0.96 y 1.03, ppm respectivamente; adicionalmente los de menor mediana son agosto, julio y junio con 0.67, 0.69 y 0.73 ppm respectivamente. Respecto al 2010, en el 2011todos los meses registran disminución a excepción del mes de octubre, que pasa de tener una mediana de 0.91 ppm en el 2010 a una de 0.96 ppm en el 2011.; la dispersión para el 2011 respecto a los años anteriores en general disminuyó; los datos atípicos siguen siendo importantes.

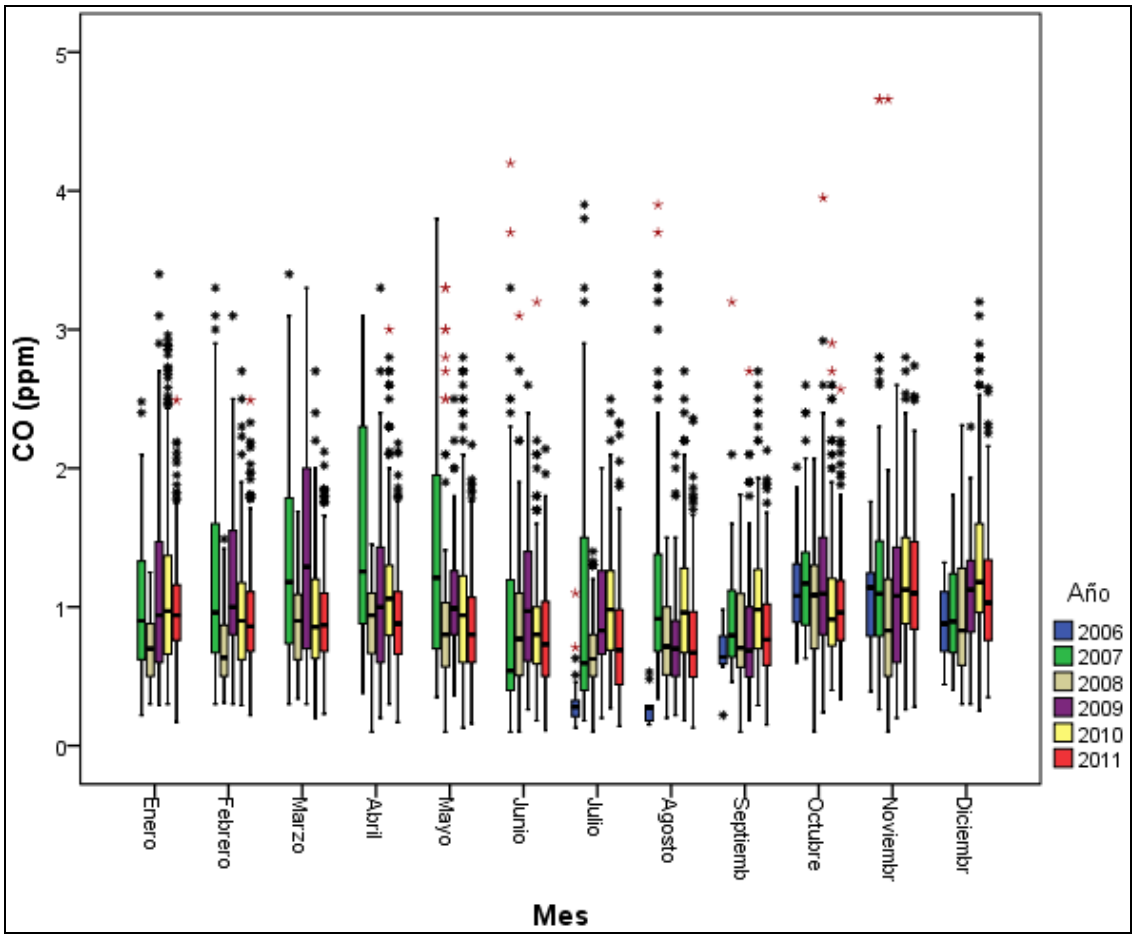


Figura 50. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por meses comparando año 2011 con años anteriores.

Por estaciones (ver Figura 51) para el contaminante CO no se tienen en cuenta los datos en las estaciones de Kennedy, Sagrado corazón, Tunal y Chicó para el año 2009 por que las series están siendo analizadas técnicamente; la estación con mayor registro de concentración es Carvajal con una mediana de 1.58 ppm y la de menor es Fontibón con 0.64 ppb, que se mantuvo muy similar a la del2010 pero con una dispersión mayor; la estación de Usaquén tiene muchos datos extremos atípicos. Respecto al 2010, en el 2011 la mediana disminuyó en la mayoría de las estaciones que registraron este contaminante.

El contaminante CO no presenta una tendencia definida a través de los años, puesto que se alterna su crecimiento y descenso según la Figura 52, el año 2011 registra una leve disminución con respecto al año anterior, su dispersión es menor pero se registra outliers y datos extremos atípicos.

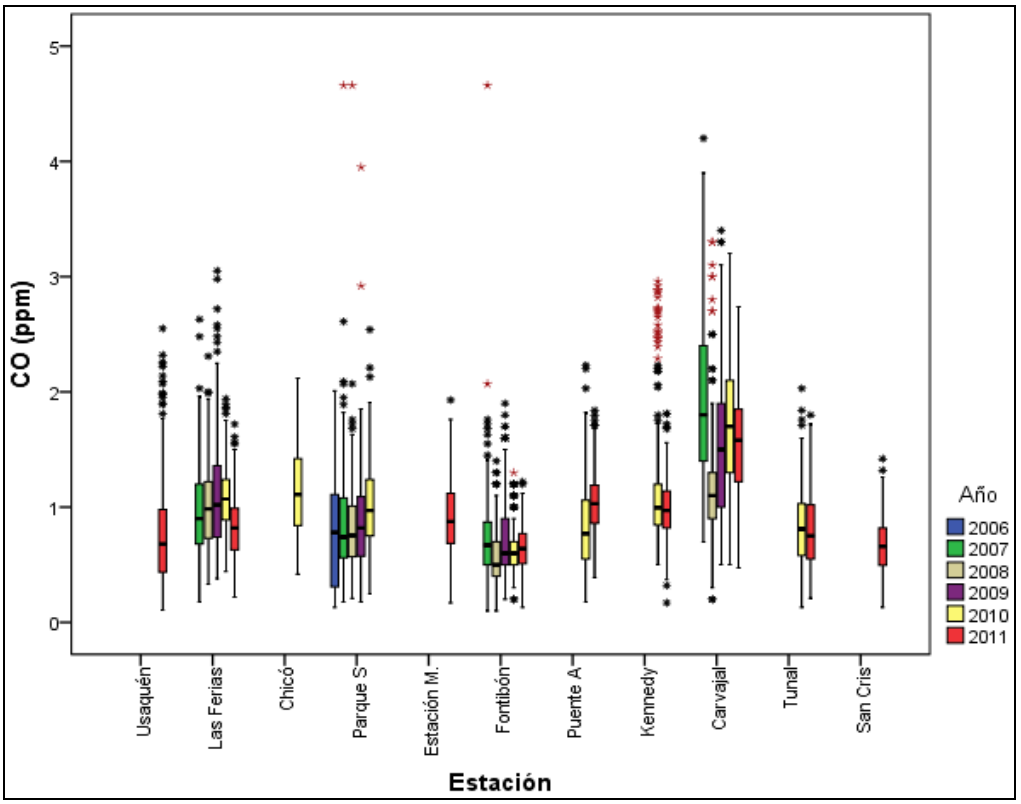


Figura 51. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por estaciones, comparando año 2011 con años anteriores.

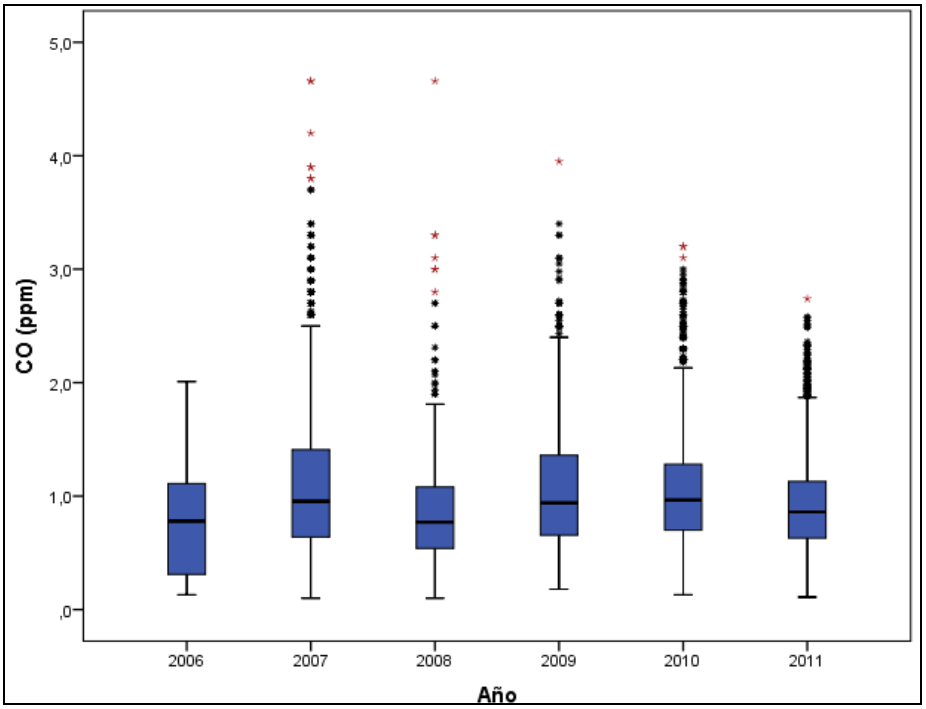


Figura 52. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por años, desde 2006 hasta 2011.

3.2.4. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE O_3

La RMCAB contó con doce (12) equipos para monitorear el ozono durante el 2011, ubicados según se reporta en la Tabla 1. En 2008 se instalaron siete (7) nuevos equipos en las estaciones No. 1 Usaquén (Bosque), No. 3 Carvajal (Sony), No. 5 Parque Simón Bolívar (IDRD), No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 10 Chico Lago (Santo Tomás), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, por lo que respecto a estas estaciones no se cuentan con muchos datos históricos.

O_3 1 hora

Durante el 2011 se calcularon 83722 (ochenta y tres mil setecientos veintidós) promedios horarios de O_3, lo que representa un porcentaje de recuperación de los datos del 80%. Las medias y promedios máximos obtenidos en cada una de las estaciones se presentan en la Tabla 21, junto con el día y hora en que ocurrieron. A excepción de la estación Zona Industrial - Estación Móvil, Carvajal y San Cristóbal, todas las estaciones presentaron promedios máximos por encima de la norma. El total de promedios máximos que exceden la norma (61 ppb) corresponden al 0,2% del total calculado.

Tabla 21. Resumen de datos de O_3 por estación para el año 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	88%	11,1	84,1	25/01/2011 14:00
Usaquén (Bosque)	82%	16,5	104,9	25/01/2011 14:00
Suba (Corpas)	90%	14,0	80,0	25/01/2011 14:00
Las Ferias (Carrefour)	90%	13,0	92,1	25/01/2011 13:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	66%		90,1	29/01/2011 14:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	23%		81,0	06/11/2011 16:00
Zona Industrial - Estación Móvil	79%	8,4	51,7	29/01/2011 13:00
Fontibón	80%	10,1	61,2	26/02/2011 15:00
Puente Aranda	90%	8,6	67,0	29/01/2011 13:00
Carvajal (Sony)	93%	7,9	57,8	22/01/2011 12:00
Tunal	90%	9,7	71,0	06/01/2011 13:00
San Cristóbal	85%	8,6	51,8	18/01/2011 14:00

En la Tabla 21 se observa que el 25 de enero de 2011 se presentan las máximas concentraciones de ozono en la zona norte y noroccidente de la ciudad, esto registrado por las estaciones de Guaymaral, Usaquén, Suba y las Ferias. El día 26 de enero de 2011 entre las 13 y las 14 se registra un máximo de concentración en las estaciones Parque Simón Bolívar (IDRD), Zona Industrial - Estación Móvil, y Puente Aranda. Es importante resaltar que los máximos de concentración de ozono se presentaron en el mes de enero, a excepción de las estaciones Sagrado Corazón (que monitoreó únicamente los tres últimos meses del año) y Fontibón.

La concentración media horaria y el número de promedios que excedieron la norma en cada estación se presentan en la Figura 53. Se observa que la mayor concentración promedio horaria se presenta en la estación Usaquén, y la menor en la estación Carvajal.

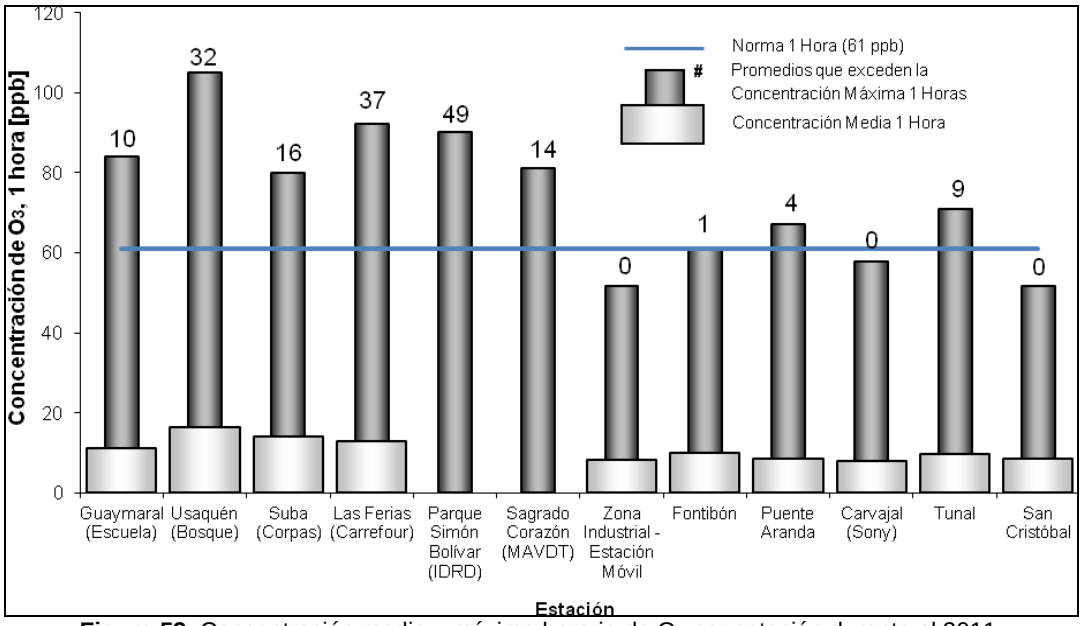


Figura 53. Concentración media y máxima horaria de O_3 por estación durante el 2011.

O_3 8 horas

Para reportar la concentración de O_3 para un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 83639 (ochenta y tres mil seiscientos treinta y nueve) promedios que representan el 80% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el año. Se obtuvo el 0,67% de los datos por encima de la norma (41 ppb Res. 601 2006). Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrió el máximo se presentan en la Tabla 22

Tabla 22. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O_3 para 8 horas durante el 2011.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	Periodo de ocurrencia del Máximo	Excedencias Norma 601 (octo horario): 41 ppb	Excedencias norma EPA (octo horario): 59 ppb
Guaymaral (Escuela)	88%	11,1	57,8	25/01/2011 18:00	34	0
Usaquén (Bosque)	81%	16,7	65,0	25/01/2011 18:00	95	4
Suba (Corpas)	89%	14,0	59,7	25/01/2011 18:00	99	1
Las Ferias (Carrefour)	90%	13,0	56,1	25/01/2011 17:00	86	0
Parque Simón Bolívar (IDRD)	65%		62,2	29/01/2011 17:00	110	5
Sagrado Corazón (MAVDT)	23%		81,0	06/11/2011 16:00	94	15
Zona Industrial – E. Móvil	80%	8,4	39,2	18/01/2011 18:00	0	0
Fontibón	79%	10,1	42,8	18/01/2011 17:00	2	0

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	Periodo de ocurrencia del Máximo	Excedencias Norma 601 (octo horario): 41 ppb	Excedencias norma EPA (octo horario): 59 ppb
Puente Aranda	92%	8,6	48,3	29/01/2011 17:00	14	0
Carvajal (Sony)	94%	7,8	40,4	28/01/2011 17:00	0	0
Tunal	90%	9,7	53,1	18/01/2011 17:00	27	0
San Cristóbal	85%	8,5	35,8	18/01/2011 18:00	0	0

Como se aprecia, el mayor número de excedencias se concentran en el sector norte, noroccidental y central. En la estación de Parque Simón Bolívar se registró el mayor número de excedencias con 110, seguido por Suba con 99, y Usaquén con 95. En total en el año se presentaron 561 excedencias, las que se reducen a 131 si el nivel de comparación es 59 ppb, nivel recomendado por la EPA.

En la Figura 54 se muestran las concentraciones máximas y medias de O_3 8 horas, para cada una de las estaciones.

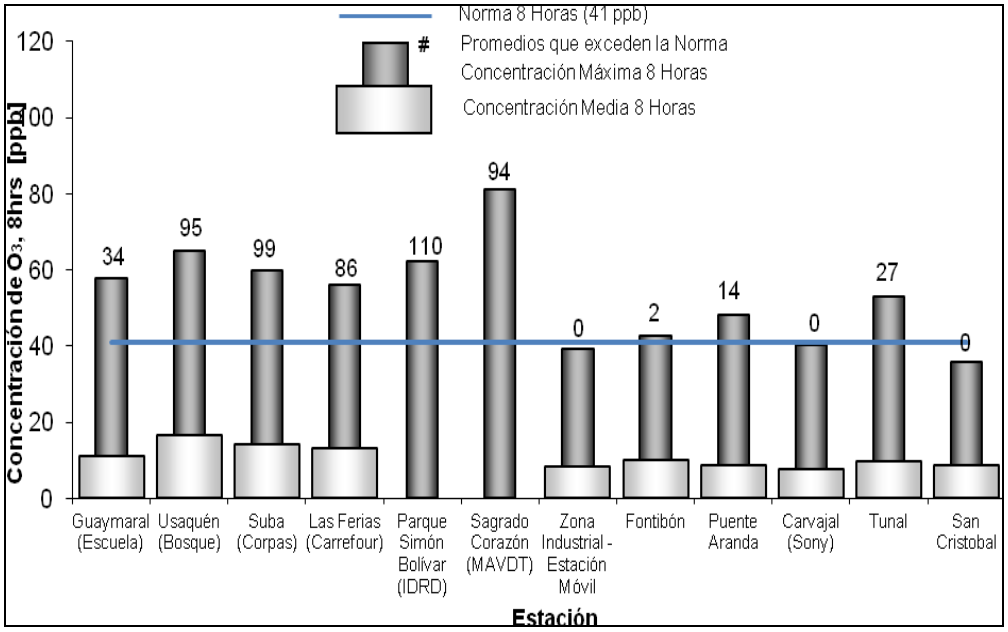


Figura 54. Concentración media y máxima de O_3 para 8 horas por estación durante el 2011.

En la Figura 55 y la Figura 56, se observa espacialmente como afecta este contaminante a la ciudad, se aprecia como las concentraciones altas del contaminante primordialmente se asocian a las estaciones de Usaquén, Suba, Las Ferias y Guaymaral.

El episodio que se muestra en la primera Figura 55 bien puede configurarse sobre la estación de Usaquén principalmente, y sobre Suba y Guaymaral.

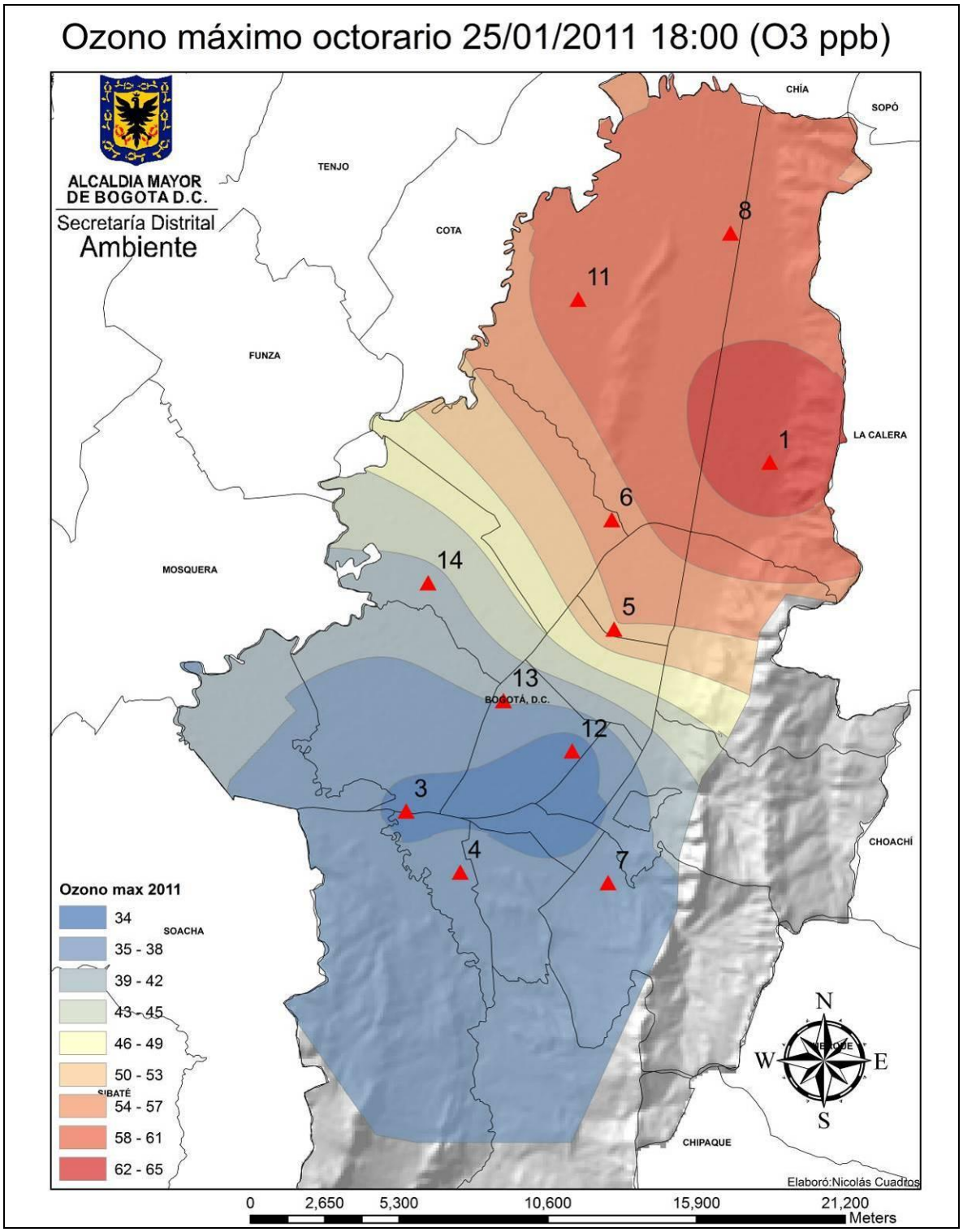


Figura 55. Episodio de contaminación de O_3, en ppb, promedio 8 horas, 2011.

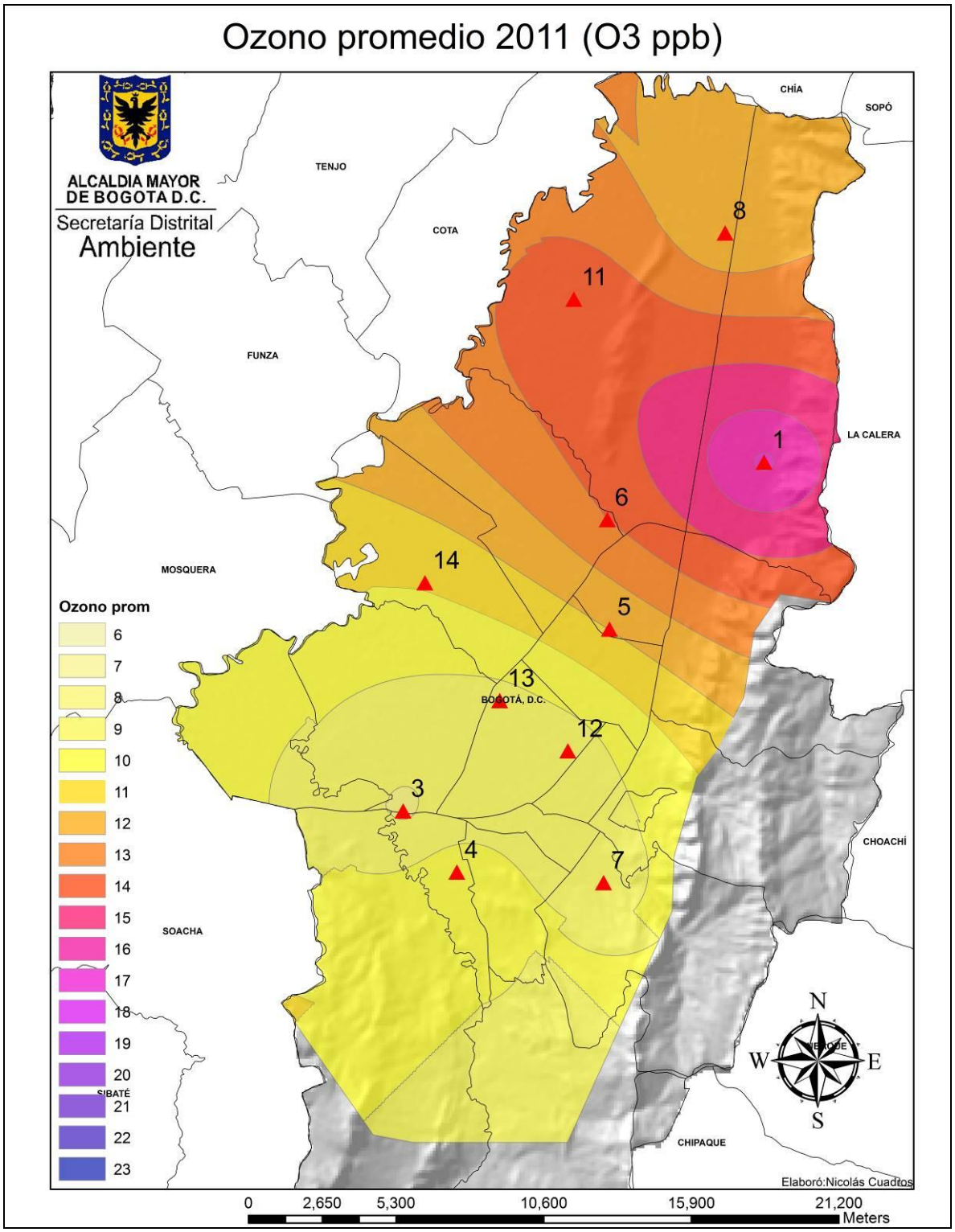


Figura 56. Concentración promedio de ozono en ppb, año 2011, basado en promedios diarios

Comportamiento histórico del O_3

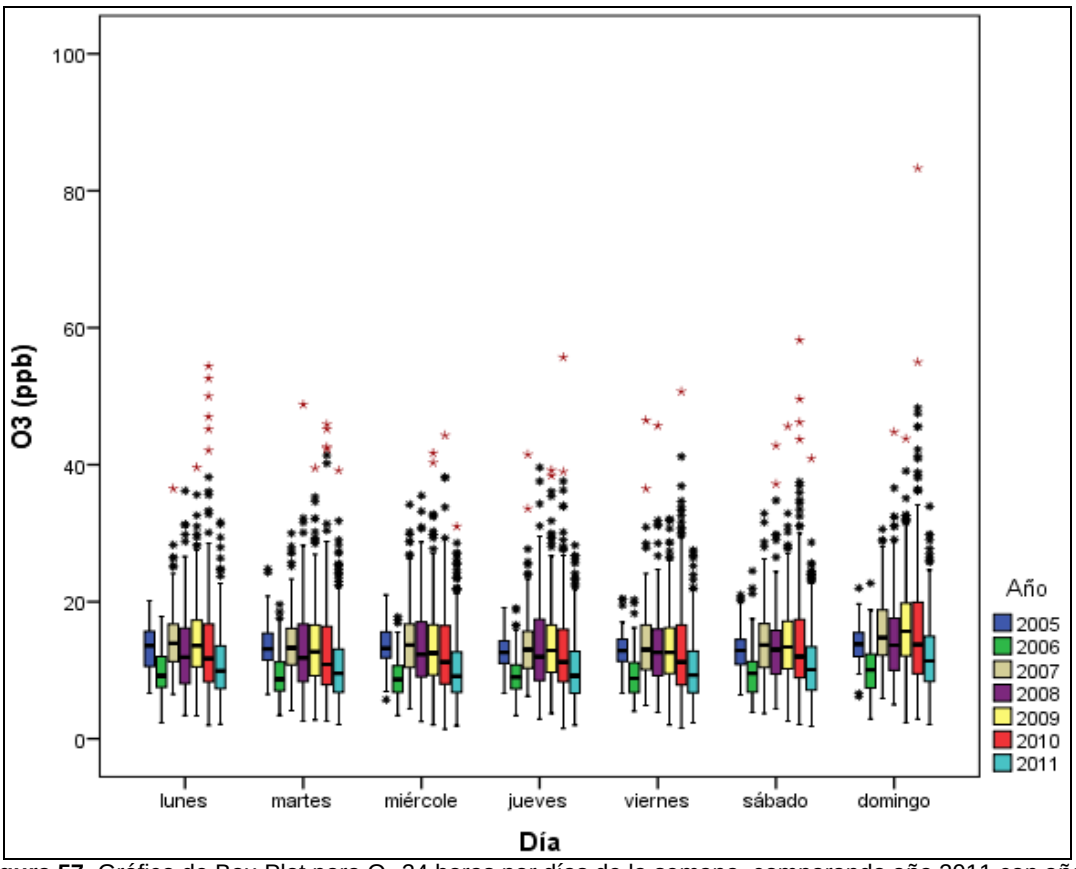


Figura 57. Gráfico de Box-Plot para O_3 24 horas por días de la semana, comparando año 2011 con años anteriores.

En el 2011, el miércoles se encuentra la mediana más baja con 9.13 ppb, el mayor valor de la mediana corresponde el día domingo, con 11.37 ppb (Figura 57). Se presenta una disminución de la mediana entre lunes y miércoles, siendo el miércoles el punto de inflexión, y posteriormente aumenta esta concentración hasta alcanzar su máximo valor el día domingo, situación muy similar a la presentada en el 2010. En comparación con el año anterior las medianas disminuyeron todos los días de la semana en el 2011.En general la dispersión de los datos en el último año disminuyó, al igual que la presencia de datos atípicos y outliers extremos.

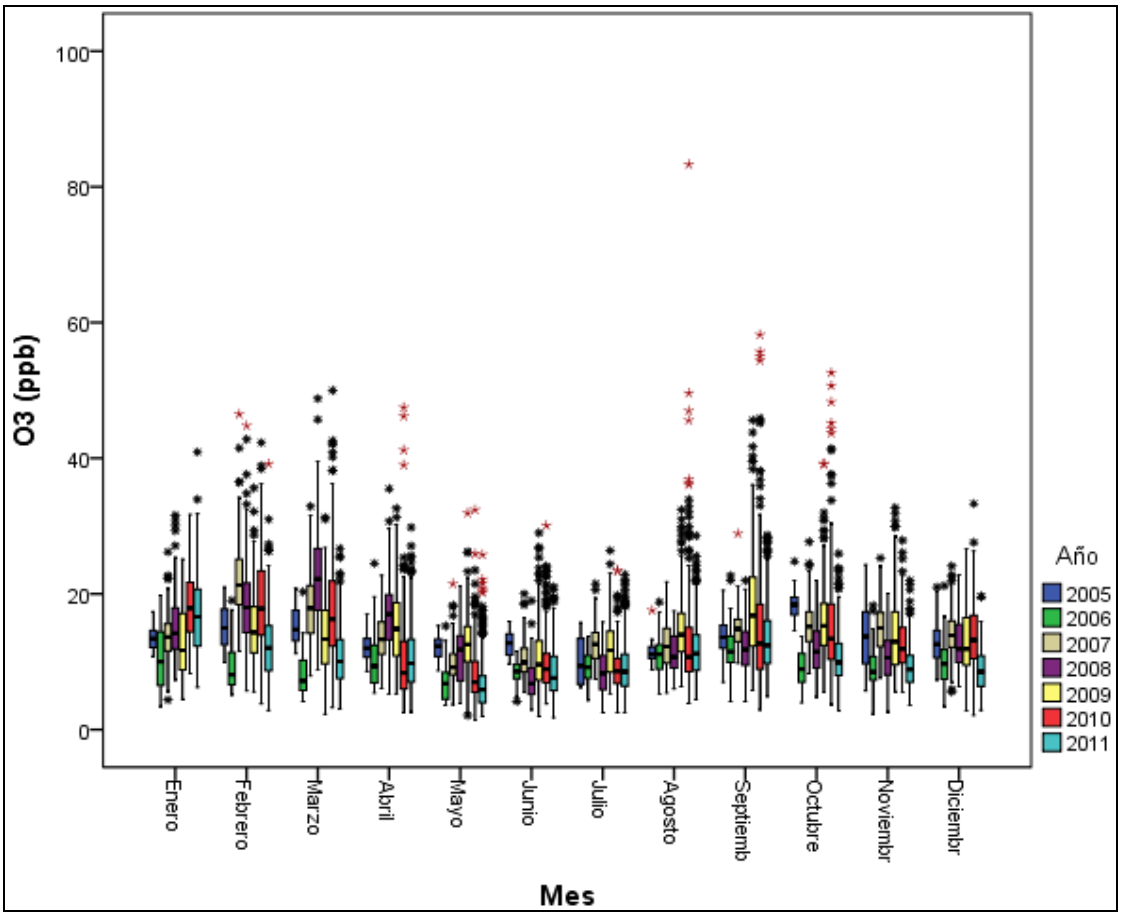


Figura 58. Gráfico de Box-Plot para O3 promedio mensual (desde base diaria) comparando año 2011 con años anteriores.

El contaminante Ozono presenta el mismo comportamiento general de los otros contaminantes, se observa una forma sinusoidal con dos ondas, una por cada semestre (Figura 58). En el primer trimestre se presentan los mayores registros del contaminante para el 2011. Se observa que para el 2011 el valor de la mediana disminuye de enero a mayo, aumenta de mayo a octubre y vuelve a disminuir de octubre a diciembre. El menor registro se presenta en mayo con 5.91 ppb como mediana, y el mayor en enero con 16.60 ppb.. Respecto al 2010, en todos los meses del 2011 se presenta una disminución de la mediana exceptuando los meses de abril y agosto. La dispersión de los datos es en general menor que en el 2010. Con respecto a los datos atípicos, en el último año se presenta disminución tanto en datos outliers como outliers extremos, esto se refleja más en los meses de agosto, setiembre y octubre.

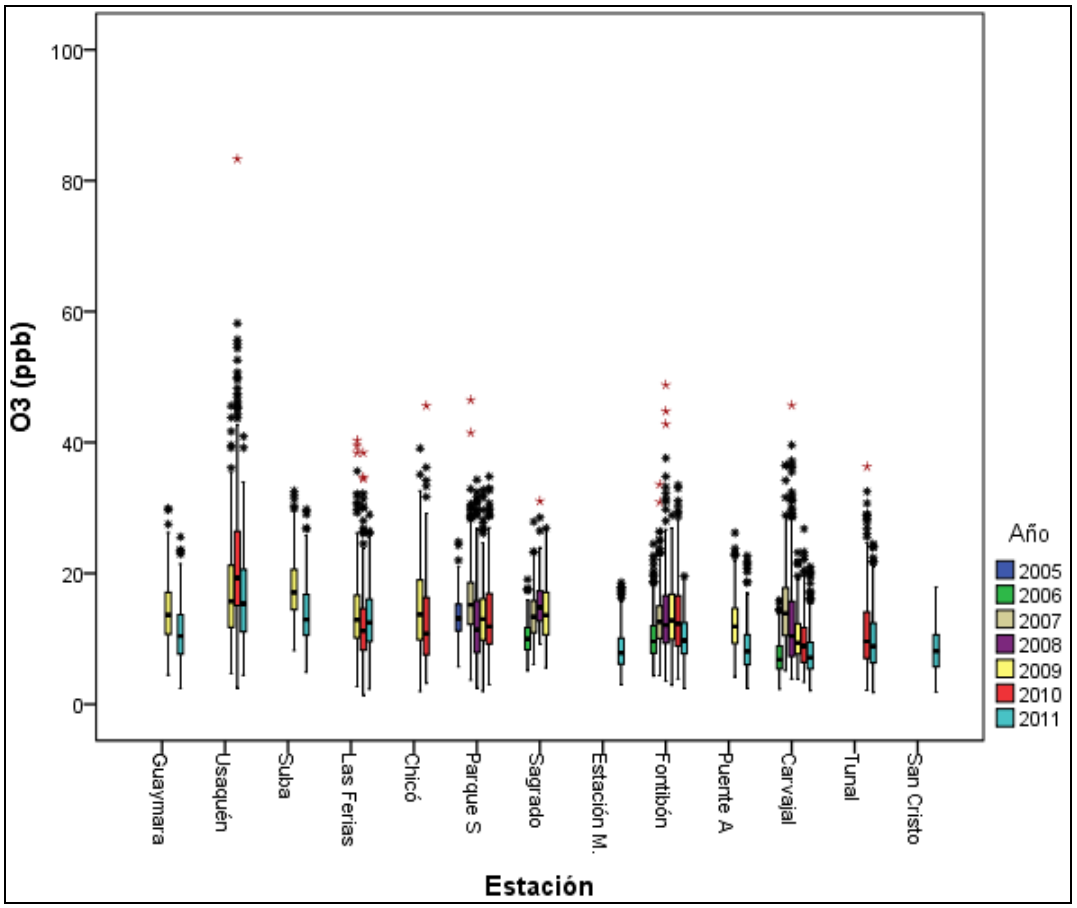


Figura 59. Gráfico de Box-Plot para O_3 promedios anuales (desde base diario) por estaciones comparando 2011 con años anteriores.

En la Figura 59 se observa que respecto al 2010, la mediana disminuye en las estaciones de Usaquén, Fontibón, Carvajal y Tunal, y sólo en la estación Las Ferias este valor aumenta. La estación de Usaquén para el último año muestra la mayor mediana, con 15.35 ppb, la de menor concentración es Carvajal con 7.14 ppb. Con respecto a la dispersión, se nota un leve descenso en proporción al año inmediatamente anterior; como se ha venido observando en las gráficas que describen al contaminante Ozono, la disminución de los datos atípicos y outliers extremos es evidente.

El resumen del comportamiento del Ozono se puede observar en la Figura 60, puesto que se observa la disminución de datos atípicos y outliers extremos para el 2011 y la disminución sistemática del contaminante a partir del 2007. En el 2011 se redujo también la dispersión de los datos.

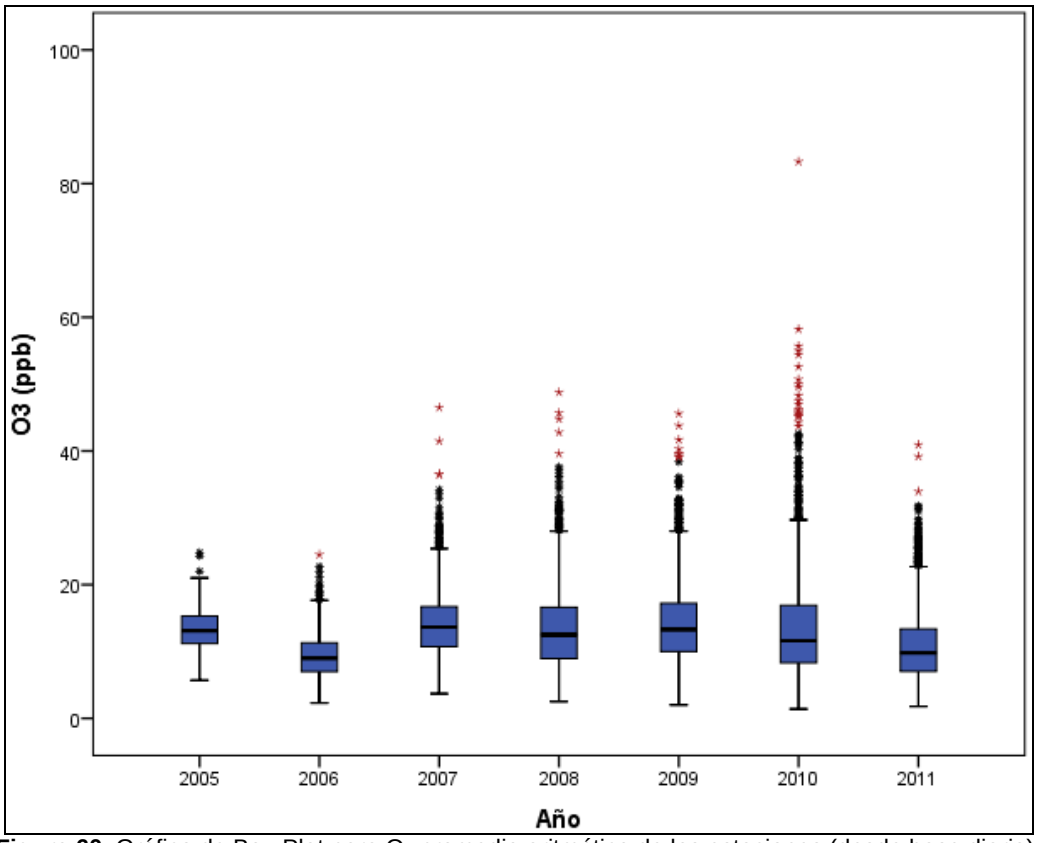


Figura 60. Gráfico de Box-Plot para O_3 promedio aritmético de las estaciones (desde base diaria).

3.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS

En la Tabla 23 se resumen los resultados de los promedios de 24 horas para PM10. En la primera columna se especifica la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre de cada estación y en la tercera columna se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el año de operación que se está reportando. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima y octava columna informan el número de promedios que están por encima del 50% y del 75% del valor de la norma respectivamente. En la novena columna se muestra el máximo promedio hallado y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma. Finalmente, en la última columna se presenta el valor promedio de las ponderaciones de PM10 para 24 horas durante el año. Una síntesis similar se realiza para los promedios anuales de PM10 en la Tabla 24.

En la Tabla 27 se muestra el resultado del análisis de los promedios 24h de PST. En la columna 9 se presenta el máximo promedio 24h de PST presentado en el año. En la columna 6 se presenta el porcentaje de datos que exceden la norma anual de PST; así mismo, en la columna 10 se presenta la relación entre el promedio 24h máximo y su correspondiente norma para cada estación y finalmente en la columna 4 se muestra la representatividad temporal del promedio anual de PST; para cada uno de los contaminantes se presentan tablas similares.

Tabla 23. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micras (PM10), año 2011.

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{10}, anual 2011 [Norma: 100 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Norte	Guaymaral (Escuela)	342	94%	0	0%	33	0	73	1,2	36
	Usaquén (Bosque)	158	43%	0	0%	42	0	75	1,3	
	Subtotal	***500***	***68%***	***0***	***0%***	***75***	***0***	***74***		***36***
Noroccidente	Suba (Corpas)	328	90%	0	0%	158	7	90	1,5	51
	Las Ferias (Carrefour)	352	96%	0	0%	85	4	89	1,5	42
	Subtotal	***680***	***93%***	***0***	***0%***	***243***	***11***	***90***		***47***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	324	89%	0	0%	71	5	85	1,4	38
	Sagrado Corazón (MAVDT)	77	21%	0	0%	29	7	83	1,4	
	Zona Industrial - Estación Móvil	312	85%	7	2%	118	34	109	1,8	51
	Subtotal	***713***	***65%***	***7***	***1%***	***218***	***46***	***92***		***44***
Suroccidente	Fontibón	305	84%	2	1%	128	22	103	1,7	52
	Puente Aranda	345	95%	5	1%	156	47	124	2,1	56
	Kennedy	304	83%	50	16,4%	152	115	143	2,4	79
	Carvajal (Sony)	349	96%	100	28,7%	170	137	186	3,1	86
	Subtotal	***1303***	***89%***	***157***	***12%***	***606***	***321***	***139***		***68***
Sur	Tunal	357	98%	2	1%	140	44	108	1,8	52
	San Cristóbal	306	84%	2	1%	63	17	112	1,9	40
	Subtotal	***663***	***91%***	***4***	***1%***	***203***	***61***	***110***		***46***
TOTALES		**3859**	**81%**	**168**	**4,4%**	**1345**	**439**			

Tabla 24. Consolidado de los promedios anuales material particulado inferior a 10 micras (PM10), año 2011.

Información de los promedios anuales de concentración de PM_{10} [Norma: 50 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Norte	Guaymaral (Escuela)	365	100%	0	0%	286	79	38	0,8	37
	Usaquén (Bosque)	60	16%	0	0%	0	60	46	0,9	
	Subtotal	***425***	***58%***	***0***	***0%***	***286***	***139***	***42***		***37***
Noroccidente	Suba (Corpas)	365	100%	365	100%	0	0	56	1,1	53
	Las Ferias (Carrefour)	365	100%	0	0%	0	365	48	1,0	45
	Subtotal	***730***	***100%***	***365***	***50%***	***0***	***365***	***52***		***49***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	365	100%	0	0%	0	365	45	0,9	42
	Estación Móvil	365	100%	365	100%	0	0	58	1,2	56
	Subtotal	***730***	***100%***	***365***	***50%***	***0***	***365***	***52***		***49***
Suroccidente	Fontibón	365	100%	365	100%	0	0	61	1,2	57
	Puente Aranda	365	100%	365	100%	0	0	61	1,2	58
	Kennedy	365	100%	365	100%	0	0	89	1,8	83
	Carvajal (Sony)	365	100%	365	100%	0	0	91	1,8	87
	Subtotal	***1460***	***100%***	***1460***	***100%***	***0***	***0***	***75***		***71***
Sur	Tunal	365	100%	365	100%	0	0	60	1,2	57
	San Cristóbal	136	37%	0	0%	0	136	48	1,0	
	Subtotal	***501***	***69%***	***365***	***50%***	***0***	***136***	***54***		***57***
TOTALES		**3846**	**85%**	**2555**	**66%**	**286**	**1005**			

Tabla 25. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2011.

Información de los promedios diarios de concentración de $PM_{2.5}$ [Norma: 50 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Kennedy	302	83%	14	5%	135	67	75	3,0	31
TOTALES		***302***	***83%***	***14***	***5%***	***135***	***67***			

Tabla 26. Consolidado de los promedios anuales material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2011.

Información de los promedios anuales de concentración de $PM_{2.5}$ [Norma: 25 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Kennedy	365	100%	365	100%	0	0	38,7	1,5	35,1
TOTALES		***365***	***100%***	***365***	***100%***	***0***	***0***			

Tabla 27. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST), año 2011.

Información de los registros de concentración de PST para un periodo de 24 horas [Norma: 300 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Carvajal (Sony)	287	79%	1	0,3%	113	5	335	1,12	139
TOTALES		**287**	**79%**	**1**	**0,3%**	**113**	**5**			**139**

Tabla 28. Consolidado de los promedios anuales de partículas suspendidas totales (PST), año 2011.

Información de los promedios anuales de concentración de PST [Norma: 100 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Carvajal (Sony)	365	100%	365	100%	0	0	144	1,4	134
TOTALES		***365***	***100%***	**365**	**100%**	***0***	**0**			

Tabla 29. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2011.

Información de los promedios trihorarios de concentración de SO_2 [Norma: 287 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Noroccidente	Suba (Corpas)	7743	88%	0	0%	0	0	26,7	0,09	2,7
	Las Ferias (Carrefour)	7928	91%	0	0%	0	0	12,6	0,04	1,6
	Subtotal	***15671***	***89%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***19,7***		***2,2***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	4787	55%	0	0%	0	0	12,8	0,04	
	Zona Industrial - Estación Móvil	6350	72%	0	0%	0	0	14,9	0,1	
	Subtotal	***11137***	***64%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***13,9***		
Suroccidente	Fontibón	6903	79%	0	0%	0	0	13,2	0,05	1,7
	Puente Aranda	8168	93%	0	0%	0	0	21,8	0,08	2,4
	Kennedy	3226	37%	0	0%	0	0	18,9	0,07	
	Carvajal (Sony)	7207	82%	0	0%	0	0	57,7	0,20	8,8
	Subtotal	***25504***	***73%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***27,9***		***4,3***
Sur	Tunal	5976	68%	0	0%	0	0	41,7	0,15	
	San Cristóbal	5340	61%	0	0%	0	0	6,9	0,02	
	Subtotal	***11316***	***65%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***24,3***		
TOTALES		**63628**	**73%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 30. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2011.

Información de los promedios de concentración 24 horas de SO_2 [Norma: 96 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Noroccidente	Suba (Corpas)	338	93%	0	0%	0	0	8,0	0,08	2,8
	Las Ferias (Carrefour)	348	95%	0	0%	0	0	4,4	0,05	1,6
	Subtotal	***686***	***94%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6,2***		***2,2***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	207	57%	0	0%	0	0	4,7	0,05	
	Zona Industrial - Estación Móvil	298	82%	0	0%	0	0	7,8	0,08	3,8
	Subtotal	***505***	***69%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6,3***		***3,8***
Suroccidente	Fontibón	291	80%	0	0%	0	0	5,1	0,05	1,8
	Puente Aranda	350	96%	0	0%	0	0	9,1	0,09	2,4
	Kennedy	137	38%	0	0%	0	0	8,3	0,09	
	Carvajal (Sony)	311	85%	0	0%	0	0	36,8	0,38	8,8
	Subtotal	***1089***	***75%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***14,8***		***4,3***
Sur	Tunal	267	73%	0	0%	0	0	9,9	0,10	
	San Cristóbal	250	68%	0	0%	0	0	2,7	0,03	
	Subtotal	***517***	***71%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6,3***		
TOTALES		**2797**	**77%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 31. Consolidado de los promedios anuales de SO_2, año 2011.

Información de los promedios anuales de concentración de SO_2 [Norma: 31 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Noroccidente	Suba (Corpas)	365	100%	0	0%	0	0	3,1	0,1	2,9
	Las Ferias (Carrefour)	337	92%	0	0%	0	0	2,1	0,1	1,9
	Subtotal	***702***	***96%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,6***		***2,4***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	86	24%	0	0%	0	0	3,1	0,1	
	Zona Industrial - E. Móvil	365	100%	0	0%	0	0	5,8	0,2	5,0
	Subtotal	***451***	***62%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,5***		***5,0***
Suroccidente	Fontibón	365	100%	0	0%	0	0	3,0	0,1	2,1
	Puente Aranda	365	100%	0	0%	0	0	3,8	0,1	3,1
	Kennedy	72	20%	0	0%	0	0	4,2	0,1	
	Carvajal (Sony)	44	12%	0	0%	0	0	8,9	0,3	
	Subtotal	***846***	***58%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5,0***		***2,6***
Sur	Tunal	97	27%	0	0%	0	0	4,0	0,1	
	San Cristóbal	54	15%	0	0%	0	0	0,9	0,03	
	Subtotal	***151***	***21%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,5***		
TOTALES		**2150**	**59%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 32. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2011.

Información de los promedios horarios de concentración de NO_2 [Norma: 106 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	5760	65,8%	0	0	14	1	81,3	0,8	
	Subtotal	***5760***	***65,8%***	***0***	***0%***	***14***	***1***	***81,3***		
Noroccidente	Suba (Corpas)	6490	74,1%	0	0%	10	1	79,9	0,8	14,4
	Las Ferias (Carrefour)	8425	96,2%	0	0%	61	0	71,5	0,7	21,4
	Subtotal	***14915***	***85,1%***	***0***	***0%***	***71***	***1***	***75,7***		***17,9***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	6089	69,5%	0	0	65	0	70,5	0,7	
	Zona Industrial – E. Móvil	1699	19,4%	0	0%	93	6	87,6	0,8	
	Subtotal	***7788***	***44,5%***	***0***	***0%***	***158***	***6***	***79,1***		
Suroccidente	Fontibón	6343	72,4%	0	0	14	0	65,1	0,6	15,6
	Puente Aranda	1524	17,4%	0	0%	81	4	92,9	0,9	
	Kennedy	7128	81,4%	0	0	22	0	18,1	0,2	18,1
	Carvajal (Sony)	3398	38,8%	0	0%	57	0	75,3	0,7	
	Subtotal	***18393***	***52,5%***	***0***	***0%***	***174***	***4***	***62,9***		***16,9***
Sur	Tunal	8283	94,6%	0	0	51	1	80,4	0,8	16,7
	Subtotal	***8283***	***94,6%***	***0***	***0%***	***51***	***1***	***80,4***		***16,7***
TOTALES		**55139**	**68%**	**0**	**0%**	**468**	**13**			

Tabla 33. Consolidado de los promedios de NO_2 para 24 horas, año 2011.

Información de los promedios 24 horas de concentración de NO_2 [Norma: 80 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	236	64,7%	0	0	0	0	32,0	0,4	
	Subtotal	***236***	***64,7%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***32,0***		
Noroccidente	Suba (Corpas)	270	74,0%	0	0%	0	0	27,9	0,3	14,4
	Las Ferias (Carrefour)	352	96,4%	0	0%	3	0	42,9	0,5	21,4
	Subtotal	***622***	***85,2%***	***0***	***0%***	***3***	***0***	***35,4***		***17,9***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	252	69,0%	0	0	1	0	40,4	0,5	
	Zona Industrial - Estación Móvil	68	18,6%	0	0%	1	0	42,2	0,5	
	Subtotal	***320***	***43,8%***	***0***	***0%***	***2***	***0***	***41,3***		
Suroccidente	Fontibón	263	72,1%	0	0	1	0	43,7	0,5	15,5
	Puente Aranda	61	16,7%	0	0%	8	0	43,4	0,5	
	Kennedy	292	80,0%	0	0	0	0	18,1	0,2	18,1
	Carvajal (Sony)	140	38,4%	0	0%	5	0	47,1	0,6	
	Subtotal	***756***	***51,8%***	***0***	***0%***	***14***	***0***	***38,1***		***16,8***
Sur	Tunal	342	93,7%	0	0	0	0	37,6	0,5	16,8
	Subtotal	***342***	***93,7%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***37,6***		***16,8***
TOTALES		**2276**	**67,8%**	**0**	**0%**	**19**	**0**			

Tabla 34. Consolidado de los promedios de NO_2 anuales, año 2011.

Información de los promedios anuales de concentración de NO_2 [Norma: 53 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	101	28%	0	0	0	0	13,6	0,3	
	Subtotal	***101***	***28%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***13,6***		
Noroccidente	Suba (Corpas)	361	99%	0	0%	0	0	14,3	0,3	11,7
	Las Ferias (Carrefour)	365	100%	0	0%	0	0	21,6	0,4	18,8
	Subtotal	***726***	***99%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***18,0***		***15,3***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	203	55%	0	0	0	0	24,3	0,5	
	Subtotal	***203***	***55%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***24,3***		
Suroccidente	Puente Aranda	49	13%	0	0%	49	0	26,1	0,5	
	Kennedy	337	92%	0	0	0	0	20,5	0,4	20,5
	Carvajal (Sony)	49	13%	0	0%	5	0	25,5	0,5	
	Subtotal	***435***	***40%***	***0***	***0%***	***54***	***0***	***24,1***		***20,5***
Sur	Tunal	365	100%	0	0	0	0	19,9	0,4	18,6
	Subtotal	***365***	***100%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***19,9***		***18,6***
TOTALES		**1830**	**64,3%**	**0**	**0%**	**54**	**0**			

Tabla 35. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2011.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 35 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Usaquén (Bosque)	7741	88%	0	0%	0	0	7,9	0,2	0,8
	Subtotal	***7741***	***88%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***7,9***		***0,8***
Noroccidente	Las Ferias (Carrefour)	8440	96%	0	0%	0	0	5,5	0,2	0,8
	Subtotal	***8440***	***96%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5,5***		***0,8***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	5859	67%	0	0%	0	0	6,6	0,2	
	Zona Industrial - Estación Móvil	7478	85%	0	0%	0	0	3,4	0,1	0,9
	Subtotal	***13337***	***76%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5,0***		***0,9***
Suroccidente	Fontibón	6727	77%	0	0%	0	0	3,0	0,1	0,6
	Puente Aranda	8523	97%	0	0%	0	0	5,0	0,1	1,0
	Kennedy	7382	84%	0	0%	0	0	5,0	0,1	1,0
	Carvajal (Sony)	8491	97%	0	0%	0	0	6,4	0,2	1,6
	Subtotal	***31123***	***89%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,9***		***1,1***
Sur	Tunal	7710	88%	0	0%	0	0	5,1	0,1	0,8
	San Cristóbal	7975	91%	0	0%	0	0	3,7	0,1	0,7
	Subtotal	***15685***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,4***		***0,7***
TOTALES		**76326**	**88%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 36. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2011.

Información de los promedios octohorarios de concentración de CO [Norma: 8,8 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Usaquén (Bosque)	7715	88%	0	0%	0	0	3,8	0,4	0,8
	Subtotal	***7715***	***88%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3,8***		***0,8***
Noroccidente	Las Ferias (Carrefour)	8446	96%	0	0%	0	0	3,2	0,4	0,8
	Subtotal	***8446***	***96%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3,2***		***0,8***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	5830	67%	0	0%	1	0	4,6	0,5	
	Zona Industrial - Estación Móvil	7493	86%	0	0%	0	0	2,6	0,3	0,9
	Subtotal	***13323***	***76%***	***0***	***0%***	***1***	***0***	***3,6***		***0,9***
Suroccidente	Fontibón	6651	76%	0	0%	0	0	1,9	0,2	0,6
	Puente Aranda	8548	98%	0	0%	0	0	3,5	0,4	1,0
	Kennedy	7398	84%	0	0%	0	0	3,1	0,4	1,0
	Carvajal (Sony)	8492	97%	0	0%	0	0	4,2	0,5	1,6
	Subtotal	***31089***	***89%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3,2***		***1,1***
Sur	Tunal	7714	88%	0	0%	0	0	3,0	0,3	0,8
	San Cristóbal	7991	91%	0	0%	0	0	2,0	0,2	0,7
	Subtotal	***15705***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,5***		***0,7***
TOTALES		**76278**	**88%**	**0**	**0%**	**1**	**0**			

Tabla 37. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2011.

Información de los promedios horarios de concentración de O_3 [Norma: 61 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	7679	88%	10	0,1%	352	65	84,1	1,4	11,1
	Usaquén (Bosque)	7217	82%	32	0,4%	635	90	104,9	1,7	16,5
	Subtotal	***14896***	***85%***	***42***	***0,3%***	***987***	***155***	***94,5***		***13,8***
Noroccidente	Suba (Corpas)	7885	90%	16	0,2%	576	124	80,0	1,3	14,0
	Las Ferias (Carrefour)	7849	90%	37	0,5%	562	117	92,1	1,5	13,0
	Subtotal	***15734***	***90%***	***53***	***0,34%***	***1138***	***241***	***86,1***		***13,5***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	5763	66%	49	0,9%	355	109	90,1	1,5	
	Sagrado Corazón (MAVDT)	1989	23%	14	0,7%	274	41	81,0	1,3	
	Zona Industrial - Estación Móvil	6964	79%	0	0,0%	102	5	51,7	0,8	8,4
	Subtotal	***14716***	***56%***	***63***	***0,5%***	***731***	***155***	***74,3***		***8,4***
Suroccidente	Fontibón	6982	80%	1	0,0%	229	29	61,2	1,0	10,1
	Puente Aranda	7895	90%	4	0,1%	185	37	67,0	1,1	8,6
	Carvajal (Sony)	8175	93%	0	0,0%	130	18	57,8	0,9	7,9
	Subtotal	***23052***	***88%***	***5***	***0,0%***	***544***	***84***	***62,0***		***8,9***
Sur	Tunal	7890	90%	9	0,1%	220	43	71,0	1,2	9,7
	San Cristóbal	7434	85%	0	0,0%	54	2	51,8	0,8	8,6
	Subtotal	***15324***	***87%***	***9***	***0,1%***	***274***	***45***	***61,4***		***9,1***
TOTALES		**83722**	**81%**	**172**	**0,21%**	**3674**	**680**	**75,6**		

Tabla 38. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2011.

Información de los promedios octohorarios de concentración de O_3 [Norma: 41 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	7673	88%	34	0,4%	801	182	57,8	1,4	11,1
	Usaquén (Bosque)	7083	81%	95	1,3%	1765	366	65,0	1,6	16,7
	Subtotal	***14756***	***84%***	***129***	***0,9%***	***2566***	***548***	***61,4***		***13,9***
Noroccidente	Suba (Corpas)	7828	89%	99	1,3%	1279	346	59,7	1,5	14,0
	Las Ferias (Carrefour)	7855	90%	86	1,1%	1195	296	56,1	1,4	13,0
	Subtotal	***15683***	***90%***	***185***	***1,18%***	***2474***	***642***	***57,9***		***13,5***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	5726	65%	110	1,9%	766	243	62,2	1,5	
	Sagrado Corazón (MAVDT)	1989	23%	94	4,7%	327	232	81,0	2,0	
	Zona Industrial - Estación Móvil	6976	80%	0	0,0%	212	20	39,2	1,0	8,4
	Subtotal	***14691***	***56%***	***204***	***2,2%***	***1305***	***495***	***60,8***		***8,4***
Suroccidente	Fontibón	6960	79%	2	0,0%	560	92	42,8	1,0	10,1
	Puente Aranda	8027	92%	14	0,2%	348	73	48,3	1,2	8,6
	Carvajal (Sony)	8217	94%	0	0,0%	286	37	40,4	1,0	7,8
	Subtotal	***23204***	***88%***	***16***	***0,1%***	***1194***	***202***	***43,8***		***8,8***
Sur	Tunal	7887	90%	27	0,3%	555	108	53,1	1,3	9,7
	San Cristobal	7418	85%	0	0,0%	165	5	35,8	0,9	8,5
	Subtotal	***15305***	***87%***	***27***	***0,2%***	***720***	***113***	***44,5***		***9,1***
TOTALES		**83639**	**81%**	**561**	**0,67%**	**8259**	**2000**	**53,7**		

3.4. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE

Este capítulo presenta los Índices de Calidad del Aire (ICA) registrados en el año 2011 en las estaciones de la RMCAB, los cuales son publicados cada hora en la página Web[11], siempre y cuando no existan fallas técnicas que impidan el reporte. El valor obtenido en el índice corresponde a una escala numérica a la cual se le asocia un color, el cual a su vez tiene relación con los efectos en la salud.

El índice de calidad del aire se enfoca en los contaminantes: ozono, material particulado (menor a 10 y 2.5 micras), monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Ver Tabla 40).

Para el cálculo se utiliza la ecuación correspondiente a la metodología EPA para el cálculo del AQI (por su sigla en inglés) y se reporta el valor máximo reportado del día incluso para los promedios de una hora y los promedios corridos de ocho horas; a partir de este valor se realiza la clasificación del nivel concerniente en salud que puede ser: Bueno, Moderado, Desfavorable para Grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso.

El ICA es una herramienta de gran importancia para la ciudadanía, al suministrar información simple en relación a la calidad del aire local, a su vez, proveen información sobre qué se debe hacer cuando los contaminantes atmosféricos presenten niveles poco saludables que pueden afectar la salud pública, en especial, la población más vulnerable (Niños y niñas menores de 12 años y adultos mayores de 60). Ver Tabla 39.

Tabla 39. Índice de Calidad de Aire por categorías. Fuente Secretaría Distrital de Salud (2009)

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud
0 – 50	**Bueno**	Ninguna	Niños y niñas menores 12 años con antecedente de asma, o síndrome bronco-obstructivo recurrente, y mayores de 60 años con antecedentes de Enfermedad pulmonar obstructiva crónica - EPOC (asma, enfisema).	A pesar que los niveles de contaminación están por debajo de la norma de calidad del aire, cualquier concentración de contaminantes puede tener afectación en la salud, con el inicio de síntomas o molestias asociadas al sistema respiratorio, tales como la irritación de mucosas.	Prestar atención a la presencia de los síntomas asociados al sistema respiratorio en las personas. Sin embargo dentro de esta categoría, toda la población podrá realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.

[11] *Calidad del aire en Bogotá en www.secretariadeambiente.gov.co*

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud
51 – 100	**Moderado**	La gente extremadamente sensible debe considerar reducir la actividad física prolongada y pesada que esté haciendo al aire libre. Por ejemplo niños con síntomas compatibles con Asma y adultos con enfermedades cardio-cerebro-vasculares como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como Asma, enfisema y bronquitis crónica deben de reducir la actividad física fuerte o prolongada.	El grupo anterior, fumadores, todos los niños y niñas menores de 12 años, y adultos mayores 60 años y población que realiza ejercicio o labora al aire libre.	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos en personas sensibles, con enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas hay irritación de mucosas.	Personas extremadamente sensibles, por ejemplo niños con asma y adultos mayores de 60 años con enfermedad cardio- cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 a.m. a las 5 p.m. realizar actividad física fuerte o prolongada realizar ventilación de la vivienda. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
101 – 150	**Desfavorable para Grupos Sensibles**	Los niños, los adultos activos, y personas con enfermedades cardiacas o pulmonares, tales como asma, deben reducir los esfuerzos prolongados o pesados que realizan al aire libre, sobre todo los niños y los mayores de 60 años.	El grupo anterior mas población general.	Personas de los grupos sensibles pueden presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares o complicación de las mismas. En cuanto a las personas sanas presenta un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años, deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 a.m. a las 5 p.m. realizar actividad física preferiblemente en espacios cerrados y no por mucho tiempo. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
151 – 200	**Desfavorable**	Los niños, los adultos activos, y personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, tal como asma, deben evitar al realizar actividades prolongadas o pesadas al aire libre. Se debe reducir la actividad que se esté realizando al aire libre, sobre todo en niños y personas mayores de 60 años.	El grupo anterior mas población general.	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos sensibles. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Los demás grupos poblacionales deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria

Valor del Índice	Nivel Concerniente a la Salud	Declaraciones Preventivas	Población Afectada	Efectos en la Salud	Recomendaciones en Salud
201 – 300	**Muy Desfavorable**	Los niños y los adultos activos, y la gente con enfermedades cardiacas o pulmonares, tal como asma, deben evitar todo el esfuerzo al aire libre. Especialmente los niños, debe evitar la actividad fuerte o prolongada al aire libre.	El grupo anterior mas población general.	La población sensible presenta efectos severos y en la población en general se aumenta el número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar cualquier actividad física en exteriores. La demás población debe evitar la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria
301 – 500	**Peligroso**	Todas las personas deben evitar cualquier actividad física al aire libre.	El grupo anterior mas población general.	Continúa la activación de la alerta epidemiológica pues la población en general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular.	Efectos severos en toda la población. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria restringiendo la salida al aire libre de toda la población, en caso de salir al aire libre se recomienda el uso de tapabocas.

Tabla 40. Puntos de corte del ICA. Fuente EPA

ICA	COLOR	CLASIFICACION	O_3 8h ppb	O_3 1h ppb	PM_{10} 24h µg/m^3	$PM_{2.5}$ 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppb	NO_2 1h ppb
0 – 50	Verde	Bueno	0 59	–	0 54	0 15.4	0 4.4	0 35	0 53 *(*2)*
51 – 100	Amarillo	Moderado	60 75	–	55 154	15.5 40.4	4.5 9.4	35 144	54 100 *(*2)*
101 – 150	Naranja	Desfavorable para grupos sensibles	76 95	125 164	155 254	40.5 65.4	9.5 12.4	145 224	101 360 (*2)
151 – 200	Rojo	Desfavorable	96 115	165 204	255 354	65.5 150.4	12.5 15.4	225 304	361 640 (*2)
201 – 300	Púrpura	Muy desfavorable	116 374	205 404	355 424	150.5 250.4	15.5 30.4	305 604	650 1240
301 – 500	Marrón	Peligroso	*(*1)*	405 604	425 604	250.5 500.4	30.5 50.4	605 1004	1250 2040

*1 Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (≥301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.

*2 Valores tomados del CFR 40, parte 58, Apéndice G.[12].

[12] *e-CFR (2011). http://ecfr.gpoaccess.gov. Consultado el 16 de marzo de 2012*

3.4.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA MATERIAL PARTICULADO

Para el índice de calidad del aire de material particulado se tienen en cuenta los contaminantes PM10 y PM2.5 (partículas inferiores a 10 y 2.5 micras respectivamente). Estas partículas son tan pequeñas que pueden llegar a los pulmones causando serios problemas de salud.

Los grupos más sensibles al material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) incluyen a personas que sufran de enfermedades del corazón o respiratorias, adultos mayores y niños. Cuando se presenta un índice de color naranja todas las personas deben limitar la realización de tareas que involucren esfuerzo prolongado o pesado.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{10}

Para observar el comportamiento del ICA para este contaminante se realizará un comparativo entre las estaciones de los sectores del norte, noroccidente, centro y sur, y las que se localizan en el suroccidente de la ciudad.

En la Figura 61 se pueden observar los índices de calidad del aire obtenidos en las estaciones de la RMCAB que se encuentra en sectores diferentes del suroccidente de la ciudad. Los resultados obtenidos para estas estaciones no superaron un AQI de 79 “Moderado”, que corresponde a una concentración de 112 µg/m^3.

Las estaciones involucradas en la Figura 61 son: Tunal, San Cristóbal, Estación Móvil (Zona Industrial), Sagrado Corazón, Parque Simón Bolívar, Las Ferias, Usaquén, Suba y Guaymaral.

En la Figura 62 (suroccidente de Bogotá), se puede ver que los índices de calidad del aire reportados son más altos, en comparación con los de la Figura 61. El valor máximo de ICA para este sector fue de 116 “Desfavorable para grupos sensibles”, correspondiente a una concentración de 185 µg/m^3, la cual se registró en la estación Carvajal.

La mayor cantidad de los ICA obtenidos en el suroccidente de la ciudad (estaciones Carvajal, Kennedy, Puente Aranda y Tunal) se encuentran en la escala “moderado”, mientras que en el resto de las estaciones se encuentran en la escala “bueno”, como se puede observar en la Figura 63 y Figura 64 respectivamente. El la estación Carvajal se obtuvieron dos días con ICA Desfavorable para Grupos Sensibles.

En la Figura 63, Figura 64 y Figura 65 no se relacionan las categorías Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso teniendo en cuenta que no se han registrado estas escalas en la ciudad.

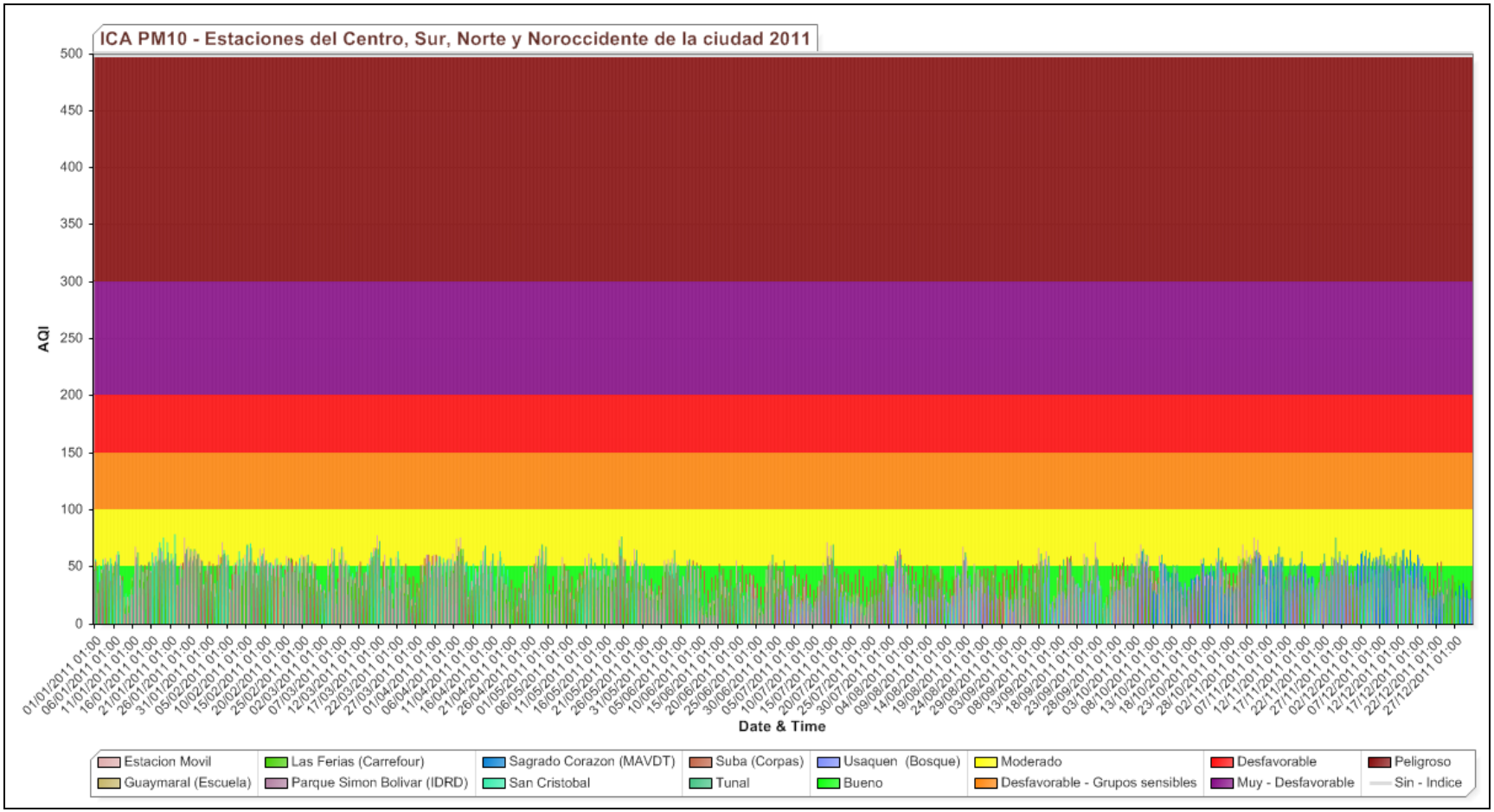


Figura 61. ICA por estación para PM_{10} – 2011. Estaciones del centro, sur, norte y noroccidente de la ciudad.

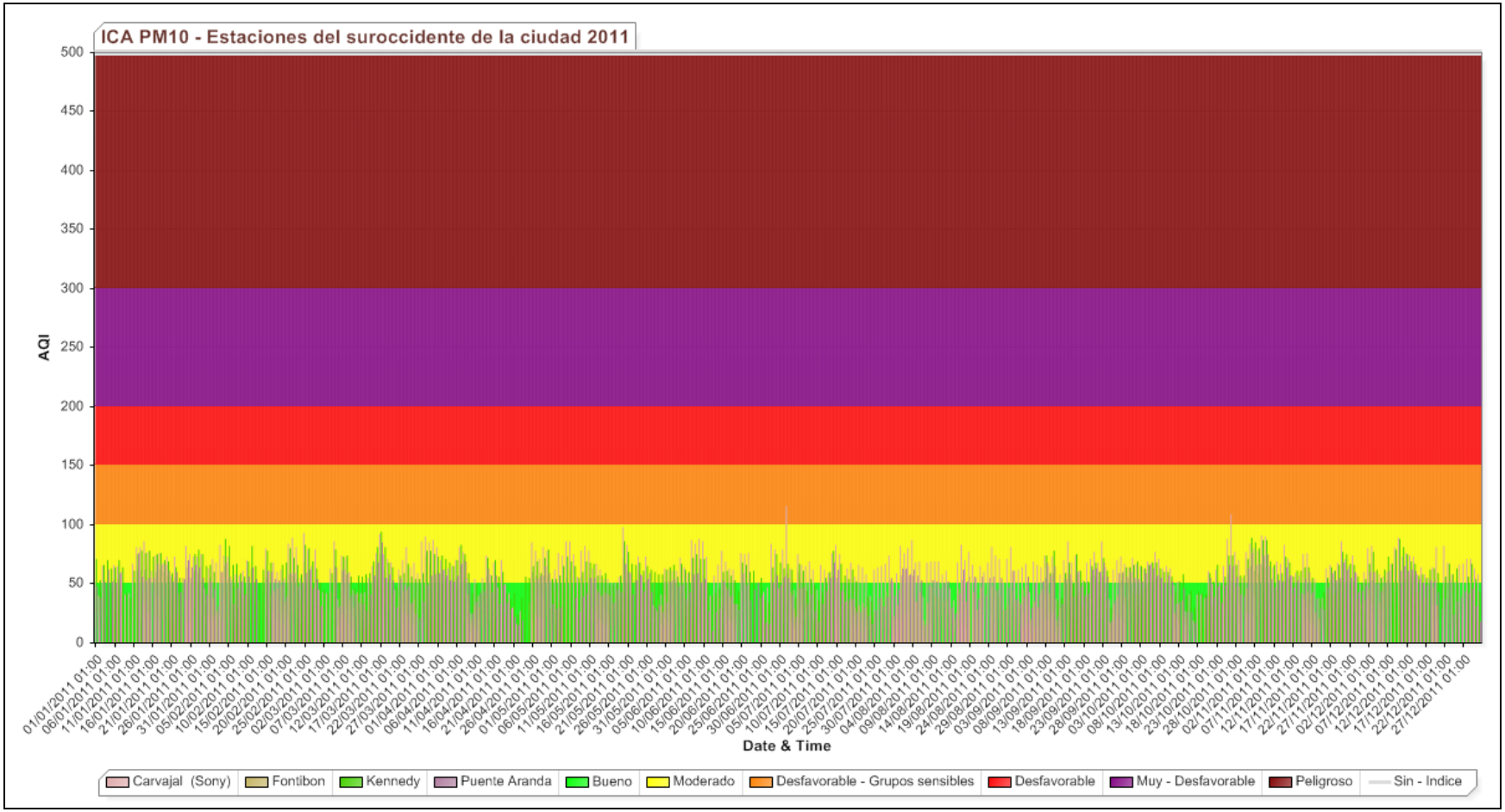


Figura 62. ICA por estación para PM_{10} – 2011. Estaciones del suroccidente de la ciudad.

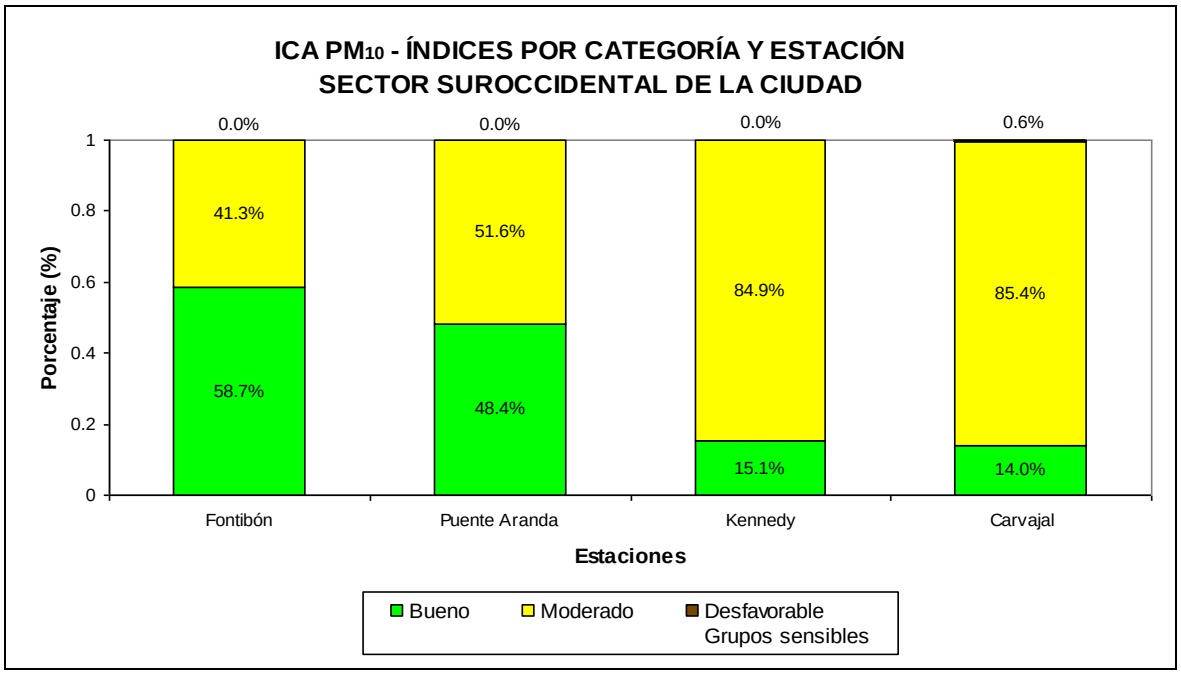


Figura 63. ICA PM_{10} por estación y categoría – 2011. Sector suroccidental de la ciudad.

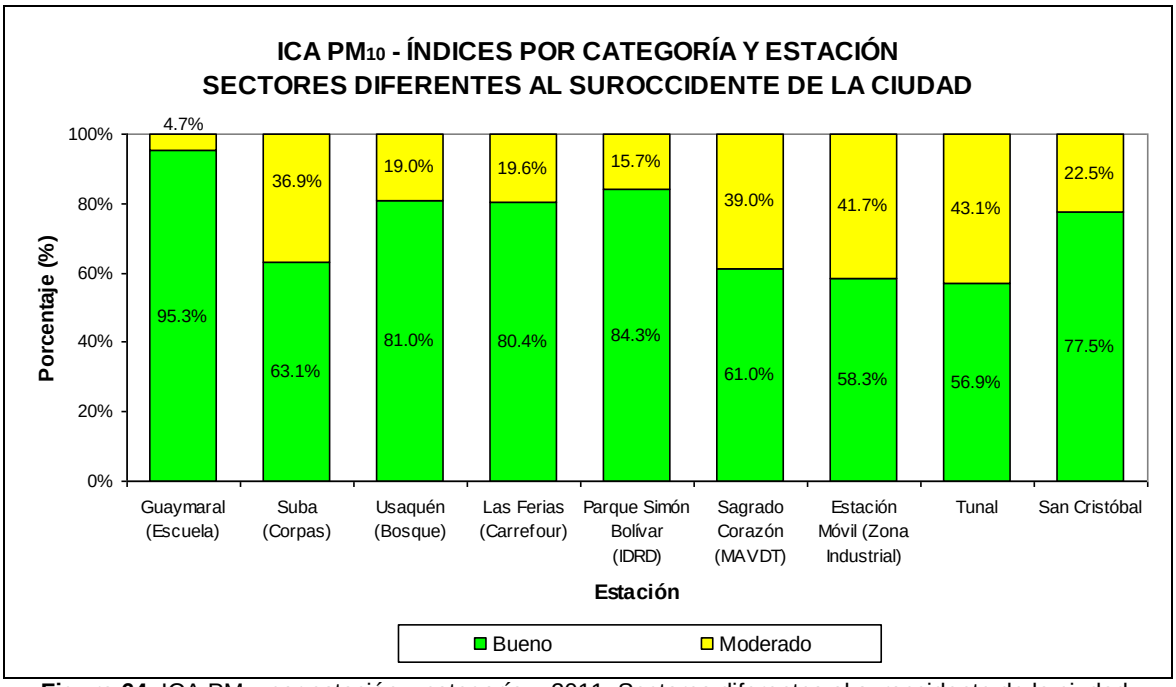


Figura 64. ICA PM_{10} por estación y categoría – 2011. Sectores diferentes al suroccidente de la ciudad.

En la siguiente gráfica se puede apreciar que para el PM10 durante el año 2011 se obtuvo mayor porcentaje de ICA en la categoría “Bueno” y menor ICA en la de “Moderado”, por lo

que se puede establecer que el 2011 fue un mejor año en comparación con 2010, en lo concerniente a este parámetro.

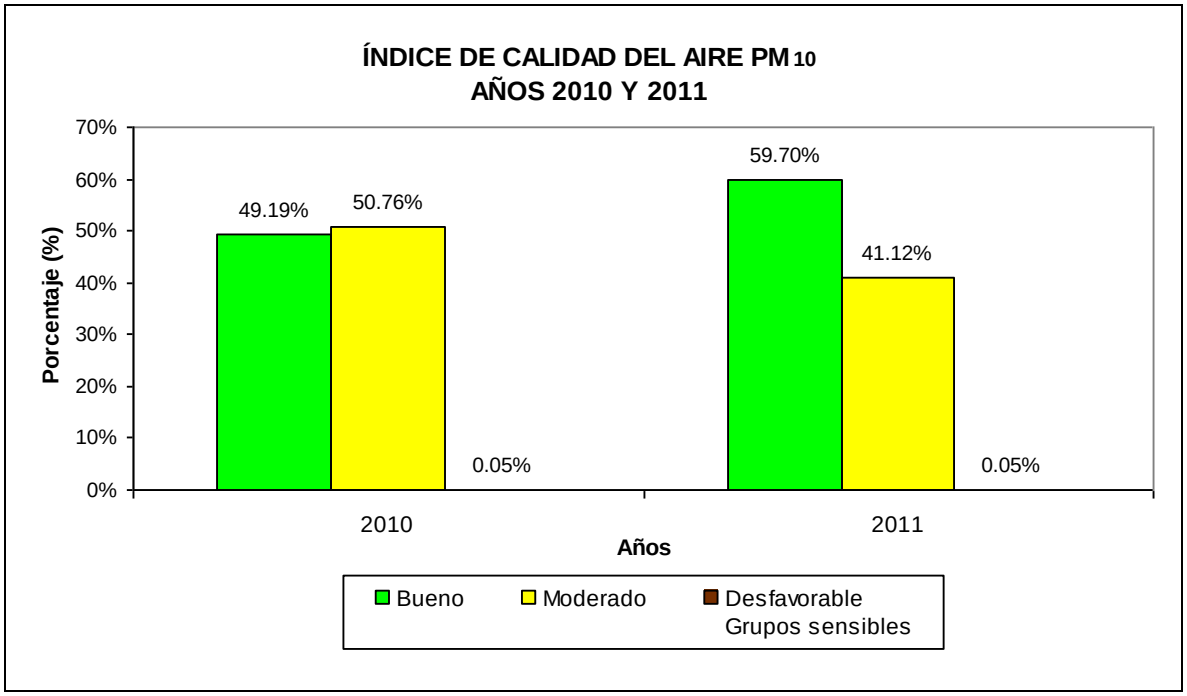


Figura 65. Clasificación ICA PM_{10} – Comparación entre los años 2010 y 2011.

Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$

Para el cálculo de este índice se tomará la estación Kennedy. Los valores de ICA obtenidos para este contaminante, se encuentran en la escala "Bueno" y "Moderado", con prevalencia en la esta última categoría. Se presentan también casos en los que se registran valores ICA *"Desfavorable para grupos sensibles"* e incluso *"Desfavorable"* (Ver Figura 66), lo que hace que este contaminante sea uno de los más importantes a controlar, teniendo en cuenta que es el que puede afectar en mayor medida la salud de los ciudadanos.

Como se observa claramente en la Figura 66, el 2011 presentó días con índices más favorables en comparación con el año 2010 en el que el porcentaje de "*Desfavorable para Grupos Sensibles"* y *"Desfavorable"* es más alto y el de categoría *"Bueno"* es mucho menor. En 2011 sólo se presentó un índice "*Desfavorable*" el 17 de marzo, mientras que en 2010 se registraron 8 días con dicho nivel.

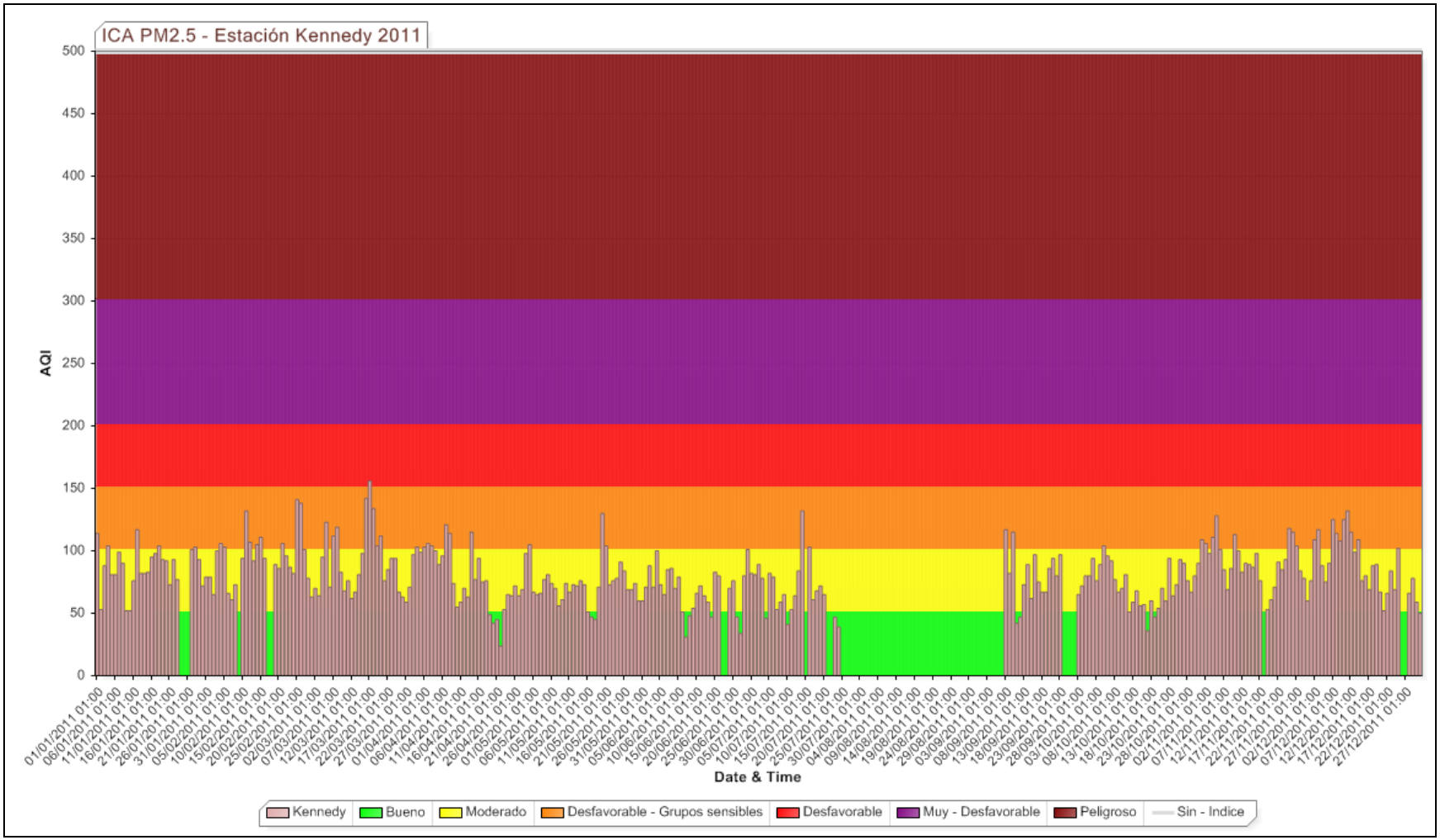


Figura 66. ICA por estación para $PM_{2.5}$ – 2011. Estaciones del suroccidente de la ciudad.

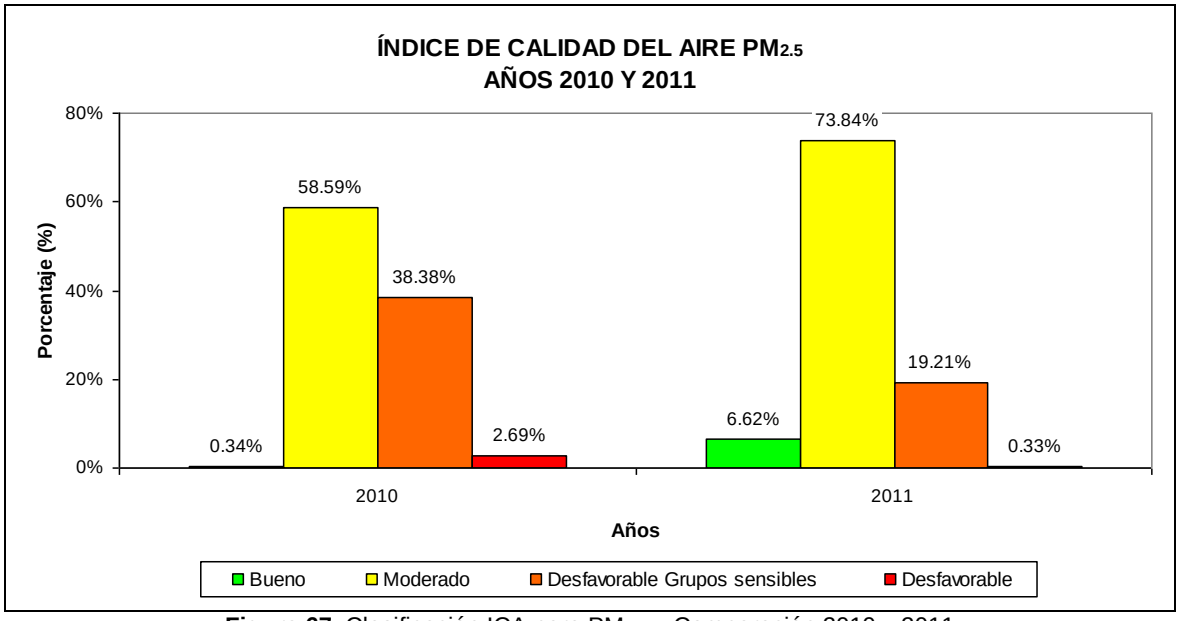


Figura 67. Clasificación ICA para $PM_{2.5}$ – Comparación 2010 y 2011

3.4.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA OZONO (O_3)

El ozono es un gas que se encuentra presente en la tropósfera o estratósfera, dependiendo de la capa en la que se encuentre puede ser benéfico o perjudicial para la salud de las personas. El ozono bueno es el que se encuentra en la estratósfera y forma la capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta (ozonósfera); el ozono nocivo es el que se encuentra cerca de la superficie terrestre y puede ser respirado, causando efectos negativos en la salud

Este contaminante se asocia a síntomas respiratorios especialmente tos. El ozono reduce la función pulmonar y hace más difícil la respiración. Cuando hay exposición a niveles altos de O_3 puede agravar el asma,

La Figura 68 permite determinar que el contaminante durante la mayor parte del año mantiene un índice de calidad en la categoría “Bueno”, sin embargo es el contaminante más crítico después del PM_{10}, ya que son los que superan la norma de calidad del aire que rige en el país.

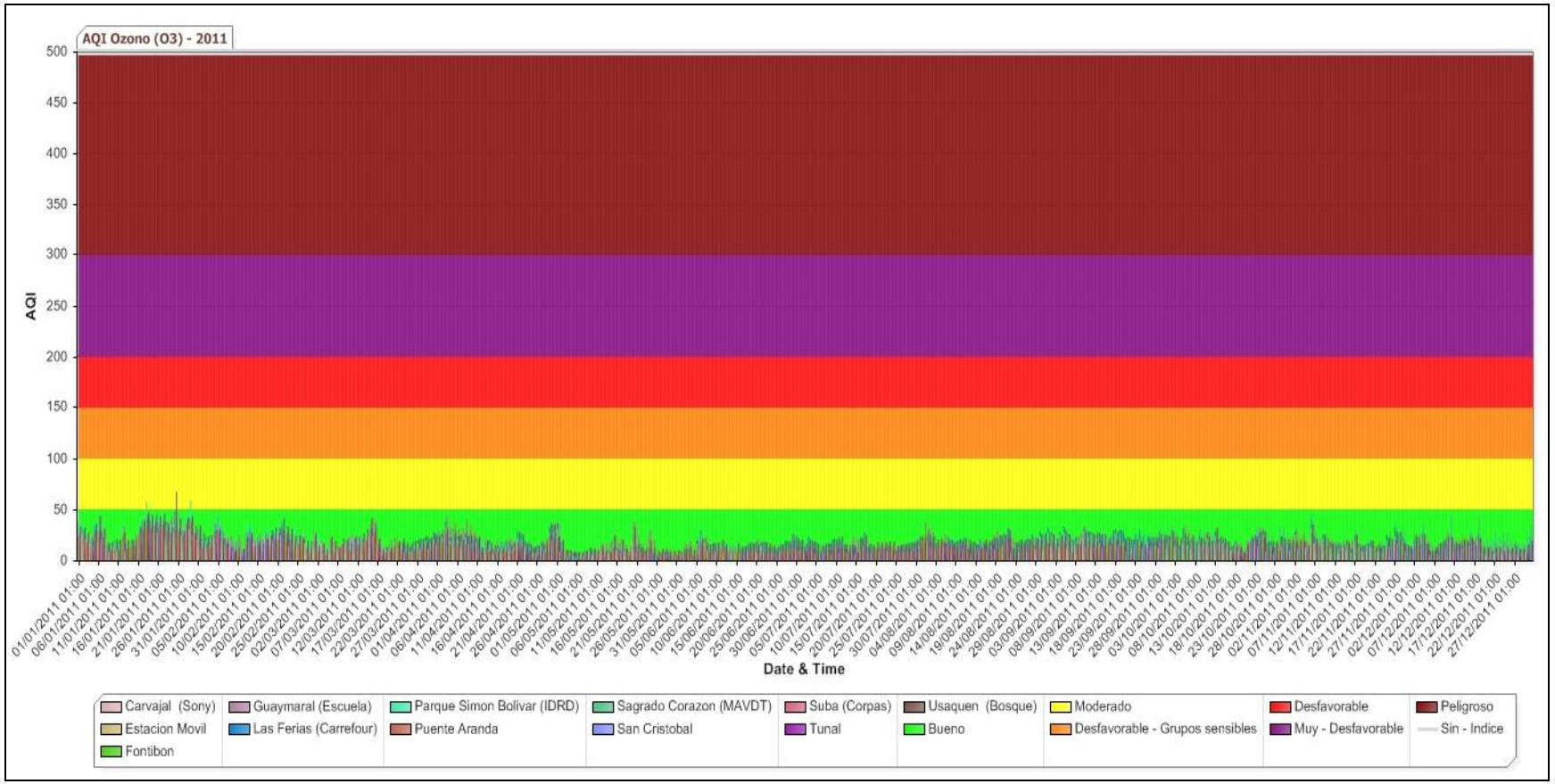


Figura 68. Clasificación ICA para Ozono (O_3) – Año 2011.

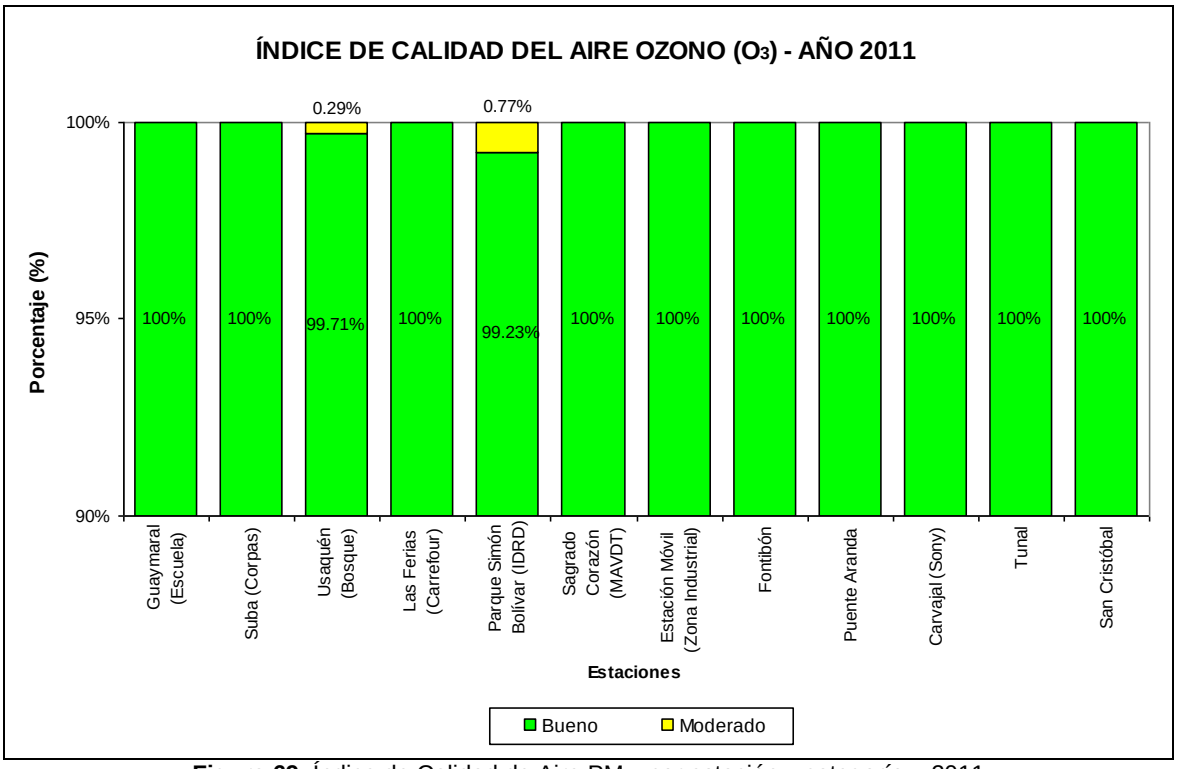
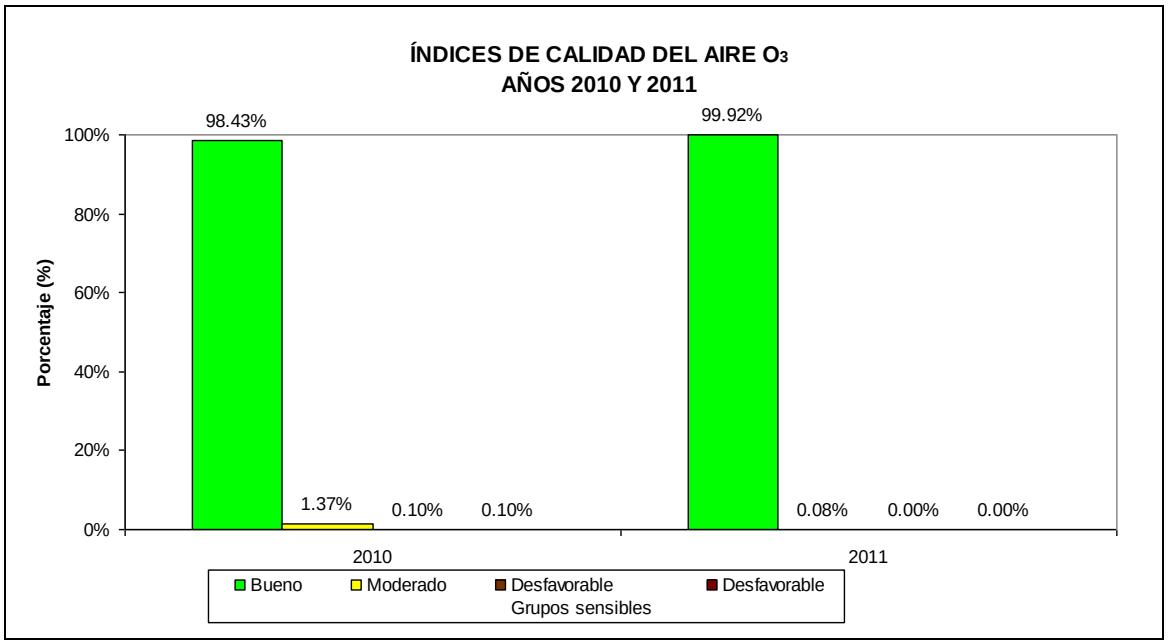


Figura 69. Índice de Calidad de Aire PM_{10} por estación y categoría – 2011

Sólo se presentó categoría "Moderado" en las estaciones de Usaquén y Parque Simón Bolívar (un días y dos días respectivamente), las demás estaciones, como se mencionó anteriormente, mantienen durante el año un índice de calidad "Bueno".



Si se comparan los años 2010 y 2011 se puede observar que el índice de calidad del aire en 2010 alcanzó escalas de "Desfavorable para grupos sensibles" e incluso "Desfavorable", mientras que en 2011 sólo se presentaron ICA "Bueno" y "Moderado".

Las estaciones que registraron los ICA en escalas más nocivas durante 2010 fueron Usaquén y Sagrado Corazón (2 y 1 día respectivamente).

Es importante resaltar que durante 2010 no se encontraba en operación el analizador de O_3 de la estación San Cristóbal el cual entra en funcionamiento durante 2011.

Más malo

3.4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2), DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) Y MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

En cuanto a estos parámetros, la Red Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá no presenta ninguna escala amarilla (moderado) o más bajo. Durante el año sólo se presentaron valores en escala "Bueno" y siempre estuvieron los registros muy por debajo se la norma anual que rige actualmente, como se mencionó en numerales anteriores.

4. METEOROLOGÍA

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el Año 2011. Tal y como aparece registrado en la Tabla 41, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Tabla 41. Estaciones de la RMCAB y variables climatológicas monitoreadas en cada una de ellas.

ESTACION	VARIABLES METEOROLÓGICAS					
	PRECIPITACIÓN	VEL. Y DIR. DEL VIENTO	TEMPERATURA	RADIACION	HUMEDAD RELATIVA	PRESION
No. 1 Usaquén (Bosque)	X	X	X			
No. 3 Carvajal (Sony)	X	X	X			
No. 4 Tunal	X	X		X	X	
No. 5 Parque Simón Bolívar (I.D.R.D)	X	X	X	X	X	
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	X	X	X		X	X
No. 7 San Cristóbal	X	X	X			
No. 8 Guaymaral (Escuela)	X	X	X	X	X	X
No. 9 Kennedy	X	X	X	X	X	X
No. 11 Suba (Corpas)	X	X				
No.12 Zona industrial - Estación Móvil	X	X	X	X	X	X
No. 13 Puente Aranda	X	X	X			
No. 14 Fontibón	X	X	X			X
No. 15 Usme						
No. 16 Vitelma		X	X	X		

Generalidades climatológicas de Bogotá:

Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la

cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad y sus lluvias son generadas especialmente por un tipo de circulación Valle – montaña que se caracteriza por vientos ascendentes durante el día y descendentes durante la noche. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas[13].

4.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro, conformado de partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo. Existen varios tipos de precipitación dependiendo de la cantidad o forma en que caen las partículas, el diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, (1 mm de precipitación es la lámina que alcanzaría un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado, sin que se evapore o percole), y caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. Dependiendo del tamaño de las gotas que lleguen al suelo y de cómo caigan existen distintos tipos de precipitación líquida: llovizna (gotas pequeñas que caen uniformemente), chubasco (gotas de mayor tamaño y que caen de forma violenta e intensa), etc.

Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá desde el punto de vista horario y mensual se resumen en la Figura 70, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan en horas de la tarde y primeras horas de la noche.

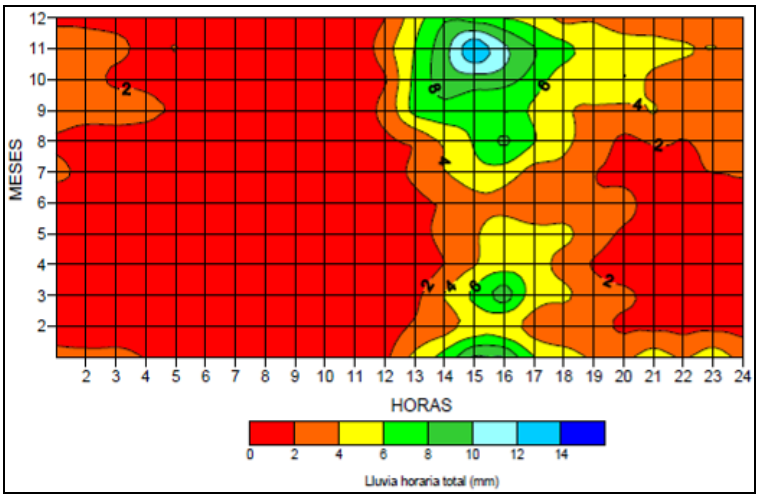


Figura 70. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto El Dorado en Bogotá.
Fuente: IDEAM

El comportamiento de la precipitación en Bogotá durante el año 2011 estuvo asociado al enfriamiento de las aguas del océano Pacífico en donde las anomalías de temperatura superficial del mar alcanzaron los -1.2°C siendo Noviembre y Diciembre los meses con

[13] *La precipitación en Colombia. Hurtado 1998*

menor temperatura. No obstante los meses de mitad de año se presentaron condiciones neutrales lo que disminuyó de manera significativa las precipitaciones en la ciudad, la Figura 71 representa las condiciones históricas de este fenómeno; según datos de *The International Research Institute for Climate and Society* (IRI) [2], las anomalías de temperatura estuvieron por debajo de -0,5 °C en dos oportunidades del año. A partir del mes de julio se registró un nuevo descenso de las SST (Sea Surface Temperature) retornando nuevamente a las condiciones de la niña en el mes de Septiembre.

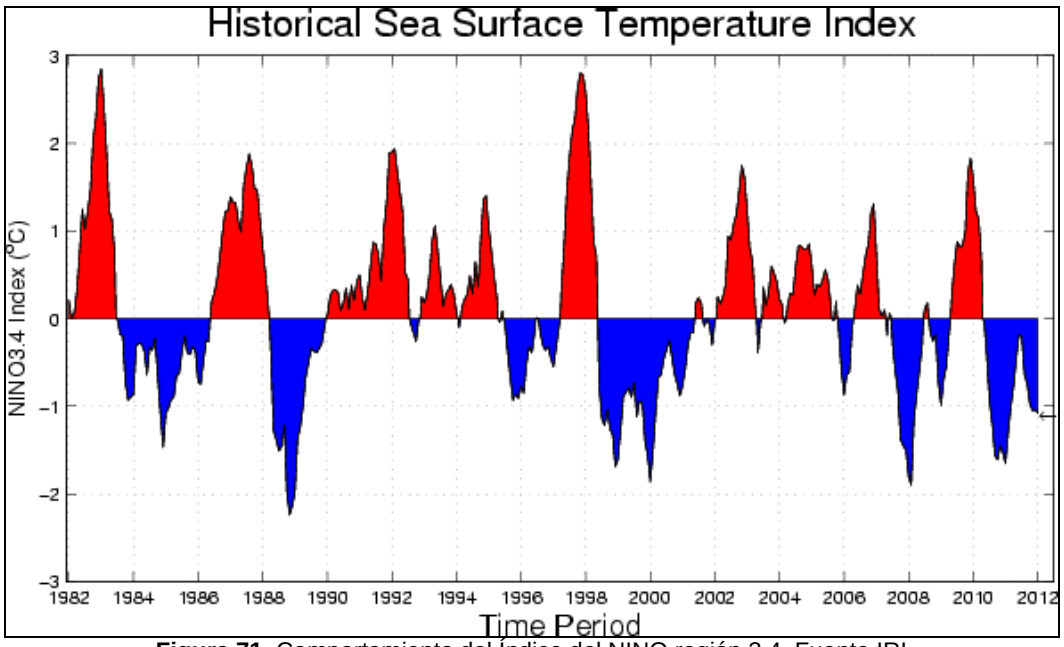


Figura 71. Comportamiento del Índice del NINO región 3.4. Fuente IRI

La presencia de este evento modificó de manera significativa las precipitaciones en el año, contrastándolo con el acumulado de precipitación del promedio 1997-2010. La Figura 74 muestra estas cifras en mm discriminados mensualmente y su comparación con los acumulados medidos por la RMCAB para cada uno de los meses de 2011. La Figura 72 presenta la serie de tiempo histórica de las estaciones activas de la RMCAB desde agosto de 1997 y la Figura 73 presenta la serie horaria en 2011. Obsérvese en la serie de tiempo histórica los últimos registros, en donde se manifiesta un aumento significativo de los acumulados de precipitación y que alcanzan valores record; esto sucedió a finales de 2010, principios de 2011 y finales del año.

Cada estación tiene a su lado el año en que empezó a operar; a los datos se les ha practicado un control de calidad para eliminar los outliers y datos atípicos en resolución horaria el cuál consistió en generar intervalos de confianza según un número determinado de desviaciones estándar considerando la variabilidad horaria de cada serie.

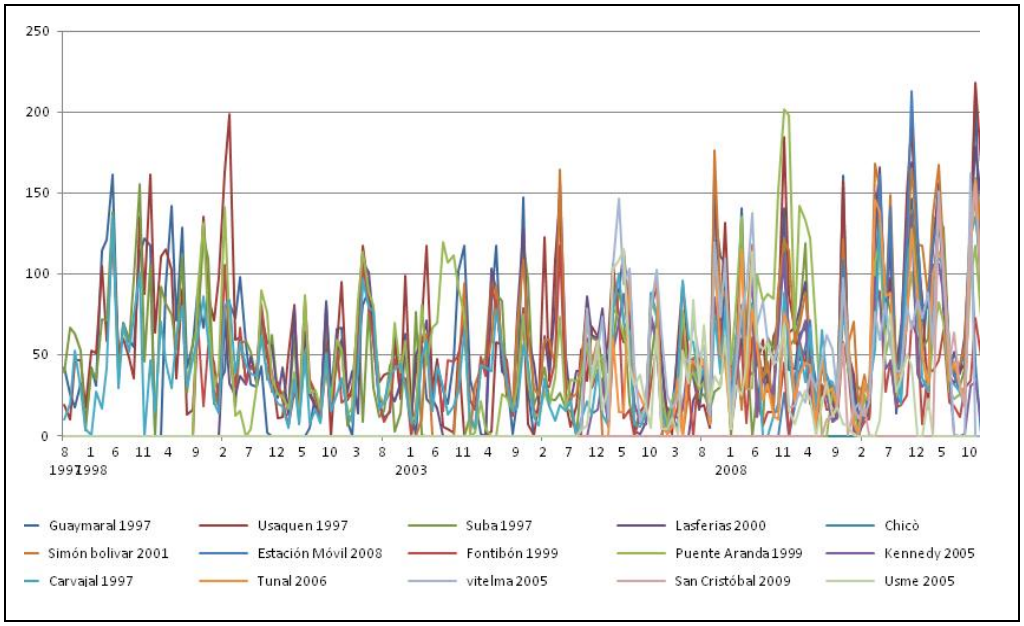


Figura 72. Serie de tiempo de las precipitaciones promedio en escala mensual desde agosto de 1997 hasta septiembre de 2011 para las estaciones en funcionamiento de la RMCAB.

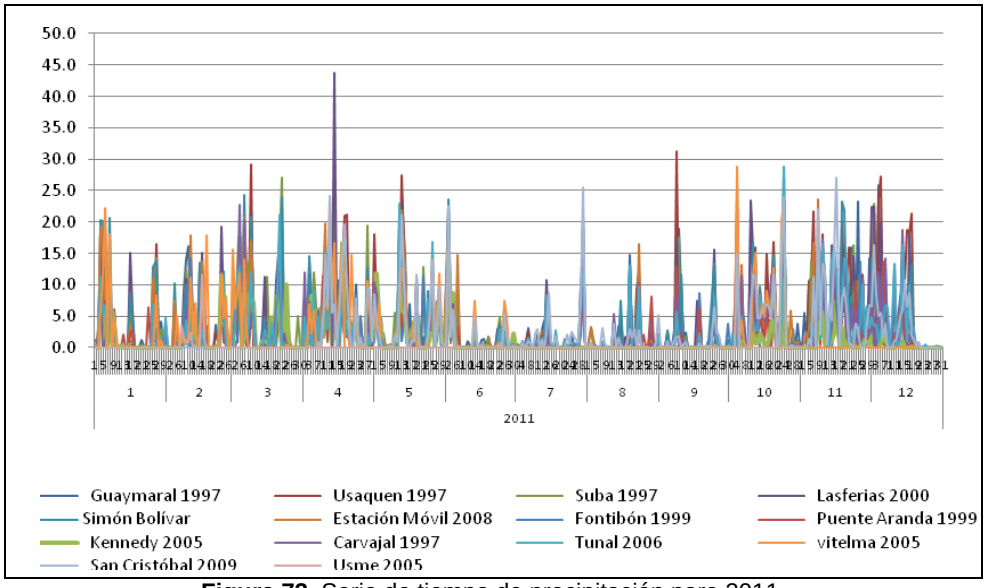


Figura 73. Serie de tiempo de precipitación para 2011.

La Figura 74 presenta el acumulado promedio mensual históricos desde 1998 hasta 2010 y de los valores del año 2011. Se observa que para el Año 2011, los valores más importantes se registraron en el mes de noviembre con un acumulado de 144.9 mm (promedio de los registros de todas las estaciones que reportan esta variable, según la Tabla 41) y en abril con 129.9 mm.

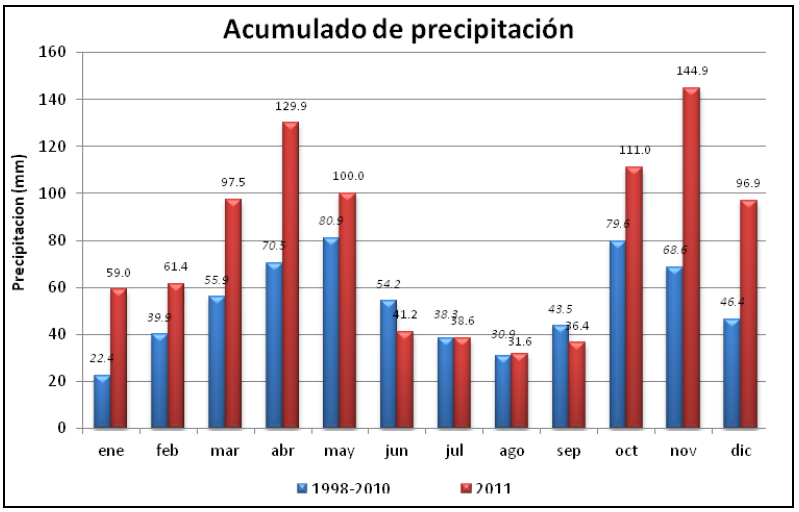


Figura 74. Acumulado promedio de precipitación de la RMCAB del periodo 1998 – 2010. Comparada con el registro promedio de 2011.

La influencia del ENOS en Bogotá es significativamente alta y particularmente en esta temporada, ya que para el año 2011 aumentó considerablemente la lluvia mientras se mantuvo el fenómeno de la Niña; mientras que en condiciones neutrales incluso se registró una disminución de las precipitaciones comparándola con los registros históricos de la red. La Tabla 42 representa la variación porcentual de estas comparaciones.

Tabla 42. Variación porcentual de la precipitación promedio 2011 comparada con el periodo 1998 – 2010

Mes	Variación porcentual
Enero	163.3%
Febrero	53.7%
Marzo	74.3%
Abril	83.9%
Mayo	23.0%
Junio	-25.3%
Julio	-5.8%
Agosto	-4.0%
Septiembre	-19.9%
Octubre	37.3%
Noviembre	106.9%
Diciembre	103.7%

Por su parte la Figura 75 muestra que el acumulado de precipitación estuvo por encima de los registros de los años anteriores siendo este valor el mayor reportado con 948.3 mm seguido de 1998 con 891,7 mm (aunque para ese año no contaba con la cobertura actual de estaciones) y de 2010 con 867,6 mm. También se evidencia que el menor acumulado de precipitación en años anteriores se presentó en 2001, con un valor de 417.2 mm, seguido de 2009 con 556,6 mm. Los días de lluvia en Bogotá para el año 2011 registraron un promedio de 2,8 mm diarios por día de precipitación.

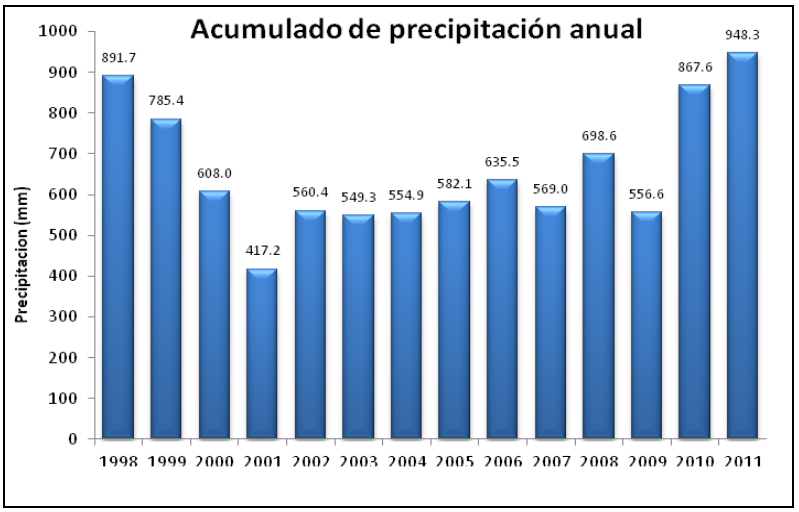


Figura 75. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones de la RMCA en el tercer trimestre desde 1998 hasta 2011.

Con respecto a los valores promedio de días de precipitación tomados en el periodo 1998-2011, el aumento más representativo se presentó en el mes de enero, con una diferencia de nueve días (los días de lluvia se estiman considerando el registro de cada estación independiente, es decir que si solo una estación reportó lluvia, este día cuenta como día lluvia). Es así como la Figura 76 presenta el número total de días de precipitación para cada uno de los meses del año 2011. Se observa que todos los meses estuvieron por encima de los históricos de la Red salvo los meses de mayo y julio. La Tabla 43 presenta el porcentaje de variación de los días de precipitación.

Tabla 43. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2011 comparada con el periodo 1998–2010

Mes	Variación porcentual
Enero	44%
Febrero	29%
Marzo	0%
Abril	12%
Mayo	-1%
Junio	-2%
Julio	14%
Agosto	7%
Septiembre	3%
Octubre	14%
Noviembre	16%
Diciembre	12%

Comparado con los años anteriores, el Año 2011 estuvo por encima de los promedios con respecto a los días de precipitación en Bogotá con un total de 334 días, similar a 2006 y solamente superado en 2008 con 340 días, tal como se puede apreciar en la Figura 77. 2001 presentó el menor número de días de lluvia anual con 253 días seguido de 2002 con 265 días.

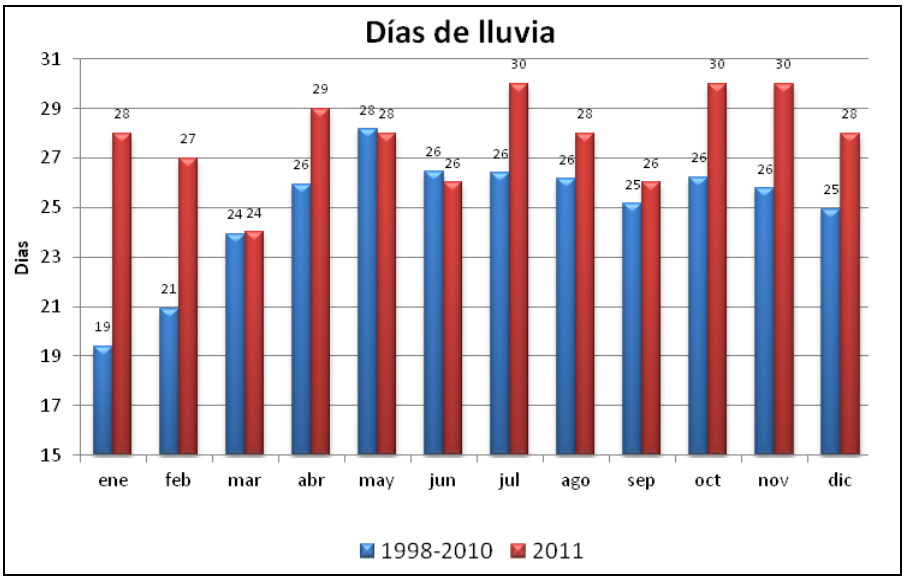


Figura 76. Días de precipitación mensual de las estaciones de la RMCAB desde 1998-2010 comparada con el promedio para los meses del año 2011.

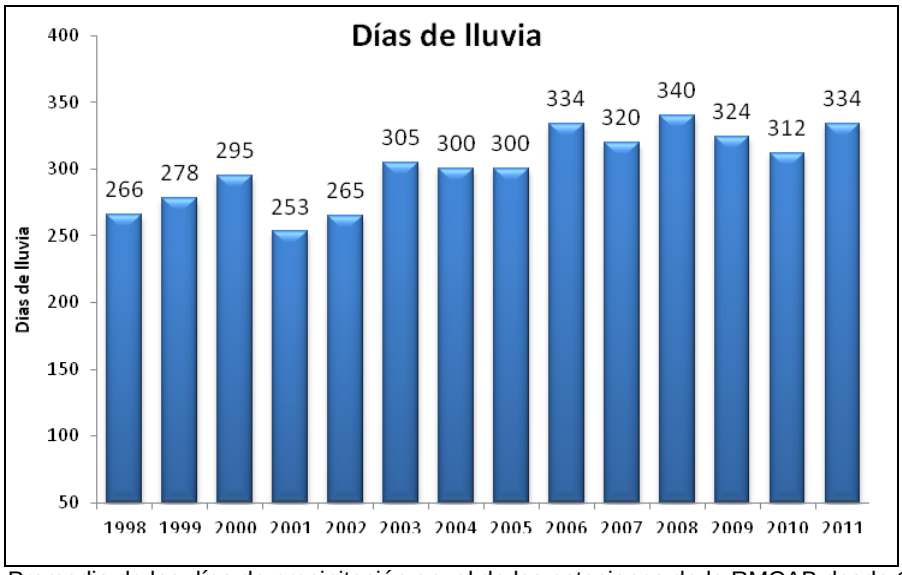


Figura 77. Promedio de los días de precipitación anual de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2011.

En la Figura 78 se observan los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB anual para el periodo 1998-2011. Junto con la Tabla 44, se puede apreciar que en el año 2011 se midieron lluvias entre moderadamente a muy por encima de lo normal, según los índices de precipitación.

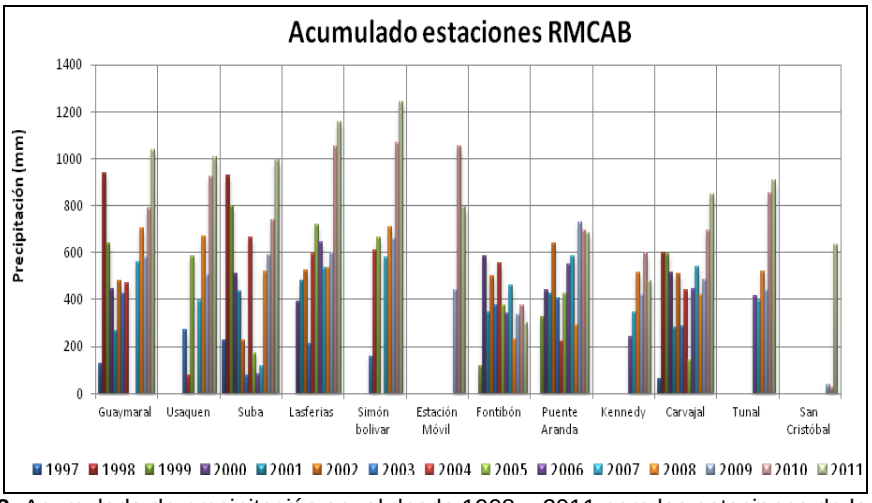


Figura 78. Acumulado de precipitación anual desde 1998 – 2011 para las estaciones de la RMCAB.

Tabla 44. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2011 y su respectivo índice de precipitación.

Año / Estación	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	IP
Guaymaral (Escuela)	936.9	639	444.3		480	422.7	471.5			558.3	705.7	577	788.7	1037	172.1%
Usaquén (Bosque)								585.6		393.8	668.1	503.4	921.5	1009.9	164.4%
Suba (Corpas)	928.6	800.7	510	435.8			663.2				516.9	587.6	739.4	990.9	153.0%
Las Ferias (Carrefour)			388.7	477.7	525.2		594.8	716.6	642.1	532	535.4	597.6	1053.2	1154.9	190.5%
Parque Simón Bolívar							609	664.5		579.3	708.6	660.7	1065.4	1241.4	173.7%
Estación Móvil												437.2	1050.7	793.2	106.6%
Fontibón 1999			585.6	346.8	497	377.2	553.2	375.6	341.3	458	231.4	334	374.5	300.9	74.0%
Puente Aranda 1999				427	641	406.8	222.6	425.4	550	582		729.5	692	681.4	131.1%
Kennedy 2005										347	514.3	419.8	599.4	477.7	101.6%
Carvajal 1997	596.8	593.2	512.7	277.9	510.8	287.4	437.8		445.8	540	422.1	486.5	693.2	848.6	175.4%
Tunal 2006										396.2	519.2	440.9	855	908	164.2%
San Cristóbal 2009														633.7	

** El índice de precipitación se interpreta de la siguiente manera:

0-30 %	lluvias muy por debajo de lo normal (periodo extremadamente seco)
31-60 %	lluvias moderadamente por debajo de lo normal (periodo muy seco)
61-90 %	lluvias ligeramente por debajo de lo normal (periodo seco)
91-110 %	lluvias normales para el periodo
111-140 %	lluvias ligeramente por encima de lo normal (periodo lluvioso)
141-170 %	lluvias moderadamente por encima de lo normal (periodo muy lluvioso)
Mayor de 170 %	lluvias muy por encima de lo normal (periodo extremadamente lluvioso)

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, característica de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. La Tabla 45 muestra que la estación del Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos, detectó lluvias en 180 oportunidades con un promedio de 6.9 mm por día de lluvia, la estación de Guaymaral con un total de 196 días de precipitación con un valor de 5.3 mm por día de lluvia, Suba y Puente Aranda 153 y 155 días cada uno con 4.7 y 3.2

mm por día de lluvia respectivamente. La estación de Carvajal 133 días con 6.2 mm por día de precipitación y la estación de Tunal con 135 días y 6.7 mm por día de precipitación.

Tabla 45. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 – 2011.

Estaciones \ Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Guaymaral 1997	188	172	147		175	181	162			202	219	202	212	196
Usaquén 1997								157		160	169	140	198	121
Suba 1997	221	222	200	173			191				176	160	211	153
Las Ferias 2000			153	134	128		149	187	161	146	176	161	216	151
Parque Simón Bolívar 2001							186	183		168	200	209	243	180
Estación Móvil 2008												144	203	151
Fontibón 1999			166	124	130	137	143	137	115	146	129	132	177	121
Puente Aranda 1999				138	147	210	124	209	216	199		172	213	155
Kennedy 2005										140	162	128	179	116
Carvajal	158	188	194	116	154	131	154		153	159	129	149	187	136
Tunal 2006										146	160	144	190	135
San Cristóbal 2009														107

En el año 2011, el primer y cuarto trimestre presentaron los mayores acumulados de precipitación de acuerdo con lo observado en la Figura 79 y la Figura 74. No obstante en cada trimestre los días de precipitación corresponden a valores normales salvo el primer y cuarto trimestre este último reportó el mayor número de días de precipitación desde 1998. La Figura 78 muestra que en el año 2011 las estaciones de Guaymaral, Usaquén, Suba, Las Ferias, Parque Simón Bolívar Carvajal y Tunal reportaron los mayores valores de acumulado de precipitación desde su puesta en operación.

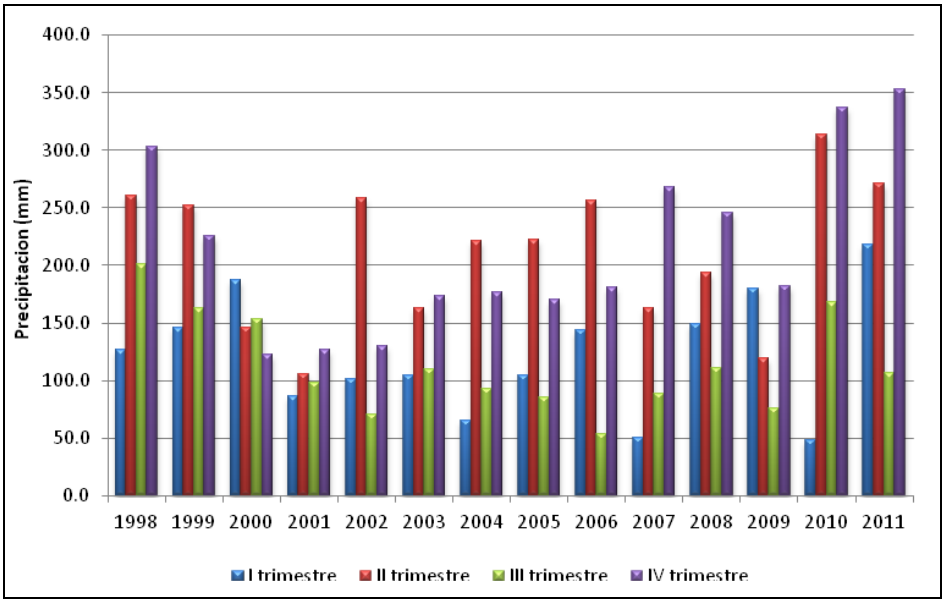


Figura 79. Acumulado de precipitación de cada estación en los trimestre de 1998-2011.

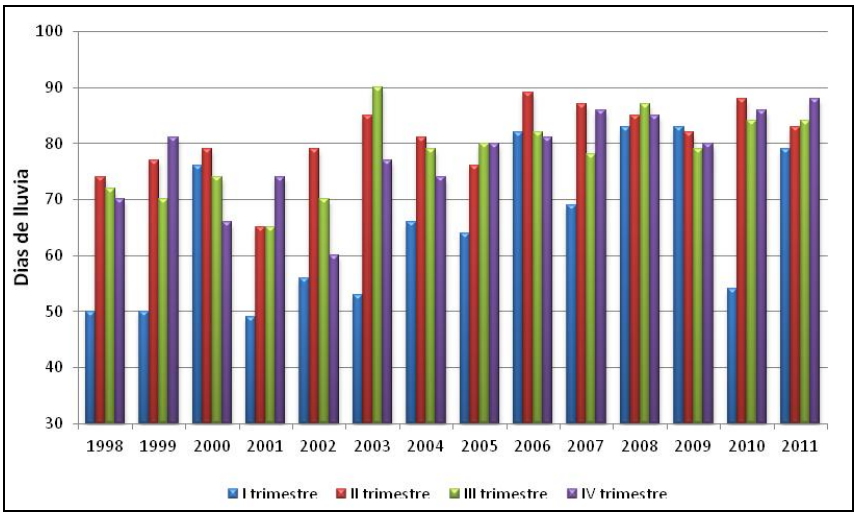


Figura 80. Días de precipitación de cada trimestre de 1998-2011.

La Figura 81 presenta los acumulados horarios de precipitación para el año 2011 y su comparación con el acumulado promedio de 1998-2010. Como es común en horas de la mañana, de las 9:00 a las 11:00 fue relativamente inusual la presencia de precipitación en la ciudad, mientras que en horas de la tarde, en particular las 16:00, las precipitaciones fueron altas debido al calentamiento diurno. Solamente en las horas 10:00 y 11:00 horas se reportaron valores menores a los esperados.

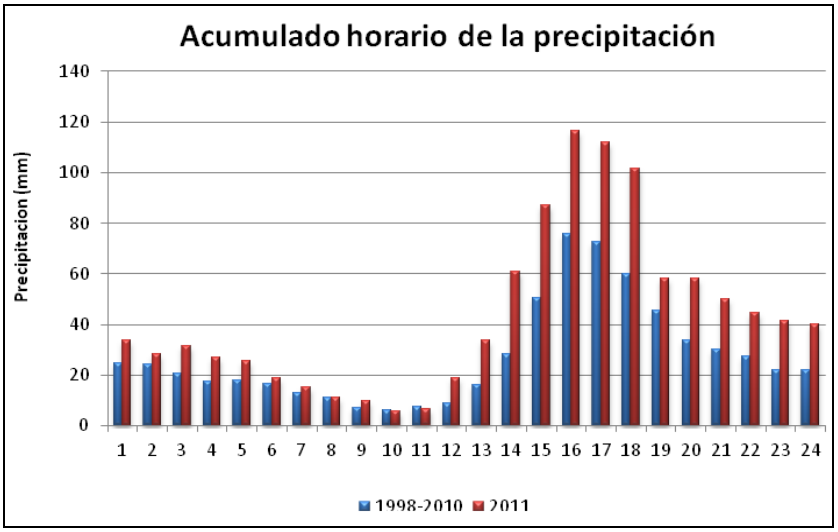


Figura 81. Acumulados horarios de precipitación para el 2011 y su comparación con el promedio 1998 – 2010.

La Figura 82 esquematiza el acumulado horario para el promedio de las estaciones de la RMCAB de manera que el eje de las abscisas muestra las horas del día mientras que las ordenadas los meses. Los colores muestran la cantidad de precipitación en milímetros que se acumuló en una hora específica para determinado mes. En promedio se observa que la mayor cantidad de agua se precipitó entre las 16:00-17:00 horas en el mes de

noviembre – diciembre; es interesante resaltar que en el año solamente se registró una temporada seca correspondiente al mes de junio aunque en las madrugadas si fue clara la bimodalidad de la precipitación, la primera en el trimestre abril mayo y junio y la segunda en septiembre octubre y noviembre.

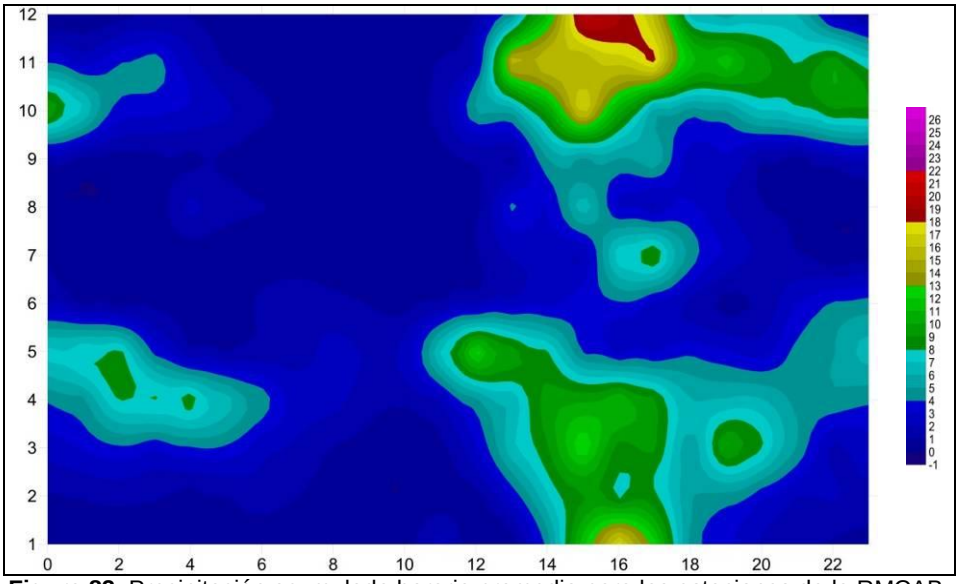
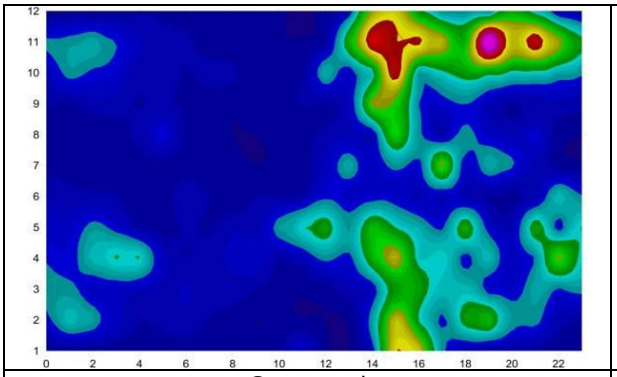
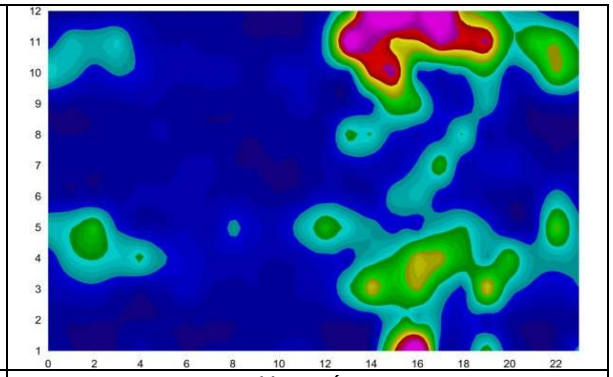


Figura 82. Precipitación acumulada horaria promedio para las estaciones de la RMCAB.

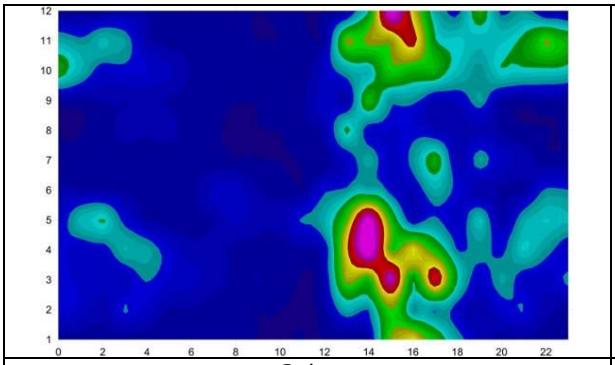
Por su parte, la Figura 83 resume las condiciones de cada estación en particular de manera análoga a la Figura 82. La estación de Guaymaral muestra lluvias considerables luego de las dos de la tarde siendo las más importantes en octubre y noviembre, comportamiento similar para la estación de Las Ferias. Suba registró valores importantes incluso en marzo abril y mayo después del medio día, mientras que Parque Simón Bolívar arrojó acumulados relevantes en horas de la noche, en marzo abril, septiembre y octubre similar a estación Z. Industrial - Móvil. El resto de estaciones mostraron el comportamiento normal para la temporada.



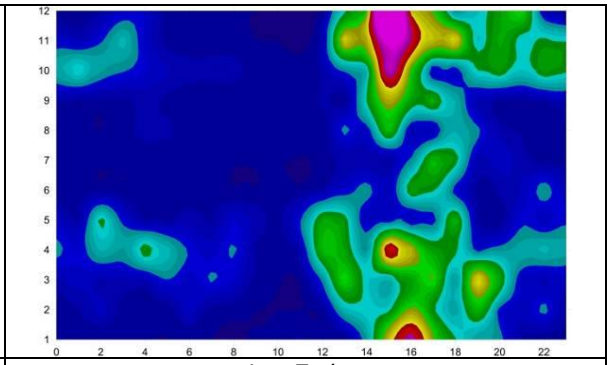
Guaymaral



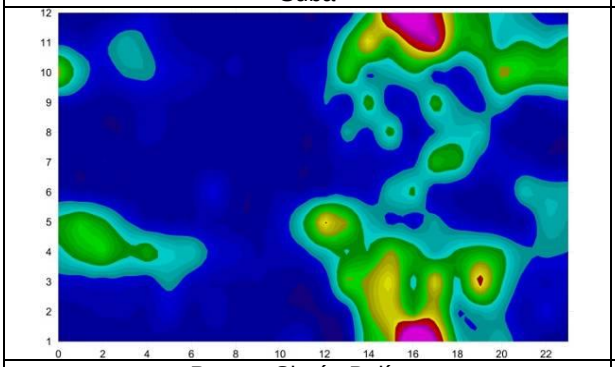
Usaquén



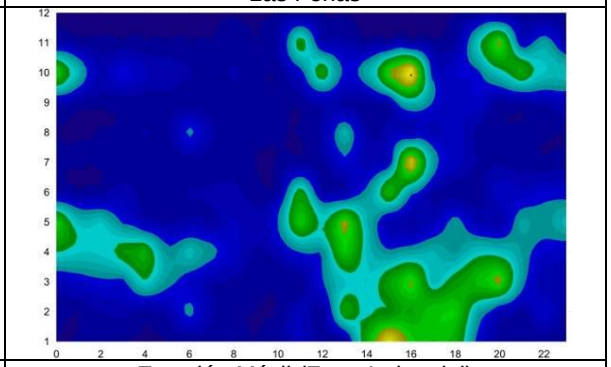
Suba



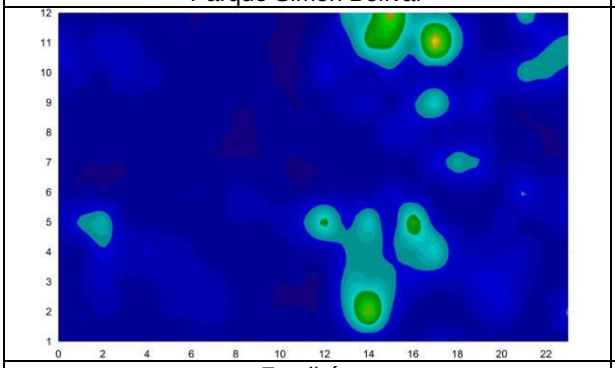
Las Ferias



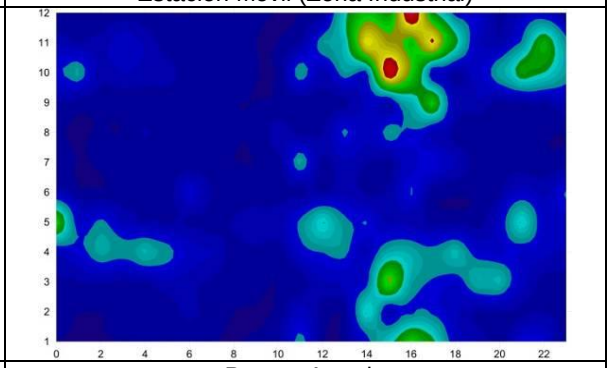
Parque Simón Bolívar



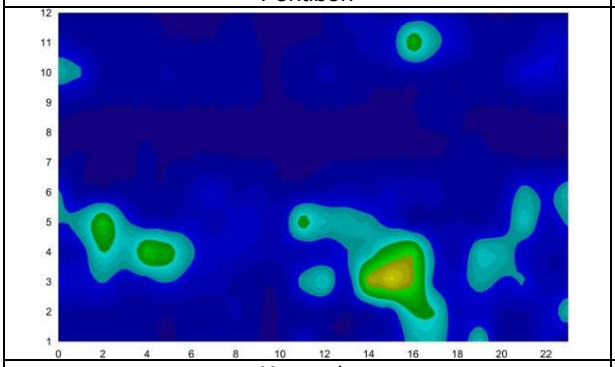
Estación Móvil (Zona Industrial)



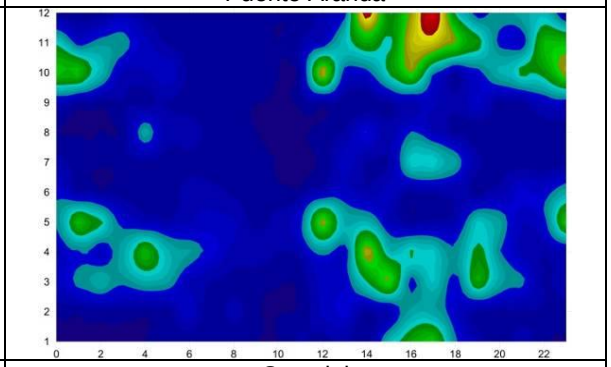
Fontibón



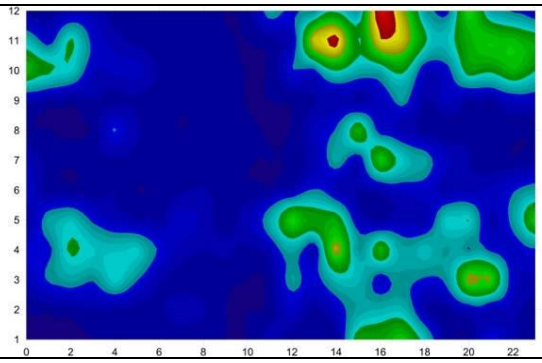
Puente Aranda



Kennedy



Carvajal



Tunal

Figura 83. Precipitación acumulada horaria para las estaciones de la RMCAB.

El mapa de la Figura 84 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación para 2011 sobre esta superficie. Los mapas están divididos en 17 clases partiendo como dato mínimo 650 mm y máximo 1250 mm. Los sectores en gris, al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, altura, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. Se puede observar los dos sectores con menos precipitación de la capital, la estación de Fontibón que abarca la localidad de su mismo nombre. Los mayores acumulados se encuentran en el sector Norte y Centro hacia Barrios Unidos y Norte de Teusaquillo además de algunos sectores de Usaquén y Suba, representados por la estación de Parque Simón Bolívar Usaquén y Suba.

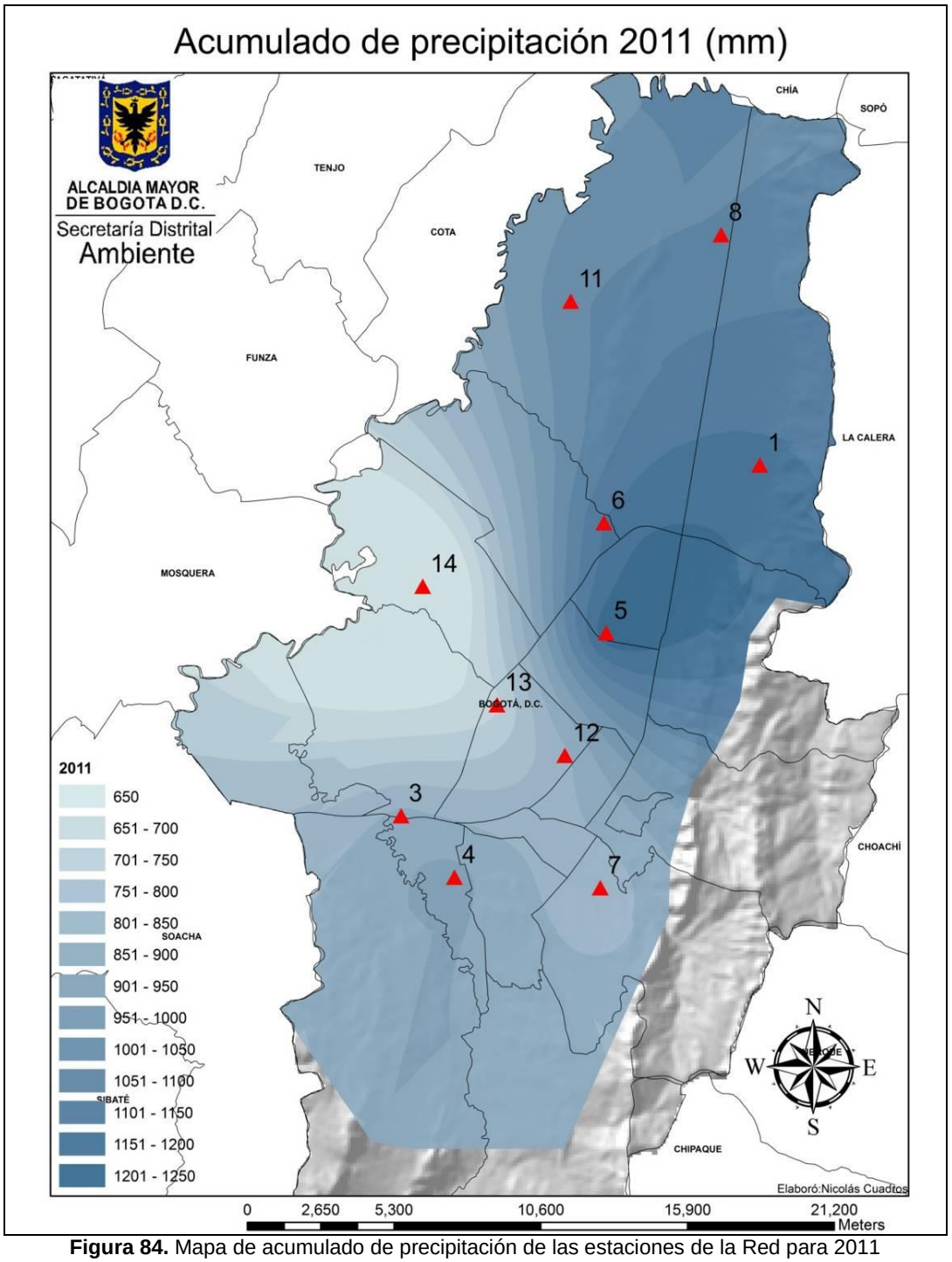
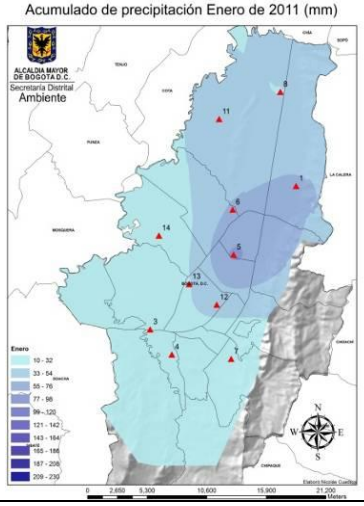
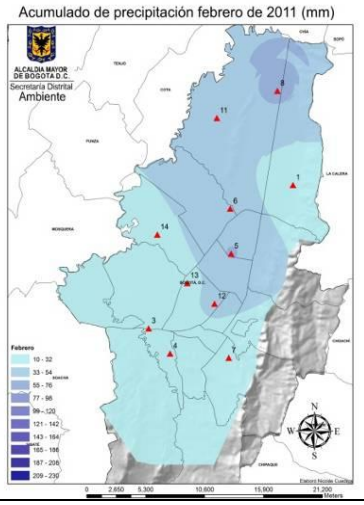


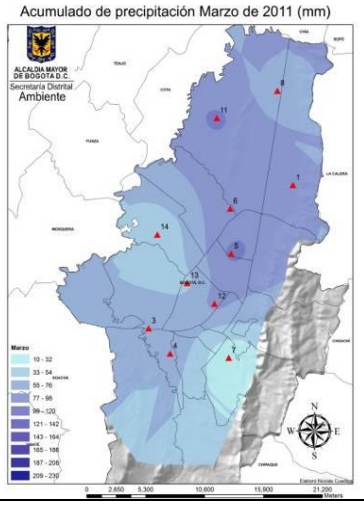
Figura 84. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la Red para 2011



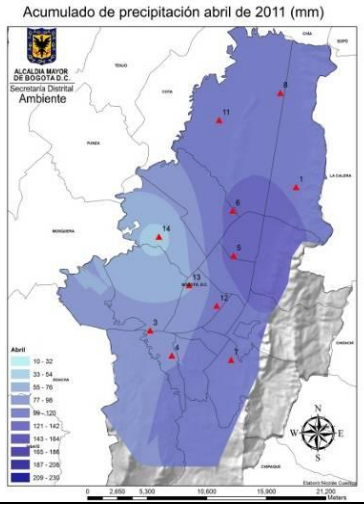
Enero



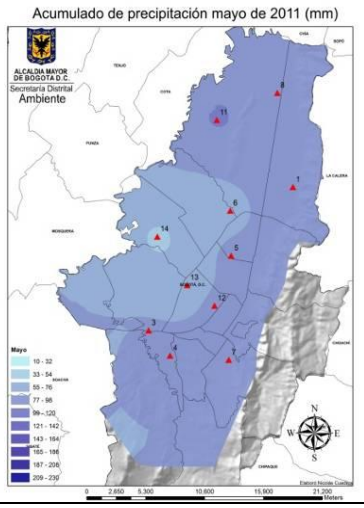
Febrero



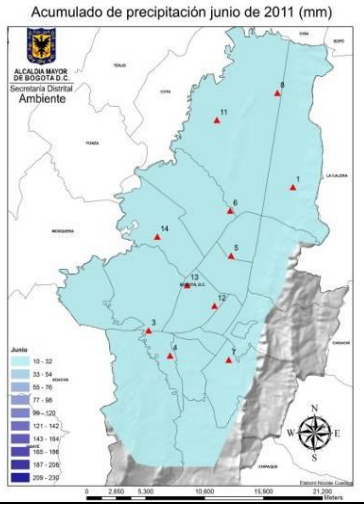
Marzo



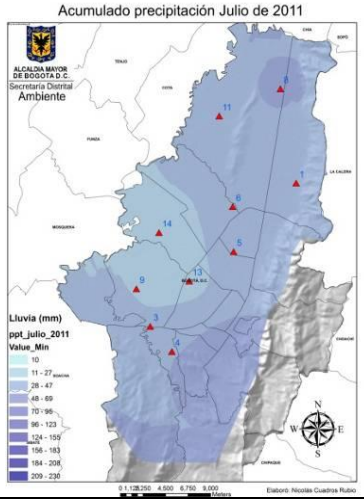
Abril



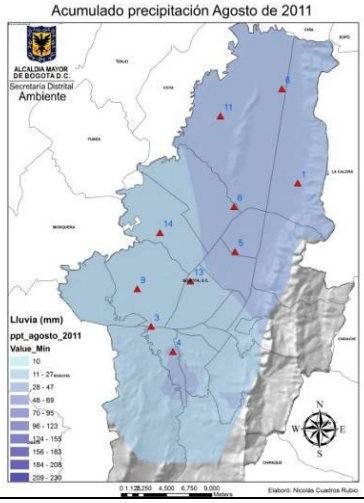
Mayo



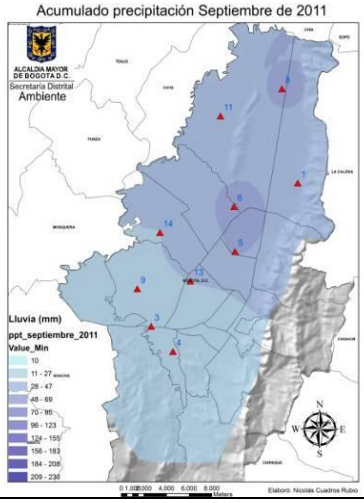
Junio



Julio



Agosto



Septiembre

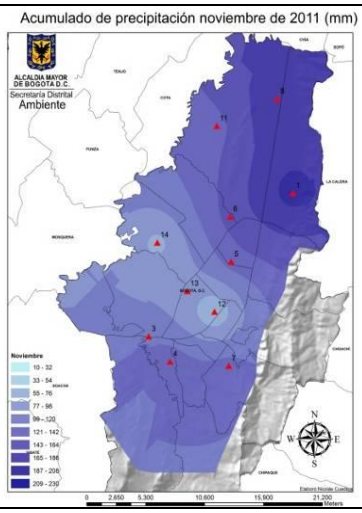
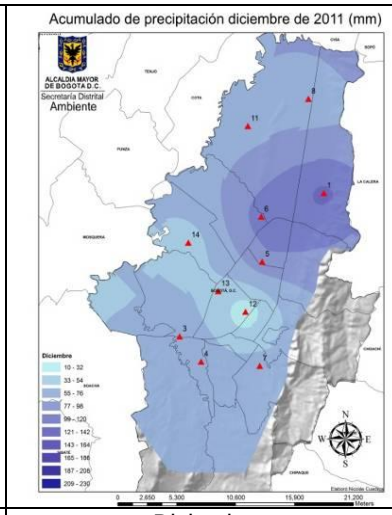
		
Octubre	Noviembre	Diciembre

Figura 85. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para 2011.

Los mapas de la Figura 85 presentan la precipitación sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del Año 2011 en los cuales se observa la evolución de la precipitación. En noviembre se concentraron los mayores acumulados de precipitación, principalmente hacia el Norte de la ciudad, mientras que al occidente se presentaron los menores acumulados principalmente sobre Puente Aranda. El mes que menor precipitación registró correspondió a junio, en donde los valores no superaron los 32mm, acorde con la Figura 74.

4.2. VIENTOS

El comportamiento de los vientos en Colombia responde a los vientos alisios del Noreste y Sudeste, los cuales confluyen en la región intertropical formando una zona de baja presión llamada zona de confluencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país1. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, tal es el caso del fenómeno del Niño. Otro aspecto que influye depende de las condiciones orográficas, las diferencias horizontales de temperatura en una montaña producen alteraciones locales del viento que genéricamente se llaman brisas. La brisa terrestre, llamada circulación valle-montaña, montaña-valle, se debe a diferencias de temperatura entre las montañas y el aire libre que las rodea, en la mañana se presenta un brisa soplando junto al suelo desde los valles y llanuras hacia las laderas que están recibiendo el Sol (solana), remontándolas. De noche desciende una brisa desde las montañas a los valles y llanuras.

En la ciudad de Bogotá, el comportamiento de los vientos se caracteriza por ser de velocidades bajas en las mañanas y de mayor intensidad en las tardes; esta tendencia se

conserva en el año de estudio. Durante dicho periodo, la dirección y velocidad del viento en la ciudad se registró en trece estaciones de la RMCAB, según se reporta en la Tabla 41. La Figura 86 esquematiza la serie de tiempo en resolución diaria para las estaciones de la RMCAB que funcionan actualmente desde el año 1997 y la Figura 87 presenta la serie en formato horario en el año 2011. La Tabla 46 resume el comportamiento de la velocidad del viento para los meses de 2011 y para 4 grupos de horas distintas; la Tabla 47 presenta los valores de velocidad máxima en el año. Fontibón y Puente Aranda son las estaciones en que se registraron los mayores valores de velocidad de viento seguido de Kennedy. La velocidad de los vientos es agrupada según la frecuencia en la escala de Beaufort, como se presenta en la Figura 90, la cual esquematiza el porcentaje histórico anual y el porcentaje de frecuencias en el año 2011 para cada estación. Así mismo la predominancia de los vientos en general varía según la estación como se observa en la Figura 89 la cual presenta la rosa de los vientos horaria y el porcentaje de frecuencias de la dirección de los vientos comparada con los históricos, según la fecha de inicio de cada estación.

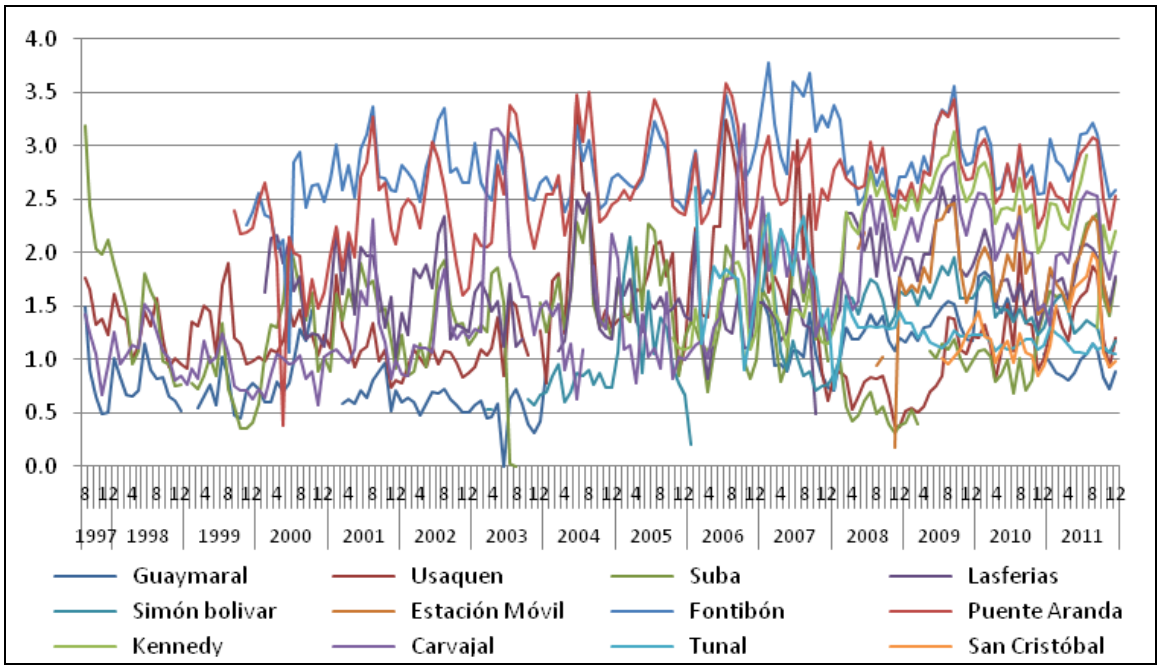


Figura 86. Serie de tiempo en resolución mensual de la velocidad del viento mensual promedio de las estaciones activas de la RMCAB

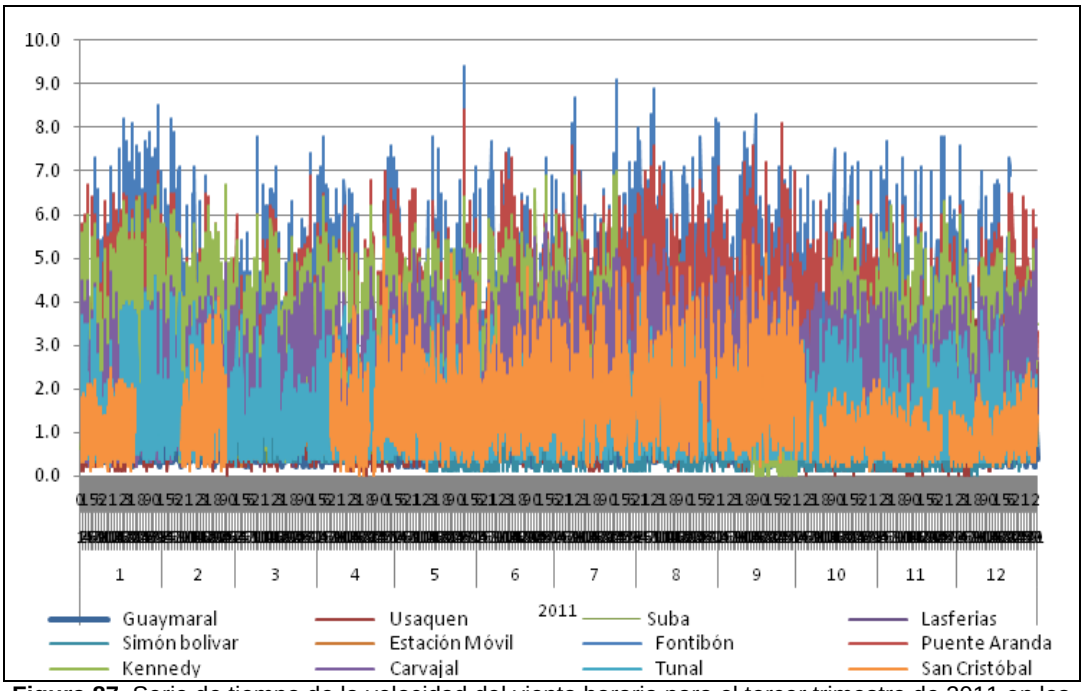


Figura 87. Serie de tiempo de la velocidad del viento horaria para el tercer trimestre de 2011 en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 46. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1 – 6, 7 – 12, 13 – 18 y 19 – 24 horas en 2011

a) Hora: 1 – 6
Año: 2011

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4
Usaquén (Bosque)	0.7	1.0	0.8	0.7	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	0.7	0.5	0.7	0.9
Suba (Corpas)	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	1.5	1.5	1.5	1.6	1.1	1.0	1.1	1.2
Las Ferias (Carrefour)	1.1	1.1	1.2	1.0	1.2	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	1.2	1.2
Parque Simón Bolívar (IDRD)	0.7	1.0	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.4	0.5	0.5	0.7
Estación Móvil (Zona Industrial)	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0		1.3
Fontibón	1.8	2.0	2.1	1.8	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	1.8	1.6	1.7	1.9
Puente Aranda	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	1.8	1.9	2.0	1.7	1.5	1.6	1.8
Kennedy	1.4	1.5	1.5	1.4	1.6	1.7	1.8		0.5	1.3	1.1	1.3	1.4
Carvajal (Sony)	0.5	1.2	1.5	1.2	1.5	1.8	1.8	1.7	1.8	1.3	1.1	1.2	1.4
Tunal	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7
Vitelma	2.4	1.9	0.8	1.6	1.8	1.7	1.7		2.2	1.7			1.9
San Cristóbal	1.2	1.4		1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.7	1.0	0.9	0.9	1.3

b) Hora: 7 – 12
Año: 2011

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6	0.8	0.8
Usaquén (Bosque)	0.9	1.3	1.0	0.9	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.0	0.8	0.9	1.1
Suba (Corpas)	1.8	1.7	1.5	1.5	1.9	2.1	2.3	2.3	2.4	1.5	1.4	1.7	1.8
Las Ferias (Carrefour)	1.4	1.4	1.5	1.2	1.5	1.9	1.8	1.8	1.7	1.3	1.3	1.6	1.5
Parque Simón Bolívar (IDRD)	1.1	1.3	1.4	1.2	1.0	1.2	1.3	1.1	1.1	0.8	0.8	1.0	1.1
Estación Móvil (Zona Industrial)	1.5	1.5	1.3	1.2	1.6	1.8	1.9	1.9	2.0	1.4	1.2		1.6
Fontibón	2.1	2.3	2.2	2.0	2.3	2.8	2.7	2.6	2.6	2.1	1.9	2.2	2.3
Puente Aranda	1.8	2.0	2.0	1.8	2.2	2.6	2.5	2.6	2.5	1.9	1.7	2.0	2.1
Kennedy	1.7	1.9	1.7	1.7	2.0	2.3	2.5		0.9	1.6	1.5	1.8	1.8
Carvajal (Sony)	0.8	1.6	1.6	1.6	1.9	2.3	2.3	2.3	2.2	1.5	1.5	1.6	1.8
Tunal	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9
Vitelma	1.8	1.8	1.2	1.4	1.4	1.5	1.6		2.1	1.6			1.6
San Cristóbal	0.9	1.2		1.0	1.3	1.4	1.4	1.6	1.4	0.9	0.8	0.8	1.2

c) Hora: 13 – 18
Año: 2011

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	1.8	1.6	1.6	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.0	1.6	1.4	1.7	1.7
Usaquén (Bosque)	1.9	2.1	2.1	1.9	2.3	2.1	2.4	2.8	2.6	1.9	1.6	1.9	2.1
Suba (Corpas)	2.5	2.3	2.6	2.2	2.6	2.9	3.4	3.5	3.5	2.5	2.1	2.7	2.7
Las Ferias (Carrefour)	3.1	2.6	2.7	2.6	2.5	3.0	3.0	3.1	3.0	2.7	2.4	2.7	2.8
Parque Simón Bolívar (IDRD)	2.8	2.6	2.7	2.6	2.1	2.1	2.1	2.3	2.1	2.3	2.1	2.1	2.3
Estación Móvil (Zona Industrial)	3.1	2.6	2.5	2.3	3.0	2.9	3.3	3.5	3.4	2.7	2.3		2.9
Fontibón	5.5	4.5	4.3	4.5	4.4	4.7	4.9	5.3	4.9	4.7	4.5	4.4	4.7
Puente Aranda	4.5	3.8	3.8	3.7	4.2	4.4	4.6	4.8	4.6	4.1	3.6	4.0	4.2
Kennedy	4.4	4.0	3.8	3.8	3.9	4.1	4.5		2.4	3.9	3.6	3.6	3.8
Carvajal (Sony)	2.6	2.9	3.0	3.0	3.3	3.5	3.7	3.7	3.6	3.1	2.8	3.2	3.2
Tunal	2.5	2.2	2.0	1.9	1.7	1.7	1.6	1.9	1.8	2.0	1.9	1.8	1.9
Vitelma	2.2	2.1	2.7	1.9	2.1	2.1	2.3		2.6	2.0			2.2
San Cristóbal	1.4	1.8		2.0	2.3	2.3	2.4	2.7	2.6	1.3	1.0	1.2	1.9

d) Hora: 19 – 24
Año: 2011

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.6	0.5	0.7	0.7
Usaquén (Bosque)	1.5	1.5	1.3	1.1	1.5	1.8	1.7	2.0	1.9	1.2	0.8	1.2	1.5
Suba (Corpas)	1.2	1.2	1.3	1.1	1.5	1.7	1.9	2.0	2.0	1.3	1.1	1.4	1.5
Las Ferias (Carrefour)	1.7	1.7	1.7	1.4	1.8	1.9	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.6	1.7
Parque Simón Bolívar (IDRD)	1.3	1.4	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.8	0.7	0.9	1.1
Estación Móvil (Zona Industrial)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.8	1.8	2.2	2.4	2.3	1.5	1.3		1.8
Fontibón	2.8	2.7	2.6	2.4	2.5	2.7	2.9	3.0	3.0	2.6	2.2	2.1	2.6
Puente Aranda	2.6	2.5	2.4	2.2	2.7	2.7	3.0	3.1	3.1	2.4	2.0	2.5	2.6
Kennedy	2.3	2.4	2.2	2.1	2.5	2.6	2.9		1.0	2.2	1.7	2.2	2.2
Carvajal (Sony)	0.9	1.8	1.9	1.7	2.1	2.4	2.5	2.6	2.5	1.8	1.5	2.0	2.0
Tunal	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
Vitelma	2.0	1.8	2.1	1.6	2.1	2.0	2.2		2.4	1.8			2.0
San Cristóbal	1.1	1.6		1.5	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	1.1	1.0	1.0	1.5

Tabla 47. Valores máximos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

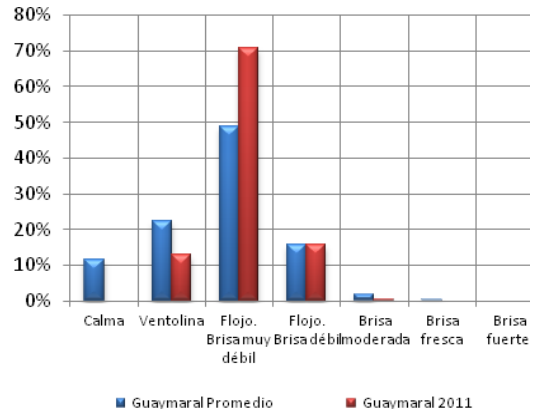
a) Año: 2011. Valores máximos

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	3.8	3.9	3.7	3.4	5.2	3.8	4.3	3.7	4.3	3.3	3.0	3.6	5.2
Usaquén (Bosque)	4.8	5.2	4.2	6.3	4.8	5.9	5.4	5.8	5.9	4.8	4.8	5.3	6.3
Suba (Corpas)	4.6	4.9	5.2	4.6	5.0	5.3	6.2	6.1	6.4	4.6	4.0	5.4	6.4
Las Ferias (Carrefour)	5.5	5.0	5.2	5.8	5.4	5.3	5.6	5.4	5.3	4.6	5.3	5.1	5.8
Parque Simón Bolívar (IDRD)	5.0	4.9	4.8	5.5	4.5	4.5	3.8	4.5	5.0	4.3	4.3	4.3	5.5
Estación Móvil (Zona Industrial)	6.2	5.2	5.7	5.0	6.5	5.6	5.6	6.2	6.8	5.3	4.1		6.8
Fontibón	8.5	8.2	7.8	7.8	9.4	7.7	9.1	8.9	8.3	7.5	7.8	7.6	9.4
Puente Aranda	7.0	6.5	6.9	7.0	8.4	7.4	7.6	7.6	8.1	6.3	6.4	6.5	8.4
Kennedy	6.7	6.7	6.0	6.4	6.4	6.9	7.0		4.3	6.2	6.3	6.0	7.0
Carvajal (Sony)	4.7	4.9	4.7	4.9	5.2	5.8	5.4	5.3	5.9	4.6	4.6	5.4	5.9
Tunal	4.6	4.2	3.9	4.4	4.0	4.0	3.1	4.2	3.6	3.8	3.9	3.8	4.6
Vitelma	4.5	3.7	4.5	4.9	5.3	5.3	4.6		3.2	3.7			5.3
San Cristóbal	2.5	4.1		5.4	5.1	4.8	4.8	5.4	5.4	4.0	2.2	2.6	5.4

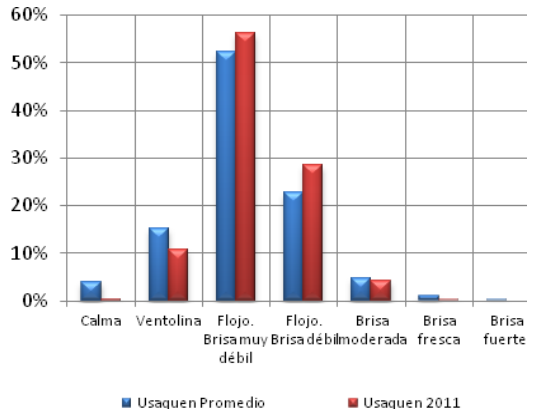
a) Año: 2011. Valores mínimos

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Usaquén (Bosque)	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Suba (Corpas)	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
Las Ferias (Carrefour)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
Parque Simón Bolívar (IDRD)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
Estación Móvil (Zona Industrial)	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.4	0.0	0.2
Fontibón	0.3	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
Puente Aranda	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4
Kennedy	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
Carvajal (Sony)	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.2
Tunal	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Vitelma	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0
San Cristóbal	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0

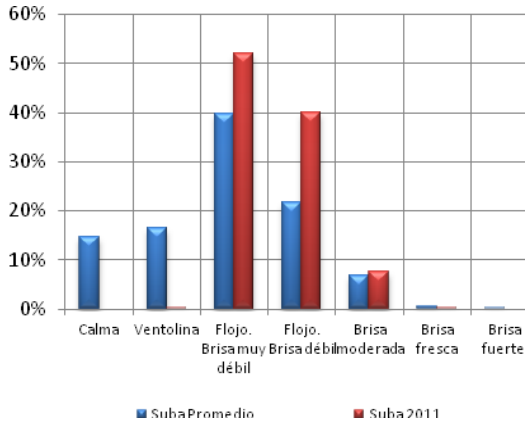
La Figura 88 esquematiza la frecuencia de los vientos en promedios horarios en las estaciones de la RMCAB en el año 2011 comparado con los valores históricos según la escala de Beaufort. Debe tenerse en cuenta que los valores comparados son promedios diez minútales, cuando la escala sugiere valores promedio de resolución temporal instantánea. Se aprecia que con excepción de la estación Tunal, en todas las estaciones para el 2011 aumentaron los vientos de mayor valor en la escala, respecto al promedio.



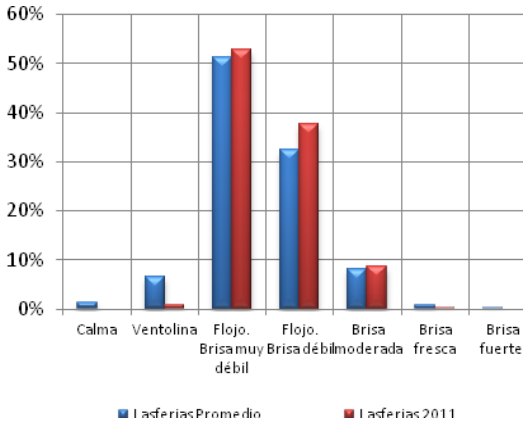
Guaymaral



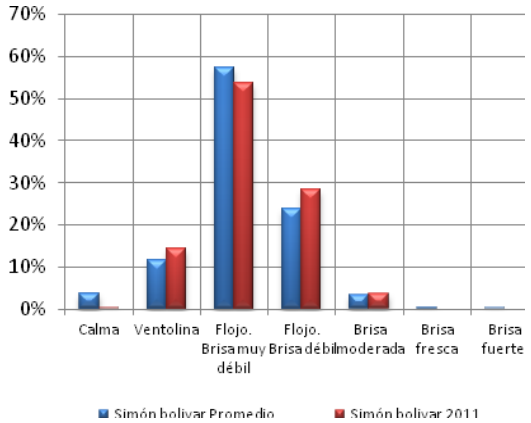
Usaquén



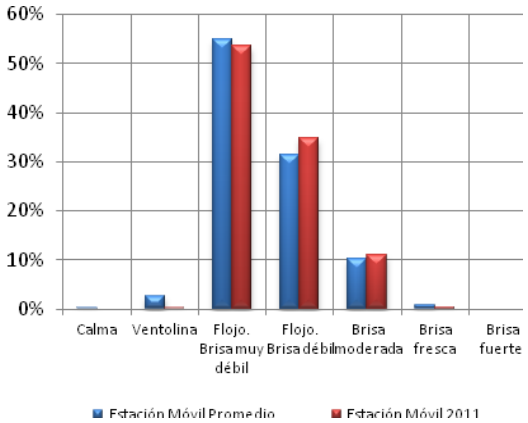
Suba (Corpas)



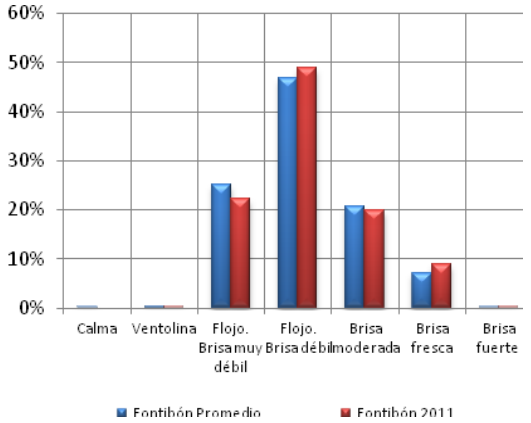
Las Ferias (Carrefour)



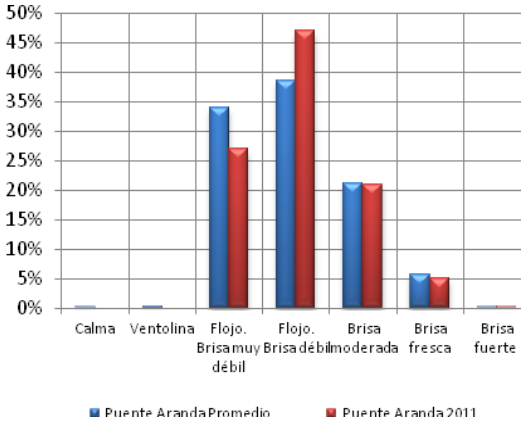
Parque Simón Bolívar (IDRD)



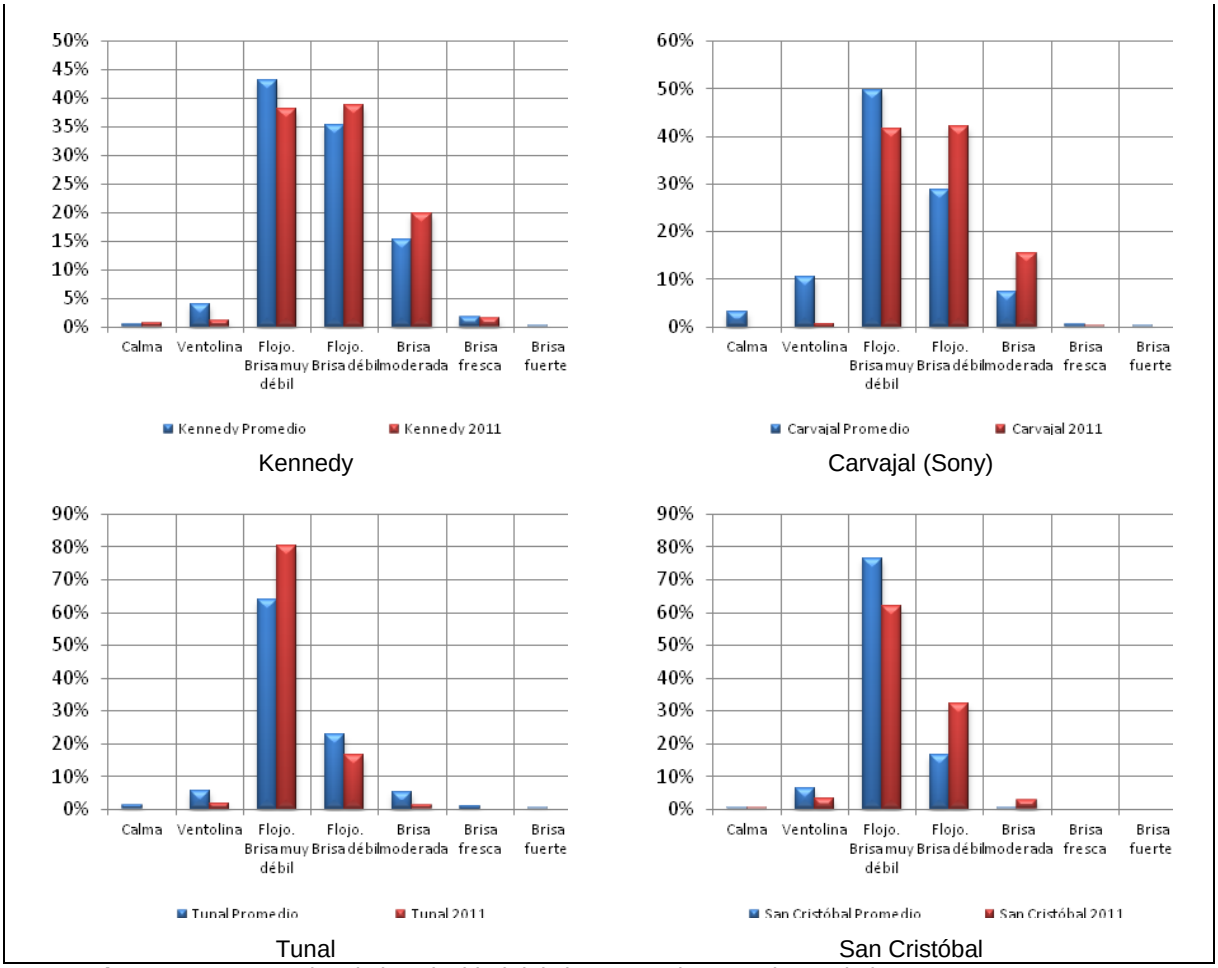
Zona Industrial – Estación Móvil



Fontibón



Puente Aranda

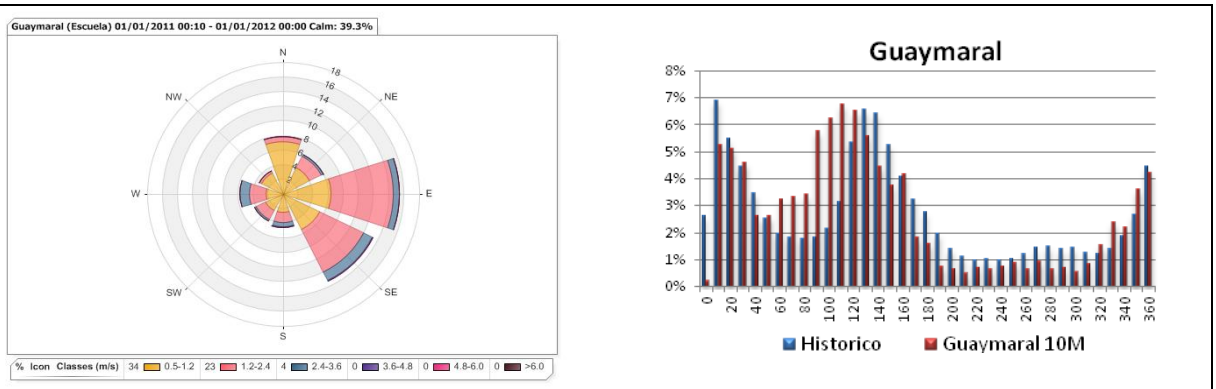


Kennedy | Carvajal (Sony)

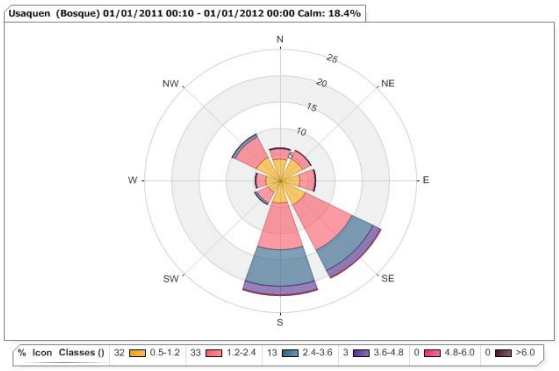
Tunal | San Cristóbal

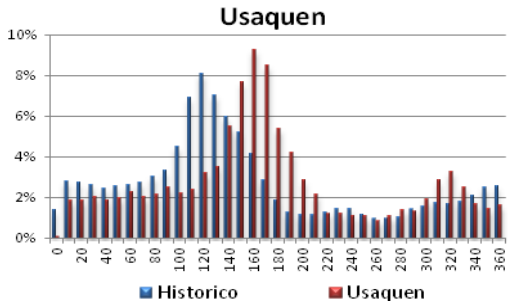
Figura 88. Frecuencias de la velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en 2011 y su comparación con el mismo periodo en el promedio 1998 – 2010.

La Figura 89 esquematiza las rosas de viento para cada una de las estaciones del trimestre de estudio, en escala horaria.

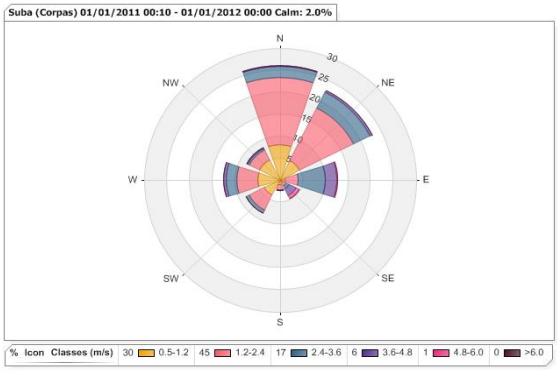


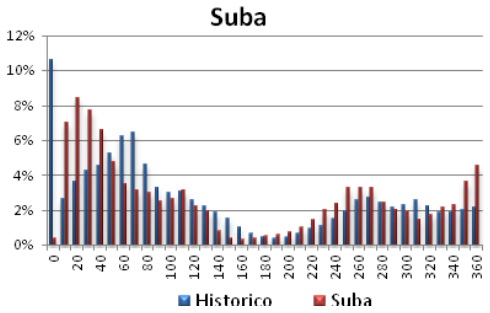
Guaymaral (Escuela)



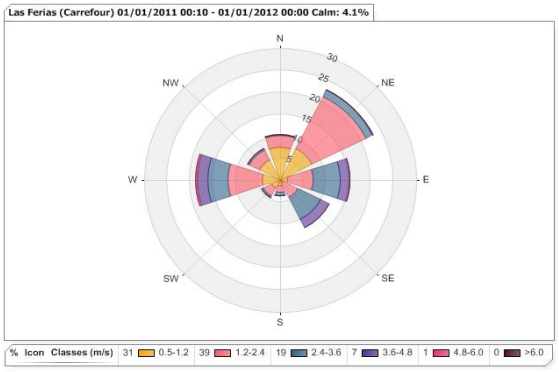


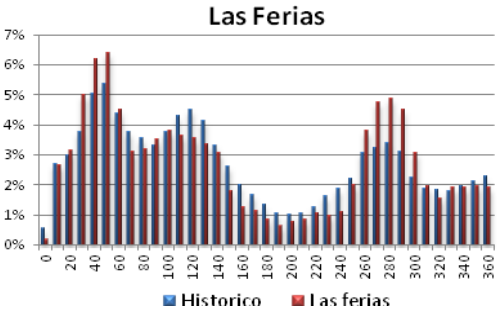
Usaquén (Bosque)



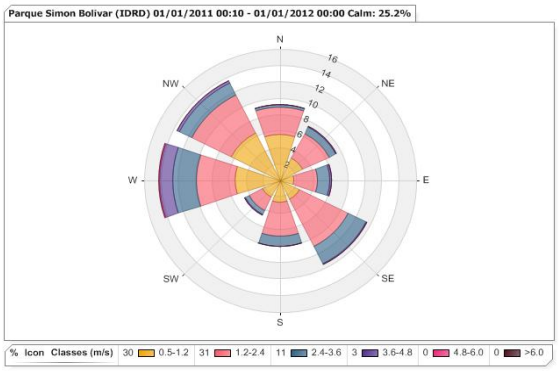


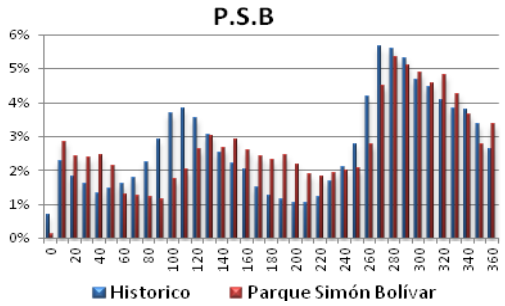
Suba (Corpas)



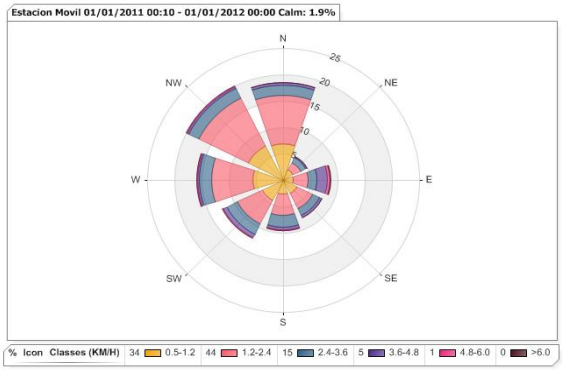


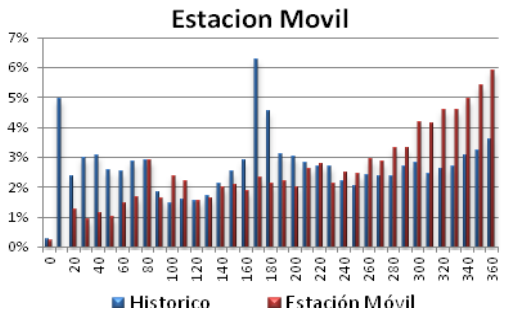
Las Ferias (Carrefour)



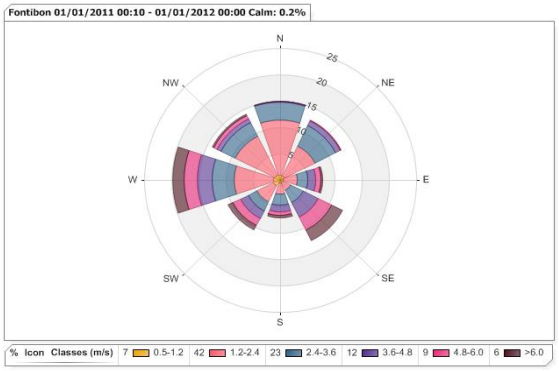


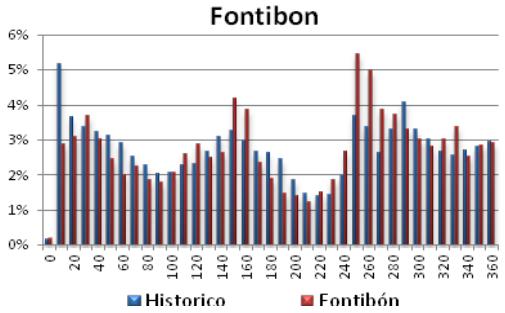
Parque Simón Bolívar (IDRD)



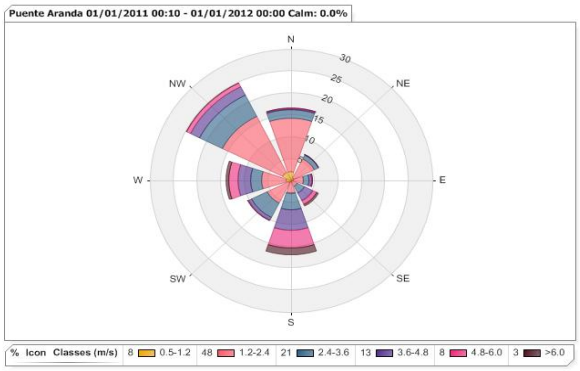


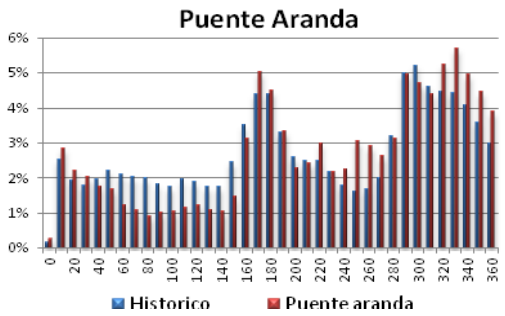
Estación Móvil



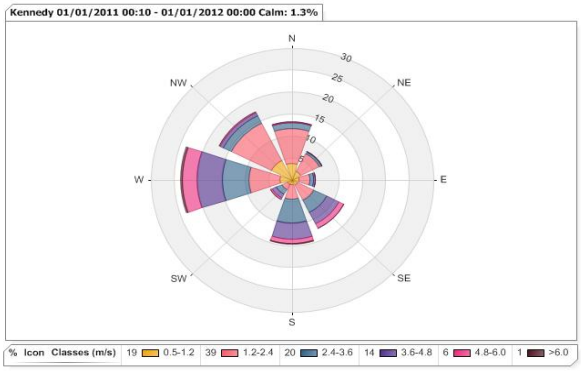


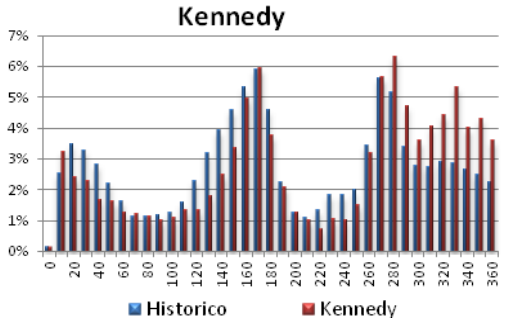
Fontibón



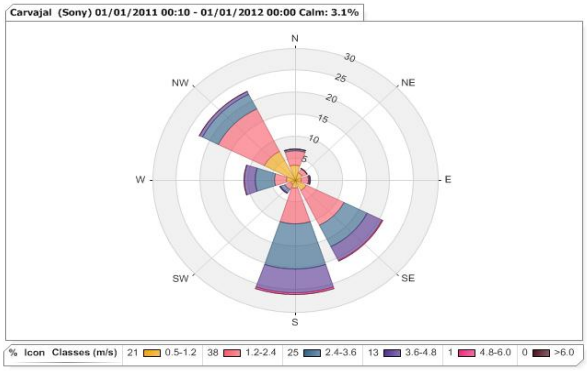


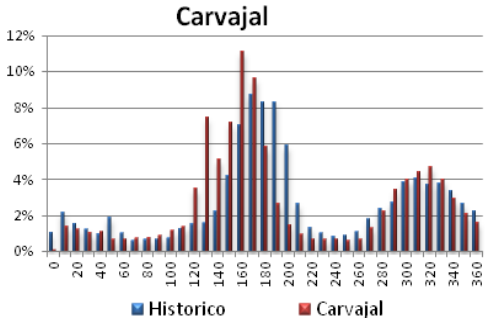
Puente Aranda





Kennedy





Carvajal (Sony)

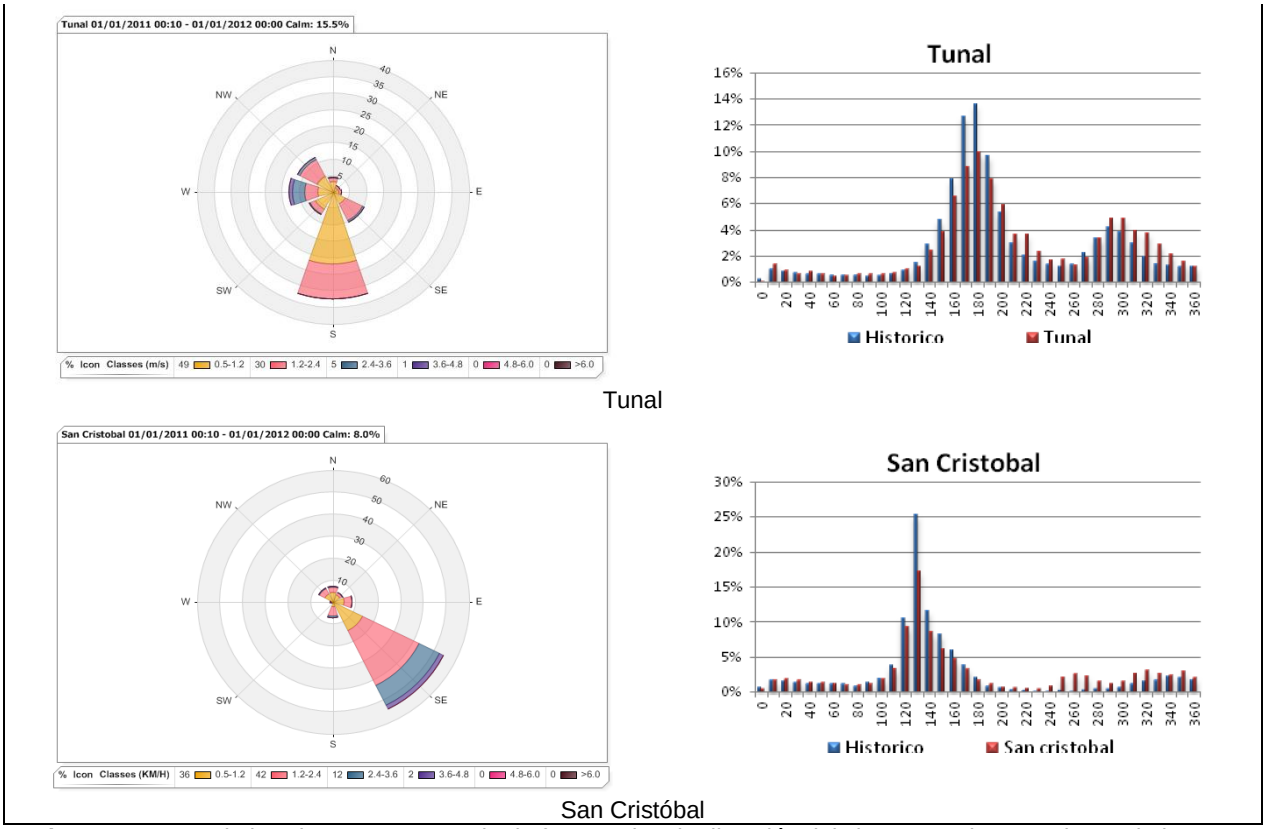


Figura 89. Rosa de los vientos y porcentaje de frecuencias de dirección del viento para las estaciones de la RMCAB.

La Figura 90 muestra gráficas de las velocidades del viento en escala horaria para cada uno de los meses del año 2011, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la velocidad del viento. Todas las estaciones muestran el comportamiento típico de la velocidad del viento; en horas de la madrugada se observan velocidades muy bajas o incluso nulas y las velocidades máximas se presentan cerca de las 2 pm.

El mapa de la Figura 91 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para 2011 sobre esta superficie. Cada isotaca está separada 0,5 m/s una de la otra. En ella se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento; al Norte de la ciudad. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el Occidente de la ciudad, alcanzando velocidades de más de 2.5 m/s ubicado en parte de la localidad de Fontibón y norte de Kennedy. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes bajas 2011 desde el Suroriente hacia el Occidente de la ciudad.

En la Figura 92 se encuentran los mapas de la ciudad en 4 diferentes escalas horarias, es evidentemente que la velocidad en horas de la tarde alcanza su máximo valor además de la variación de la dirección del viento como en el caso de la localidad de Engativá. Otras localidades hacia el sur de la ciudad muestran vientos predominantes del Sur. Las

siguientes figuras esquematizan el comportamiento de los vientos trimestralmente en cada grupo de horas.

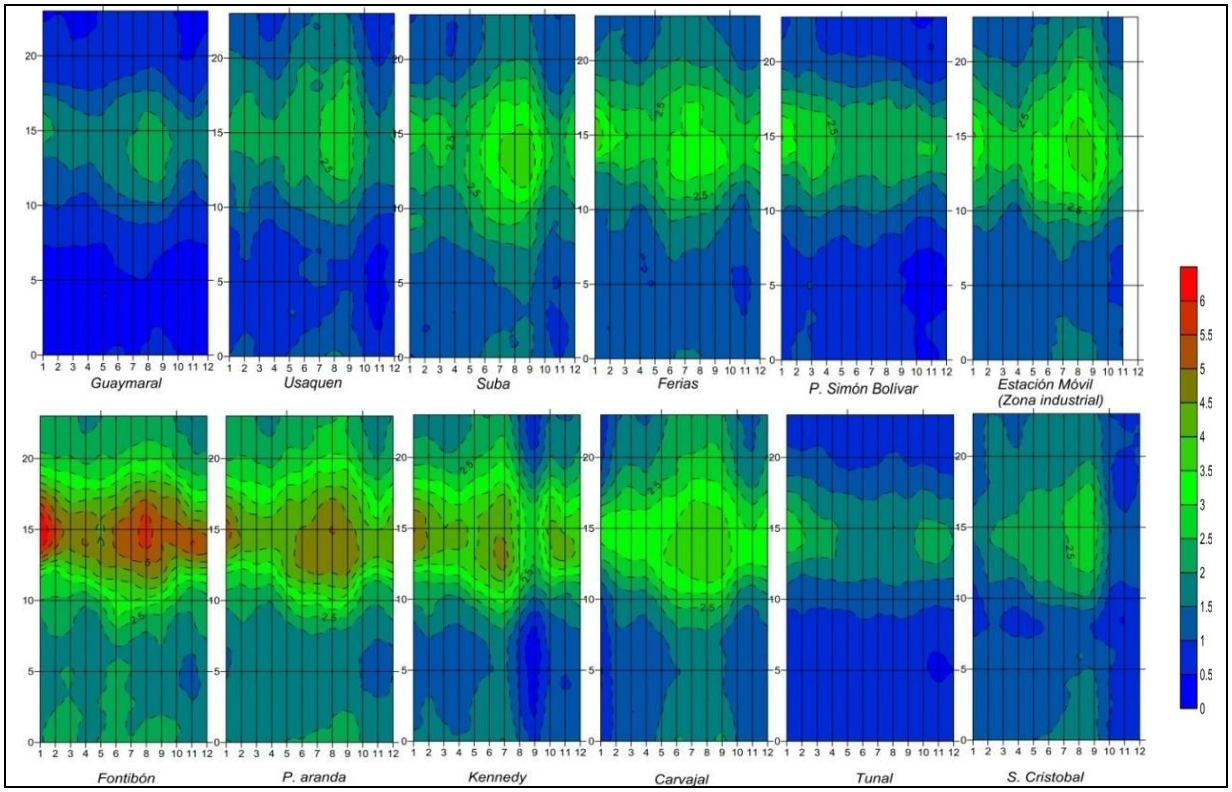


Figura 90. Velocidad del viento por estación, según la media horaria en 2011.

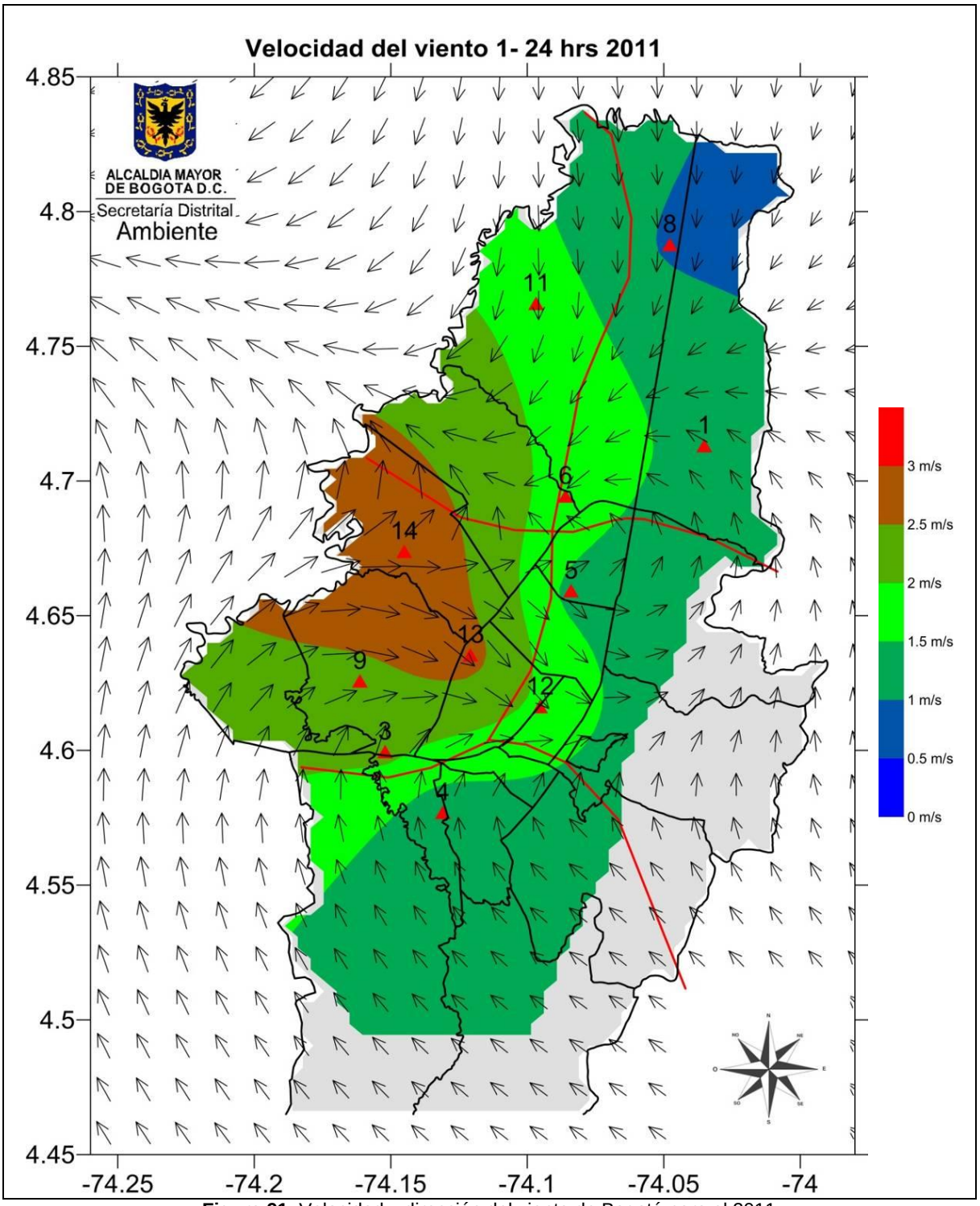
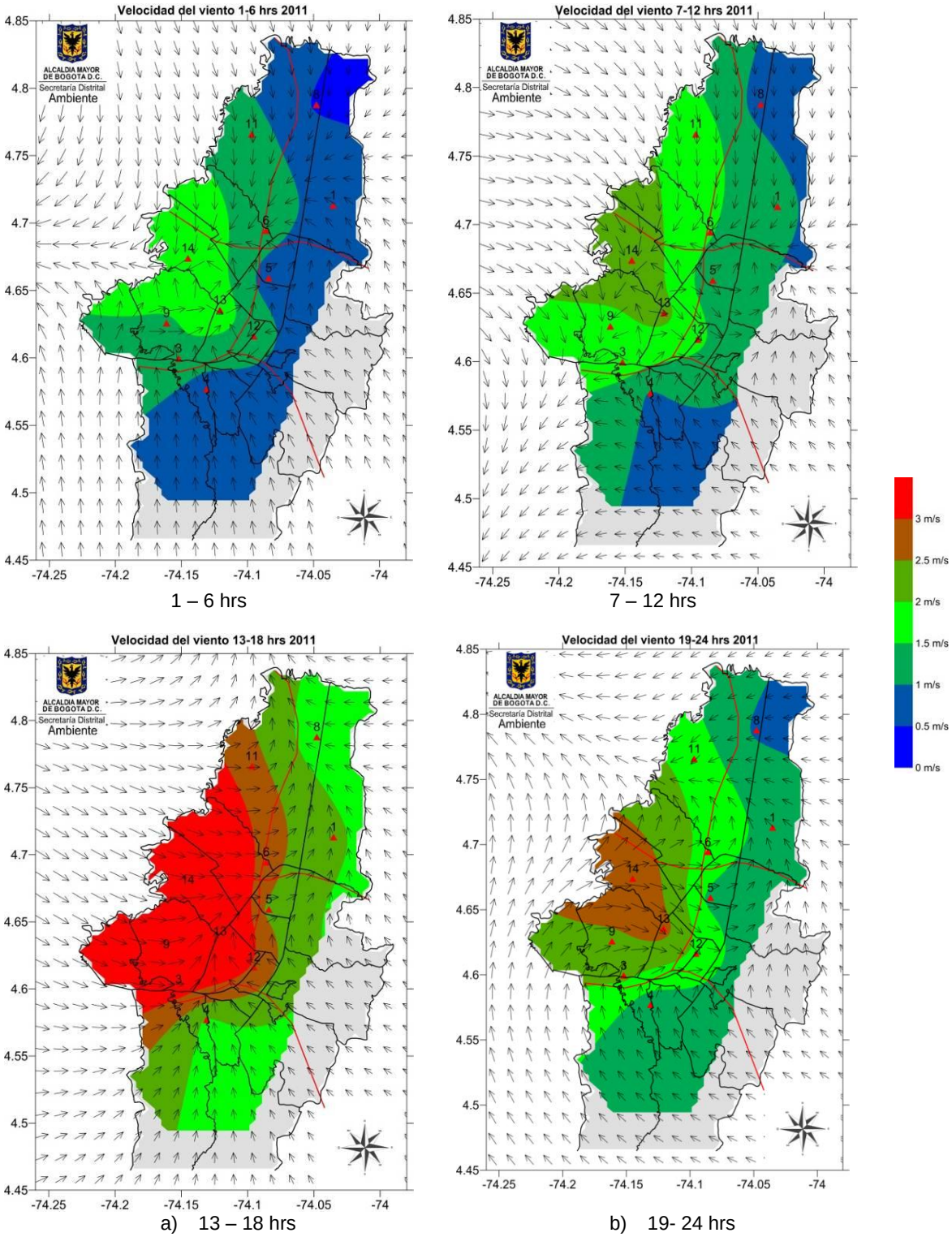


Figura 91. Velocidad y dirección del viento de Bogotá para el 2011



1 – 6 hrs

7 – 12 hrs

a) 13 – 18 hrs

b) 19- 24 hrs

Figura 92. Promedio de velocidad y dirección del viento para distintas horas en el 2011.

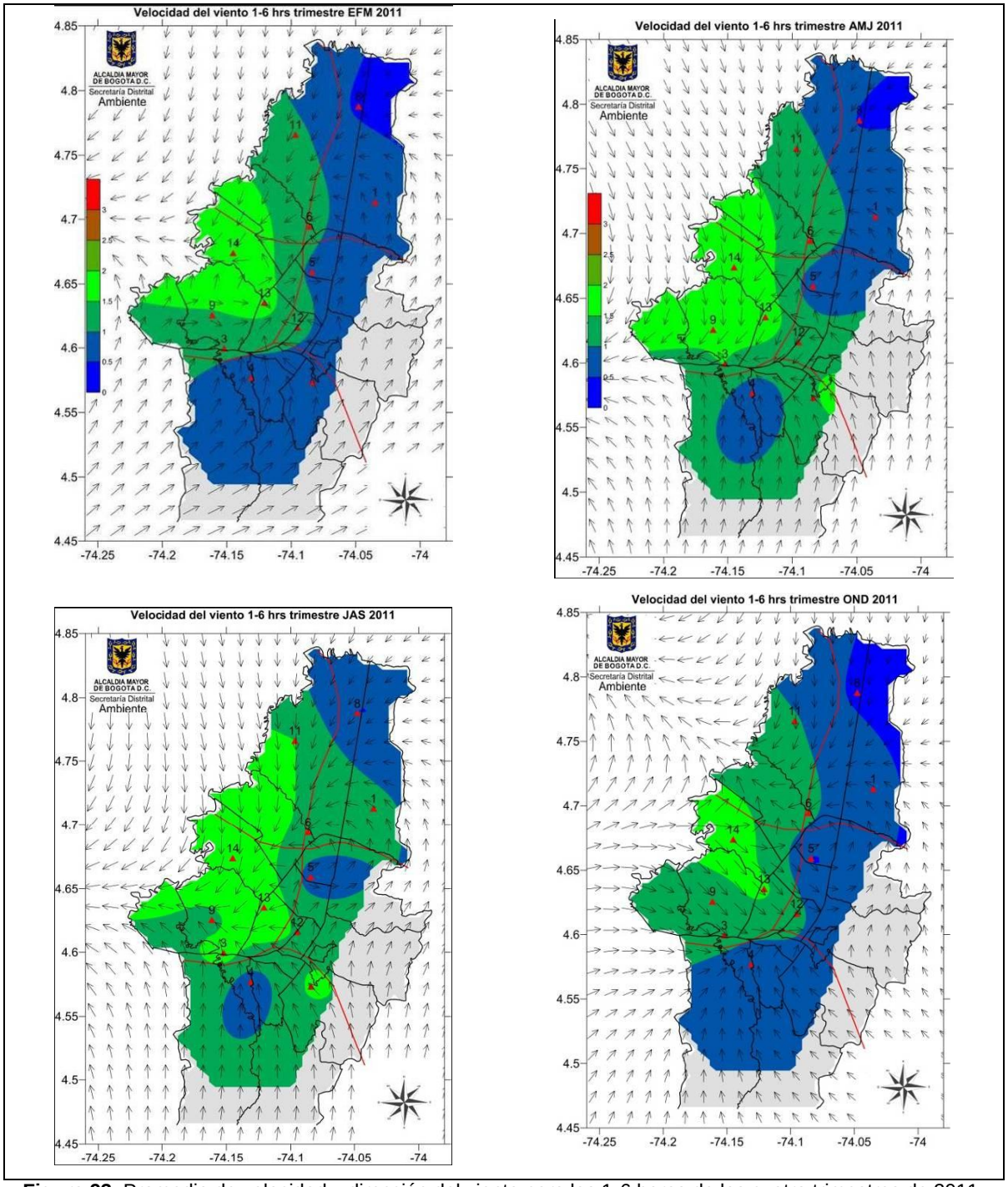


Figura 93. Promedio de velocidad y dirección del viento para las 1-6 horas de los cuatro trimestres de 2011.

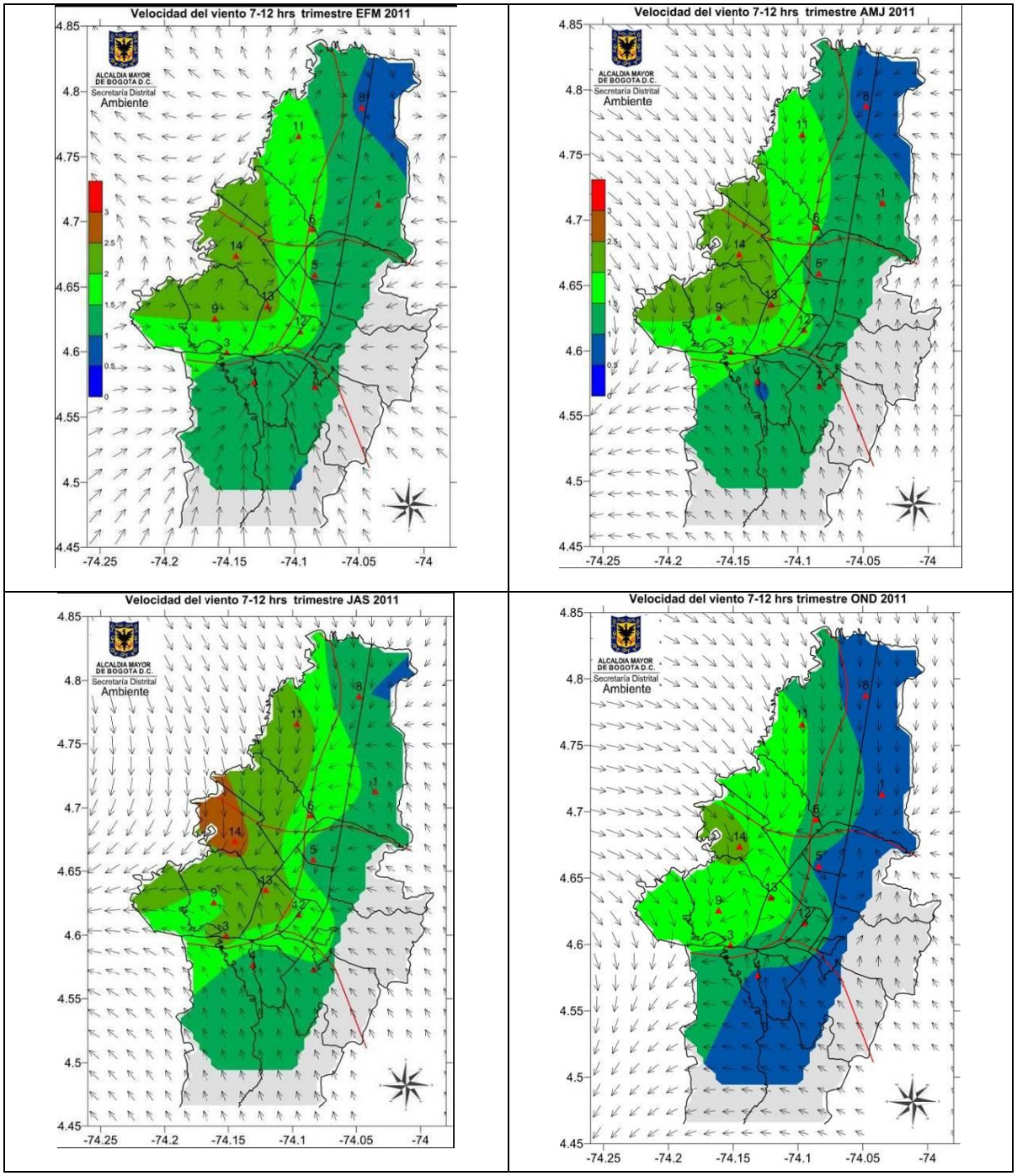


Figura 94. Promedio de velocidad y dirección del viento para las 7-12 horas de los cuatro trimestres de 2011.

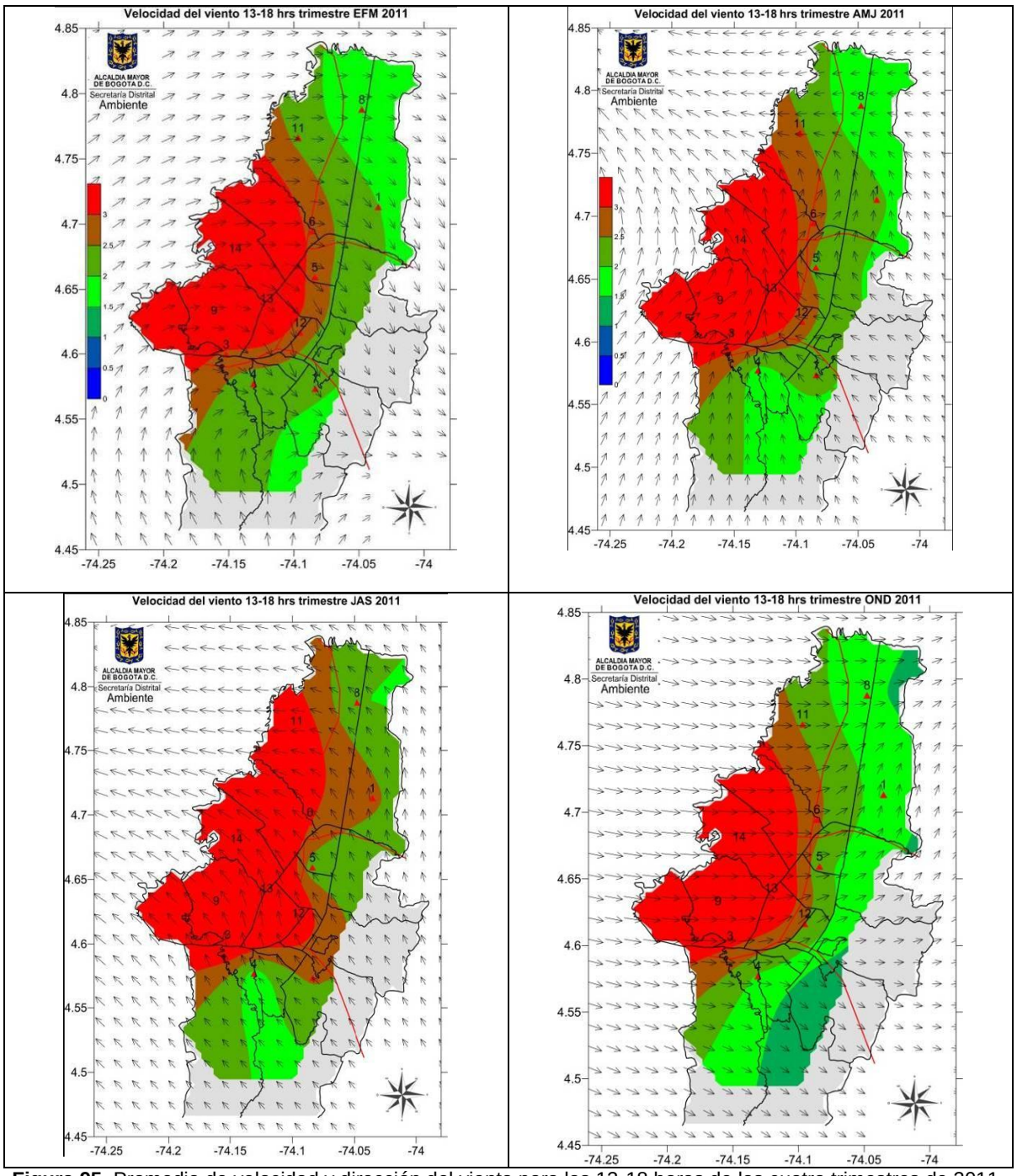


Figura 95. Promedio de velocidad y dirección del viento para las 13-18 horas de los cuatro trimestres de 2011.

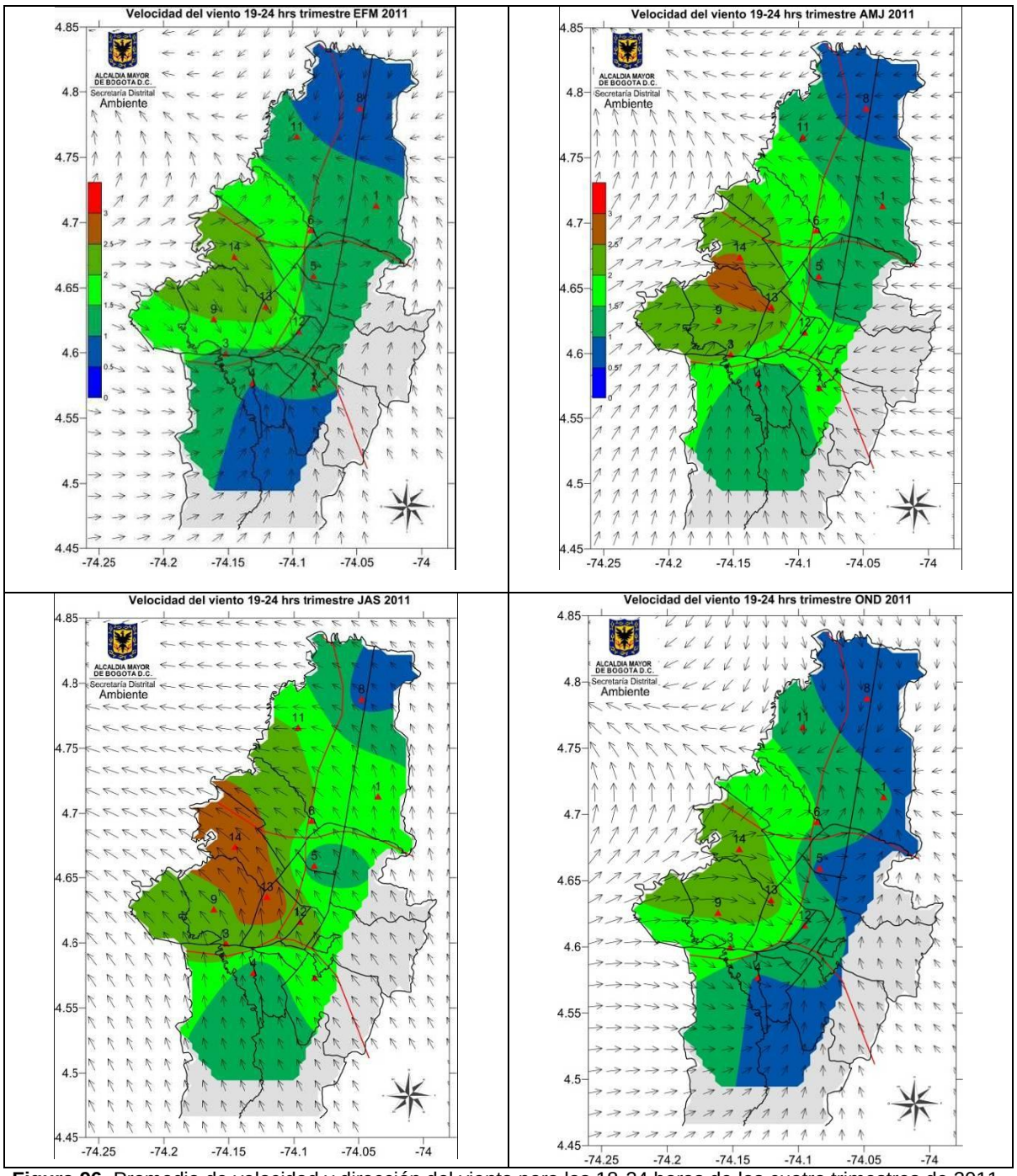


Figura 96. Promedio de velocidad y dirección del viento para las 18-24 horas de los cuatro trimestres de 2011.

4.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura superficial se refiere esencialmente a la temperatura del aire libre o temperatura ambiental cerca de la superficie de la tierra. La superficie terrestre recibe energía proveniente del Sol, en forma de radiación solar emitida en onda corta. A su vez, la Tierra, con su propia atmósfera, refleja alrededor del 55% de la radiación incidente y absorbe el 45% restante, convirtiéndose, ese porcentaje en calor. Por otra parte, la tierra irradia energía, en onda larga, conocida como radiación terrestre. Por lo tanto, el calor ganado de la radiación incidente debe ser igual al calor perdido mediante la radiación terrestre; de otra forma la tierra se iría tornando, progresivamente, más caliente o más fría. Sin embargo, este balance se establece en promedio; pero regional o localmente se producen situaciones de desbalance cuyas consecuencias son las variaciones de temperatura. (Senamhi, 2008). La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura.

En Bogotá durante 2011 se contó con once estaciones de la RMCAB dotadas con sensores de temperatura, según se reporta en la Tabla 41. Para analizar el comportamiento de la temperatura superficial se presentan mapas y gráficas según la variación ya sea horaria o mensual en comparación con los promedios registrados desde el año 1998. El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante 2011 se caracterizó por promedios moderadamente altos durante los meses de mitad de año, comprarándolos con los promedios en el periodo 1998-2010. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 97 la cual muestra la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura de 2011. Es evidente que mayo fue el mes de mayor temperatura mientras que julio fue el mes más frío.

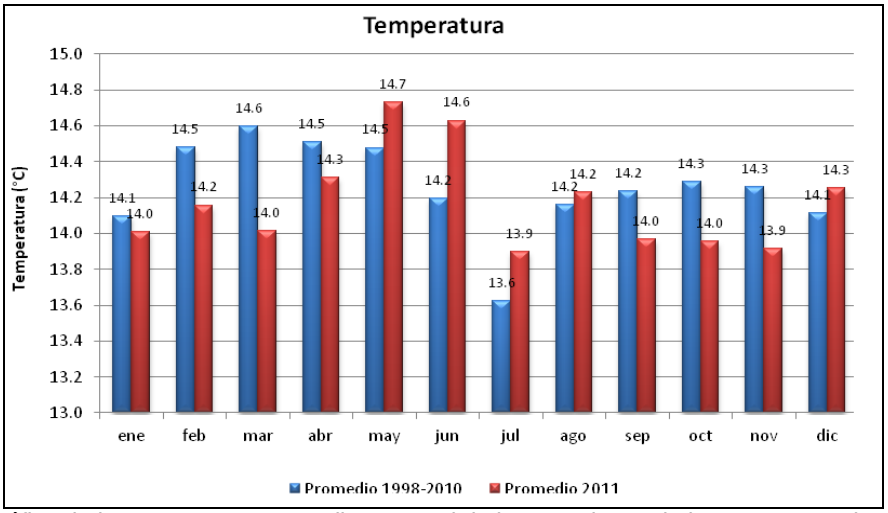


Figura 97. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998 – 2010 y su comparación con el 2011.

Con respecto a los promedios de temperatura mensuales medidos en el periodo 1998-2010 se puede observar en la Tabla 48 la variación porcentual en cada uno de los meses. La Figura 98, muestra la evolución de la temperatura promedio en el periodo 1998-2011 considerando el promedio de cada año. Como se observa en dicha figura, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2005 y 2010 mientras que los de menor temperatura fueron 1999 y 2007. El Año 2011 ocupó el quinto lugar con respecto a temperaturas altas.

Tabla 48. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en el año 2011

Mes	Porcentaje
Enero	-0.6%
Febrero	-2.2%
Marzo	-4.0%
Abril	-1.4%
Mayo	1.8%
Junio	3.1%
Julio	2.0%
Agosto	0.5%
Septiembre	-1.9%
Octubre	-2.3%
Noviembre	-2.4%
Diciembre	1.0%

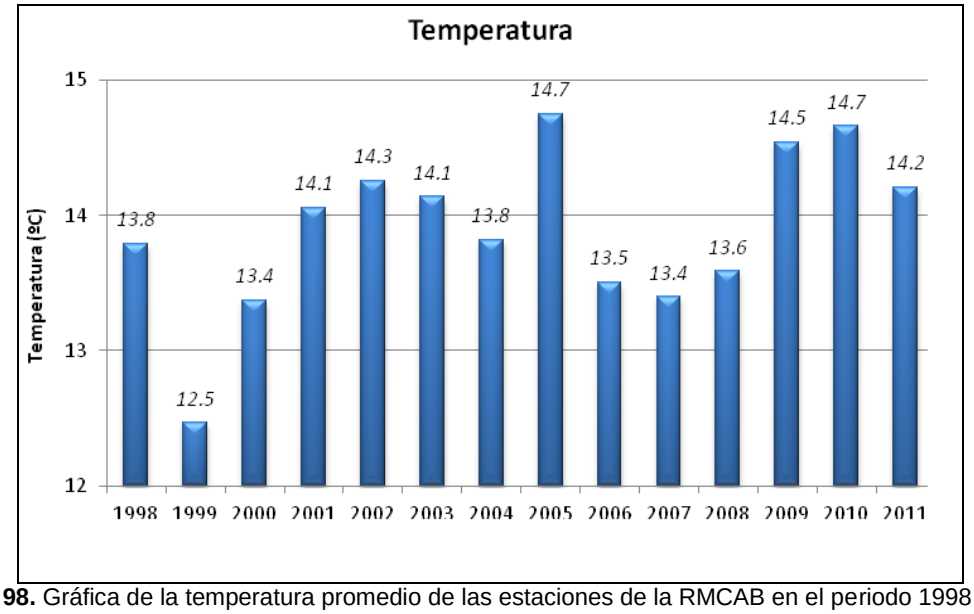


Figura 98. Gráfica de la temperatura promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998 – 2011.

El comportamiento horario de la temperatura varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la capa nubosa presente en la atmósfera entre otros, observándose los datos de temperatura máximos en horas de la tarde y los valores mínimos en horas de la madrugada. Como se puede apreciar en la Figura 99, la temperatura promedio de las

estaciones estuvo por encima del promedio principalmente en horas de la madrugada y mañana.

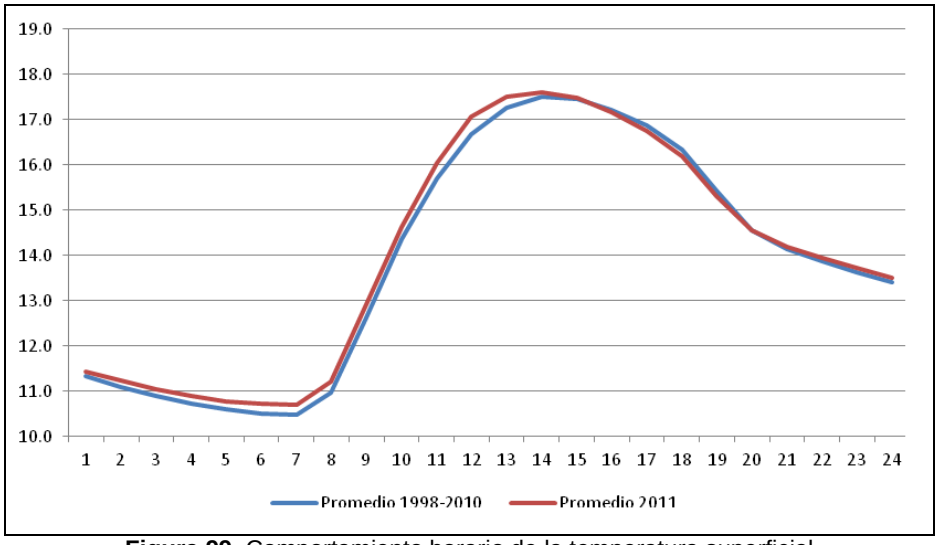


Figura 99. Comportamiento horario de la temperatura superficial

La Tabla 49 muestra esta evolución distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 49. Promedios de temperatura media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2002-2011.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Guaymaral 2m (Escuela) 1997	12.9	12.7	12.6	12.6	12.6	13.6	13.5	13.5	13.8	14.4	14.9	14.3
Usaquén (Bosque) 1997								12.6	11.9	14.6	15.1	14.4
Suba (Corpas) 1997	10.6	12.8	13.6		12.1	15.3	12.8	13.2	13.7	12.9	13.0	
Las Ferias (Carrefour) 2000	15.6	16.0	16.0	16.2	15.3	15.7		14.2	13.4	14.0	14.2	13.7
Parque Simón Bolívar (IDRD) 2001					15.8	15.8		14.3	14.0	14.7	14.8	14.5
Estación Móvil (Zona Industrial)2008									14.7	15.3	15.5	15.0
Fontibón 1999	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.1	14.0	14.0	14.2	14.8	14.4	13.7
Puente Aranda 1999	14.0	14.5	14.6	14.7	14.5	14.7	14.6	14.6	14.0	14.6	14.6	14.0
Kennedy 2005									13.6	14.8	14.8	14.4
Carvajal (Sony) 1997						12.8	12.1	11.3	14.0	15.4	15.6	15.0
Tunal							12.3		14.2	14.6		13.2
Vitelma 2005						10.5	11.7	11.8	11.4	12.7	13.0	
San Cristóbal 2009										13.5	13.4	13.8

La Figura 100 muestra gráficas de las temperaturas superficiales en escala horaria para cada uno de los meses de 2011, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la magnitud de la temperatura promedio de la hora en °C. Al igual que en la Figura 99, se observa un período de disminución leve de la temperatura entre las 2 y las 5 de la mañana, un posterior aumento significativo entre las 6:00 y las 12:00, hora en la cual se alcanzan los máximos valores hasta las 14:00. A continuación desciende levemente hasta alcanzar temperaturas similares a las registradas en las primeras horas del día. Las estaciones del

norte de la ciudad alcanzaron las temperaturas más altas en el año 2011 mientras que la estación de Vitelma (interpolación hasta Octubre) presentó mayor permanencia de temperaturas mínimas en horas de la madrugada.

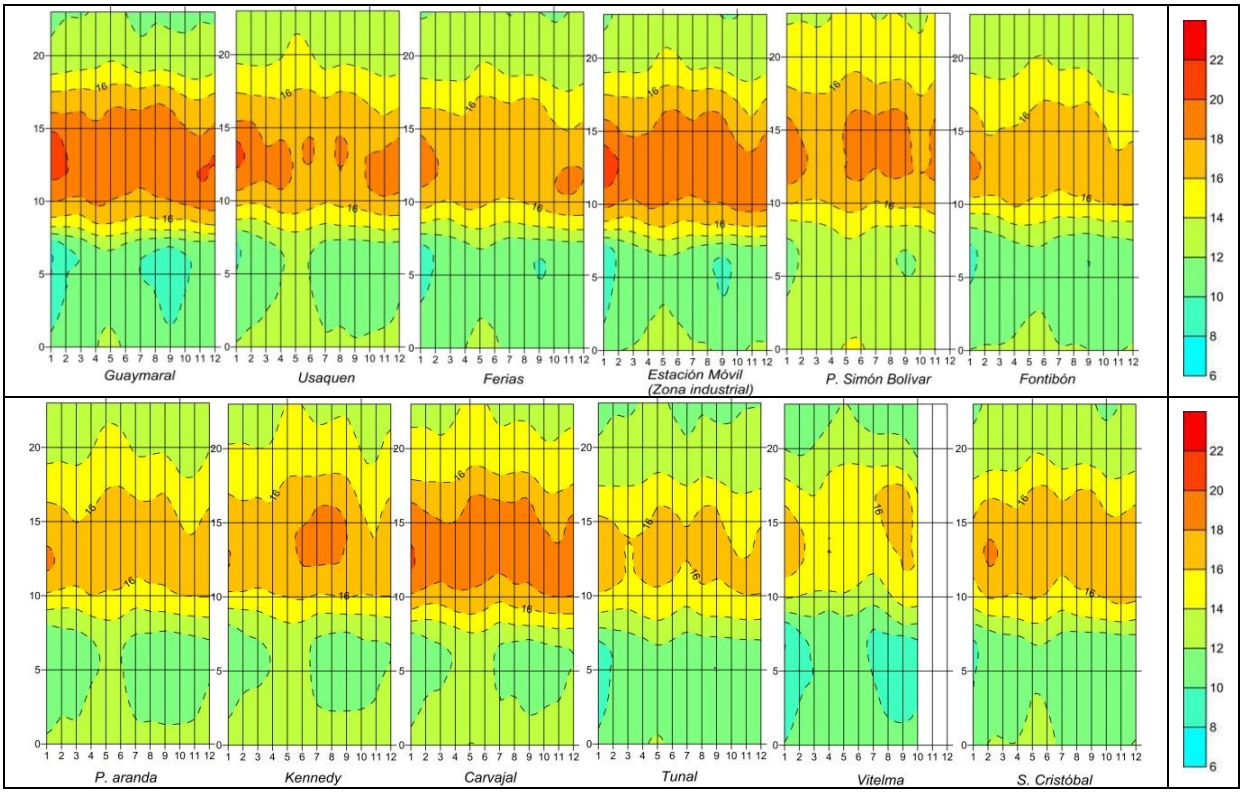


Figura 100. Gráfica de la temperatura para cada hora de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2011.

Adicionalmente la Tabla 50 y Tabla 51 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación en 2011. La Tabla 52 especifíca la amplitud térmica en cada estación. Es evidente que la estación que registró mayor temperatura máxima relativa y menor temperatura mínima fue Guaymaral con 20°C y 9.3°C respectivamente lo que puede indicar menor nubosidad en esta parte de la ciudad.

Tabla 50. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en 2011 y su promedio.

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	20.0	21.2	19.1	20.9	20.2	20.1	19.7	19.6	20.1	18.6	20.2	20.9	20.0
Usaquén (Bosque)	21.0	10.8	16.1	19.8	19.0	18.9	16.4	18.4	17.9	19.3	19.9	18.2	18.0
Las Ferias (Carrefour)	19.9	19.0	18.2	19.0	16.0	18.3	17.1	18.7	18.1	17.8	19.4	18.7	18.3
Parque Simón Bolívar (IDRD)	21.9	20.9	19.9	20.8	20.5	20.1	18.6	19.8	20.1	19.9	19.6	20.5	20.2
Estación Móvil (Zona Industrial)	20.0	19.0	18.3	18.7	19.1	19.3	18.9	19.7	19.2	18.6			19.1
Fontibón	16.3	11.7	17.0	13.8	15.9	16.1	17.4	18.0	17.8	15.0	16.2	11.4	15.6
Puente Aranda	19.0	18.2	17.4	18.1	17.1	18.0	17.1	17.8	17.6	17.7	18.1	18.0	17.8

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Kennedy	17.9	18.0	17.8	17.8	18.5	19.0	14.8		11.3	17.8	17.6	18.2	17.2
Carvajal (Sony)	20.1	18.7	19.5	19.1	20.0	19.9	18.6	20.0	19.7	19.9	20.1	20.2	19.6
Tunal	18.0	17.4	16.7	17.1	17.3	17.2	16.6	16.6	17.2	16.9	17.0	17.4	17.1
San Cristóbal	11.7	11.0		14.6	18.1	18.3	17.2	17.3	17.9	16.0	17.0	18.6	16.1

Tabla 51. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en 2011 y su promedio.

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	6.7	9.5	9.3	10.6	11.1	10.1	9.3	9.1	8.1	8.4	9.7	9.4	9.3
Usaquén (Bosque)	9.4	5.8	9.7	11.6	12.1	11.9	9.9	10.7	10.2	10.7	10.9	10.9	10.3
Las Ferias (Carrefour)	8.9	10.0	10.2	10.8	10.0	10.9	10.1	10.2	9.8	9.9	10.4	10.7	10.1
Parque Simón Bolívar (IDRD)	8.2	10.0	10.3	11.0	11.3	11.1	10.1	9.7	9.1	10.0	10.3	10.3	10.1
Estación Móvil (Zona Industrial)	11.2	12.1	12.0	12.4	12.9	12.8	12.0	12.1	11.7	11.9			11.3
Fontibón	8.2	6.7	10.2	8.5	10.3	10.3	10.4	10.3	9.7	9.1	10.0	7.5	9.3
Puente Aranda	10.0	10.9	10.9	11.5	11.6	11.8	10.9	10.9	10.5	10.8	11.1	11.5	11.0
Kennedy	10.1	11.4	11.5	11.9	12.3	12.2	9.2		6.6	11.3	11.6	11.9	10.8
Carvajal (Sony)	9.9	10.5	11.5	11.5	12.5	12.3	11.0	11.3	10.8	11.3	11.5	11.8	11.3
Tunal	8.3	9.9	10.1	10.6	11.0	10.5	9.8	9.8	9.6	10.2	10.2	10.5	10.0
San Cristóbal	6.4	6.1		9.1	11.5	11.2	10.6	10.3	10.0	9.3	9.8	10.6	9.4

Tabla 52. Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en 2011.

Valores	Mes												2011
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Guaymaral (Escuela)	13.3	11.7	9.8	10.4	9.1	10.0	10.3	10.5	11.9	10.2	10.5	11.5	10.8
Usaquén (Bosque)	11.5	5.0	6.4	8.2	6.9	7.1	6.5	7.7	7.8	8.6	8.9	7.4	7.7
Las Ferias (Carrefour)	11.0	9.0	7.9	8.2	6.0	7.5	7.0	8.5	8.3	7.9	8.9	8.1	8.2
Parque Simón Bolívar (IDRD)	13.7	10.9	9.6	9.8	9.2	9.0	8.5	10.1	11.1	9.9	9.2	10.2	10.1
Estación Móvil (Zona Industrial)	8.8	7.0	6.3	6.3	6.2	6.6	6.9	7.7	7.5	6.7	2.0		7.0
Fontibón	8.1	5.0	6.8	5.3	5.6	5.8	7.0	7.7	8.1	5.9	6.2	4.0	6.3
Puente Aranda	9.0	7.3	6.5	6.6	5.6	6.2	6.2	6.9	7.0	6.8	7.0	6.5	6.8
Kennedy	7.8	6.6	6.3	6.0	6.2	6.8	5.6		4.7	6.5	6.0	6.3	6.3
Carvajal (Sony)	10.2	8.2	8.0	7.6	7.5	7.6	7.6	8.6	8.9	8.6	8.7	8.3	8.3
Tunal	9.7	7.6	6.6	6.6	6.3	6.7	6.8	6.7	7.6	6.7	6.8	6.9	7.1
San Cristóbal	5.3	4.9		5.5	6.6	7.1	6.6	7.0	7.9	6.7	7.2	8.0	6.6

A continuación se presenta los valores de temperatura parta cada trimestre de 2011 en las estaciones RMCAB. Se observa que salvo San Crístobal, en todos los casos la temperatura fue mas alta en el segundo trimestre siendo la de mayor valor Carvajal mientras que Tunal presentó las menores temperaturas, siendo la menor la del primer trimestre.

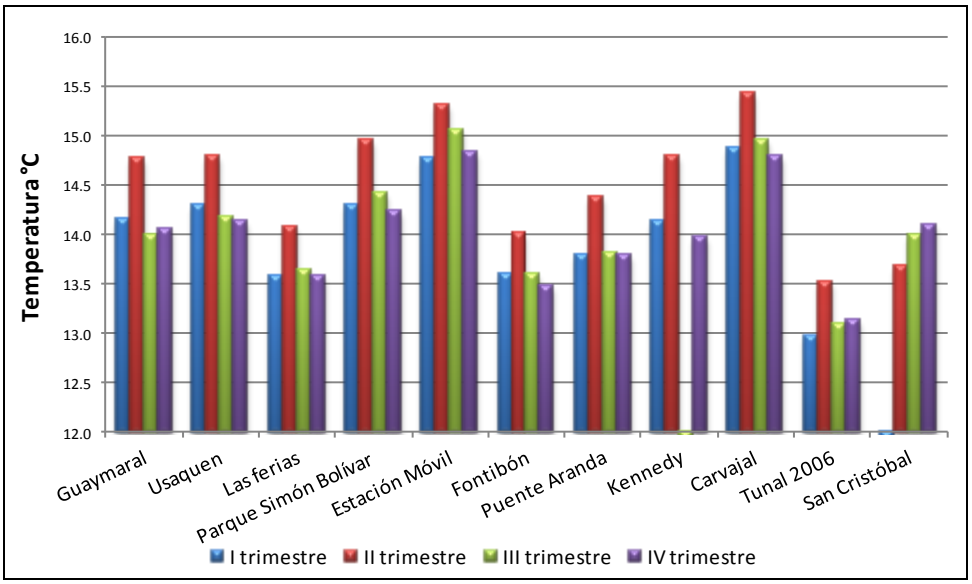


Figura 101. Gráfica de la temperatura promedio de los tres trimestres para cada una de las estaciones de la RMCAB en el 2011.

El mapa de la Figura 102 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el Año 2011 sobre esta superficie. Cada isoterma se generó a partir de 10 clases previamente establecidas. Los sectores sombreados en gris, al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que los dos sectores con menor temperatura se encuentran al sur de la capital. Los mayores promedios se encuentran cercanos a las fronteras de las localidades Puente Aranda, los Mártires Antonio Nariño y Tunjuelito, representados por la estación de Carvajal y Puente Aranda así como al occidente de la ciudad en cercanías a Kennedy y Bosa.

Los mapas de la Figura 103 presentan la temperatura sobre la ciudad de Bogotá en cada mes de 2011 en los cuales se observa la evolución mensual en las distintas localidades de Bogotá. Como se puede notar, mayo fue el mes de mayor temperatura, se observa que en octubre se presentaron las menores temperaturas principalmente hacia el Sur y al Occidente de la ciudad en sectores de las localidades de Engativá y Fontibón.

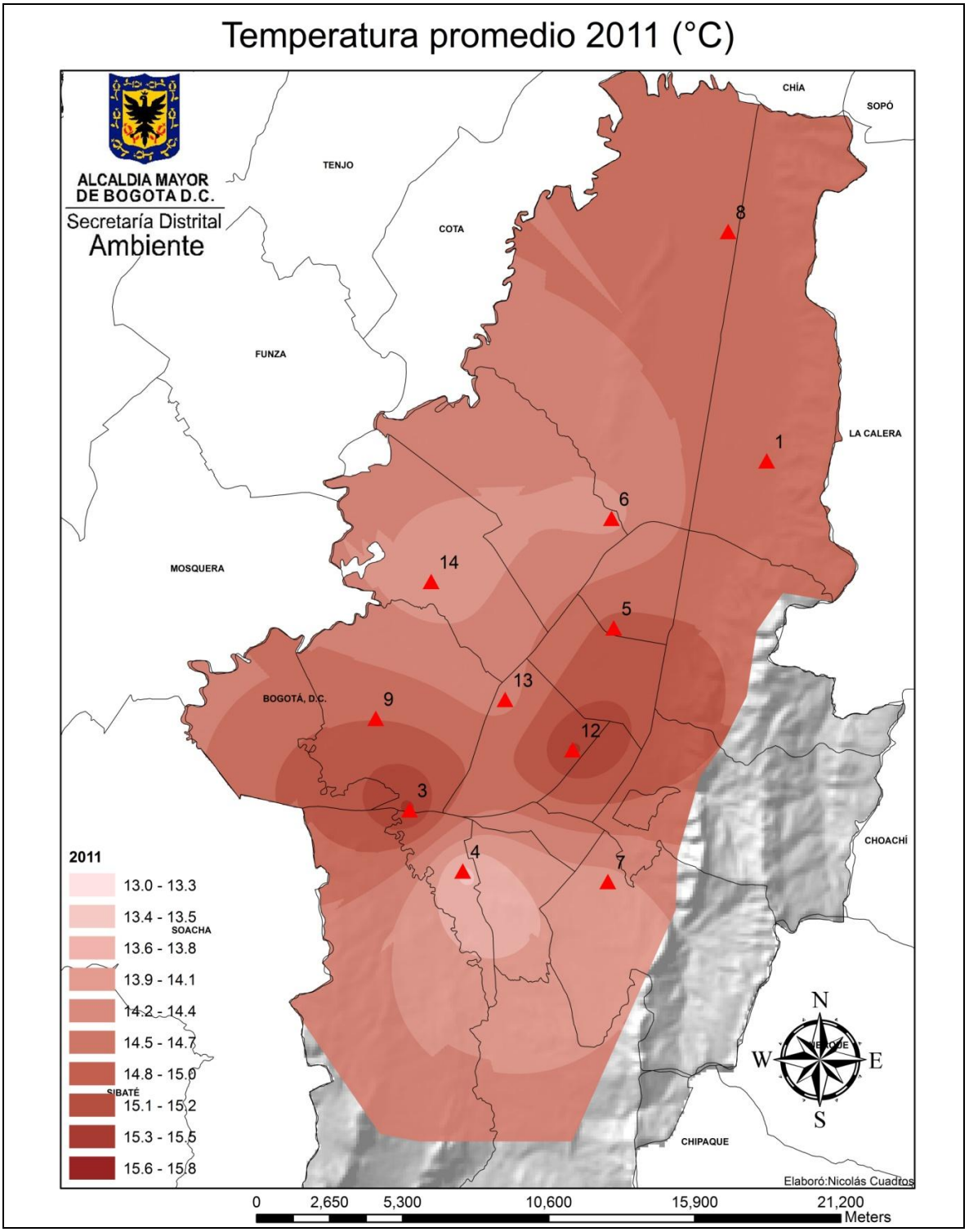
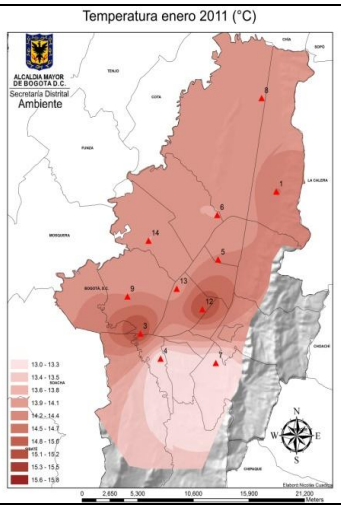
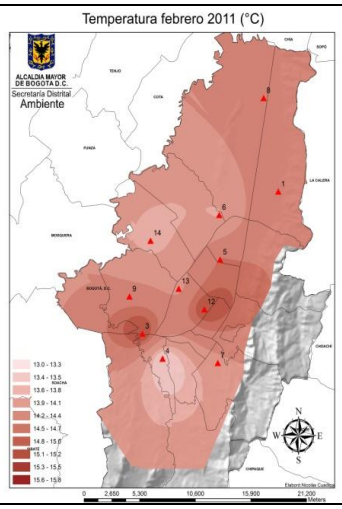


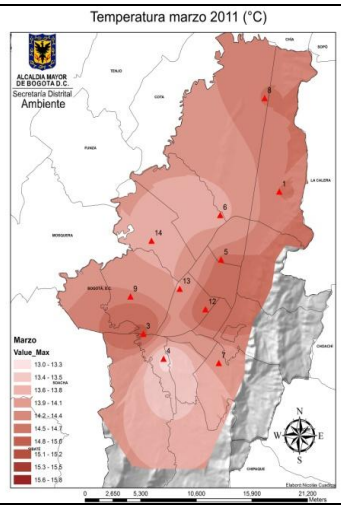
Figura 102. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2011.



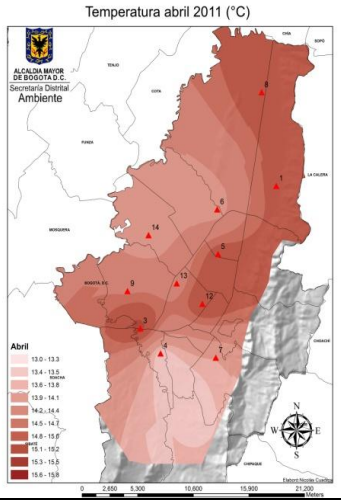
Enero



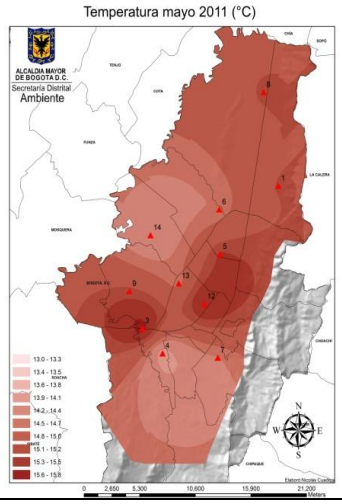
Febrero



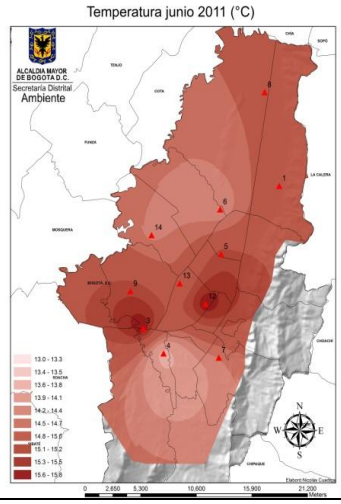
Marzo



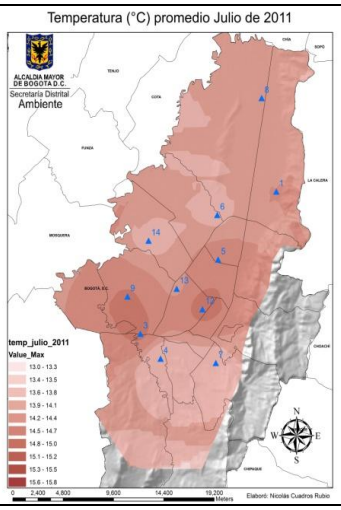
Abril



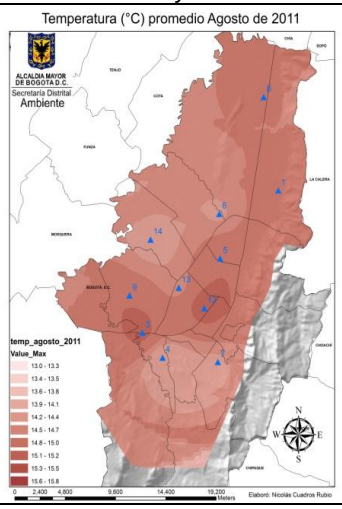
Mayo



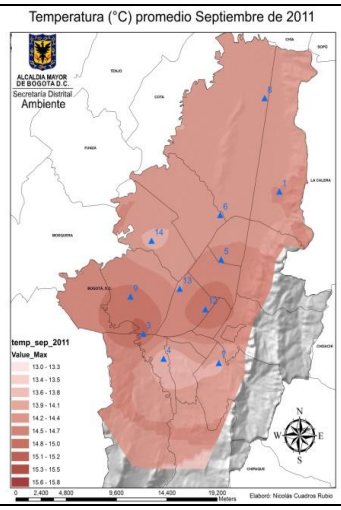
Junio



Julio



Agosto



Septiembre

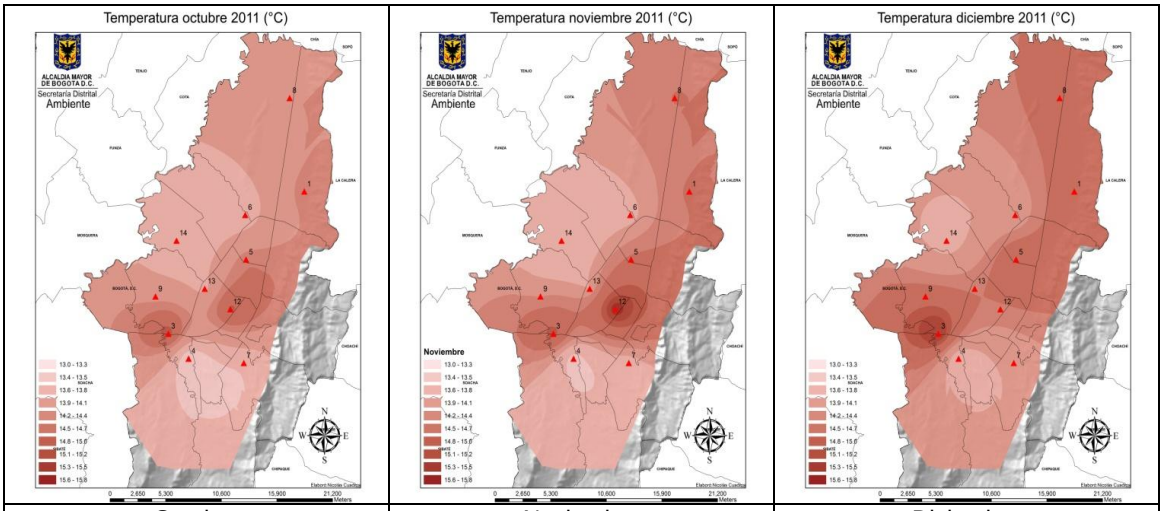


Figura 103. Temperatura promedio mensual en 2011.

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de 2011 de las estaciones de la RMCAB. La Figura 104 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente y su seguimiento permite detectar zonas con susceptibilidad de heladas y/o alto consumo de energía, entre otros.

La Figura 104 muestra que los valores mas altos de temperaturas para máximas se observaron en el sector central y norte de la ciudad. El sector de Usaquén presentó las mayores temperaturas máximas relativas con cerca de 20C coincidente con las temperaturas mínimas en donde tuvieron su valor mas bajo al extremo norte de la ciudad.

La Figura 105 muestra la gráfica del delta de temperaturas entre 2 y 20 m en escala horaria para cada uno de los meses de los primeros tres trimestres de 2011, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la magnitud de la temperatura promedio de la hora en °C. Se observa que en el mes de abril y en el mes de septiembre las diferencias de temperaturas de menor valor se prolongaron incluso hasta las 10 de la mañana en promedio y a partir de las cuatro generaron estos valores, diferencias que corresponden a inversiones térmicas

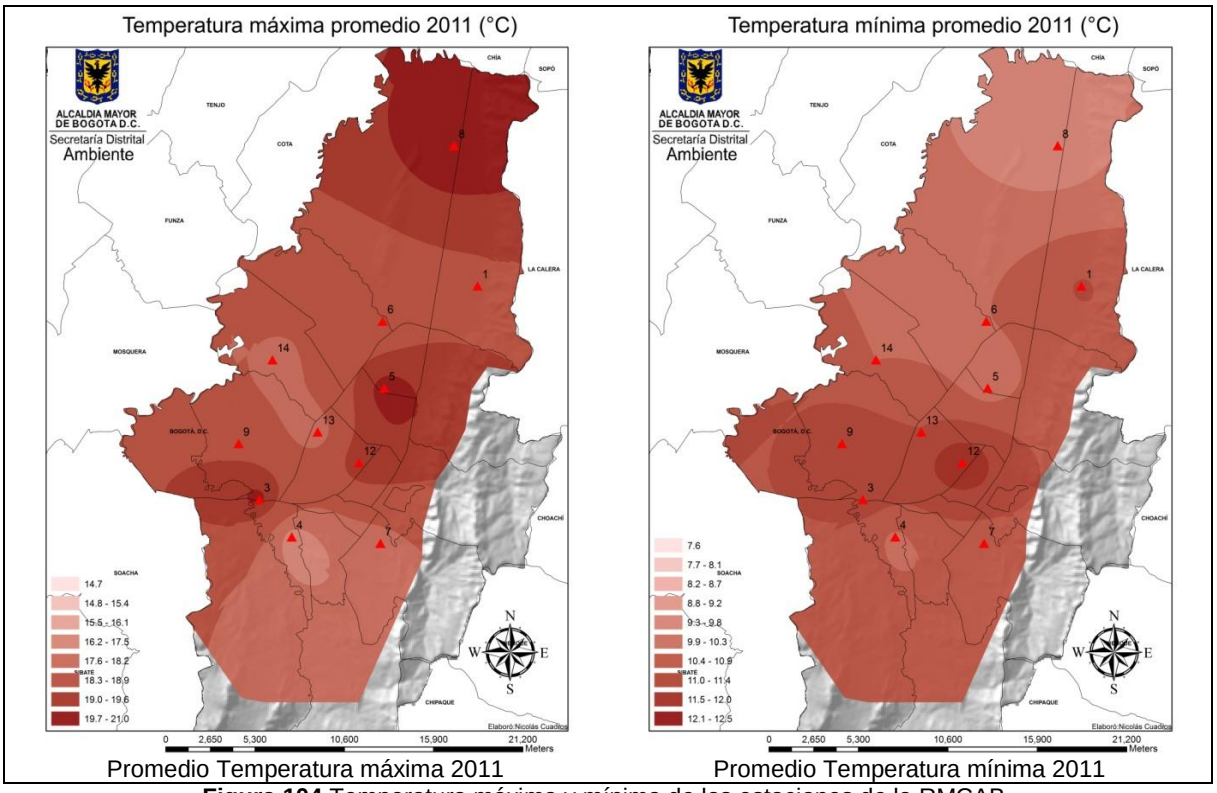


Figura 104. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

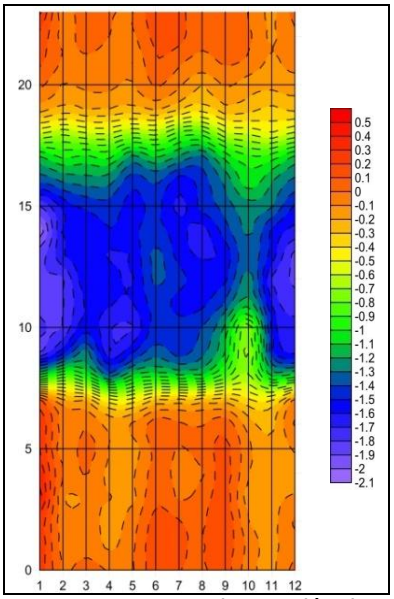


Figura 105. Delta de temperatura entre 2 y 20 m en la estación de Guaymaral para los tres primeros trimestres de 2011

3.3. RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar que llega a la Tierra está expresada por la magnitud irradiancia, que mide la intensidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre. La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir cuatro tipos de radiación14:

Radiación directa. Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

a. Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

b. Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

c. Radiación global: es la suma de las tres radiaciones.

El comportamiento de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 106, la cual muestra los valores promedio de 1997-2010 de radiación mensual para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 41) y su comparación con el promedio de radiación global en cada uno de los meses del primer semestre de 2011. Las condiciones que actúan de manera general en la radiación global dependen de:

— La Distancia tierra-sol. Hay que tener en cuenta que a mediados del año la distancia tierra-sol es mayor (afelio) y por lo tanto llega menos radiación a la superficie de la tierra, mientras que, a principios del año, en el perihelio, la tierra está más cerca al sol, por lo que llega mayor radiación.

— La Nubosidad. En los meses en los que se registra menor radiación, se presenta la primera temporada de lluvias, la cual está asociada a un incremento generalizado de la nubosidad. (IDEAM)

[14] *Definiciones* http://www.solarpedia.es/index.php/Radiación_solar

Se observa en la Figura 106 que la radiación en los meses de 2011 fue principalmente menor en su acumulado con respecto al periodo histórico de referencia, a excepción del mes de enero donde se presentó un 1,1% más de radiación solar. Así mismo agosto y septiembre superaron los promedios históricos, con un acumulado de 4134 y 4242 W/m La Tabla 53 muestra la variación porcentual de la radiación con respecto al periodo histórico.

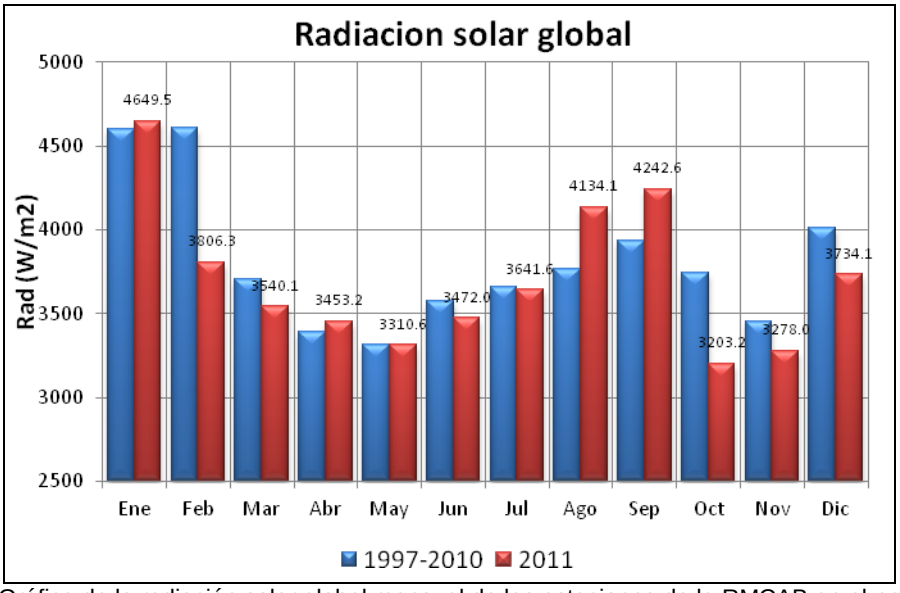


Figura 106. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006 – 2010 y su comparación hasta agosto de 2011.

Tabla 53. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en 2011.

Mes	Porcentaje
Enero	1.1%
Febrero	-17.4%
Marzo	-4.5%
Abril	1.9%
Mayo	-0.1%
Junio	-2.9%
Julio	-0,4%
Agosto	9,8%
Septiembre	7,9%
Octubre	-14.4%
Noviembre	-5.0%
Diciembre	-6.8%

La Figura 107 muestra el comportamiento entre la radiación solar global horaria en 2011 y el promedio en el periodo 1997-2010. El comportamiento estuvo bastante cercano a los valores esperados donde las diferencias más significativas se presentaron en horas de la mañana y medio día.

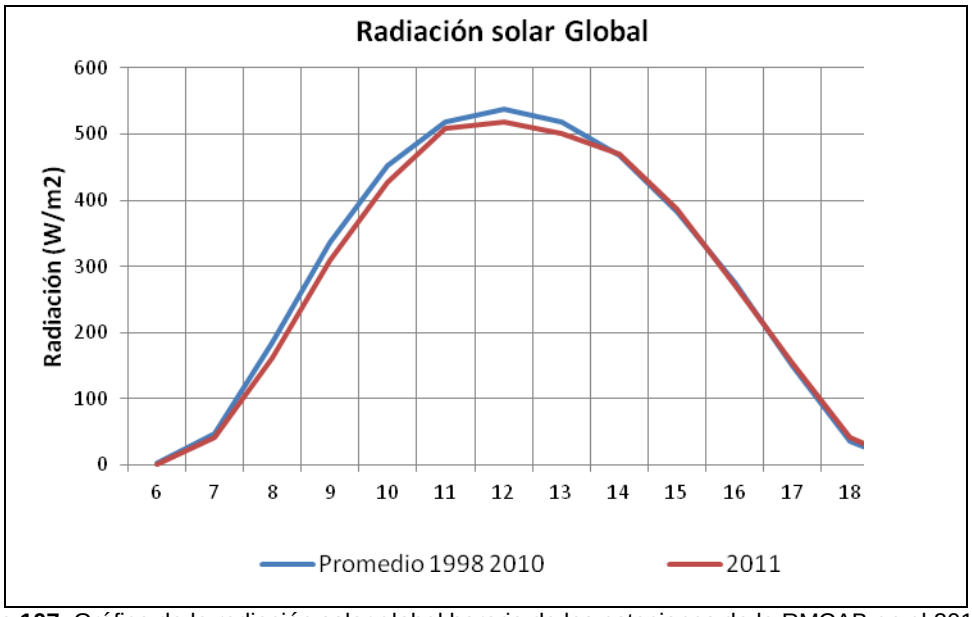


Figura 107. Gráfica de la radiación solar global horaria de las estaciones de la RMCAB en el 2011 y el promedio 2002 – 2010.

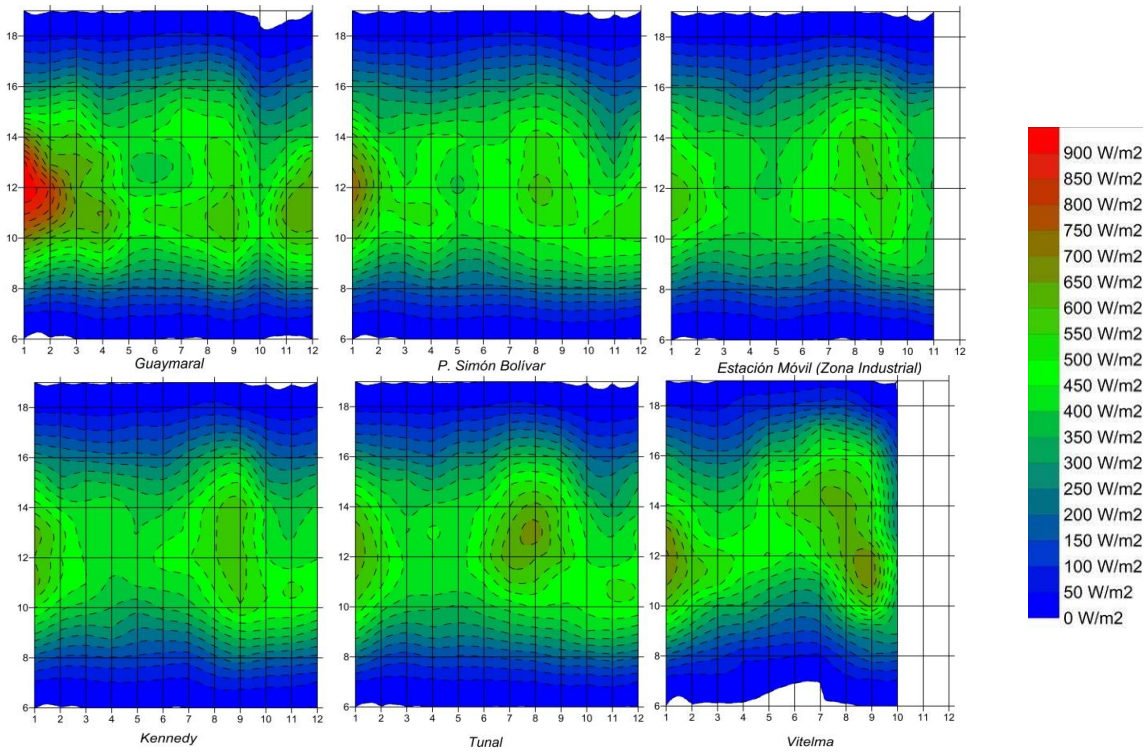


Figura 108. Gráfica de la radiación solar global para cada hora en el año 2011 de las estaciones de la RMCAB para el año 2011.

Las radiaciones globales registradas por cada una de las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 41) mostraron un comportamiento similar. Esto se observa en

la Figura 108, la cual se muestran en escala horaria para cada uno de los meses de 2011, de tal manera que el eje de las abscisas corresponde a los meses, las ordenadas a las horas y la escala de colores representa la magnitud de la radiación. Se puede observar que la radiación solar global disminuyó con lo corrido del año presentando su menor magnitud el mes de mayo, en Septiembre y a final de año se presento un leve incremento en la mayoría de estaciones.

4.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona más alta es la presión, esto significa que la presión atmosférica cambia con la altitud a razón, en las capas atmosféricas más bajas, de un (1) mm Hg cada 10 metros (ó un (1) mb ó hPa cada ocho (8) metros).

Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes, la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar. Este ajuste es conocido como presión barométrica, es decir, la presión barométrica es la presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas. Debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental que varía significativamente en latitudes medias y altas. En los trópicos la variación es menos notoria, dependiendo más de la altitud.

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones meteorológicas mostradas en la Tabla 41. La ciudad de Bogotá está situada en la sabana del mismo nombre, sobre el altiplano cundiboyacense (Cordillera Oriental de los Andes) y presenta mayor altitud en su parte oriental junto a los cerros, cuyo clima está influenciado por la convección producto del ascenso forzado de masas de aire, entre otros. Aunque el tiempo actúa de manera considerable en los valores de presión, en general se observan variaciones entre las estaciones debidas a la diferencia que hay entre la altitud y el fenómeno de marea barométrica que produce dos crestas y dos valles en el comportamiento diario.

La Figura 109 presenta la serie de tiempo para 2011 en donde se observa una ligera tendencia al aumento a mediados del año. Así mismo, las estaciones presentaron un comportamiento regular según su ubicación, tal como se observa en la Figura 110 .

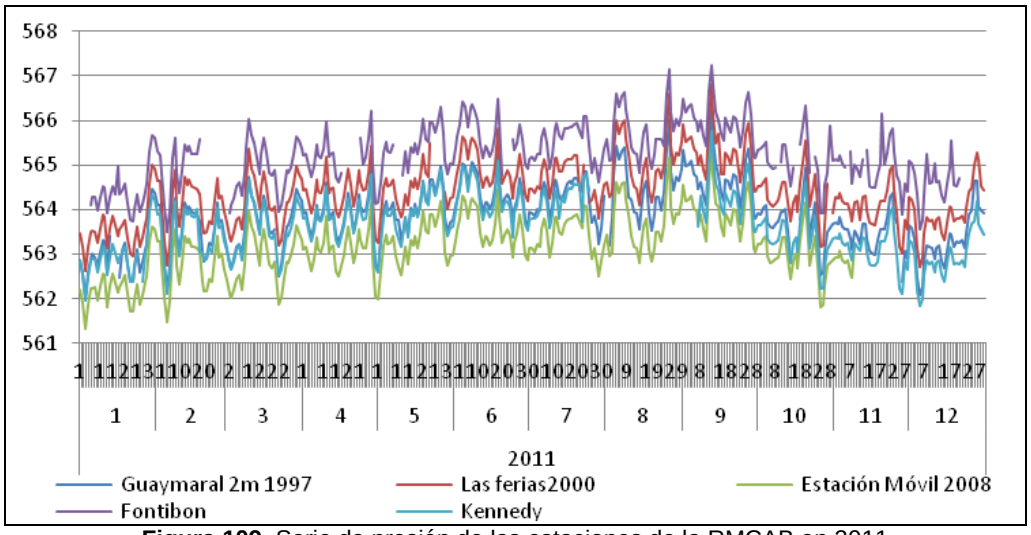


Figura 109. Serie de presión de las estaciones de la RMCAB en 2011.

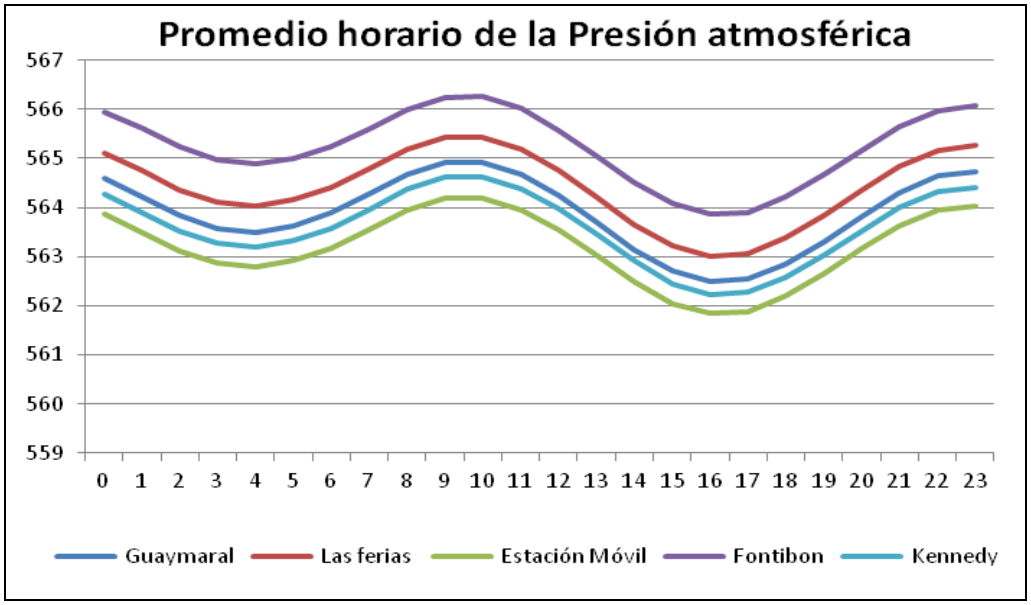


Figura 110. Gráfica de la Presión barométrica para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el año 2011.

La Figura 111 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general para el año 2011 la presión estuvo por debajo del promedio histórico salvo los meses de agosto, septiembre y noviembre. El trimestre de mayor presión en el año correspondió al tercero, como se observa en la Figura 112.

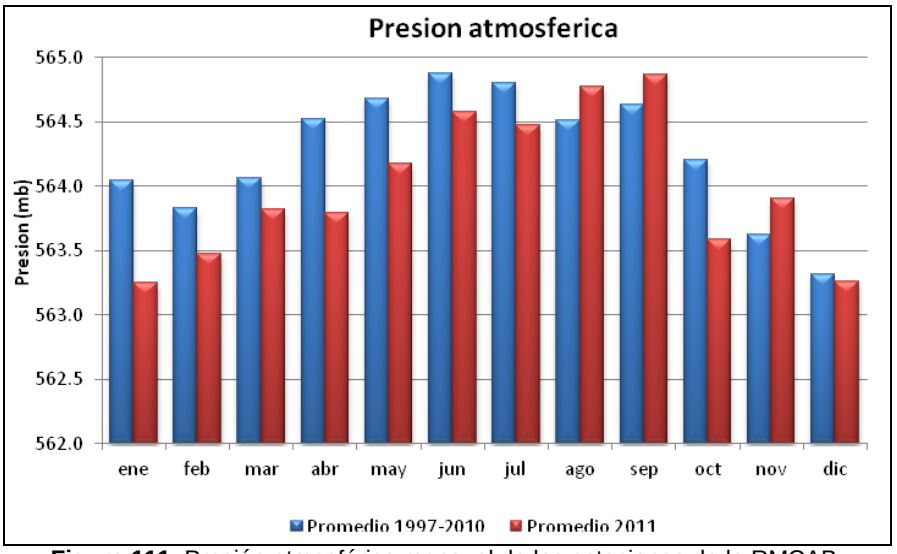


Figura 111. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

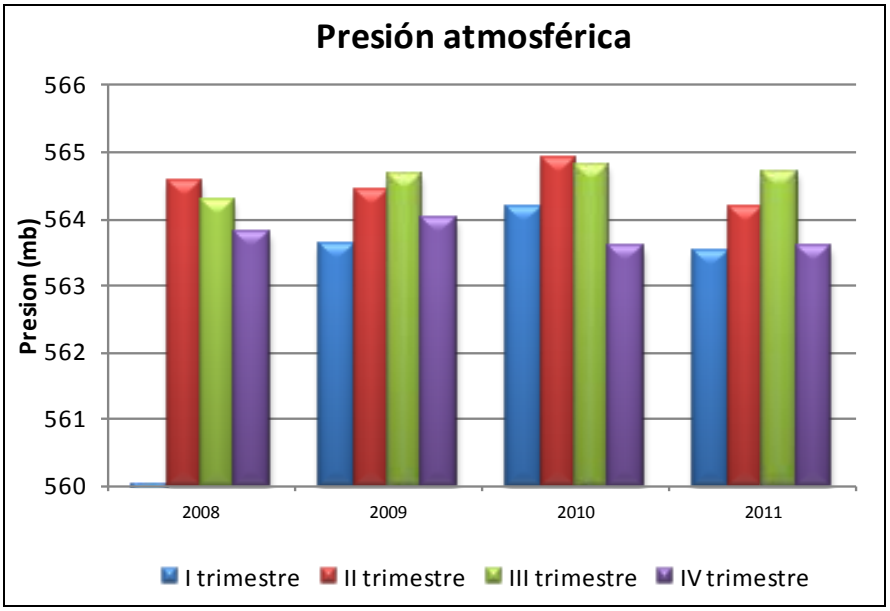


Figura 112. Comparación de la presión en los trimestres desde 2008.

4.5. HUMEDAD RELATIVA

La humedad de una masa de aire no depende de la cantidad de agua por metro cúbico que contenga, eso es la humedad absoluta y obedece a la evaporación, sino de la capacidad del aire para absorber agua. Esta capacidad depende de la temperatura del aire, puesto que esta absorción de agua necesita energía calorífica. A esta capacidad se le llama humedad relativa y se mide en tantos por ciento. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta

que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones meteorológicas como se describió en la Tabla 41. En la Figura 113 se aprecia la serie temporal de las estaciones activas de la RMCAB en los tres primeros trimestres de 2011. La Figura 114 muestra que la humedad relativa en el año 2011 estuvo levemente por debajo del promedio 1997-2010.

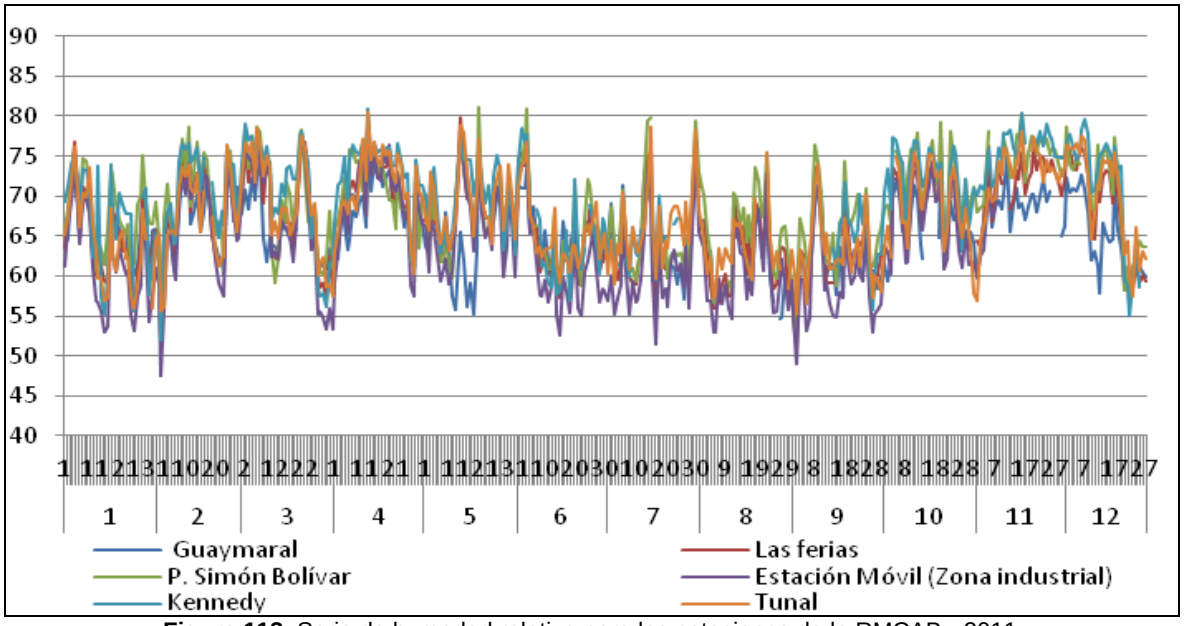


Figura 113. Serie de humedad relativa para las estaciones de la RMCAB - 2011.

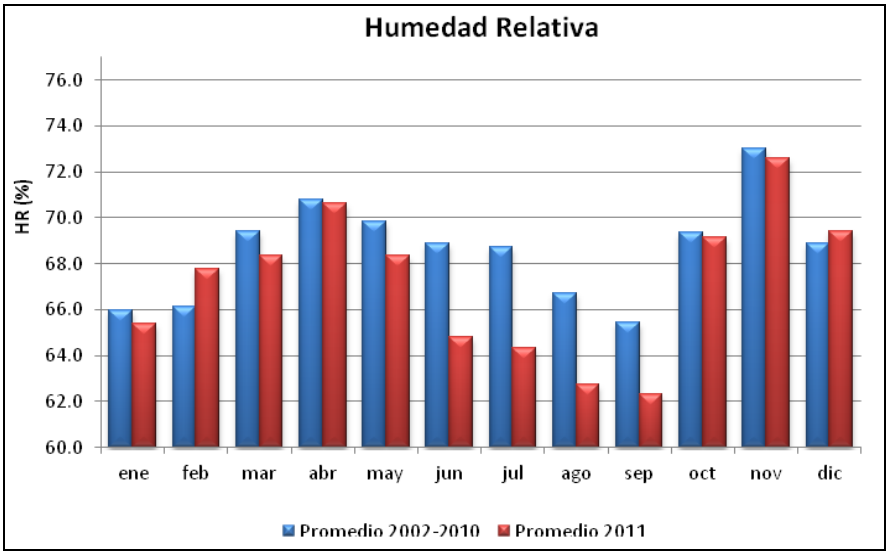


Figura 114. Humedad relativa mensual media del periodo 1997 – 2009 y su comparación con 2011.

La disminución de humedad relativa el año 2011 con respecto al promedio en el periodo 2002-2010 se observa en la Figura 114, donde se nota que solamente el mes de febrero y diciembre no estuvieron por debajo de los promedios y que septiembre se manifestó como el mes menos húmedo del año. La Tabla 54 presenta el porcentaje de variación de cada uno de los meses del año. En los últimos años se observa un decrecimiento de la humedad en la ciudad, tal como se observa en la Figura 115. Considerando que la media de humedad relativa de Bogotá es del 72% (IDEAM), se concluye que el Año 2011 del año estuvo del orden de 6 puntos por debajo del promedio.

Tabla 54. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos

Mes	Porcentaje
Enero	-1%
Febrero	2%
Marzo	-2%
Abril	0%
Mayo	-2%
Junio	-6%
Julio	-6%
Agosto	-6%
Septiembre	-5%
Octubre	0%
Noviembre	-1%
Diciembre	1%

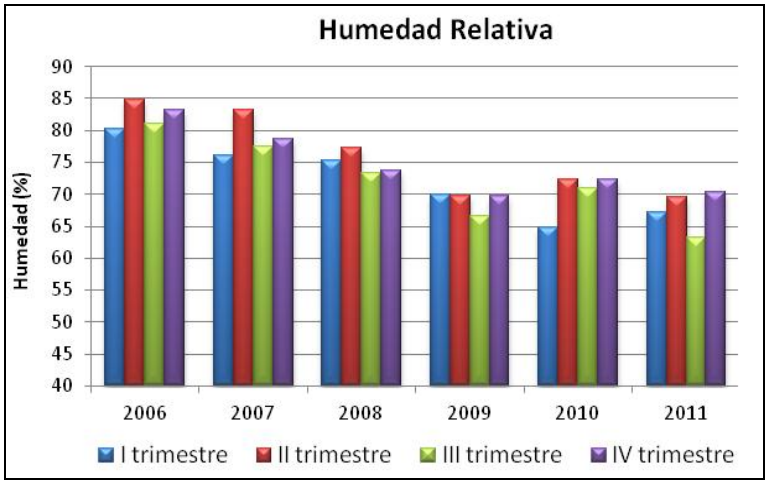


Figura 115. Humedad relativa trimestral en el periodo 2006-2011.

El comportamiento horario de la humedad relativa varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la temperatura entre otros, evidenciándose los datos máximos en horas de la madrugada cuando se observa la mayor estabilidad atmosférica y los valores mínimos en horas de la tarde, cuando la temperatura es máxima. Esto se observa en la Figura 116, en donde se nota que el comportamiento de la humedad horaria no fue significativamente distinta al promedio histórico aunque siempre se mantuvo por debajo de los registros históricos.

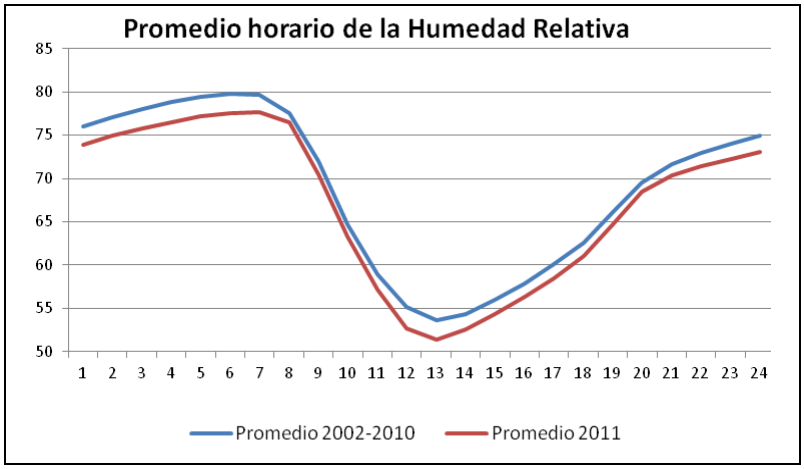
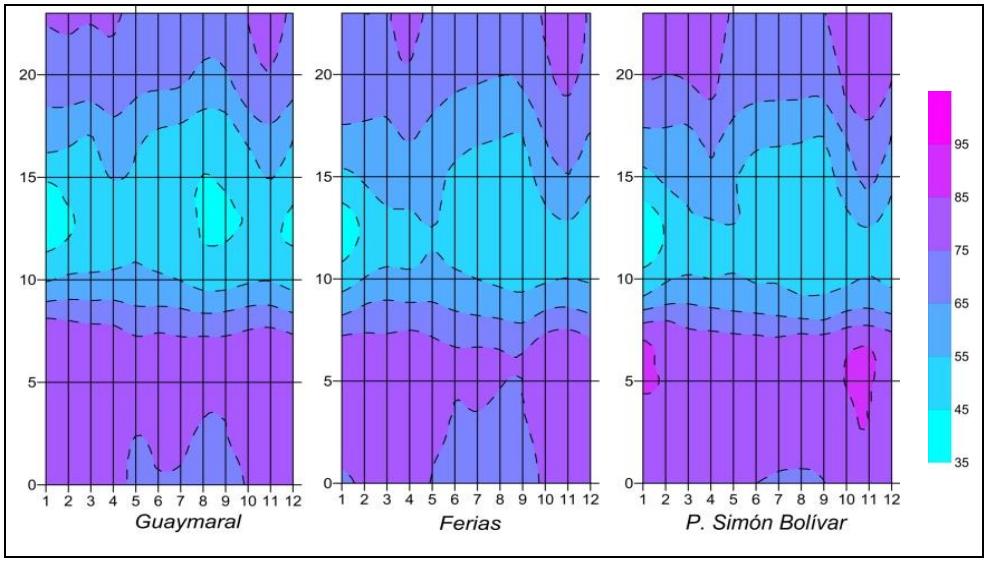


Figura 116. Promedio horario de la humedad en el periodo 1997-2010 y su comparación con el año 2011.

La Figura 117 muestra gráficas de la humedad relativa en escala horaria para cada uno de los meses del año 2011, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, el eje de las ordenadas las horas y la escala de colores representan la magnitud de la humedad. Se observa un período de disminución de la humedad entre las 7 y las 18 horas, luego aumentan hasta alcanzar la humedad similar a la registrada en las primeras horas del día. La diferencia entre la humedad es mayor en horas de la madrugada y se disminuye en horas de la tarde. La estación de Guaymaral por su ubicación en una zona rural presenta los porcentajes mayores de humedad seguido de la estación de Parque Simón Bolívar, la estación que presentó menor humedad fue la estación Móvil en la zona Industrial.



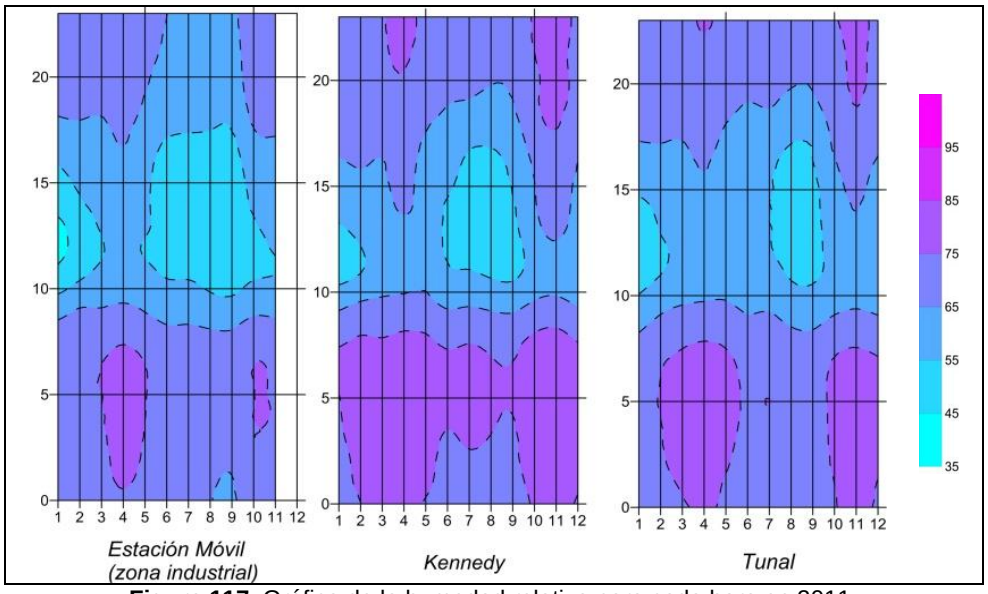


Figura 117. Gráfica de la humedad relativa para cada hora en 2011.

GLOSARIO

Aire: Es el fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

Aire cero: Es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo, la purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.

Agentes contaminantes convencionales: Se entiende por agentes contaminantes convencionales los *contaminantes primarios* (Monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y *contaminantes secundarios* (ozono, Dióxido de nitrógeno).

Analizador: Equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que da señales de salida cíclicas o puntuales.

Anemómetro: Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.

Aseguramiento de la Calidad (AC): Sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].

Auditoria: Evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].

Bandera: Registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.

Barómetro: Instrumento para medir la presión atmosférica.

Bitácora: Libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.

Calibración: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Cilindro de gas patrón certificado: Es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.
Concentración de fondo: Fracción de la calidad del aire observado que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian.

Concentración de una sustancia en el aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones Normales para normas de calidad del aire y fuentes fijas: Las normas de emisión previstas en la presente Resolución están establecidas teniendo en cuenta las condiciones Normales a 298.15 K y 101.325 kPa.
Confiabilidad: Capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.

Contaminación atmosférica: Es el fenómeno de acumulación de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adverso en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.

Control de Calidad (CC): Sistema de actividades técnicas que mide los atributos y rendimiento de un proceso, producto o servicio con estándares definidos para verificar que ellos cumplan los requisitos establecidos por el cliente. Las técnicas y actividades operacionales usadas para cumplir con los requisitos de calidad. Sistema de actividades y chequeos para asegurar que los sistemas de medición sean mantenidos dentro de los límites prescritos a fin de proporcionar una protección contra las condiciones fuera de control y asegurar que los resultados sean de calidad aceptable. [EPA].

Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

Diagrama de caja (Box-Plot): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.

Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (g/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C[\mu g/m3] = \frac{C[ppm] \times PM}{24.466} 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:

C[µg/m^3] = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
C[ppm] = Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM[kg/kmol] = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24.466 = Volumen de una kmol en m3/kmol a temperatura de 298.15 K y presión de 101.325 kPa

Episodio de contaminación: Es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.

Equipo Para Calibración: Es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.

Estabilidad atmosférica: Característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire.

Estación de monitoreo: Es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos primarios y/o de referencia y de medición meteorológica manuales o automáticos situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.

Estándar de calidad del aire: Valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.

Gas de calibración: Término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.

Generador de aire cero: Dispositivo utilizado para generar aire cero.

Hidrometeoro: Fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

Índice. Expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.

Isohuma: Línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.

Isotaca: Línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.

Isoterma: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.

Isoyeta: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.

Material particulado: Término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.

Media aritmética: Es la sumatoria de todos los datos a promediar. Dividida por el número total de datos.

Media Móvil: Se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de n datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.

Método Equivalente: Es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.

Método de Referencia: Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.

Monitoreo: En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

Nivel Normal (Nivel I): Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: Concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.

Nivel de Prevención (Nivel II): Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (Nivel III): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de

algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de emergencia (Nivel IV): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Norma anual: Establece la concentración máxima anual permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras diarias cuando se trata de contaminantes en estado gaseoso, o el promedio geométrico de los valores de las muestras diarias cuando se refieran a partículas suspendidas totales - PST.

Norma diaria: Establece la concentración máxima diaria permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras horarias, que podrá excederse solo una vez en un año.

Norma promedio horaria: Establece la concentración máxima permisible de un contaminante, de las mediciones realizadas en un periodo de tiempo establecido (media hora, una hora, tres horas, 6 horas y 8 horas).

Obstáculo: Elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: Toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: Grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio Geométrico: Es la raíz enésima del producto de todos los datos a promediar, Para su cálculo utilícese la siguiente ecuación:
$G = (X1*X2*X3*....*Xn)^{1/n}$
Donde:
G = Promedio geométrico
X1, X2, X3. …….Xn = Todos los datos a promediar.

Protocolo: Plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: Se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: Véase Rango de tolerancia

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: Es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetibilidad: Grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Representatividad: Grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

Sustancia: Todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.

Toma-muestras: Conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.

Unidades: Las unidades más utilizadas son:
Nm^3/h: Metros cúbicos por hora en condiciones Normales.
mg / Nm^3: Miligramos por metro cúbico en condiciones Normales.
mg/m^3: Miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: Microgramos por metro cúbico.
kg/h: Kilogramos por hora.
g/h: Gramos por hora.
ppm: Partes por millón.

Validación: Confirmación por medio de análisis y la provisión de evidencias objetivas de que se cumplen los requisitos particulares para el uso específico de un método. (Para calidad de aire, la validación incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, Calibración de equipos y análisis de los datos).

ANEXOS

ANEXO 1. LOCALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RMCAB

La RMCAB está conformada por quince estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central de datos en donde se evalúa la calidad de la información, se depura y se procesa. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de los datos y la verificación del cumplimiento de las normas de calidad del aire, para detectar las áreas o sectores que requieren atención prioritaria, en relación con los contaminantes que alcanzan concentraciones de interés.

A continuación se presentan los mapas de localización de las estaciones que conforman la RMCAB, señalando el primero los parámetros meteorológicos medidos en cada una de las estaciones y el segundo los parámetros contaminantes y las características de las zonas de influencia de las estaciones. Es importante resaltar que de estás, existen dos estaciones que son Usme y Vitelma, las cuales manejan únicamente las variables meteorológicas[15].

[15] *La estación Usme se encuentra fuera de servicio por hurto en la estación*

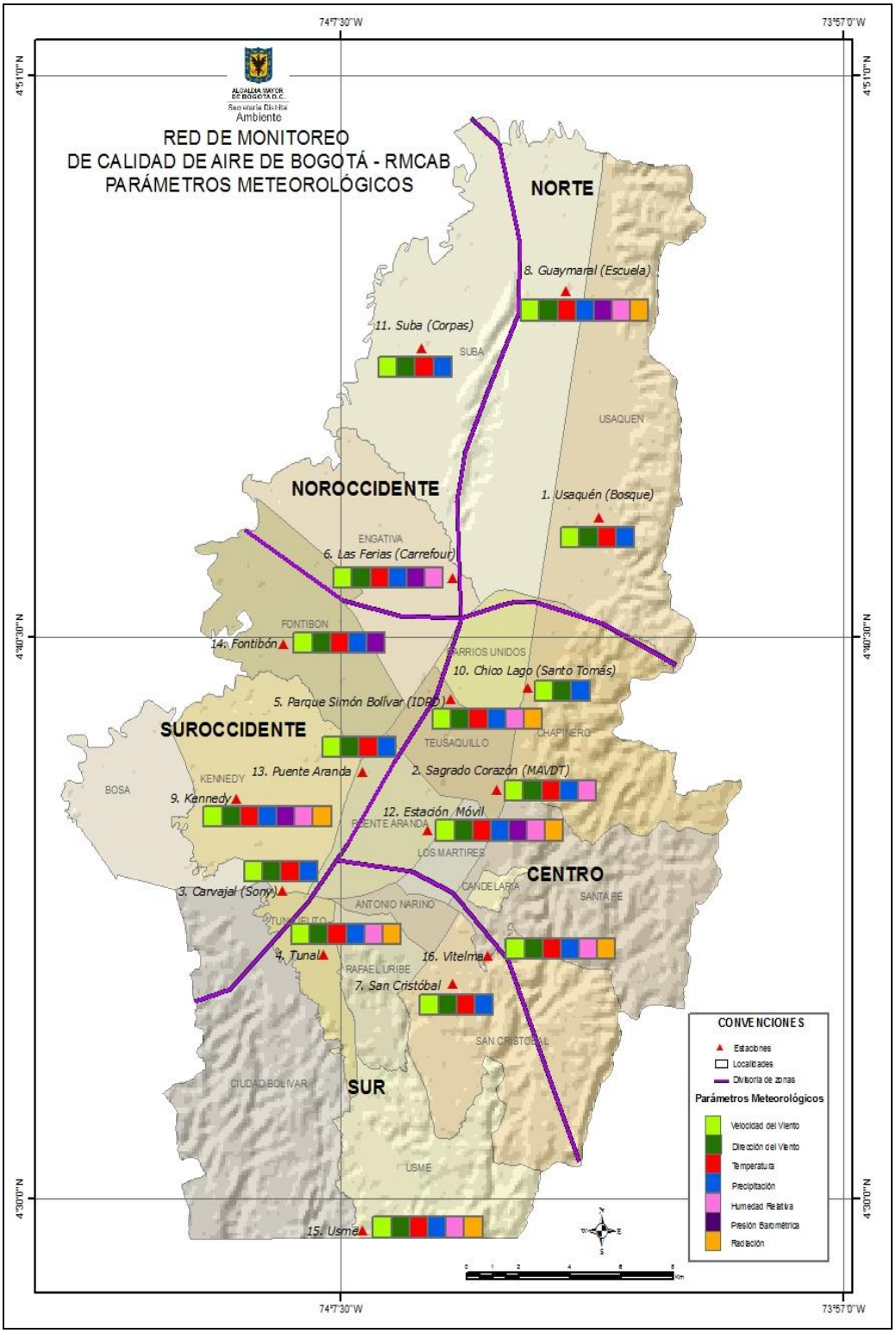


Figura 118. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, sensores meteorológicos.

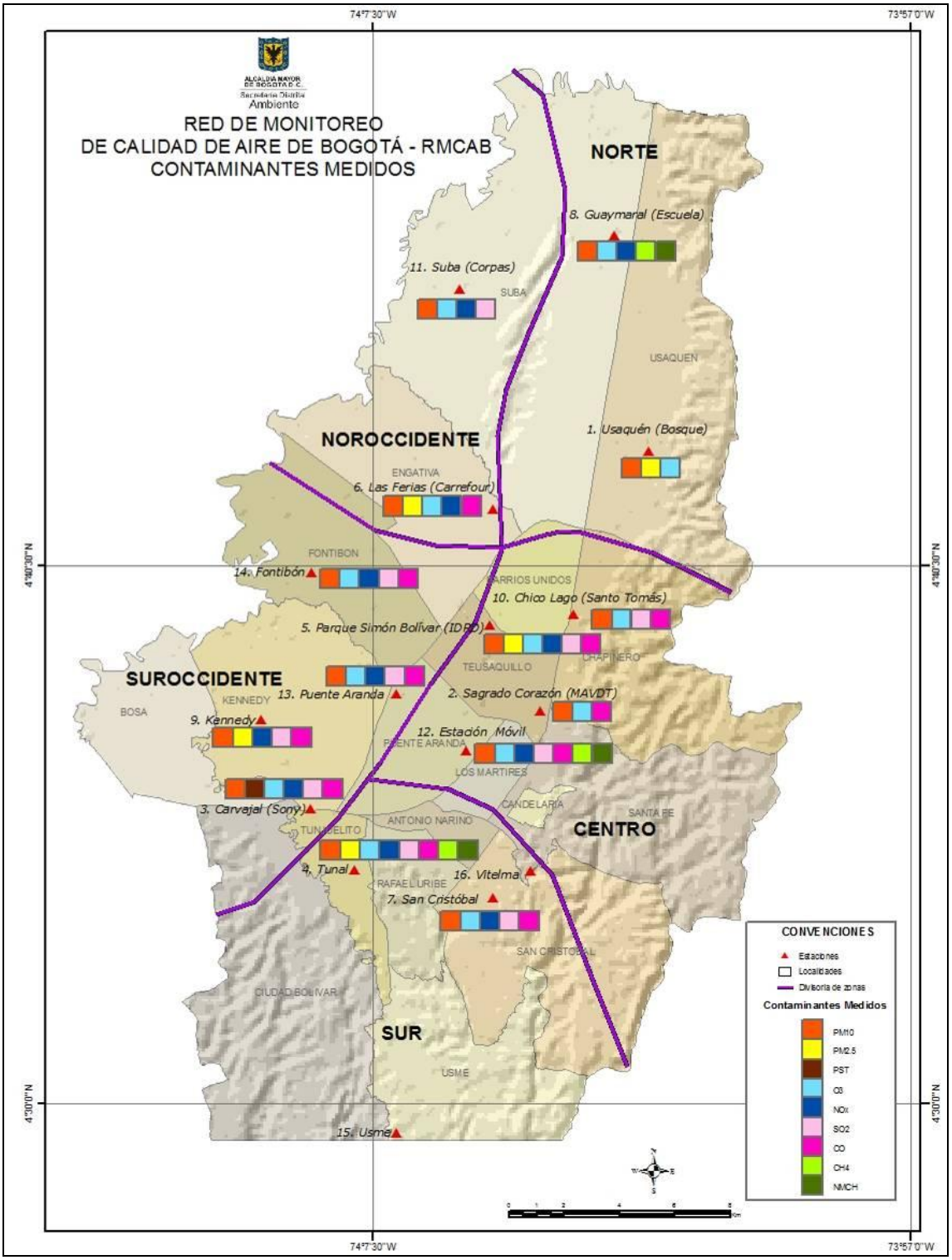


Figura 119. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB y analizadores de contaminantes

ANEXO 2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

Las normas de calidad del aire que se adoptaron como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá, según la Resolución 601 del 4 de Abril de 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010.

Tabla 55. Normas de Calidad del Aire

CONTAMINANTE	PERÍODO	NORMA	UNIDAD DE MEDIDA	COMENTARIOS
PARTÍCULAS PM_{10}	Anual	50	$\mu g/m^3$	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	100	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES. PST	Anual	100	$\mu g/m^3$	Promedio geométrico de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	300	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas
ÓXIDOS DE AZUFRE. SO_2	Anual	31	ppb	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	96	ppb	Concentración promedio horaria en 24 horas
	3 horas	287	ppb	Concentración promedio horaria en 3 horas
ÓXIDOS DE NITRÓGENO. NO_2	Anual	53	ppb	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	80	ppb	Concentración promedio horaria en 24 horas
	1 hora	106	ppb	Concentración promedio horaria
MONÓXIDO DE CARBONO. CO	8 horas	8.8	ppm	Concentración promedio horaria en 8 horas
	1 hora	35	ppm	Concentración promedio horaria
OXIDANTES FOTOQUÍMICOS. O_3	1 hora	61	ppb	Concentración promedio horaria
	8 horas	41	ppb	Concentración promedio en 8 horas
PARTÍCULAS $PM_{2.5}$	Anual	25	$\mu g/m^3$	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días (valor guía)
	24 horas	50	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas (valor guía)

ANEXO 3. ESCALAS DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Tabla 56. Escala de precipitación

Denominación	Precipitación Diaria [mm]	Precipitación Mensual [mm]
Escasa	0 – 5	0 - 20
Ligera	6 – 10	21 - 40
Moderada	11 – 20	41 - 80
Fuerte	21 – 50	81 - 200
Muy Fuerte	51 – 70	201 - 280
Intensa	> 70	>281

Tabla 57. Escala de velocidad del viento – Beaufort

Denominación	Velocidad del Viento [m/s]
Calma	0 - 0.5
Ventolina	0.6 - 1.7
Suave	1.8 - 3.3
Leve	3.4 - 5.2
Moderado	5.3 - 7.4
Regular	7.5 - 9.8
Fuerte	9.9 - 10.4
Muy Fuerte	10.5 - 15.2
Temporal	15.3 - 18.2
Temporal Fuerte	18.3 - 21.5
Temporal Muy Fuerte	21.6 - 25.1
Tempestad	25.2 - 29
Huracán	>29

INFORME ANUAL
CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ

AÑO 2012

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
RMCAB

Bogotá, D.C. 2013

126PM04-PR84-M-A2-V1.0

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

Gustavo Francisco Petro Urrego
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

María Susana Muhamad González
Secretaría Distrital de Ambiente

Milton Rengifo Hernández
Subsecretaría Distrital de Ambiente

Julio César Pulido Puerto
Director Control Ambiental

Fernando Molano Nieto
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Edgar Alberto Rojas
Profesional Especializado SDA

Giovana Constanza Saavedra Plazas
Mayra Alejandra Lancheros Barragán
Nicolás Cuadros Rubio
Ana María Llorente Valbuena
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Henry Ospino Dávila
Darío Alejandro Gómez Flechas
José Luis López Parra
Norbey Alirio Barahona González
Sandra Milena Cifuentes
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Mayo de 2013, Colombia
Informe Anual de la Red de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2012.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ
HUMANA

RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ D.C.

INFORME ANUAL 2012

2012

126PM04-PR84-M-A2-V1.0

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 12
INTRODUCCIÓN 17
1. GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES 19
1.1. INFORMACIÓN SOBRE ESTACIONES Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN 19
1.1.1. ESTACIÓN USAQUÉN (BOSQUE) 19
1.1.2. SAGRADO CORAZÓN 19
1.1.3. ESTACIÓN CARVAJAL (SONY) 20
1.1.4. ESTACIÓN TUNAL 20
1.1.5. ESTACIÓN PARQUE SIMÓN BOLÍVAR (IDRD) 21
1.1.6. ESTACIÓN LAS FERIAS (CARREFOUR) 21
1.1.7. ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL 22
1.1.8. ESTACIÓN GUAYMARAL (ESCUELA) 22
1.1.9. ESTACIÓN KENNEDY 23
1.1.10. ESTACIÓN BOLIVIA 23
1.1.11. ESTACIÓN SUBA (CORPAS) 24
1.1.12. ESTACIÓN PUENTE ARANDA 24
1.1.13. ESTACIÓN FONTIBÓN 25
1.1.14. ESTACIÓN MÓVIL (ACTUAL UBICACIÓN) 25
2. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 26
2.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 26
2.1.1. ESTACIÓN 26
2.1.2. PARÁMETRO 26
2.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS 27
2.2.1. ESTACIÓN 27
2.2.2. PARÁMETRO 27
3. CALIDAD DEL AIRE 29
3.1. MATERIAL PARTICULADO – MP O PM (PARTICULATE MATTER) 30
3.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10} 30
3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE $PM_{2.5}$ 43
3.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PST 48
3.2. GASES CONTAMINANTES 54
3.2.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SO_2 54
3.2.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_2 62
3.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO 70
3.2.4. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE O_3 76

3.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS 85

4. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE 97

4.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM_{10} 98
4.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO_2..... 100
4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA OZONO (O_3), MONÓXIDO DE CARBONO (CO) Y DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 101

5. METEOROLOGÍA 103

5.1. PRECIPITACIÓN 104
5.2. VIENTOS 124
5.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL 141
5.4. RADIACIÓN SOLAR 154
5.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA 158
5.6. HUMEDAD RELATIVA 161

GLOSARIO.....165

ANEXOS 172

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE PM_{10} DURANTE EL 2012 14
FIGURA 2. EPISODIO DE MÁXIMA CONCENTRACIÓN PM_{10} DURANTE EL AÑO 2012. PROMEDIO DIARIO. 14
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE LAS LLUVIAS EN LA CIUDAD AÑO 2012. FUENTE RMCAB 15
FIGURA 4. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MADRUGADA –2012. 16
FIGURA 5. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA MAÑANA –2012. 16
FIGURA 6. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA TARDE –2012. 16
FIGURA 7. FLUJO DE VIENTOS PROMEDIO DURANTE LA NOCHE –2012. 16
FIGURA 8. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR ESTACIÓN – 2012. 26
FIGURA 9. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR PARÁMETRO – 2012. 26
FIGURA 10. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS POR ESTACIÓN – 2012. 27
FIGURA 11. GRÁFICA DE PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS POR PARÁMETRO – 2012. 28
FIGURA 12. CONCENTRACIONES DE PM_{10} PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 32
FIGURA 13. INTERPOLACIÓN DE LOS PROMEDIOS MÁXIMOS 24 HORAS DE PM_{10} DURANTE EL 2012. 34
FIGURA 14. INTERPOLACIÓN DE LAS MEDIAS DE LOS PROMEDIOS 24 HORAS DE PM_{10} DURANTE EL 2012. 35
FIGURA 15. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 36
FIGURA 16. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 37
FIGURA 17. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 38
FIGURA 18. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 41
FIGURA 19. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PM_{10} 24 HORAS POR AÑOS. 42
FIGURA 20. CONCENTRACIONES DE $PM_{2.5}$ 24 HORAS DURANTE EL 2012. 43
FIGURA 21. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ POR DÍAS DE LA SEMANA (SOBRE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2012. 45
FIGURA 22. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS), DESDE 2009 HASTA 2012. 46
FIGURA 23. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE $PM_{2.5}$ EN 2012. 47
FIGURA 24. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA $PM_{2.5}$ 24 HORAS POR AÑO, DESDE 2009 HASTA 2012. 48
FIGURA 25. CONCENTRACIONES DE PST PARA 24 HORAS DURANTE EL AÑO 2012. 49
FIGURA 26. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST POR DÍAS DE LA SEMANA (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 49
FIGURA 27. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST POR MESES (DESDE BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 51
FIGURA 28. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE PST EN EL 2012 EN LA ESTACIÓN DE CARVAJAL. 52
FIGURA 29. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 52
FIGURA 30. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA PST 24 HORAS POR AÑOS, DESDE 2005 HASTA 2012. 53
FIGURA 31. CONCENTRACIÓN DE SO_2 PARA 3 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 55
FIGURA 32. CONCENTRACIÓN DE SO_2 PARA 24 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 56
FIGURA 33. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO EL AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 57
FIGURA 34. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS, POR MESES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 58
FIGURA 35. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE SO_2 PARA EL 2012. 59
FIGURA 36. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 61
FIGURA 37. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA SO_2 24 HORAS POR AÑOS. 62
FIGURA 38. CONCENTRACIÓN HORARIA DE NO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 63
FIGURA 39. CONCENTRACIÓN DE NO_2 24 HORAS POR ESTACIÓN PARA EL AÑO 2012. 64
FIGURA 40. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 POR DÍAS DE LA SEMANA (BASE 24 HORAS) COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES 65
FIGURA 41. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 66
FIGURA 42. CONCENTRACIÓN PROMEDIO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 67

FIGURA 43. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 POR ESTACIONES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES (BASE 24 HORAS). 69
FIGURA 44. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA NO_2 24 HORAS POR AÑOS. 70
FIGURA 45. CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MEDIAS HORARIAS DE CO DURANTE EL 2012. 71
FIGURA 46. CONCENTRACIÓN MÁXIMA Y MEDIA DE CO PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 72
FIGURA 47. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 73
FIGURA 48. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR MESES COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 74
FIGURA 49. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR ESTACIONES, COMPARANDO AÑO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 75
FIGURA 50. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA CO 24 HORAS POR AÑOS, DESDE 2006 HASTA 2012. 76
FIGURA 51. CONCENTRACIÓN MEDIA Y MÁXIMA HORARIA DE O_3 POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 77
FIGURA 52. CONCENTRACIÓN MEDIA Y MÁXIMA DE O_3 PARA 8 HORAS POR ESTACIÓN DURANTE EL 2012. 79
FIGURA 53. EPISODIO DE CONTAMINACIÓN DE O_3, EN PPB, PROMEDIO 8 HORAS, 2012. 80
FIGURA 54. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE OZONO EN PPB, AÑO 2012, BASADO EN PROMEDIOS DIARIOS 81
FIGURA 55. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 24 HORAS POR DÍAS DE LA SEMANA, COMPARANDO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 82
FIGURA 56. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 PROMEDIO MENSUAL (DESDE BASE DIARIA) COMPARANDO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 83
FIGURA 57. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 PROMEDIOS ANUALES (DESDE BASE DIARIO) POR ESTACIONES COMPARANDO 2012 CON AÑOS ANTERIORES. 84
FIGURA 58. GRÁFICO DE BOX-PLOT PARA O_3 PROMEDIO ARITMÉTICO DE LAS ESTACIONES (DESDE BASE DIARIA). 85
FIGURA 59. ICA PARA PM10 AÑO 2012, PORCENTAJE MENSUAL POR CATEGORÍA. 98
FIGURA 60. COMPARACIÓN DEL ICA PARA PM10 AÑOS 2011 – 2012. 99
FIGURA 61. ICA PARA PM_{10} POR ESTACIÓN, AÑO 2012 99
FIGURA 62. ICA PARA NO_2 AÑO 2012, PORCENTAJE MENSUAL POR CATEGORÍA. 100
FIGURA 63. COMPARACIÓN DEL ICA PARA NO_2, AÑOS 2011 – 2012 101
FIGURA 64. ESQUEMATIZACIÓN HORA-MES DE LA PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN DEL AEROPUERTO ELDORADO EN BOGOTÁ. FUENTE: IDEAM 104
FIGURA 65. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE NINO REGIÓN 3.4 EN LOS ÚLTIMOS AÑOS. FUENTE IRI. 105
FIGURA 66. SERIES DE TIEMPO DE ÁREAS PROMEDIADAS PARA LAS ANOMALÍAS EN LA TEMPERATURA EN °C DE LA SUPERFICIE DE OCÉANO (SST) PARA LAS REGIONES DEL EL NIÑO [(NIÑO-1+2(0°-10°S, 90°W- 0°W), NIÑO 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), NIÑO-3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), NIÑO-4 (150°W-160°E 5°N-5°S). LAS ANOMALÍAS DE SST SON VARIACIONES DE LOS PROMEDIOS SEMANALES DEL PERÍODO BASE DE 1971-2000 TOMADO DE: CENTRO DE PREDICCIONES CLIMATICAS/NCEP/NWS 106
FIGURA 67. SERIE DE TIEMPO DE LAS PRECIPITACIONES PROMEDIO EN ESCALA MENSUAL DESDE AGOSTO DE 1997 HASTA DICIEMBRE DE 2012 PARA LAS ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO DE LA RMCAB 107
FIGURA 68. SERIE DE TIEMPO PRECIPITACIÓN 2012. FUENTE RMCAB 108
FIGURA 69 ACUMULADO PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES ACTIVAS DE LA RMCAB DEL PERIODO 1998-2011 COMPARADA CON EL PROMEDIO DE LOS DE 2012. FUENTE RMCAB 109
FIGURA 70. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LAS ESTACIONES DE LA RMCA EN EL II TRIMESTRE DESDE 1998 HASTA 2012. FUENTE RMCAB 110
FIGURA 71. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN POR ESTACIÓN EN EL II TRIMESTRE DESDE 1999 HASTA 2012. FUENTE RMCAB 110
FIGURA 72. DÍAS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO DE LA RMCAB DEL PERIODO AMJ DE 1998-2011 COMPARADA CON EL PROMEDIO PARA EL II TRIMESTRE DE 2012. FUENTE RMCAB 111
FIGURA 73. PROMEDIO DE LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCA PARA EL I Y II TRIMESTRE DESDE 1998 HASTA 2012. FUENTE RMCAB 112
FIGURA 74. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DESE 1998 HASTA 2012 PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB. 112
FIGURA 75. ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN EN EL ÚLTIMO TRIMESTRE DE 2012. FUENTE. RMCAB 114
FIGURA 76. DÍAS DE PRECIPITACIÓN DE CADA ESTACIÓN DURANTE LOS TRIMESTRES DE 2012. FUENTE. RMCAB 115
FIGURA 77. ACUMULADOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN PARA EL II TRIMESTRE DE 2012 Y SU COMPARACIÓN CON EL PROMEDIO 1998-2010 116
FIGURA 78. PRECIPITACIÓN ACUMULADA HORARIA PROMEDIO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB 117
FIGURA 79. PRECIPITACIÓN ACUMULADA HORARIA PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB. 119

FIGURA 80. MAPA DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2012. FUENTE RMCAB 120
FIGURA 81. MAPA DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL TRIMESTRE AMJ DEL AÑO 2012. FUENTE RMCAB 121
FIGURA 82. MAPAS DE ACUMULADO DE PRECIPITACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL PRIMER SEMESTRE DE 2012. FUENTE RMCAB....123
FIGURA 83. SERIE DE TIEMPO EN RESOLUCIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO MENSUAL PROMEDIO DE LAS ESTACIONES ACTIVAS DE LA RMCAB 125
FIGURA 84. SERIE DE TIEMPO DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO HORARIA PARA EL PRIMER SEMESTRE DE 2012 EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 125
FIGURA 85. FRECUENCIAS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2012 Y SU COMPARACIÓN CON EL MISMO PERIODO EN EL PROMEDIO 1998 – 2011. 130
FIGURA 86. ROSA DE LOS VIENTOS Y PORCENTAJE DE FRECUENCIAS DE DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 133
FIGURA 87. VELOCIDAD DEL VIENTO POR ESTACIÓN, SEGÚN LA MEDIA HORARIA EN 2012. FUENTE RMCAB. 134
FIGURA 88. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO DE BOGOTÁ PARA 2012 135
FIGURA 89 .PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA DISTINTAS HORAS EN 2012. FUENTE RMCAB. ..136
FIGURA 90. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LA MADRUGADA DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2012. FUENTE RMCAB....137
FIGURA 91. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LA MAÑANA DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2012. FUENTE RMCAB 138
FIGURA 92 PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LA TARDE DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2012. FUENTE RMCAB 139
FIGURA 93. PROMEDIO DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA LA NOCHE DE LOS CUATRO TRIMESTRES DE 2012. FUENTE RMCAB 140
FIGURA 94. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 1998-2011 Y SU COMPARACIÓN CON EL 2012. FUENTE RMCAB. 142
FIGURA 95. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 1998- 2012. FUENTE RMCAB....143
FIGURA 96. COMPORTAMIENTO HORARIO PROMEDIO EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL....144
FIGURA 97. TEMPERATURA A 2, 8 Y 20 M DE LA ESTACIÓN DE GUAYMARAL Y DIFERENCIAS DE TEMPERATURAS ENTRE 8 – 2 M Y 20 – 2 M. FUENTE RMCAB. 145
FIGURA 98. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PARA CADA HORA EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA 2012. FUENTE RMCAB 146
FIGURA 99. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS 4 TRIMESTRES PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2012. FUENTE RMCAB. 148
FIGURA 100. MAPA DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL II TRIMESTRE DE 2012. FUENTE RMCAB 149
FIGURA 101. TEMPERATURAS PROMEDIO PARA CADA TRIMESTRE DE 2012. 150
FIGURA 102. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL PARA EL I SEMESTRE DE 2012. 151
FIGURA 103. TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL PARA EL II SEMESTRE DE 2012. 152
FIGURA 104.TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. 153
FIGURA 105. TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA TRIMESTRAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB 154
FIGURA 106. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN EL PERIODO 2006- 2011 Y SU COMPARACIÓN CON 2012. FUENTE RMCAB 155
FIGURA 107. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL HORARIA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2012 Y EL PROMEDIO 2006-2011. FUENTE RMCAB 156
FIGURA 108. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA RADIACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB.156
FIGURA 109. COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN EN LAS ESTACIONES A NIVEL HORARIO. FUENTE RMCAB 157
FIGURA 110. ACUMULADO DE RADIACIÓN DESDE LAS 6 HASTA LAS 18 HRS, 2012. 157
FIGURA 111. GRÁFICA DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL PARA CADA HORA EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2012. FUENTE RMCAB 158
FIGURA 112. SERIE DE PRESIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2012. FUENTE RMCAB 159
FIGURA 113. GRÁFICA DE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA PARA CADA HORA EN LAS ESTACIONES DE LA RMCAB PARA EL AÑO 2012. FUENTE RMCAB....160
FIGURA 114. PRESIÓN ATMOSFÉRICA MENSUAL DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB. 160

FIGURA 115. COMPARACIÓN DE LA PRESIÓN EN LOS TRIMESTRES PARA CADA ESTACIÓN DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB 161
FIGURA 116. SERIE DE HUMEDAD RELATIVA PARA LAS ESTACIONES DE LA RMCAB EN 2012. FUENTE RMCAB.....162
FIGURA 117. HUMEDAD RELATIVA MENSUAL MEDIA DEL PERIODO 1997-2009 Y SU COMPARACIÓN CON LOS MESES DE 2012. FUENTE RMCAB.....162
FIGURA 118. HUMEDAD RELATIVA DE LOS DOS PRIMEROS TRIMESTRES EN EL PERIODO 2006-2012. FUENTE RMCAB .163
FIGURA 119. PROMEDIO HORARIO DE LA HUMEDAD EN EL PERIODO 2002-2011 Y SU COMPARACIÓN CON EL AÑO 2012. 163
FIGURA 120. GRÁFICA DE LA HUMEDAD RELATIVA PARA CADA HORA EN 2012 DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB. FUENTE RMCAB.....164
FIGURA 121. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB, SENSORES METEOROLÓGICOS. 173
FIGURA 122. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE LA RMCAB Y ANALIZADORES DE CONTAMINANTES.....174

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de la RMCAB y contaminantes monitoreados en cada una de ellas. 29
Tabla 2. Resumen de datos promedios 24 horas de PM_{10} por estación para el año 2012. 32
Tabla 3. Mediana del contaminante PM_{10} para cada día de la semana comparando distintos años. 36
Tabla 4. Mediana del contaminante PM_{10} para cada mes comparando distintos años. 37
Tabla 5. Resumen de promedios anuales de PM_{10} por estación para el 2012. 39
Tabla 6. Concentraciones de PM_{10} promedios anuales a 31 de diciembre de cada año.[5] 40
Tabla 7. Mediana de los datos de PM10 por estaciones, de 2009 a 2012. 42
Tabla 8. Concentraciones de PM_{10} promedios 24 horas.[5] 43
Tabla 9. Resumen de datos 24 horas de $PM_{2.5}$ por estación para el año 2012. 44
Tabla 10. Mediana del contaminante $PM_{2.5}$ para cada día de la semana comparando distintos años. 45
Tabla 11. Resumen de datos anuales de $PM_{2.5}$ por estación para el 2012. 47
Tabla 12. Resumen de datos de PST por estación para el 2012. 49
Tabla 13. Resumen de datos anuales de PST para el 2012. 51
Tabla 14. Resumen de datos de SO_2 3 horas por estación para el 2012. 55
Tabla 15. Resumen de promedios 24 horas de SO_2 por estación para el 2012. 57
Tabla 16. Resumen de promedios anuales de SO_2 por estación para el 2012. 60
Tabla 17. Concentraciones promedio anuales de SO_2 calculadas el 31 de Diciembre de cada año. 60
Tabla 18. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2012. 63
Tabla 19. Resumen de datos 24 horas de NO_2 por estación para el año 2012. 64
Tabla 20. Resumen de datos anuales de NO_2 por estación para el año 2012. 67
Tabla 21. Concentraciones de NO_2 – Promedios anuales, calculado a 31 de diciembre de 2012. 68
Tabla 22. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2012. 71
Tabla 23. Resumen de datos de CO por estación para el año 2012. 72
Tabla 24. Resumen de datos de O_3 por estación para el año 2012. 77
Tabla 25. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O_3 para 8 horas durante el 2012. 78
Tabla 26. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}), año 2012. 87
Tabla 27. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2012. 88
Tabla 28. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST), año 2012. 88
Tabla 29. Consolidado de los promedios anuales de partículas suspendidas totales (PST), año 2012. 88
Tabla 30. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2012. 89
Tabla 31. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2012. 90
Tabla 32. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2012. 91
Tabla 33. Consolidado de los promedios de NO_2 para 24 horas, año 2012. 92
Tabla 34. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2012. 93
Tabla 35. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2012. 94
Tabla 36. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2012. 95
Tabla 37. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2012. 96
Tabla 38. Puntos de corte del ICA según la EPA 97
Tabla 39. Estaciones de la RMCAB y variables meteorológicas monitoreadas en cada una de ellas. Fuente RMCAB 103
Tabla 40. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación 2012 108
Tabla 41. Variación porcentual de la precipitación para el I semestre de 2012 comparada con el periodo 1998 – 2011 109
Tabla 42. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2012 comparada con el periodo 1998 – 2011 111
Tabla 43. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012 y su respectivo índice de precipitación. Fuente RMCAB. 113
Tabla 44. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012 Fuente RMCAB. 114
Tabla 45. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012, en mm/día. Fuente RMCAB 115
Tabla 46. Valores promedios de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB 125

Tabla 47. Valores máximos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB. 126
Tabla 48. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1-6, 7-12, 13-18 y 19-24 hrs en el segundo trimestre de 2012 127
Tabla 49. Representatividad mensual (%) de la Dirección de los vientos precipitación 2012.....130
Tabla 50. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura 2012.....141
Tabla 51. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en 2012 142
Tabla 52. Promedios de temperatura media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2012. Fuente RMCAB 143
Tabla 53. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en 2012 y su promedio. Fuente RMCAB.....146
Tabla 54. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en 2012 y su promedio. Fuente RMCAB.....147
Tabla 55. Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en 2012. 147
Tabla 56. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en 2012. 155
Tabla 57. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos 163
Tabla 58. Normas de Calidad del Aire.....175
Tabla 59. Escala de precipitación.....176
Tabla 60. Escala de velocidad del viento – Beaufort 176

RESUMEN

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)[1]. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa. La estación Vitelma a partir del 25/10/2011 se desmontó por restructuración de la RMCAB, y la estación Usme a partir del 12/04/2011 debido a que varios de los equipos fueron hurtados. La estación Sagrado Corazón había interrumpido su servicio por modificación de la terraza donde estaba ubicada desde el 6 de julio de 2010, y en septiembre de 2011 fue nuevamente emplazada en el sitio. La estación Bolivia empezó a operar en febrero del 2012, pero no se publican los datos en este informe al no cumplir con representatividad.

Dentro de los contaminantes monitoreados cabe resaltar el material particulado de diámetro menor a 10 micras conocido como PM_{10}, las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono (O_3), pues en algunas oportunidades sus concentraciones promedio superan los límites máximos permisibles por la norma (Resolución 601 de 2006). También se resalta el material particulado de diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$), que se mide en cinco estaciones, pero que para el presente documento sólo se reportará para la estación de Kennedy. Para este último parámetro empezó a regir la norma nacional a partir del 1 de enero de 2011.

Los demás contaminantes (CO, NO_2 y SO_2) están presentes en concentraciones bajas con respecto a la norma de calidad del aire establecida, y no representan riesgo para la salud de la población.

En cuanto al PM_{10}, durante el 2012 las concentraciones de éste contaminante mostraron una disminución en comparación con el 2011 en la mayoría de las estaciones. Las estaciones que registraron mayores niveles de este contaminante durante el año fueron Carvajal y Kennedy con promedios anuales de 76,4 y 70,8 µg/m^3 respectivamente, y las estaciones que presentaron los menores niveles fueron Parque Simón Bolívar y Guaymaral.

El PM_{10} se monitoreó en 12 estaciones, pero durante el año el equipo de Fontibón no acumuló suficiente cantidad de datos, y no contó con representatividad superior al 75%. Las estaciones Las Ferias (sector noroccidental), Sagrado Corazón (centro), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal, Kennedy (sector suroccidental) y Tunal (sector sur) registraron concentraciones de PM_{10} por encima de la norma 24 horas, establecida en 100 µg/m^3.

[1] *El 24 de marzo de 2010 se expidió la Resolución 610 por la cual se modifica la Resolución 601/2006.*

En cuanto al promedio anual de PM_{10}, éste superó la norma (50 µg/m^3) en las estaciones Suba, Kennedy y Carvajal. La norma diaria de 100 µg/m^3 empezó a regir a partir del 2011.

Por otro lado, el PST contó con un analizador ubicado en la estación Carvajal (Sector Suroccidental). Para esta estación se obtuvo un promedio anual de PST de 130 µg/m^3, valor que supera la norma anual (100 µg/m^3). En cuanto a la norma 24 horas (300 µg/m^3) no se presentaron excedencias durante el 2012.

En cuanto a los gases contaminantes, se resalta que el SO_2 nunca excedió los límites permisibles para los promedios horarios, 24 horas, ni anuales y sigue consolidando un comportamiento caracterizado por la disminución.

El monitoreo del NO_2 permitió establecer que la estación Kennedy registró las mayores concentraciones promedio (teniendo en cuenta las estaciones que alcanzan representatividad del 75%). Los promedios horarios, 24 horas y anuales no superaron la norma en ninguna oportunidad.

Los registros de concentraciones de CO permiten determinar que éste contaminante se encuentra en bajas concentraciones en la ciudad, pues los datos no superan los valores de la norma horaria ni octohoraria.

Finalmente, para O_3 en el 2012 se registraron concentraciones que superaron los límites máximos establecidos en la norma horaria y octohoraria. Las excedencias se presentaron en todas las estaciones que monitorearon este contaminante, exceptuando Carvajal y Tunal. Es importante resaltar que los límites nacionales establecidos son inferiores a los aceptados por agencias ambientales internacionales.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas en la ciudad de Bogotá durante el año 2012, la precipitación se registró en once (11) estaciones de la RMCAB que cuentan con pluviómetros y el registro es suficiente para el reporte anual. Los datos recolectados en cada una de las estaciones permitieron establecer el comportamiento de éste parámetro en la ciudad. En la Figura 3 se observa que el nivel de precipitación se divide en 10 clases partiendo como dato mínimo 395 mm y máximo 727 mm. Los sectores en gris, principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, altura, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. Se puede observar que la estación de Fontibón que abarca la localidad de su mismo nombre y algunos sectores de Kennedy presentan los menores acumulados de precipitación. Los mayores acumulados se encuentran en el sector Nororiental y Centro hacia Barrios Unidos, Chapinero y Usaquén, representados por las estaciones de Parque Simón Bolívar y Usaquén.

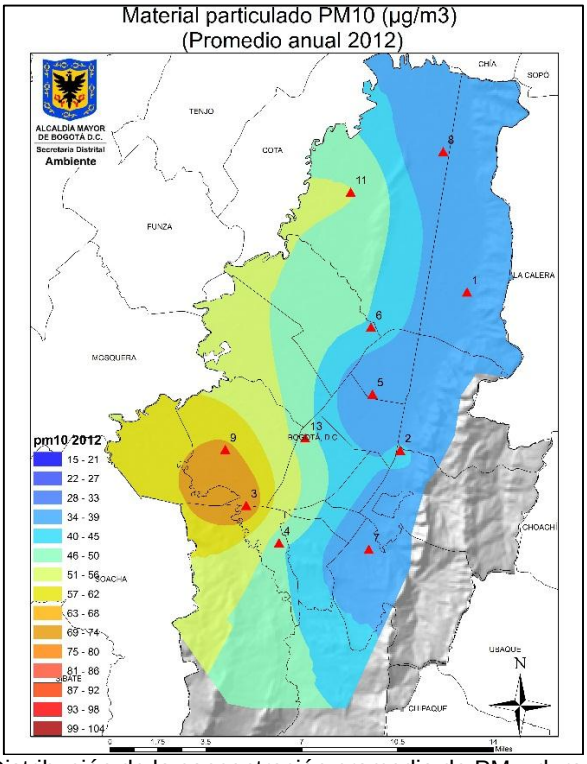


Figura 1. Distribución de la concentración promedio de PM_{10} durante el 2012

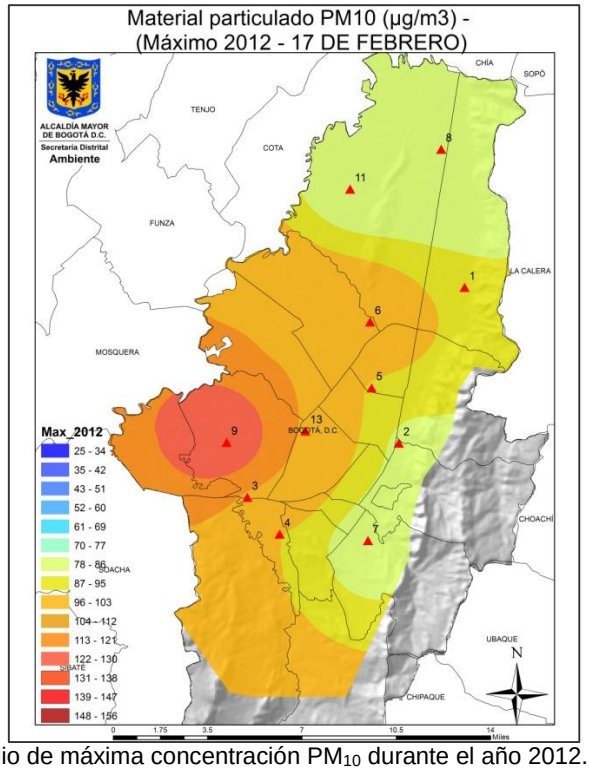


Figura 2. Episodio de máxima concentración PM_{10} durante el año 2012. Promedio diario.

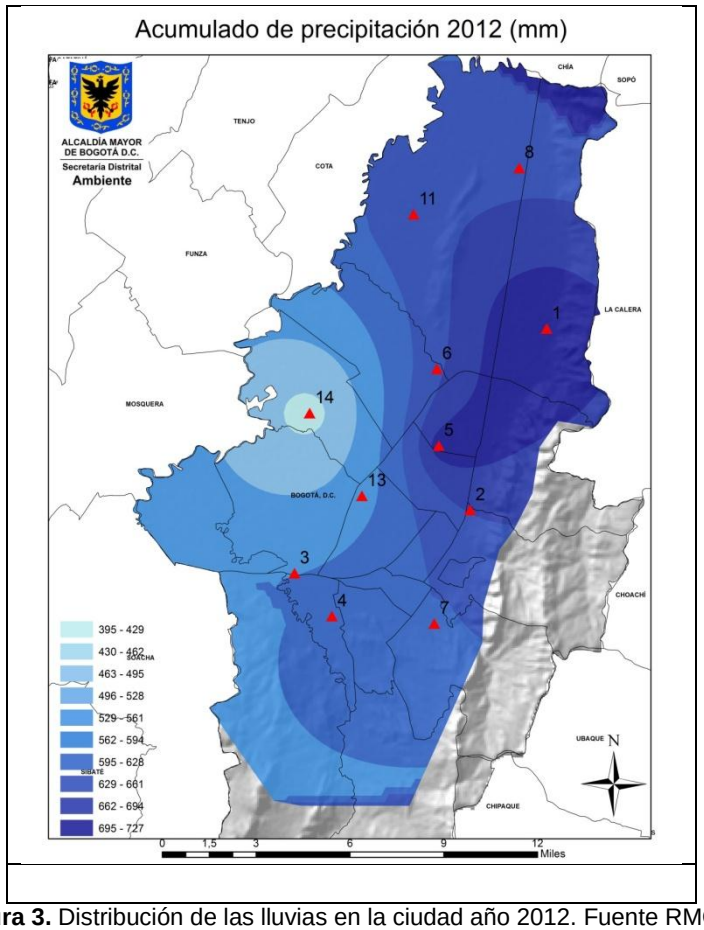


Figura 3. Distribución de las lluvias en la ciudad año 2012. Fuente RMCAB

En las Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7 se resume el comportamiento de los vientos para el año 2012. Durante todos los intervalos horarios en el sector Sur los vientos fueron predominantes del Sur – Sureste, el sector Occidental presenta una significativa confluencia de vientos provenientes del Noroeste y del Sureste en horas de la madrugada y mañana mientras que en las tardes y noches predominaron del Sur. En el Norte, los vientos se presentaron del Norte en las mañanas y del Este en las tardes mientras que al Oriente predominaron del Este - Sureste. Velocidades máximas en horas de las tardes que alcanzaron en promedio los 4 m/s al Occidente y las menores en las madrugadas, al Oriente.

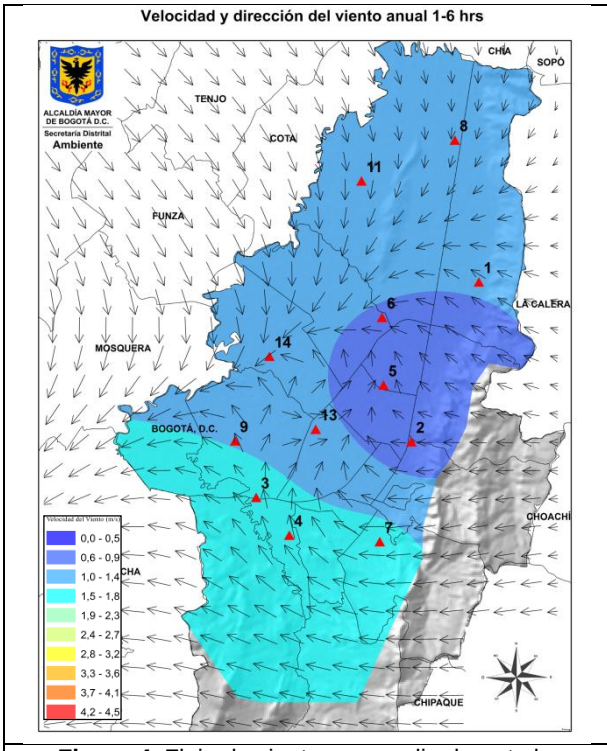


Figura 4. Flujo de vientos promedio durante la madrugada –2012.

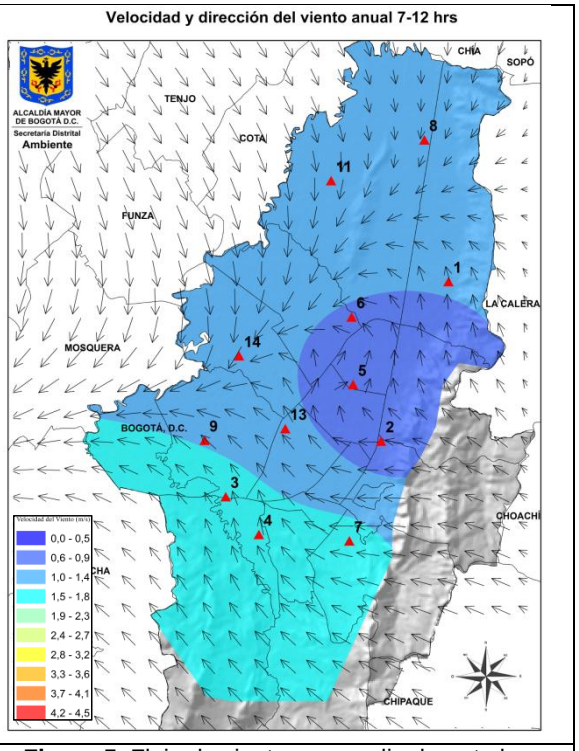


Figura 5. Flujo de vientos promedio durante la mañana –2012.

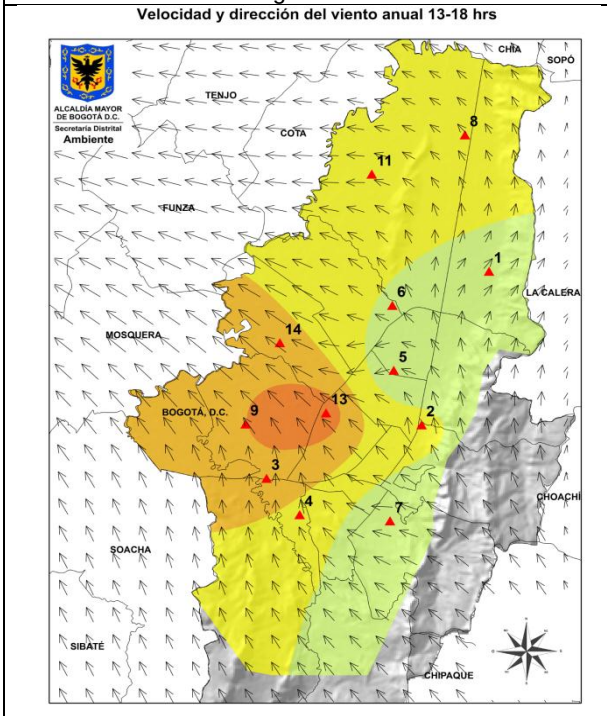


Figura 6. Flujo de vientos promedio durante la tarde –2012.

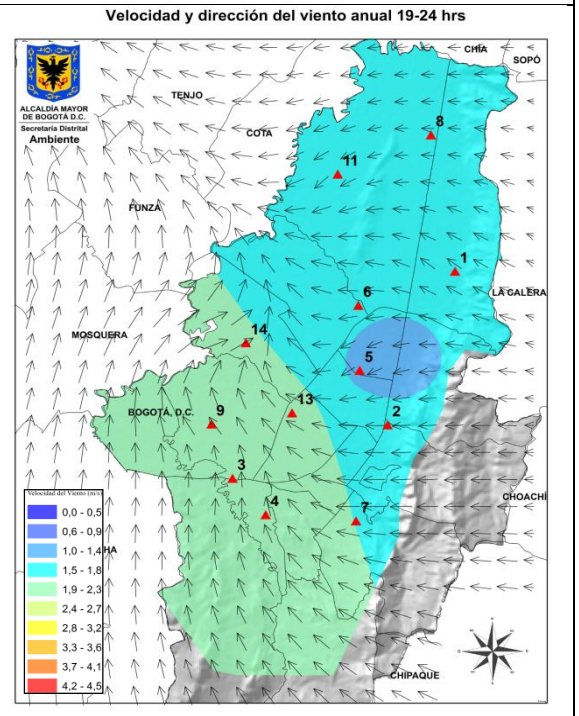


Figura 7. Flujo de vientos promedio durante la noche –2012.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de los factores meteorológicos que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central y se someten a un proceso de validación y posterior análisis con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

La RMCAB desde 2008 modernizó su estructura, que involucró el cambio de software de manejo de datos, el reemplazo de los equipos que tenían más de 10 años de funcionamiento, la instalación de nuevos equipos para ampliar el monitoreo de los contaminantes en los diferentes sitios de la ciudad y la adquisición de una unidad móvil que comenzó a operar en el mes de noviembre de 2008 en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud. Desde finales del 2011 y hasta la fecha esta unidad móvil está siendo usada para evaluar las condiciones de calidad del aire en los corredores de transporte público en Bogotá, objeto de un convenio interadministrativo (176 de 2010) entre TRANSMILENIO, IDEAM, y la SDA. Para el 2010 la RMCAB había sumado 15 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y de los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de vientos, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El presente informe contiene en el primer capítulo el análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante el periodo en cuestión y la tendencia de estos en los últimos años. En el segundo capítulo se presenta el comportamiento del índice de calidad del aire que persigue la protección de grupos sensibles. En el tercer capítulo se presenta información meteorológica que contempla la precipitación, la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la radiación solar, la humedad relativa y la presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes.

Para tener una idea del comportamiento que tienen los contaminantes, se hace un análisis exploratorio de los datos, una forma sencilla para observar si los valores que toman las variables son muy diferentes (medianas, *outliers*), tienen simetría, localización y como se distribuyen los datos, es con un gráfico de *Box-Plot*. En cada contaminante se presentarán tres distintos *Box-Plot*, los cuales muestran el comportamiento entre los terceros trimestres de los años 2005 al 2012 y días de la semana, meses y por último estaciones.

Para generar las bases de datos se tomó como criterio el porcentaje de datos por años; en el 2005 como mínimo se debe reportar el 70% de los datos para cada estación, en los años restantes se tomó como base el 75%.

Es importante tener en cuenta que todos los años no se tienen las mismas estaciones, ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años. A continuación se plasmará el análisis para cada uno de los contaminantes.

El glosario con la terminología utilizada se ubica después del capítulo cuatro y posteriormente se encuentran los anexos que incluyen información sobre las características de la configuración de la RMCAB y la localización geográfica de las estaciones de monitoreo, así como las características de las zonas donde se ubica cada una de las estaciones, la normatividad vigente que se utiliza como referencia para evaluar las concentraciones de los contaminantes en el aire y las escalas utilizadas para estudiar los diferentes parámetros meteorológicos.

1. GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES

1.1. INFORMACIÓN SOBRE ESTACIONES Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN

Las estaciones utilizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente, las cuales se encuentran a cargo de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual y que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB pueden ser consultadas en la página web www.ambientebogota.gov.co. A continuación se presenta una descripción de cada una de las estaciones.

1.1.1. ESTACIÓN USAQUÉN (BOSQUE)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		1 (estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 7 B Bis # 132 – 11	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°42' 37.26''	Longitud: 74°1' 49.5''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14-DHS	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech 9811	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de infrarrojo
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		21.0 m	
Altura de meteorológicos		23,0 m	

1.1.2. SAGRADO CORAZÓN

Código Asignado a la estación en la RMCAB		2 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Calle 37 No 8-40	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4°37'31.98''	Longitud: 74°4' 0.72''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech 9811	Fotómetro UV no dispersivo
Localización del punto de toma de muestra			
Altura del punto de toma de muestra		10.0 m	
Altura de meteorológicos		10.0 m	

1.1.3. ESTACIÓN CARVAJAL (SONY)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		3 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Autopista Sur N° 63 – 40	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4°35' 44.22''	Longitud: 74°8' 54.9''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Industrial	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	PST	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Teledyne API 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Teledyne API 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Teledyne API 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Teledyne API 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		10.0 m	
Altura de meteorológicos		10.0 m	

1.1.4. ESTACIÓN TUNAL

Código Asignado a la estación en la RMCAB		4 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 24 N° 49 – 86 Sur	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04° 34'34,62''	Longitud: 74° 7' 51.48''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de Fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14-DHS	Atenuación Beta
	O_3	Teledyne API 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	DASIBI	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Teledyne API 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	Thermo Scientific	
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.5. ESTACIÓN PARQUE SIMÓN BOLÍVAR (IDRD)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		5 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Calle 63 N° 47 – 06	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°39'30.48''	Longitud: 74°5' 2.28''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Ecotech EC 9830	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,6 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.6. ESTACIÓN LAS FERIAS (CARREFOUR)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		6 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Av. Calle 80 N° 69Q – 50 (antigua Calle 81 68 – 50)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°41'26.52''	Longitud: 74°4' 56.94''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Thermo Scientific FH62C14	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech ML9811	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Ecotech EC 9830	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Ecotech 9841	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.7. ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

Código Asignado a la estación en la RMCAB		7 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Diagonal 13 con Carrera 3G Este	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04° 34'21.54''	Longitud: 74° 5' 1.68''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.8. ESTACIÓN GUAYMARAL (ESCUELA)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		8 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		AV Carrera 45 N° 205 – 59 (antigua Autopista Norte Km. 13)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°47'1.44''	Longitud: 74°2' 37.62''
Tipo de Zona		Rural	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	Thermo Scientific	
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.9. ESTACIÓN KENNEDY

Código Asignado a la estación en la RMCAB		9 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Cr 80 # 40-55 Sur	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04° 37'30.18''	Longitud: 74°9' 40.8''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	$PM_{2.5}$	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		7,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.10. ESTACIÓN BOLIVIA

Código Asignado a la estación en la RMCAB		10 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Avenida Calle 80 # 121 – 98	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°44'9.12''	Longitud: 74°7' 33.18''
Tipo de Zona		Suburbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
Localización del punto de toma de muestra		Zona verde	
Altura del punto de toma de muestra		4,6 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

1.1.11. ESTACIÓN SUBA (CORPAS)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		11 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 111 # 159A-61	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°45'40.86''	Longitud: 74°5'36.54''
Tipo de Zona		Suburbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Ecotech ML9811	Fotómetro UV no dispersivo
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Thermo Scientific 42i	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		10,3 m	
Altura de meteorológicos		12,3 m	

1.1.12. ESTACIÓN PUENTE ARANDA

Código Asignado a la estación en la RMCAB		13 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Calle 10 # 65-28	
Coordenadas geográficas		Latitud: 4°37'54.36''	Longitud: 74°7' 2.94''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		24,0 m	
Altura de meteorológicos		26,0 m	

1.1.13. ESTACIÓN FONTIBÓN

Código Asignado a la estación en la RMCAB		14 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		Carrera 96G N° 17B – 49 (antigua Carrera 95 N° 24 – 49)	
Coordenadas geográficas		Latitud: 04°40'12.36''	Longitud: 74°8' 29.58''
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		De fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
Localización del punto de toma de muestra		Azotea	
Altura del punto de toma de muestra		14,0 m	
Altura de meteorológicos		16,0 m	

1.1.14. ESTACIÓN MÓVIL (ACTUAL UBICACIÓN)

Código Asignado a la estación en la RMCAB		12 (Estación fija)	
Tipo de SVCA		Automática	
Ubicación		De acuerdo a las necesidades del convenio No 176-2010.	
Coordenadas geográficas		Latitud:	Longitud:
Tipo de Zona		Urbana	
Tipo de Estación		Entorno de fondo	
Equipos	Parámetro	Nombre	Principio Analítico
	PM_{10}	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O_3	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Tapi 300E	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO_2	Tapi 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO_2	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	DANI	
Localización del punto de toma de muestra		Patio	
Altura del punto de toma de muestra		4,0 m	
Altura de meteorológicos		10,0 m	

2. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

2.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

2.1.1. ESTACIÓN

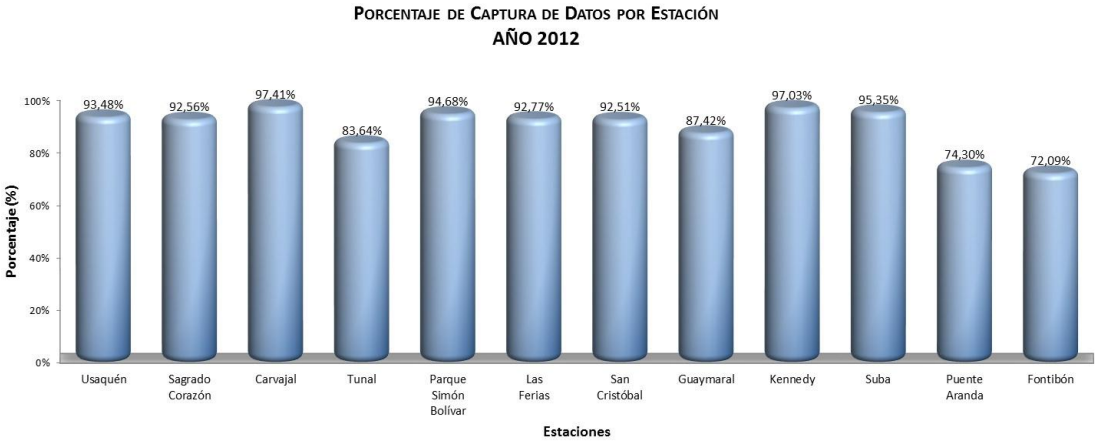


Figura 8. Gráfica de porcentaje de captura de datos por estación – 2012.

Se recolectaron aproximadamente el 89% de los datos posibles de recibir durante el periodo.

2.1.2. PARÁMETRO

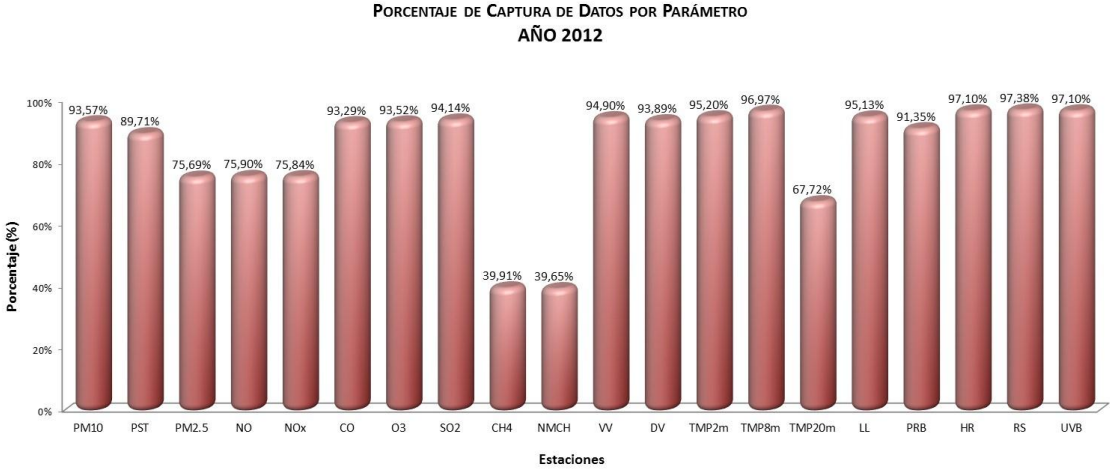


Figura 9. Gráfica de porcentaje de captura de datos por parámetro – 2012.

Como se aprecia en la figura anterior los porcentajes más bajos de recuperación de datos se tienen en los parámetros de hidrocarburos metànicos y no metánicos, Temperatura a 20m, NO y NO_x. Es de tener en cuenta que esto se debe a que se presentaron continuas fallas técnicas en estos equipos que obligaron a mantenerlos en estado apagado en varias estaciones, alterando de esta manera el porcentaje de captura de datos.

2.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS

2.2.1. ESTACIÓN

Para el año se logra un porcentaje de datos válidos del 79.44% a nivel general dentro de la RMCAB. El mínimo establecido para tener la representatividad de los datos es del 75%.

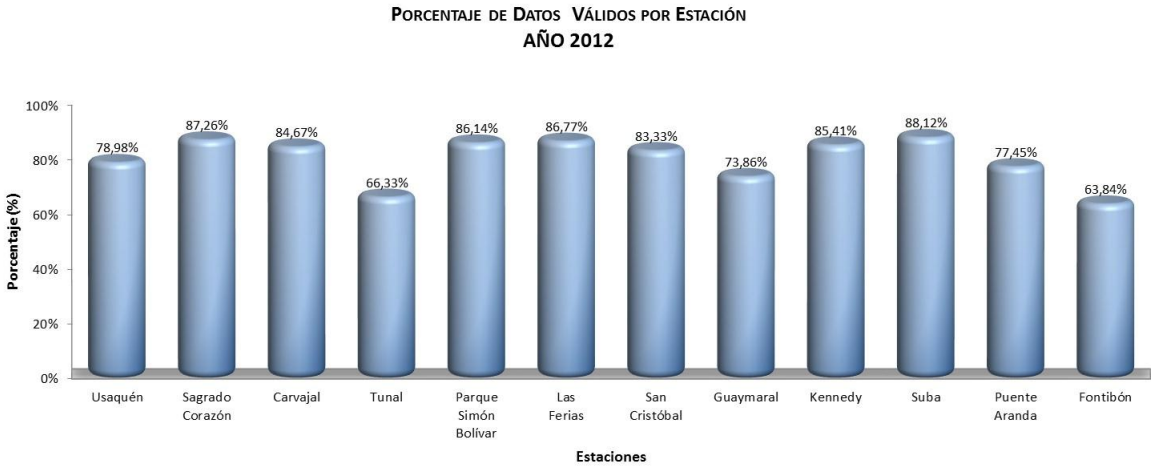


Figura 10. Gráfica de porcentaje de datos válidos por estación – 2012.

2.2.2. PARÁMETRO

En cuanto a los equipos en importante señalar las siguientes situaciones:

- $PM_{2.5}$: Los equipos de marca Thermo para este parámetro, con que cuenta la Red, se encuentran en proceso de revisión e intercomparación por ello el porcentaje para este parámetro es bajo.

- CH4 y NMCH: Como son series que se iniciaron recientemente los datos se encuentran en observación, por ello el porcentaje de datos válidos para este parámetro es 0.

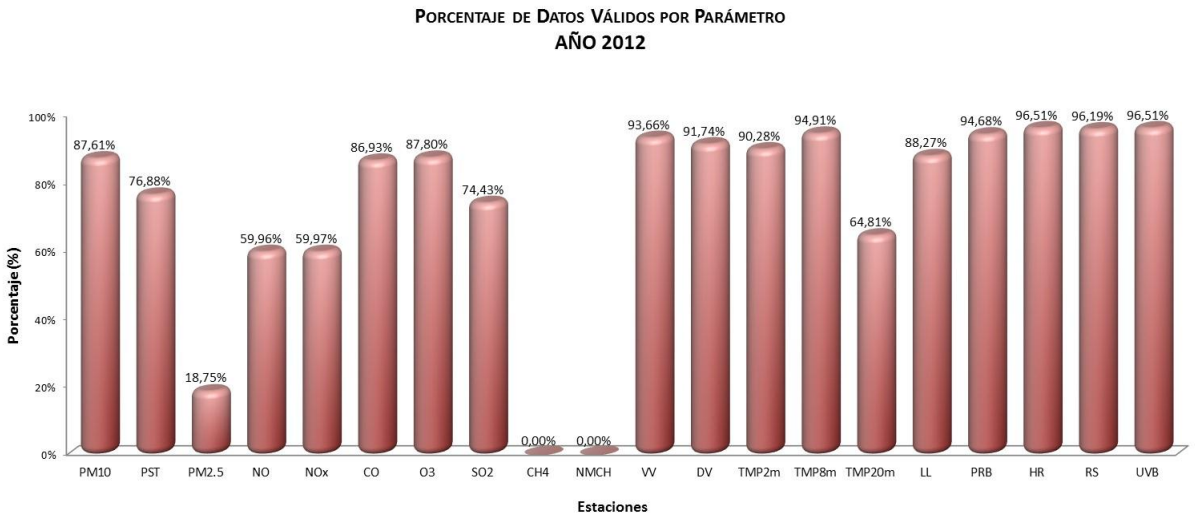


Figura 11. Gráfica de porcentaje de datos válidos por parámetro – 2012.

3. CALIDAD DEL AIRE

El presente capítulo se dividirá en tres secciones: la primera contiene el análisis del material particulado que incluye el PM_{10}, el PST y el $PM_{2.5}$, la segunda los gases contaminantes, el SO_2, el NO_2, el CO y el O_3 y la tercera el comportamiento del índice de calidad del aire. Para esto, la RMCAB durante el tercer trimestre de 2012 contó con 14 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST) y de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital. En la Tabla 1 se presentan las catorce estaciones y los contaminantes que se monitorearon en cada una de ellas, junto con la asignación de sectores según su ubicación.

Tabla 1. Estaciones de la RMCAB y contaminantes monitoreados en cada una de ellas.

ESTACIÓN	LOCALIDAD	SECTOR	Contaminantes								
			PM_{10}	PST	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO	O_3	CH4	NMCH
No. 1 Usaquén (Bosque)	Usaquén	Norte	X		X			X	X		
No. 2 Sagrado Corazón (MAVDT)[2]	Santa Fe	Centro	X						X		
No. 3 Carvajal (Sony)	Kennedy	Suroccidente	X	X		X	X	X	X		
No. 4 Tunal	Tunjuelito	Sur	X		X	X	X	X	X	X	X
No. 5 Parque Simón Bolívar (I.D.R.D.)	Barrios Unidos	Centro	X		X	X	X	X	X		
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	Engativá	Norte	X		X	X	X	X	X		
No. 7 San Cristóbal	San Cristóbal	Sur	X			X		X	X		
No. 8 Guaymaral (Escuela)	Suba	Norte	X				X		X	X	X
No. 9 Kennedy	Kennedy	Suroccidente	X		X	X	X	X			
No. 10 Bolivia[3]	Suba	Noroccidente	X								
No. 11 Suba (Corpas)	Suba	Noroccidente	X			X	X		X		
No. 12 Estación Móvil [4]			X			X	X	X	X	X	X

[2] *La estación fue desmontada temporalmente a solicitud del MAVDT y reinició operación en septiembre de 2011. Para este periodo del año en esta estación únicamente se monitoreó PM_{10} y O_3.*
[3] *La estación Bolivia empezó a operar en febrero del 2012, no se alcanzan a publicar los datos de PM_{10} porque aún se encuentra el comportamiento del equipo en evaluación.*

ESTACIÓN	LOCALIDAD	SECTOR	Contaminantes								
			PM_{10}	PST	$PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO	O_3	CH4	NMCH
No. 13 Puente Aranda	Puente Aranda	Suroccidente	X			X	X	X	X		
No. 14 Fontibón	Fontibón	Suroccidente	X			X	X	X	X		

3.1. MATERIAL PARTICULADO – MP O PM (PARTICULATE MATTER)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades está el material particulado, cuyas características físico-químicas y los efectos sobre la salud humana hacen que su monitoreo sea de suma importancia. Éste material está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros.

Una de las características físicas más importantes de este material es su diámetro de partícula por el riesgo que representa para la salud humana, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman, o servir como vehículo para bacterias y virus. Son de mayor interés las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micras. Las de $PM_{2.5}$ tienen tamaño menor o igual a 2.5 micras, y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas); son respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST), son fracciones de este el PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

La Resolución 601 del 4 de Abril de 2006 (modificada por la Resolución 610 de 2010), estableció los niveles máximos permisibles para PST y PM_{10}. Estos son de 100 $\mu g/m^3$ concentración anual y de 300 $\mu g/m^3$ para el período de 24 horas en el caso de PST. A partir de 2011 el periodo de 24 horas para PM_{10} se empezó a controlar con 100 $\mu g/m^3$ y el anual con 50 $\mu g/m^3$. Para el caso de $PM_{2.5}$ se toma como referencia los valores de 25 $\mu g/m^3$ como concentración anual y de 50 $\mu g/m^3$ para 24 horas.

3.1.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PM_{10}

La RMCAB contó con doce (12) estaciones para medir la concentración de PM_{10}, como se observa en la Tabla 1 (no se tiene en cuenta Bolivia porque entró a funcionar hasta en febrero del 2012, ni Estación Móvil porque está siendo usada para evaluar calidad del aire en corredores viales). Durante el año 2008 se cambiaron 8 equipos de PM_{10} marca

[4] *La estación Móvil está siendo usada para evaluar calidad del aire en corredores viales, en un convenio con TRANSMILENIO, IDEAM y SDA.*

DASIBI y GBAM por marca *MET ONE*, en el marco del proceso de modernización de la RMCAB; éstos equipos reemplazaron los existentes en las estaciones No. 8 Guaymaral, No. 5 Parque Simón Bolívar, No. 6 Las Ferias, No. 14 Fontibón, No. 13 Puente Aranda, No. 9 Kennedy, No. 3 Carvajal y No. 4 Tunal.

El cambio de tecnología hizo que se registraran niveles de concentración de PM_{10} diferentes a los reportados históricos anteriores al primer semestre del año 2008, en las estaciones No 6 Las Ferias, No. 14 Fontibón, No. 13 Puente Aranda, No. 9 Kennedy, No. 3 Carvajal y No. 4 Tunal, por lo que se realizaron estudios de intercomparación entre equipos.

PM_{10} 24 Horas

El comportamiento de la concentración de PM_{10} se establece mediante la recolección de datos promedios de 24 horas. Durante el 2012 se reportó una representatividad temporal[5] para el año mayor o igual al 75% en 11 (once) estaciones (quedó por fuera Fontibón con un porcentaje de recuperación de datos del 60%). Las mayores concentraciones anuales promedio se presentaron en la estación Carvajal (Sony) y Kennedy como ocurre normalmente.

Del total de datos registrados (promedios 24 horas), el 2.4% superó el valor de la norma establecido en 100 µg/m^3, porcentaje equivalente a 92 datos que se registraron en las Estaciones de Carvajal (49), Kennedy (35), Tunal (3), Fontibón (2), Puente Aranda (1) y Sagrado Corazón (1). La calidad del aire en 2012 mejoró en comparación con el año inmediatamente anterior, debido a que en 2011 el 4.4% de los datos superó el valor de la norma para 24 horas, lo que corresponde a 168 datos registrados en las Estaciones de Carvajal (100), Kennedy (50), Zona Industrial - Estación Móvil (7), Puente Aranda (5), Fontibón (2) Tunal (2) y San Cristóbal (2).

Las concentraciones medias, máximas y la cantidad de datos que superaron la norma se presentan en la Figura 12.

[5] *El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.*

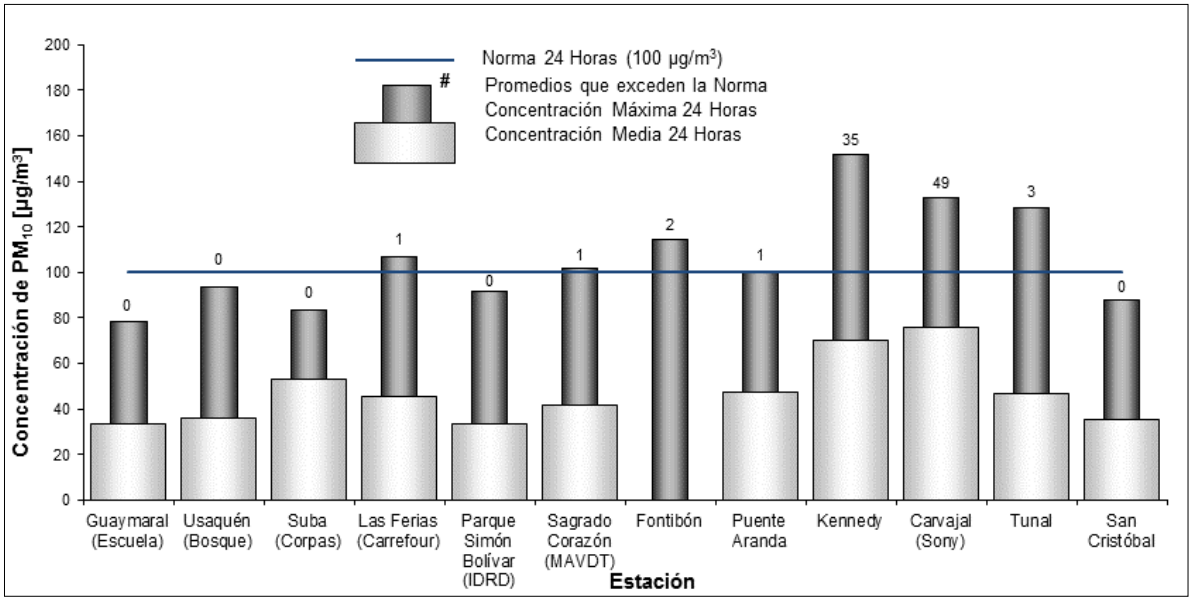


Figura 12. Concentraciones de PM_{10} para 24 horas por estación durante el 2012.

La Tabla 2 resume los datos de PM_{10} 24 horas para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el 2012. En el mes de febrero se registraron la mayoría de las máximas concentraciones de PM_{10}. El promedio de 24 horas del viernes 17 de febrero de 2012 configuró un episodio generalizado de contaminación en un sector importante de la ciudad.

Las estaciones Carvajal y Kennedy registraron el mayor número de excedencias a la norma y presentan los mayores promedios en el periodo evaluado. El promedio 24 horas máximo se registró en Kennedy (152 µg/m^3) el 17 de febrero de 2012.

Tabla 2. Resumen de datos promedios 24 horas de PM_{10} por estación para el año 2012.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]	Excedencia norma 100 µg/m^3 ([6])	Excedencia sobre 150 µg/m^3 ([7])	Máximo	Fecha de concentración máxima
Guaymaral (Escuela)	87%	34,0	0	0	79,0	17/02/2012 24:00
Usaquén (Bosque)	85%	36,4	0	0	94,0	18/02/2012 24:00
Suba (Corpas)	79%	53,4	0	0	84,0	07/12/2012 24:00
Las Ferias (Carrefour)	94%	45,6	1	0	107,0	17/02/2012 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	89%	33,9	0	0	92,0	17/02/2012 24:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	86%	42,3	1	0	102,0	03/01/2012 24:00
Fontibón	60%		2	0	115,0	17/02/2012 24:00
Puente Aranda	94%	47,9	1	0	101,0	11/10/2012 24:00
Kennedy	88%	70,8	35	1	152,0	17/02/2012 24:00
Carvajal (Sony)	92%	76,4	49	0	133,0	09/02/2012 24:00

[6] *Promedio diario*
[7] *Promedio Corrido 24 horas*

ESTACION	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]	Excedencia norma 100 µg/m^3 ([6])	Excedencia sobre 150 µg/m^3 ([7])	Máximo	Fecha de concentración máxima
Tunal	92%	47,1	3	0	129,0	18/04/2012 24:00
San Cristóbal	88%	35,7	0	0	88,0	25/02/2012 24:00

La distribución de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 13 y Figura 14. En la Figura 13 se muestra un mapa resultado de la interpolación del episodio de mayor concentración de PM_{10} (basado en promedios diarios), presente en la ciudad durante el 2012. Se debe tener presente que las estaciones No.15 Usme y No.16 Vitelma no tienen muestreadores de partículas y la representación de estas zonas son el resultado de la interpolación de los datos máximos de otras estaciones. En el episodio de máxima concentración, los mayores niveles fueron registrados en las estaciones Kennedy, Carvajal, Fontibón y Las Ferias, con concentraciones que exceden la norma para 24 horas.

En cuanto al mapa de concentraciones medias, Figura 14, el comportamiento del PM_{10} es similar al descrito anteriormente; las localidades más afectadas por material particulado son las del sur occidente de la ciudad y las menos afectadas Usaquén, Teusaquillo, Chapinero y parte de Suba.

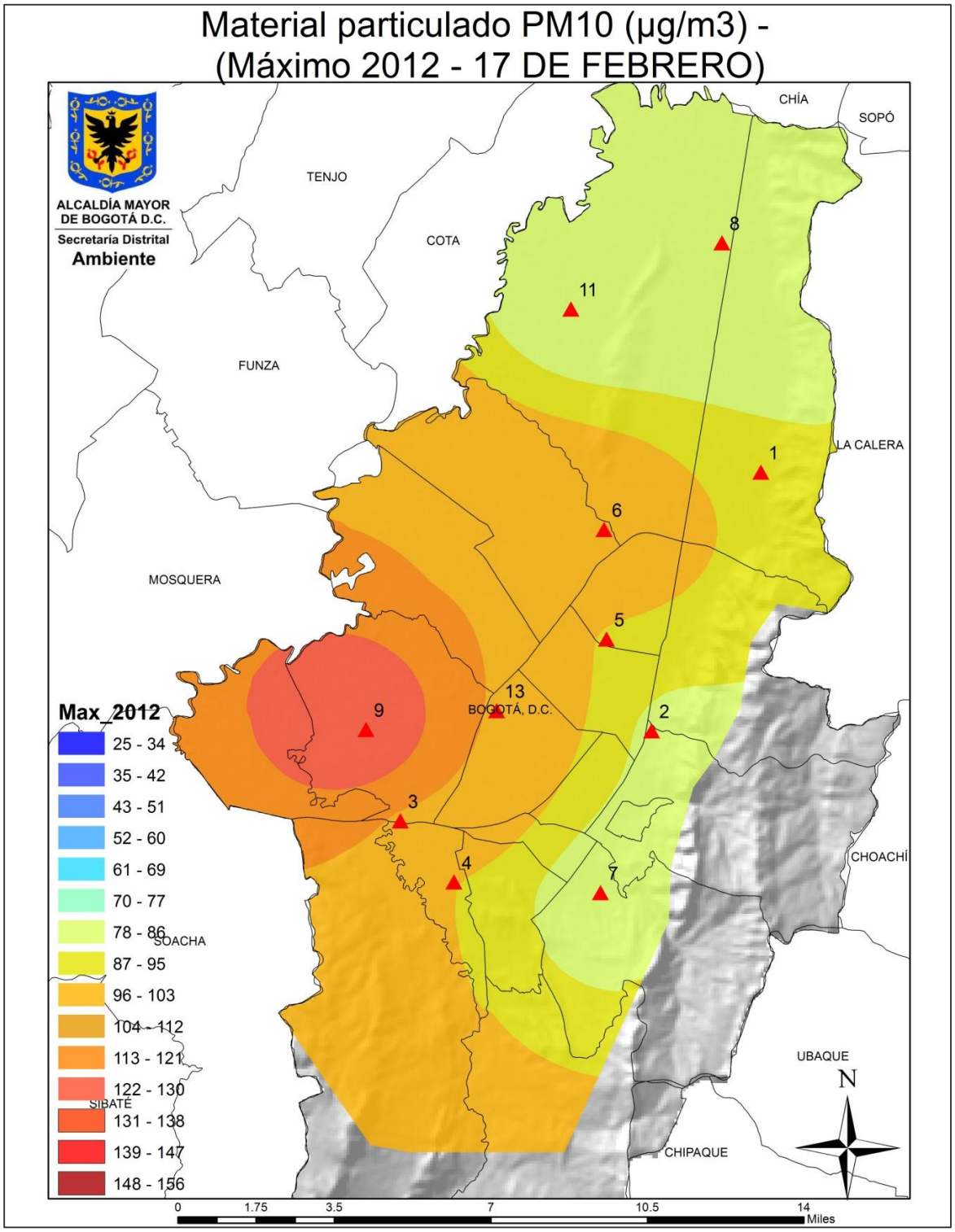


Figura 13. Interpolación de los promedios máximos 24 horas de PM10 durante el 2012.

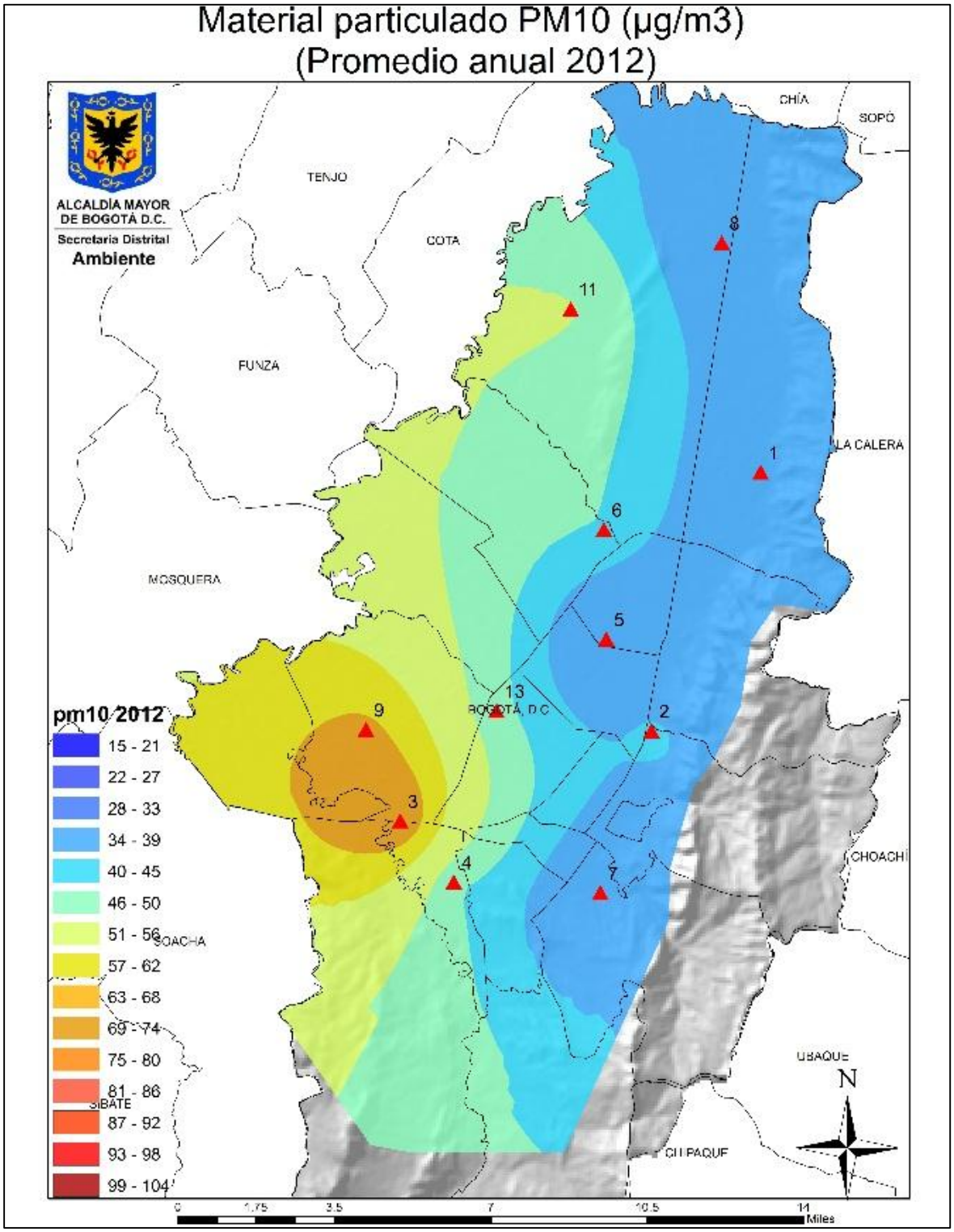


Figura 14. Interpolación de las medias de los promedios 24 horas de PM_{10} durante el 2012.

Comportamiento histórico de promedios por fracciones temporales de PM_{10}

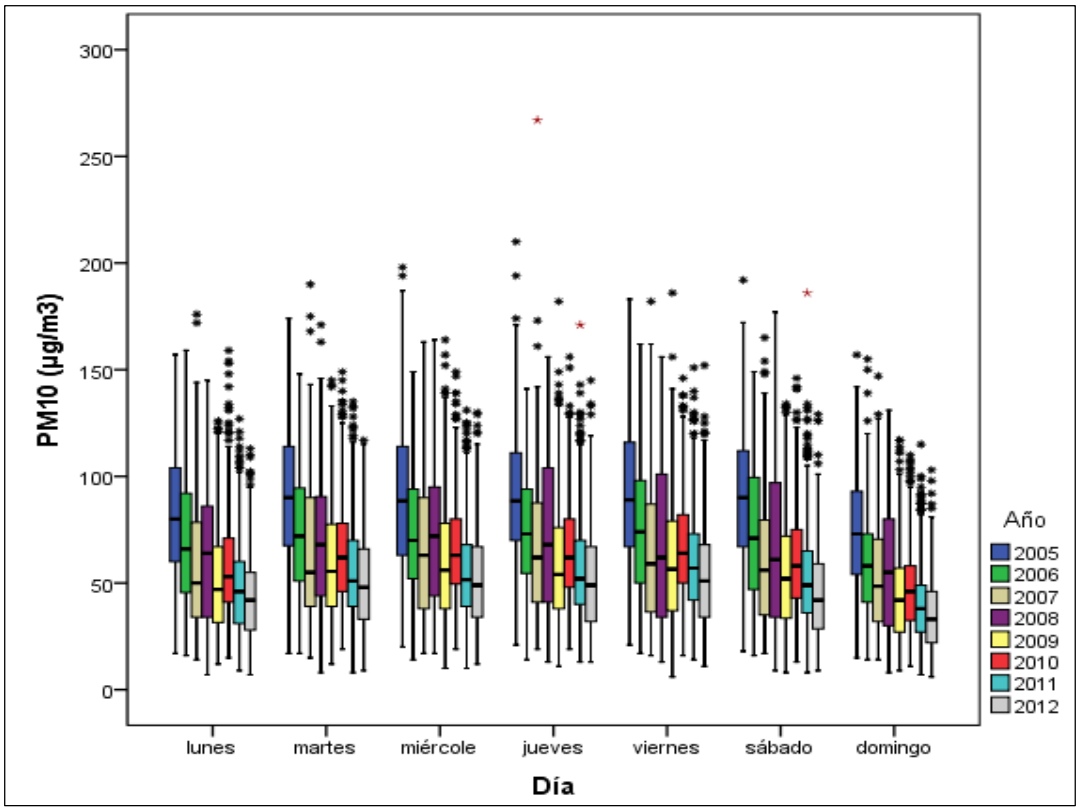


Figura 15. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por días de la semana comparando año 2012 con años anteriores.

El comportamiento del contaminante PM_{10} en los días de la semana para el último año mantiene el registro usual de años anteriores, el cual tiene una tendencia de incremento al iniciar la semana hasta el día miércoles, el jueves se mantiene y el viernes es el día que muestra un mayor registro, descendiendo el fin de semana y siendo el domingo el de menor registro; gráficamente este comportamiento se puede representar con una leve figura cóncava. La concentración del contaminante en los días del 2012 disminuyó con respecto al año anterior y es la menor de los últimos 3 años, la dispersión de los datos es menor también; en el 2012, el domingo es el día que registra mayor cantidad de datos atípicos y el martes el de menor.

Tabla 3. Mediana del contaminante PM_{10} para cada día de la semana comparando distintos años.

Medianas contaminante PM_{10} por días								
Día	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Lunes	80	72	58	64	50	56	46	42
Martes	90	68	59	68	54	62	51	49
Miércoles	89	70	60	72	55	62	52	50
Jueves	88	67	55	68	52	57	52	49
Viernes	86	71	56	62	54	59	57	52
Sábado	90	74	58	61	53	58	49	43

Medianas contaminante PM_{10} por días								
Día	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Domingo	76	61	52	55	47	53	38	33

En la Figura 16 se puede apreciar el comportamiento del contaminante en el transcurso del año 2012.

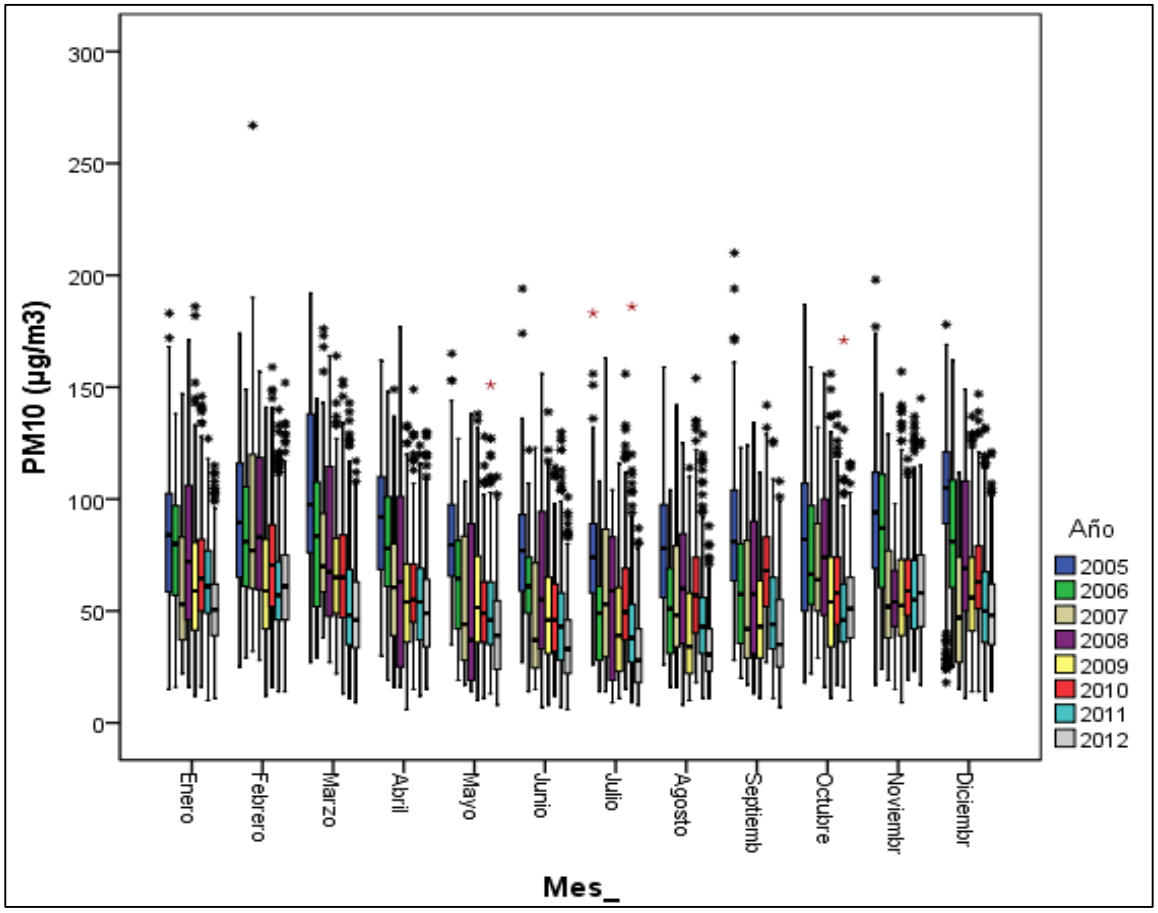


Figura 16. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por meses comparando año 2012 con años anteriores.

Se muestra una variabilidad intra-anual con una cresta en el primer trimestre y otra a partir de julio sin la misma intensidad; para el segundo trimestre muestra descenso lento, a partir de julio se presenta un ascenso que va hasta noviembre y baja la concentración para el mes de diciembre; realizando la comparación de la concentración del 2012 con el año anterior se refleja el descenso generalizado de las medianas en todos los meses, siendo particularmente alto el descenso en los meses de enero, junio, julio y agosto; en general la dispersión de los datos se mantiene respecto al año 2011.

Tabla 4. Mediana del contaminante PM_{10} para cada mes comparando distintos años.

	Medianas contaminante PM_{10} por mes							
Mes	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**

	Medianas contaminante PM_{10} por mes							
Mes	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Enero	84	80	53	72	59	65	61	51
Febrero	90	81	77	83	59	71	57	62
Marzo	98	84	70	68	65	65	48	47
Abril	92	78	61	63	54	55	54	49
Mayo	80	65	44	37	52	49	46	40
Junio	77	61	37	55	46	46	43	34
Julio	74	49	53	59	39	50	38	29
Agosto	78	51	48	60	34	57	43	32
Septiembre	81	58	42	58	43	68	44	37
Octubre	82	67	64	74	54	58	46	52
Noviembre	94	87	52	54	53	59	55	58
Diciembre	105	81	47	69	56	63	50	48

PM_{10} anual

Respecto a la norma anual, en la Figura 17 se presentan las estaciones que en 2012 monitorearon este contaminante y que cuentan con representatividad de datos mayor al 75%.

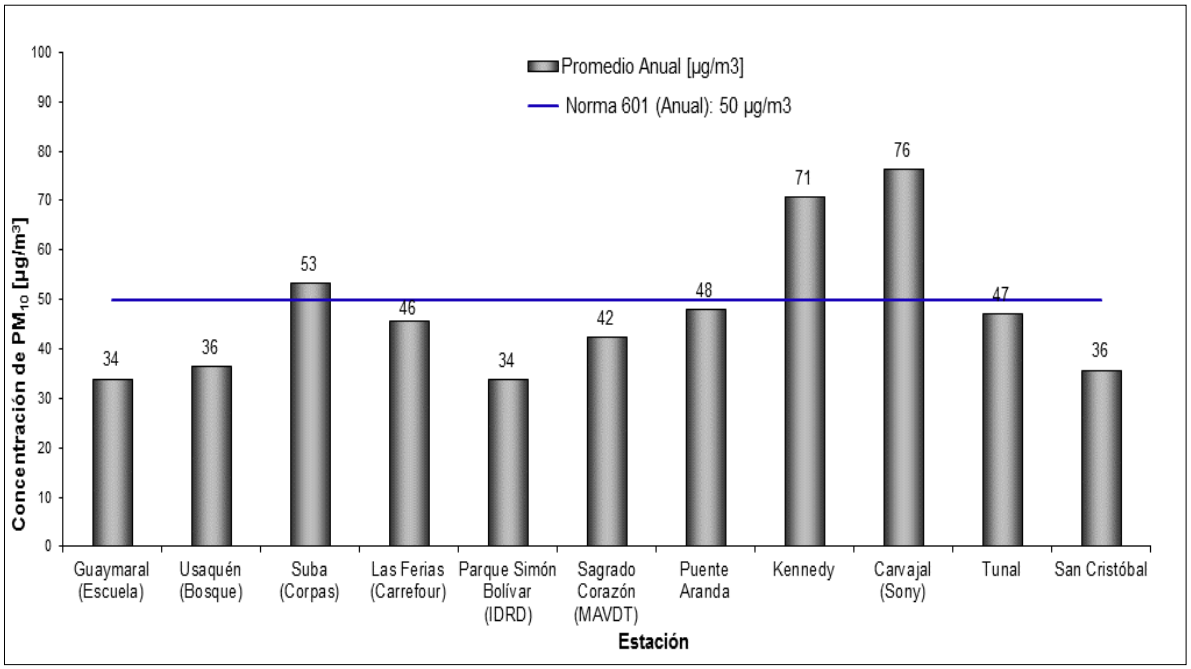


Figura 17. Concentración promedio anual de PM_{10} por estación durante el 2012.

La norma de referencia desde el 2011 es de 50 µg/m^3 a nivel nacional. Las estaciones en donde se excede el valor de la norma en 2012 son Suba, Kennedy y Carvajal, con promedios anuales de 53, 71 y 76 µg/m^3 respectivamente. En 2011 se excedió la norma

anual en Suba, Estación Móvil, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal, con lo que se muestra que en cuanto a PM_{10}, la calidad del aire de la ciudad en 2012 fue mejor.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de los datos anuales de PM_{10} para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el 2012.

Tabla 5. Resumen de promedios anuales de PM_{10} por estación para el 2012.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio Anual [µg/m^3]
Guaymaral (Escuela)	87%	34,0
Usaquén (Bosque)	85%	36,4
Suba (Corpas)	79%	53,4
Las Ferias (Carrefour)	94%	45,6
Parque Simón Bolívar (IDRD)	89%	33,9
Sagrado Corazón (MAVDT)	86%	42,3
Fontibón	60%	
Puente Aranda	94%	47,9
Kennedy	88%	70,8
Carvajal (Sony)	92%	76,4
Tunal	92%	47,1
San Cristóbal	88%	35,7

Al igual que en 2011, la estación Carvajal reportó el máximo promedio con 76,4 µg/m^3, seguida de la estación Kennedy con 70,8 µg/m^3. La concentración promedio anual en 2012 aumentó respecto al 2011 en las estaciones Suba y Las Ferias; en las demás estaciones se presentan promedios inferiores a los registrados el año inmediatamente anterior, con diferencias significativas en las estaciones con mayor problemática; por ejemplo, en las estaciones de Carvajal y Kennedy se pasa de 85,6 y 78,5 µg/m^3 en 2011 a 76,4 y 70,8 µg/m^3 respectivamente en 2012.

La zona suroccidental se continúa caracterizando por registrar las mayores concentraciones de este contaminante en la ciudad. Los menores niveles de PM_{10} se registraron en la zona norte y centro de la ciudad, en las estaciones Guaymaral, Usaquén y Parque Simón Bolívar (IDRD).

En la Tabla 6 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales entre 1999 y el 2011, para cada una de las estaciones, calculados desde el 1 de enero al 31 de Diciembre de cada año. Se incluyen todas las estaciones y para los años 2007 a 2011 se exceptúan los datos de la estación de Chico Lago que se encuentra en estudio; los cortes en las figuras corresponden a periodos de tiempo en los que no se monitoreo o en donde por problemas operacionales, no se cumple con el porcentaje de representatividad y no se puede calcular el promedio anual.

Para la correcta lectura de la Tabla 6, se debe tener en cuenta que los datos de 2005 a mayo de 2008 de las estaciones Las Ferias, Fontibón, Carvajal, y Tunal, fueron tomados con equipos anteriores y que al correlacionarlos con los datos registrados por los equipos

actuales muestran un promedio horario de concentración distinto, fundamentado en el cambio tecnológico que prevé ajustes por presión y temperatura que algunos de los equipos anteriores no hacían, lo que ocasionó para las nuevas series de datos, aumento en la concentración de la estación de Carvajal desde mayo de 2008, y disminución desde la misma fecha en las estaciones de Las Ferias, Fontibón, Puente Aranda y Tunal. De los equipos cambiados solamente los de las estaciones de Parque Simón Bolívar y Guaymaral conservaron los niveles que traía la serie histórica de datos. En concordancia con la situación anteriormente expuesta, no se reportan los niveles de 2008 para estas estaciones.

Tabla 6. Concentraciones de PM_{10} promedios anuales a 31 de diciembre de cada año.[5]

Estación	Concentración PM_{10} en [µg/m^3]														
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
8. Guaymaral				43	50	54	54	55	30	35	35	34	38	36	34
1. Usaquén	33	31	31	29	24				38	40	44	37	46		36
11. Suba (Corpas)	54	40	47	81	97	91	80	90	83	71	52	69	56	51	53
6. Las Ferias				78	97		85	79	60	71		40	48	42	46
10. Chico Lago	32	34	35	37	39	33	33	29	44						
5. P. Simón Bolívar								58	42	50	41	37	45	38	34
2. Sagrado Corazón															42
12. E. Móvil (Z.Ind)												52	57	51	
14. Fontibón			93	91	96	97	94	101	85	87		59	61	52	
13. Puente Aranda			103	93	98	102	107	113	93	99		56	61	56	48
9. Kennedy									100	98	96	86	89	79	71
3. Carvajal (Sony)	80	77	63	86	61	53	49	69	73	59		93[8]	91	86	76
4. Tunal									107	98		50	60	52	47
7. San Cristóbal														40	36
Cazucá	86	69	69	62	62	54	57	69	64	71	63				

[5]Los cuadros en amarillo corresponden a datos en revisión por cambio en la serie de datos y los cuadros en gris corresponden a periodos de tiempo donde por problemas operacionales, no se cumple con el porcentaje de representatividad.

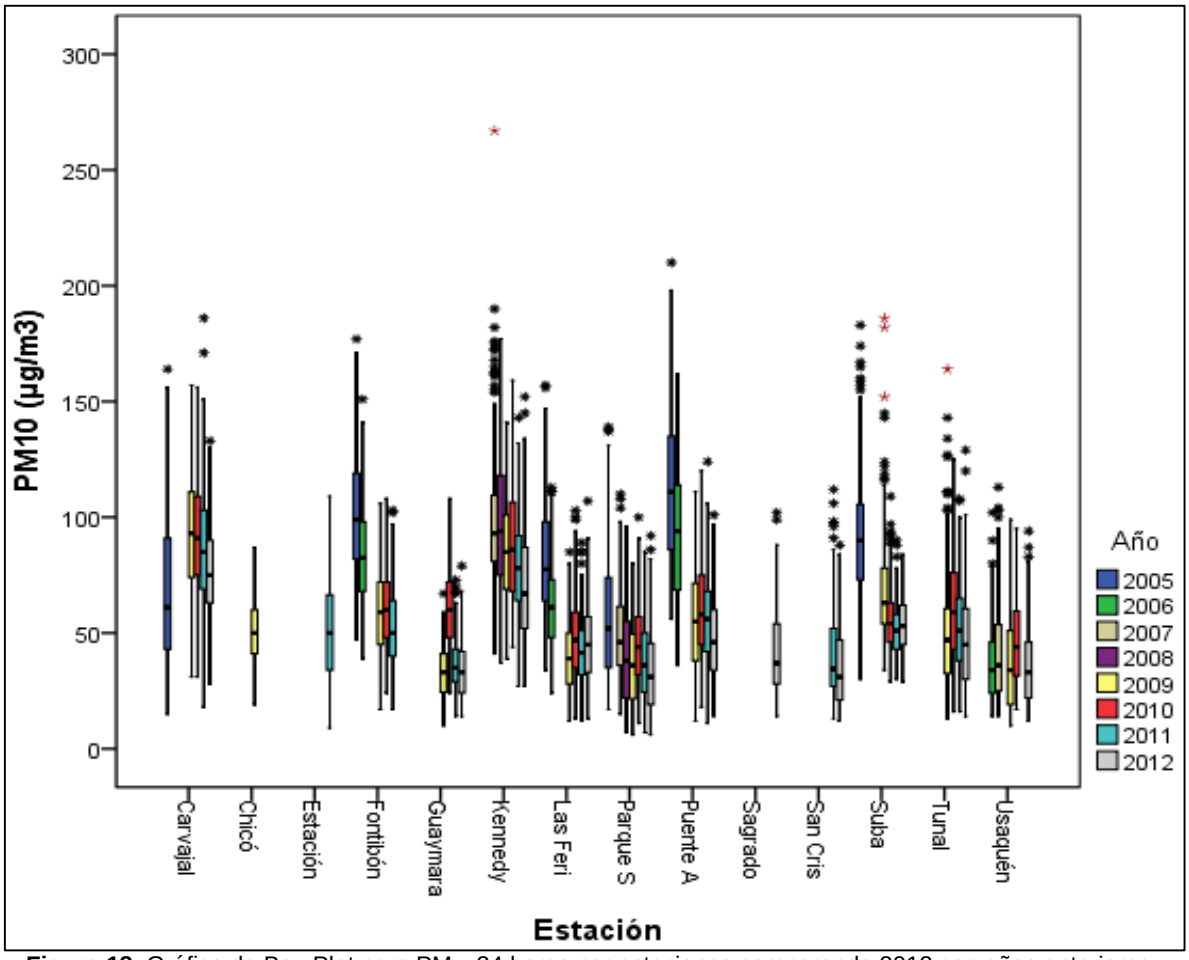


Figura 18. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por estaciones comparando 2012 con años anteriores.

En el contaminante PM_{10} no se tienen en cuenta los datos en las estaciones Tunal, Carvajal, Puente Aranda, Fontibón Guaymaral y Las Ferias para los años 2005 a 2008, adicionalmente Chicó no entra en el análisis en los años 2007–2009 porque las series están siendo analizadas técnicamente por variación con el cambio de equipos; para el año 2012 las estaciones que registran menor concentración son Parque Simón Bolívar y San Cristóbal, con una mediana de 31 µg/m^3; las de mayor mediana son Carvajal y Kennedy con 75 y 67 µg/m^3 respectivamente; este contaminante en el último año tuvo un descenso con respecto al 2011 en todas las estaciones excepto Las Ferias y Suba, ubicadas en la zona noroccidental de la ciudad. Se observa también que en el 2012 no se registraron outliers extremos.

En la Tabla 7 se observa como han disminuido significativamente las concentraciones registradas por las estaciones en los últimos años. Es de resaltar lo sucedido en estaciones como Carvajal y Kennedy en donde de 2009 a 2012 ha disminuido la mediana 18 µg/m^3. Las Ferias es la única estación que de 2009 a 2012 ha presentado un aumento en la concentración de este contaminante, pasando la mediana de 39 µg/m^3 a 45 µg/m^3.

Tabla 7. Mediana de los datos de PM10 por estaciones, de 2009 a 2012.

Estaciones	2009	2010	2011	2012
Carvajal	93	91	85	75
Fontibón	59	60	50	
Guaymaral	33	60	35	33
Kennedy	85	86	78	67
Las Ferias	39	47	42	45
Parque Simón Bolívar	44	44	36	31
Puente Aranda	55	58	56	46
Sagrado Corazón (MAVDT)				37
San Cristóbal			35	31
Suba	63	54	51	53
Tunal	47	59	51	45
Usaquén	34	44		33

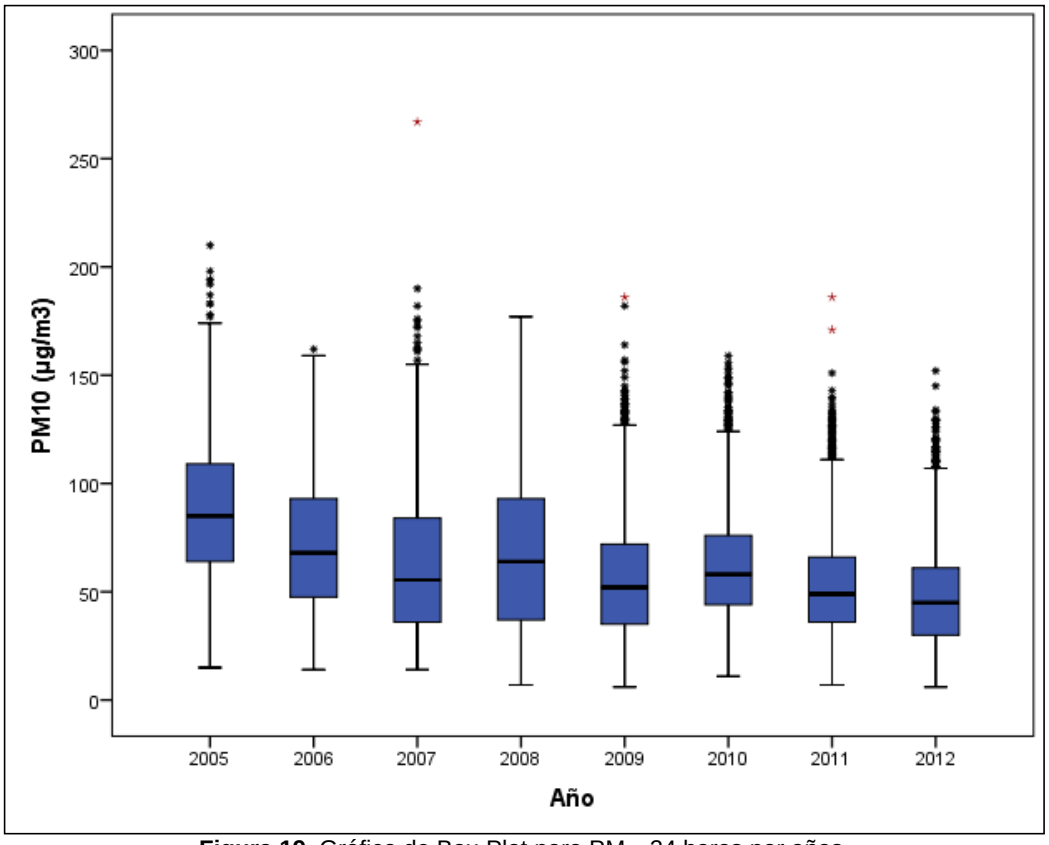


Figura 19. Gráfico de Box-Plot para PM_{10} 24 horas por años.

En la Figura 19 se resume el comportamiento del PM_{10} que se ha descrito en las diferentes gráficas, resaltando la disminución progresiva del contaminante en los últimos años; el nivel medio para el último año tiene un descenso y una dispersión menor, además, la mayoría de los datos se encuentran distribuidos de una forma simétrica alrededor de la mediana. En el 2012 no se presentan datos atípicos ni outliers extremos.

La mediana de los datos del 2012 es 4 µg/m^3 menor a la de 2011 y 14 µg/m^3 menor respecto a lo registrado en el 2010. El valor máximo alcanzado en 2012 es el menor de todos los años evaluados.

Tabla 8. Concentraciones de PM_{10} promedios 24 horas.[5]

Año	Media	Mediana	Máximo	Mínimo
2005	87,3	85,0	210,0	15,0
2006	71,1	68,0	162,0	14,0
2007	62,7	55,5	267,0	14,0
2008	67,6	64,0	177,0	7,0
2009	55,9	52,0	186,0	6,0
2010	61,6	58,0	159,0	11,0
2011	53,0	49,0	186,0	7,0
2012	47,6	45,0	152,0	6,0

3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE $PM_{2.5}$

La RMCAB cuenta actualmente con 5 estaciones en las que se hace medición de este contaminante. A la fecha se publica el resultado de la estación No. 9 Kennedy, atendiendo a que los datos de los equipos instalados en las estaciones de Parque Simón Bolívar, Usaquén, Las Ferias y Tunal se encuentran en revisión. Según Resolución 601 de 2006 el valor de la norma para este contaminante, que entró a regir a partir de enero de 2011, es de 50 µg/m^3 como límite de concentración diaria y de 25 µg/m^3 para promedio anual.

$PM_{2.5}$ 24 Horas

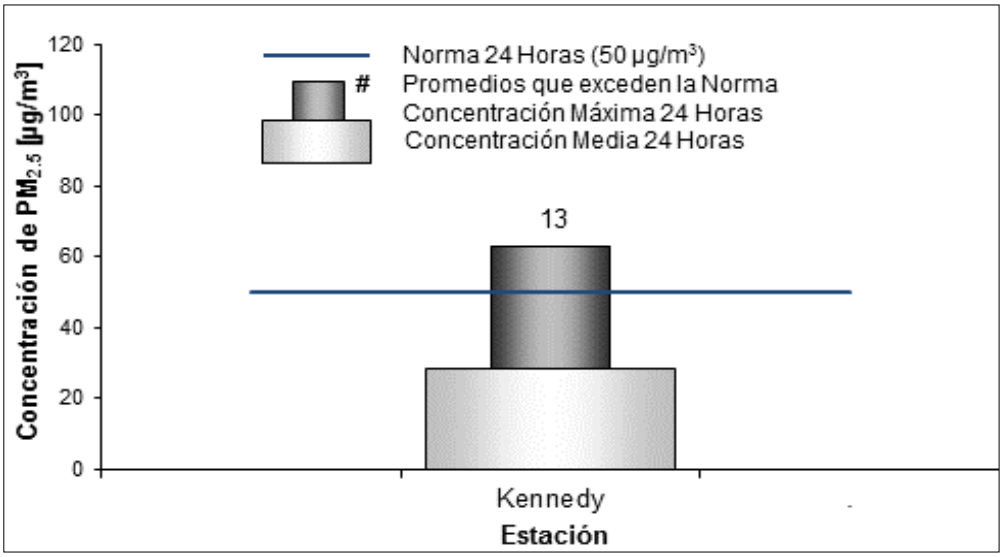


Figura 20. Concentraciones de $PM_{2.5}$ 24 horas durante el 2012.

A partir de los registros de la estación que monitorea este contaminante se obtuvieron 319 promedios de concentración 24 horas de $PM_{2.5}$ para el año 2012, lo que corresponde a un 87% de representatividad temporal. De los promedios hallados, 13 superaron el valor establecido por la resolución 601 de 2006, lo que corresponde a un 4,1% de los promedios calculados. En comparación con el año anterior se presenta una disminución en el número de excedencias, en 2011 se registraron 14 promedios por encima de 50 $\mu g/m^3$.

Tabla 9. Resumen de datos 24 horas de $PM_{2.5}$ por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	Representatividad Temporal	Promedio [$\mu g/m^3$]	Máximo [$\mu g/m^3$]	Excedencias sobre 50 $\mu g/m^3$	Fecha de concentración máxima
Kennedy	87%	28	63	13	17/02/2012 24:00

Se encuentra que al igual que para el PM_{10}, en la estación Kennedy se alcanza una concentración máxima de $PM_{2.5}$ 24 horas el viernes 17 de febrero de 2012.

Para el contaminante $PM_{2.5}$, en la comparación histórica sólo se tendrá en cuenta la estación de Kennedy porque es la que tiene una serie suficiente de datos. Se han registrado datos para la estación analizada desde el 2009. En el 2009 la representatividad de los datos fue del 67%, porcentaje que está por debajo del criterio recomendado del 75% seguido en la RMCAB[9]. A continuación se presenta los gráficos de box-plot por días de la semana y meses.

El comportamiento del contaminante en los días para el año 2012 (ver Figura 21) se puede representar con una leve figura cóncava. Se observa un incremento en la concentración al transcurrir los primeros días de la semana, presentándose el jueves un leve descenso y el viernes un ligero aumento de los niveles de este contaminante; la concentración de $PM_{2.5}$ decrece el fin de semana.

En 2012 los datos para los días de la semana no se encuentran distribuidos con una buena simetría; la distribución más simétrica corresponde al domingo; todos los días exceptuando el domingo presentan asimetría entre el segundo y tercer cuartil, siendo mayor la que se presenta par el día lunes. En 2012 se registraron dos datos atípicos.

[9] A pesar que en conjunto para el 2009 no se tiene en conjunto una representatividad mayor o igual al 75%, esta circunstancia se presenta fundamentalmente por déficit de datos en los meses de octubre a diciembre, periodo en que se realizaron ínter comparaciones por el canal del $PM_{2.5}$, no obstante se realizan comparaciones entre años, haciendo esta salvedad.

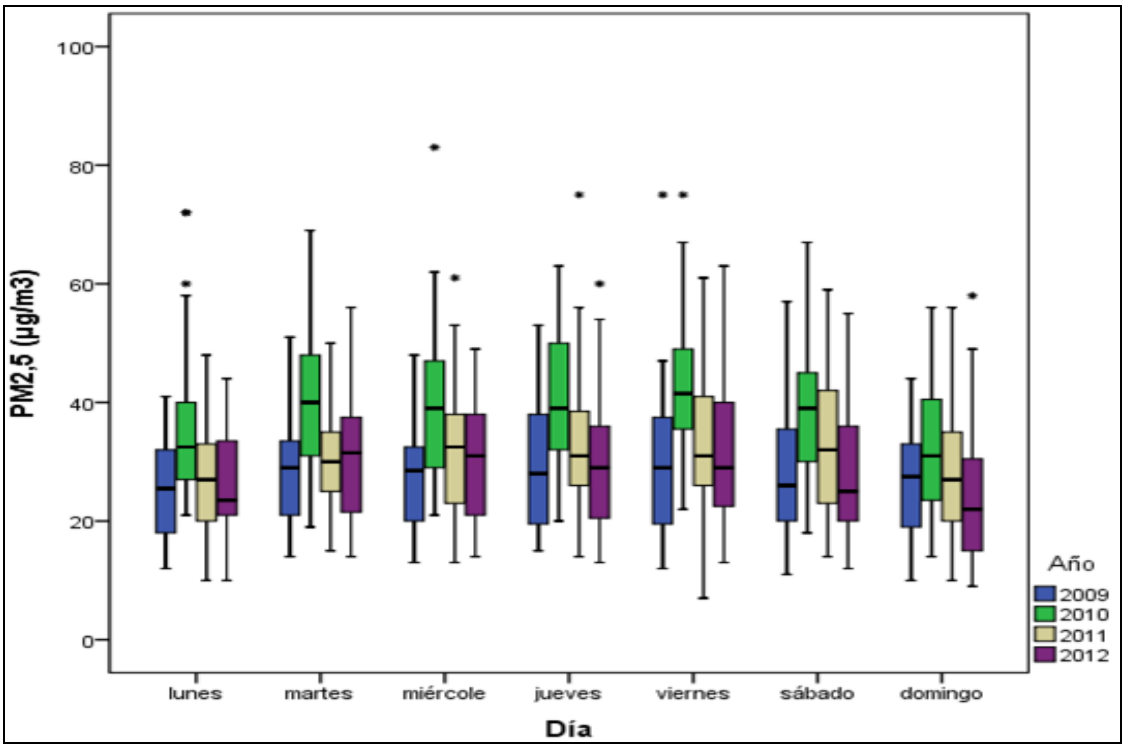


Figura 21. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ por días de la semana (sobre base 24 horas) comparando año 2012.

Comparando con el año anterior se presenta un cambio en la tendencia de la concentración en los días de la semana, mientras en 2011 los días con mayor mediana fueron miércoles y sábado, en 2012 fueron martes y miércoles. El lunes y el domingo presentaron la menor mediana en los tres últimos años.

Tabla 10. Mediana del contaminante $PM_{2.5}$ para cada día de la semana comparando distintos años.

Medianas contaminante $PM_{2.5}$ por días				
Día	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Lunes	25	33	27	24
Martes	29	40	30	32
Miércoles	29	39	33	31
Jueves	28	39	31	29
Viernes	29	42	31	29
Sábado	26	39	32	25
Domingo	28	31	27	22

En el 2012 los días con mayor mediana fueron el martes y el miércoles con 32 y 31 µg/m^3 respectivamente, y los de menor mediana domingo y lunes con 22 y 24 µg/m^3 respectivamente. Respecto al 2011, en el 2012 la mediana fue menor todos los días de la semana exceptuando el martes.

En cuanto a la distribución del contaminante en los meses del año (ver Figura 22), se observa una forma sinusoidal con puntos de inflexión en febrero, julio y noviembre, siendo

los meses de febrero y noviembre los picos más altos con medianas de 38 y 37 µg/m^3 respectivamente; junio y julio son meses valle con medianas de 18 y 17 µg/m^3. En cuanto a la simetría, los meses que presentan simetría entre el segundo y tercer cuartil son enero, abril, mayo, junio y julio; los meses más asimétricos son en general los del segundo semestre del año. En 2012 se presentaron datos atípicos en enero, abril, mayo, junio y julio, y no se registraron outliers extremos. Con respecto al año anterior, el 2012 presenta un comportamiento muy similar pero con menor concentración o mediana en la mayoría de los meses (con excepción de octubre, noviembre y diciembre). En 2012 los meses que presentan mayor dispersión son marzo y diciembre, y los de menor son mayo y agosto.

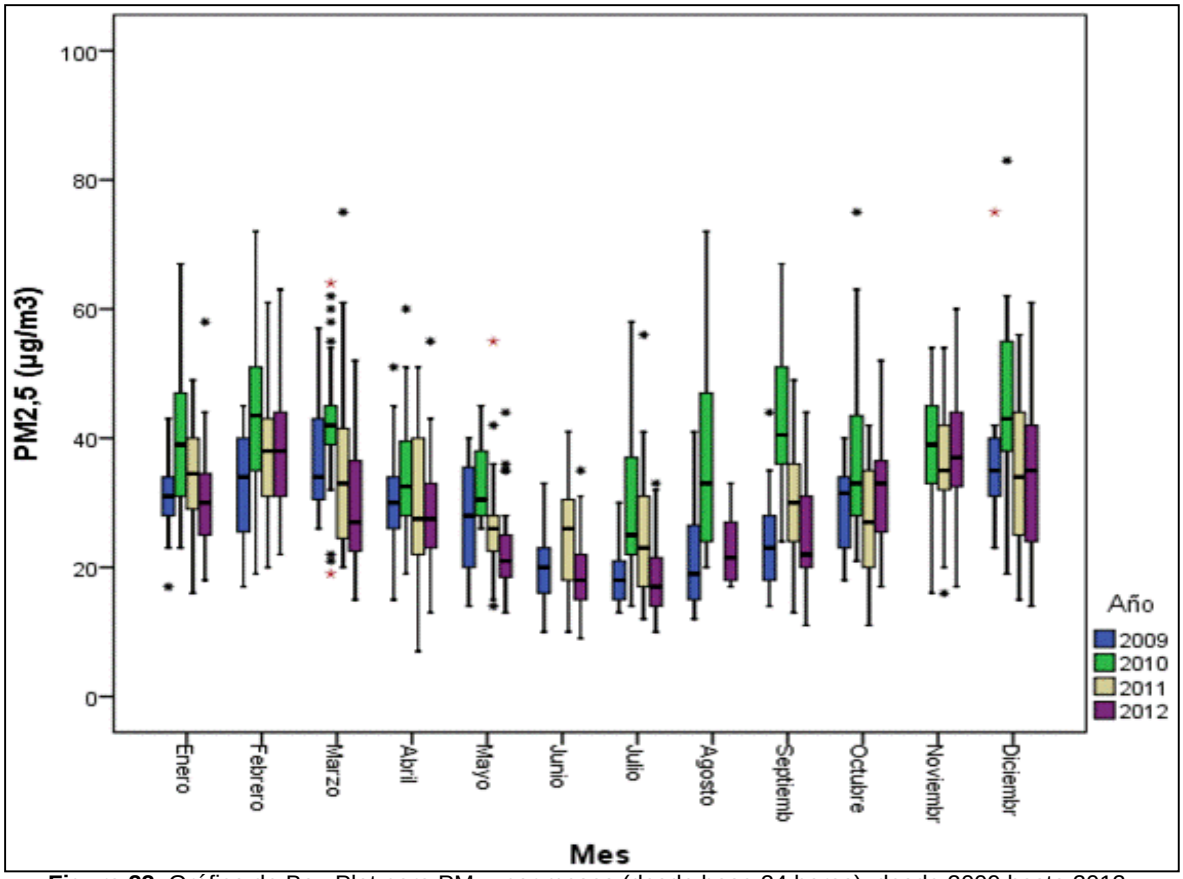


Figura 22. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ por meses (desde base 24 horas), desde 2009 hasta 2012.

$PM_{2.5}$ anual

En la Tabla 11 se relaciona el promedio anual del 2012, y se encuentra que se excede la norma de 25 µg/m^3 (la cual entró a regir a partir del 1 de enero de 2011) en 3,5 µg/m^3.

Tabla 11. Resumen de datos anuales de $PM_{2.5}$ por estación para el 2012.

ESTACION	Representatividad Temporal	Promedio Anual
Kennedy	87%	28,5

La Figura 23 muestra la concentración promedio anual de material particulado 2.5 micras para la estación de Kennedy. Respecto a 2011, la concentración anual de 2012 disminuyó 2,5 µg/m^3.

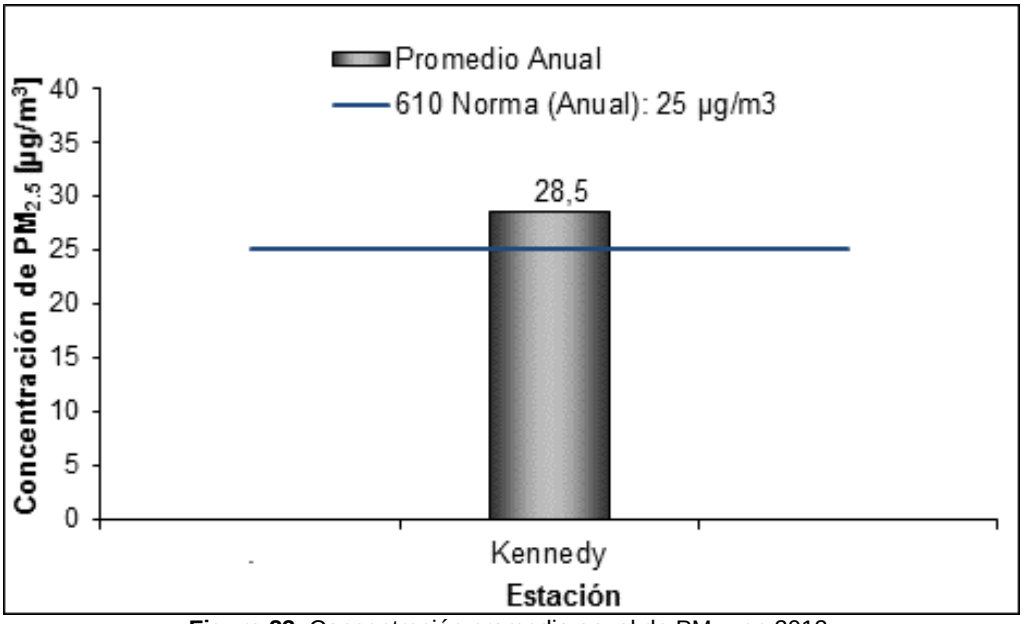


Figura 23. Concentración promedio anual de $PM_{2.5}$ en 2012.

El contaminante $PM_{2.5}$ en la estación de Kennedy (ver Figura 24) para el año 2012 presenta una mediana de 31 µg/m^3, valor que es 3 µg/m^3 inferior al registrado en el 2011. Para el 2012 se observa dispersión de los datos baja, es decir la mayoría de datos se encuentran alrededor de la mediana, se presentan pocos datos atípicos y no se presentan outliers extremos. En comparación con los años anteriores, en el 2012 se presenta la menor mediana.

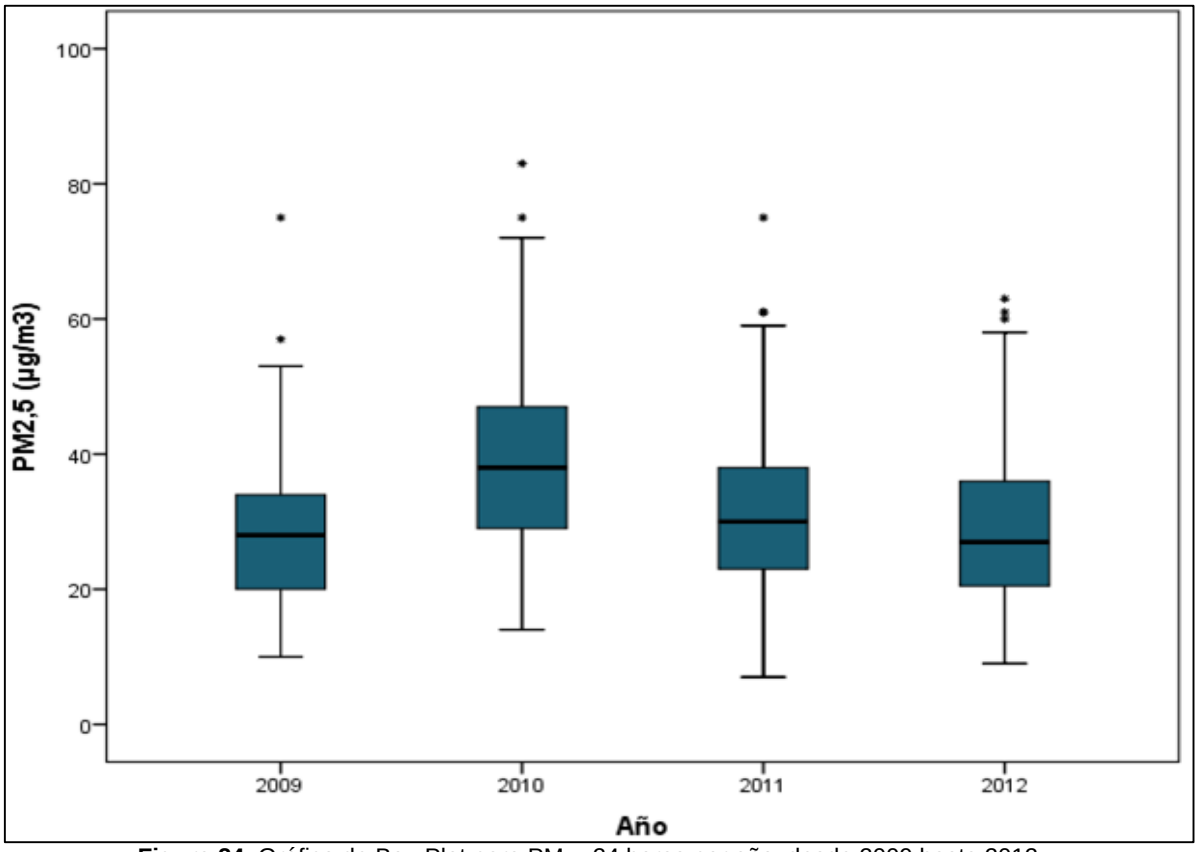


Figura 24. Gráfico de Box-Plot para $PM_{2.5}$ 24 horas por año, desde 2009 hasta 2012.

3.1.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE PST

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST) la RMCAB durante el 2012 contó con un analizador ubicado en la estación No. 3 Carvajal.

PST 24 Horas

En la estación Carvajal se registraron 274 promedios 24 horas y ninguno excedió la norma de calidad del aire establecida en 300 µg/m^3. En esta estación el porcentaje de recuperación de los datos fue del 75%. El 73% de los promedios diarios estuvo por debajo de 150 µg/m^3 (la mitad del valor de la norma). El promedio máximo alcanzó un valor de 234 µg/m^3 y el promedio de los datos en el año fue 123 µg/m^3. Con respecto al 2011, en 2012 tanto el promedio anual como el valor máximo registrado son inferiores. En 2011 el promedio de los datos 24 horas fue 139 µg/m^3 y se presentó una excedencia a la norma.

En la

Figura **25** se resume lo expuesto anteriormente y se identifica el promedio y el valor máximo de los promedios 24 horas de PST, registrados en la estación Carvajal.

Tabla 12. Resumen de datos de PST por estación para el 2012.

ESTACIÓN	Representatividad Temporal	Promedio [µg/m^3]	Máximo [µg/m^3]	Excedencias sobre 50 µg/m^3	Fecha de concentración máxima
Carvajal (Sony)	75%	123	0	234	09/02/2012 24:00

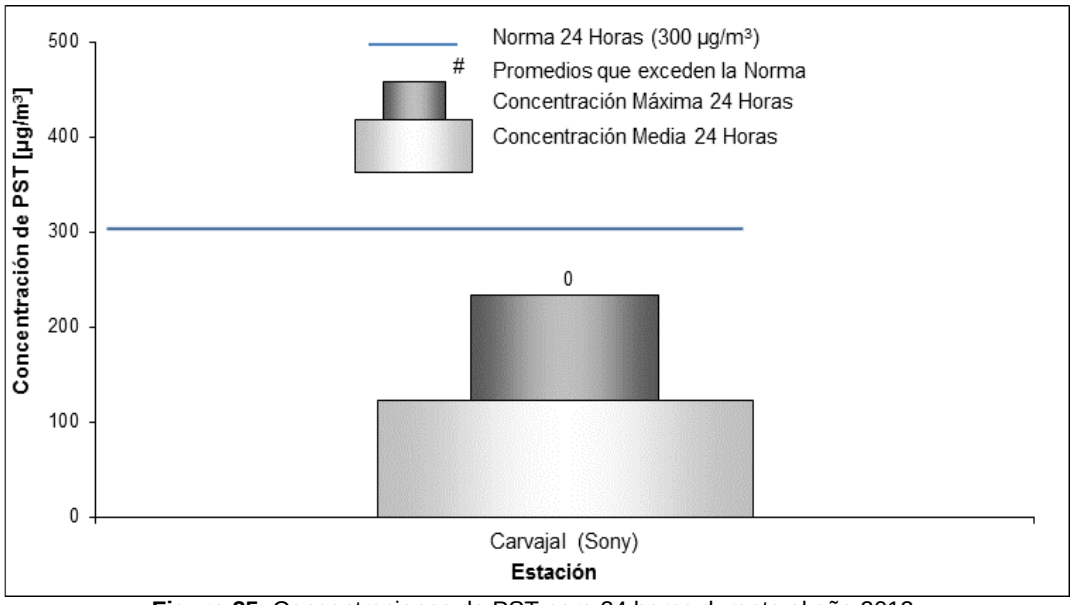


Figura 25. Concentraciones de PST para 24 horas durante el año 2012.

En 2012 el comportamiento de la concentración del contaminante en los días de la semana (Figura 26) presenta similitud a una forma cóncava; la semana inicia con incremento del contaminante hasta llegar a su máximo el día miércoles con 141 µg/m^3 como mediana, luego la concentración disminuye siendo el domingo el día con menor registro de PST con una mediana de 80 µg/m^3; como se puede apreciar, esta descripción es similar en todos los años. La concentración del contaminante en 2012 presenta un significativo descenso en todos los días con respecto a lo registrado en 2011; se tienen importantes diferencias en el valor de la mediana entre estos años, por ejemplo, en cuanto al día sábado, la mediana disminuyó 29 µg/m^3 de 2011 a 2012. Por otro lado, la dispersión de los datos para el último año es baja y en general se mantuvo muy similar al 2011, con cajas simétricas.

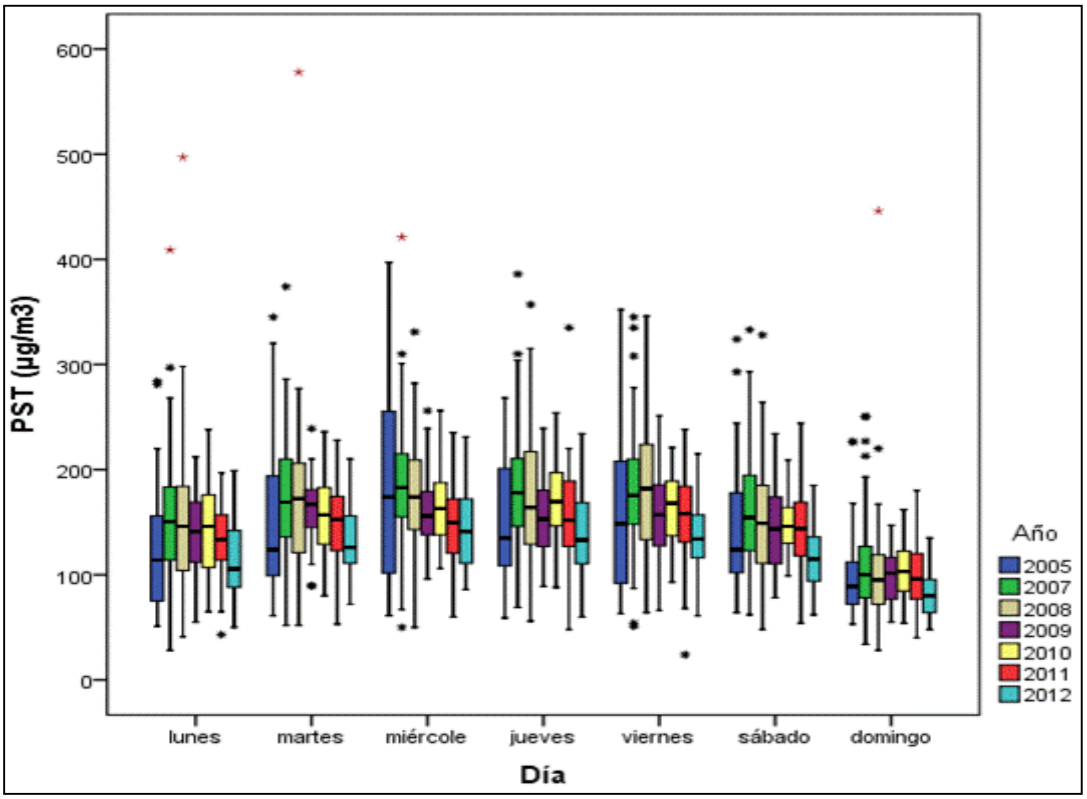


Figura 26. Gráfico de Box-Plot para PST por días de la semana (desde base 24 horas) comparando año 2012 con años anteriores.

Para el análisis de los promedios anuales de PST se puede observar la Figura 27 en la cual se presenta el comportamiento de la concentración promedio mensual en la estación de Carvajal.

La figura del comportamiento del PST en los meses del 2012 (Figura 27) muestra un comportamiento sinusoidal con una amplitud mayor para el segundo semestre; en el primer semestre la amplitud es menor ya que presenta crecientes y descensos en forma alterna. La concentración con respecto al año inmediatamente anterior presenta un comportamiento llamativo, entre enero y mayo las concentraciones de PST fueron menores en 2011, y entre junio y diciembre los niveles de este contaminante fueron menores en 2012, lo que se puede relacionar con la meteorología y posiblemente con medidas como el pico y placa, medida modificado a mediados de 2012. En cuanto a la distribución de los datos, en 2012 no se registraron datos atípicos, lo cual muestra que los datos tienen variabilidad pero no es extrema; meses como marzo y abril tienen la mayor diferencia entre el segundo y el tercer cuartil. Los meses con mayor media y mediana o en los que se registraron mayores niveles en el año son febrero y mayo, y los meses de menor registro son con 164 y 153 µg/m^3, y los de menores registros julio y agosto.

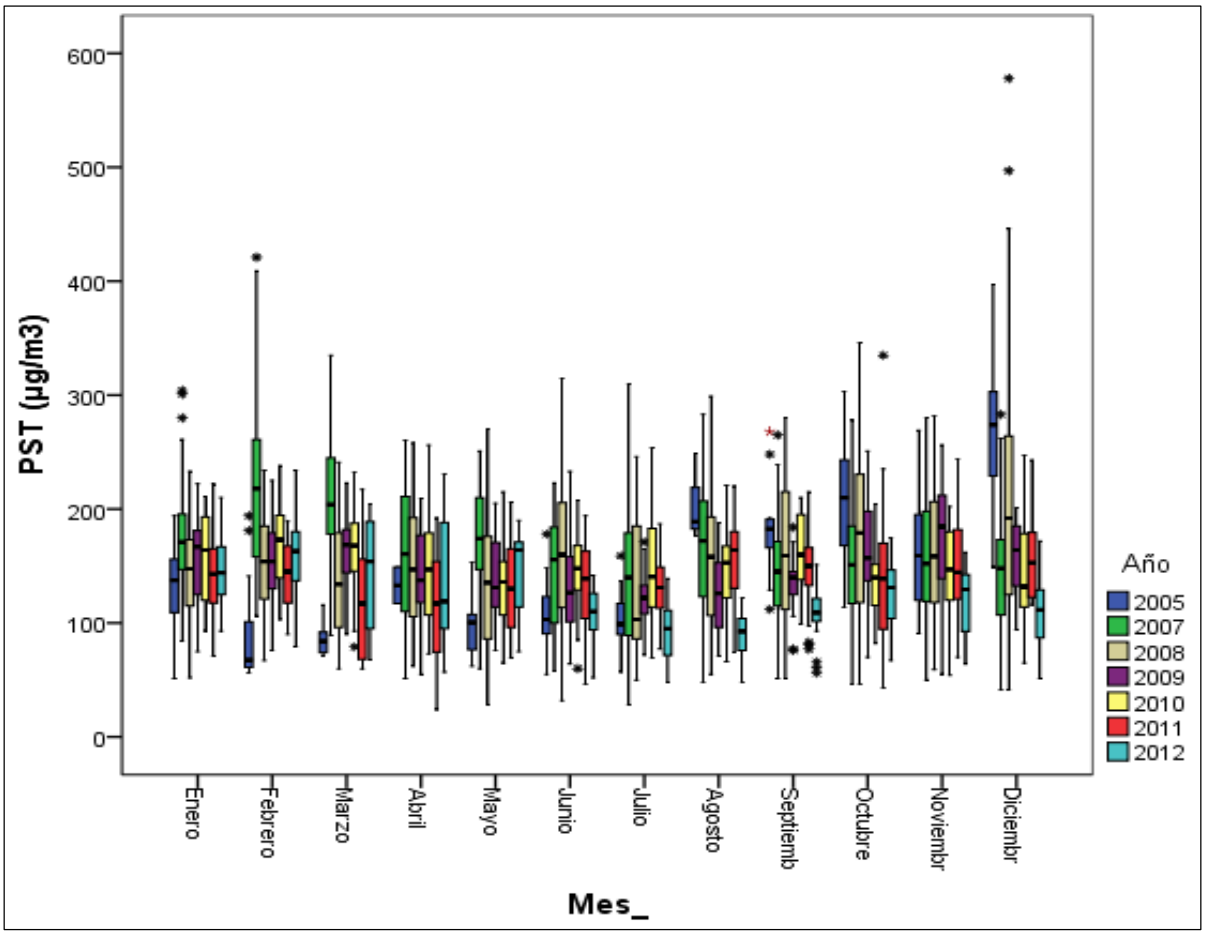


Figura 27. Gráfico de Box-Plot para PST por meses (desde base 24 horas) comparando año 2012 con años anteriores.

PST anual

Se debe recordar que éste valor es el promedio geométrico de las concentraciones medias diarias en 365 días. La estación Carvajal reportó en el 2012 un promedio de concentración anual de 130 µg/m^3 (Tabla 13), promedio que es 4 µg/m^3 inferior al registrado en 2011 y 30 µg/m^3 superior al valor establecido como norma anual (100 µg/m^3).

Tabla 13. Resumen de datos anuales de PST para el 2012.

ESTACION	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]
Carvajal (Sony)	100%	130

En la Figura 28 se muestra lo anteriormente mencionado.

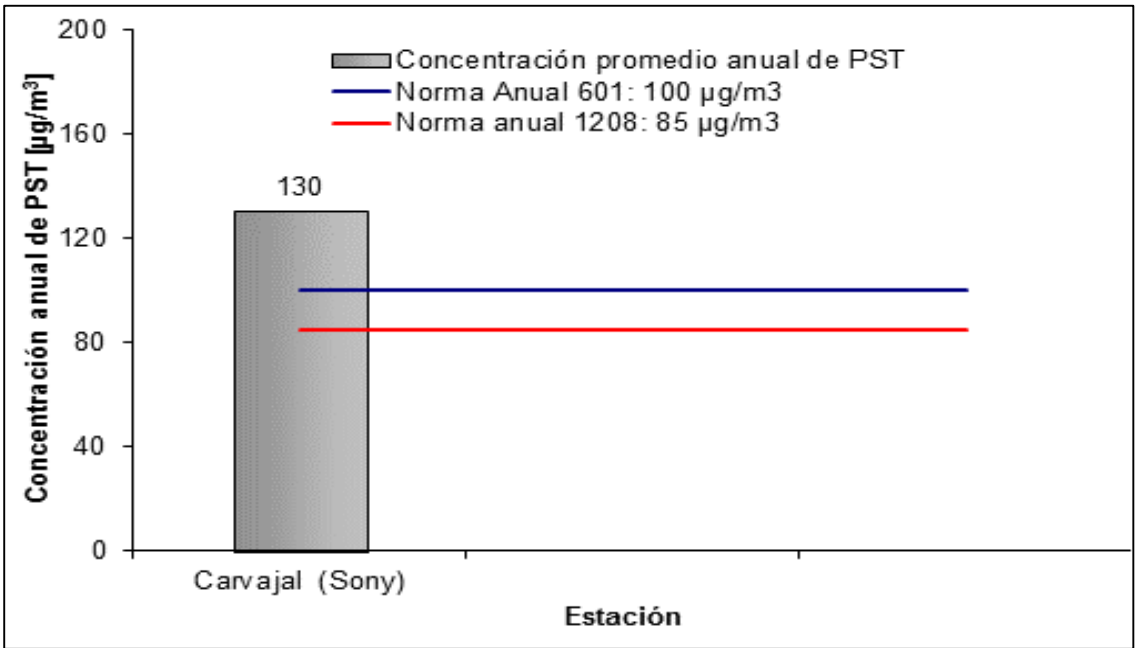


Figura 28. Concentración promedio anual de PST en el 2012 en la estación de Carvajal.

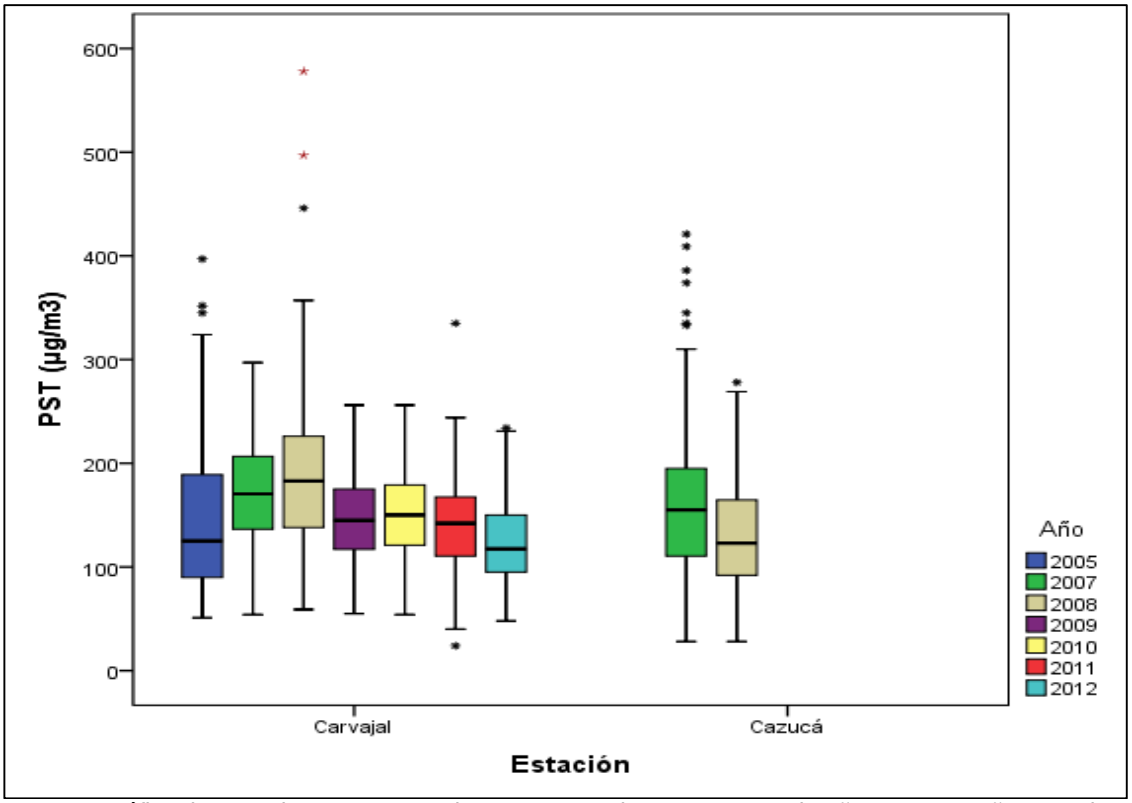


Figura 29. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por estaciones comparando año 2012 con años anteriores.

En la Figura 29 se observa el continuo descenso de la concentración de PST en la estación Carvajal en los últimos años. Mientras que en 2010 la mediana en la estación Carvajal fue 150 µg/m^3, en 2011 142 µg/m^3, en 2012 se registró la menor de todos los años evaluados con 118 µg/m^3.

La mediana (Figura 30) para el año 2012 tiene un significativo descenso respecto al año anterior; mientras que de 2010 a 2011 la reducción fue de 8 µg/m^3, de 2011 a 2012 la disminución de la mediana fue de 25 µg/m^3. Respecto a las concentraciones máximas, en 2011 se registró un máximo de 335 µg/m^3 y en 2012 este valor fue 234 µg/m^3. En cuanto a la distribución de los datos, se observa poca variabilidad, los datos están concentrados alrededor de la mediana y para 2012 no se presentan outliers extremos.

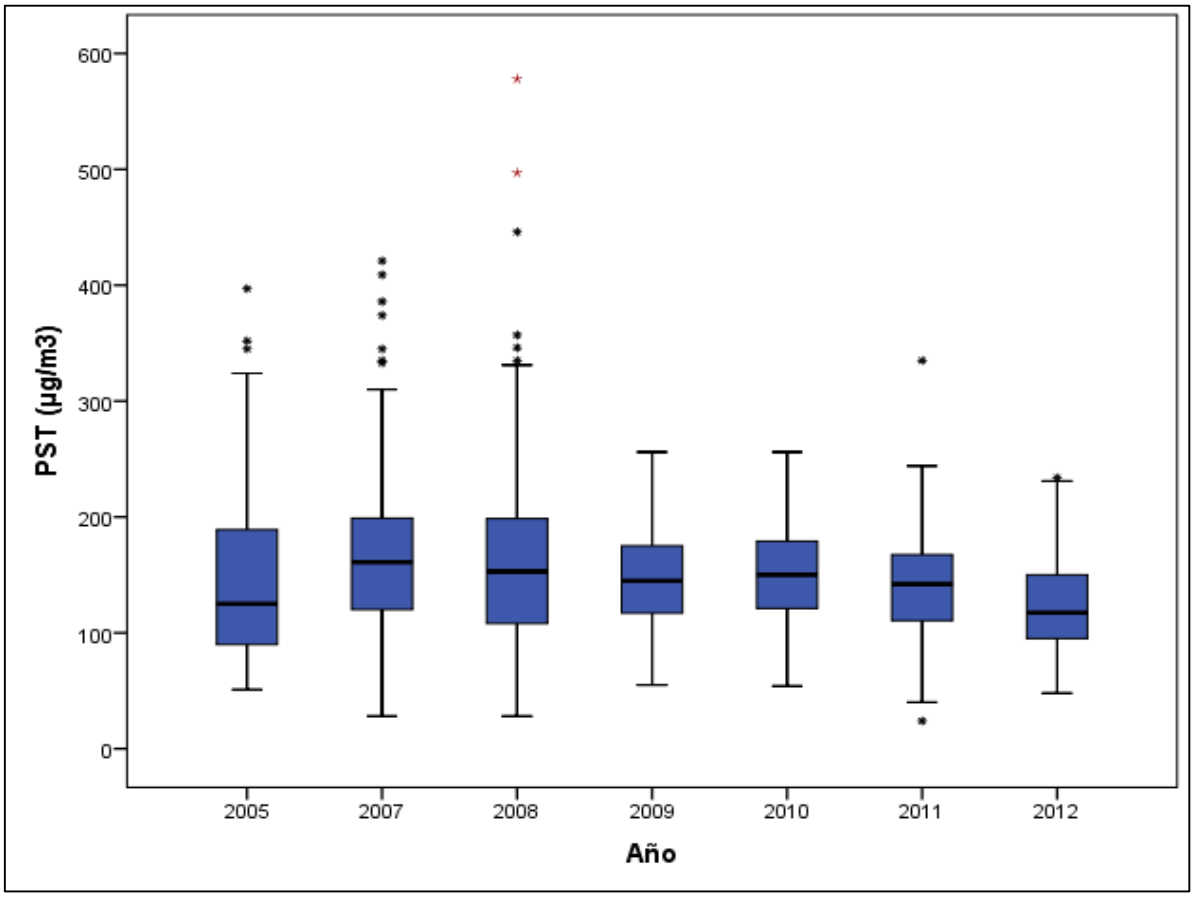


Figura 30. Gráfico de Box-Plot para PST 24 horas por años, desde 2005 hasta 2012.

3.2. GASES CONTAMINANTES

La RMCAB, además de medir el material particulado realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3), gases producto principalmente del uso de combustibles fósiles y de reacciones fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diesel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas. El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, y afecta pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual puede llegar a interferir sustancialmente en el proceso de transporte de oxígeno en el torrente sanguíneo.

El O_3 es un gas azul pálido que, en las capas bajas de la atmósfera, se origina como consecuencia de las reacciones entre los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de la luz solar. Es un oxidante fuerte, muy fácil de producir pero a la vez muy fácil de destruir; es el compuesto más representativo de los compuestos fotoquímicos. Sus efectos en el sistema respiratorio son de cuidado ya que es un gas altamente oxidante e irritante.

3.2.1. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SO_2

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre (SO_2) ubicados según configuración mostrada en la Tabla 1. Los equipos de Kennedy y San Cristóbal presentaron fallas por lo que la representatividad temporal de los datos fue baja durante el año. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio anuales, horarias de 24 horas y de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 601 de 2006.

SO_2 en 3 horas

Durante el periodo analizado se obtuvieron 56728 (cincuenta y seis mil setecientos veintiocho) concentraciones promedio trihorarias (3 horas), que representan el 72% de los datos posibles en el periodo. En la Tabla 14 se muestran los valores promedio y máximos de SO_2 obtenidos por estación, así como los días en los cuales se presentó este máximo. En la Figura 31 se visualizan las concentraciones máximas y medias de cada una de las estaciones. El valor límite máximo permisible en la Resolución 601 de 2006 (287 ppb) no fue excedido en ninguna oportunidad. El valor máximo de concentración trihoraria se presentó en Kennedy el 3 de octubre de 2012 (43,3 ppb), y la media anual más alta se presentó en la estación Carvajal, con 7,3 ppb.

En la Tabla 14 se observa un episodio generalizado de máxima concentración en la estación Parque Simón Bolívar (IDRD), Kennedy, Carvajal, Tunal y San Cristóbal, el cual se presentó el sábado 13 de octubre de 2013 entre las 11 y las 14 horas del día.

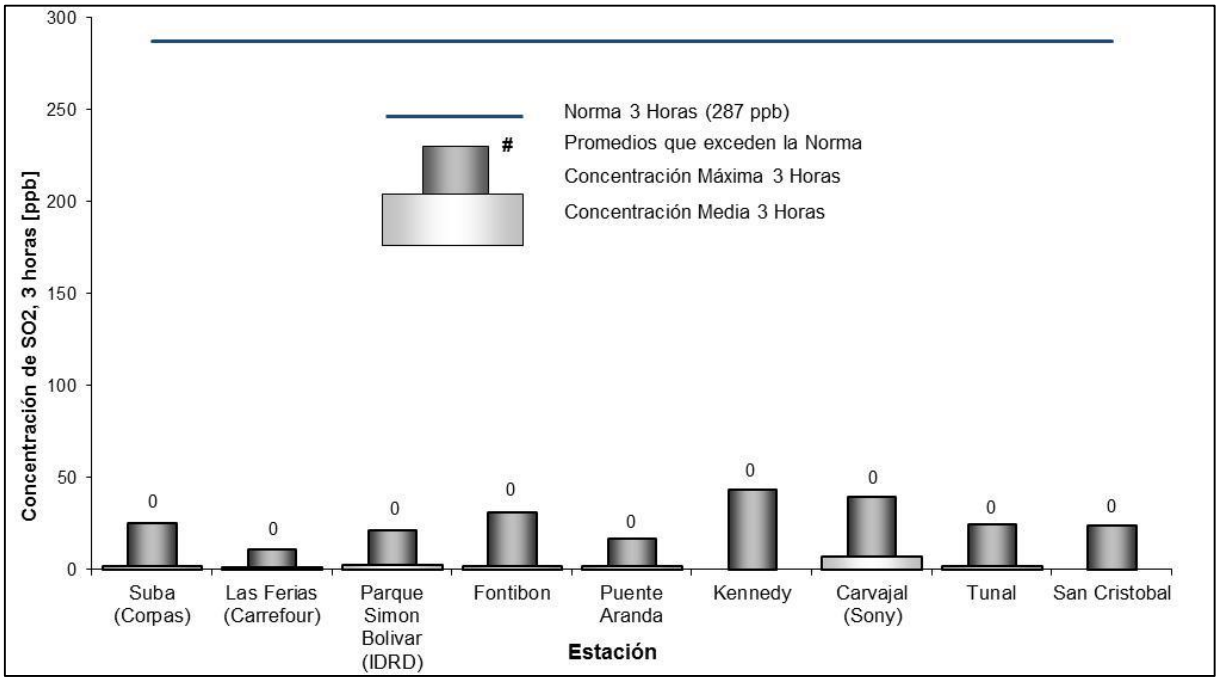


Figura 31. Concentración de SO_2 para 3 horas por estación durante el 2012.

Tabla 14. Resumen de datos de SO_2 3 horas por estación para el 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	86%	1,9	25,0	26/10/2012 10:00
Las Ferias (Carrefour)	74%	1,5	11,1	25/10/2012 09:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	76%	2,3	21,5	13/10/2012 14:00
Fontibón	71%	1,8	31,1	17/02/2012 09:00
Puente Aranda	97%	2,1	16,6	18/04/2012 09:00

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Kennedy	43%		43,3	13/10/2012 11:00
Carvajal (Sony)	93%	7,3	39,4	13/10/2012 11:00
Tunal	74%	2,1	24,4	13/10/2012 12:00
San Cristóbal	32%		24,3	13/10/2012 14:00

SO_2 en 24 horas

Para el estudio de la concentración promedio 24 horas de SO_2, se contó con 2430 (dos mil cuatrocientos treinta) datos, cuya representatividad temporal es del 74%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 601 de 2006 (96ppb). En la Figura 32 se muestran las concentraciones máximas y medias de SO_2 para cada una de las estaciones. El valor máximo de concentración y la media más alta, se registró en la estación No. 3 Carvajal (Sony), al igual que en los promedios trihorarios.

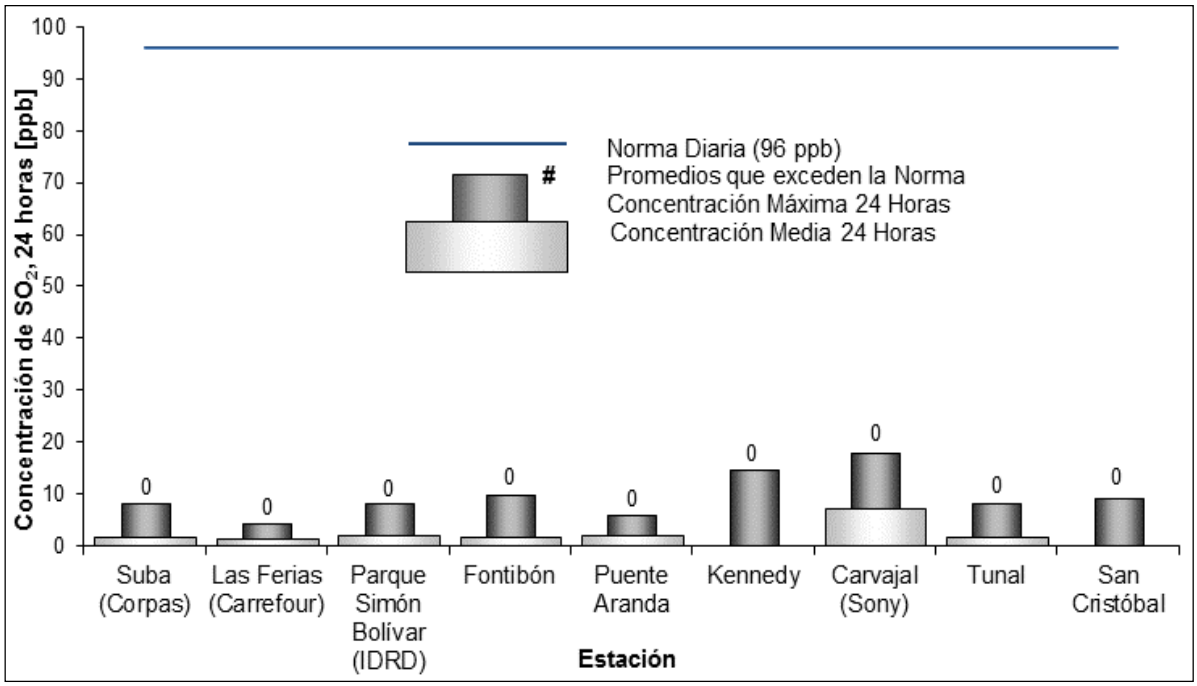


Figura 32. Concentración de SO_2 para 24 horas por estación durante el 2012.

Los promedios, máximos, y fecha de los máximos registrados en cada una de las estaciones se reportan en la Tabla 15. No se presenta un episodio de contaminación generalizado en la ciudad.

Respecto al 2011, para 2012 aumentó el promedio anual en la estación Fontibón, y en las demás estaciones que contaron con representatividad temporal superior al 73% se presenta una disminución de la concentración anual.

Tabla 15. Resumen de promedios 24 horas de SO_2 por estación para el 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	88%	1,9	8,3	26/10/2012 24:00
Las Ferias (Carrefour)	77%	1,5	4,5	21/10/2012 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	80%	2,3	8,2	13/10/2012 24:00
Fontibón	75%	1,9	9,9	20/02/2012 24:00
Puente Aranda	99%	2,1	6,0	18/04/2012 24:00
Kennedy	44%		14,8	13/10/2012 24:00
Carvajal (Sony)	97%	7,3	18,0	05/06/2012 24:00
Tunal	73%	1,9	8,2	19/01/2012 24:00
San Cristóbal	31%		9,4	16/10/2012 24:00

Revisado el histórico de datos se aprecia un cambio en los niveles de concentración desde 2009, que coincide con la modernización mediante la instalación de nuevos equipos marca THERMO en las estaciones Suba, Chico Lago, Fontibón y Puente Aranda, hacia el mes de mayo de 2009, por eso en los gráficos históricos se aprecia una mayor dispersión de los datos para 2009, porque involucra dos etapas distintos.

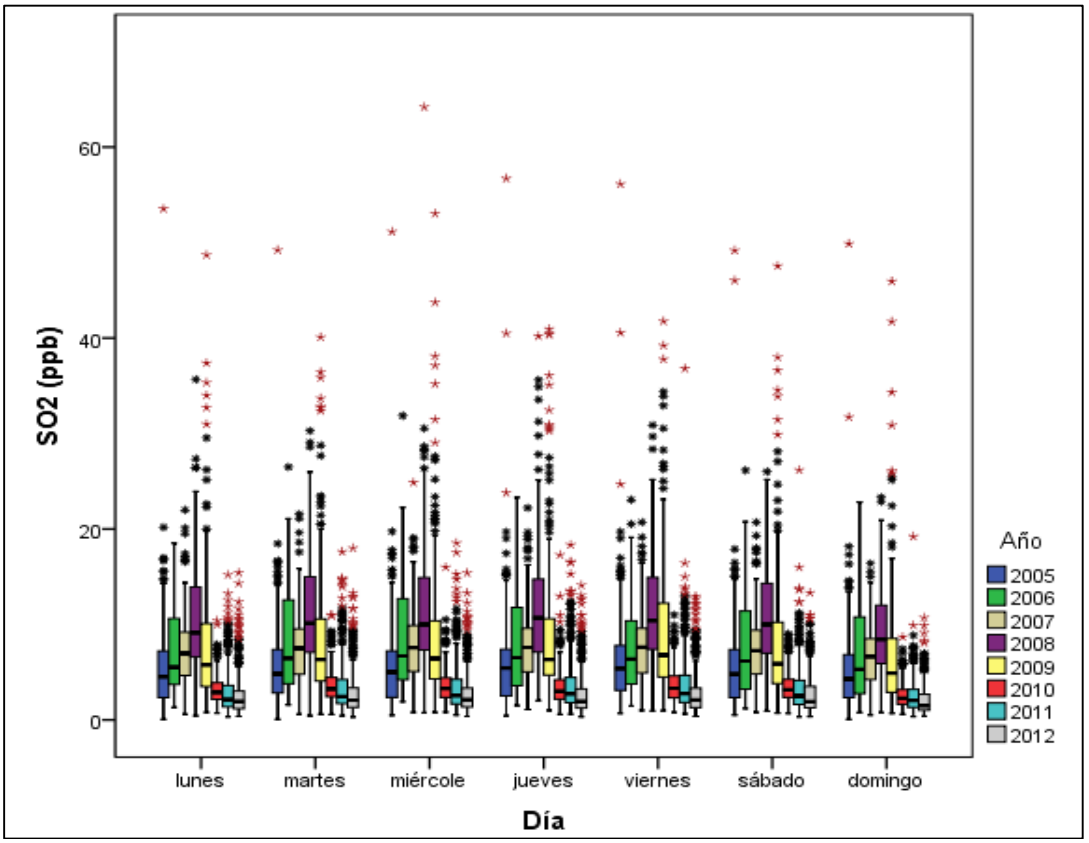


Figura 33. Gráfico de Box-Plot para SO_2 por días de la semana (base 24 horas) comparando el año 2012 con años anteriores.

Como se observa en la Figura 33, de 2009 a 2012 se ha presentado una disminución significativa y progresiva de la concentración del contaminante. Para los días de la semana el comportamiento del contaminante SO_2 muestra una leve forma cóncava. En 2012 las mayores medianas corresponden a los días miércoles y viernes con 2.11 y 2.09 ppb respectivamente. El fin de semana la concentración baja, siendo el domingo el de menores niveles del contaminante, con 1,50 ppb como mediana. Con respecto al 2011, en 2012 las medias y medianas de las series de datos son inferiores todos los días de la semana.

De 2010 a 2012 se observan diagramas de cajas con datos menos dispersos, los cuales se encuentran distribuidos muy cerca a la mediana, a diferencia de lo ocurrido de 2009 hacia atrás. En 2012 se siguen presentando datos atípicos y outliers extremos.

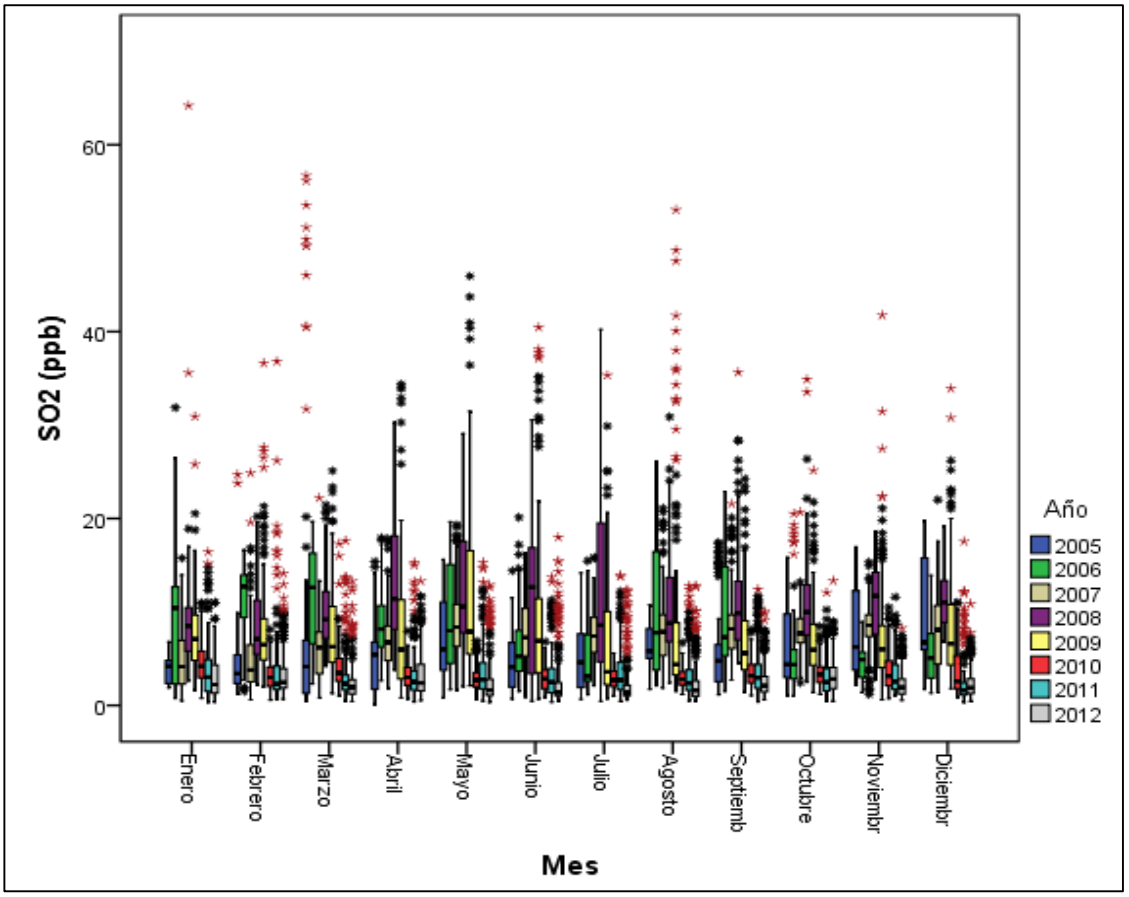


Figura 34. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas, por meses comparando año 2012 con años anteriores.

El comportamiento del contaminante SO2 en el transcurso de los meses del año 2012 (Figura 34) presenta en general una leve tendencia sinusoidal para el primer semestre y para el segundo semestre se observa una figura ligeramente cóncava. El mes del año con menor mediana es agosto y el de mayor octubre, con 1,61 y 2,82 ppb respectivamente. En la mayoría de los meses del 2012 se presentaron medianas

inferiores en las registradas en 2011. En cuanto a la distribución de los datos, para 2012 se observa presencia de datos atípicos y outliers extremos. Los meses con mayor cantidad de datos extremos son los que presentan menores medias y medianas, como mayo, junio, julio y agosto.

SO_2 anual

Durante el 2012 se obtuvieron 2430 (dos mil cuatrocientos treinta) promedios 24 horas de SO_2, los cuales se usaron para calcular el promedio anual. En ninguna de las estaciones de la RMCAB se superó la norma anual establecida en la Resolución 601 del 2006 (31ppb).

En la Figura 35 se muestran los promedios anuales para cada una de las estaciones que contaron con representatividad en el 2012. Se incluye la estación Tunal que alcanzó un porcentaje de recuperación de datos del 73% y no se incluyen las estaciones de Kennedy y San Cristóbal con representatividad en el año de 44% y 31% respectivamente.

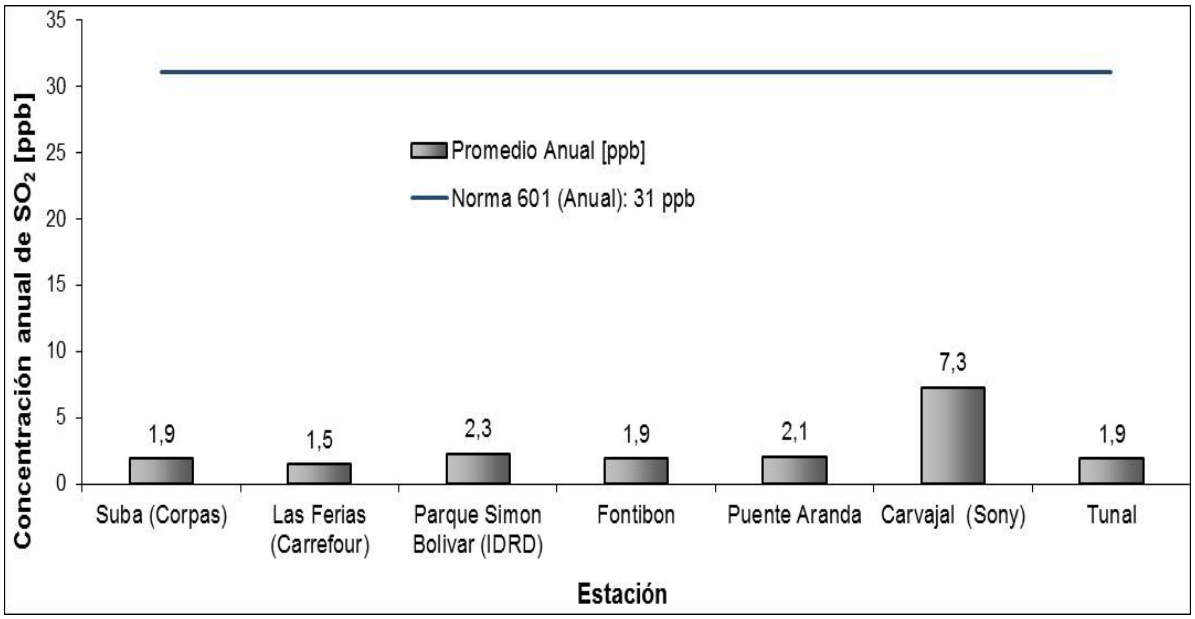


Figura 35. Concentración promedio anual de SO_2 para el 2012.

El resumen de los datos anuales del monitoreo de SO_2 para el 2012 se presenta en la Tabla 16. Se observa que el mayor promedio anual de este contaminante corresponde a la estación Carvajal y el menor promedio a Las Ferias. Con respecto al 2011, en el 2012 el promedio del año disminuyó en todas las estaciones (teniendo en cuenta las estaciones que contaron con representatividad).La mayor disminución corresponde a la estación Puente Aranda que pasó de 3.1 ppb en 2011 a 2.1 ppb en 2012.

Tabla 16. Resumen de promedios anuales de SO_2 por estación para el 2012.

Estación	% de datos válidos	Promedio Anual [ppb]
Suba (Corpas)	88%	1,9
Las Ferias (Carrefour)	77%	1,5
Parque Simón Bolívar (IDRD)	80%	2,3
Fontibón	75%	1,9
Puente Aranda	99%	2,1
Kennedy	44%	
Carvajal (Sony)	97%	7,3
Tunal	73%	1,9
San Cristóbal	31%	

En la Tabla 17 se presentan los valores de las concentraciones promedio anuales desde 1998 hasta 2012, correspondientes a las estaciones que miden SO_2, calculadas el 31 de Diciembre de cada año.

Tabla 17. Concentraciones promedio anuales de SO_2 calculadas el 31 de Diciembre de cada año.

Estación	Concentración SO_2 en [ppb]														
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
11. Suba (Corpas)												4	3	3	1,9
6. Las Ferias			8	9	8	3	19	5		6	7			2	1,5
10. Chico Lago	8	6	6	8	6	6	2	4	5	5	9				
5. Parque Simón Bolívar						18	6	9	6	6	7	6	3		2,3
2. Sagrado Corazón	5	7	6	4	4	6			4	4	4				
12. Z. Industrial - E Móvil													6	4	
14. Fontibón		10	21	9	6	8	9	7	7	7	11		3	2	1,9
13. Puente Aranda	28	25	28	25	13	11	17	6		5	9	4	4	2	2,1
9. Kennedy		20	26	13	7	3	18	6	3	3	8	5	4		
3. Carvajal (Sony)	13	13	11	17	14	9	17		12	11	14	18		9	7,3
Cazucá	29	19	27	16	21	15	11	17	7	14	14				
4. Tunal												8			1,9

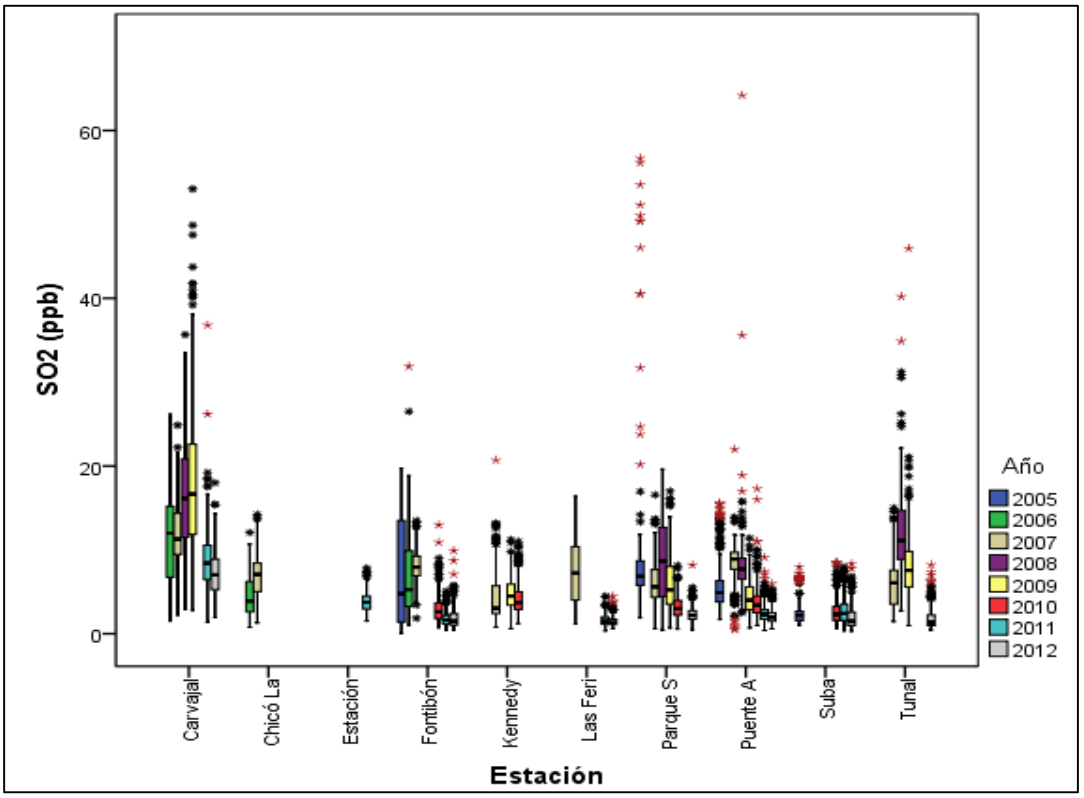


Figura 36. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas por estaciones comparando año 2012 con años anteriores.

El comportamiento general del contaminante se vuelve a ratificar en las gráficas de las estaciones (Figura 36); para el año 2012 cinco estaciones registraron el porcentaje de datos mayor al 75%, siendo la estación de Carvajal la que registra mayor mediana con 7,03 ppb, y la de menor mediana Las Ferias con 1,33 ppb. Con respecto a 2011, en 2012 todas las estaciones presentan medianas inferiores. En cuanto a la distribución de los datos, en 2012 se siguen presentando atípicos y outliers extremos; sin embargo, en 2012 los datos registrados por las estaciones están distribuidos más cerca a la mediana por lo que la amplitud entre el segundo y tercer cuartil es menor a la presentada en la mayoría de los años anteriores.

Como se observa en la Figura 37, la concentración de SO_2 muestra una tendencia a la reducción en los últimos años. La mediana de la serie de datos del 2012 se redujo 0,51 ppb con respecto al 2011, y disminuyó 1,07 ppb frente a 2010. En la figura también es clara la influencia de la modernización de equipos de la RMCAB a mediados de 2009, con lo cual se muestra en relación con años anteriores, una mediana y dispersión de los datos baja. La situación anteriormente descrita tiene efectos en el año 2009 donde se aprecia una gran presencia de datos atípicos y outliers extremos.

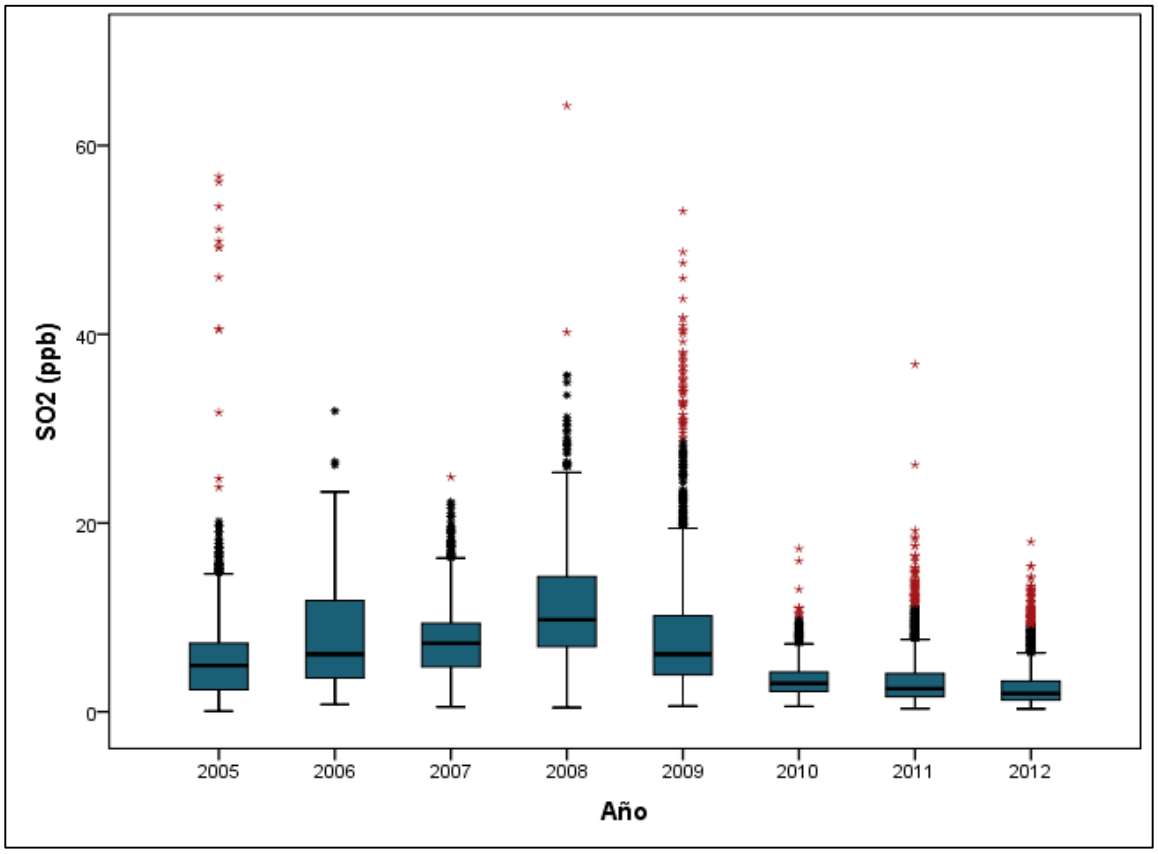


Figura 37. Gráfico de Box-Plot para SO_2 24 horas por años.

3.2.2. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_2

En el año 2012 se calcularon promedios horarios, de 24 horas y anuales de concentración de NO_2 para las estaciones configuradas en la Tabla 1 Durante el año 2008 se adquirieron cinco analizadores nuevos instalados en las estaciones No. 3 Carvajal (Sony), No. 4 Tunal, No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, en el 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones No. 11 Suba, No. 5 Parque Simón Bolívar y en marzo de 2010 se inicia registro en la estación No. 9 Kennedy.

NO_2 1 hora

Durante el periodo analizado se obtuvieron 44697 (cuarenta y cuatro mil seiscientos noventa y siete) datos horarios, con una representatividad del 64% afectada especialmente por la baja representatividad de las estaciones de Guaymaral, Puente Aranda y Carvajal, cuyos equipos presentaron fallas durante el año. No se registraron promedios horarios superiores a la norma (106 ppb Resolución 601 2006), como se observa en la Figura 38. Además, en esta gráfica se pueden apreciar los valores de concentración máxima horaria presentada en cada una de las estaciones y las medias; estas últimas no superaron el 25% de la norma.

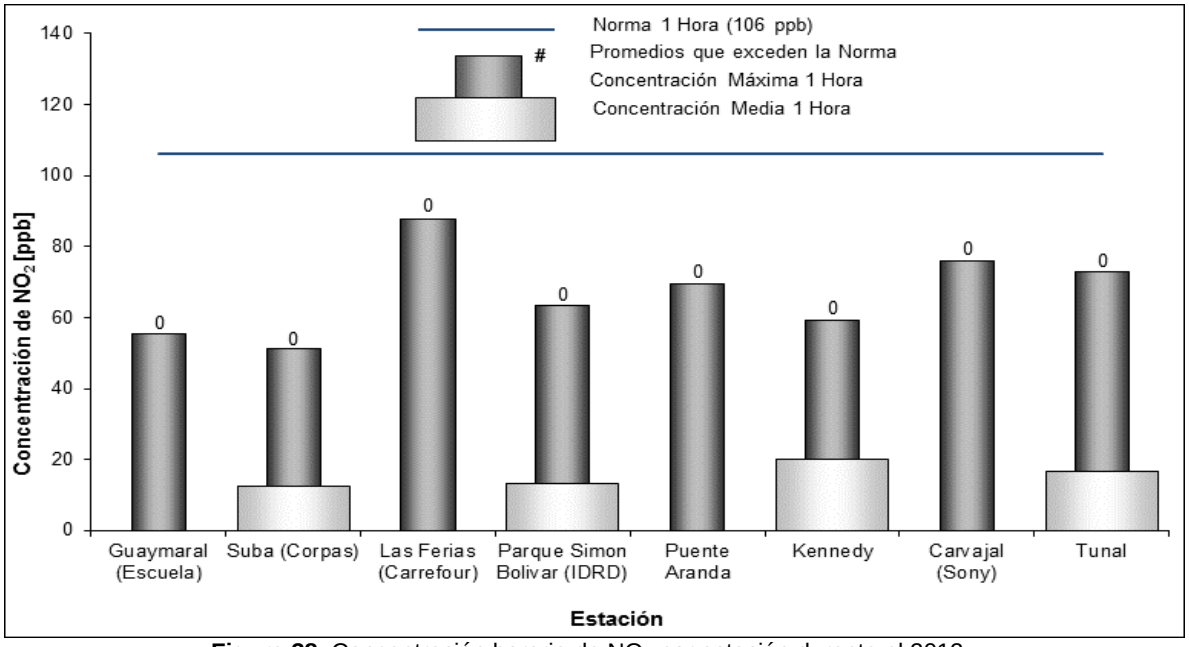


Figura 38. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el 2012.

Los promedios, máximos, y fecha de los máximos registrados en cada una de las estaciones se reportan en la Tabla 18. No se presenta un episodio de contaminación generalizado en la ciudad.

Tabla 18. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	50%		55,4	05/12/2012 20:00
Suba (Corpas)	80%	12,4	51,1	22/03/2012 18:00
Las Ferias (Carrefour)	68%		87,8	29/02/2012 18:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	85%	13,1	63,3	24/03/2012 11:00
Puente Aranda	6%		69,4	19/12/2012 10:00
Kennedy	92%	20,0	59,3	22/11/2012 10:00
Carvajal (Sony)	51%		76,1	17/02/2012 10:00
Tunal	76%	16,5	72,9	14/02/2012 10:00

Los mayores niveles de este contaminante (teniendo en cuenta estaciones con representatividad) se presentaron en Kennedy, y los menores niveles en Suba.

NO_2 en 24 horas

Para el 2012 se calcularon 1858 (mil ochocientos cincuenta y ocho) promedios diarios de NO_2, que corresponden a una representatividad del 63%. De estos promedios, ninguno

superó la norma establecida de NO_2 para 24 horas (80 ppb) como se observa en la Figura 39.

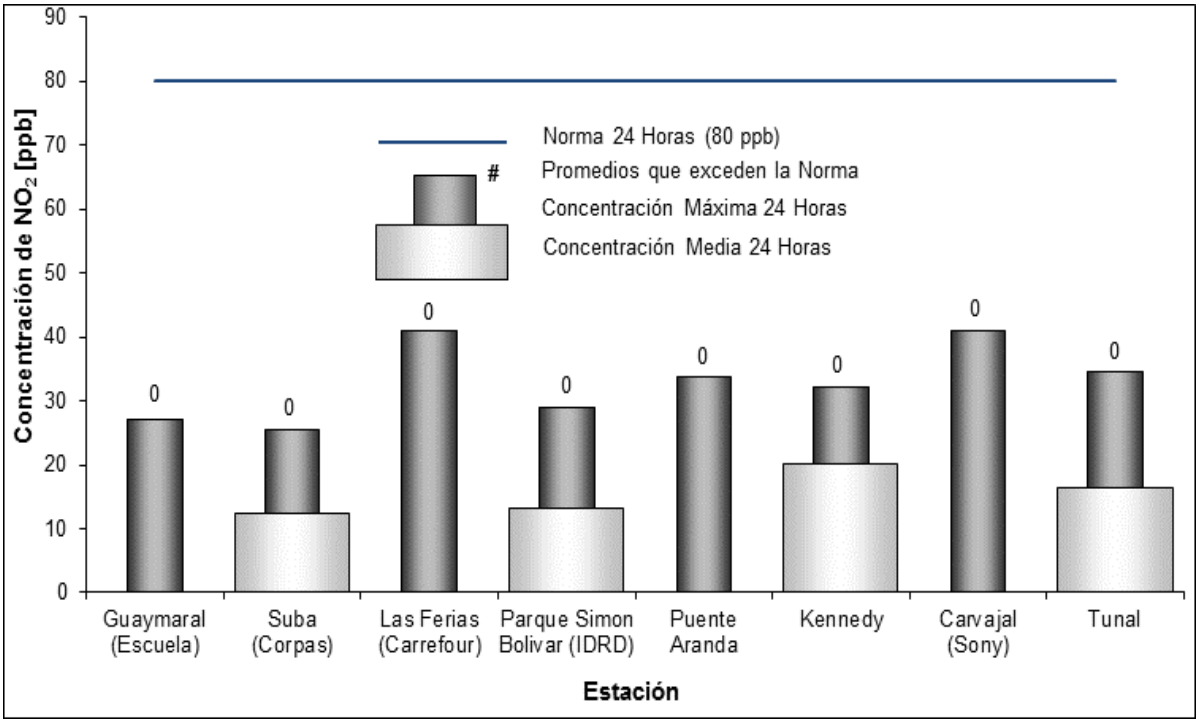


Figura 39. Concentración de NO_2 24 horas por estación para el año 2012.

De las estaciones que cumplen con el 75% de representatividad, las que registraron las concentraciones medias más altas fueron Kennedy y Tunal con 20,0 ppb y 16.4 ppb respectivamente, promedios que se encuentran por debajo del 25% del valor de la norma.

En la Tabla 19 se reportan los promedios 24 horas por estación, las concentraciones máximas y el día en que ocurrieron. En Las Ferias y Carvajal se registran las máximas concentraciones diarias del año, con 41,0 ppb.

Tabla 19. Resumen de datos 24 horas de NO_2 por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	46%		27,1	05/12/2012 24:00
Suba (Corpas)	80%	12,3	25,4	01/02/2012 24:00
Las Ferias (Carrefour)	69%		41,0	14/04/2012 24:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	85%	13,1	28,9	13/04/2012 24:00
Puente Aranda	7%		33,6	12/12/2012 24:00
Kennedy	94%	20,0	32,2	12/10/2012 24:00
Carvajal (Sony)	51%		41,0	29/02/2012 24:00
Tunal	77%	16,4	34,4	12/10/2012 24:00

Respecto a 2011, en 2012 el valor de las máximas concentraciones diarias obtenidas fueron menores en todas las estaciones. Se identifica un pequeño episodio de contaminación el 12/10/2012 en las estaciones Kennedy y Tunal.

Para el análisis estadístico se incluyeron para el 2012 cuatro estaciones de la RMCAB, las que alcanzaron una representatividad de los datos superior al 75%, y Ferias con 69%.

En la Figura 40 se presenta el comportamiento del NO_2 para los días de la semana; para 2012 se observa una forma cóncava, con un máximo nivel de concentración el día viernes con mediana de 16.38 ppb. El valor de la mediana más bajo corresponde al día domingo con 12.52 ppb. Comparando con el año anterior, se presenta una disminución del valor de la mediana en todos los días de la semana a excepción del sábado. En cuanto a la distribución de los datos, en 2012 la dispersión registra disminución respecto al 2011 y no se presentan outliers extremos.

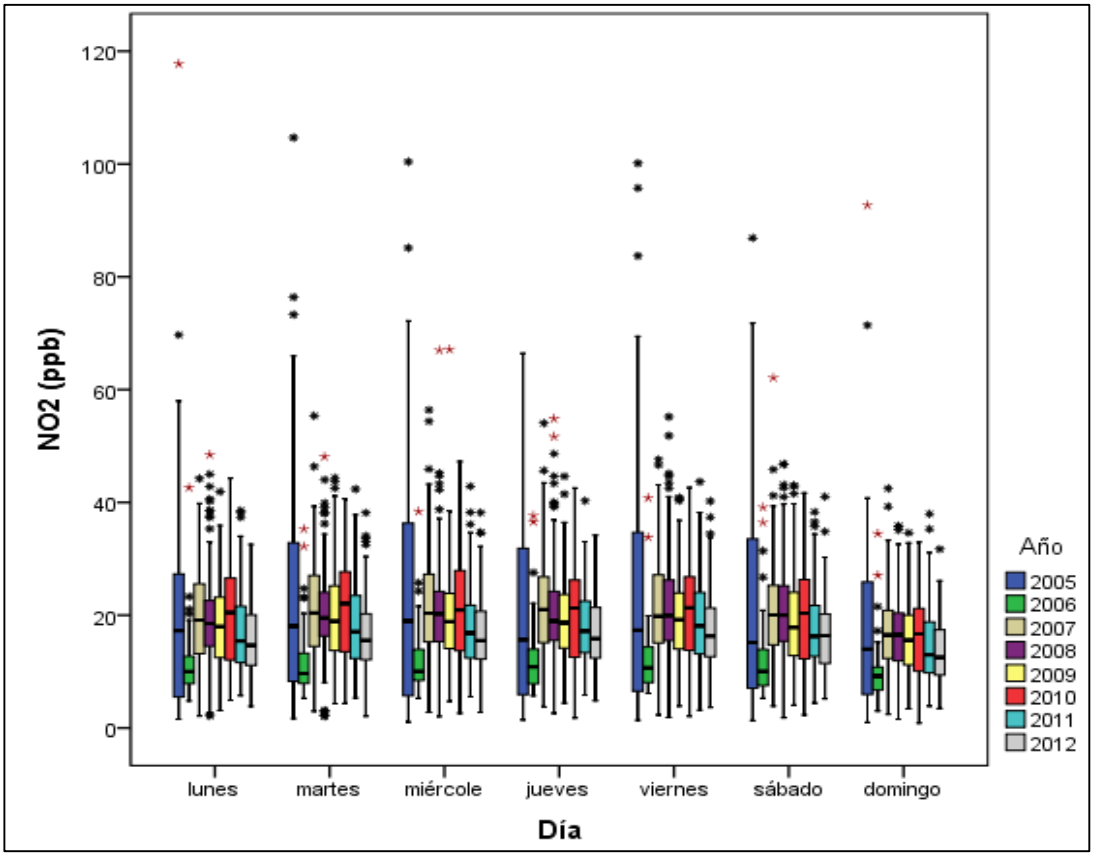


Figura 40. Gráfico de Box-Plot para NO_2 por días de la semana (base 24 horas) comparando año 2012 con años anteriores

Mensualmente, como se observa en la Figura 41, para este contaminante se encuentra bien definido el comportamiento sinusoidal. Para el primer semestre de 2012 se registra decrecimiento y para el segundo semestre un crecimiento, donde el punto de inflexión se encuentra en el mes de junio, con 11,93 ppb como mediana; el mes con mayor mediana

en 2012 es octubre con 18,65 ppb; comparando el valor de la mediana en los meses del 2012 con respecto al 2011, se observa que en casi todos los meses se presentó disminución, salvo en febrero, julio, agosto y septiembre; la mayor diferencia en cuanto a disminución mensual en los dos últimos años se encuentra en noviembre, en donde se pasa de e 24,0 ppb en 2011 a 17,42 ppb en 2012.

Por otro lado, la distribución de los datos del contaminante en el 2012 es similar a la del 2011; no se registraron ni datos atípicos ni outliers extremos en enero, octubre, noviembre y diciembre.

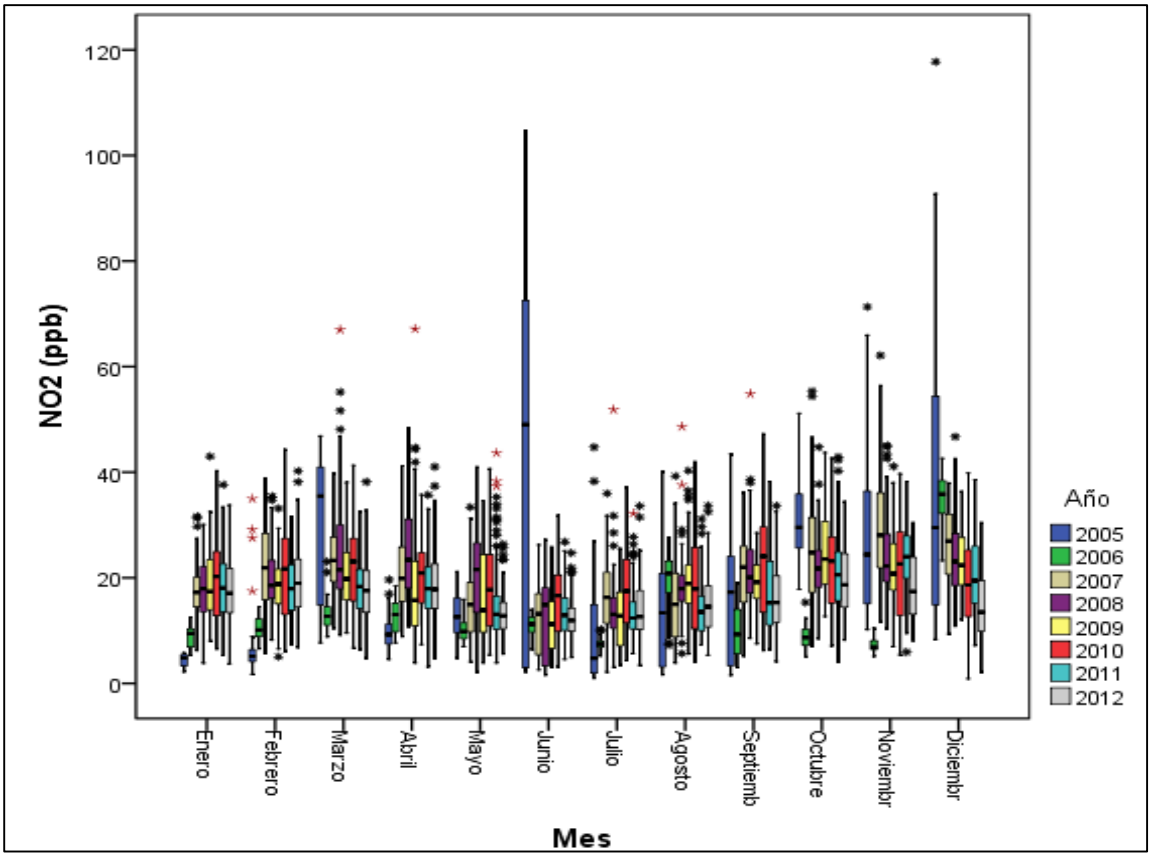


Figura 41. Gráfico de Box-Plot para NO_2 24 horas por meses comparando año 2012 con años anteriores.

NO_2 anual

Durante el 2012 se contó con representatividad de los datos superior al 75% en Suba, Parque Simón Bolívar, Kennedy y Tunal. Ninguno de los promedios anuales superó lo establecido en la Resolución 601 del 2006 (53 ppb). La estación que registró el mayor promedio anual fue Kennedy, con 20,0 ppb, concentración que está por debajo del 50% de la norma. El resumen de los datos registrados por los monitores de NO_2 se presenta en la Tabla 20

Tabla 20. Resumen de datos anuales de NO_2 por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio Anual [ppb]
Guaymaral (Escuela)	46%	
Suba (Corpas)	80%	12,3
Las Ferias (Carrefour)	69%	
Parque Simón Bolívar (IDRD)	85%	13,1
Puente Aranda	7%	
Kennedy	94%	20,0
Carvajal (Sony)	51%	
Tunal	77%	16,4

En la Figura 42 se muestran los promedios anuales del 2012 para las estaciones que presentaron porcentajes de representatividad superiores al 75%. Se puede observar que no se supera la norma anual establecida en 53 ppb.

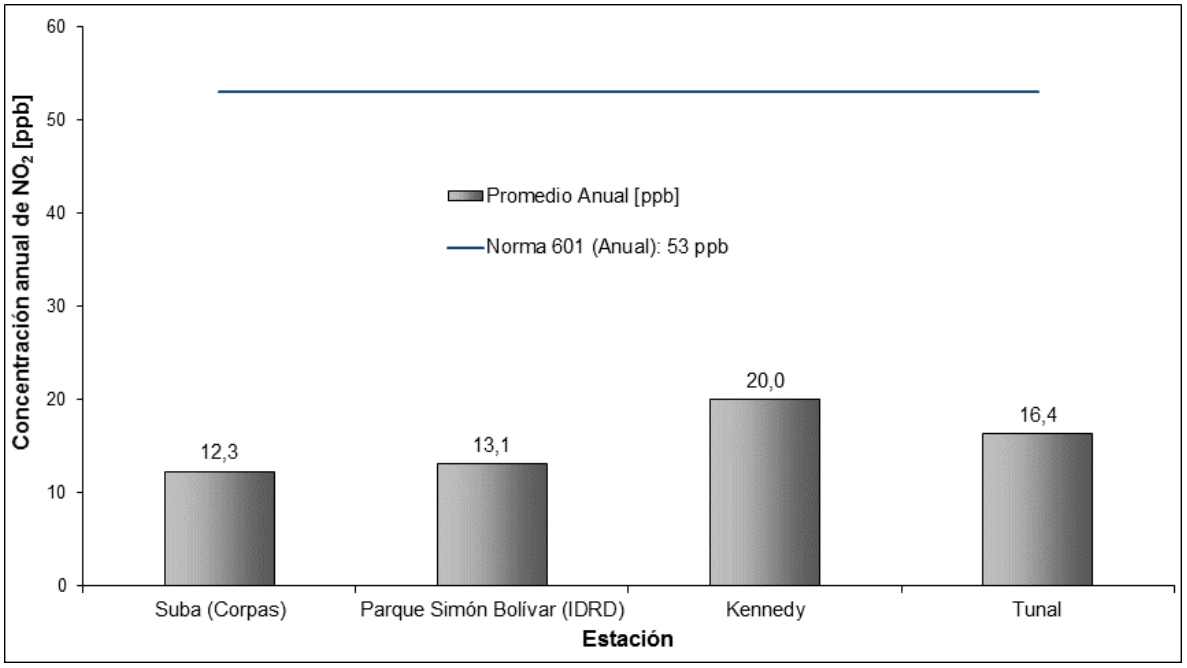


Figura 42. Concentración promedio anual de NO_2 por estación durante el 2012.

Con respecto al 2011, en 2012 la concentración promedio anual disminuyó en todas las estaciones (teniendo en cuenta las de representatividad temporal superior al 75%).

En la Tabla 21 se presentan las concentraciones promedio anuales desde 1998 hasta 2011 para cada una de las estaciones. Se aprecia que en la estación No. 9 Kennedy se presentó la mayor concentración promedio anual de NO_2 para el 2011. En esta tabla los cuadros en gris refieren promedios reportados con representatividad inferior al 75%.

Tabla 21. Concentraciones de NO_2 – Promedios anuales, calculado a 31 de diciembre de 2012.

NOMBRE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Guaymaral (Escuela)				10	8	6	6								
Usaquén	12	8	9	7		12									
Suba (Corpas)	8	5	5			12	12	16					10	12	12
Las Ferias (Carrefour)			4	16	9	17		21	12				18	19	
Engativá	7	9													
Chico Lago (S. Tomás)	24	20	13	20	19	16	4	6							
P. Simón Bolívar	19	22				4	6	11	15	13	21	22	24		13
U. Nacional	18	21	24	23	35										
Sagrado Corazón	14	21	21	20	19			22							
Z. Ind. – E. Móvil															
Z. Ind. – CADE	18	7	7	8	11										
Fontibón		19	14	14	12	1	5	4		19	20	21			
Puente Aranda		27	20	19	19	5		36		27		18	26		
Olaya	16	21	19	14											
Kennedy														21	20
Carvajal	19	18	16	49		1	4	1				25	25		
Tunal													20	19	16
Central de mezclas				7	8										
Cazucá	18	14	17	14	7	3									

La estación que mejor comportamiento registra por su simetría, baja concentración y dispersión en el 2012 es Suba (ver Figura 43) con 12,20 ppb como mediana. La estación con menor mediana en 2012 fue Parque Simón Bolívar con 12,13 ppb, y la de mayor mediana Kennedy con 19,40 ppb. Las estaciones Las Ferias y Tunal presentaron en 2012 medias y medianas inferiores a las registradas en 2011, mientras que Kennedy y Suba presentaron en 2012 mayores niveles. Kennedy que es la estación con mayor mediana en 2012 registró los mayores niveles de este contaminante en el último trimestre del año.

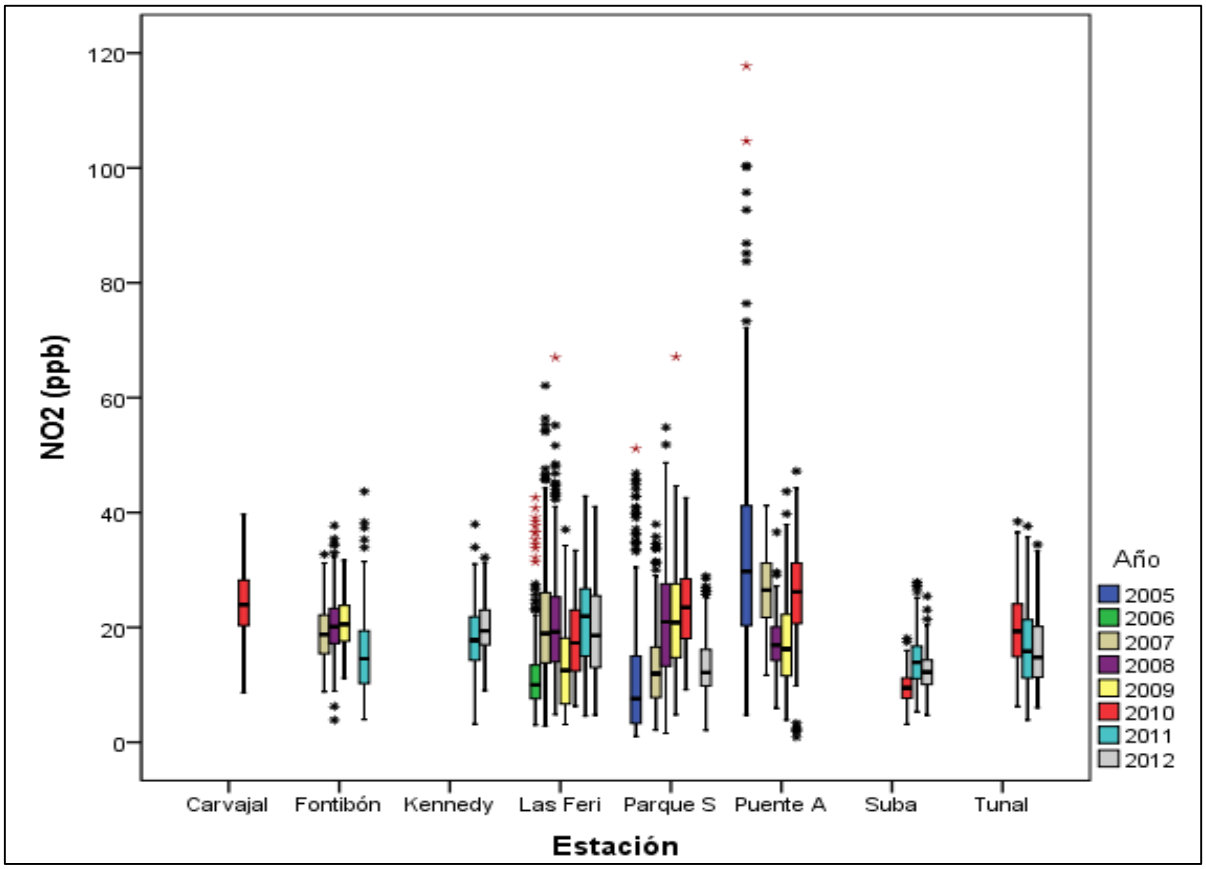


Figura 43. Gráfico de Box-Plot para NO_2 por estaciones comparando año 2012 con años anteriores (base 24 horas).

En la Figura 44 se resume el comportamiento general del contaminante; se observa una disminución en la concentración desde el 2007 hasta 2009, en el 2010 se presenta un aumento y de 2011 a 2012 nuevamente una disminución. Mientras que en 2010 se registró una mediana de 20.19 ppb, en 2011 de 16,40 ppb, en 2012 este valor disminuyó a 15,17 ppb. En cuanto a los datos atípicos y la dispersión, se observa que 2012 tiene un comportamiento muy similar al del año inmediatamente anterior, con la mayoría de los datos distribuidos más cerca a la mediana.

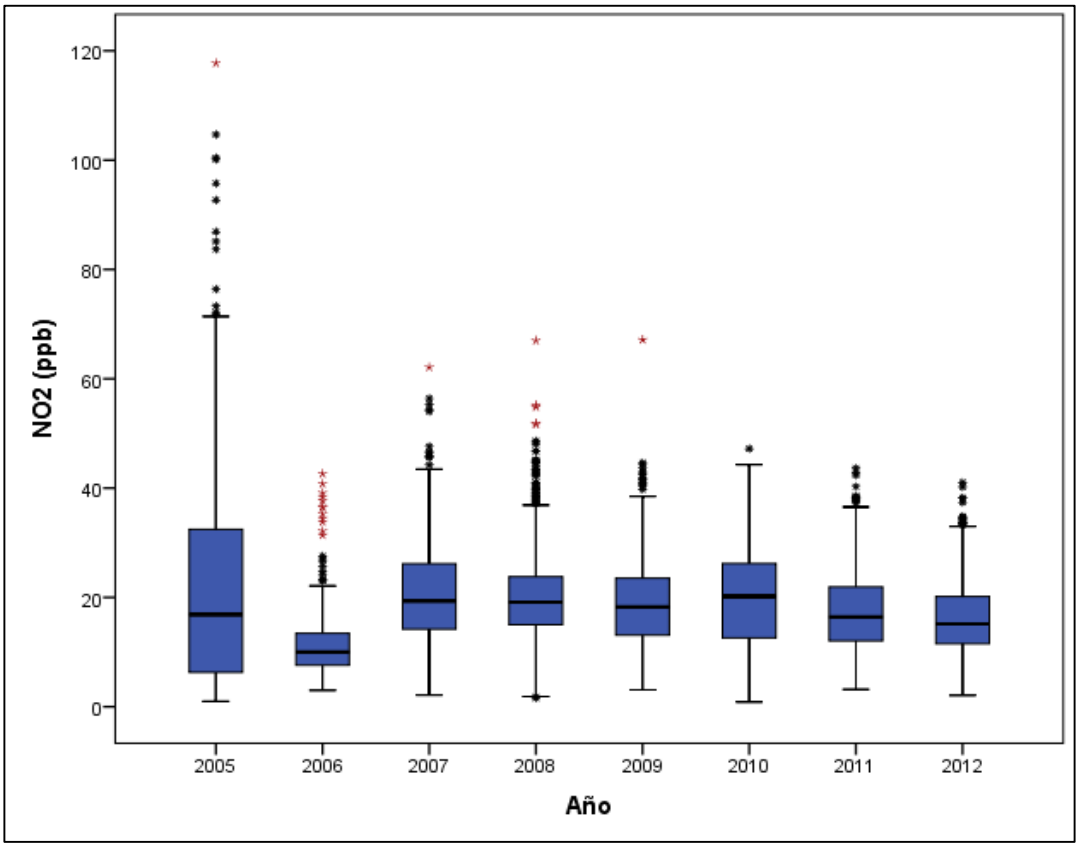


Figura 44. Gráfico de Box-Plot para NO_2 24 horas por años.

3.2.3. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO

En el 2012 se contó con promedios de CO horarios y octohorarios para las estaciones indicadas en la Tabla 1. El índice de captura de datos para este contaminante fue del 85% respecto a los que se podrían obtener si no se presentaran fallas en el proceso de recolección de la información.

CO 1 hora

Se obtuvo 67211 (setenta y siete mil doscientos once) datos horarios de CO. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (35 ppm Res. 601 de 2006), y todos los promedios horarios estuvieron por debajo del 20% de la norma (ver Tabla 22).

En la Tabla 22 se presenta el promedio, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron los máximos promedios por estación; la estación Carvajal presenta el mayor promedio anual. Las estaciones Las Ferias, Parque Simón Bolívar y Fontibón coinciden en presentar el valor máximo de concentración el 22 de marzo de 2012 entre las 21 y las

22 horas. Los martes y jueves fueron los días en los que se presentaron las máximas concentraciones del año.

Tabla 22. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén (Bosque)	90%	0,9	5,22	14/02/2012 08:00
Las Ferias (Carrefour)	90%	0,8	4,73	22/03/2012 21:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	93%	0,7	4,33	22/03/2012 22:00
Fontibón	50%		2,93	22/03/2012 21:00
Puente Aranda	98%	1,0	4,86	09/02/2012 09:00
Kennedy	92%	1,0	3,91	27/03/2012 07:00
Carvajal (Sony)	96%	1,4	6,11	05/04/2012 01:00
Tunal	69%		4,99	27/03/2012 08:00
San Cristóbal	87%	0,5	3,26	11/12/2012 09:00

En la Figura 45, se observa que en ninguna estación se superó la norma, y que además la estación Carvajal registró la mayor concentración promedio horaria de CO.

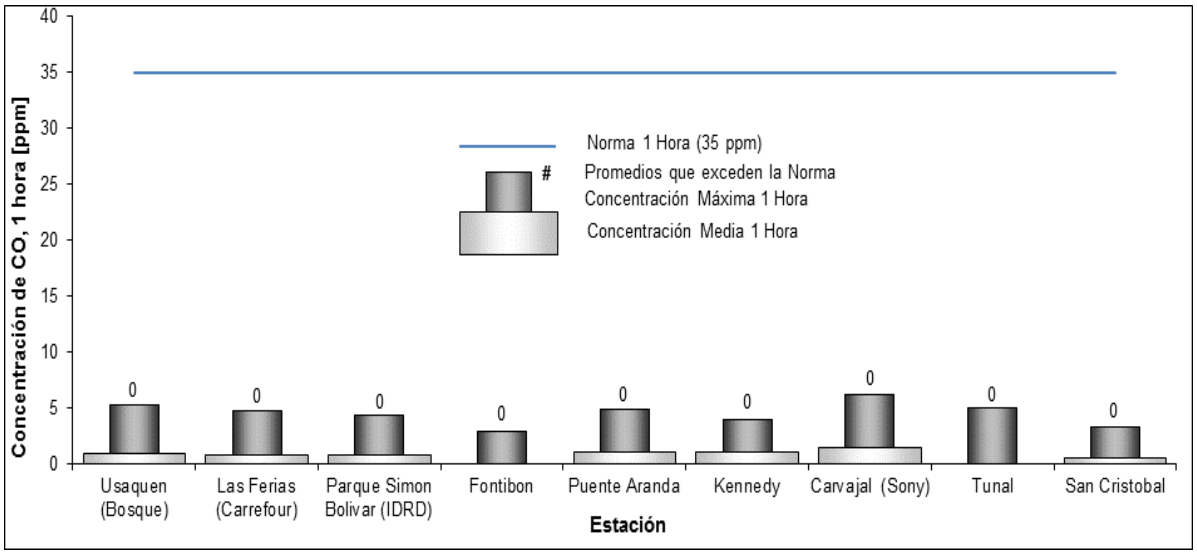


Figura 45. Concentraciones máximas y medias horarias de CO durante el 2012.

En comparación con el 2011, en el 2012 el promedio del año de acuerdo con los datos horarios disminuyó en las estaciones Carvajal y San Cristóbal, y aumentó en la estación Usaquén.

CO 8 horas

Para el 2012 se calcularon 66473 (sesenta y seis mil cuatrocientos setenta y tres) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 84% de los datos posibles teniendo en cuenta los equipos instalados. Durante el periodo analizado no se presentaron

excedencias a la norma (8,8 ppm, Resolución 601 de 2006). Los promedios octohorarios máximos registrados son inferiores al 50% de la norma. La estación San Cristóbal registró las menores concentraciones octohorarias, con una media de 0,6 ppm en el año, mientras que la estación de Carvajal presentó la mayor concentración promedio en 2012, con 1,4 ppm (Ver Figura 46).

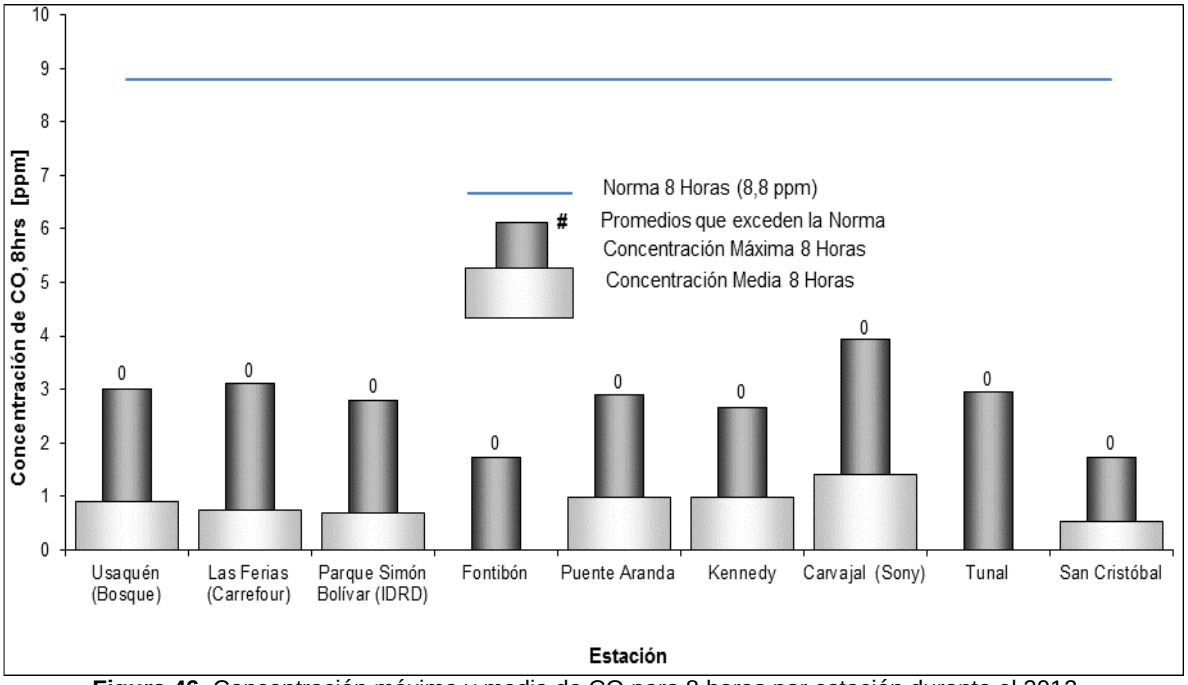


Figura 46. Concentración máxima y media de CO para 8 horas por estación durante el 2012.

La Tabla 23 presenta un resumen de los datos de CO que incluyen la concentración media octohoraria, y la concentración máxima con la fecha y hora en la que esta ocurre. El 27 de marzo de 2012 entre las 10 y las 13 horas se presentó un episodio de contaminación debido a que se registraron las concentraciones máximas del año en las estaciones Puente Aranda, Kennedy, Tunal y San Cristóbal (Zona sur y suroccidental de la ciudad).

Tabla 23. Resumen de datos de CO por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén (Bosque)	89%	0,92	3,0	14/04/2012 24:00
Las Ferias (Carrefour)	90%	0,77	3,1	23/03/2012 01:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	92%	0,71	2,8	11/02/2012 02:00
Fontibón	48%		1,7	20/01/2012 21:00
Puente Aranda	98%	1,01	2,9	27/03/2012 12:00
Kennedy	91%	0,99	2,7	27/03/2012 12:00
Carvajal (Sony)	95%	1,43	3,9	11/05/2012 05:00
Tunal	68%		3,0	27/03/2012 10:00
San Cristóbal	86%	0,55	1,8	27/03/2012 13:00

Los promedios en 2012, de acuerdo con la base de datos octohoraria, fueron inferiores a los registrados en 2011 en las estaciones Carvajal, San Cristóbal, Las Ferias y Puente

Aranda. En la estación Usaquén el promedio de 2012 es superior al del 2011, y en cuanto a la estación Kennedy, la media en 2012 es la misma registrada en el año inmediatamente anterior.

La gráfica de los días de la semana para el contaminante CO presenta una leve forma sinusoidal que inicia el lunes con alza (Figura 47), el jueves disminuye y el viernes vuelve a aumentar, presentándose el fin de semana nuevamente una disminución y siendo el domingo el día de menor mediana con 0,74 ppm; los picos de la onda se registran el martes y viernes con 0,90 y 0,93 ppm respectivamente; los días valles son el lunes, jueves y domingo. Respecto al año inmediatamente anterior, la mediana de los días lunes, martes y miércoles del 2012 es mayor. En cuanto a la distribución de los datos en los días de la semana se observa un comportamiento muy similar al del 2011; además se observa que el día de 2012 con mayor dispersión de los datos es el viernes y el de menor dispersión el domingo; no se presentaron en 2012 outliers extremos y se observa simetría en la mayoría de los días de la semana.

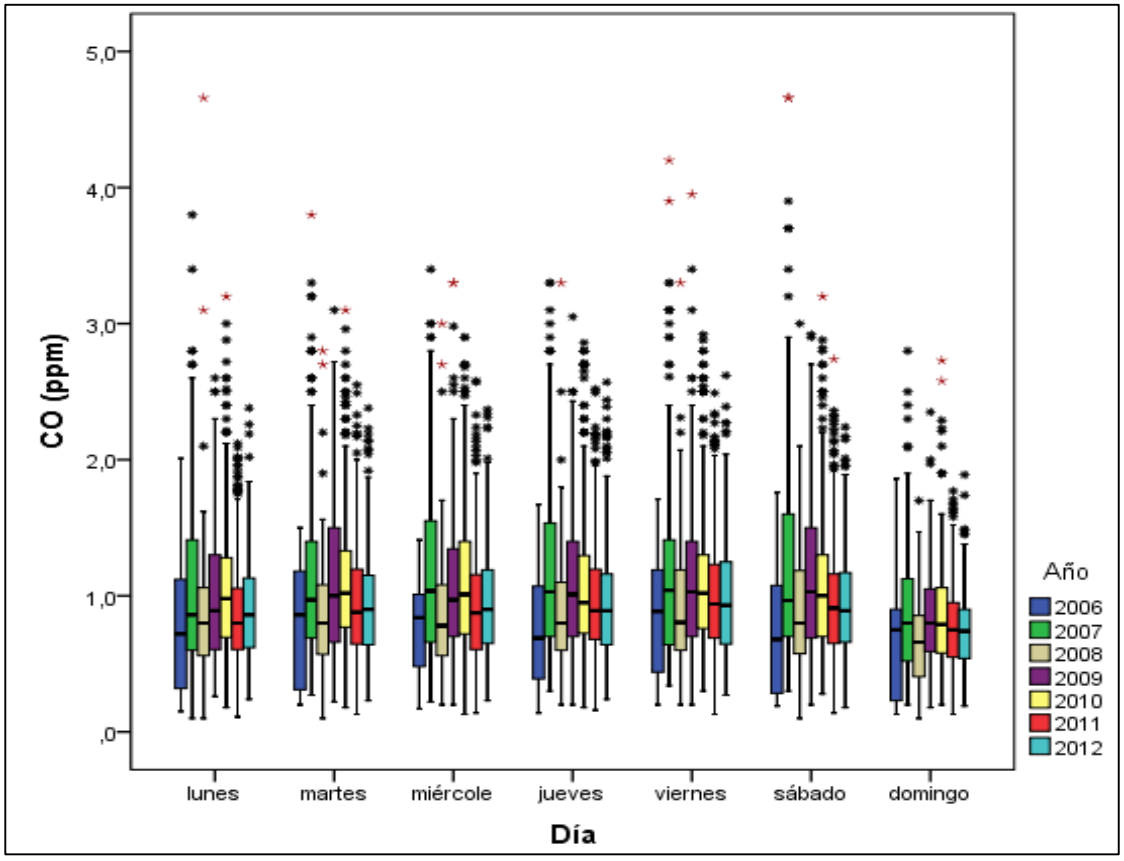


Figura 47. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por días de la semana comparando año 2012 con años anteriores.

Los meses en el año tienen un comportamiento sinusoidal como se ve en la Figura 48. En 2012 los meses con mayor mediana son abril y noviembre con 0,99 ppm. Los meses con menores niveles de este contaminante son junio y agosto con medianas de 0,66 y 0,75

ppm respectivamente. Con respecto al 2011, se presenta disminución de los niveles de CO en los meses de enero, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre de 2012; la mayor disminución se presenta en diciembre, en donde se pasa de 1,0 ppm en 2011 a 0,92 en 2012. Por otro lado, la dispersión de los datos en 2012 es similar a la presente en 2011, y la cantidad de datos atípicos sigue siendo significativa especialmente en meses como enero, febrero y octubre.

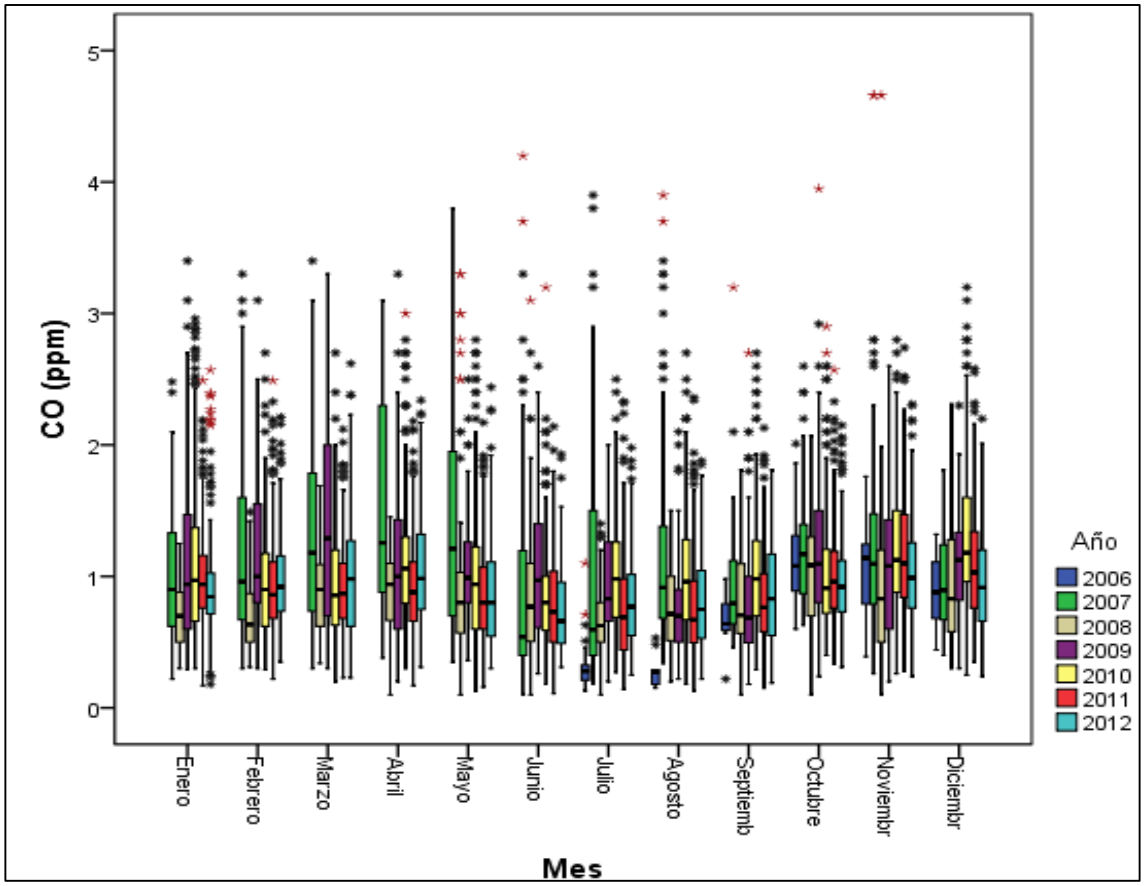


Figura 48. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por meses comparando año 2012 con años anteriores.

En la Figura 49 se presenta el comportamiento del contaminante CO por estaciones de la RMCAB. Se tienen en cuenta únicamente las estaciones que cuentan con representatividad. La estación que en 2012 registró los mayores niveles de este contaminante fue Carvajal, con 1,4 ppm como mediana; la que presentó menores concentraciones fue San Cristóbal con una mediana de 0,5 ppm. En comparación con lo registrado en 2011, todas las estaciones salvo Usaquén presentan medianas inferiores en 2012, y la mayor diferencia la registra Carvajal, que pasa de 1,58 ppm en 2011 a 1,36 ppm en 2012. En cuanto a la distribución de los datos, en las estaciones se presenta un 2012 un comportamiento muy similar al del 2011, en donde las estaciones con datos más dispersos son Carvajal y Usaquén, y las estaciones que presentan un mejor comportamiento de acuerdo a la dispersión, simetría y presencia de pocos datos atípicos son Puente Aranda y San Cristóbal.

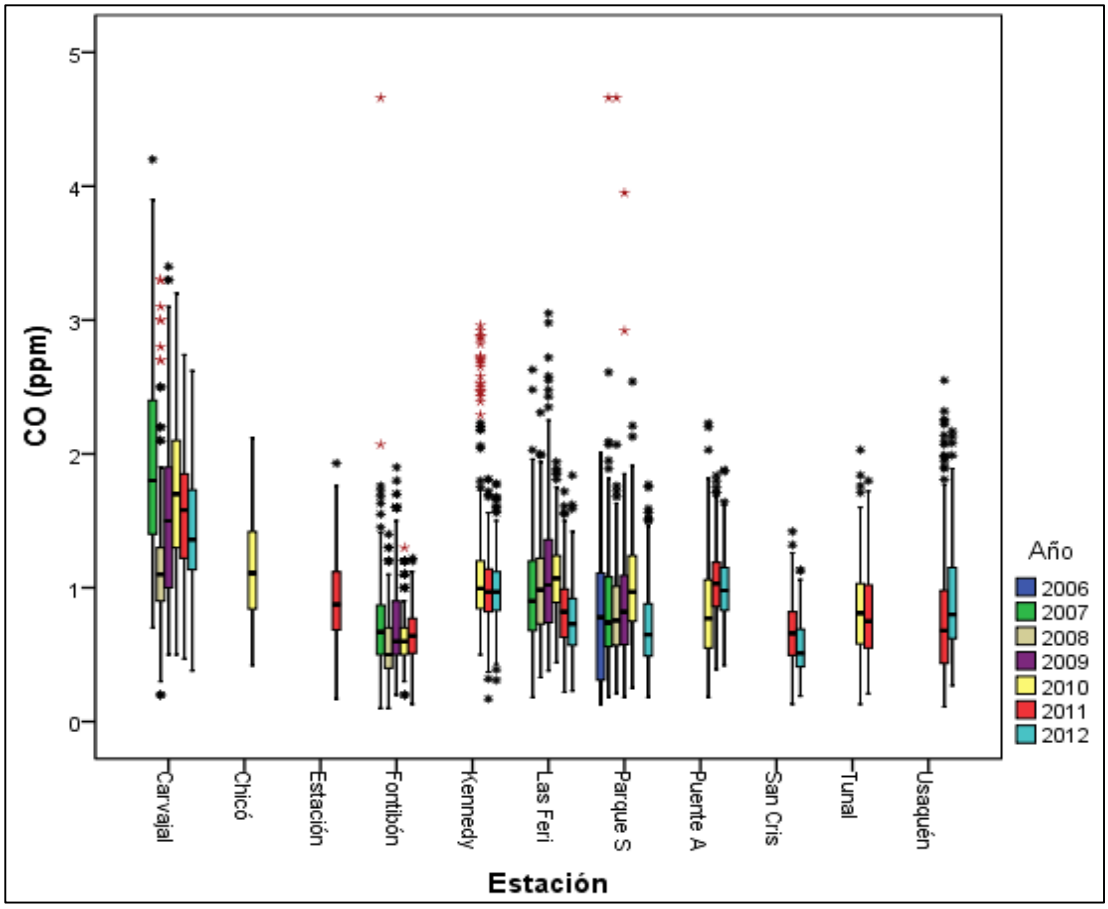


Figura 49. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por estaciones, comparando año 2012 con años anteriores.

El contaminante CO no presenta una tendencia definida a través de los años, puesto que se alterna su crecimiento y descenso como se muestra en la Figura 50. La media y mediana de los datos registrados en 2012 son las mismas que se presentaron en el 2011, con valores de 0,92 ppm como media y 0,86 ppm como mediana. En cuanto a la distribución de los datos en 2012, se observa una simetría en la caja, presencia de una cantidad significativa de datos atípicos, y no se presentan outliers extremos.

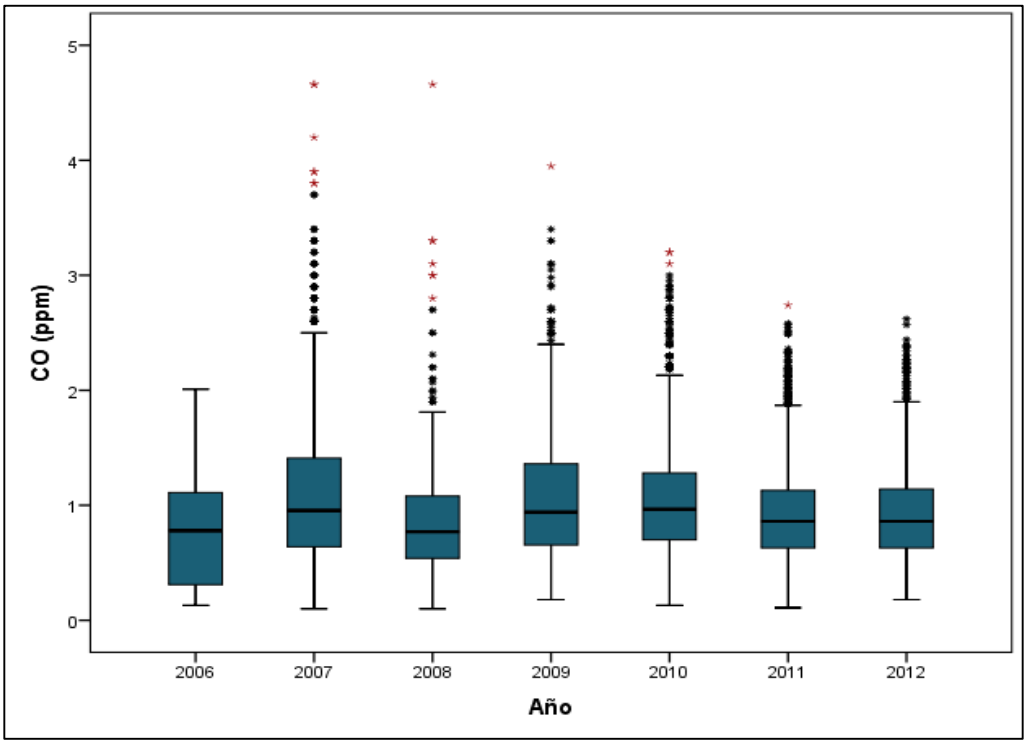


Figura 50. Gráfico de Box-Plot para CO 24 horas por años, desde 2006 hasta 2012.

3.2.4. COMPORTAMIENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE O_3

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear el ozono durante el 2012, ubicados según se reporta en la Tabla 1. En 2008 se instalaron siete (7) nuevos equipos en las estaciones No. 1 Usaquén (Bosque), No. 3 Carvajal (Sony), No. 5 Parque Simón Bolívar (IDRD), No. 8 Guaymaral (Escuela), No. 10 Chico Lago (Santo Tomás), No. 13 Puente Aranda y No. 14 Fontibón, por lo que respecto a estas estaciones no se cuentan con muchos datos históricos.

O_3 1 hora

Durante el 2012 se calcularon 83618 (ochenta y tres mil seiscientos dieciocho) promedios horarios de O_3, lo que representa un porcentaje de recuperación de los datos del 87%. Las medias y promedios máximos obtenidos en cada una de las estaciones se presentan en la Tabla 24, junto con el día y hora en que ocurrieron. A excepción de Carvajal, Puente Aranda y Tunal, todas las estaciones presentaron promedios por encima de la norma. El total de promedios horarios que exceden la norma (61 ppb) son 155, los que corresponden al 0,2% del total calculado. El número de datos que excedió la norma en 2012 disminuyó en comparación con el 2011, año en el que se presentaron 172 excedencias.

Tabla 24. Resumen de datos de O_3 por estación para el año 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral (Escuela)	91%	10,6	80,1	24/03/2012 14:00
Usaquén (Bosque)	91%	13,7	73,5	18/02/2012 13:00
Suba (Corpas)	96%	14,4	74,2	28/02/2012 14:00
Las Ferias (Carrefour)	89%	14,5	82,0	18/02/2012 12:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	94%	13,6	81,8	18/02/2012 12:00
Sagrado Corazón (MAVDT)	76%	16,1	97,9	16/02/2012 13:00
Fontibón	68%		65,6	10/10/2012 15:00
Puente Aranda	87%	8,9	59,3	10/10/2012 14:00
Carvajal (Sony)	89%	7,0	51,0	16/02/2012 12:00
Tunal	81%	9,9	52,7	25/01/2012 14:00
San Cristóbal	91%	11,8	62,6	10/10/2012 14:00

En la Tabla 24 se observa que el 18 de febrero de 2012 se presentan las máximas concentraciones de ozono en parte de la zona norte, noroccidente y centro de la ciudad, episodio registrado por las estaciones Usaquén, Las Ferias y Parque Simón Bolívar.

El día 16 de febrero de 2012 entre las 12 y las 13 horas se registra un máximo de concentración en las estaciones Carvajal y Parque Simón Bolívar (IDRD). En la zona sur y suroccidental se presentó un episodio de contaminación el 10 de octubre de 2012 entre las 14 y 15 horas, registrado por las estaciones Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal.

Es importante resaltar que los máximos de concentración de ozono en 2011 se presentaron principalmente en el mes de enero, mientras que en 2012 se registraron en febrero.

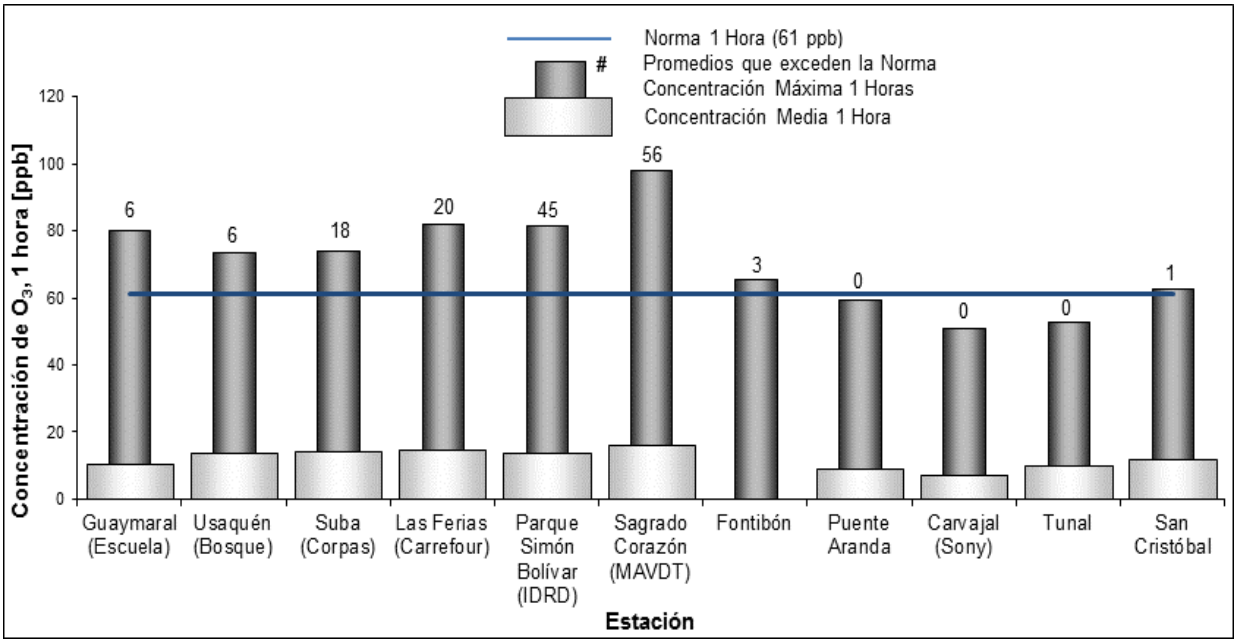


Figura 51. Concentración media y máxima horaria de O_3 por estación durante el 2012.

La concentración media horaria y el número de promedios que excedieron la norma en cada estación se presentan en la Figura 51. Se observa que el mayor promedio anual de acuerdo con los datos horarios se presenta en la estación Sagrado Corazón y el menor en la estación Carvajal.

En el 2012 los promedios del año (según datos horarios) fueron inferiores a los registrados en el 2011 en las estaciones Guaymaral. Usaquén y Carvajal, y superiores en las estaciones Suba, Las Ferias, Puente Aranda, Tunal y San Cristóbal.

O_3 8 horas

Se obtuvieron 82586 (ochenta y dos mil quinientos ochenta y seis) promedios octohorarios que representan el 85% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el año. 451 de los promedios estuvieron por encima de la norma (41 ppb Res. 601 2006), lo que corresponde al 0,55 % de los datos registrados en el año. Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrió el máximo se presentan en la Tabla 25. Es importante mencionar que el valor límite de la normatividad nacional es inferior al establecido por otros países y por la EPA.

El número de excedencias a la norma en el 2011 fue superior al obtenido en el 2012, con 561 datos que correspondieron al 0,67% de los datos del año.

Tabla 25. Periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O_3 para 8 horas durante el 2012.

ESTACIÓN	% de datos válidos	Promedio [ppb]	Promedio máximo [ppb]	Periodo de ocurrencia del Máximo	Excedencias Norma 601 (octo horario): 41 ppb
Guaymaral (Escuela)	91%	10,5	54,3	17/02/2012 18:00	18
Usaquén (Bosque)	90%	13,7	50,3	16/02/2012 17:00	15
Suba (Corpas)	96%	14,4	58,8	17/02/2012 18:00	90
Las Ferias (Carrefour)	87%	14,7	49,3	18/02/2012 17:00	55
Parque Simón Bolívar (IDRD)	93%	13,6	57,6	16/02/2012 17:00	93
Sagrado Corazón (MAVDT)	70%		67,1	16/02/2012 18:00	137
Fontibón	67%		46,8	23/02/2012 18:00	33
Puente Aranda	87%	9,0	39,7	16/02/2012 17:00	0
Carvajal (Sony)	89%	7,0	33,5	13/10/2012 16:00	0
Tunal	80%	9,9	42,8	11/02/2012 18:00	3
San Cristóbal	90%	11,8	46,7	13/09/2012 19:00	7

Como se aprecia, el mayor número de excedencias se concentran en el sector norte, noroccidental y central. En la estación de Sagrado Corazón se registraron el mayor número de excedencias con 137, seguido por Parque Simón Bolívar con 93, y Suba con 90. Las estaciones Puente Aranda y Carvajal no registraron valores que exceden la norma.

Se presentó un episodio de contaminación por O_3 en las estaciones Usaquén, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda y Sagrado Corazón.

En la Figura 52 se muestran las concentraciones máximas y medias de O3 8 horas, para cada una de las estaciones.

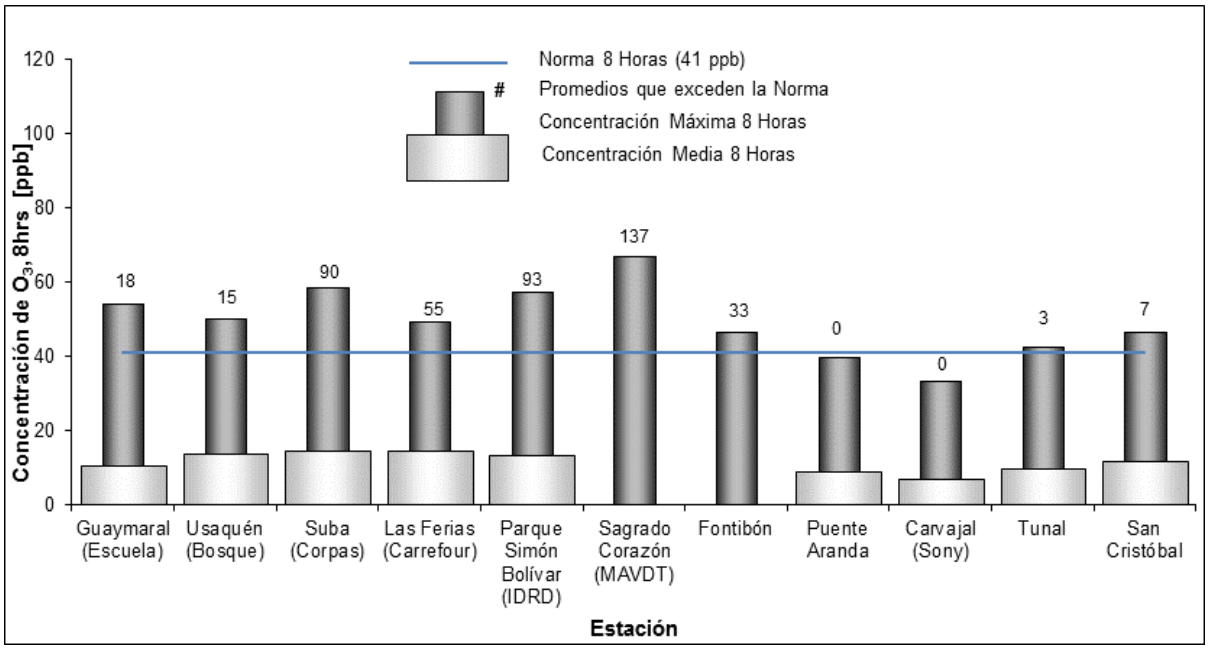


Figura 52. Concentración media y máxima de O_3 para 8 horas por estación durante el 2012.

En la Figura 53 y la Figura 54, se observa espacialmente como afecta este contaminante a la ciudad, se aprecia como las concentraciones altas del contaminante primordialmente se asocian a las estaciones de Sagrado Corazón, Parque Simón Bolívar, Suba, Guaymaral y Usaquén.

El episodio que se muestra en la primera Figura 53 bien puede configurarse sobre la estación Sagrado Corazón, Parque Simón Bolívar y Usaquén.

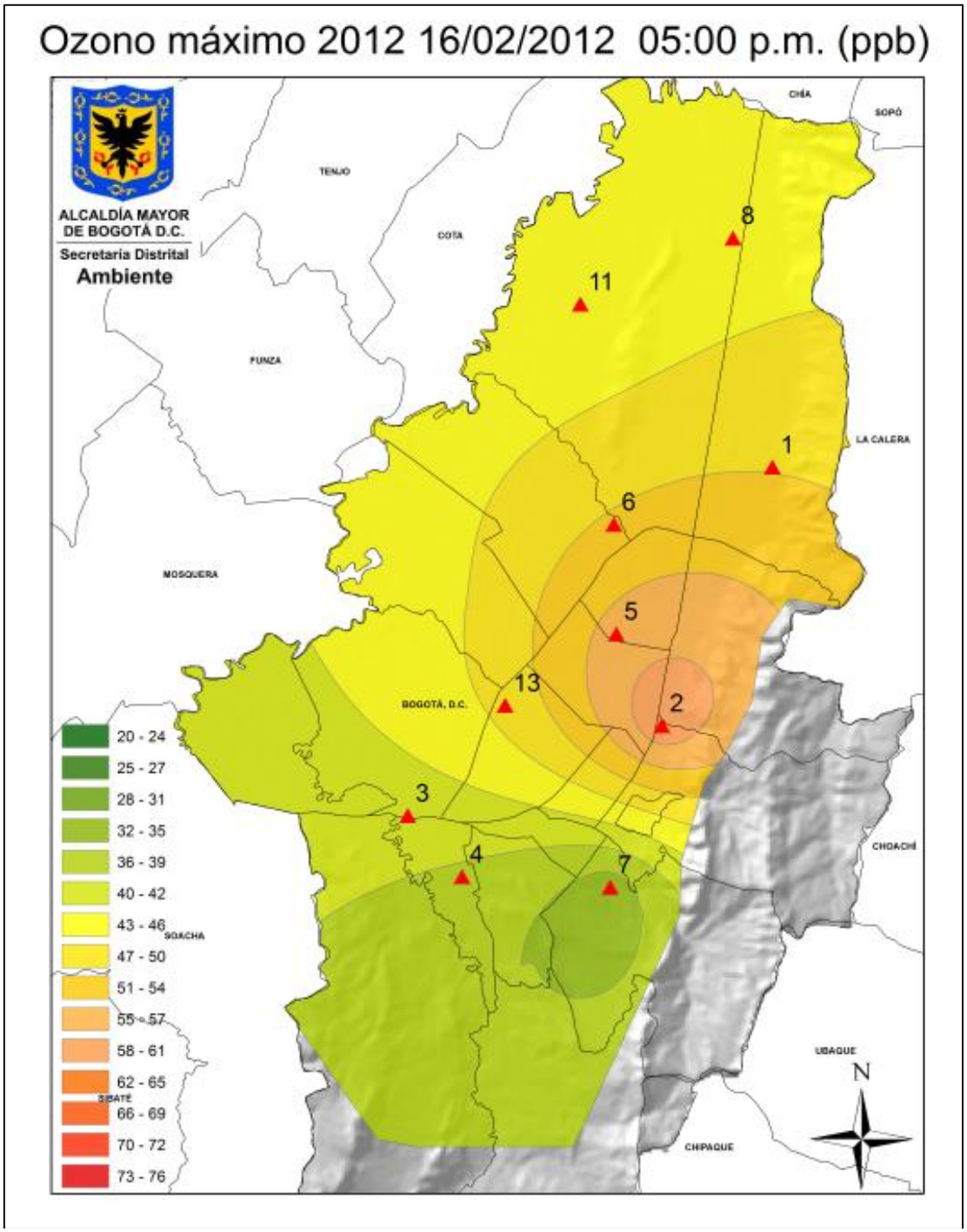


Figura 53. Episodio de contaminación de O_3, en ppb, promedio 8 horas, 2012.

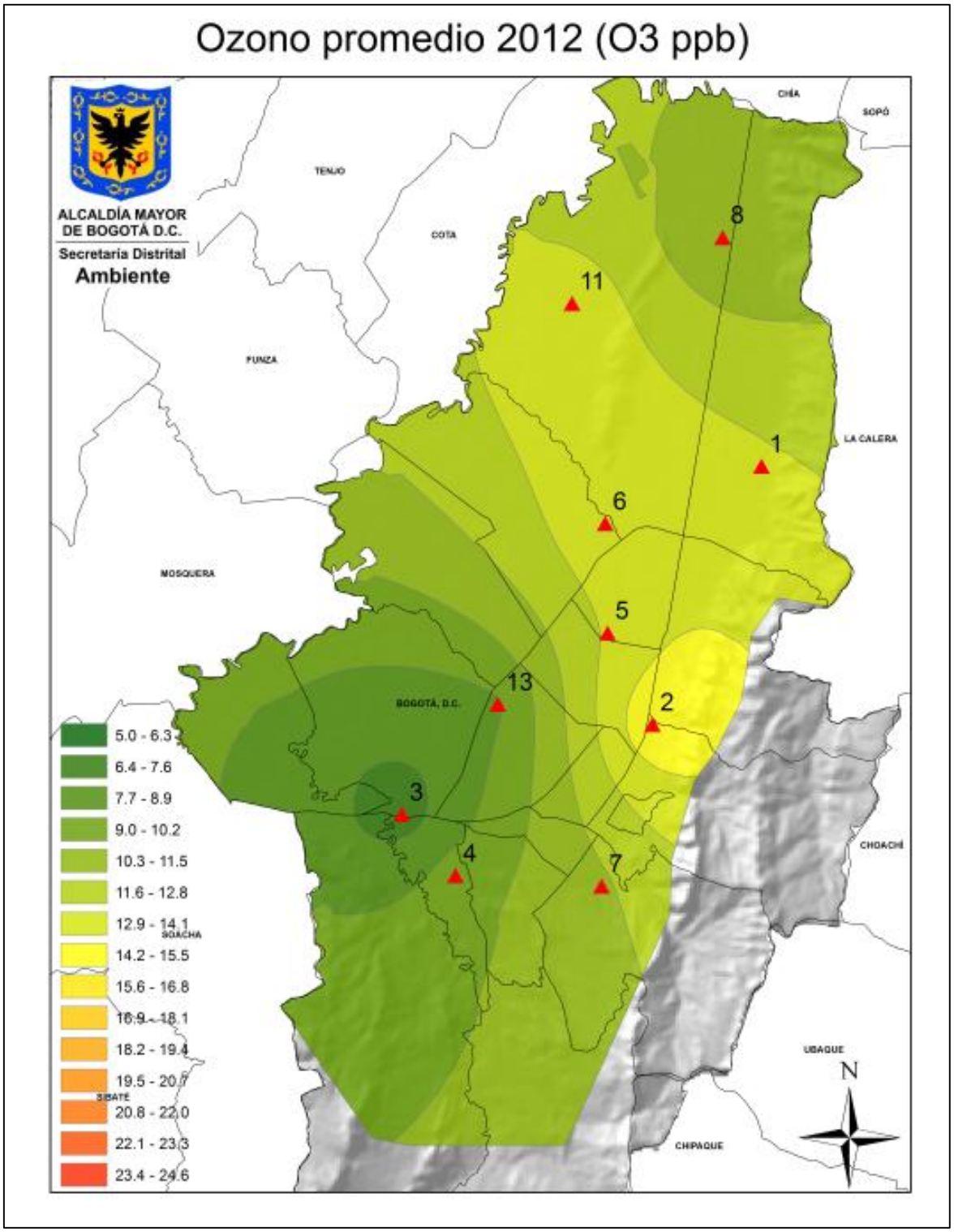


Figura 54. Concentración promedio de ozono en ppb, año 2012, basado en promedios diarios

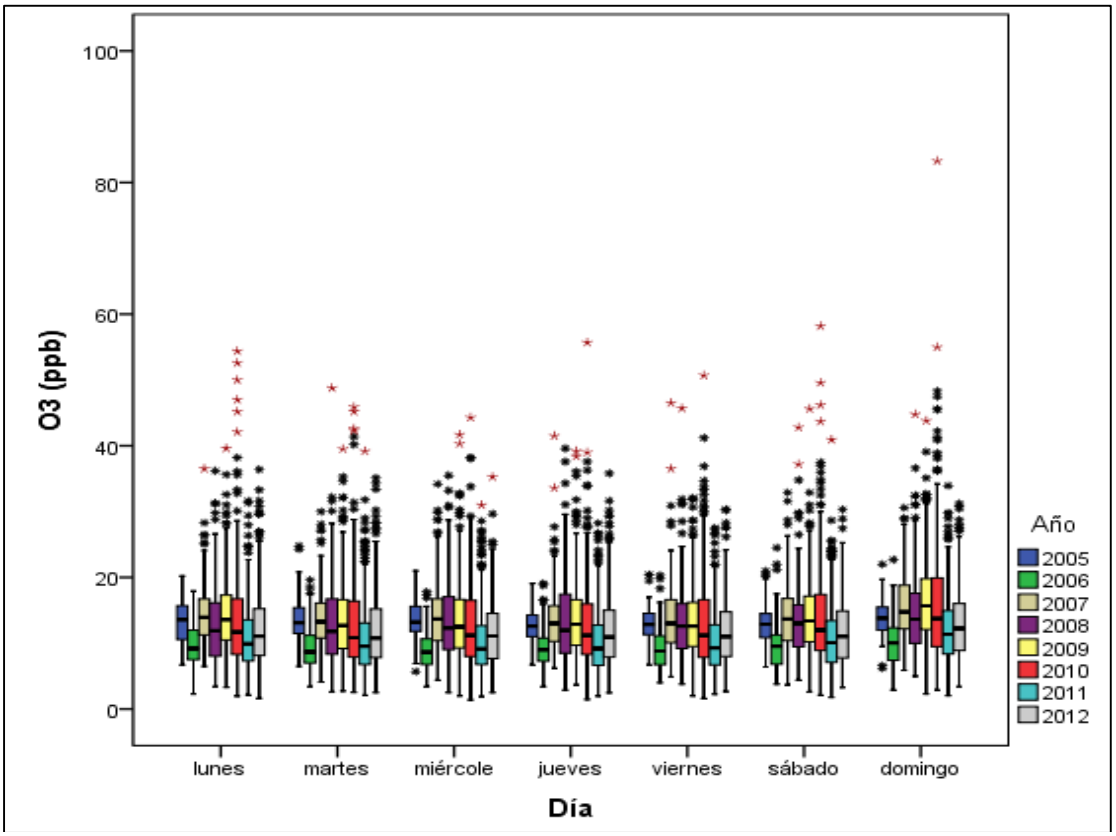


Figura 55. Gráfico de Box-Plot para O_3 24 horas por días de la semana, comparando 2012 con años anteriores.

En la Figura 55 se presenta el comportamiento del O_3 en los días de la semana. En el 2012, al igual que en los años anteriores el domingo es el día en el que se registran los mayores niveles de este contaminante, con una mediana de 12,26 ppb; el martes se presenta la menor mediana con 10,80 ppb. Para 2012 se observa una disminución de la mediana entre lunes y martes, siendo este día el punto de inflexión, y se presenta un aumento de jueves a domingo alcanzando su máximo.

En comparación con el año inmediatamente anterior, en 2012 las medianas aumentaron todos los días de la semana, al igual que los promedios. En cuanto a la distribución de los datos, para 2012 se observa simetría con respecto a la mediana en todos los días de la semana, y se presentan amplitudes entre el segundo y tercer cuartil ligeramente mayores a las que se presentaron en 2011. En 2012 se siguen presentando datos atípicos y outliers extremos.

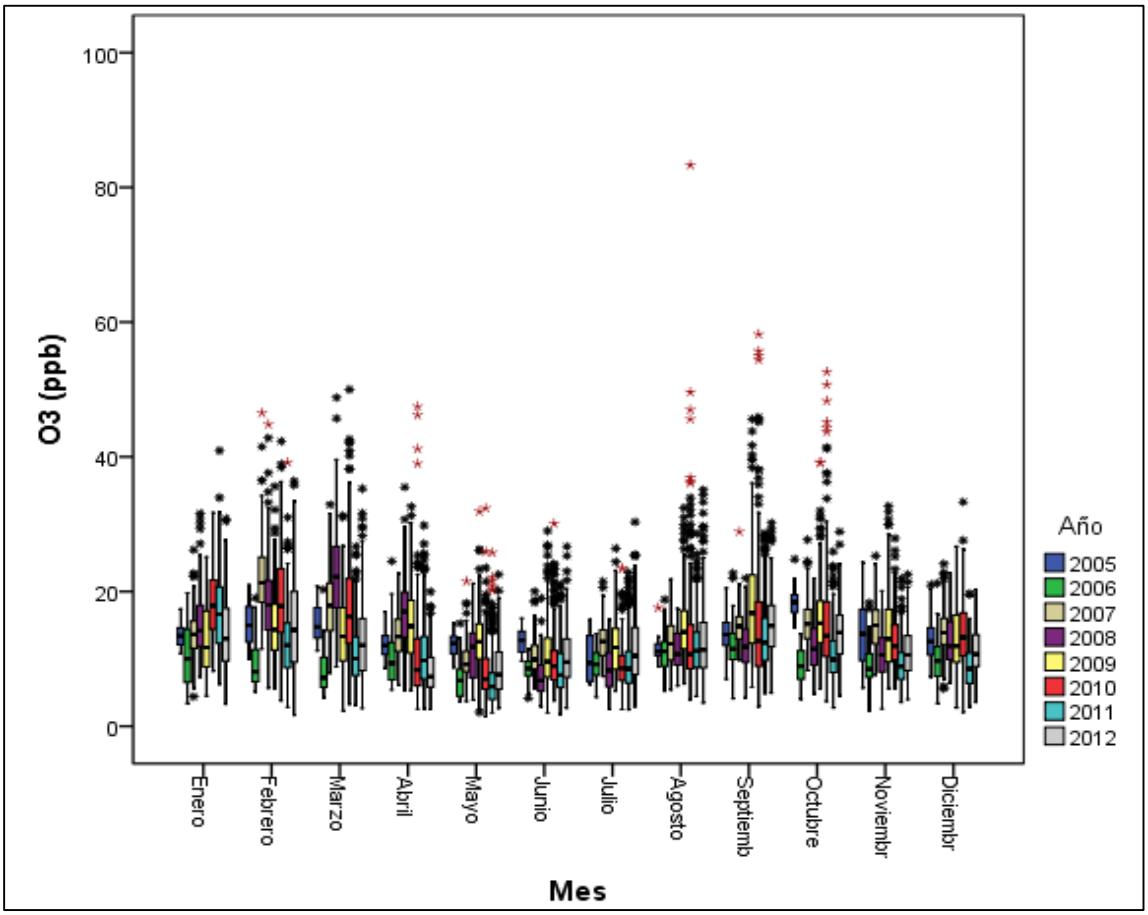


Figura 56. Gráfico de Box-Plot para O_3 promedio mensual (desde base diaria) comparando 2012 con años anteriores.

El ozono presenta el mismo comportamiento general de los otros contaminantes; se observa una forma sinusoidal con dos ondas, una por cada semestre (Figura 56). Los picos de concentración de este contaminante en el año corresponden a febrero y septiembre con medianas de 14,31 y 14,93 ppb respectivamente. Abril y mayo presentan las medianas más bajas con 7,38 y 7,69 ppb respectivamente. Se observa que para el 2012 el valor de la mediana disminuye de enero a abril, aumenta de mayo a octubre y vuelve a disminuir de octubre a noviembre. Con respecto al 2011, en la mayoría de los meses del 2012 se presenta un aumento de la mediana, exceptuando únicamente los meses de enero y abril. Con respecto a los datos atípicos, en el último año se presenta disminución tanto en datos atípicos como outliers extremos, esto comparado con lo registrado en años anteriores.

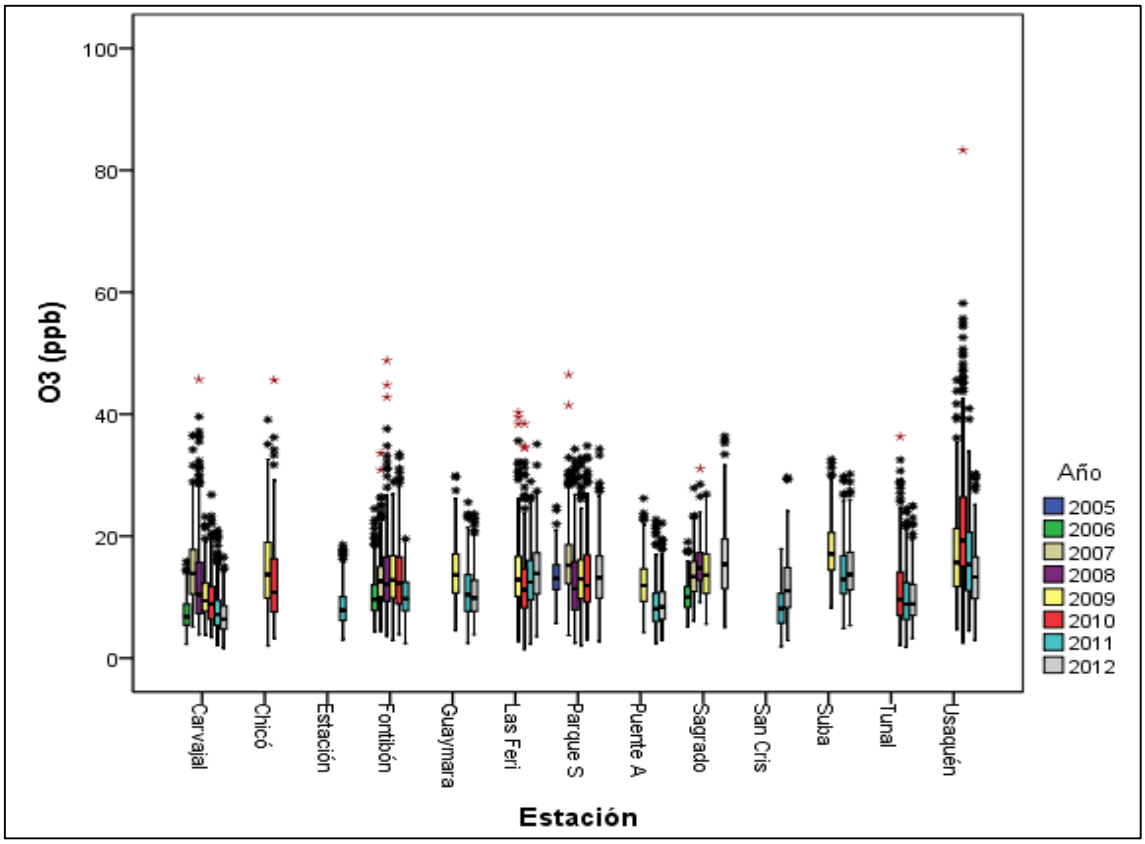


Figura 57. Gráfico de Box-Plot para O_3 promedios anuales (desde base diario) por estaciones comparando 2012 con años anteriores.

En la Figura 57 se observa que respecto al 2011, la mediana disminuye en las estaciones de Carvajal, Guaymaral y Usaquén, mientras que aumenta en las estaciones Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda, Sagrado Corazón, San Cristóbal, Suba y Tunal. Las estaciones Sagrado Corazón y Las Ferias en el último año muestran la mayor mediana, con 15.39 y 13,89 ppb respectivamente; la estación de menor concentración es Carvajal con 6.37 ppb como mediana. En cuanto a la dispersión, en 2012 no se observa un cambio significativo respecto al año anterior, se presenta simetría alrededor de la mediana en las distintas estaciones; se siguen presentando datos atípicos especialmente en la estación Tunal; en 2012 no se presentan outliers extremos.

El resumen del comportamiento del O3 se muestra en la Figura 58. Se observa el aumento de los niveles de este contaminante en comparación con lo registrado en 2011. Se observa para 2012 además la presencia de datos atípicos más altos que los registrados en el año inmediatamente anterior. Aunque en 2012 no se presentan outliers extremos, los datos sí se encuentran más dispersos y menos simétricos respecto a la mediana comparado con lo sucedido en 2011.

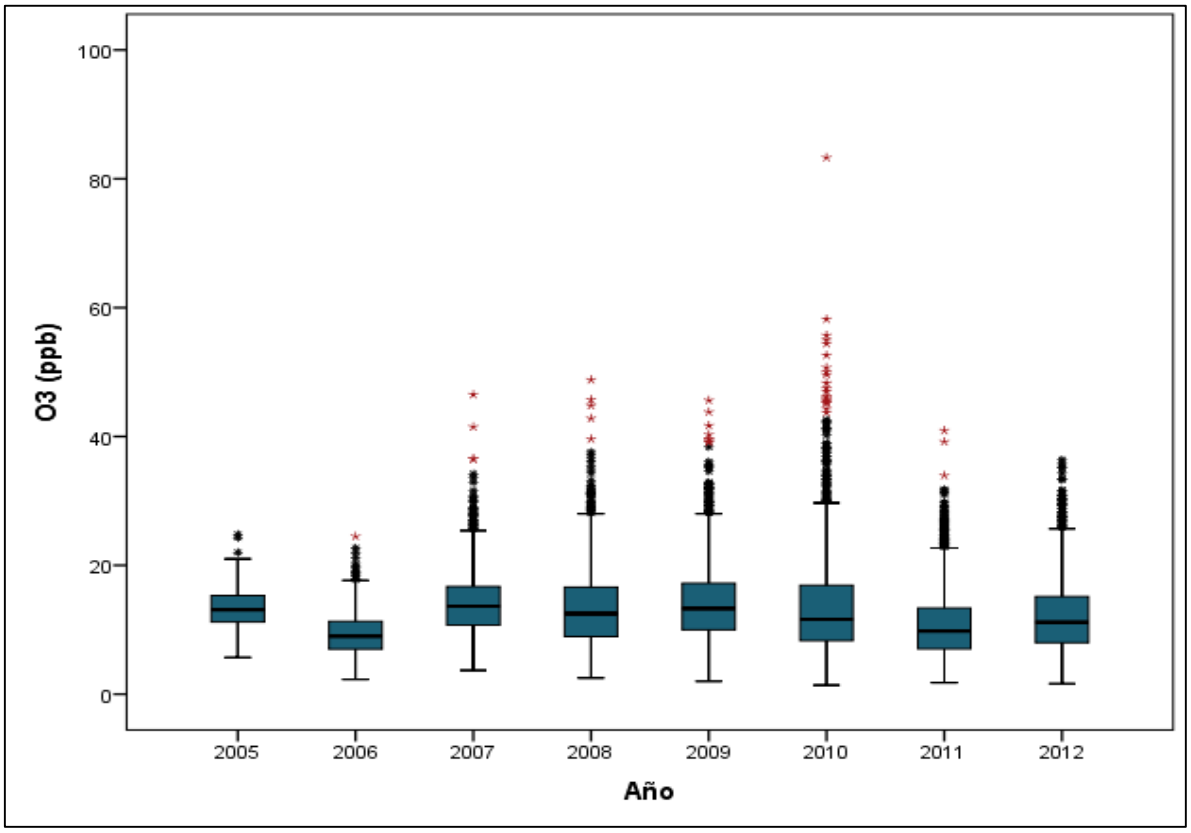


Figura 58. Gráfico de Box-Plot para O_3 promedio aritmético de las estaciones (desde base diaria).

3.3. SÍNTESIS DE RESULTADOS

En la Tabla 26 se resumen los resultados de los promedios de 24 horas para PM_{10}. En la primera columna se especifica la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre de cada estación y en la tercera columna se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el año de operación que se está reportando. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima y octava columna informan el número de promedios que están por encima del 50% y del 75% del valor de la norma respectivamente. En la novena columna se muestra el máximo promedio hallado y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma. Finalmente, en la última columna se presenta el valor promedio de las ponderaciones de PM_{10} para 24 horas durante el año.

En la Tabla 28 se muestra el resultado del análisis de los promedios 24h de PST. En la columna 9 se presenta el máximo promedio 24h de PST presentado en el año. En la columna 6 se presenta el porcentaje de datos que exceden la norma anual de PST; así mismo, en la columna 10 se presenta la relación entre el promedio 24h máximo y su correspondiente norma para cada estación y finalmente en la columna 4 se muestra la representatividad temporal del promedio anual de PST; para cada uno de los contaminantes se presentan tablas similares.

Tabla 26. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}), año 2012.

Información de los promedios 24 horas de concentración de PM_{10}, 2012 [Norma: 100 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Norte	Guaymaral (Escuela)	320	87%	0	0%	26	1	79	1,6	34
	Usaquén (Bosque)	311	85%	0	0%	52	8	94	1,9	36
	Subtotal	***631***	***86%***	***0***	***0%***	***78***	***9***	***87***		***35***
Noroccidente	Suba (Corpas)	290	79%	0	0%	156	8	84	1,7	53
	Las Ferias (Carrefour)	343	94%	1	0%	121	14	107	2,1	46
	Subtotal	***633***	***86%***	***1***	***0%***	***277***	***22***	***96***		***49***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	327	89%	0	0%	59	7	92	1,8	34
	Sagrado Corazón (MAVDT)	315	86%	1	0%	82	17	102	2,0	42
	Subtotal	***642***	***88%***	***1***	***0%***	***141***	***24***	***97***		***38***
Suroccidente	Fontibón	218	60%	2	1%	104	24	115	2,1	
	Puente Aranda	343	94%	1	0%	107	30	101	2,02	48
	Kennedy	321	88%	35	11%	154	96	152	3,0	71
	Carvajal (Sony)	335	92%	49	15%	180	116	133	2,7	76
	Subtotal	***1217***	***83%***	***87***	***7%***	***545***	***266***	***125***		***65***
Sur	Tunal	335	92%	3	0,9%	106	30	129	2,6	47
	San Cristóbal	321	88%	0	0,0%	62	6	88	1,8	36
	Subtotal	***656***	***90%***	***3***	***0%***	***168***	***36***	***109***		***41***
TOTALES		**3779**	**87%**	**92**	**2,4%**	**1209**	**357**			

Tabla 27. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2012.

Información de los promedios diarios de concentración de $PM_{2.5}$ [Norma: 50 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Kennedy	319	87%	13	4%	114	53	63	2,5	28
TOTALES		***319***	***87%***	***13***	***4%***	***114***	***53***			

Tabla 28. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST), año 2012.

Información de los registros de concentración de PST para un periodo de 24 horas [Norma: 300 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Carvajal (Sony)	274	75%	0	0,0%	66	2	234	0,78	123
TOTALES		**274**	**75%**	**0**	**0,0%**	**66**	**2**			

Tabla 29. Consolidado de los promedios anuales de partículas suspendidas totales (PST), año 2012.

Información de los promedios anuales de concentración de PST [Norma: 100 µg/m^3]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio [µg/m^3]**
Suroccidente	Carvajal (Sony)	366	100%	366	100%	0	0	142	1,4	130
TOTALES		**366**	**100%**	**366**	**100%**	**0**	**0**			

Tabla 30. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2012.

Información de los promedios trihorarios de concentración de SO_2 [Norma: 287 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Noroccidente	Suba (Corpas)	7542	86%	0	0%	0	0	25,0	0,09	1,9
	Las Ferias (Carrefour)	6530	74%	0	0%	0	0	11,1	0,04	1,5
	Subtotal	***14072***	***80%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***18,1***		***1,7***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	6689	76%	0	0%	0	0	21,5	0,07	2,3
	Subtotal	***6689***	***76%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***21,5***		***2,3***
Suroccidente	Fontibón	6212	71%	0	0%	0	0	31,1	0,11	1,8
	Puente Aranda	8503	97%	0	0%	0	0	16,6	0,06	2,1
	Kennedy	3763	43%	0	0%	0	0	43,3	0,15	
	Carvajal (Sony)	8188	93%	0	0%	0	0	39,4	0,14	7,3
	Subtotal	***26666***	***76%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***32,6***		***3,7***
Sur	Tunal	6479	74%	0	0%	0	0	24,4	0,09	2,1
	San Cristóbal	2822	32%	0	0%	0	0	24,3	0,08	
	Subtotal	***9301***	***53%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***24,4***		***2,1***
TOTALES		**53906**	**67%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 31. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2012.

Información de los promedios de concentración 24 horas de SO_2 [Norma: 96 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Noroccidente	Suba (Corpas)	321	88%	0	0%	0	0	8,3	0,09	1,9
	Las Ferias (Carrefour)	282	77%	0	0%	0	0	4,5	0,05	1,5
	Subtotal	***603***	***82%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6,4***		***1,7***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	292	80%	0	0%	0	0	8,2	0,09	2,3
	Subtotal	***292***	***80%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***8,2***		***2,3***
Suroccidente	Fontibón	276	75%	0	0%	0	0	9,9	0,10	1,9
	Puente Aranda	361	99%	0	0%	0	0	6,0	0,06	2,1
	Kennedy	160	44%	0	0%	0	0	14,8	0,15	
	Carvajal (Sony)	354	97%	0	0%	0	0	18,0	0,19	7,3
	Subtotal	***1151***	***79%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***12,2***		***3,8***
Sur	Tunal	269	73%	0	0%	0	0	8,2	0,09	1,9
	San Cristóbal	115	31%	0	0%	0	0	9,4	0,10	
	Subtotal	***384***	***52%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***8,8***		
TOTALES		**2430**	**73%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 32. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2012.

Información de los promedios horarios de concentración de NO_2 [Norma: 106 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	4418	50,3%	0	0	3	0	55,4	0,5	
	Subtotal	***4418***	***50,3%***	***0***	***0%***	***3***	***0***	***55,4***		
Noroccidente	Suba (Corpas)	6994	79,6%	0	0%	0	0	51,1	0,5	12,4
	Las Ferias (Carrefour)	5961	67,9%	0	0%	58	2	87,8	0,8	
	Subtotal	***12955***	***73,7%***	***0***	***0%***	***58***	***2***	***69,5***		***12,4***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	7479	85,1%	0	0	3	0	63,3	0,6	13,1
	Subtotal	***7479***	***85,1%***	***0***	***0%***	***3***	***0***	***63,3***		***13,1***
Suroccidente	Puente Aranda	564	6,4%	0	0	4	0	69,4	0,7	
	Kennedy	8074	91,9%	0	0%	15	0	59,3	0,6	20,0
	Carvajal (Sony)	4490	51,1%	0	0	18	0	21,7	0,2	
	Subtotal	***13128***	***49,8%***	***0***	***0%***	***37***	***0***	***50,1***		***20,0***
Sur	Tunal	6717	76,5%	0	0%	25	0	72,9	0,7	16,5
	Subtotal	***6717***	***76,5%***	***0***	***0%***	***25***	***0***	***72,9***		***16,5***
TOTALES		**44697**	**67%**	**0**	**0%**	**126**	**2**			

Tabla 33. Consolidado de los promedios de NO_2 para 24 horas, año 2012.

Información de los promedios 24 horas de concentración de NO_2 [Norma: 80 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	167	46%	0	0%	0	0	27,1	0,3	
	Subtotal	***167***	***46%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***27,1***		
Noroccidente	Suba (Corpas)	292	80%	0	0%	0	0	25,4	0,3	12,3
	Las Ferias (Carrefour)	253	69%	0	0%	2	0	41,0	0,5	
	Subtotal	***545***	***74%***	***0***	***0%***	***2***	***0***	***33,2***		***12,3***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	310	85%	0	0%	0	0	28,9	0,4	13,1
	Subtotal	***310***	***85%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***28,9***		***13,1***
Suroccidente	Puente Aranda	24	7%	0	0%	0	0	33,6	0,4	
	Kennedy	344	94%	0	0%	0	0	32,2	0,4	20,0
	Carvajal (Sony)	186	51%	0	0%	1	0	41,0	0,5	
	Subtotal	***554***	***50%***	***0***	***0%***	***1***	***0***	***35,6***		***20,0***
Sur	Tunal	282	77%	0	0%	0	0	34,4	0,4	16,4
	Subtotal	***282***	***77%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***34,4***		***16,4***
TOTALES		**1858**	**66%**	**0**	**0%**	**3**	**0**			

Tabla 34. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2012.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 35 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Usaquén (Bosque)	7872	90%	0	0%	0	0	5,2	0,1	0,92
	Subtotal	***7872***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5,2***		***0,92***
Noroccidente	Las Ferias (Carrefour)	7943	90%	0	0%	0	0	4,7	0,1	0,76
	Subtotal	***7943***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,7***		***0,76***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	8195	93%	0	0%	0	0	4,3	0,1	0,71
	Subtotal	***8195***	***93%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,3***		***0,71***
Suroccidente	Fontibón	4376	50%	0	0%	0	0	2,9	0,1	
	Puente Aranda	8625	98%	0	0%	0	0	4,9	0,1	1,01
	Kennedy	8039	92%	0	0%	0	0	3,9	0,1	0,99
	Carvajal (Sony)	8452	96%	0	0%	0	0	6,1	0,2	1,43
	Subtotal	***29492***	***84%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,5***		***1,14***
Sur	Tunal	6075	69%	0	0%	0	0	5,0	0,1	
	San Cristóbal	7634	87%	0	0%	0	0	3,3	0,1	0,55
	Subtotal	***13709***	***78%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4,1***		***0,55***
TOTALES		**67211**	**87%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 35. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2012.

Información de los promedios octohorarios de concentración de CO [Norma: 8,8 ppm]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Usaquén (Bosque)	7791	89%	0	0%	0	0	3,0	0,3	7791
	Subtotal	***7791***	***89%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3,0***		***7791***
Noroccidente	Las Ferias (Carrefour)	7879	90%	0	0%	0	0	3,1	0,4	7879
	Subtotal	***7879***	***90%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3,1***		***7879***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	8096	92%	0	0%	0	0	2,8	0,3	8096
	Subtotal	***8096***	***92%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,8***		***8096***
Suroccidente	Fontibón	4187	48%	0	0%	0	0	1,7	0,2	4187
	Puente Aranda	8588	98%	0	0%	0	0	2,9	0,3	8588
	Kennedy	7998	91%	0	0%	0	0	2,7	0,3	7998
	Carvajal (Sony)	8365	95%	0	0%	0	0	3,9	0,4	8365
	Subtotal	***29138***	***83%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,8***		***29138***
Sur	Tunal	5977	68%	0	0%	0	0	3,0	0,3	5977
	San Cristóbal	7592	86%	0	0%	0	0	1,8	0,2	7592
	Subtotal	***13569***	***77%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***2,4***		***13569***
TOTALES		**66473**	**86%**	**0**	**0%**	**0**	**0**			

Tabla 36. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2012.

Información de los promedios horarios de concentración de O_3 [Norma: 61 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	7997	91%	6	0,1%	274	59	80,1	1,3	10,6
	Usaquén (Bosque)	7977	91%	6	0,1%	239	34	73,5	1,2	13,7
	Subtotal	***15974***	***91%***	***12***	***0,1%***	***513***	***93***	***76,8***		***12,1***
Noroccidente	Suba (Corpas)	8406	96%	18	0,2%	636	106	74,2	1,2	14,4
	Las Ferias (Carrefour)	7781	89%	20	0,3%	554	106	82,0	1,3	14,5
	Subtotal	***16187***	***92%***	***38***	***0,24%***	***1190***	***212***	***78,1***		***14,5***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	8238	94%	45	0,5%	591	115	81,8	1,3	13,6
	Sagrado Corazón (MAVDT)	6650	76%	56	0,8%	529	107	97,9	1,6	16,1
	Subtotal	***14888***	***85%***	***101***	***0,7%***	***1120***	***222***	***89,9***		***14,8***
Suroccidente	Fontibón	6011	68%	3	0,0%	235	64	65,6	1,1	
	Puente Aranda	7648	87%	0	0,0%	155	25	59,3	1,0	8,9
	Carvajal (Sony)	7843	89%	0	0,0%	105	6	51,0	0,8	7,0
	Subtotal	***21502***	***82%***	***3***	***0,0%***	***495***	***95***	***58,6***		***8,0***
Sur	Tunal	7117	81%	0	0,0%	140	10	52,7	0,9	9,9
	San Cristóbal	7950	91%	1	0,0%	168	24	62,6	1,0	11,8
	Subtotal	***15067***	***86%***	***1***	***0,0%***	***308***	***34***	***57,7***		***10,8***
TOTALES		**83618**	**87%**	**155**	**0,2%**	**3626**	**656**	**72,2**		

Tabla 37. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2012.

Información de los promedios octohorarios de concentración de O_3 [Norma: 41 ppb]										
Zona	**Número y nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 74,9% norma**	**No. datos entre el 75% y el 99,9% de la norma**	**Promedio Máximo**	**Max/Norma**	**Promedio**
Norte	Guaymaral (Escuela)	8007	91%	18	0,2%	657	130	54,3	1,3	10,5
	Usaquén (Bosque)	7948	90%	15	0,2%	1011	166	50,3	1,2	13,7
	Subtotal	***15955***	***91%***	***33***	***0,2%***	***1668***	***296***	***52,3***		***12,1***
Noroccidente	Suba (Corpas)	8395	96%	90	1,1%	1513	364	58,8	1,4	14,4
	Las Ferias (Carrefour)	7601	87%	55	0,7%	1410	311	49,3	1,2	14,7
	Subtotal	***15996***	***91%***	***145***	***0,90%***	***2923***	***675***	***54,1***		***14,6***
Centro	Parque Simón Bolívar (IDRD)	8213	93%	93	1,1%	1344	360	57,6	1,4	13,6
	Sagrado Corazón (MAVDT)	6109	70%	137	2,2%	1180	339	67,1	1,6	
	Subtotal	***14322***	***82%***	***230***	***1,7%***	***2524***	***699***	***62,4***		***13,6***
Suroccidente	Fontibón	5883	67%	33	0,6%	502	157	46,8	1,1	
	Puente Aranda	7649	87%	0	0,0%	326	59	39,7	1,0	9,0
	Carvajal (Sony)	7845	89%	0	0,0%	203	14	33,5	0,8	7,0
	Subtotal	***21377***	***81%***	***33***	***0,2%***	***1031***	***230***	***40,0***		***8,0***
Sur	Tunal	7036	80%	3	0,0%	484	40	42,8	1,0	9,9
	San Cristóbal	7900	90%	7	0,1%	648	81	46,7	1,1	11,8
	Subtotal	***14936***	***85%***	***10***	***0,1%***	***1132***	***121***	***44,8***		***10,9***
TOTALES		**82586**	**86%**	**451**	**0,5%**	**9278**	**2021**	**50,7**		

4. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE

El presente capítulo presenta la determinación del Índice de Calidad del Aire ICA, para los contaminantes criterio (PM_{10}, O_3, CO, SO2 y NO_2). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 que representa qué tan limpio o contaminado es el aire que respiramos y qué efectos perjudícales podría tener en la salud pública.

La metodología de cálculo es la definida por la EPA, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para Grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo como lo muestra la tabla 26.

Tabla 38. Puntos de corte del ICA según la EPA

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h µg/m³	$PM_{2.5}$ 24h µg/m³	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, MAVDT, Octubre 2010.

(1) Para O3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (w301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.
(4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse debido a que los contaminantes alcanzan niveles no saludables.

4.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM_{10}

El material particulado menor a 10 micras es uno de los contaminantes de mayor interés por su composición y tamaño de partícula. Éstas características representan un mayor riesgo en la salud pública y ha sido relacionado con enfermedades y muertes por enfermedades cardiacas y pulmonares.

En la siguiente figura se observa el valor del ICA correspondiente al año 2012, obtenido a partir del promedio de los datos diarios (24h) de PM_{10} con relación a los puntos de corte del contaminante establecidos por la EPA (Tabla 1) para las estaciones de Carvajal, Fontibón, Guyamaral. Kennedy, Las Ferias, Parque Simón Bolívar,Puente Aranda, Sagrado Corazón, San Cristóbal, Suba, Tunal y Usaquén.

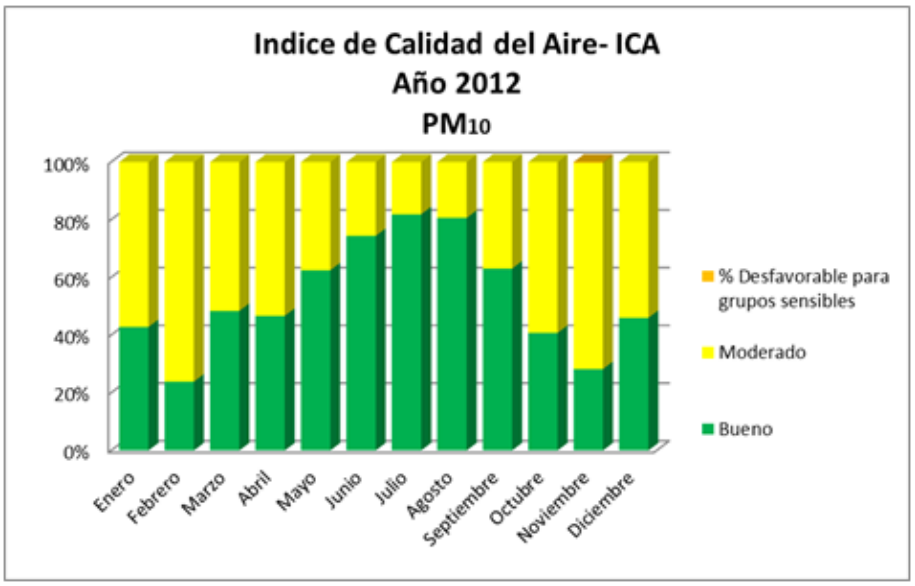


Figura 59. ICA para PM10 año 2012, porcentaje mensual por categoría.

Los resultados obtenidos en el valor del índice de Calidad del Aire ICA, como se observa en la figura 59, presentaron dos categorías. La primera de ellas ubicada entre los valores de 0 y 50 que corresponde a la clasificación de “Bueno”, lo cual significa que no existió complicación alguna en la salud de la población. Esta categoría representó un máximo valor de 81.9% para el mes de Julio y un mínimo valor para el mes de febrero de 23,9%.

La segunda categoría corresponde a “Moderado”, clasificación dada entre los valores de 51 y 100 y que representa posibles complicaciones en la salud para personas sensibles, por lo tanto se debe considerar reducir el esfuerzo prolongado o pesado. Los resultados para el 2012 en esta clasificación fueron de 76.1% para el mes de febrero, mes que presentó el porcentaje de índices de categoría bueno más bajo del año. Estos resultados se relacionan con el comportamiento de la concentración mensual de PM_{10} en los meses de febrero (63.5ug/m^3) y julio (31.6ug/m^3), periodos donde se presentó la concentración máxima y mínima de material particulado.

A continuación se presenta la relación porcentual del índice para el año 2011 y 2012:

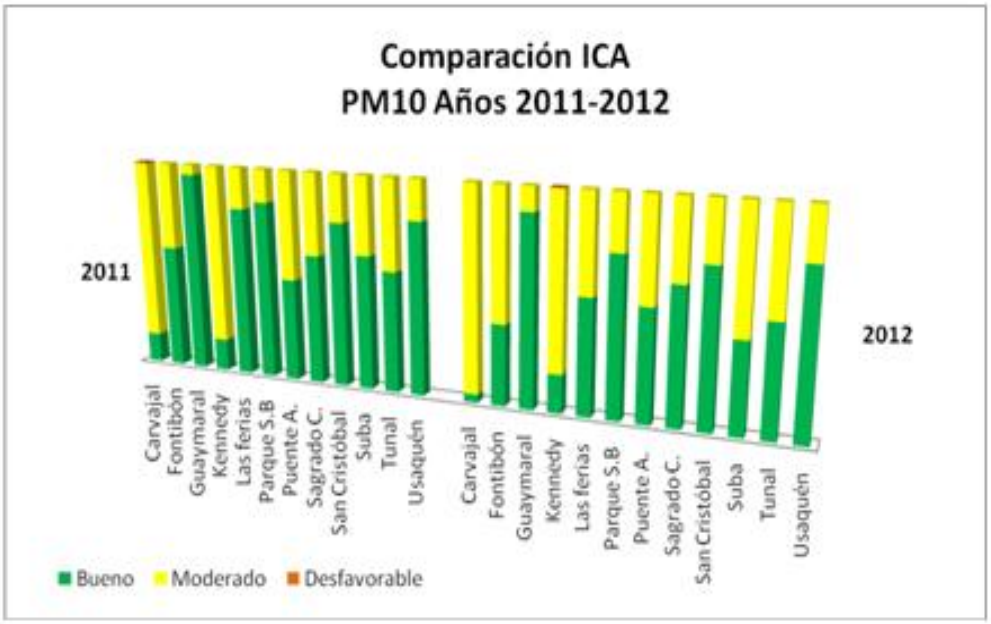


Figura 60. Comparación del ICA para PM10 años 2011 – 2012.

En la figura anterior se realiza un paralelo entre el comportamiento del ICA durante el año 2011 y 2012, presentando un aumento porcentual de valores del ICA en la categoría de Bueno en las estaciones de Kennedy, Puente Aranda y Sagrado Corazón.

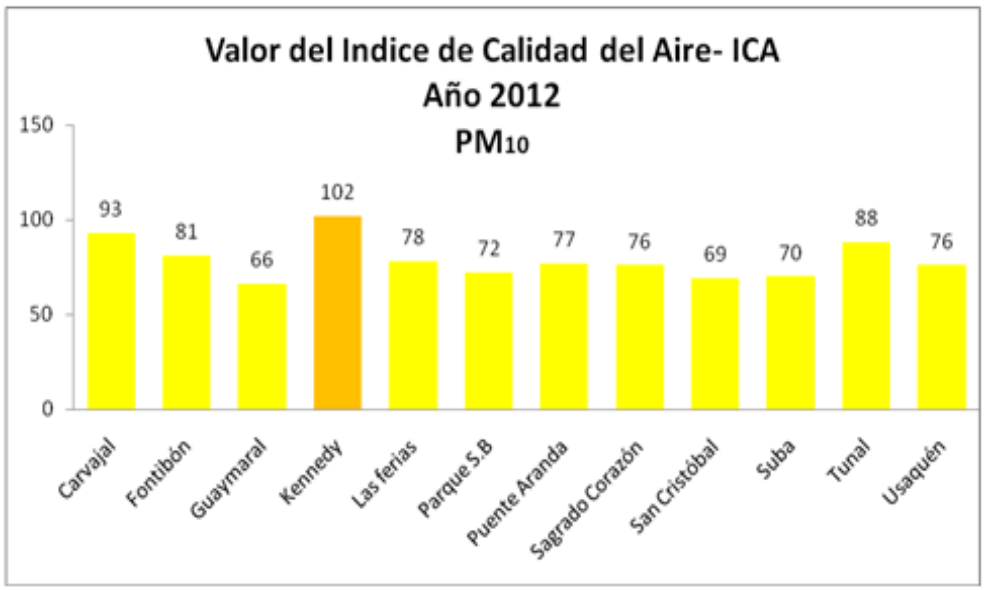


Figura 61. ICA para PM_{10} por estación, año 2012

En la figura 61 se presenta el valor del ICA, que de acuerdo a la metodología definida por la EPA debe ser reportado el valor mayor obtenido del cálculo; por lo tanto, el índice registrado por la estación de Kennedy (102), corresponde al valor reportado del ICA para PM10 en el año 2012, el cual pertenece a la categoría de "Desfavorable para grupos sensibles"

4.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) DIÓXIDO DE NITRÓGENO NO_2

La Figura 62 presenta la distribución porcentual mensual del contaminante, encontrando dos de las cuatro categorías definidas por la EPA. Las categorías de "Bueno" y "Moderado" registradas durante al año 2012, dentro de la metodología EPA no representan afectación alguna pues el índice está determinado para reporte en el intervalo entre 151 – 200. (Ver Tabla 26).

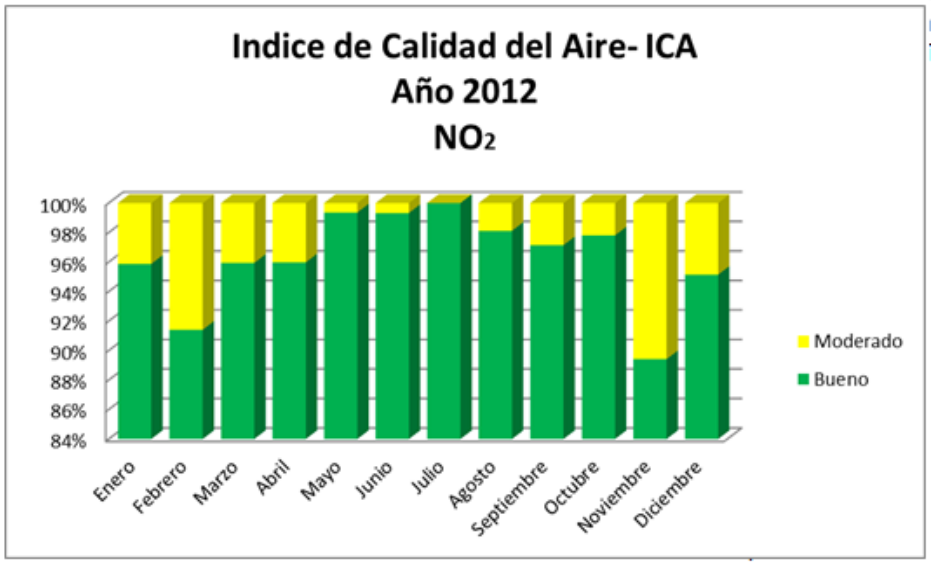


Figura 62. ICA para NO_2 año 2012, porcentaje mensual por categoría.

A continuación se presenta la relación entre el primer semestre del año anterior y el primer trimestre del presente año:

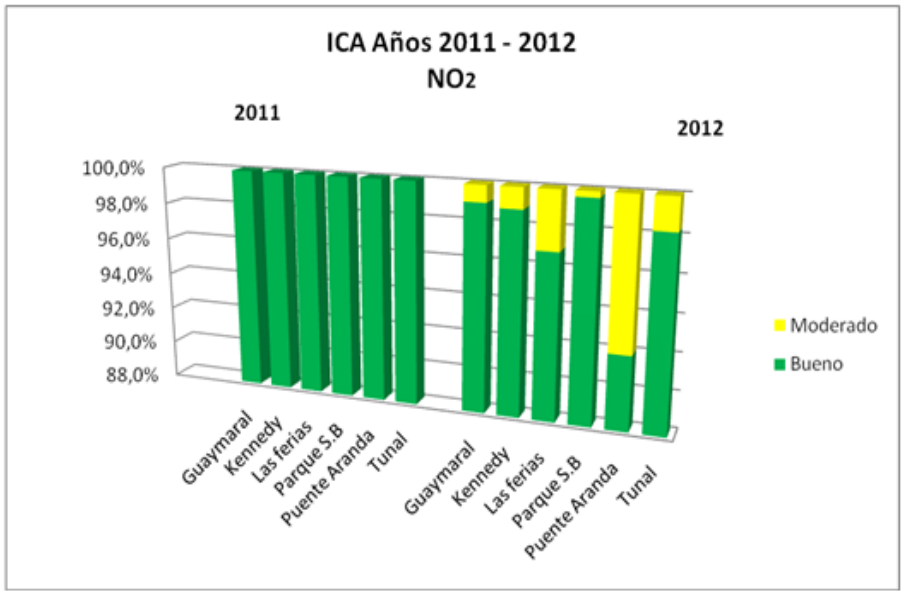


Figura 63. Comparación del ICA para NO_2, Años 2011 – 2012

En la figura anterior se realiza un paralelo entre el los valores reportados del ICA en los años 2011 y 2012, encontrando que durante el año 2011 sólo se registraron valores del ICA correspondientes a la categoría de "Bueno", mientras que para el año 2012 las estaciones de Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda y Tunal presentaron concentraciones superiores que las de 2011 lo que representó un cambio en la categoría.

4.3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA OZONO (O_3), MONÓXIDO DE CARBONO (CO) Y DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2)

De acuerdo a los datos monitoreados por la RMCAB, el ozono O_3;parámetro que después del material particulado presenta el mayor número de excedencias en la norma de calidad del aire, para el año 2012 presentó la categoría de bueno, manteniéndose dentro el rango establecido por la EPA entre 0 y 59 ppb promedio 8 horas.

El monóxido de carbono (CO), registró la categoría de "Bueno" teniendo en cuenta que en las estaciones de Carvajal, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda, San Cristóbal, Tunal y Usaquén no se presentaron concentraciones que superaran los puntos de corte dados por la EPA entre 0 y 4.4 ppm asignados a la categoría de "Bueno".

Para el caso del SO2 (24hs), donde se realizó el cálculo con base en los registros de las estaciones de Carvajal, Fontibón, Las Ferias, Kennedy, Parque Simón Bolívar, Kennedy, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba y Tunal, se mantuvo la categoría "Bueno" pues

durante el año 2012 no fueron superados los puntos de corte asignados para esta categoría entre 0 y 34 ppb para promedios 24 horas.

5. METEOROLOGÍA

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2012. Tal y como aparece registrado en la Tabla 39, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Tabla 39. Estaciones de la RMCAB y variables meteorológicas monitoreadas en cada una de ellas. Fuente RMCAB

ESTACION	VARIABLES METEOROLÓGICAS					
	PRECIPITACIÓN	VEL. Y DIR. DEL VIENTO	TEMPERATURA	RADIACION	HUMEDAD RELATIVA	PRESION
No. 1 Usaquén (Bosque)	X	X	X			
No. 3 Carvajal (Sony)	X	X	X			
No. 2 Sagrado Corazón (MAVDT)	X					
No. 4 Tunal	X	X		X	X	
No. 5 Parque Simón Bolívar (I.D.R.D)	X	X	X	X	X	
No. 6 Las Ferias (Carrefour)	X	X	X		X	X
No. 7 San Cristóbal	X	X	X			
No. 8 Guaymaral (Escuela)	X	X	X	X	X	X
No. 9 Kennedy		X	X	X	X	X
No. 11 Suba (Corpas)	X	X				
No. 13 Puente Aranda	X	X	X			
No. 14 Fontibón	X	X	X			X

Generalidades climatológicas de Bogotá:

Bogotá se encuentra ubicada en la Región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad y sus lluvias son generadas especialmente por un tipo de circulación Valle – Montaña que se caracteriza por vientos ascendentes

durante el día y descendentes durante la noche. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas[10].

5.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro, conformado de partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo. Existen varios tipos de precipitación dependiendo de la cantidad o forma en que caen las partículas, el diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, (1 mm de precipitación es la lámina que alcanzaría un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado, sin que se evapore o percole), y caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. Dependiendo del tamaño de las gotas que lleguen al suelo y de cómo caigan existen distintos tipos de precipitación líquida: llovizna (gotas pequeñas que caen uniformemente), chubasco (gotas de mayor tamaño y que caen de forma violenta e intensa), etc.

Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá desde el punto de vista horario y mensual se resumen en la Figura 64, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde y primeras horas de la noche.

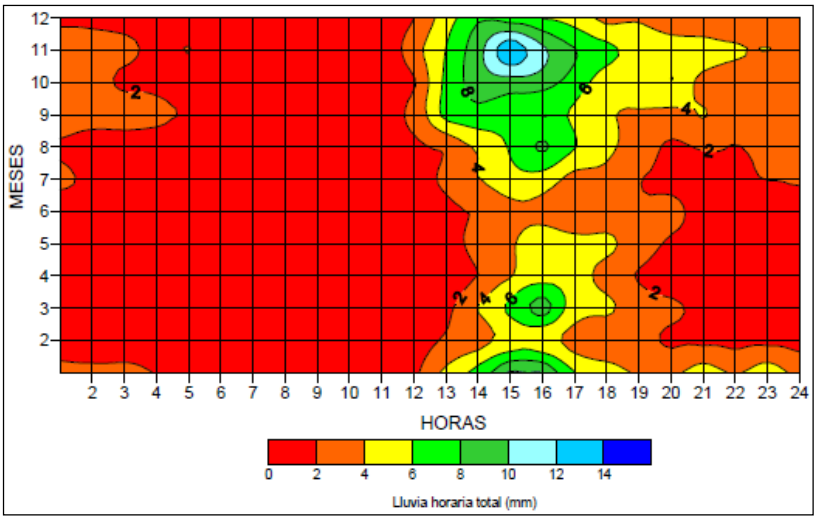


Figura 64. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá.
Fuente: IDEAM

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur) el cual consiste en un sistema acoplado océano – atmosférico de anomalías en variables

[10] *La precipitación en Colombia. Hurtado 1998*

tales como la temperatura superficial del mar (TSM) y la presión atmosférica, entre otros. Dentro de este fenómeno de variabilidad climática se presentan tres comportamientos asociados a la TSM, correspondientes a El Niño, La Niña y condiciones neutrales los cuales representan calentamiento, enfriamiento y condiciones normales de las aguas del Pacífico respectivamente. Durante 2012 se presentó fase fría durante los primeros meses para luego consolidarse la temporada neutral, según informes de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un máximo de 0.6°C en el promedio del trimestre SON (septiembre octubre y noviembre) y un mínimo de -0.9 en DEF (diciembre enero febrero). La Figura 65 representa las condiciones históricas de este fenómeno; según datos de The International Research Institute for Climate and Society (IRI) 2, así como la información descrita por la Figura 66 tomada de la Centro de predicción climática (CPC por sus siglas en inglés) de la NOAA.

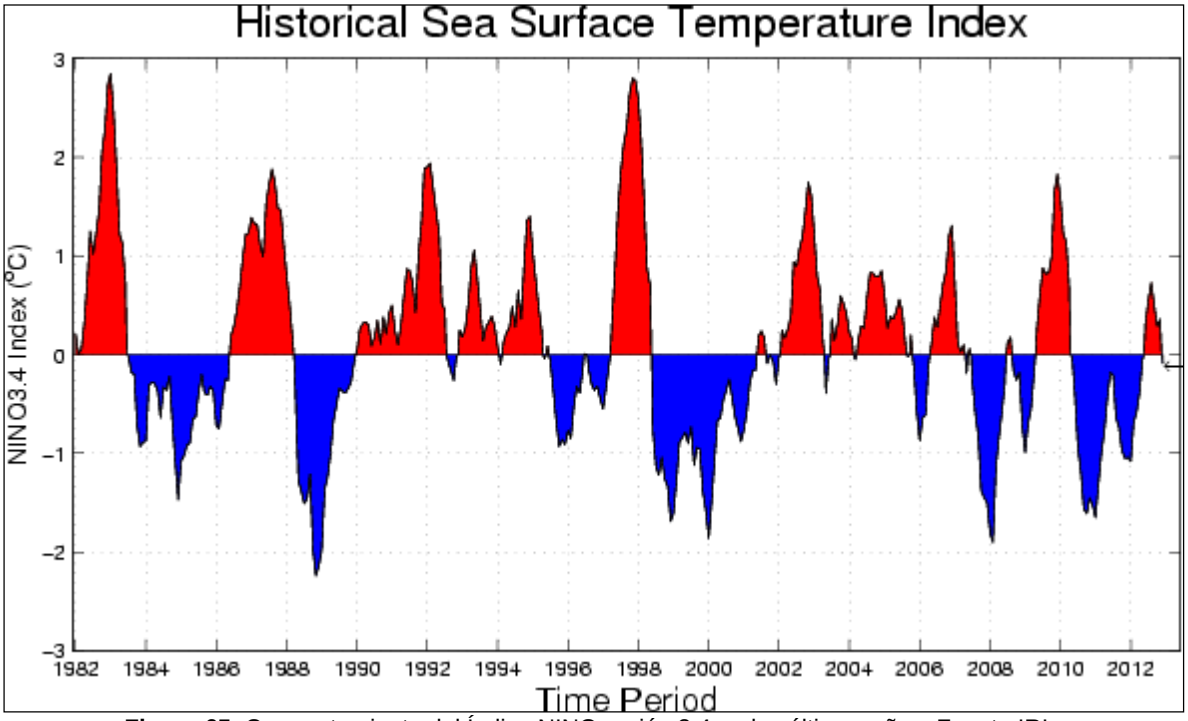


Figura 65. Comportamiento del Índice NINO región 3.4 en los últimos años. Fuente IRI.

La presencia de La Niña en el primer trimestre y la variabilidad climática anual asociada al desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) y otros sistemas de meso y macroescala fueron los encargados de modular los registros de precipitación los cuales presentaron diferencias significativas con respecto a los promedios históricos de la red. La Figura **67** representa la serie de tiempo histórica de las estaciones activas de la RMCAB desde agosto de 1997 y la Figura 68 presenta la serie horaria de 2012. Obsérvese en la serie de tiempo histórica los últimos registros, en donde se manifiesta un aumento significativo de los acumulados de precipitación y que alcanzan valores records; esto sucedió a finales de 2010, principios y finales de 2011. La serie horaria muestra que los registros de mayor consideración se presentaron en abril y octubre, consecuente con la

bimodalidad de las precipitaciones de Bogotá. En la Figura 69 se presenta estas cifras en mm discriminados mensualmente y su comparación con los acumulados medidos por la RMCAB en el trimestre.

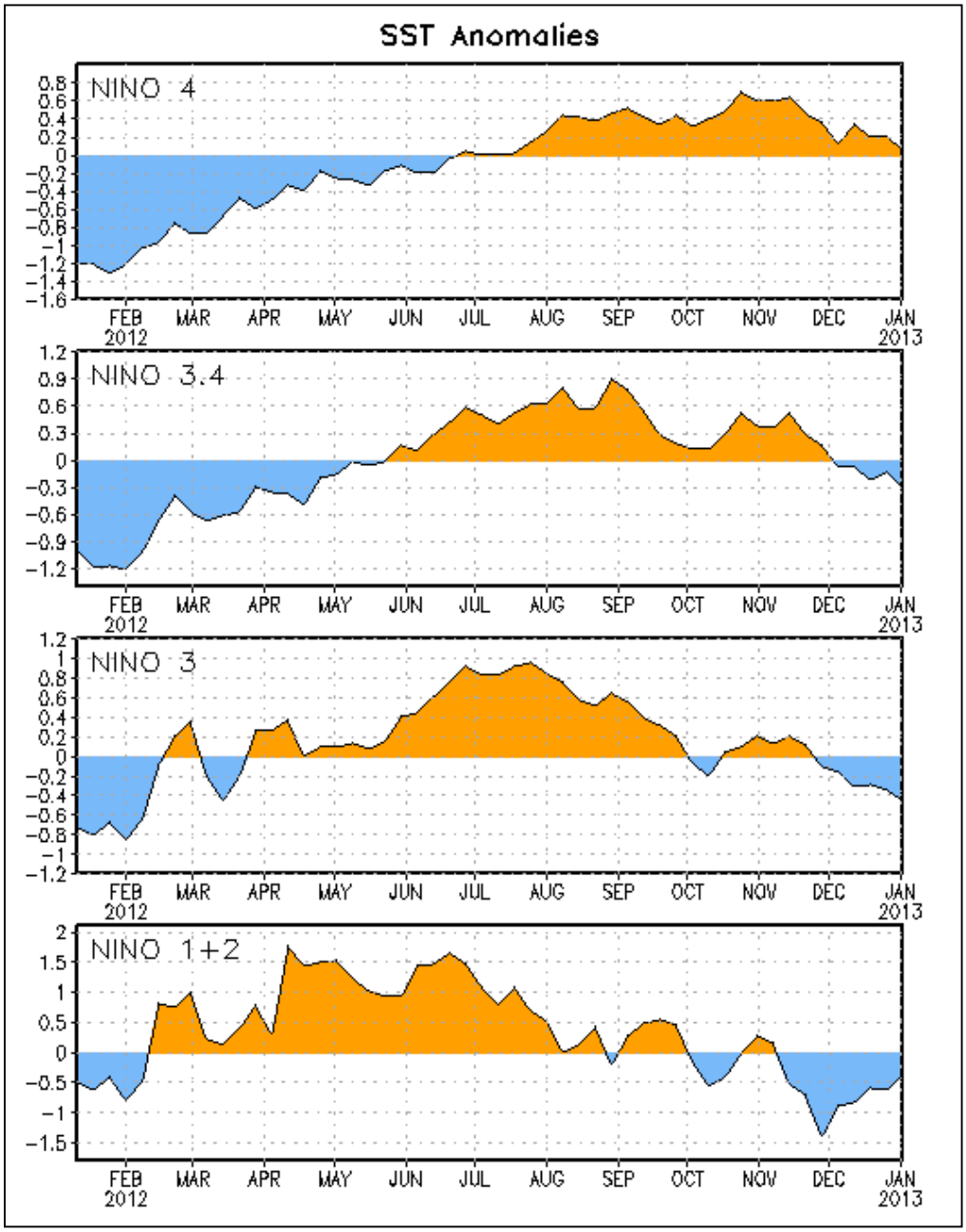


Figura 66. Series de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura en °C de la superficie de océano (SST) para las regiones del El Niño [(Niño-1+2(0°-10°S, 90°W- 0°W), Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), Niño-3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), Niño-4 (150°W-160°E 5°N-5°S). Las anomalías de SST son variaciones de los promedios semanales del período base de 1971-2000 Tomado de: CENTRO DE PREDICCIONES CLIMATICAS/NCEP (National centers for environmental prediction) /NWS (National Weather Service)

Todos los datos han sido sometidos a un proceso de calidad post-validación para eliminar los outliers y datos atípicos en resolución horaria, esto consistió en generar intervalos de confianza según un número determinado de desviaciones estándar considerando la variabilidad horaria de cada serie (para mayor información del post procesamiento de la información, se recomienda ver “Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos” de JOSE EDGAR MONTEALEGRE BOCANEGRA). El año mostrado junto a cada estación corresponde al año en la que empezó a operar.

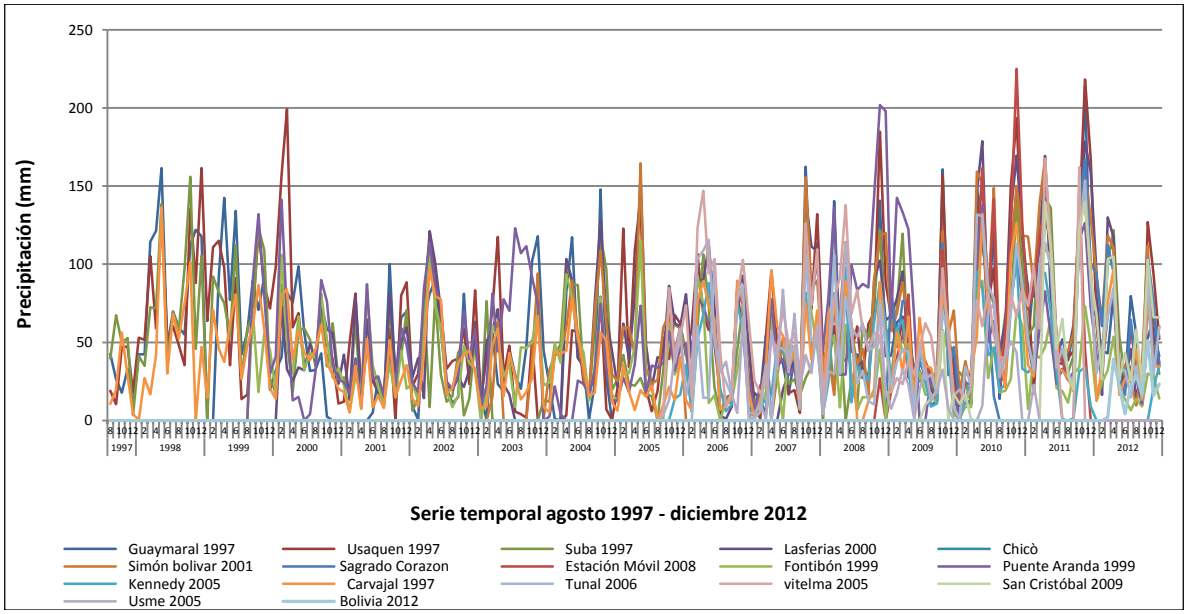


Figura 67. Serie de tiempo de las precipitaciones promedio en escala mensual desde agosto de 1997 hasta diciembre de 2012 para las estaciones en funcionamiento de la RMCAB

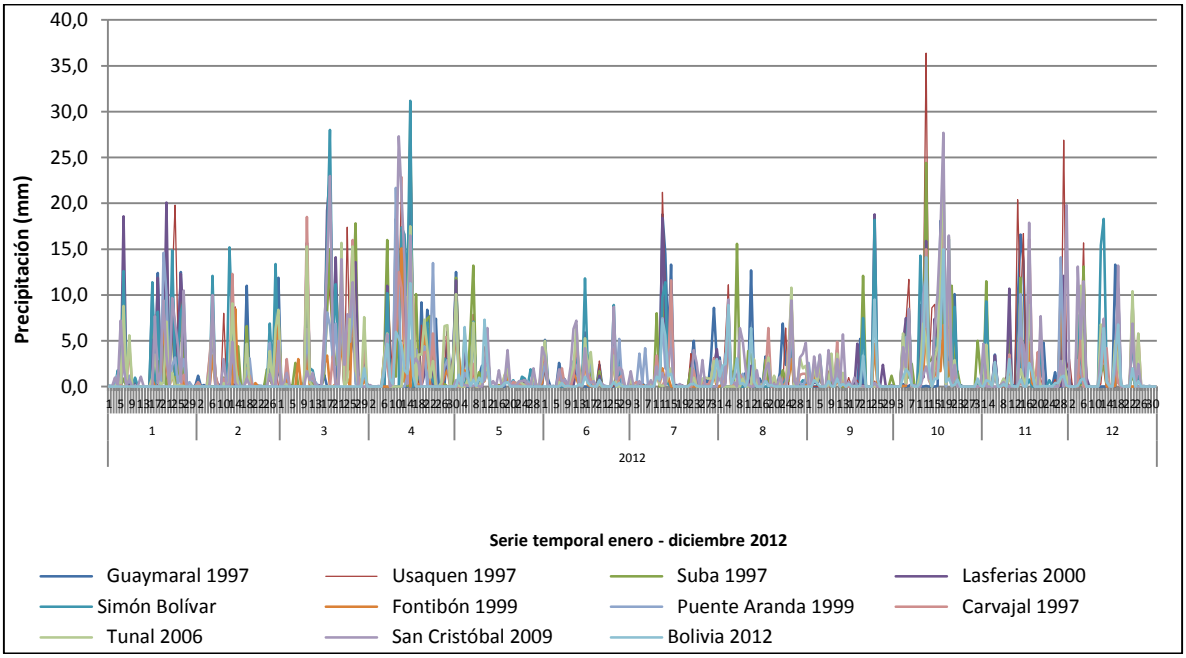


Figura 68. Serie de tiempo horaria de precipitación 2012. Fuente RMCAB

La Tabla 40 muestra la representatividad de los datos recolectados mensualmente para 2012

Tabla 40. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación 2012

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Guaymaral (Escuela)	99	93	89	88	97	70	99	99	98	94	100	84
Usaquén (Bosque)	43	82	87	99	99	96	98	81	93	100	99	99
Suba (Corpas)	100	99	100	92	99	99	71	99	96	100	98	100
Las Ferias (Carrefour)	99	99	100	99	98	99	100	71	99	99	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	90	99	98	93	100	99	100	99	99	100	86	97
Sagrado Corazón (MAVDT)	99	97	97	99	94	64	95	86	99	99	100	100
Fontibón	61	85	81	73	83	88	65	87	98	99	99	66
Puente Aranda	100	98	100	95	99	100	100	98	100	99	100	94
Kennedy	100	98	97	100	99	99	0	0	0	0	72	85
Carvajal (Sony)	72	71	89	100	99	99	100	98	98	99	99	98
Tunal	99	100	74	91	99	97	100	80	94	99	99	99
San Cristóbal	100	97	92	99	100	100	85	92	93	95	77	73

La Figura 69 presenta el acumulado promedio mensual de cada uno de los meses históricos y de 2012. Este gráfico representa un resumen del comportamiento de las estaciones; no obstante se recomienda observar cada estación independientemente ya que los valores anuales pueden variar según la operación de la red. Se observa que enero, marzo, abril y octubre estuvieron por encima de los promedios históricos mientras que mayo, junio y septiembre se mantuvieron significativamente por debajo de lo esperado. La Tabla 41 muestra el porcentaje de variación de los registros.

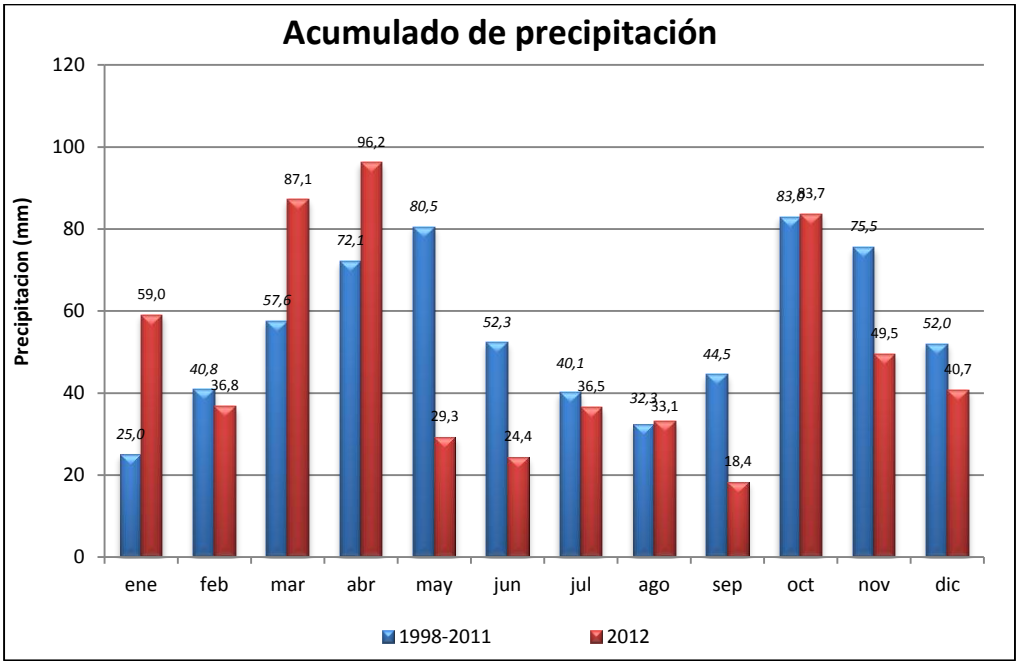


Figura 69 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2011 comparada con el promedio de 2012. Fuente RMCAB

La figura anterior muestra de manera subjetiva la relación existente entre las lluvia y las condiciones oceano-atmosféricas descritas anteriormente, ya que gran parte del inicio del año se observaron lluvias por encima de lo normal mientras que a mediados y finales se presentaron deficits o condiciones similares a los valores esperados. Los promedios aquí presentados no representan una climatología de Bogotá; se hace una comparación con lo presentado en los últimos años.

Tabla 41. Variación porcentual de la precipitación en 2012 comparada con el periodo 1998 – 2011

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
136%	-10%	51%	33%	-64%	-53%	-9%	2%	-59%	1%	-34%	-22%

La Figura 70 muestra que el acumulado de precipitación durante el trimestre presentó condiciones normales con un acumulado promedio de 594,6 mm promedio de las estaciones de la ciudad, similar a varios años de la última década (durante algunos de estos años no se contaba con la cobertura actual de estaciones como se observa en la Figura 71, de manera que se esquematiza a modo de análisis de tendencias y comportamientos).

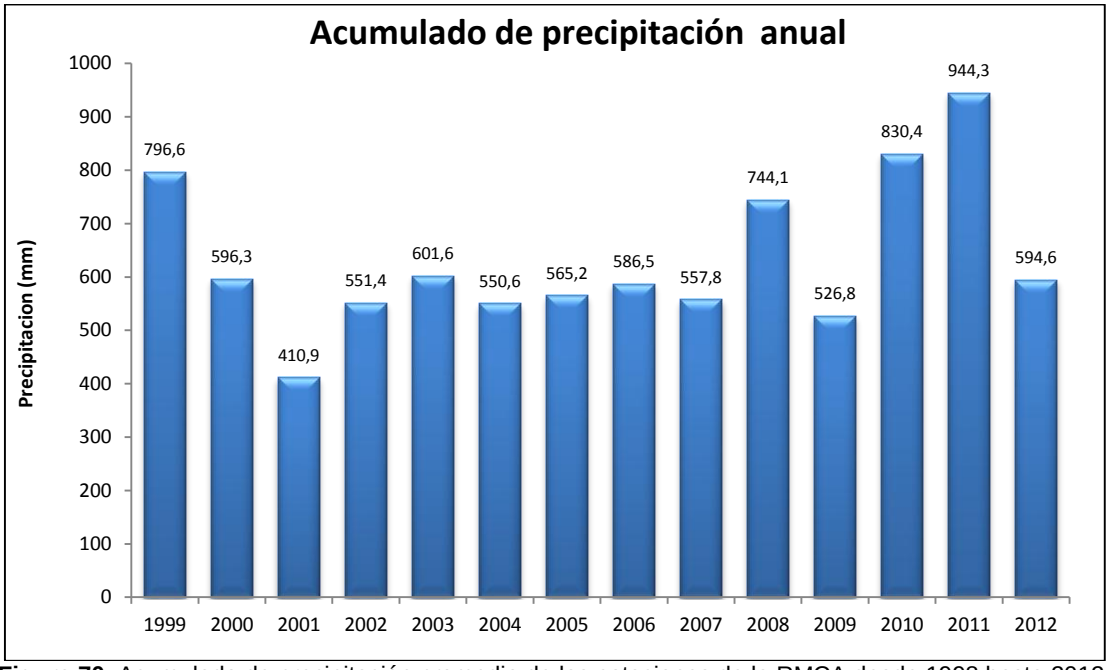


Figura 70. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones de la RMCA desde 1998 hasta 2012. Fuente RMCAB

Los promedios mostrados en la Figura 70 son calculados producto de la información mostrada de las estaciones esquematizadas en la Figura 71.

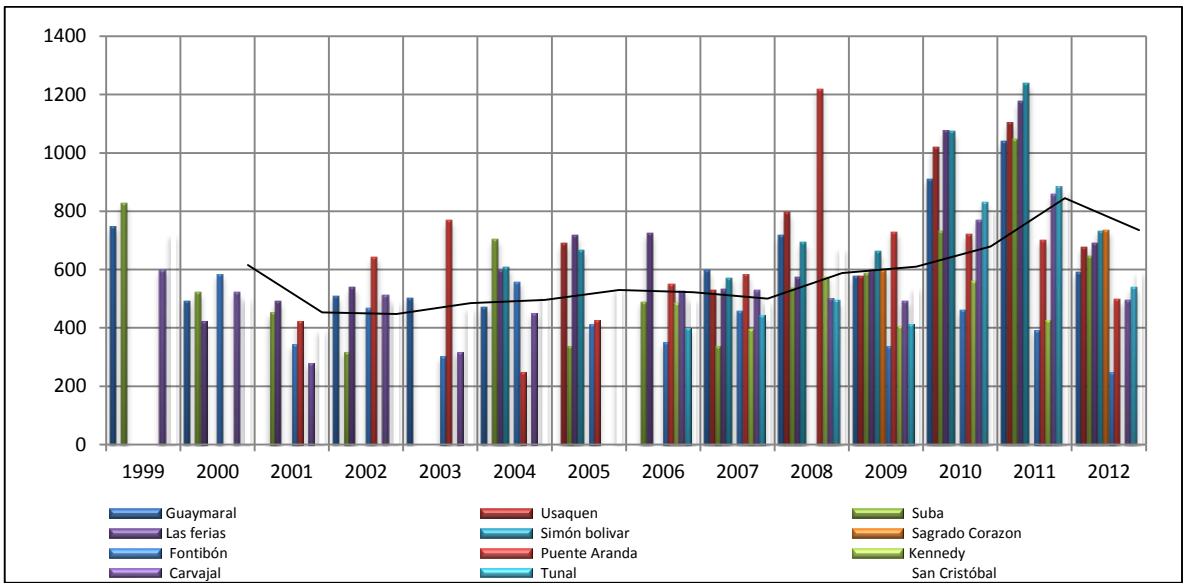


Figura 71. Acumulado de precipitación por estación desde 1999 hasta 2012. Fuente RMCAB

Con respecto a los valores promedio de días de precipitación tomados en el periodo 1998-2011, se observa que el número de días de lluvia durante el año fue similar a lo registrado en promedio en años anteriores, salvo algunos meses del primer y tercer trimestre. Es así

como la Figura 72 presenta el número total de días de precipitación para cada uno de los meses del año (El número de días es contabilizado si se ha registrado en alguna estación, un valor igual o superior a 0.1 mm). La Tabla 42 presenta el porcentaje de variación de los días de precipitación durante el 2012.

Tabla 42. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2012 comparada con el periodo 1998 – 2011

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
31%	7%	23%	1%	1%	-5%	10%	19%	-16%	-8%	8%	-29%

Comparado con los años anteriores, se observa que el Año 2012 estuvo dentro de los promedios con respecto a los días de precipitación en Bogotá, como se puede apreciar en la Figura 73.

En la Figura 74 se observan los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012. Junto con la Tabla 43, se puede apreciar que el Año 2012 se midieron entre lluvias entre ligeras a normales para el periodo, según los índices de precipitación. Las estaciones de Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón y Sancristóbal presentaron altos acumulados, a diferencia de Fontibón en donde se presentó el menor valor.

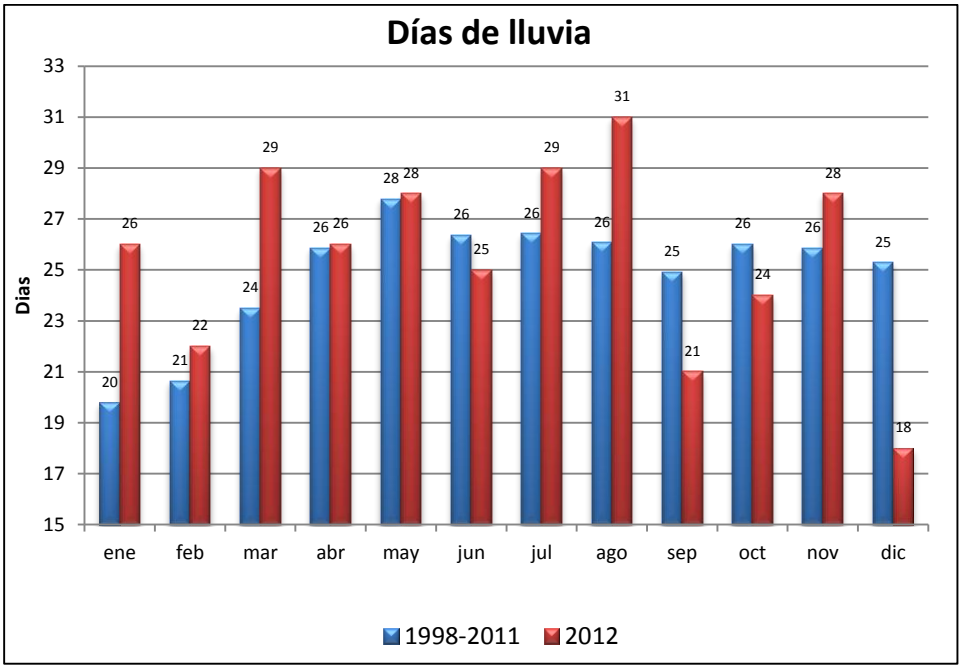


Figura 72. Días de precipitación promedio de la RMCAB del periodo 1998-2011 comparada con el promedio de 2012. Fuente RMCAB

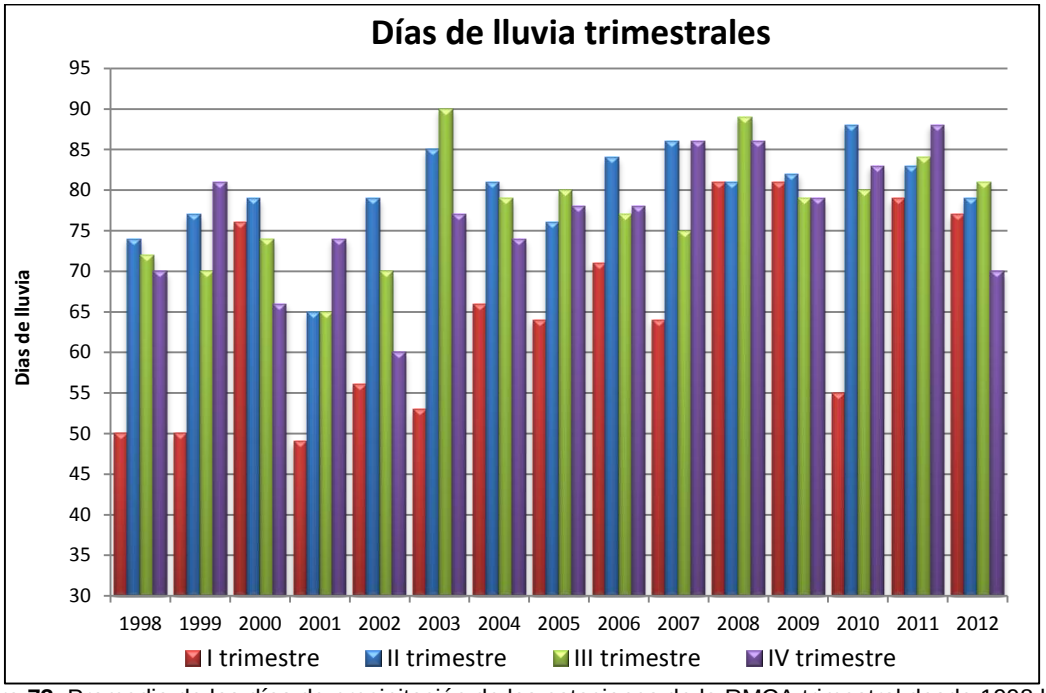


Figura 73. Promedio de los días de precipitación de las estaciones de la RMCA trimestral desde 1998 hasta 2012. Fuente RMCAB

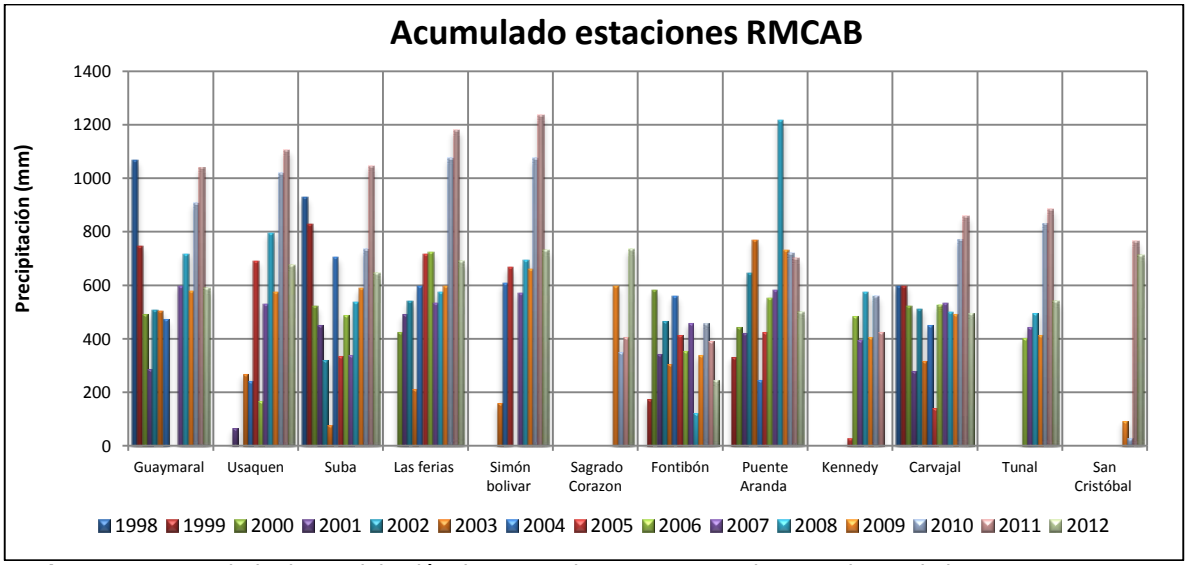


Figura 74. Acumulado de precipitación dese 1998 hasta 2012 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

Tabla 43. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012 y su respectivo índice de precipitación. Fuente RMCAB.

Valores	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	IP
Guaymaral	746,1	492,1		507,3	502,1	471,5			597,3	717,2	577,2	907,6	1039,5	589,3	85,0%
Usaquén							690,2		528,4	795,6	575,5	1018,9	1103,1	675,9	86,1%
Suba	827,3	520,4	452,5	317,7		703,3	334,6	488,6	338	536,1	587,6	732,8	1045,9	644	107,1%
Las ferias		424,3	491,2	538,8		596,2	717,1	723,1	532,9	573,4	597,6	1076	1177,3	688,9	101,7%
Simón Bolívar						605,8	666,8		570,8	692,6	660,7	1074,3	1236,6	730,2	92,8%
Sagrado Corazón											597,8			733,4	122,7%
Fontibón		582	342,6	466,8	303,2	557,4	412,6	351,9	458		337,2	459,1	390,4	246,1	58,1%
Puente Aranda			422	643	768,4	246,8	425,4	550	582	1217,1	729,5	720,2	700,9	497,3	78,1%
Kennedy								484,6	395	574,8	403,9	558,6	425,9		
Carvajal	597,7	520,7	277,9	510,8	317,4	450,3		525,1	530,5	499,7	490,3	770,1	857,7	495,4	92,7%
Tunal								400,1	441,5	495,2	411,3	829,6	883,5	538,7	93,4%
San Cristóbal													763,9	714	93,5%

** El índice de precipitación se interpreta de la siguiente manera:

0-30 %	lluvias muy por debajo de lo normal (periodo extremadamente seco)
31-60 %	lluvias moderadamente por debajo de lo normal (periodo muy seco)
61-90 %	lluvias ligeramente por debajo de lo normal (periodo seco)
91-110 %	lluvias normales para el periodo
111-140 %	lluvias ligeramente por encima de lo normal (periodo lluvioso)
141-170 %	lluvias moderadamente por encima de lo normal (periodo muy lluvioso)
Mayor de 170 %	lluvias muy por encima de lo normal (periodo extremadamente lluvioso)

En el último trimestre de 2012, octubre presentó el mayor acumulado de precipitación en la mayoría de estaciones de la RMCAB de acuerdo con lo observado en la Figura 75. La estación de Usaquén presentó el mayor acumulado en este mes seguido de parque simón Bolívar.

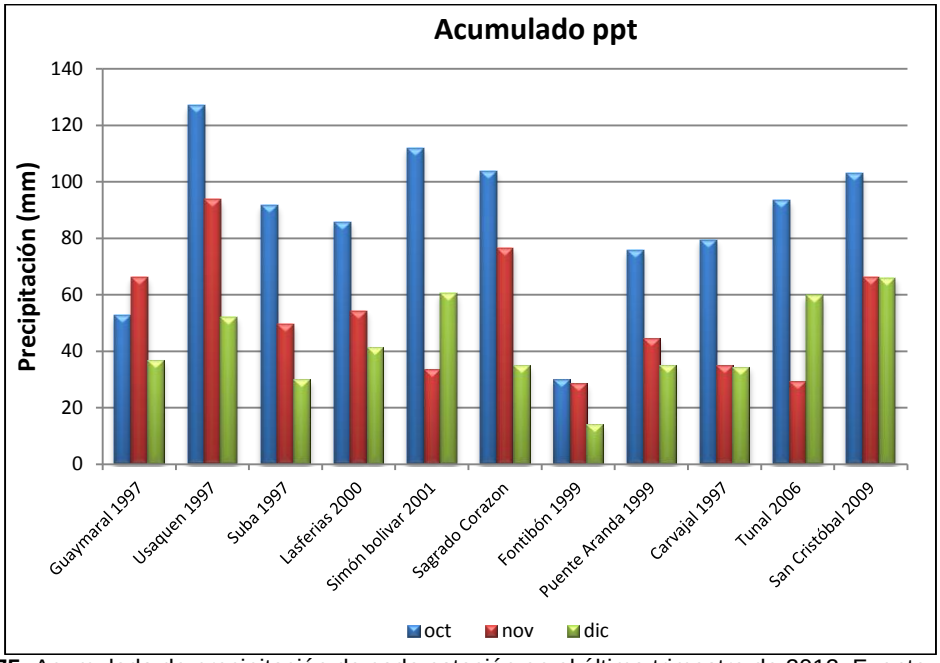


Figura 75. Acumulado de precipitación de cada estación en el último trimestre de 2012. Fuente. RMCAB

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, característica de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. La Tabla 44 muestra que en la estación de Guaymaral llovió 129 días, Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos, detectó lluvias en 120 oportunidades similar a las estaciones de Carvajal con 121 y Sagrado corazón con 122, mientras que la de menor registro fue Fontibón con 87 días. El promedio de precipitación por día se presenta en la Tabla 45.

Tabla 44. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012 Fuente RMCAB.

Valores	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Guaymaral	174		94	175	182				205	219	203	214	268	129
Usaquén						89		145	162	172	142	199	184	112
Suba	222	201	176		26	195	133	149	155	176	160	211	220	126
Las ferias		154	135		62	150	188	164	146	176	161	217	217	117
Simón Bolívar					56	187			170	202	209	243	250	120
Sagrado Corazón													68	122
Fontibón		166	125	131	138	144	137	116		32	132	178	166	87
Puente Aranda		115	138	147	212	124	209	216	199	264	172	213	216	137
Kennedy							18	147	142	164	129	179		
Carvajal	189	195	116	154	133		95	159	161	132	149	189	202	121
Tunal								122	147	161	144	190	205	119
San Cristóbal													168	146

Tabla 45. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2012, en mm/día. Fuente RMCAB

Valores	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Guaymaral	4,3			2,9	2,8				2,9	3,3	2,8	4,2	3,9	4,6
Usaquén									3,3	4,6	4,1	5,1	6,0	6,0
Suba	3,7	2,6	2,6			3,6	2,5	3,3	2,2	3,0	3,7	3,5	4,8	5,1
Las ferias		2,8	3,6			4,0	3,8	4,4	3,7	3,3	3,7	5,0	5,4	5,9
Simón Bolívar						3,2			3,4	3,4	3,2	4,4	4,9	6,1
Sagrado Corazón														6,0
Fontibón		3,5	2,7	3,6	2,2	3,9	3,0	3,0			2,6	2,6	2,4	2,8
Puente Aranda			3,1	4,4	3,6	2,0	2,0	2,5	2,9	4,6	4,2	3,4	3,2	3,6
Kennedy								3,3	2,8	3,5	3,1	3,1		
Carvajal	3,2	2,7	2,4	3,3	2,4			3,3	3,3	3,8	3,3	4,1	4,2	4,1
Tunal								3,3	3,0	3,1	2,9	4,4	4,3	4,5
San Cristóbal													4,5	4,9

Las precipitaciones más intensas, en promedio, se presentaron en Parque simón Bolívar, Usaquén y Las ferias; las de menor intensidad en Fontibón.

La estación que presentó mayor número de días de precipitación fue San Cristóbal en el segundo trimestre seguida por parque simón Bolívar en primer trimestre, como se observa en la Figura 76.

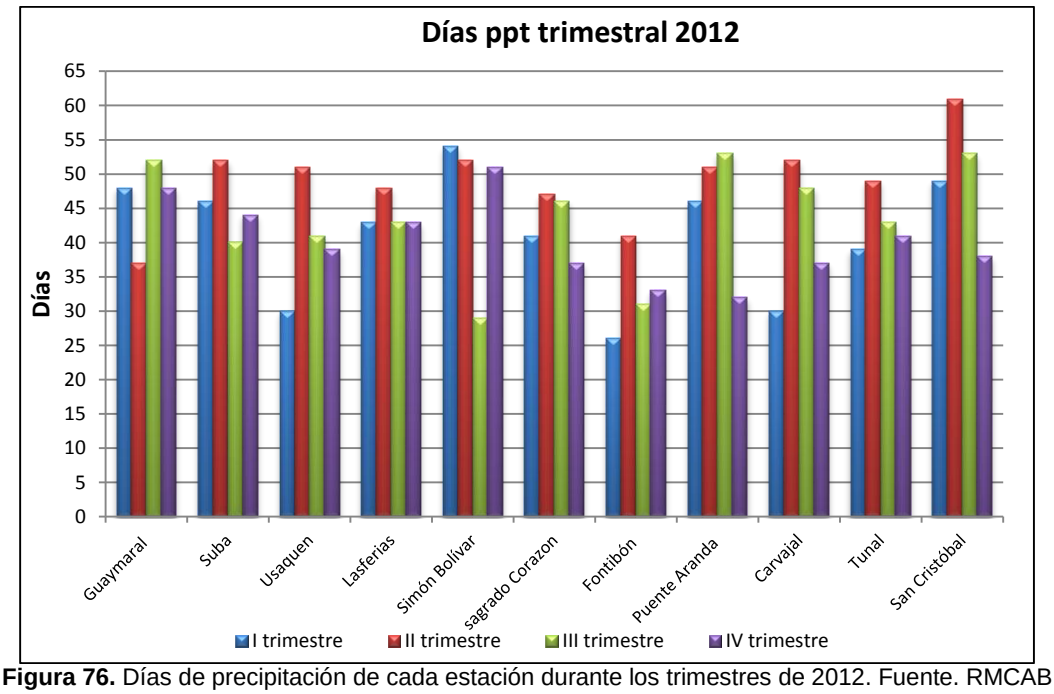


Figura 76. Días de precipitación de cada estación durante los trimestres de 2012. Fuente. RMCAB

La Figura 77 presenta los acumulados horarios de precipitación para el segundo trimestre de 2012 en las estaciones de la RMCAB. Como es común en horas de la mañana, de las 9:00 a las 11:00, fue relativamente inusual la presencia de precipitación en la ciudad,

mientras que en horas de la tarde, las precipitaciones presentaron acumulados altos por la presencia de actividad convectiva producto del calentamiento diurno.

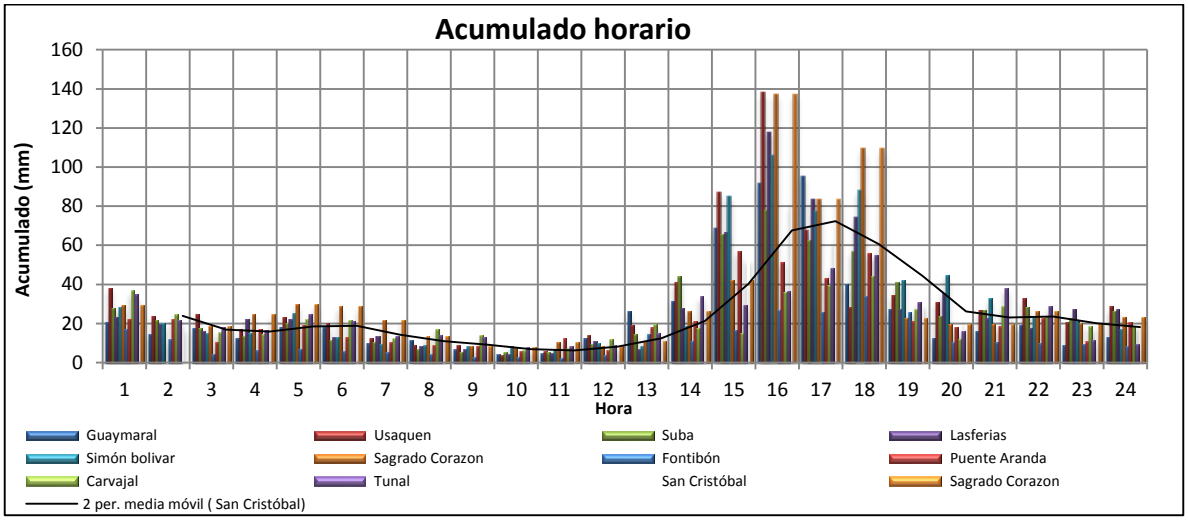


Figura 77. Acumulados horarios de precipitación en 2012 y su comparación con el promedio 1998-2010

La Figura 78 esquematiza el acumulado horario para el promedio de las estaciones de la RMCAB de manera que el eje de las abscisas muestra las horas del día mientras que las ordenadas los meses. Los colores muestran la cantidad de precipitación que se acumuló en una hora específica para determinado mes. En promedio se observa que la mayor cantidad de agua se precipitó entre las 14:00 y 16:00 horas en el mes de Marzo y Noviembre y que las lluvias en horas de la madrugada se presentaron a mediados del año.

Por su parte, la Figura 79 resume las condiciones de manera análoga a la Figura 78 considerando cada estación en particular. Se observa que en las estaciones de Guaymaral y Usaquén los acumulados más intensos se dieron en el segundo semestre, Suba, las Ferias y Simón Bolívar presentaron amplios acumulados en el primer semestre, siendo estas estaciones las de mayor registro de lluvia en las tardes. Las estaciones de Tunal y San Cristóbal estuvieron acompañadas de precipitaciones en las medias noches del mes de Octubre.

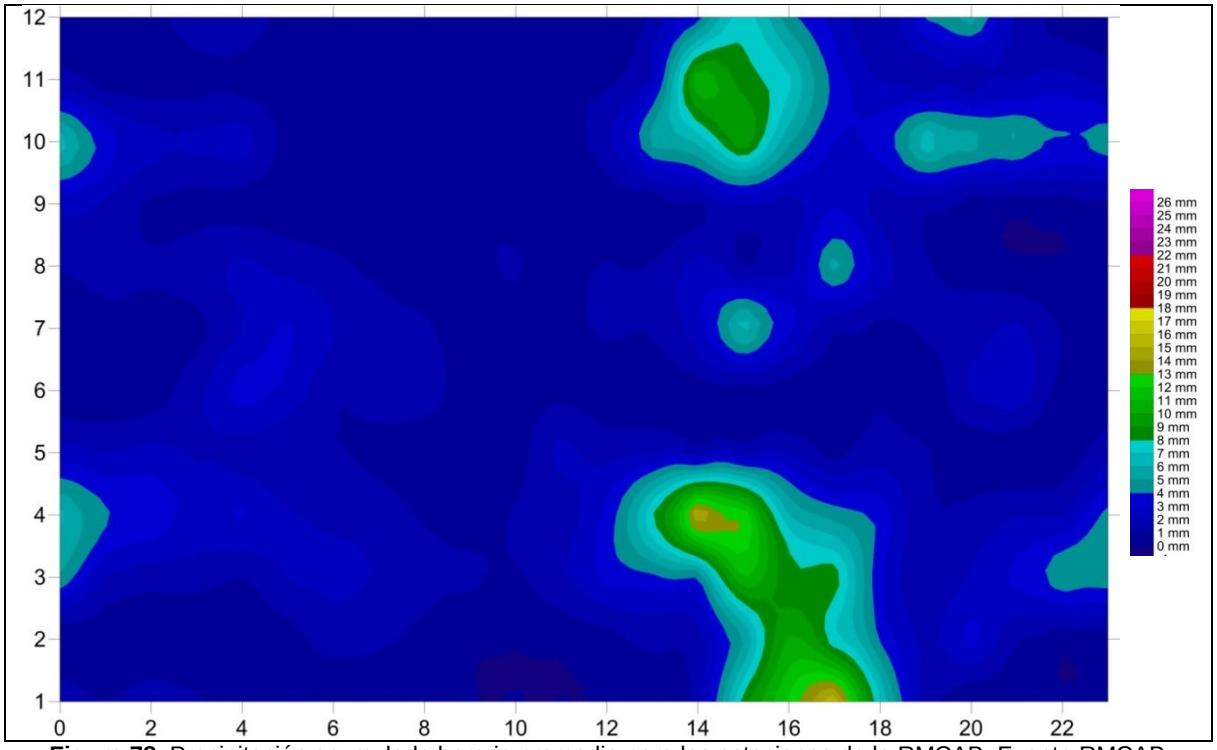
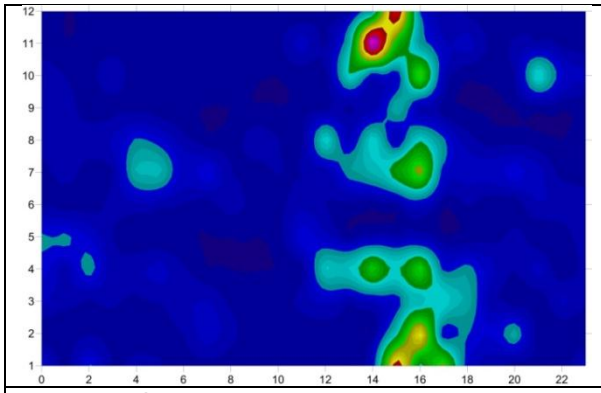
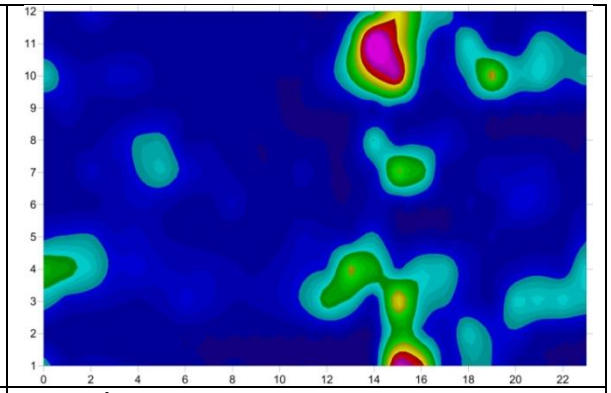


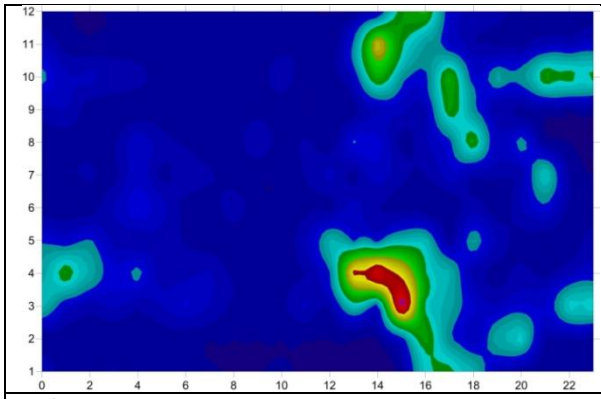
Figura 78. Precipitación acumulada horaria promedio para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB



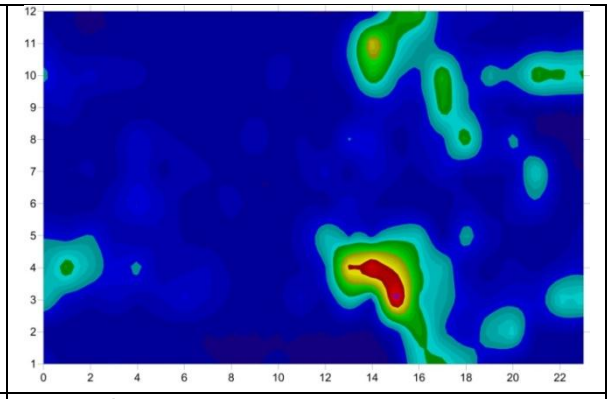
Guaymaral



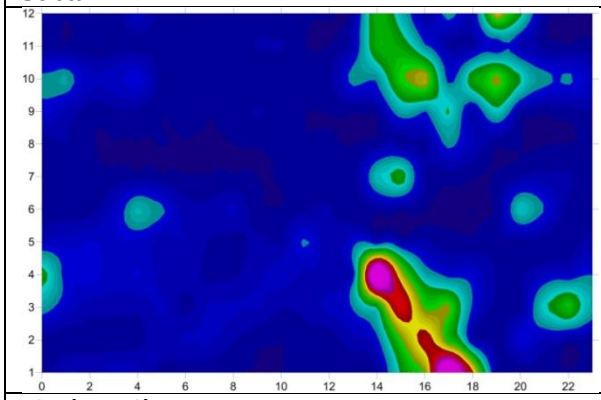
Usaquén



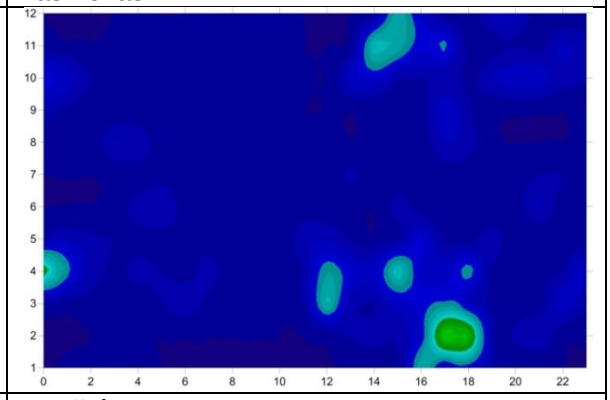
Suba



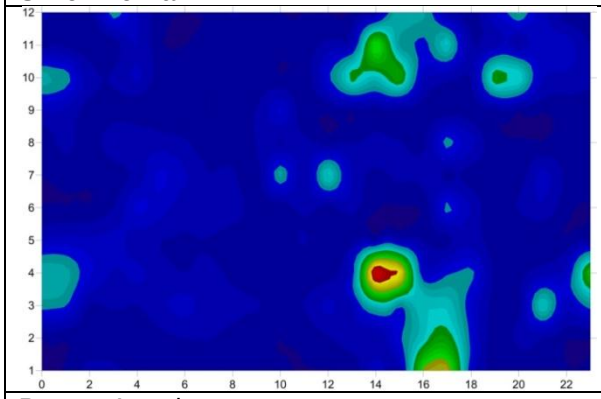
Las Ferias



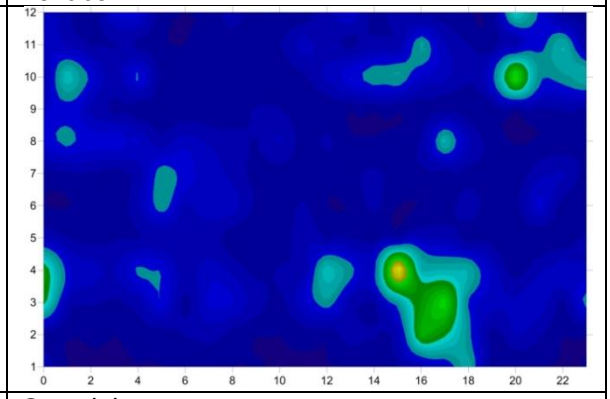
Simón Bolívar



Fontibón



Puente Aranda



Carvajal

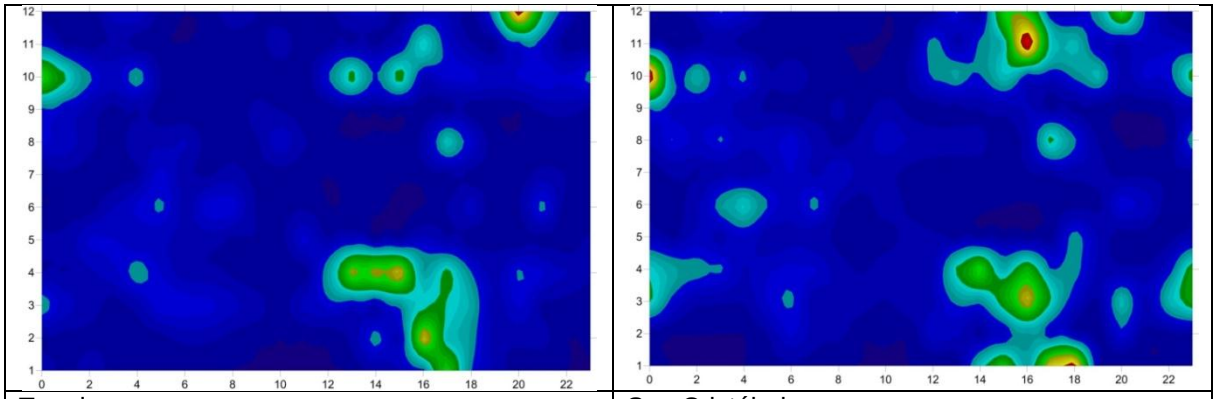


Figura 79. Precipitación acumulada horaria para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

El mapa de la Figura 80 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación total para 2012 sobre esta superficie. Los sectores sombreados principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación sin datos *In Situ*. Se puede observar el sector con menos precipitación de la capital, registrado en la estación de Fontibón que abarca la localidad de su mismo nombre. Los mayores acumulados se encuentran en el costado Oriental de la capital. La Figura 81 presenta los acumulados trimestrales mientras que la Figura 82 los mensuales.

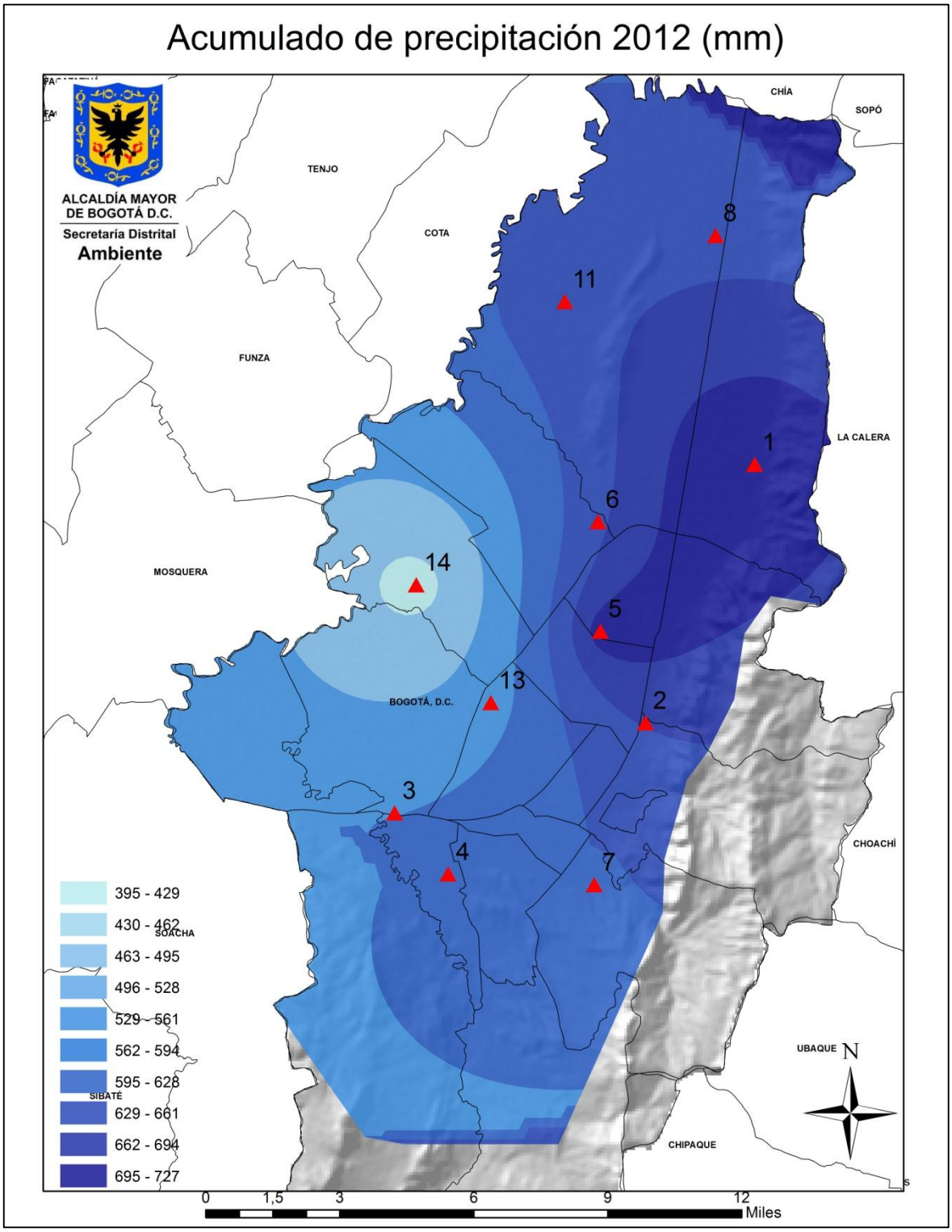


Figura 80. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el Año 2012. Fuente RMCAB

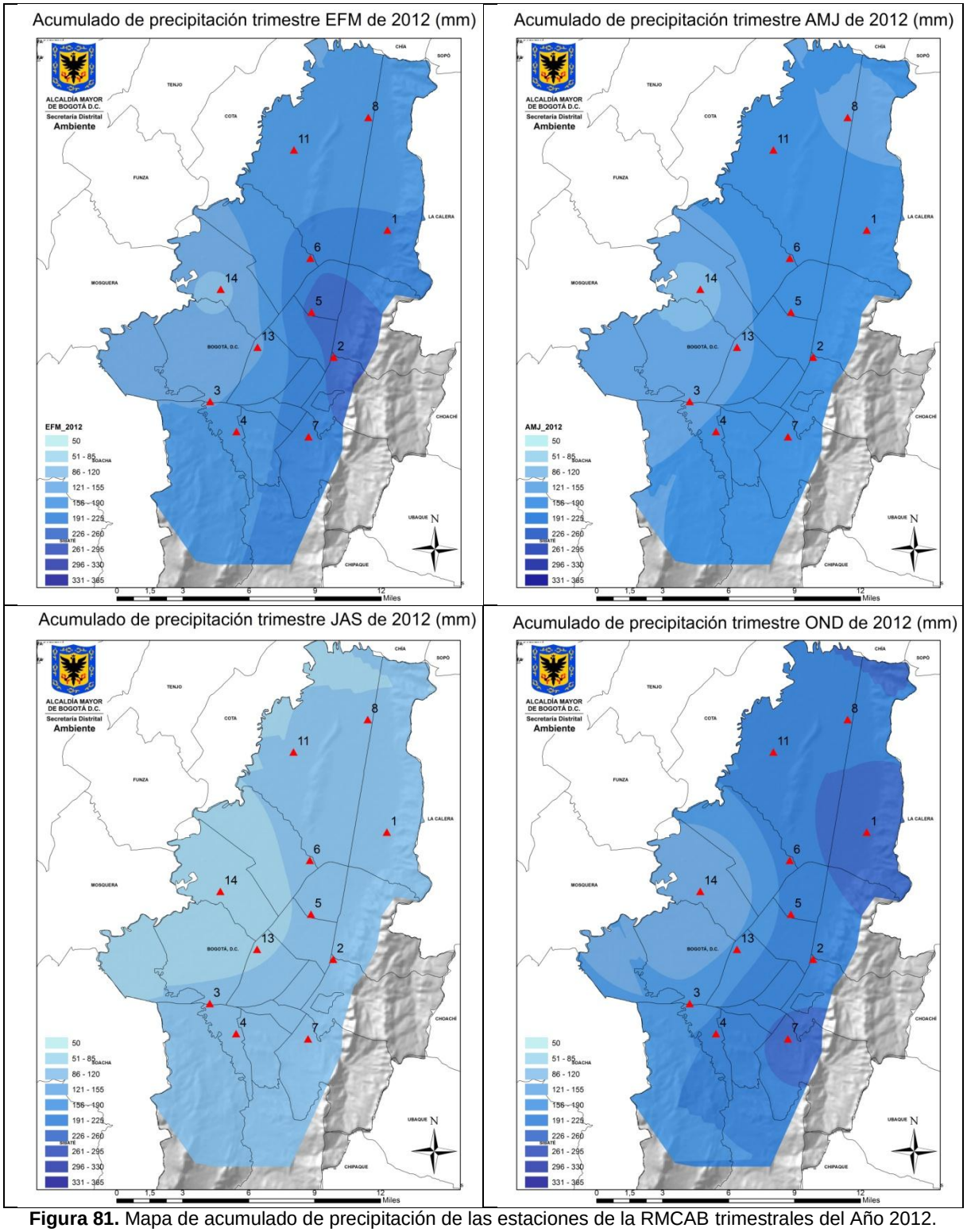
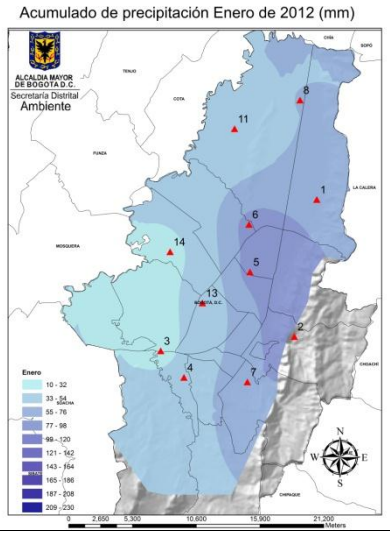
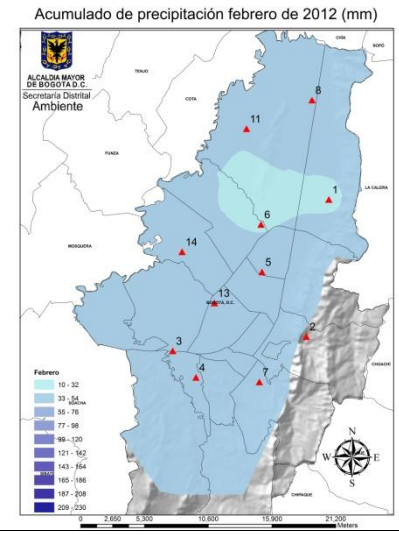


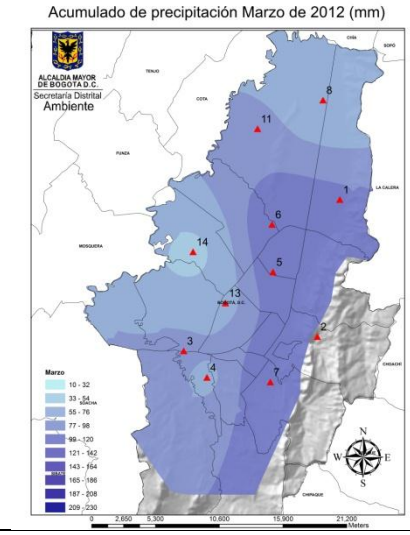
Figura 81. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB trimestrales del Año 2012. Fuente RMCAB



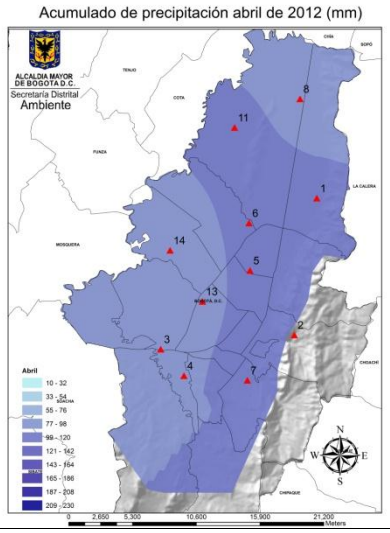
Enero



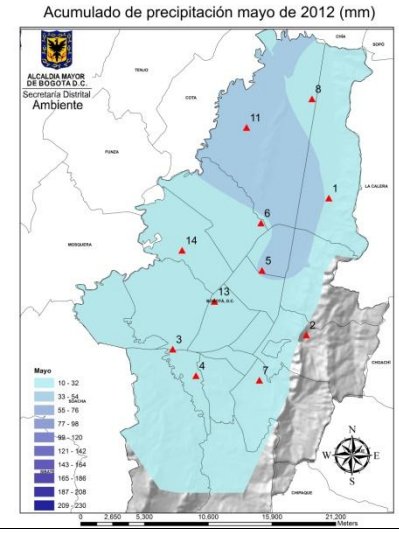
Febrero



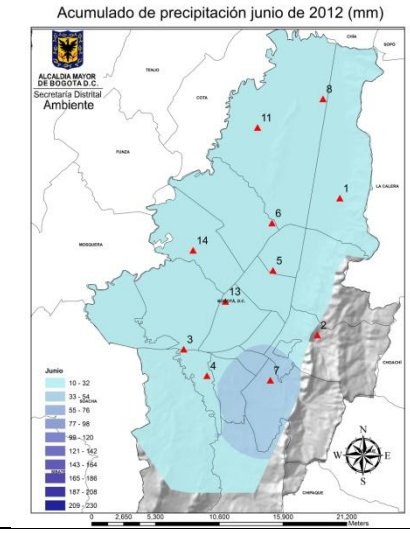
Marzo



Abril



Mayo



Junio

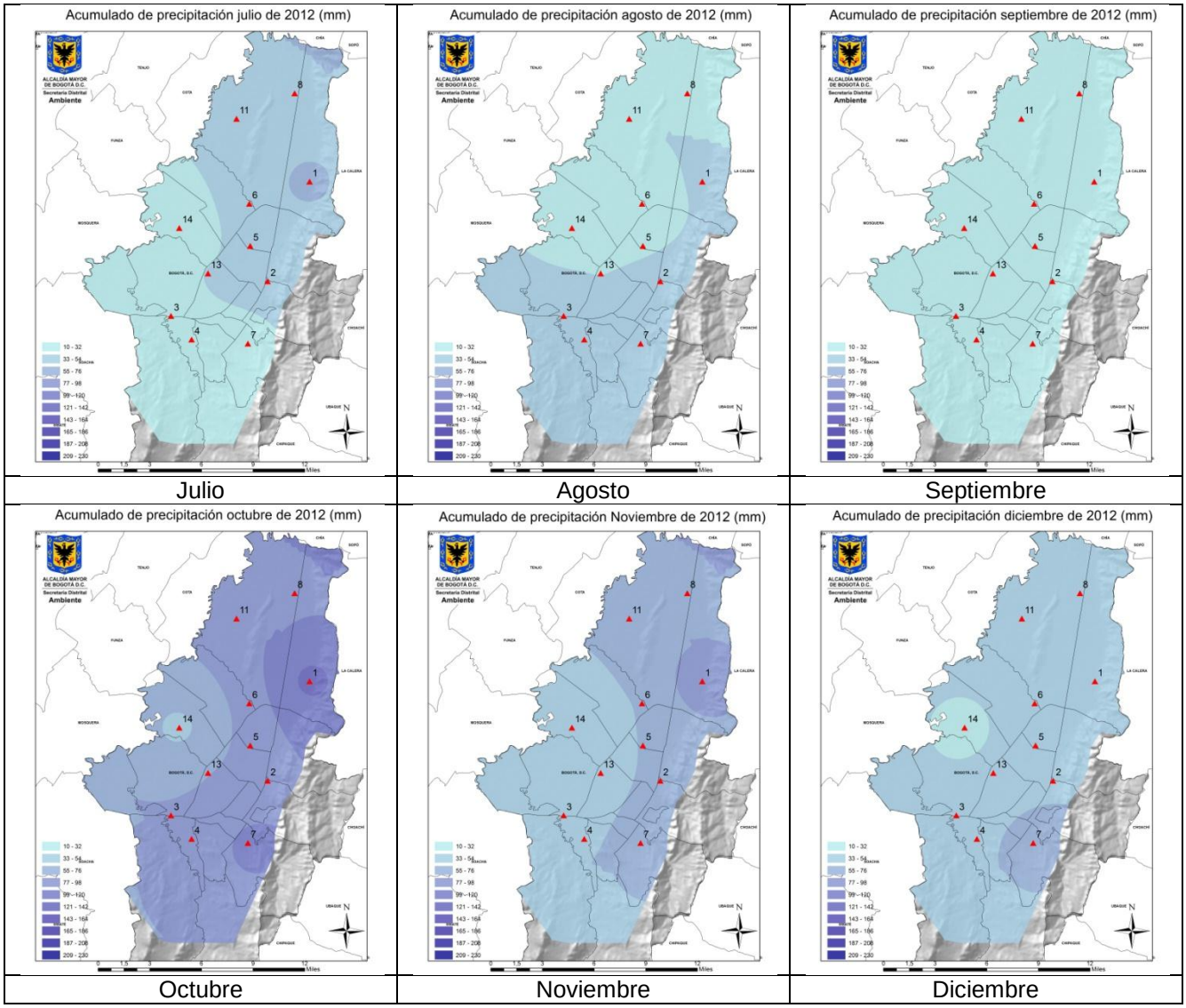


Figura 82. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales en 2012. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 82 presentan la precipitación sobre la ciudad de Bogotá en cada mes de 2012 en los cuales se observa la evolución de la precipitación. En marzo, abril y Octubre se concentraron los mayores acumulados de precipitación, principalmente hacia los cerros orientales, mientras que al Occidente de la ciudad se presentaron los menores acumulados de lluvia. En el mes de septiembre presenta una disminución del acumulado de precipitación significativo a lo largo de la ciudad.

5.2. VIENTOS

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del Noreste y Sudeste, los cuales confluyen en la región tropical formando una zona de baja presión (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país[1]. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, tal es el caso del fenómeno del Niño. Otro aspecto que influye, depende de las condiciones orográficas; las diferencias horizontales de temperatura en una montaña producen alteraciones locales del viento que genéricamente se llaman brisas. La brisa terrestre, llamada circulación valle-montaña, montaña-valle, se debe a diferencias de temperatura entre las montañas y el aire libre que las rodea, en la mañana se presenta un brisa soplando junto al suelo desde los valles y llanuras hacia las laderas que están recibiendo el Sol (solana), remontándolas. De noche desciende una brisa desde las montañas a los valles y llanuras.

En la ciudad de Bogotá se presentan dos regímenes de vientos, los generales y los vientos locales, los primeros son los de influencia sinóptica asociados a los alisios, los cuales toman direcciones Noreste y Sureste sobre la ciudad y la sabana. Estos vientos traen consigo lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad. Los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias, y viajan hacia el Nororiente, Oriente y Occidente, con velocidades medias de 4 a 6 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes ascendentes, que junto con el calentamiento diurno, apoyan la formación de nubes de amplio despliegue vertical favoreciendo las precipitaciones fuertes y la ocurrencia incluso de tormentas eléctricas, granizadas y torbellinos en zonas locales y a veces de poca extensión. También favorecen la dispersión de los contaminantes en algunas zonas, pero en los meses de la segunda temporada de lluvias arrastran contaminantes sobre zonas de alta emisión.

Los vientos Bogotanos se caracterizan por ser de velocidades bajas en las madrugadas y mañanas y de mayor intensidad en las tardes; esta tendencia se puede observar a lo largo del año. En dicho periodo, la dirección y velocidad del viento se registró en once estaciones de la RMCAB, según se reporta en la Tabla 39. La Figura 83 esquematiza la serie de tiempo en resolución diaria para las estaciones de la RMCAB que funcionan actualmente desde el año 1997 y la Figura 84 presenta la serie en formato horario en 2012. La Tabla **46** presenta los valores promedio de las estaciones, la Tabla 47 los promedios y los valores de velocidad máxima y mínima en el trimestre y la Tabla 48 resume el comportamiento de la velocidad del viento para 4 grupos de horas distintas. Fontibón y Puente Aranda son las estaciones en que se registraron los mayores valores de velocidad de viento seguido de Kennedy; Guaymaral es la estación con menor velocidad del viento reportada.

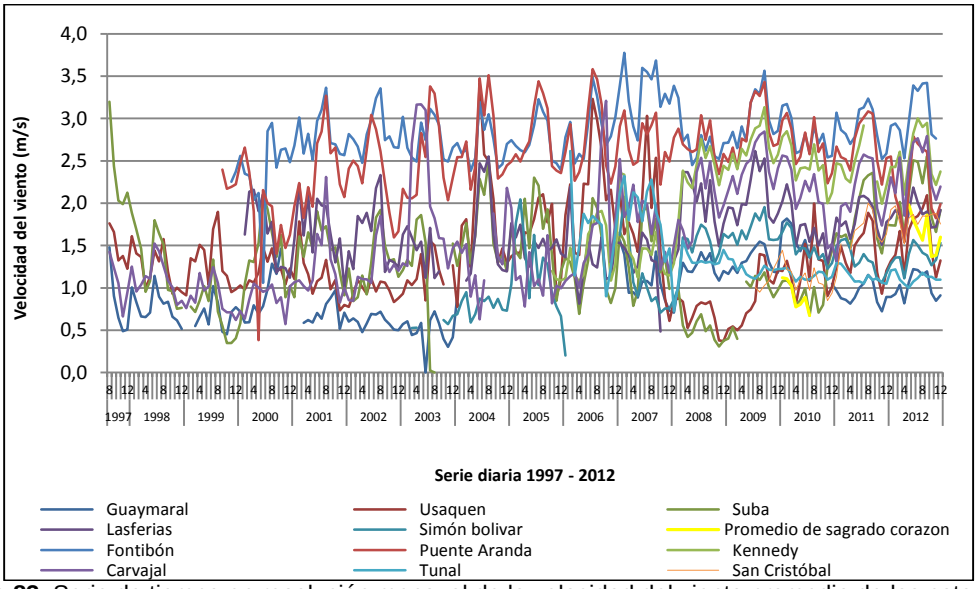


Figura 83. Serie de tiempo en resolución mensual de la velocidad del viento promedio de las estaciones Activas de la RMCAB desde agosto de 1997 hasta diciembre de 2012.

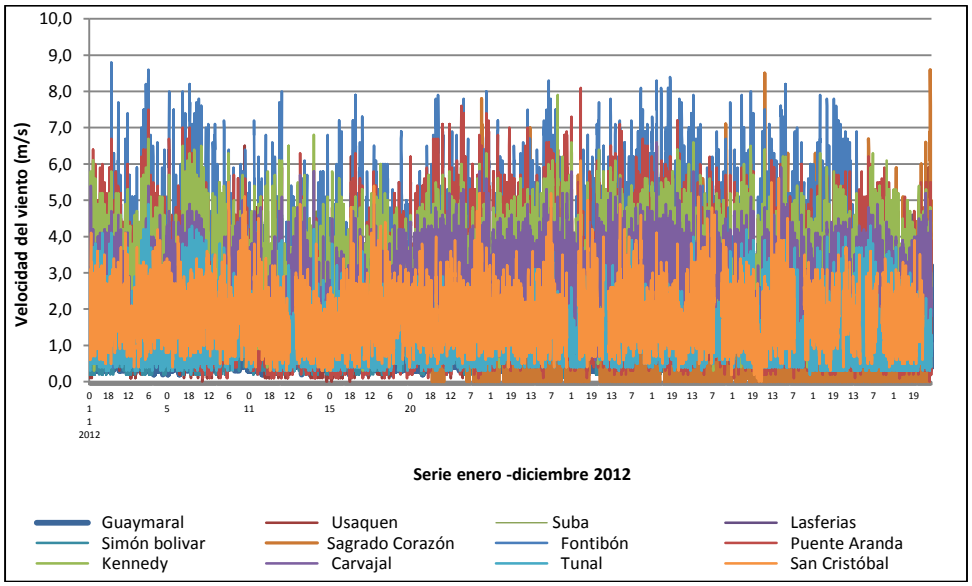


Figura 84. Serie de tiempo de la velocidad del viento horaria para 2012 en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 46. Valores promedios de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB

Hora	1_24												
Año	2012												
	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,8	0,9	1,0
Usaquén	1,3	1,4	1,7	1,1	1,7	1,8	1,8	1,9	2,1	1,4	1,1	1,3	1,6
Suba	1,7	1,7	2,0	1,6	2,1	2,5	2,5	2,2	2,6	1,8	1,7	1,9	2,0
Las ferias	1,8	1,9	1,9	1,5	1,9	2,2	2,0	1,9	1,9	1,7	1,7	1,9	1,9

Simón Bolívar	1,3	1,4	1,4	1,1	1,4	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4
Sagrado Corazón					2,0	1,8	1,7	1,6	1,9	1,4	1,4	1,6	1,6
Fontibón	2,9	2,9	2,9	2,5	3,0	3,4	3,3	3,4	3,4	2,8	2,8		3,0
Puente Aranda	2,6	2,1	1,9	1,5	2,2	2,8	2,7	2,6	2,6	1,9	1,8	2,0	2,2
Kennedy	2,4	2,4	2,6	2,1	2,5	2,8	3,0	2,9	2,9	2,3	2,2	2,4	2,6
Carvajal	2,3	2,1	2,5	1,9	2,4	2,7	2,8	2,6	2,8	2,2	2,0	2,2	2,4
Tunal	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
San Cristóbal	1,9	2,0	1,8	1,5	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8

Tabla 47. Valores máximos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

Hora	(Todas)												
Año	2012												
	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	3,5	3,5	3,9	4,1	3,9	3,6	4,9	5,0	4,9	3,9	3,3	3,7	5,0
Usaquén	5,1	4,9	6,5	6,2	5,3	5,5	5,2	5,6	6,1	5,6	4,0	5,9	6,5
Suba	4,7	5,2	5,8	4,8	6,3	5,8	7,7	6,3	6,1	5,6	4,8	5,7	7,7
Las ferias	5,4	5,6	5,0	4,6	4,8	5,6	4,5	5,5	5,1	5,3	4,9	5,1	5,6
Simón Bolívar	4,8	4,6	4,9	4,5	4,7	5,0	4,5	3,8	4,2	5,0	4,7	5,0	5,0
Sagrado Corazón	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	7,8	7,0	5,9	6,5	8,5	6,3	8,6	8,6
Fontibón	8,8	8,2	8,0	7,9	7,9	8,0	8,3	8,1	8,4	8,2	7,9	0,0	8,8
Puente Aranda	7,5	7,0	6,0	6,3	6,7	7,6	7,3	8,1	7,2	6,3	6,1	6,2	8,1
Kennedy	6,7	6,5	6,5	6,8	6,0	6,3	7,9	6,4	6,6	6,5	6,3	6,3	7,9
Carvajal	5,4	4,9	5,1	5,8	4,9	5,8	5,8	5,6	6,6	5,9	4,6	5,2	6,6
Tunal	4,9	4,3	3,9	4,2	2,9	3,3	3,6	3,9	4,0	4,2	4,1	4,3	4,9
San Cristóbal	4,2	4,0	5,5	4,9	5,4	5,2	5,2	6,1	5,1	5,6	3,7	3,9	6,1

Max

Hora	(Todas)												
Año	2012												
	Mes												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Usaquén	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
Suba	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Las ferias	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Simón Bolívar	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Sagrado Corazón	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fontibón	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,5	0,0	0,3
Puente Aranda	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
Kennedy	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Carvajal	0,5	0,6	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3
Tunal	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2
San Cristóbal	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,0	0,3	0,4	0,0

Min

Tabla 48. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1-6, 7-12, 13-18 y 19-24 hrs en el segundo trimestre de 2012

Hora	1-5												
Año	2012												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5
Usaquén	0,6	0,9	1,3	0,7	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	0,9	0,5	0,8	1,0
Suba	1,2	1,2	1,4	1,2	1,3	1,6	1,6	1,3	1,5	1,1	1,0	1,2	1,3
Las ferias	1,2	1,3	1,4	1,2	1,4	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,3
Simón bolívar	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7
Sagrado corazón					0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6
Fontibón	1,8	1,8	1,9	1,6	1,8	2,1	1,9	2,1	2,0	1,8	1,6		1,8
Puente Aranda	1,7	1,2	1,0	0,7	0,9	1,3	1,3	1,4	1,1	1,0	0,9	0,9	1,1
Kennedy	1,5	1,6	1,8	1,3	1,4	1,7	1,9	1,7	1,8	1,4	1,3	1,3	1,6
Carvajal	1,6	1,5	2,0	1,2	1,5	1,8	1,9	1,8	1,9	1,5	1,4	1,3	1,6
Tunal	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,6
San Cristóbal	1,8	2,0	1,4	1,4	1,5	1,6	1,4	1,4	1,5	1,7	2,0	1,7	1,6

a)

Hora	6-11												
Año	2012												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	0,8	0,7	1,0	0,7	1,0	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9
Usaquén	1,2	1,1	1,3	1,0	1,5	1,5	1,7	1,7	1,9	1,2	1,0	1,1	1,3
Suba	1,9	1,8	2,1	1,7	2,2	2,4	2,5	2,2	2,6	1,9	1,8	1,9	2,1
Las ferias	1,5	1,6	1,8	1,4	1,8	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6	1,5	1,7	1,7
Simón bolívar	1,0	1,0	1,3	1,0	1,3	1,5	1,4	1,2	1,3	1,1	1,2	1,3	1,2
Sagrado corazón					2,3	1,6	1,7	1,4	1,7	1,1	1,2	1,2	1,4
Fontibón	2,1	2,1	2,5	1,9	2,5	2,9	3,0	2,8	3,0	2,3	2,2		2,5
Puente Aranda	1,9	1,3	1,5	1,1	1,8	2,3	2,4	2,2	2,3	1,5	1,3	1,4	1,8
Kennedy	1,8	1,7	2,1	1,6	2,1	2,4	2,8	2,5	2,5	1,9	1,8	1,9	2,1
Carvajal	1,9	1,6	2,3	1,5	2,2	2,4	2,7	2,3	2,5	2,0	1,7	1,9	2,1
Tunal	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	1,0
San Cristóbal	1,7	1,6	1,5	1,1	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5

b)

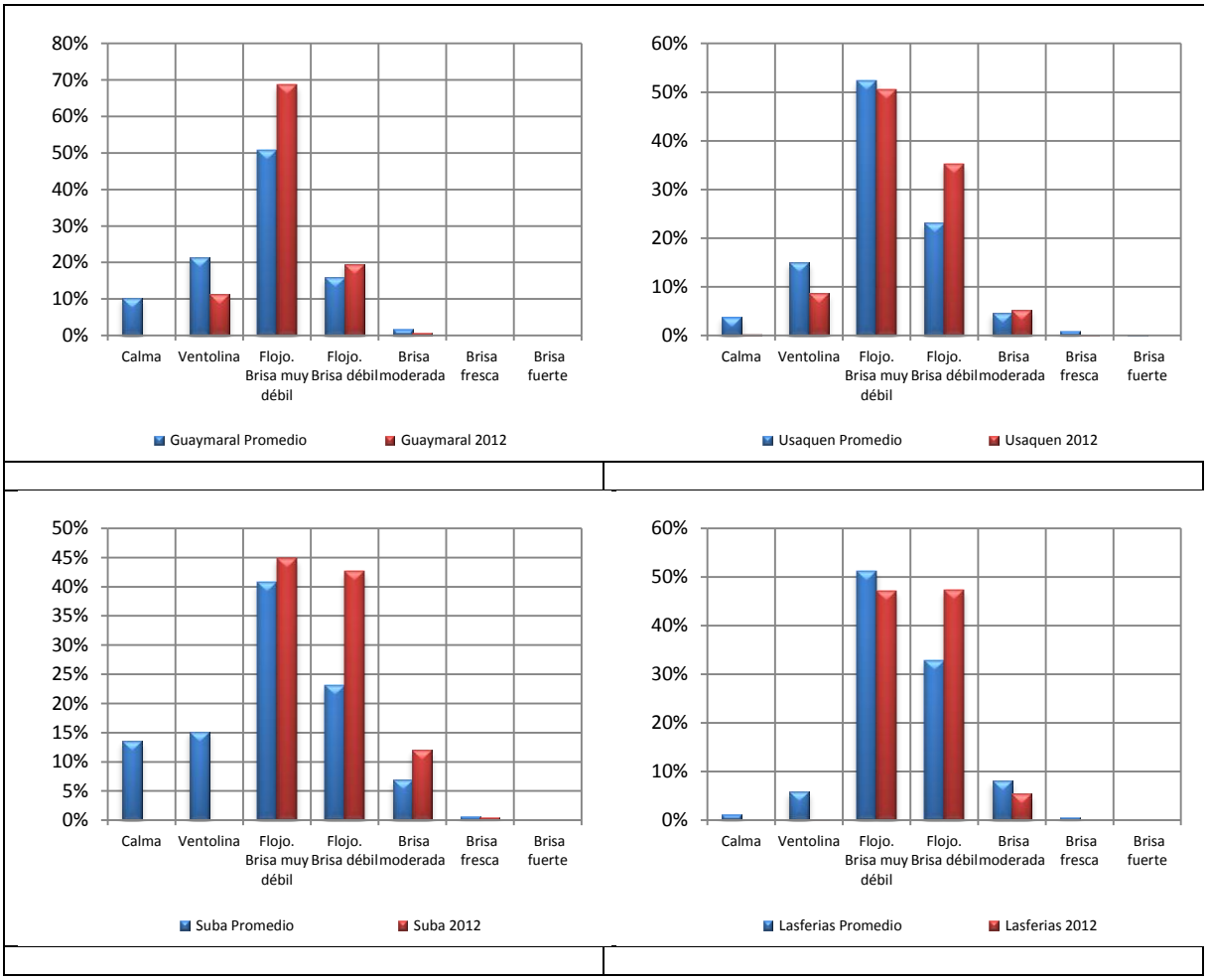
Hora	12-17												
Año	2012												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	1,6	1,8	1,7	1,5	2,0	2,2	2,2	2,1	2,2	1,7	1,7	1,8	1,9
Usaquén	2,0	1,9	2,3	1,7	2,3	2,5	2,5	2,6	2,9	2,2	1,8	2,0	2,2
Suba	2,5	2,6	2,7	2,3	3,2	3,6	3,7	3,4	3,9	2,8	2,6	3,1	3,0
Las ferias	2,8	2,8	2,4	2,2	2,5	2,8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,9	2,6
Simón bolívar	2,4	2,5	2,1	2,0	2,2	2,5	2,3	2,3	2,3	2,2	2,4	2,8	2,3
Sagrado corazón					3,4	3,0	2,9	2,7	3,2	2,6	2,6	2,9	2,9
Fontibón	5,0	4,9	4,3	4,1	4,7	5,0	5,3	5,3	5,5	4,6	4,8		4,9
Puente Aranda	4,0	3,6	3,1	2,9	3,8	4,8	4,6	4,3	4,5	3,5	3,5	3,8	3,9
Kennedy	4,0	4,0	3,7	3,4	3,9	4,2	4,4	4,4	4,6	3,8	3,9	4,0	4,0
Carvajal	3,5	3,3	3,3	2,9	3,5	3,8	3,8	3,7	4,0	3,3	3,3	3,5	3,5
Tunal	2,2	2,3	1,7	1,8	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1	1,9
San Cristóbal	2,3	2,3	2,3	1,9	2,5	2,4	2,3	2,5	2,4	2,3	2,0	2,2	2,3

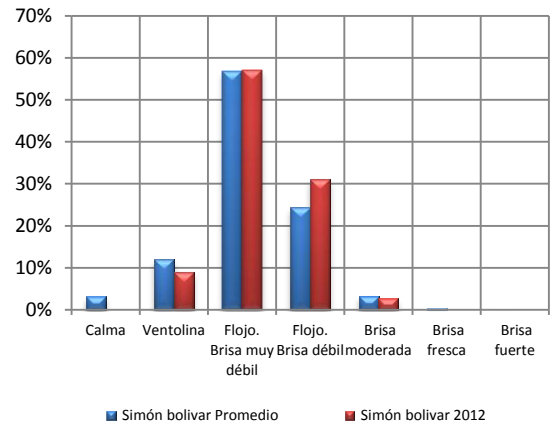
c)

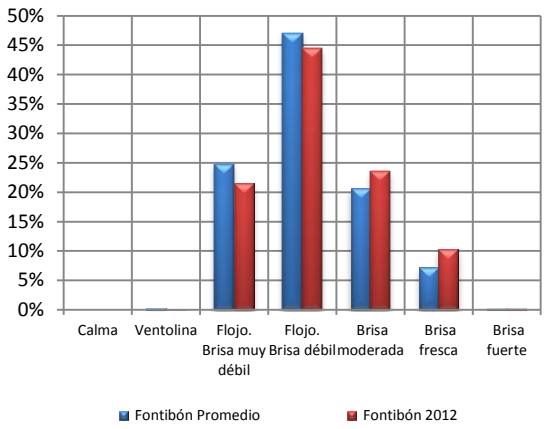
Hora	18-23												
Año	2012												
Valores	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**2012**
Guaymaral	0,7	0,7	0,8	0,6	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,5	0,7	0,8
Usaquén	1,4	1,7	1,8	1,1	1,7	2,1	2,0	2,1	2,3	1,5	1,2	1,4	1,7
Suba	1,3	1,4	1,8	1,3	1,8	2,4	2,3	2,0	2,2	1,4	1,2	1,5	1,7
Las ferias	1,7	1,9	1,9	1,4	1,9	2,1	2,1	1,8	1,8	1,6	1,7	1,9	1,8
Simón bolívar	1,1	1,2	1,2	0,8	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2	1,2
Sagrado corazón					1,5	1,6	1,5	1,4	1,8	1,2	1,1	1,6	1,5
Fontibón	2,6	2,8	2,8	2,4	2,7	3,4	3,1	3,3	3,2	2,5	2,5		2,9
Puente Aranda	2,6	2,1	2,0	1,4	2,1	2,8	2,6	2,6	2,5	1,8	1,6	1,8	2,2
Kennedy	2,5	2,3	2,8	2,0	2,5	2,9	2,9	2,9	2,9	2,2	1,9	2,3	2,5
Carvajal	2,2	2,0	2,5	1,8	2,4	2,8	2,7	2,6	2,7	2,1	1,8	2,1	2,3
Tunal	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0
San Cristóbal	1,9	1,9	1,9	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,8

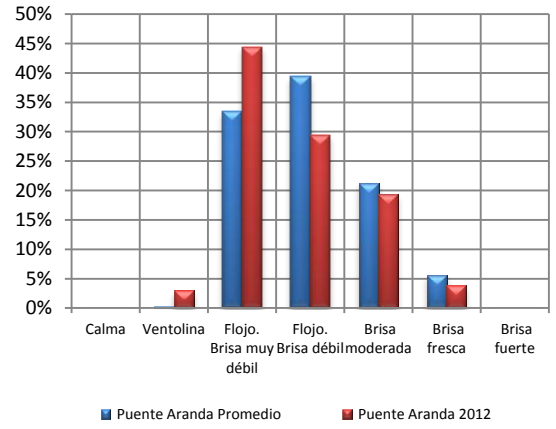
d)

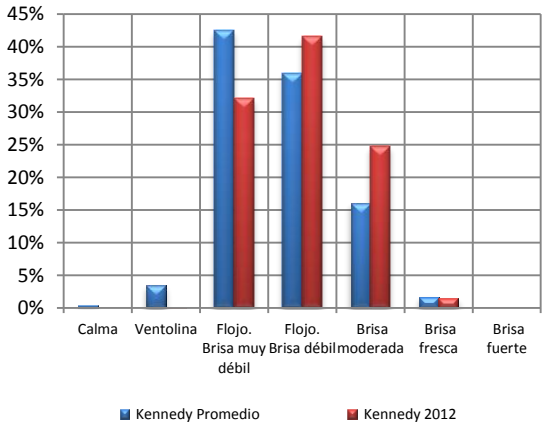
La velocidad de los vientos es agrupada según la frecuencia en la escala de *Beaufort*, como se presenta en la Figura 85, la cual esquematiza el porcentaje histórico anual y el porcentaje de frecuencias en 2012 para cada estación. Así mismo la predominancia de los vientos en general varía según la estación como se observa en la Figura 86 la cual presenta la rosa de los vientos horaria y el porcentaje de frecuencias de la dirección de los vientos comparada con los históricos, según la fecha de inicio de cada estación.

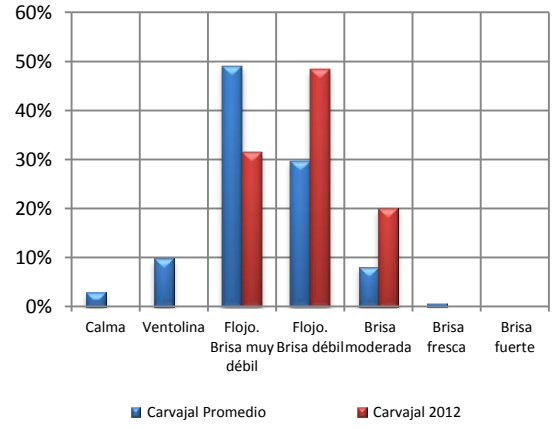


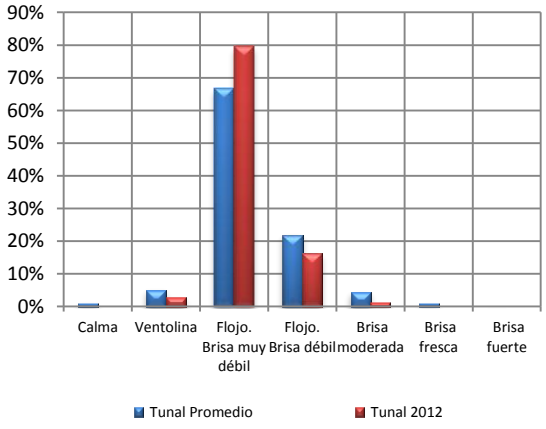

70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Simón bolivar Promedio
Simón bolivar 2012


50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Fontibón Promedio
Fontibón 2012


50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Puente Aranda Promedio
Puente Aranda 2012


45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Kennedy Promedio
Kennedy 2012


60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Carvajal Promedio
Carvajal 2012


90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Calma
Ventolina
Flojo. Brisa muy débil
Flojo. Brisa débil
Brisa moderada
Brisa fresca
Brisa fuerte
Tunal Promedio
Tunal 2012

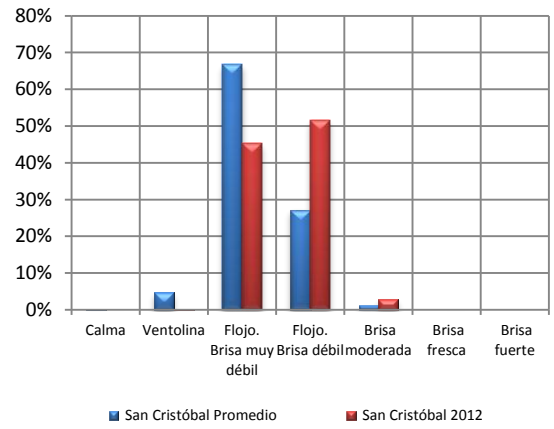
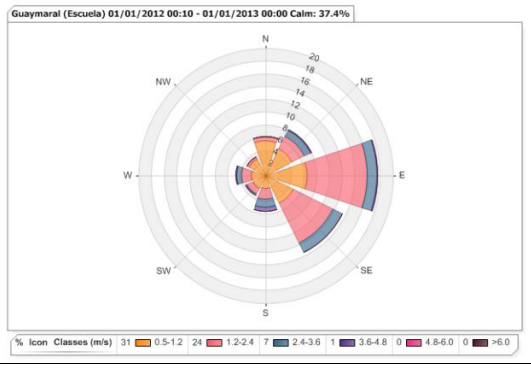


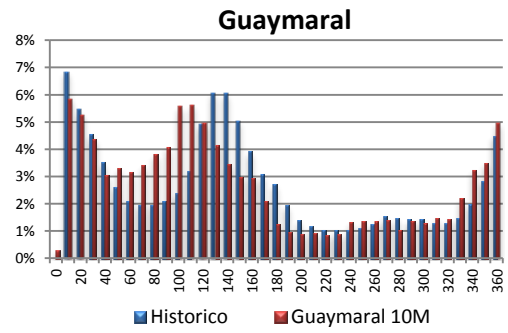
Figura 85. Frecuencias de la velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en 2012 y su comparación con el mismo periodo en el promedio 1998 – 2011.

Tabla 49. Representatividad mensual (%) de la Dirección de los vientos 2012.

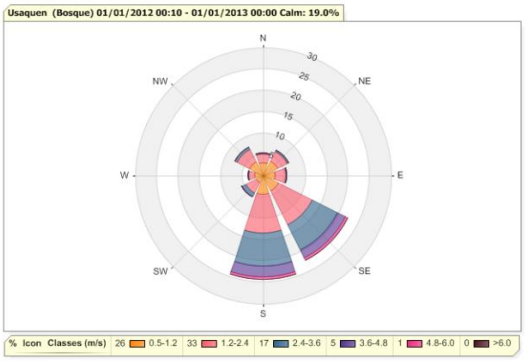
ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	EFM	ABR	MAY	JUN	AMJ	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Guaymaral (Escuela)	99	93	89	94	100	99	67	89	99	99	99	94	100	84
Usaquén (Bosque)	43	82	86	71	91	99	96	96	98	81	93	100	99	99
Suba (Corpas)	100	99	100	100	92	99	53	82	71	99	80	82	74	100
Las Ferias (Carrefour)	99	99	100	99	99	98	99	99	100	71	99	99	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	90	99	98	96	93	100	99	97	100	99	99	100	86	97
Sagrado Corazón (MAVDT)	0	0	0	0	0	0	0	0	92	86	99	87	87	88
Fontibón	61	85	84	76	73	83	88	81	65	87	98	99	99	66
Puente Aranda	0	49	100	50	95	99	100	98	100	98	100	98	100	94
Kennedy	100	98	97	98	100	99	99	99	100	81	99	94	97	85
San Cristóbal	48	44	93	61	100	100	100	100	85	92	93	97	78	84
Carvajal (Sony)	72	71	89	77	100	99	99	99	100	98	98	99	99	98
Tunal	99	100	73	91	91	99	97	96	99	78	94	99	92	99

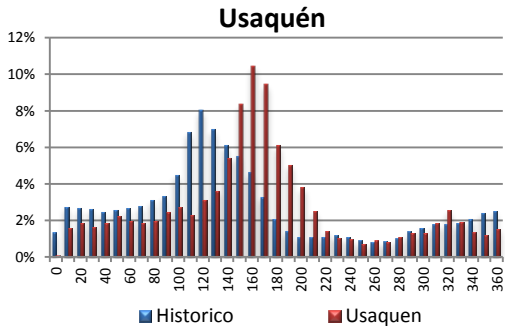
La Figura 86 esquematiza las rosas de viento para cada una de las estaciones del trimestre de estudio, en escala horaria.



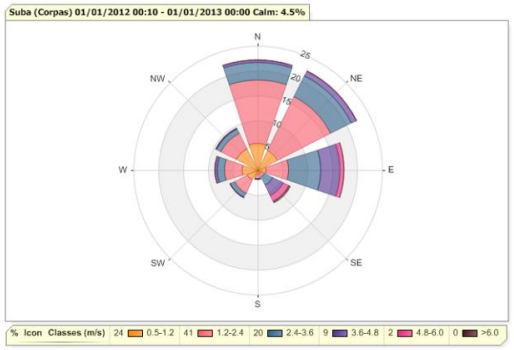


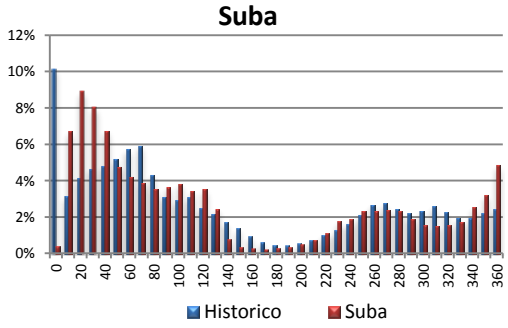
Guaymaral (Escuela)



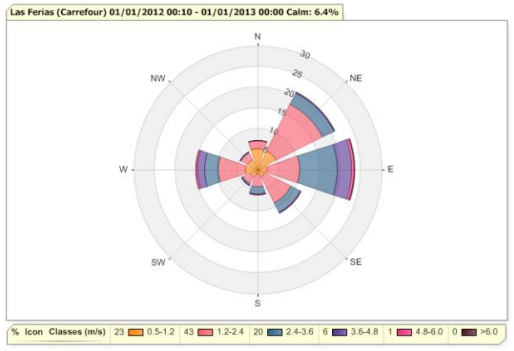


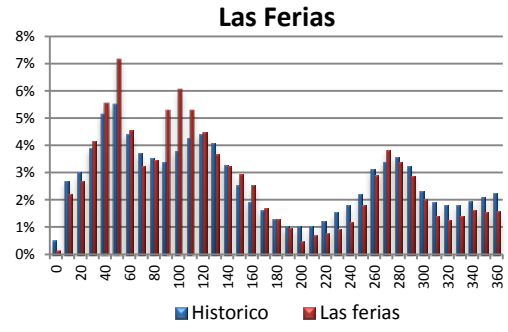
Usaquén (Bosque)



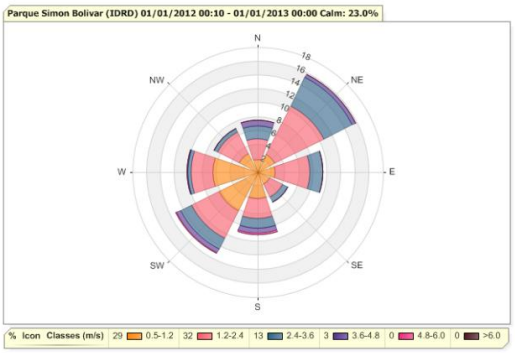


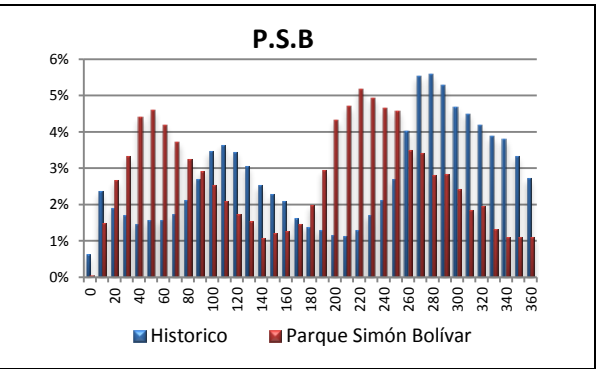
Suba (Corpas)



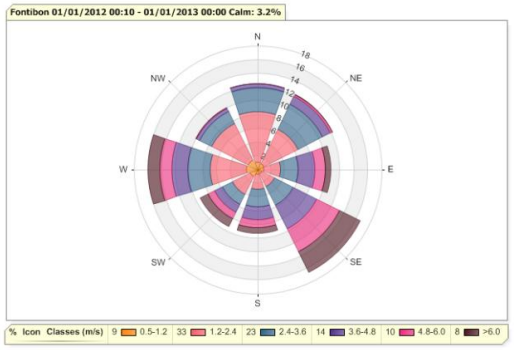


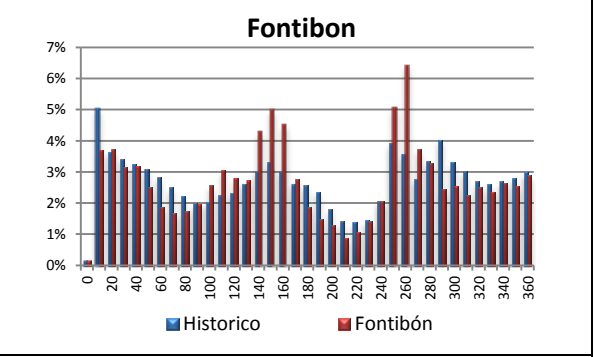
Las Ferias (Carrefour)



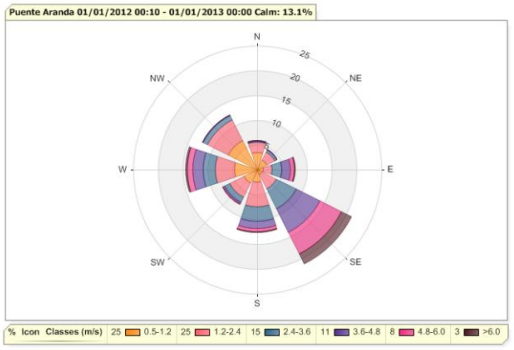


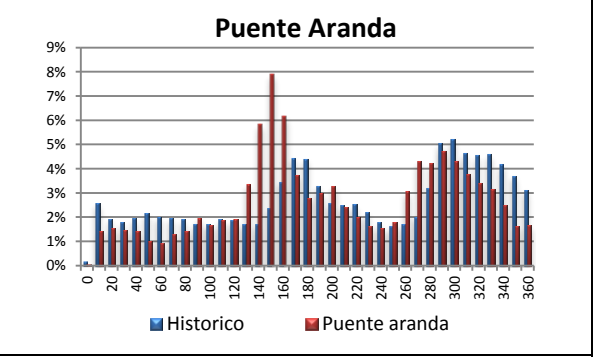
Parque Simón Bolívar (IDRD)



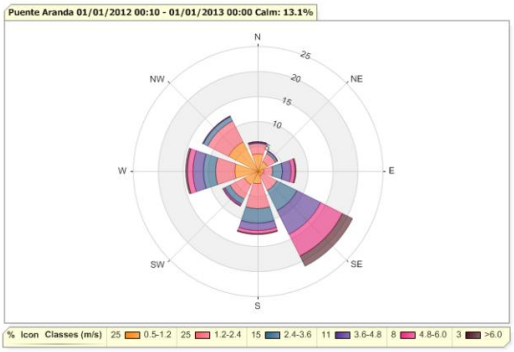


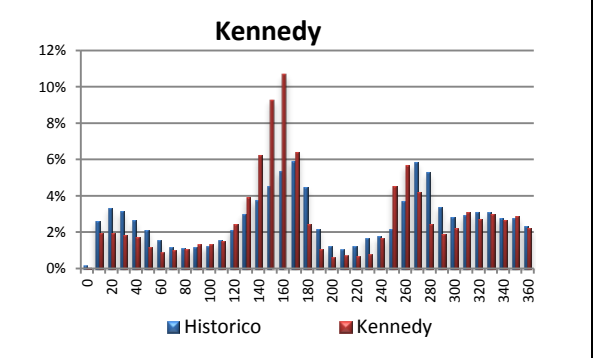
Fontibón





Puente Aranda





Kennedy

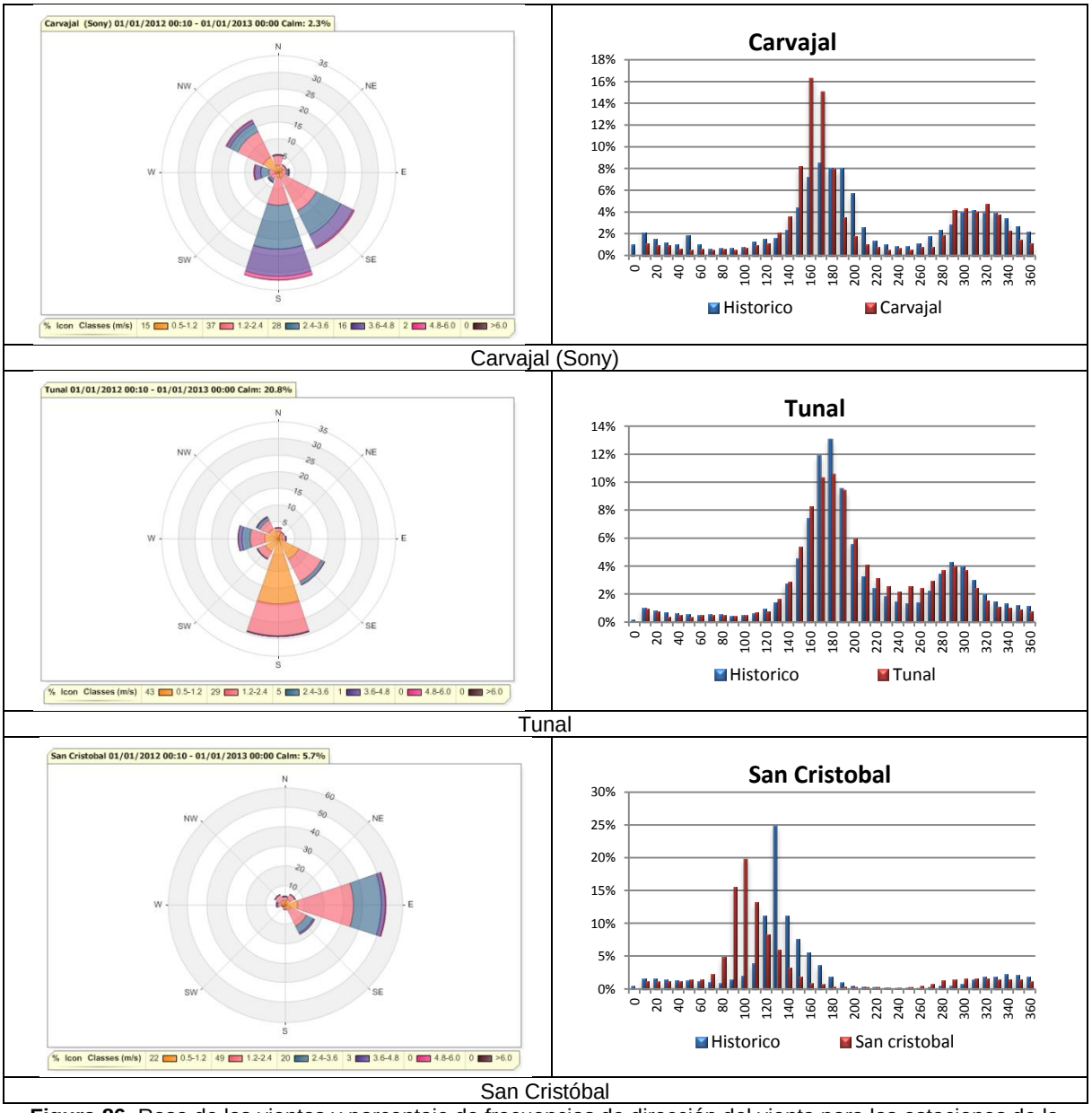


Figura 86. Rosa de los vientos y porcentaje de frecuencias de dirección del viento para las estaciones de la RMCAB.

La Figura 87 muestra gráficas de las velocidades del viento en escala horaria para 2012, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la velocidad del viento. Todas las estaciones muestran el comportamiento típico de la velocidad del viento, en horas de la madrugada se observan velocidades muy bajas o incluso cero y las velocidades máximas se presentan cerca de las 2 pm. Se puede apreciar que las estaciones Occidentales presentan las velocidades de los vientos más altas a diferencia de lo observado al costado Norte de la capital.

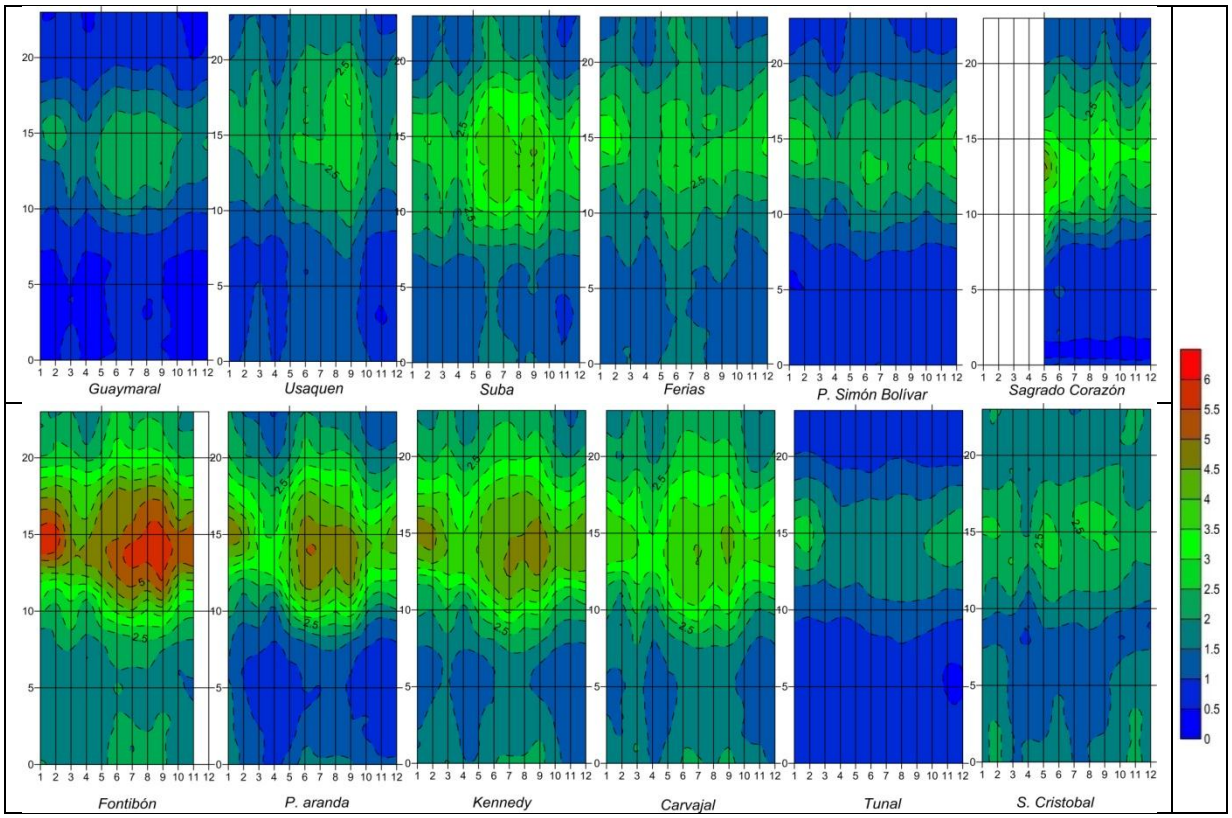


Figura 87. Velocidad del viento por estación, según la media horaria en 2012. Fuente RMCAB.

El mapa de la Figura 88 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para 2012 sobre esta superficie. Cada isotaca está separada 0,5 m/s una de la otra. Así mismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones de los vientos. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento, al Nororiente y Suroriente de la ciudad. Predominan vientos del Norte y del Sur en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en el centro de la capital. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron al Occidente, ubicada en parte de la localidad de Fontibón y Norte de Kennedy, alcanzando velocidades de más de 2.5 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes bajas desde el Suroriente hacia el Occidente de la ciudad, comportamiento que se presentó en cada uno de los trimestres del año.

En la Figura 89 se encuentran los mapas de la ciudad en 4 diferentes escalas horarias para 2012; es evidente que la velocidad en horas de la tarde alcanza su máximo valor además de la variación de la dirección del viento como en el caso de la localidad de Engativá. Otras localidades como el Sur de la ciudad muestran vientos predominantes del Sur - Sureste.

Las Figura 90 a Figura 93 esquematizan el comportamiento de la velocidad y dirección de los vientos según sea en la madrugada, mañana, tarde o noche según la predominancia y el promedio de cada trimestre.

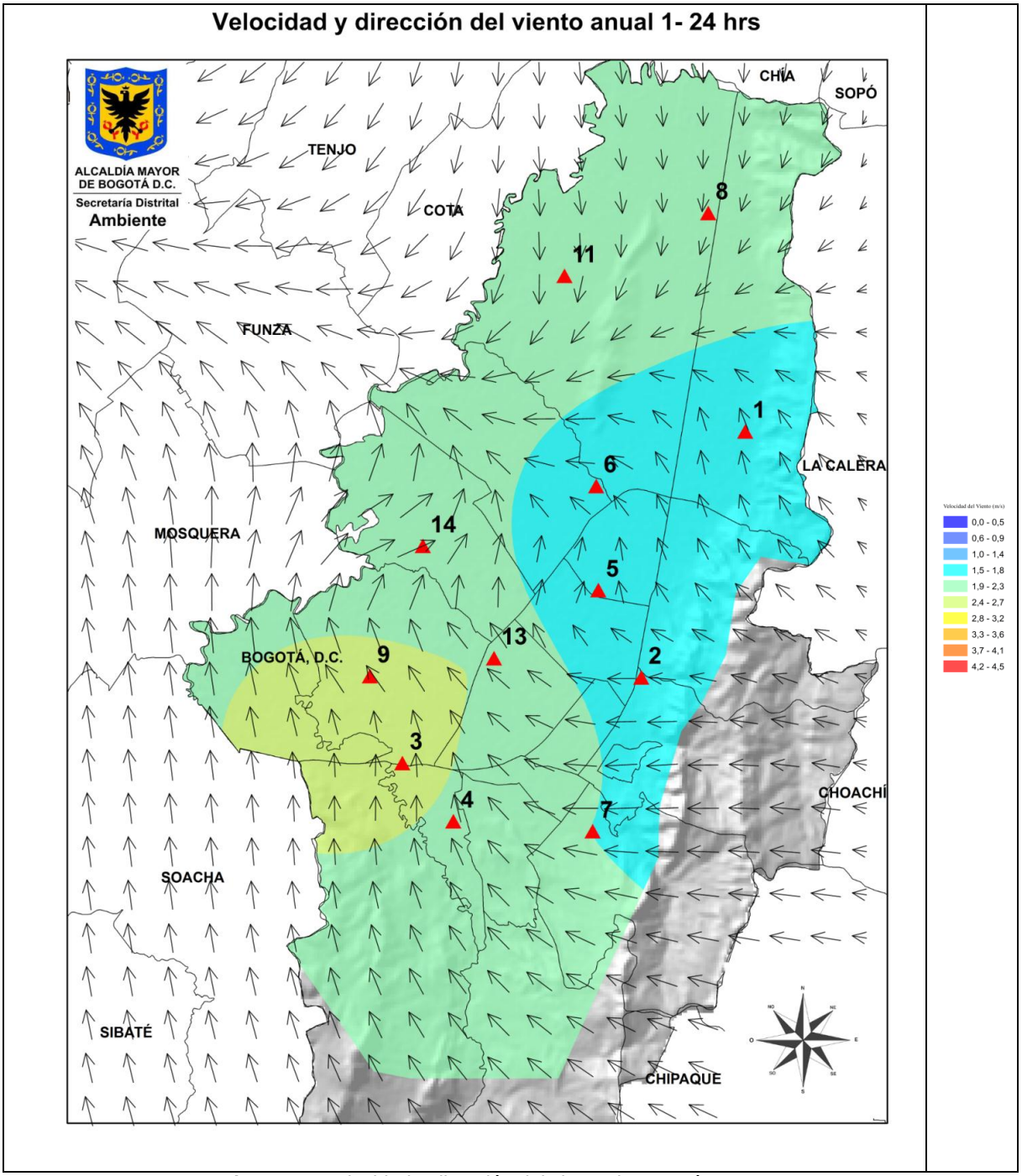
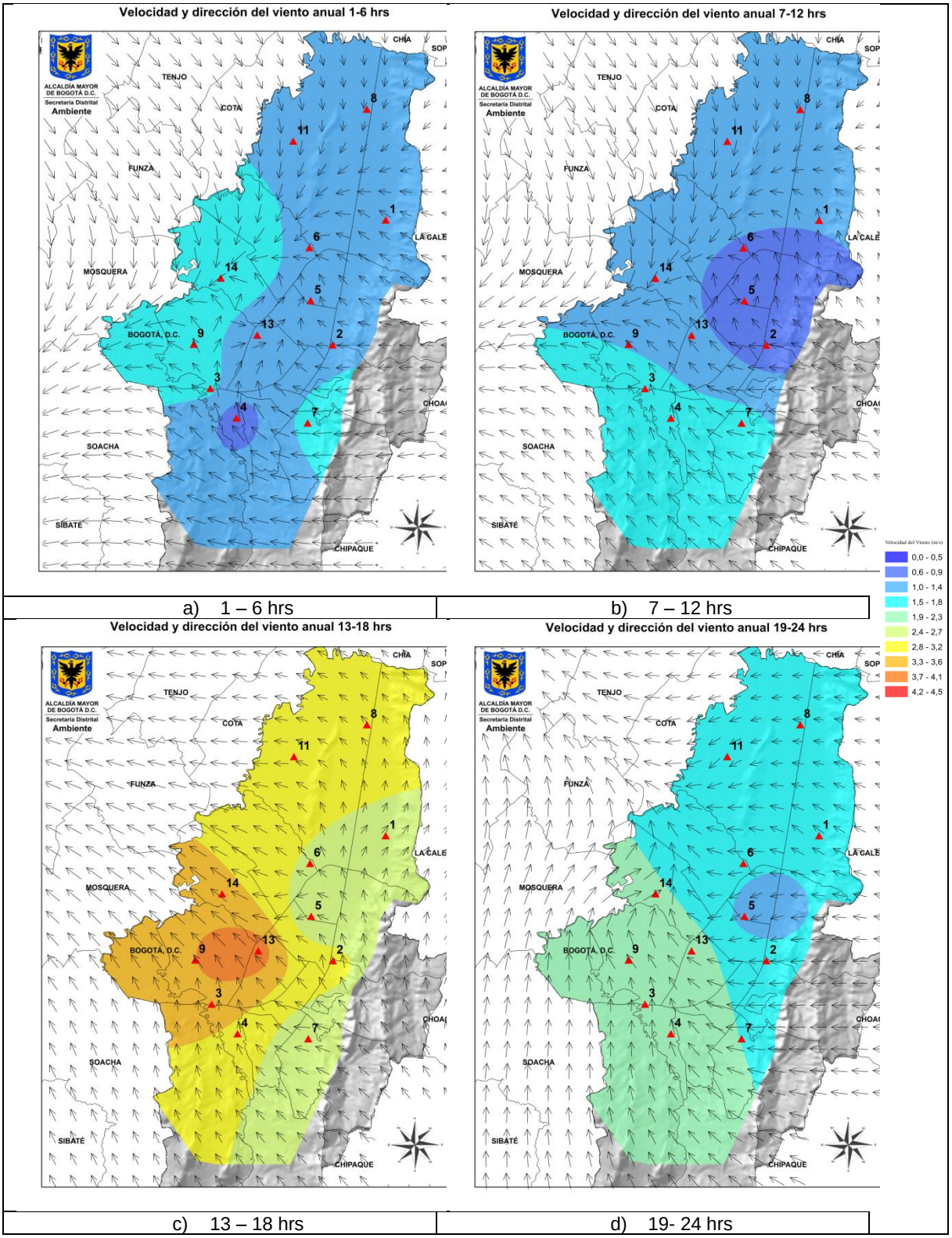


Figura 88. Velocidad y dirección del viento de Bogotá para 2012



a) 1 – 6 hrs

b) 7 – 12 hrs

c) 13 – 18 hrs

d) 19- 24 hrs

Figura 89 . Promedio de velocidad y dirección del viento para distintas horas en 2012. Fuente RMCAB.

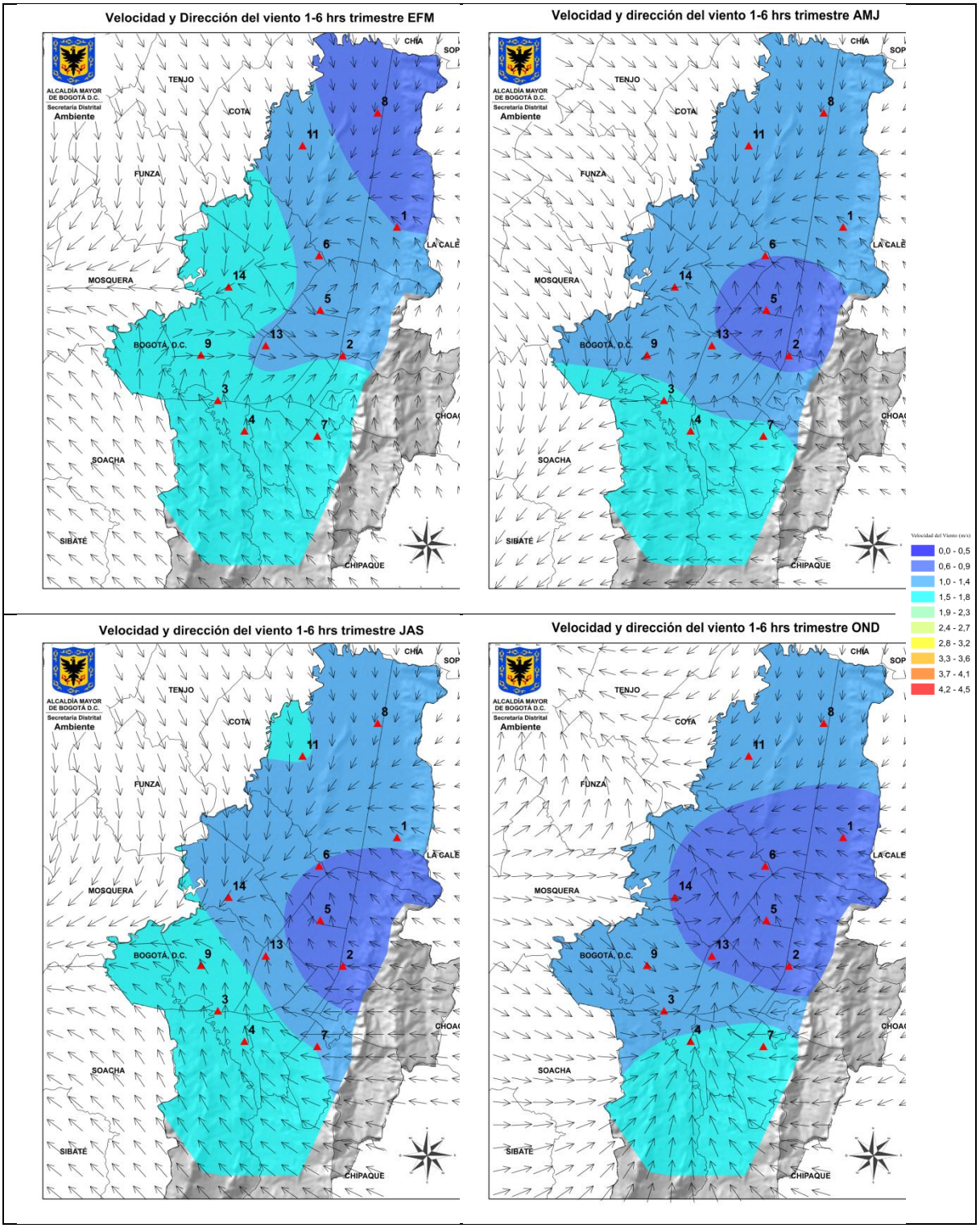


Figura 90. Promedio de velocidad y dirección del viento para la madrugada de los cuatro trimestres de 2012. Fuente RMCAB

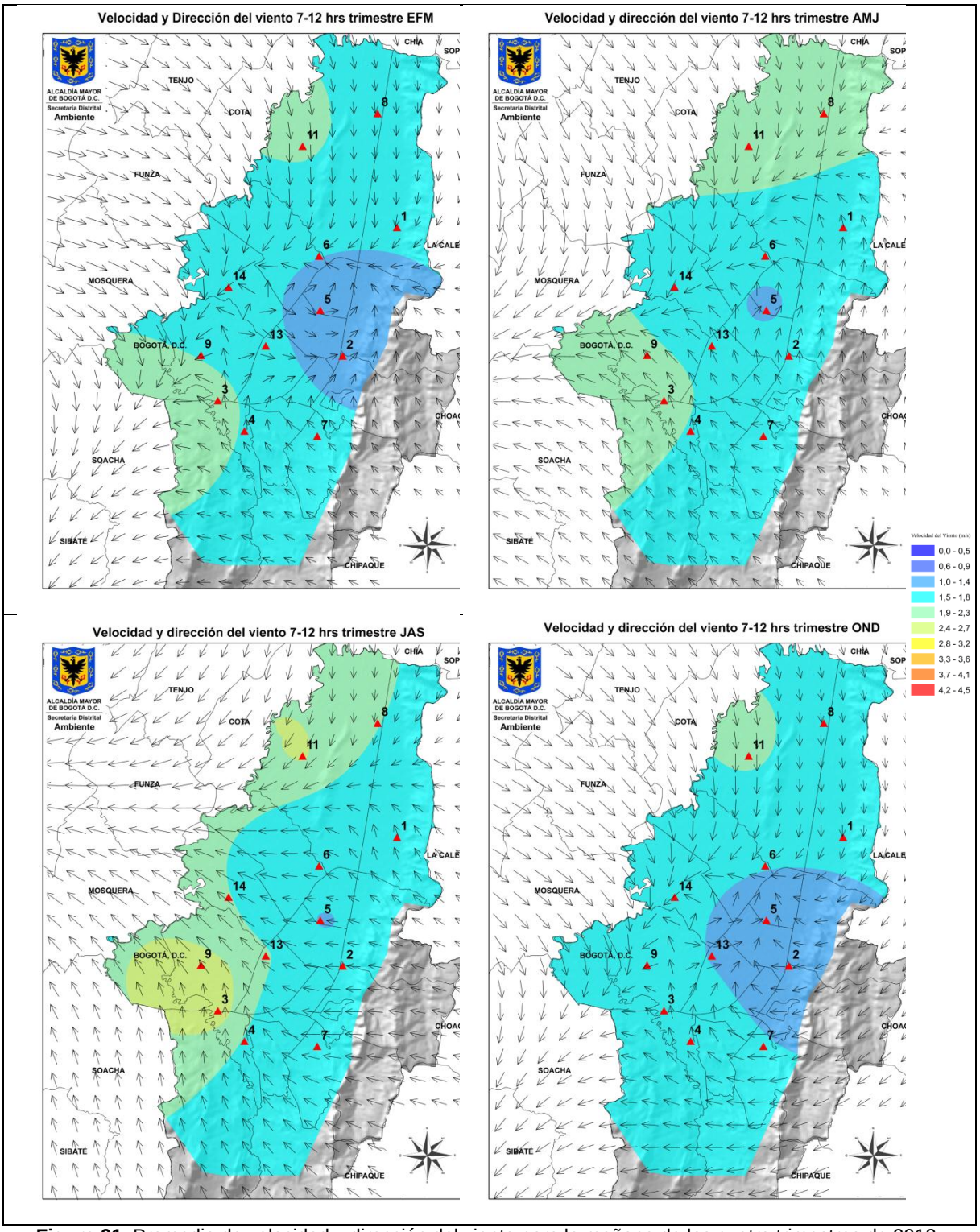


Figura 91. Promedio de velocidad y dirección del viento para la mañana de los cuatro trimestres de 2012. Fuente RMCAB

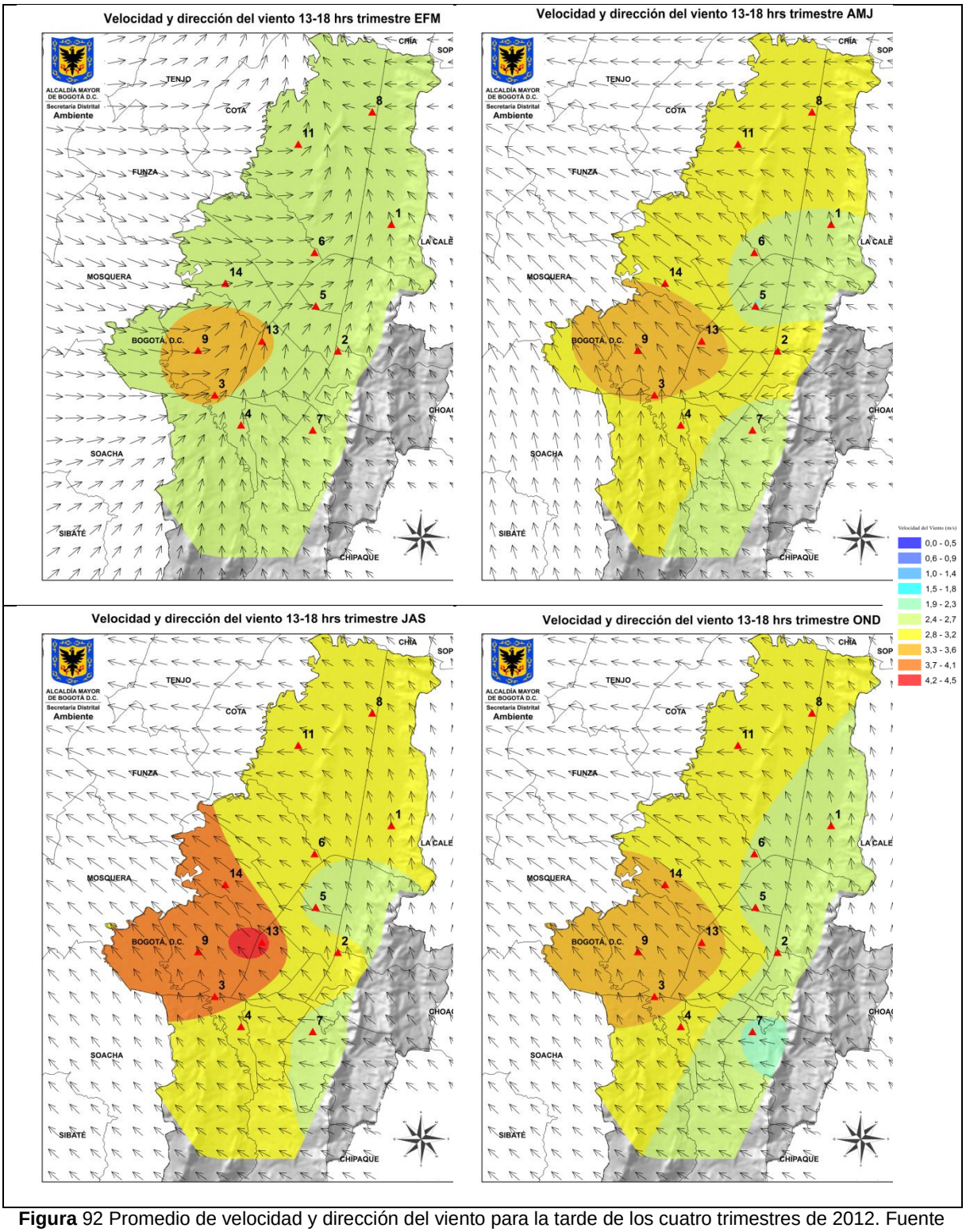


Figura 92 Promedio de velocidad y dirección del viento para la tarde de los cuatro trimestres de 2012. Fuente RMCAB

ISO 9001: 2008
ISO 14001: 2004
NTC GP 1000: 2009
BUREAU VERITAS Certification
BOGOTÁ HUMANA

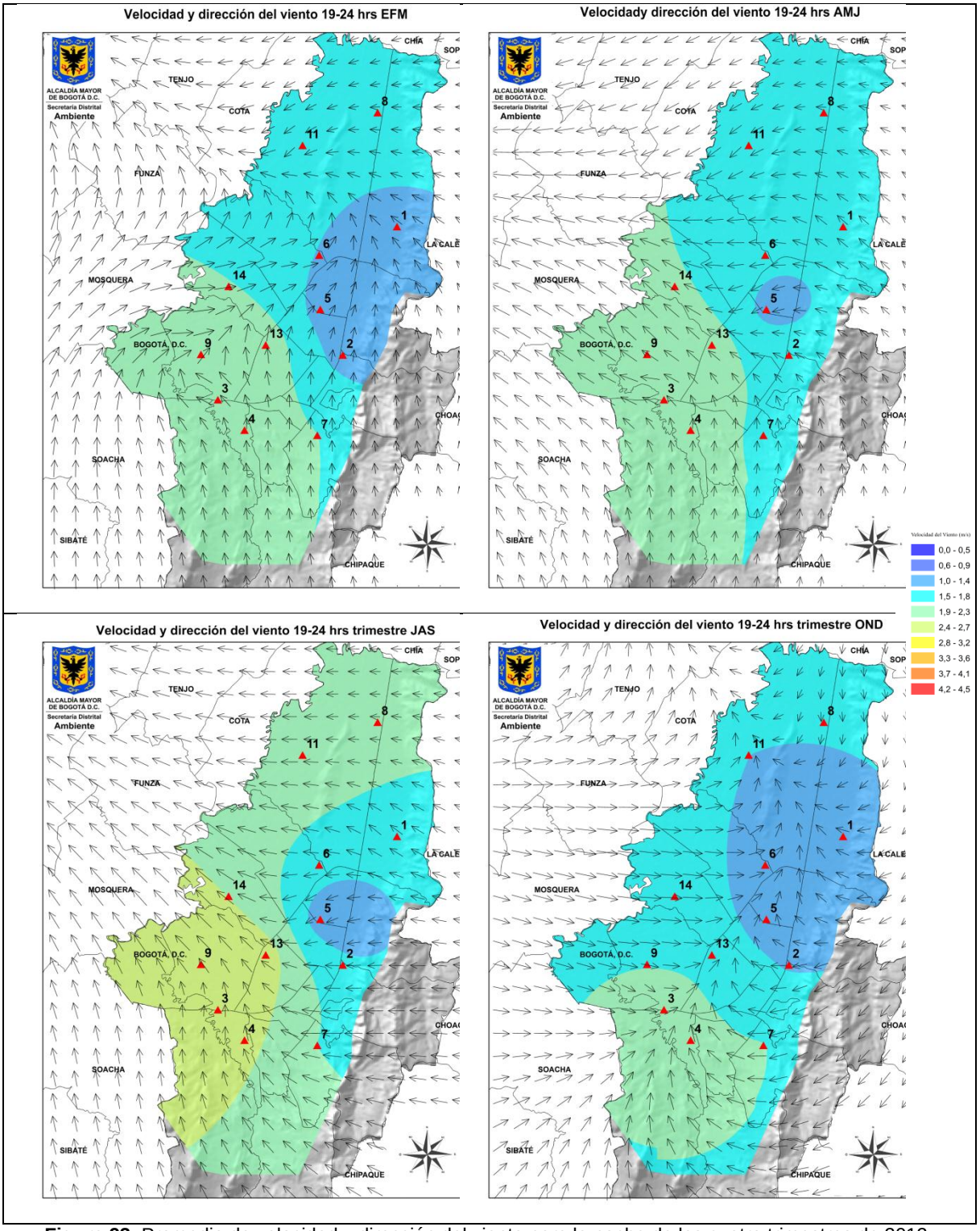


Figura 93. Promedio de velocidad y dirección del viento para la noche de los cuatro trimestres de 2012. Fuente RMCAB

5.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura superficial se refiere esencialmente a la temperatura del aire libre o temperatura ambiental cerca de la superficie de la tierra. La superficie terrestre recibe energía proveniente del Sol, en forma de radiación solar emitida en onda corta. A su vez, la Tierra, con su propia atmósfera, refleja alrededor del 55% de la radiación incidente y absorbe el 45% restante, convirtiéndose, ese porcentaje en calor. Por otra parte, la tierra irradia energía, en onda larga, conocida como radiación terrestre. Por lo tanto, el calor ganado de la radiación incidente debe ser igual al calor perdido mediante la radiación terrestre; de otra forma la tierra se iría tornando, progresivamente, más caliente o más fría. Sin embargo, este balance se establece en promedio; pero regional o localmente se producen situaciones de desbalance cuyas consecuencias son las variaciones de temperatura (Senamhi, 2008). La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía con la hora del día, con la estación del año y con la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura. Por otro lado, la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura.

Bogotá contó con once estaciones de la RMCAB dotadas con sensores de temperatura durante 2012, según se reporta en la Tabla 39. Para analizar el comportamiento de la temperatura superficial registrada por las estaciones de la RMCAB se presentan mapas y gráficas según la variación ya sea horaria o mensual en comparación con los promedios registrados desde el año 1998.

El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante 2012 se caracterizó por valores cercanos a los promedios (periodo 1998-2011, donde las estaciones han variado de locación) salvo el último trimestre en donde se observó un aumento significativo el cuál alcanzó una diferencia de hasta 0,6°C, en el mes de octubre. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 94 la cual muestra el promedio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura en 2012.

Tabla 50. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura 2012

Estación	ENE	FEB	MAR	Abr	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Guaymaral (Escuela)	99	93	89	100	99	67	99	99	99	94	100	84
Usaquén (Bosque)	43	79	87	99	99	96	98	81	93	100	99	99
Suba (Corpas)	85	92	100	78	99	99	71	99	96	100	98	100
Las Ferias (Carrefour)	99	85	90	99	98	99	100	71	99	99	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	90	97	98	93	100	99	100	99	99	100	86	97
Fontibón	59	78	75	73	83	88	65	87	98	99	99	66
Puente Aranda	100	92	100	95	99	100	100	98	100	99	100	94
Kennedy	100	98	97	100	99	99	100	81	99	94	97	85
Carvajal (Sony)	70	71	89	100	99	99	100	98	98	99	99	98
Tunal	99	99	48	91	99	97	100	78	94	99	99	99
San Cristóbal	100	96	86	100	100	100	85	92	93	97	78	84

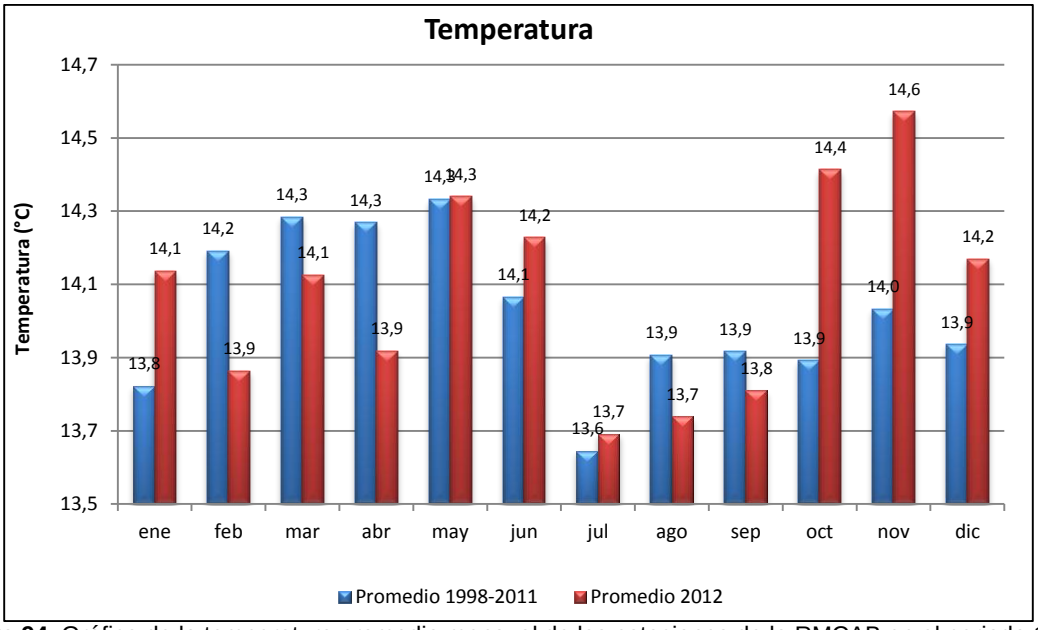


Figura 94. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2011 y su comparación con el 2012. Fuente RMCAB.

La Tabla 51 muestra la variación porcentual en cada uno de los meses de 2012 con respecto a los promedios de los últimos años. La Figura 95, muestra la evolución de la temperatura promedio en el periodo 1998-2012. Como se observa en dicha figura, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2010 y 2005 mientras que los de menor temperatura fueron 1999 y 2007.

Tabla 51. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en 2012

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2,3%	-2,3%	-1,1%	-2,5%	0,0%	1,2%	0,3%	-1,2%	-0,3%	3,3%	2,7%	0,9%

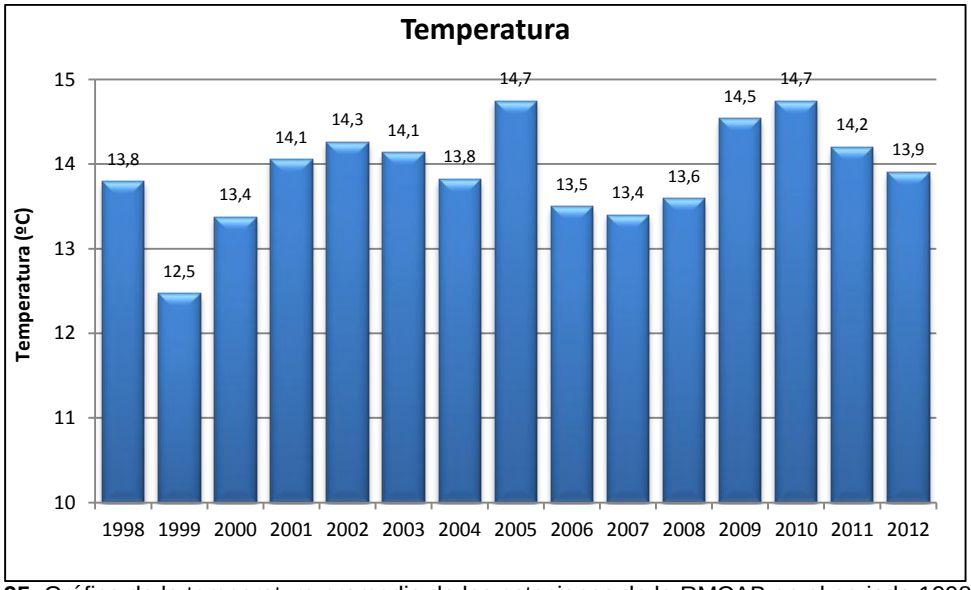


Figura 95. Gráfica de la temperatura promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2012. Fuente RMCAB.

La Tabla 52 muestra esta evolución distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 52. Promedios de temperatura media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2012. Fuente RMCAB

Valores (°C)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Guaymaral 2m 1997	12,9	12,7	12,6	12,6	12,6	13,6	13,5	13,5	13,8	14,4	14,9	14,3	14,3
Usaquén 1997								12,6	11,9	14,6	15,1	14,4	14,4
Suba 1997	10,6	12,8	13,6		12,1	15,3	12,8	13,2	13,7	12,9	13,4	14,0	13,9
Las ferias 2000	15,6	16,0	16,0	16,2	15,3	15,7		14,2	13,4	14,0	14,2	13,8	13,9
Parque Simón Bolívar 2001					15,8	15,8		14,3	14,0	14,7	14,9	14,5	14,6
Fontibón 1999	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,1	14,0	14,0	14,2	14,8	14,7	13,7	13,8
Puente Aranda 1999	14,0	14,5	14,6	14,7	14,5	14,7	14,6	14,6	14,0	14,6	14,6	14,0	13,8
Kennedy 2005									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5
Carvajal 1997						12,8	12,1	11,3	14,0	15,4	15,6	15,0	15,2
Tunal 2006							12,3		14,2	14,6		13,2	13,4
San Cristóbal 2009										13,5	13,2	13,8	13,0

El comportamiento horario de la temperatura varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la capa nubosa presente en la atmósfera entre otros, observándose los datos de temperatura máximos en horas de la tarde y los valores mínimos en horas de la madrugada. Como se puede apreciar en la Figura 96, la temperatura promedio de las estaciones estuvo por encima del promedio en horas del medio día y muy similares tanto en las noches como en las madrugadas.

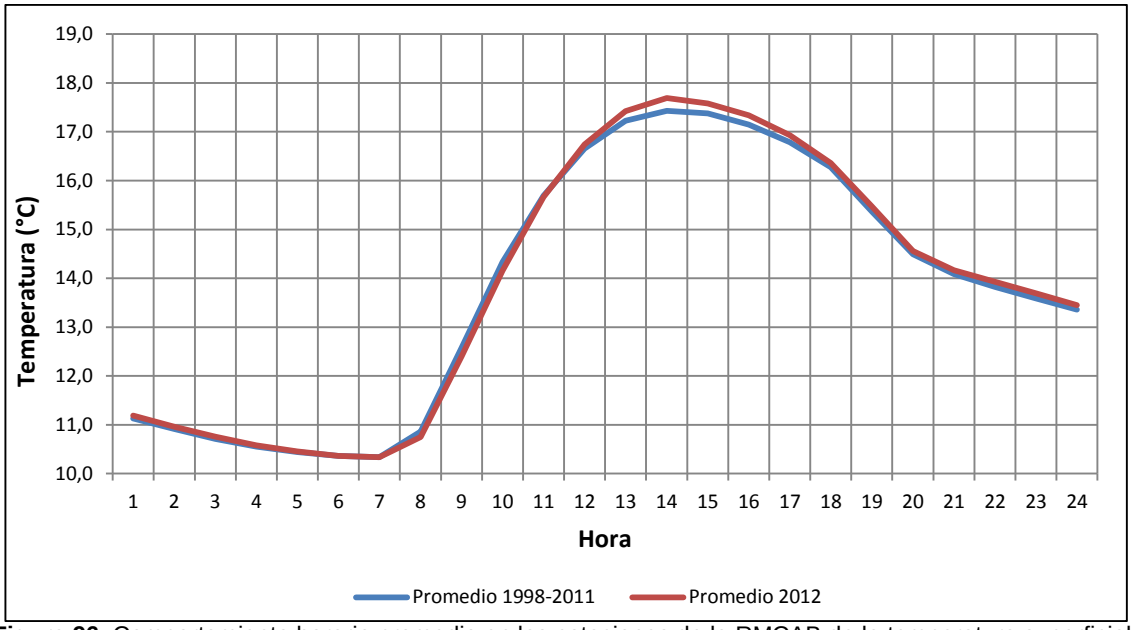


Figura 96. Comportamiento horario promedio en las estaciones de la RMCAB de la temperatura superficial.

Las Figura 97 Figura 98 muestra gráficas de las temperaturas superficiales en escala horaria para cada uno de los meses de 2012, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la magnitud de la temperatura promedio de la hora en °C. La Figura 97 representa las temperaturas a los 2, 8 y 20 metros de la estación de Guaymaral y las diferencias entre 8m - 2m y entre 20m - 2m. La Figura 98 esquematiza las temperaturas superficiales del resto de las estaciones. Al igual que en la Figura 96, se observa un período de disminución leve de la temperatura entre las 2 y las 5 de la mañana, un posterior aumento significativo entre las 6:00 y las 12:00, hora en la cual se alcanzan los máximos valores hasta las 14:00. A continuación desciende levemente hasta alcanzar temperaturas similares a las registradas en las primeras horas del día.

La estación de Guaymaral alcanzó las temperaturas más altas iniciando y finalizando el año a los 2m; como es de esperar, estas temperaturas tienden a disminuir con la altura aunque se mantiene la variabilidad en los tres niveles observados. Por su parte, las inversiones térmicas observadas entre los 20 y 8 m fueron más notorias en enero del año; las inversiones 20 - 8 m presentaron diferencias significativas en el primer semestre del año. El resto de estaciones son similares a lo acotado anteriormente; nótese las bajas temperaturas en la estación de San Cristóbal en horas de la madrugada a lo largo de los últimos meses lo que denota baja nubosidad en horas de la madrugada.

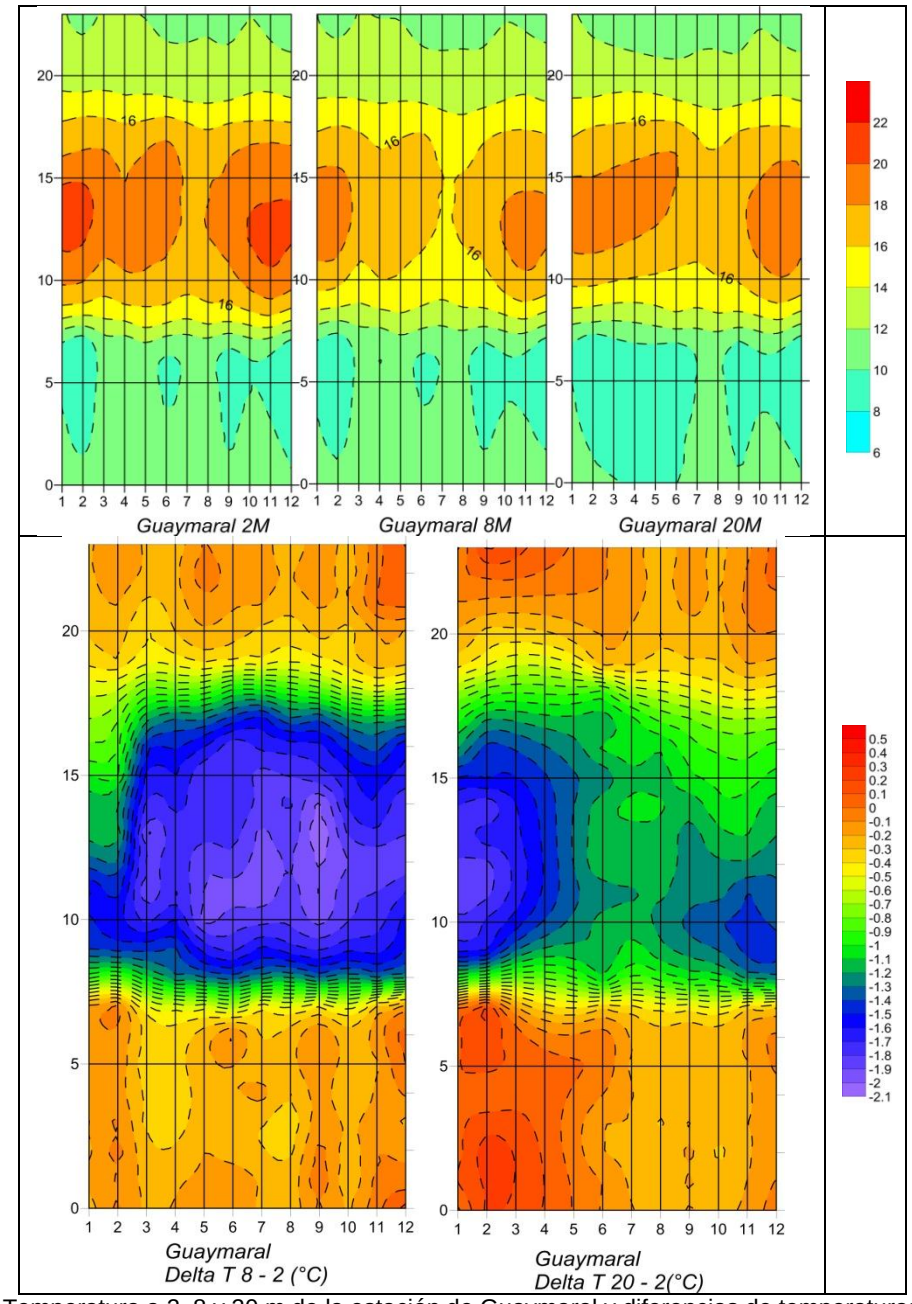


Figura 97. Temperatura a 2, 8 y 20 m de la estación de Guaymaral y diferencias de temperaturas entre 8 – 2 m y 20 – 2 m. Fuente RMCAB.

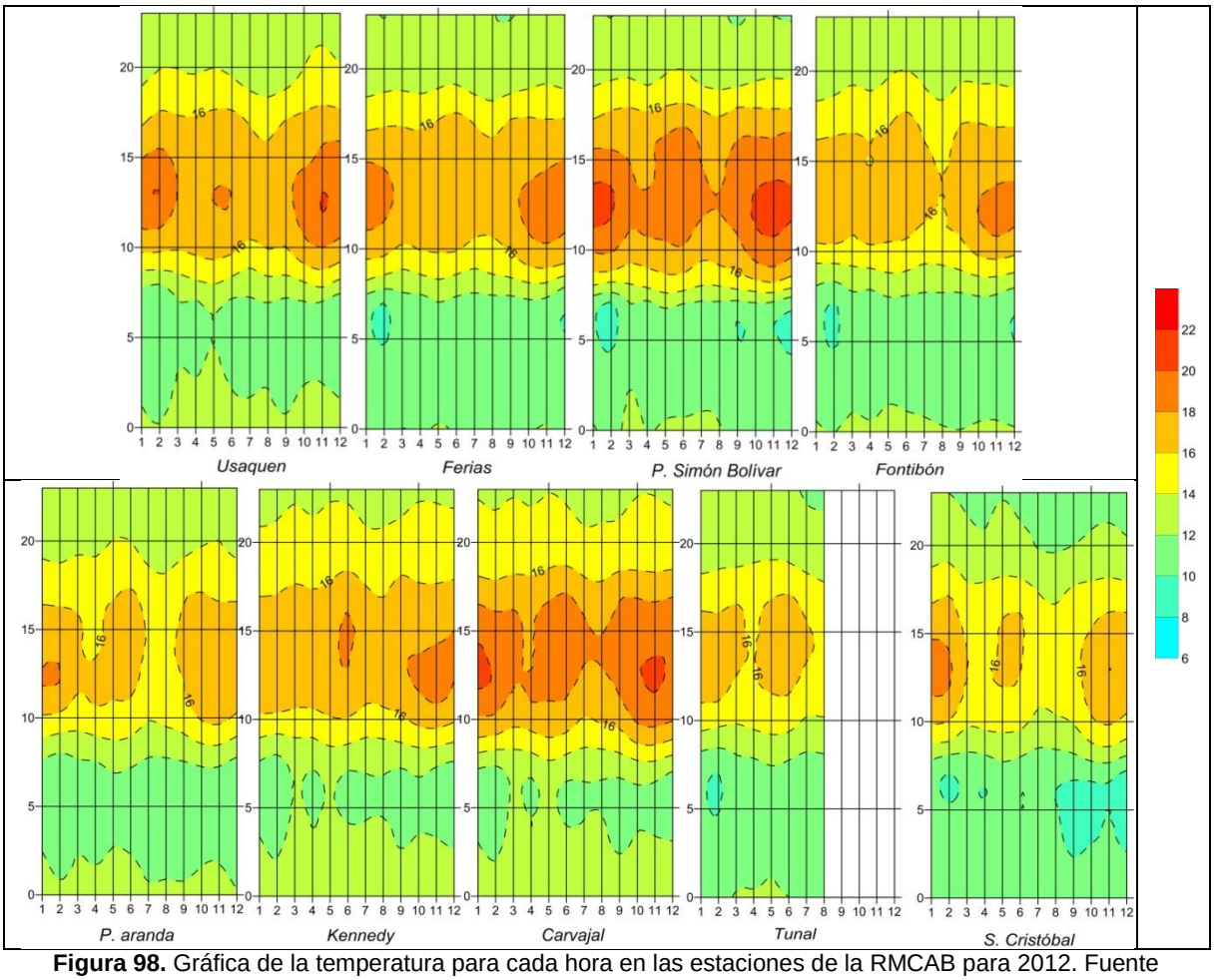


Figura 98. Gráfica de la temperatura para cada hora en las estaciones de la RMCAB para 2012. Fuente RMCAB

Adicionalmente la Tabla 53 y Tabla 54 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación para 2012.

Tabla 53. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en 2012 y su promedio. Fuente RMCAB

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total general
Guaymaral 2m 1997	21,47	21,51	18,81	20,35	19,85	15,04	18,83	19,17	19,51	20,66	21,77	19,02	19,66
Usaquén 1997	11,09	18,00	17,40	19,13	18,89	18,73	17,84	16,15	17,52	20,04	20,86	20,34	17,99
Suba 1997	18,95	21,12	20,08	16,42	19,91	19,82	13,87	19,38	19,36	21,82	22,24	21,59	19,54
Las ferias 2000	19,43	18,23	17,05	18,56	18,56	18,56	17,97	14,61	18,19	19,77	19,94	19,47	18,36
Parque Simón Bolívar 2001	19,80	21,25	19,65	19,99	20,00	20,15	18,89	18,97	19,72	21,53	20,89	21,30	20,17
Fontibón 1999	12,22	16,18	14,43	13,57	15,09	16,00	12,85	15,57	17,40	18,90	19,38	12,92	15,36
Puente Aranda 1999	18,68	18,06	17,38	17,31	17,62	17,40	16,26	16,29	17,00	18,55	18,84	17,85	17,60
Kennedy 2005	18,25	18,33	18,16	17,63	17,78	18,72	17,92	15,91	18,39	18,33	19,27	16,50	17,92
Carvajal 1997	16,73	15,51	18,23	19,55	19,21	19,62	18,83	18,79	19,43	20,97	21,18	20,84	19,08
Tunal 2006	17,85	17,62	9,88	16,81	17,48	17,36	16,60	13,71					15,89
San Cristóbal 2009	19,38	19,13	16,00	16,91	16,90	16,76	13,87	15,23	15,11	17,86	16,52	16,71	16,69

Tabla 54. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en 2012 y su promedio. Fuente RMCAB

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total general
Guaymaral 2m 1997	9,42	8,26	9,72	9,93	10,04	7,46	9,77	10,19	8,41	9,37	9,04	7,23	9,08
Usaquén 1997	6,53	9,02	10,87	11,13	11,85	11,06	11,27	10,69	10,47	11,10	11,18	10,35	10,46
Suba 1997	8,17	7,93	10,05	8,32	10,02	9,32	7,02	9,95	8,62	9,55	9,31	8,25	8,88
Las ferias 2000	10,17	8,95	10,10	10,37	10,88	10,22	10,42	8,89	9,87	10,35	10,42	9,74	10,04
Parque Simón Bolívar 2001	9,32	8,78	11,10	10,49	10,62	10,03	10,45	10,48	8,99	10,03	10,36	9,20	9,99
Fontibón 1999	7,28	8,71	8,95	8,06	9,17	9,34	8,35	9,95	9,96	10,46	10,34	6,51	8,92
Puente Aranda 1999	10,95	9,89	11,22	10,91	11,50	10,98	10,80	10,85	10,56	10,78	10,94	10,34	10,81
Kennedy 2005	11,22	10,59	12,10	11,48	11,78	11,35	11,64	10,63	10,95	11,18	11,26	9,46	11,14
Carvajal 1997	9,47	8,32	11,32	11,46	11,87	11,41	11,64	11,63	11,19	11,60	11,47	11,07	11,05
Tunal 2006	10,00	9,32	6,66	10,68	11,16	10,45	10,50	8,87					9,70
San Cristóbal 2009	10,16	9,49	9,79	9,66	10,26	9,51	8,54	9,48	8,40	9,33	8,70	8,41	9,31

La Tabla 55 presenta la amplitud térmica para cada uno de los meses de 2012. La estación que mayor amplitud corresponde a Suba con un promedio de 10,67°C seguido de Guaymaral con 10,60°C mientras que la estación de Fontibón presenta 6,45 °C consolidándose como la de menor amplitud térmica; pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosdad que no permite el ingreso o salida de radiación en la superficie, no obstante según los mapas de precipitación, los acumulados de Guaymaral son mayores a Fontibón por lo que se puede concluir el tipo de nubosidad que acompaña estos dos sectores de la cudad: nubes de desarrollo convectivo y alcance vertical en el Norte de Bogotá con chubascos; en sectores de Fontibón de tipo cirros o incluso estratos con llovizanas o lluvias ligeras en promedio. La historia de este tipo de análisis muestra que la amplitud térmica en Bogotá no supera los 12°C.

Tabla 55. Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en 2012.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Guaymaral 2m 1997	12,05	13,26	9,09	10,42	9,82	7,58	9,05	8,98	11,10	11,29	12,72	11,79	10,60
Usaquén 1997	4,55	8,98	6,53	8,00	7,03	7,67	6,57	5,46	7,05	8,93	9,68	9,99	7,54
Suba 1997	10,78	13,19	10,03	8,10	9,89	10,51	6,85	9,43	10,74	12,27	12,93	13,34	10,67
Las ferias 2000	9,26	9,29	6,95	8,19	7,68	8,34	7,55	5,72	8,32	9,42	9,52	9,73	8,33
Parque Simón Bolívar 2001	10,48	12,47	8,54	9,50	9,38	10,12	8,44	8,49	10,73	11,50	10,54	12,11	10,19
Fontibón 1999	4,95	7,48	5,48	5,51	5,92	6,65	4,51	5,62	7,44	8,44	9,04	6,41	6,45
Puente Aranda 1999	7,73	8,17	6,16	6,40	6,13	6,42	5,46	5,45	6,44	7,76	7,90	7,51	6,79
Kennedy 2005	7,03	7,74	6,05	6,15	6,00	7,37	6,28	5,28	7,44	7,15	8,00	7,03	6,79
Carvajal 1997	7,25	7,19	6,91	8,09	7,34	8,21	7,19	7,16	8,24	9,37	9,71	9,76	8,04
Tunal 2006	7,85	8,30	3,23	6,13	6,31	6,92	6,10	4,84					6,21
San Cristóbal 2009	9,22	9,64	6,21	7,25	6,64	7,25	5,34	5,75	6,70	8,54	7,82	8,30	7,39

A continuación se presenta los valores de temperatura parta cada trimestre en las estaciones RMCAB. Se observa que en todos los casos la temperatura fue mas alta en el último trimestre salvo en la estación de San Cristóbal.

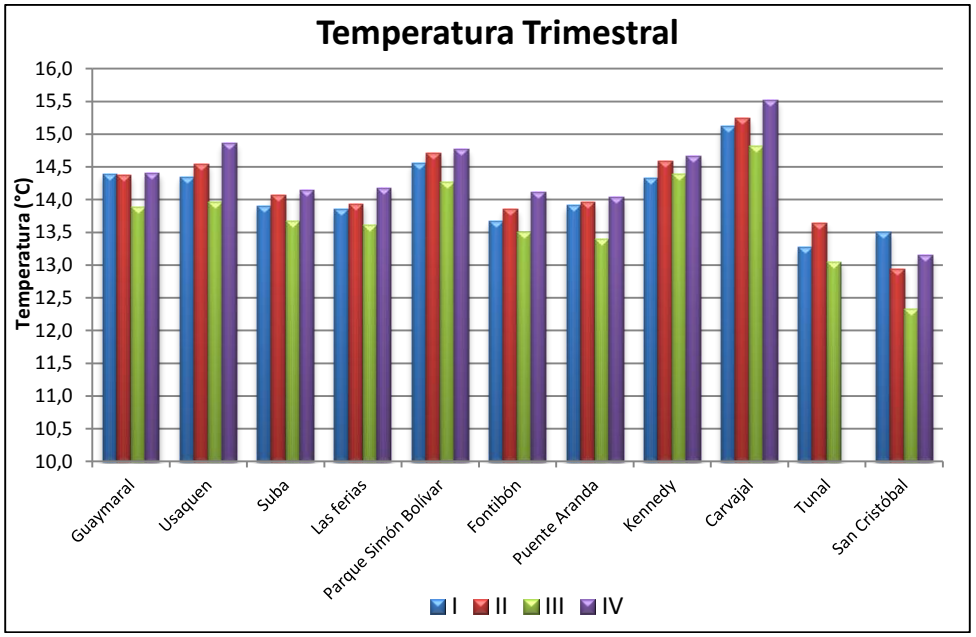


Figura 99. Gráfica de la temperatura promedio de los 4 trimestres para cada una de las estaciones de la RMCAB en 2012. Fuente RMCAB.

Los mapas de las Figura 100 a Figura 105 muestran a la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para 2012 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación se presentan distintas escalas temporales, ya sea anual, trimestrales o mensuales. En estos mapas se puede observar que los dos sectores con menor temperatura se encuentran al Suroriente de la capital. Los mayores promedios se encuentran cercanos a las fronteras de las localidades Puente Aranda, los Mártires Antonio Nariño y Tunjuelito, representados por la estación de Carvajal y Puente Aranda.

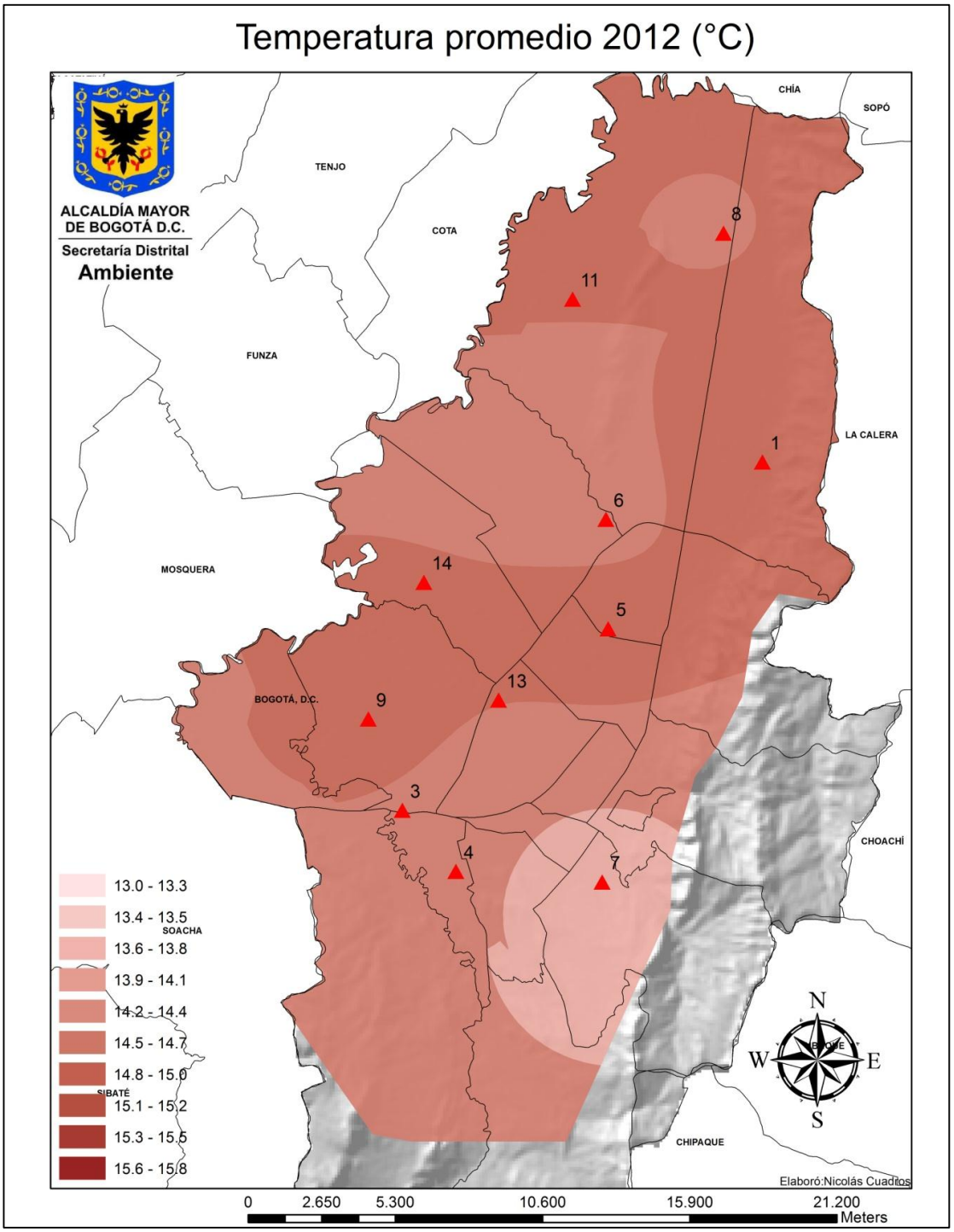


Figura 100. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB para el II trimestre de 2012. Fuente RMCAB

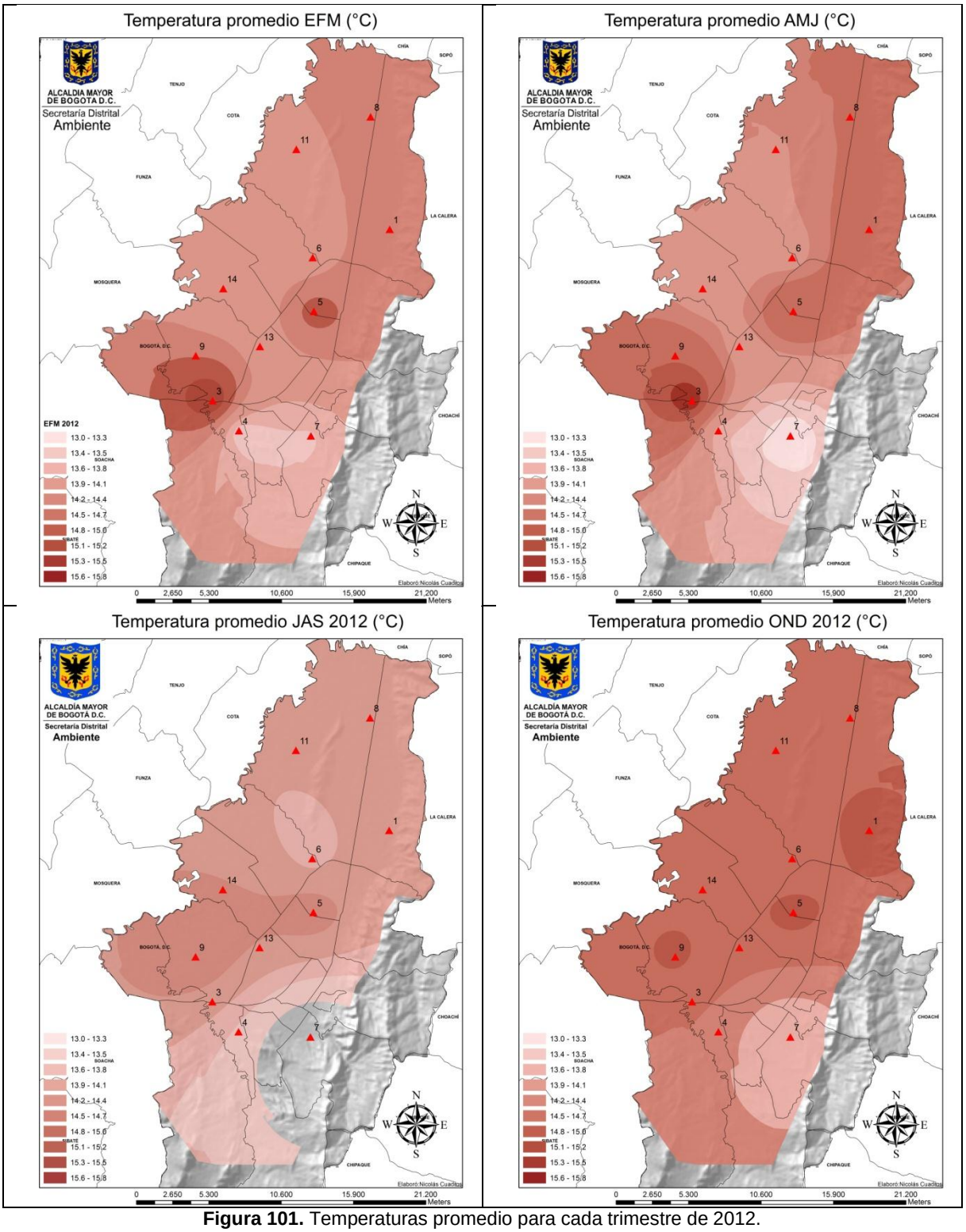


Figura 101. Temperaturas promedio para cada trimestre de 2012.

Los mapas de la Figura 102 y Figura 103 presentan la temperatura sobre la ciudad de Bogotá en cada mes de 2012 en los cuales se observa la evolución mensual en las distintas localidades de Bogotá. Como se puede notar, mayo, junio, octubre y noviembre han sido los meses de mayor temperatura con mayor valor en el Occidente; se observa claramente que en julio y agosto se presentaron las menores temperaturas, hacia el Suroriente de la ciudad.

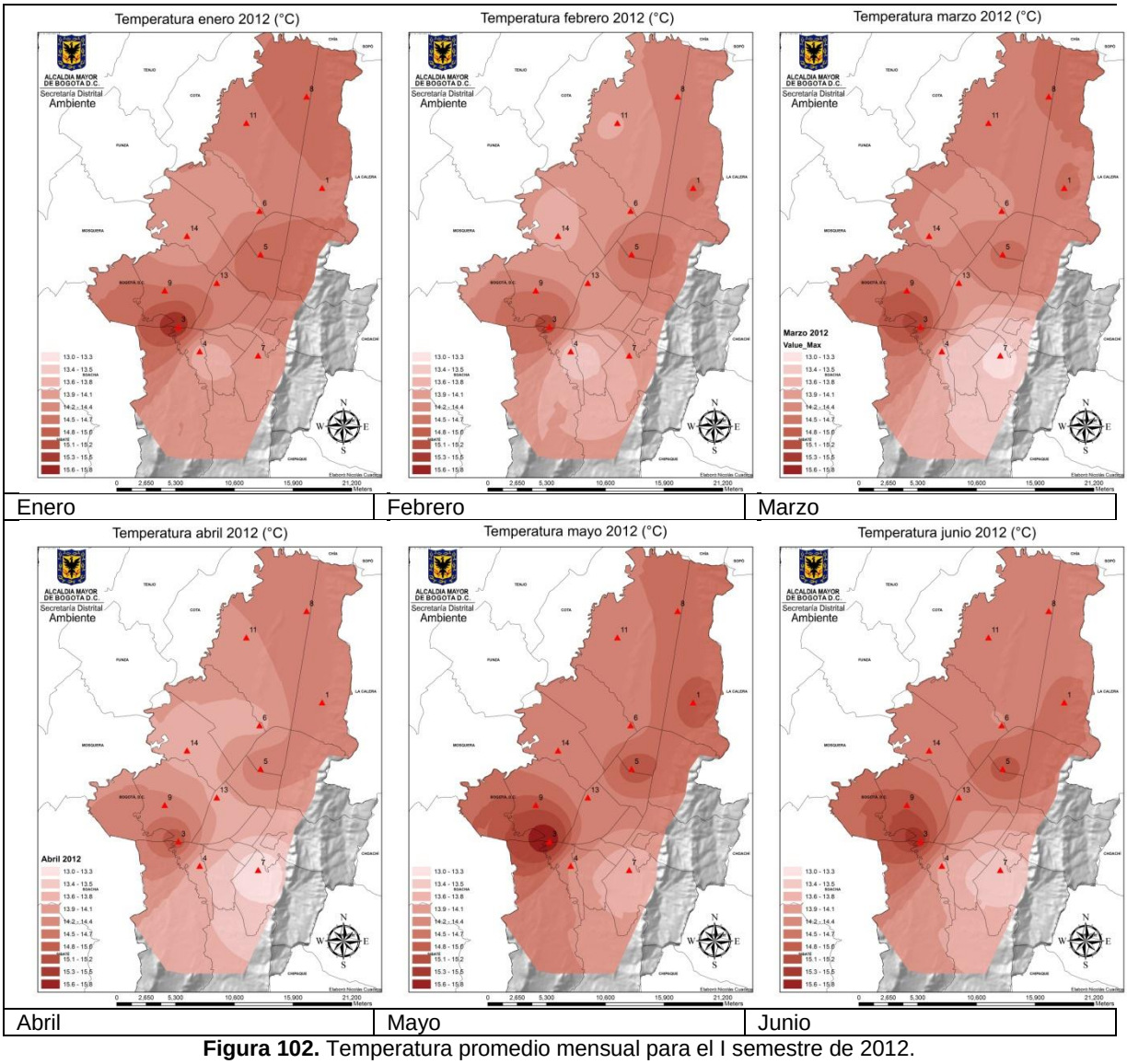


Figura 102. Temperatura promedio mensual para el I semestre de 2012.

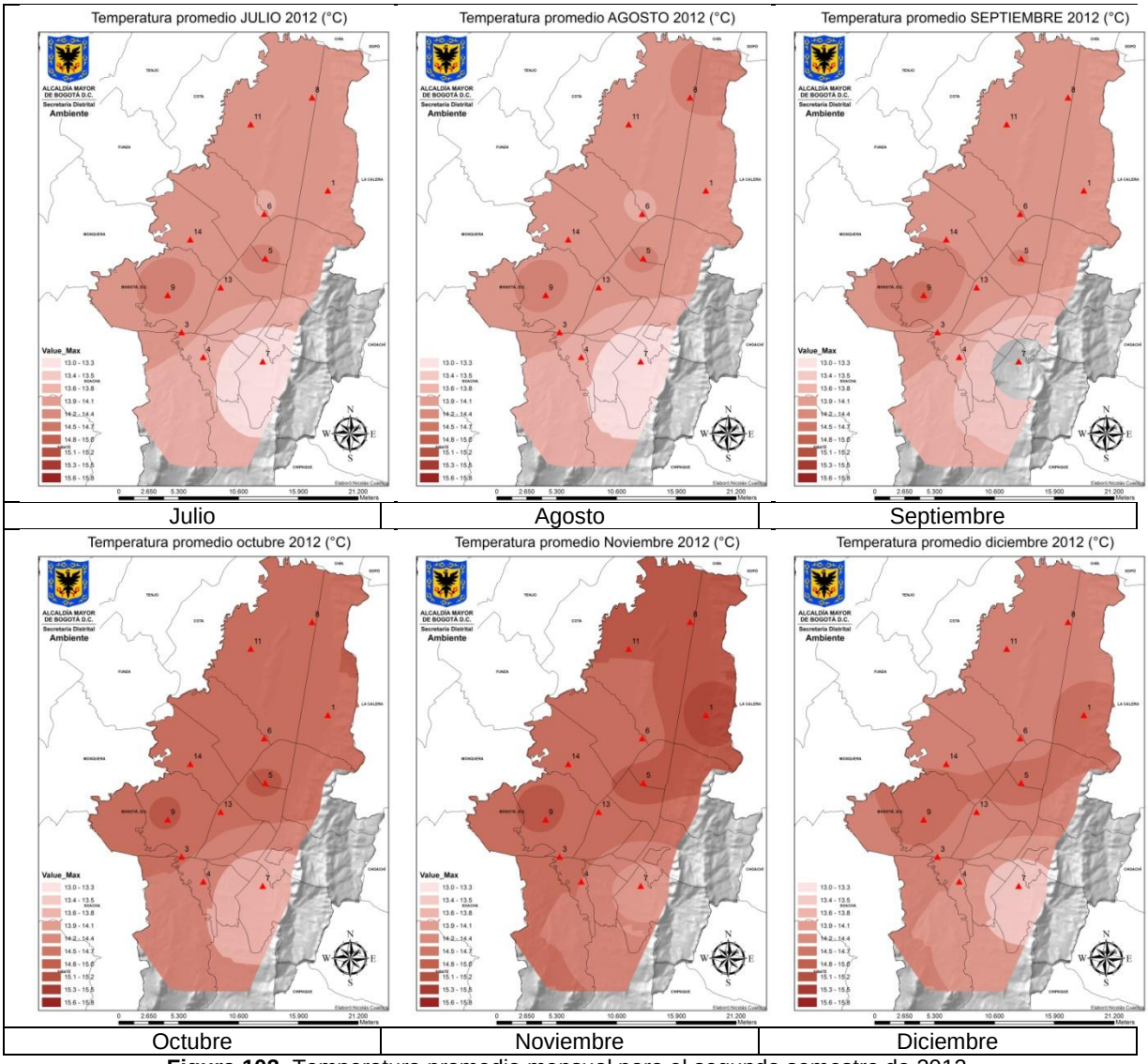
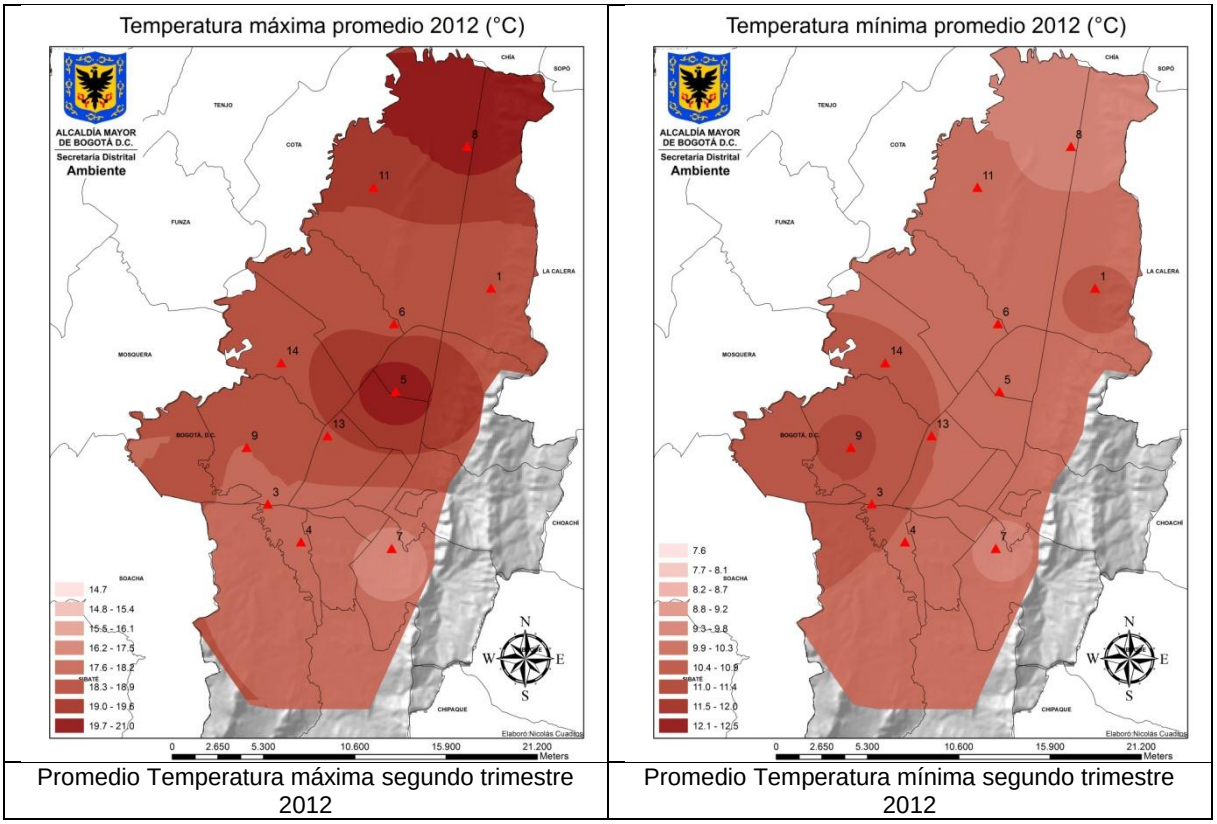


Figura 103. Temperatura promedio mensual para el segundo semestre de 2012.

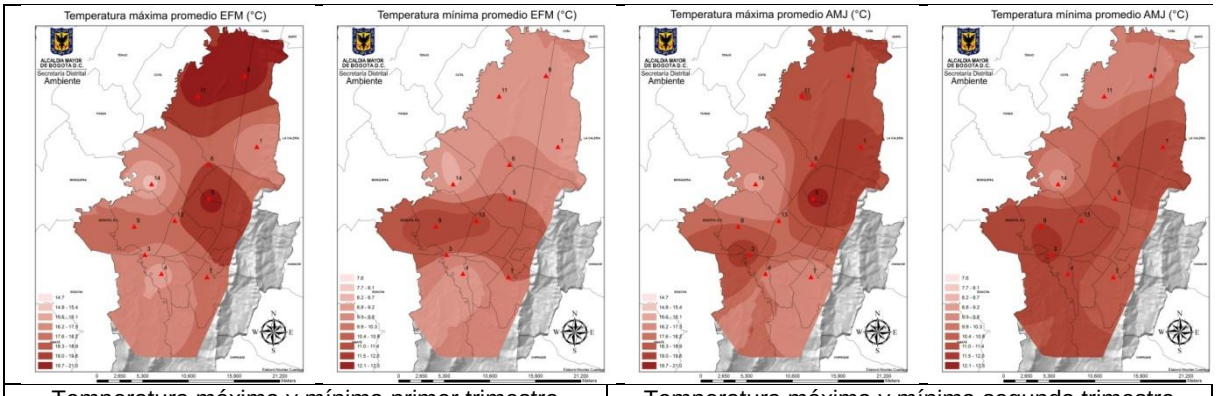
De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 104 y la Figura 105 a la muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente y su seguimiento permite detectar zonas con susceptibilidad de heladas y/o alto consumo de energía, entre otros.



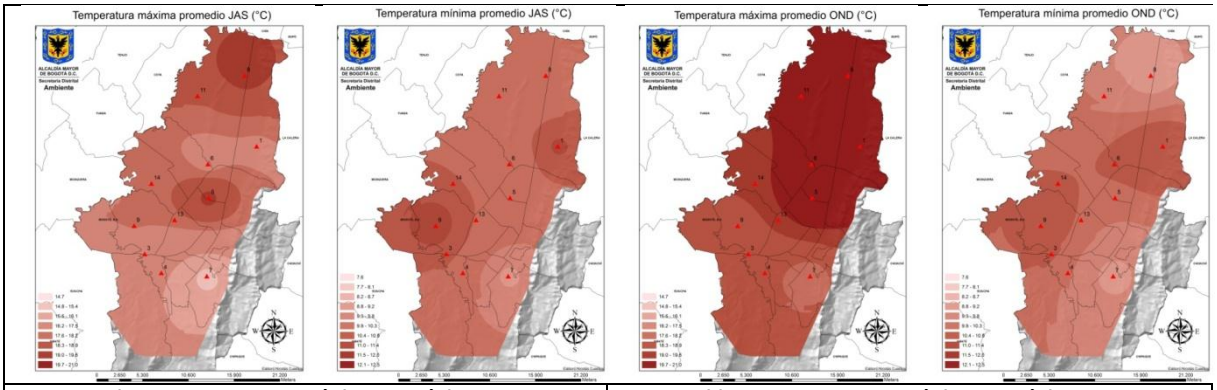
Promedio Temperatura máxima segundo trimestre 2012 | Promedio Temperatura mínima segundo trimestre 2012

Figura 104. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

La Figura 104 muestra que los valores mas altos de temperaturas máximas se observaron en el sector central y Norte de la ciudad, las mínimas más bajas también hacia el Norte y en el Oriente. La Figura 105 describe el comportamiento máximo y mínimo para cada trimestre.



Temperatura máxima y mínima primer trimestre | Temperatura máxima y mínima segundo trimestre



a) Temperatura máxima y mínima tercer trimestre	b) Temperatura máxima y mínima cuarto trimestre

Figura 105. Temperatura máxima y mínima trimestral de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB

5.4. RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar que llega a la Tierra está expresada por la magnitud irradiancia, que mide la intensidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre. La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir cuatro tipos de radiación[11]:

a. Radiación directa. Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

b. Radiación difusa. Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

c. Radiación reflejada: La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

d. Radiación global: es la suma de las tres radiaciones.

[11] *Definiciones* http://www.solarpedia.es/index.php/Radiación_solar

El comportamiento de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 106, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2011 de radiación mensual para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 39) y su comparación con el promedio de radiación global en cada uno de los meses de 2012. Las condiciones que actúan de manera general en la radiación global dependen de:

- La Distancia tierra-sol. Hay que tener en cuenta que a mediados del año la distancia tierra-sol es mayor (afelio) y por lo tanto llega menos radiación a la superficie de la tierra, mientras que, a principios del año, en el perihelio, la tierra está más cerca al sol, por lo que llega mayor radiación.

- La Nubosidad. En los meses en los que se registra menor radiación, se presenta la primera temporada de lluvias, la cual está asociada a un incremento generalizado de la nubosidad. (IDEAM)

Se puede observar en la Figura 106 que la radiación en los meses de 2012 fue menor en su acumulado a lo largo del año con respecto al periodo histórico de referencia salvo en los meses de maño y junio donde se apreció un leve incremento de 0,5% y 6.1% respectivamente. Abril fue el mes con menor radiación solar, con un acumulado de 2992 W/m^2. La Tabla 56 muestra la variación porcentual de la radiación con respecto al periodo histórico.

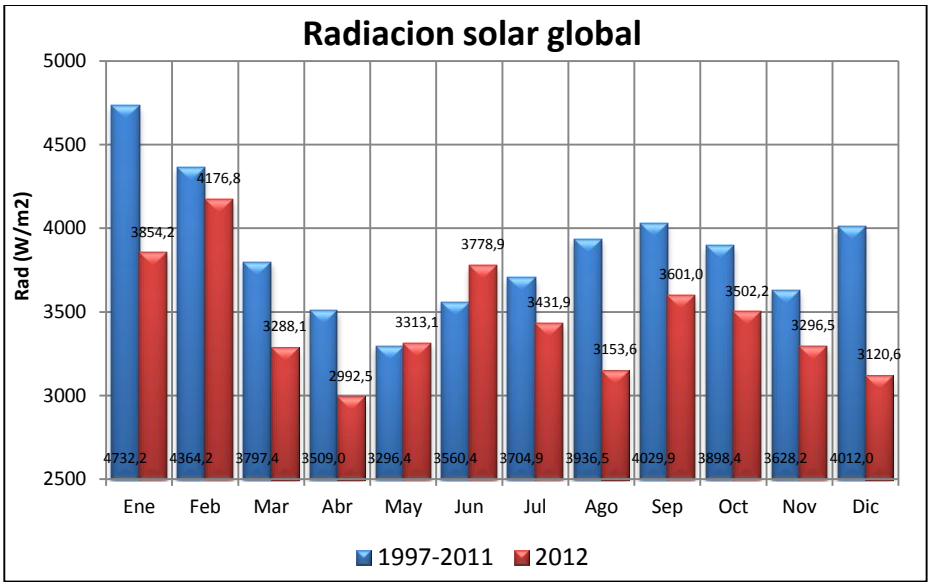


Figura 106. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2011 y su comparación con 2012. Fuente RMCAB

Tabla 56. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en 2012.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
-18,6%	-4,3%	-13,4%	-14,7%	0,5%	6,1%	-7,4%	-19,9%	-10,6%	-10,2%	-9,1%	-22,2%

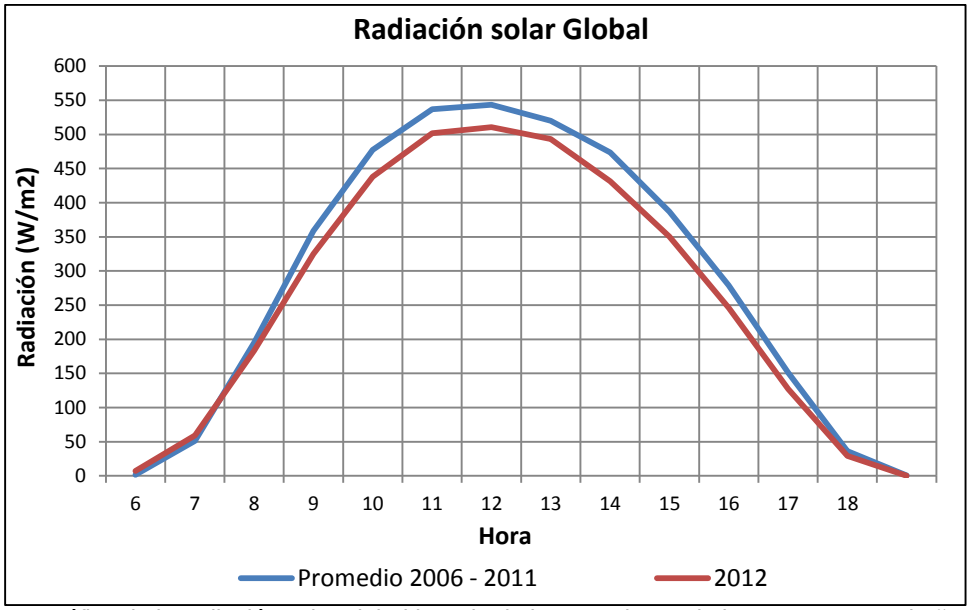


Figura 107. Gráfica de la radiación solar global horaria de las estaciones de la RMCAB para el año 2012 y el promedio 2006-2011. Fuente RMCAB

La Figura 107 muestra el comportamiento entre la radiación solar global horaria para 2012 y el promedio en el periodo 2006-2011. El comportamiento fue moderadamente menor, en horas del mediodía y de las tardes.

La Figura 108 esquematiza el comportamiento horario en cada una de las estaciones donde se mide esta variable.

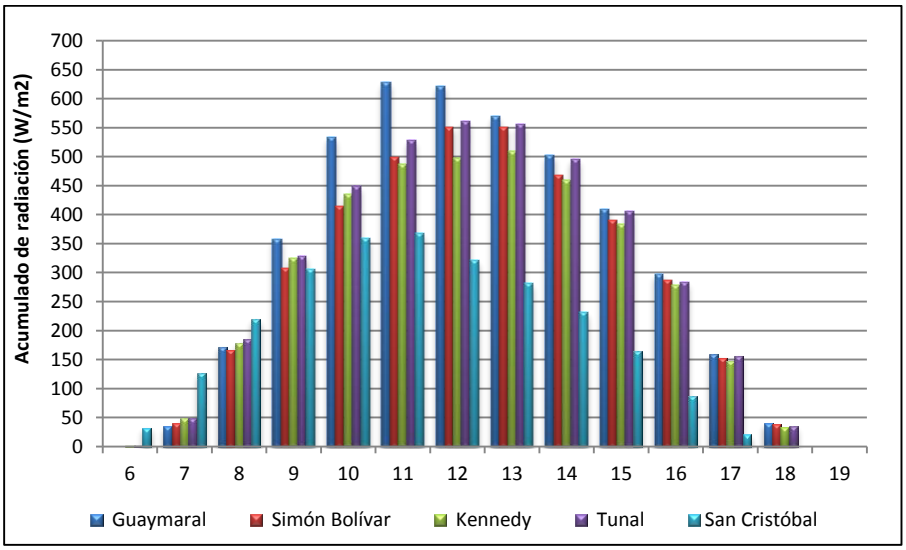


Figura 108. Comportamiento horario de la radiación para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

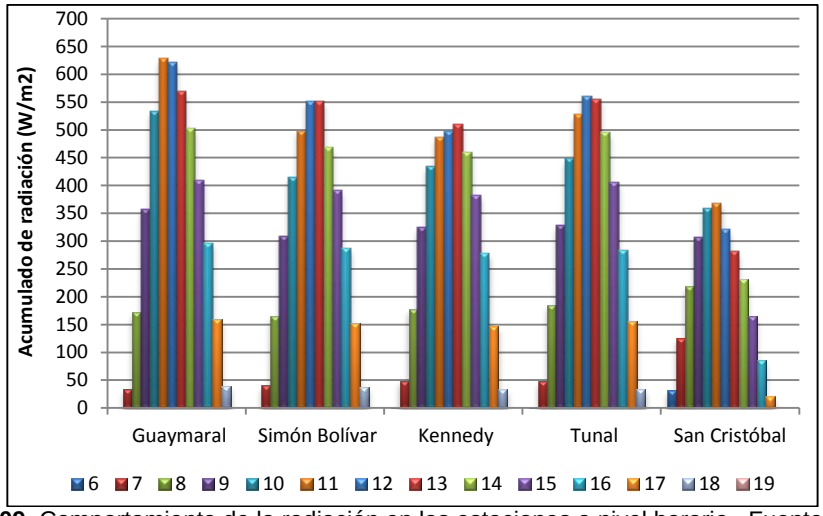


Figura 109. Comportamiento de la radiación en las estaciones a nivel horario. Fuente RMCAB

Similar a la figura anterior, la Figura 109 presenta estas condiciones discriminadas por estación. La Figura 110 presenta el resumen del acumulado horario para el trimestre, en donde se aprecia que la estación con mayor acumulado de radiación se presenta en Guaymaral. Si se analiza las temperaturas descritas en la sección anterior, Guaymaral presenta la mayor amplitud térmica y junto a los acumulados de radiación, se puede concluir que en esta región se observa menor nubosidad.

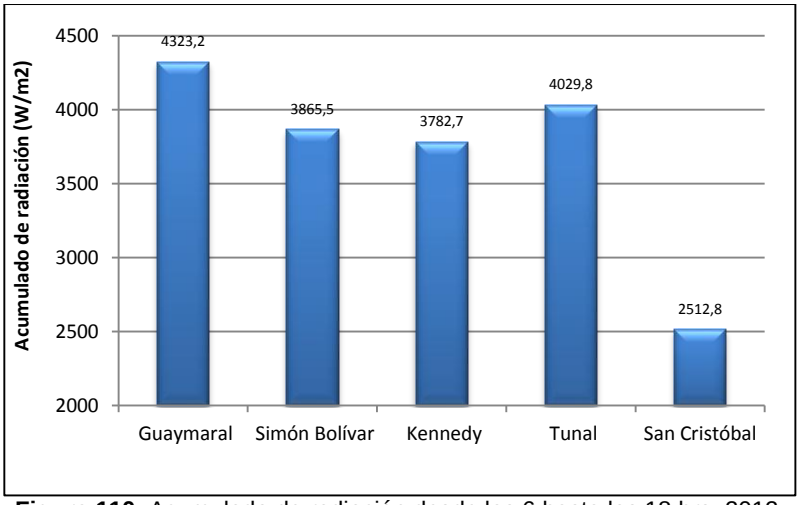


Figura 110. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, 2012.

Las radiaciones globales registradas por cada una de las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (tabla 1) mostraron un comportamiento similar. Esto se observa en la Figura 111, la cual muestra gráficas de radiación en escala horaria para cada uno de los meses de 2012, de tal manera que el eje de las abscisas corresponde a los meses, las ordenadas a las horas y la escala de colores representa la magnitud de la radiación. Se puede observar que la radiación solar global presentó tres picos máximos, iniciando, a

mediados y finalizando el periodo. Como se mencionó anteriormente, Guaymaral presentó los mayores acumulados y San Cristóbal los de menor valor esencialmente en abril.

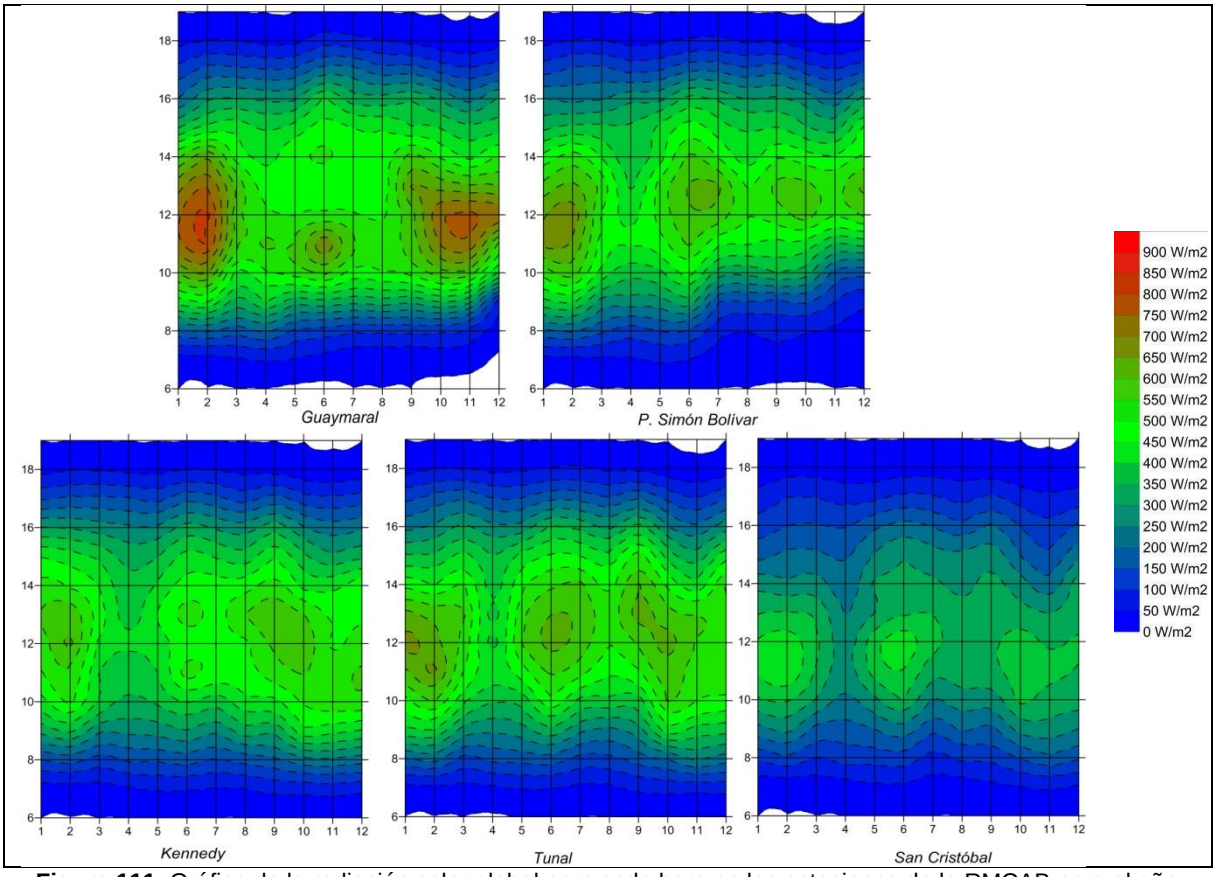


Figura 111. Gráfica de la radiación solar global para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el año 2012. Fuente RMCAB

5.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona más alta es la presión, esto significa que la presión atmosférica cambia con la altitud a razón, en las capas atmosféricas más bajas, de un (1) mm Hg cada 10 metros (ó un (1) mb ó hPa cada ocho (8) metros). Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes, la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar. Este ajuste es conocido como presión barométrica, es decir, la presión barométrica es la presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas. Debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental que

varía significativamente en latitudes medias y altas. En los trópicos la variación es menos notoria, dependiendo más de la altitud.

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 39. La ciudad de Bogotá está situada en la sabana del mismo nombre, sobre el altiplano cundiboyacense (Cordillera Oriental de los Andes) y presenta mayor altitud en su parte oriental junto a los cerros, cuyo clima está influenciado por la convección producto del ascenso forzado de masas de aire, entre otros. Aunque el tiempo actúa de manera considerable en los valores de presión, en general se observan variaciones entre las estaciones debidas a la diferencia que hay entre la altitud y el fenómeno de marea barométrica que produce dos crestas y dos valles en el comportamiento diario. La Figura 112 presenta la serie de tiempo en el periodo 2012 en donde se observa una ligera tendencia al aumento en la mitad del año. Así mismo, las estaciones que miden la variable de presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación, tal como se observa en la Figura 113 .

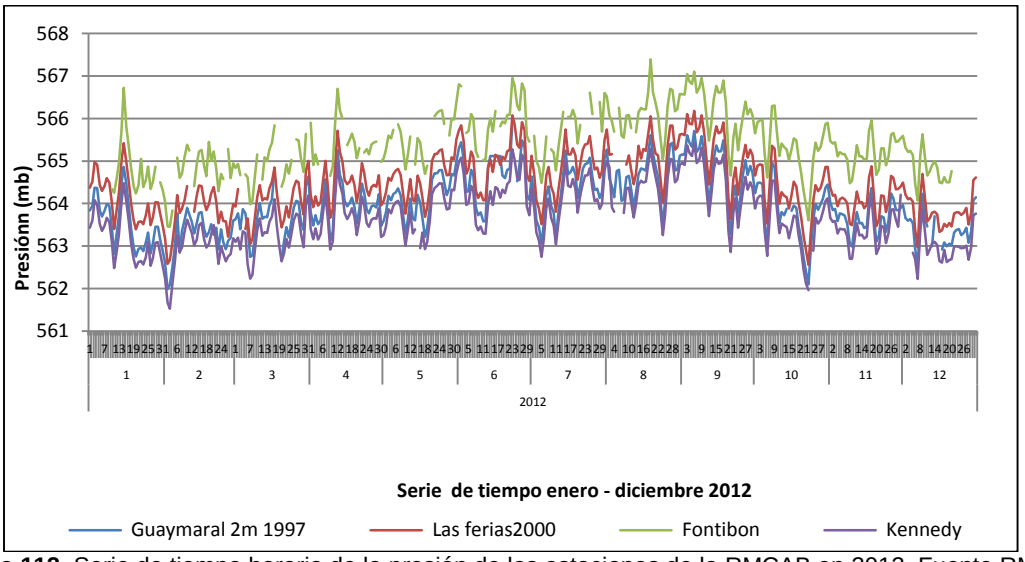


Figura 112. Serie de tiempo horaria de la presión de las estaciones de la RMCAB en 2012. Fuente RMCAB

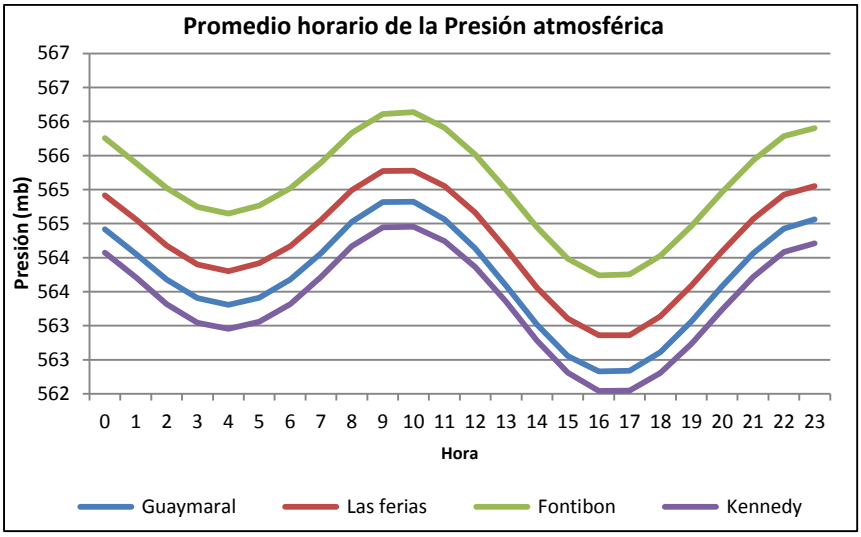


Figura 113. Gráfica de la Presión barométrica para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el año 2012. Fuente RMCAB

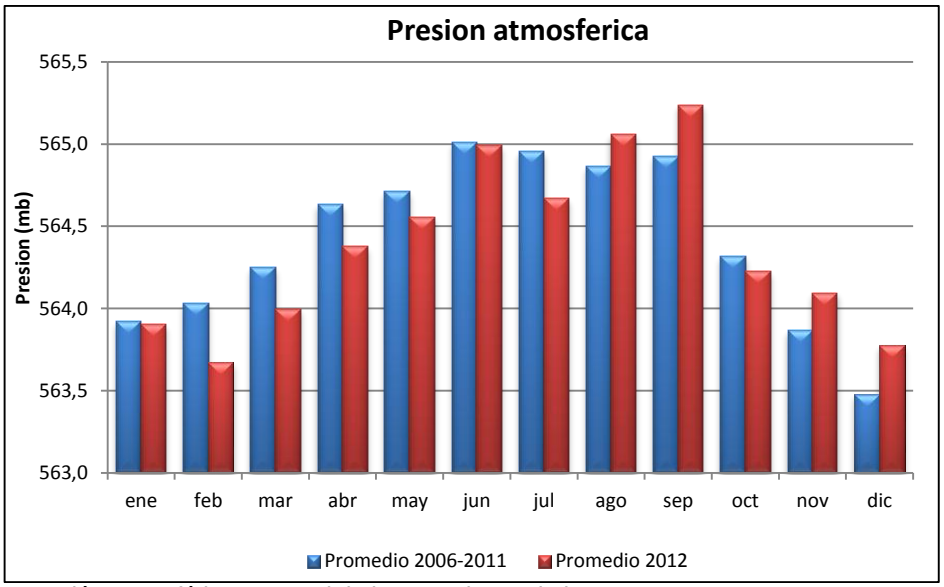


Figura 114. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB en 2012. Fuente RMCAB.

La Figura 114 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general para el año 2012 la presión estuvo por debajo del promedio histórico, salvo algunos meses del segundo semestre. El primer y segundo trimestre fue mayor en 2010, el tercer y cuarto trimestre en 2012, como se observa en la Figura 115.

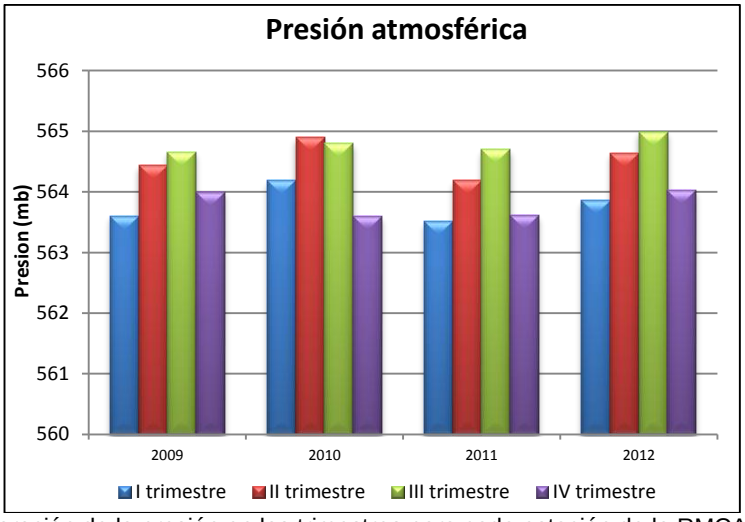


Figura 115. Comparación de la presión en los trimestres para cada estación de la RMCAB. Fuente RMCAB

5.6. HUMEDAD RELATIVA

La humedad de una masa de aire no depende de la cantidad de agua por metro cúbico que contenga, eso es la humedad absoluta y obedece a la evaporación, sino de la capacidad del aire para absorber agua. Esta capacidad depende de la temperatura del aire, puesto que esta absorción de agua necesita energía calorífica. A esta capacidad se le llama humedad relativa y se mide en tantos por ciento. Para una misma humedad absoluta, la humedad relativa aumenta cuando desciende la temperatura. Para el clima lo más interesante es la humedad relativa ya que una masa de aire saturada, o cercana a la saturación, es una masa de aire húmeda mientras que de una masa de aire seca no, aunque tenga mayor humedad absoluta.

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describió en la Tabla 39. En la Figura 116 se aprecia la serie temporal de las estaciones activas de la RMCAB en 2012. La Figura 117 muestra que la humedad relativa en este año estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2011.

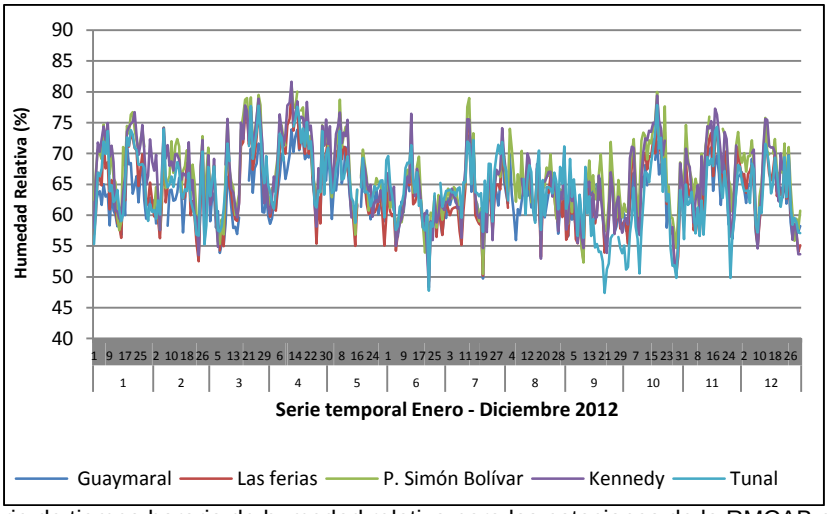


Figura 116. Serie de tiempo horaria de humedad relativa para las estaciones de la RMCAB en 2012. Fuente RMCAB

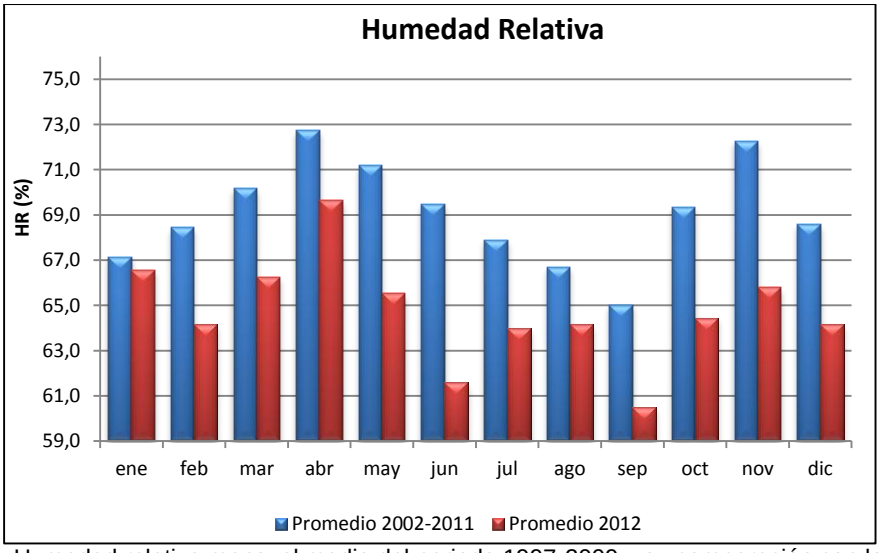


Figura 117. Humedad relativa mensual media del periodo 1997-2009 y su comparación con los meses de 2012. Fuente RMCAB

La disminución de humedad relativa del año 2012 con respecto al promedio en el periodo 2002-2011 se observa en la Figura 117, donde se nota que solamente los meses de febrero y abril no estuvieron por debajo de los promedios y que junio se manifestó como el mes menos húmedo de lo corrido del año. La Tabla 57 presenta el porcentaje de variación de cada uno de los meses del primer semestre del año. En los últimos años se observa un decrecimiento de la humedad en la ciudad con tendencia al aumento en este trimestre, tal como se observa en la Figura 118. Considerando que la media de humedad relativa de Bogotá es del 72% (IDEAM), se concluye que el primer semestre del año estuvo dos puntos por debajo del promedio.

Tabla 57. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
-1%	-6%	-6%	-4%	-8%	-11%	-6%	-4%	-7%	-7%	-9%

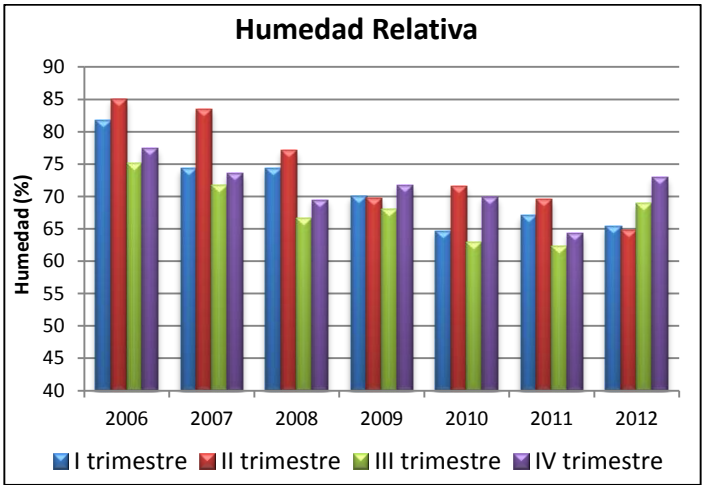


Figura 118. Humedad relativa en el periodo 2006-2012. Fuente RMCAB

El comportamiento horario de la humedad relativa varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la temperatura entre otros, evidenciándose los datos máximos en horas de la madrugada cuando se observa la mayor estabilidad atmosférica y los valores mínimos en horas de la tarde, cuando la temperatura es máxima. Esto se observa en la Figura 119, en donde se nota que la humedad horaria se mantuvo siempre por debajo del promedio histórico reportado en los últimos años.

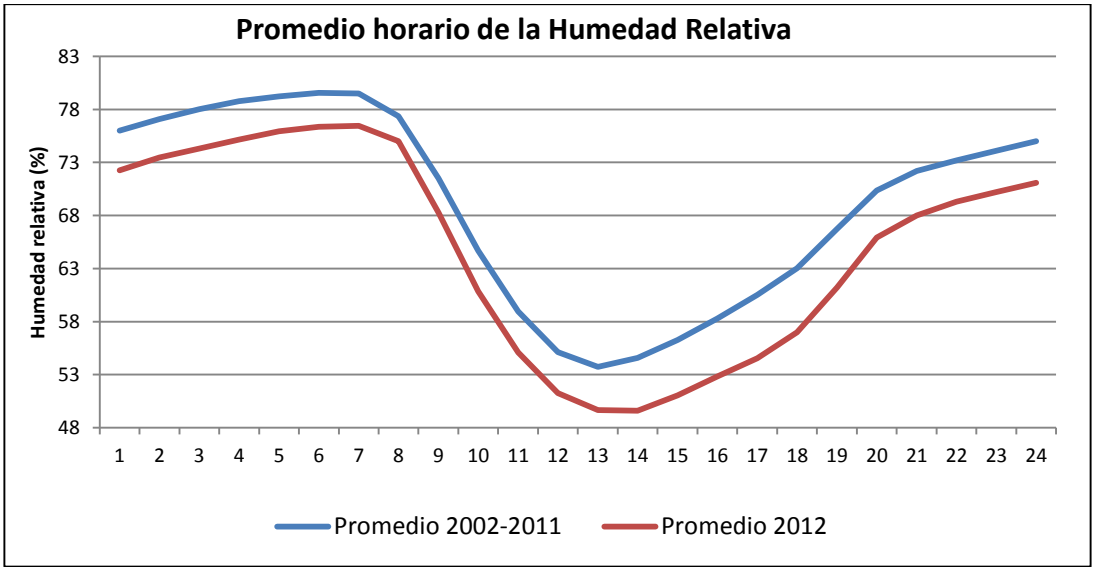


Figura 119. Promedio horario de la humedad en el periodo 2002-2011 y su comparación con el año 2012.

La Figura 120 muestra gráficas de la humedad relativa en escala horaria para cada uno de los meses del año 2012, de tal manera que el eje de las abscisas corresponde a los meses, el eje de las ordenadas las horas y la escala de colores representan la magnitud de la humedad. Se observa un período de disminución de la humedad entre las 7 y las 18 horas, luego aumentan hasta alcanzar la humedad similar a la registrada en las primeras horas del día. La diferencia entre la humedad es mayor en horas de la madrugada y se disminuye en horas de la tarde. La estación de parque Simón Bolívar presentó los porcentajes mayores de humedad seguido de la estación de Guaymaral, la estación que presentó menor humedad fue de Tunal.

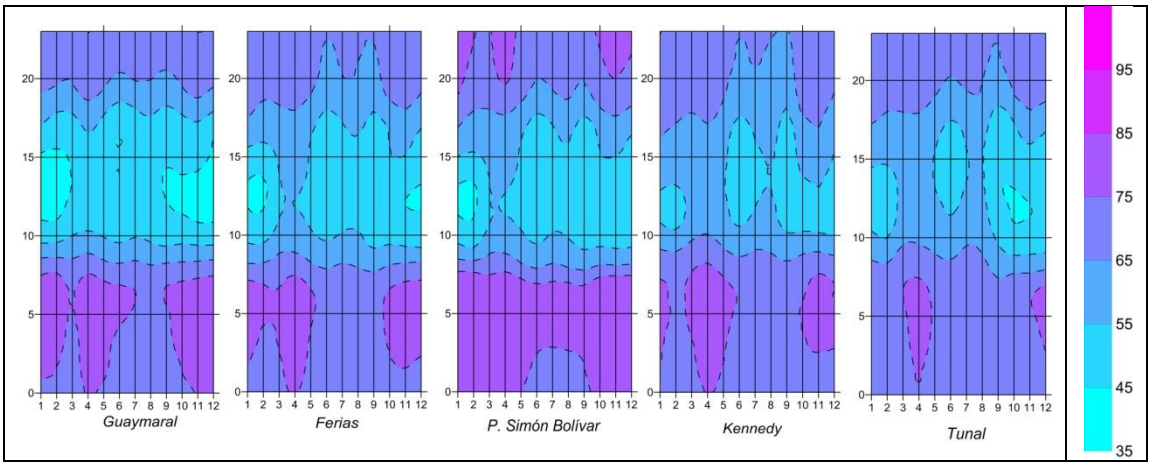


Figura 120. Gráfica de la humedad relativa para cada hora en 2012 de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB

GLOSARIO

Aire: Es el fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

Aire cero: Es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo, la purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.

Agentes contaminantes convencionales: Se entiende por agentes contaminantes convencionales los *contaminantes primarios* (Monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y *contaminantes secundarios* (ozono, Dióxido de nitrógeno).

Analizador: Equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que da señales de salida cíclicas o puntuales.

Anemómetro: Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.

Aseguramiento de la Calidad (AC): Sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].

Auditoria: Evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].

Bandera: Registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.

Barómetro: Instrumento para medir la presión atmosférica.

Bitácora: Libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.

Calibración: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Cilindro de gas patrón certificado: Es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.

Concentración de fondo: Fracción de la calidad del aire observado que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian.

Concentración de una sustancia en el aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones Normales para normas de calidad del aire y fuentes fijas: Las normas de emisión previstas en la presente Resolución están establecidas teniendo en cuenta las condiciones Normales a 298.15 K y 101.325 kPa.
Confiabilidad: Capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.

Contaminación atmosférica: Es el fenómeno de acumulación de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adverso en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.

Control de Calidad (CC): Sistema de actividades técnicas que mide los atributos y rendimiento de un proceso, producto o servicio con estándares definidos para verificar que ellos cumplan los requisitos establecidos por el cliente. Las técnicas y actividades operacionales usadas para cumplir con los requisitos de calidad. Sistema de actividades y chequeos para asegurar que los sistemas de medición sean mantenidos dentro de los límites prescritos a fin de proporcionar una protección contra las condiciones fuera de control y asegurar que los resultados sean de calidad aceptable. [EPA].

Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

Diagrama de caja (Box-Plot): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.

Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (g/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C[\mu g/m3] = \frac{C[ppm] \times PM}{24.466} 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:

C[µg/m^3] = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
C[ppm] = Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM[kg/kmol] = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24.466 = Volumen de una kmol en m3/kmol a temperatura de 298.15 K y presión de 101.325 kPa

Episodio de contaminación: Es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.

Equipo Para Calibración: Es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.

Estabilidad atmosférica: Característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire.

Estación de monitoreo: Es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos primarios y/o de referencia y de medición meteorológica manuales o automáticos situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.

Estándar de calidad del aire: Valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.

Gas de calibración: Término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.

Generador de aire cero: Dispositivo utilizado para generar aire cero.

Hidrometeoro: Fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

Índice. Expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.

Isohuma: Línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.

Isotaca: Línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.

Isoterma: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.

Isoyeta: Es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.

Material particulado: Término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.

Media aritmética: Es la sumatoria de todos los datos a promediar. Dividida por el número total de datos.

Media Móvil: Se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de n datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.

Método Equivalente: Es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.

Método de Referencia: Es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.

Monitoreo: En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

Nivel Normal (Nivel I): Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: Concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.

Nivel de Prevención (Nivel II): Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (Nivel III): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de

algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de emergencia (Nivel IV): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Norma anual: Establece la concentración máxima anual permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras diarias cuando se trata de contaminantes en estado gaseoso, o el promedio geométrico de los valores de las muestras diarias cuando se refieran a partículas suspendidas totales - PST.

Norma diaria: Establece la concentración máxima diaria permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras horarias, que podrá excederse solo una vez en un año.

Norma promedio horaria: Establece la concentración máxima permisible de un contaminante, de las mediciones realizadas en un periodo de tiempo establecido (media hora, una hora, tres horas, 6 horas y 8 horas).

Obstáculo: Elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: Toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: Grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio Geométrico: Es la raíz enésima del producto de todos los datos a promediar, Para su cálculo utilícese la siguiente ecuación:
$G = (X1*X2*X3*....*Xn)^{1/n}$
Donde:
G = Promedio geométrico
X1, X2, X3. …….Xn = Todos los datos a promediar.

Protocolo: Plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: Se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: Véase Rango de tolerancia

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: Es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetibilidad: Grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Representatividad: Grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: Dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

Sustancia: Todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.

Toma-muestras: Conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.

Unidades: Las unidades más utilizadas son:
Nm^3/h: Metros cúbicos por hora en condiciones Normales.
mg / Nm^3: Miligramos por metro cúbico en condiciones Normales.
mg/m^3: Miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: Microgramos por metro cúbico.
kg/h: Kilogramos por hora.
g/h: Gramos por hora.
ppm: Partes por millón.

Validación: Confirmación por medio de análisis y la provisión de evidencias objetivas de que se cumplen los requisitos particulares para el uso específico de un método. (Para calidad de aire, la validación incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, Calibración de equipos y análisis de los datos).

ANEXOS

ANEXO 1. LOCALIZACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LA RMCAB

La RMCAB está conformada por quince estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central de datos en donde se evalúa la calidad de la información, se depura y se procesa. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de los datos y la verificación del cumplimiento de las normas de calidad del aire, para detectar las áreas o sectores que requieren atención prioritaria, en relación con los contaminantes que alcanzan concentraciones de interés.

A continuación se presentan los mapas de localización de las estaciones que conforman la RMCAB, señalando el primero los parámetros meteorológicos medidos en cada una de las estaciones y el segundo los parámetros contaminantes y las características de las zonas de influencia de las estaciones. Es importante resaltar que de estás, existen dos estaciones que son Usme y Vitelma, las cuales manejan únicamente las variables meteorológicas[12].

[12] *La estación Usme se encuentra fuera de servicio por hurto en la estación*

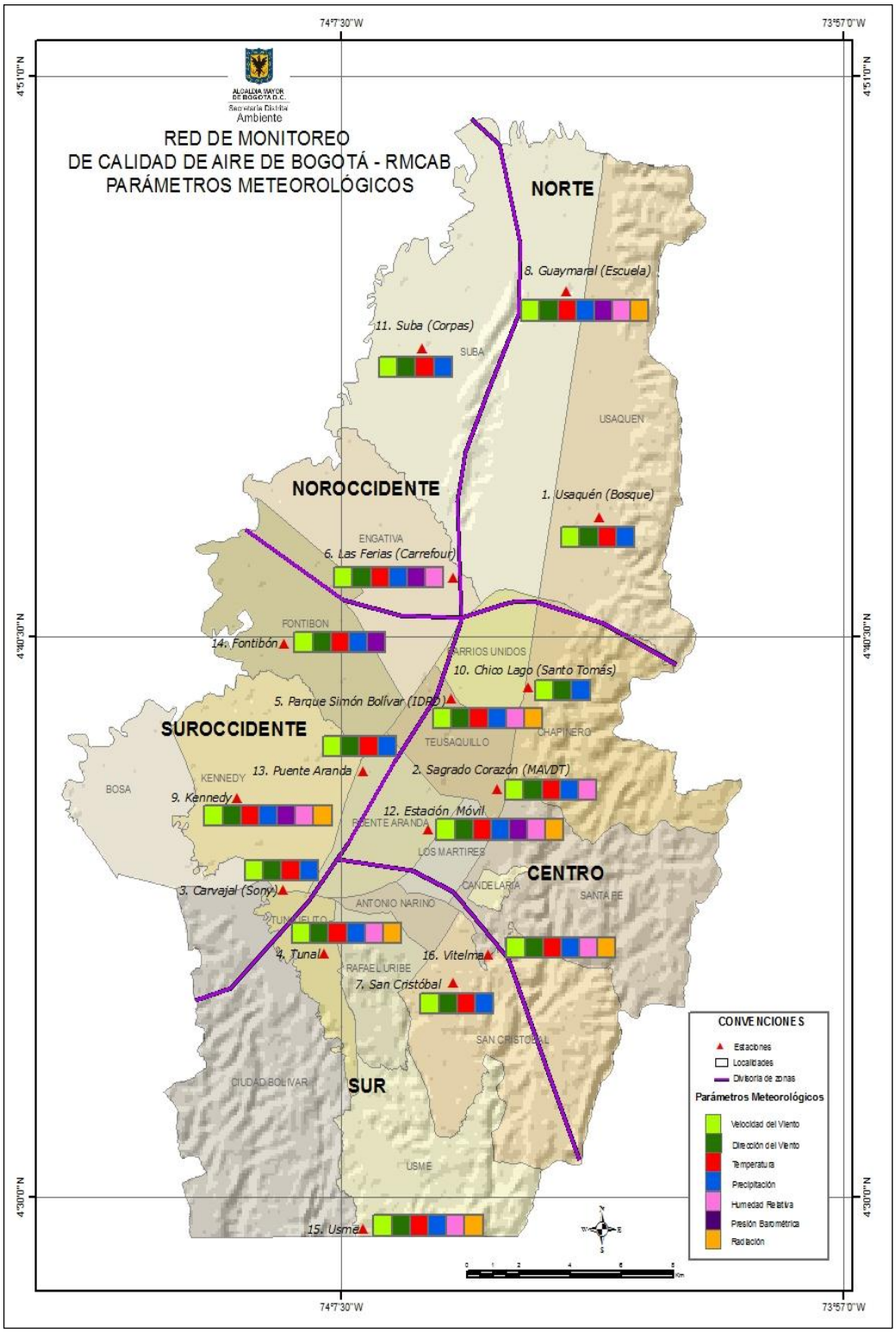


Figura 121. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB, sensores meteorológicos.

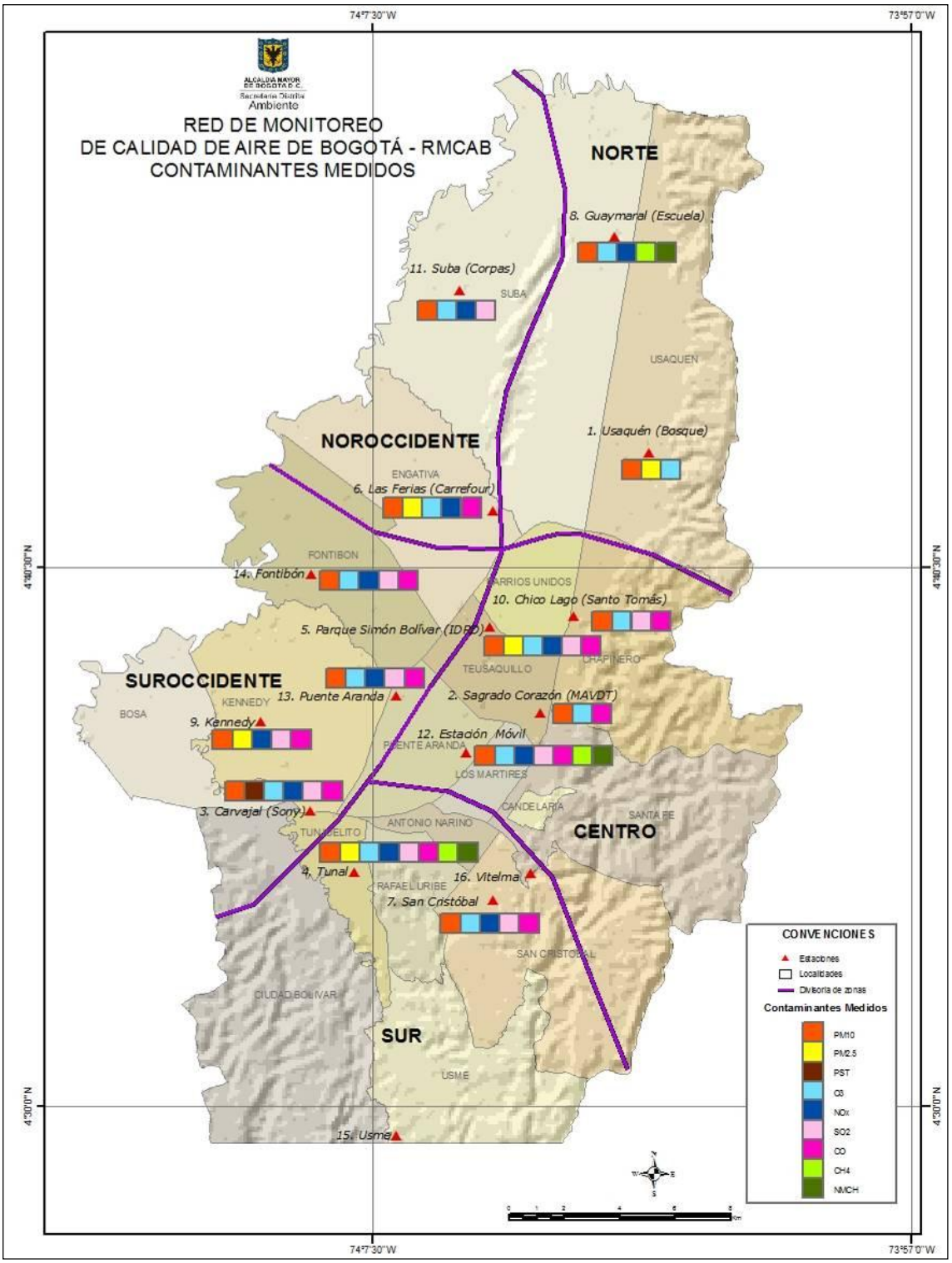


Figura 122. Ubicación geográfica de las estaciones de la RMCAB y analizadores de contaminantes

ANEXO 2. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

Las normas de calidad del aire que se adoptaron como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá, según la Resolución 601 del 4 de Abril de 2006 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010.

Tabla 58. Normas de Calidad del Aire

CONTAMINANTE	PERÍODO	NORMA	UNIDAD DE MEDIDA	COMENTARIOS
PARTÍCULAS PM_{10}	Anual	50	$\mu g/m^3$	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	100	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES. PST	Anual	100	$\mu g/m^3$	Promedio geométrico de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	300	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas
ÓXIDOS DE AZUFRE. SO_2	Anual	31	ppb	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	96	ppb	Concentración promedio horaria en 24 horas
	3 horas	287	ppb	Concentración promedio horaria en 3 horas
ÓXIDOS DE NITRÓGENO. NO_2	Anual	53	ppb	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	80	ppb	Concentración promedio horaria en 24 horas
	1 hora	106	ppb	Concentración promedio horaria
MONÓXIDO DE CARBONO. CO	8 horas	8.8	ppm	Concentración promedio horaria en 8 horas
	1 hora	35	ppm	Concentración promedio horaria
OXIDANTES FOTOQUÍMICOS. O_3	1 hora	61	ppb	Concentración promedio horaria
	8 horas	41	ppb	Concentración promedio en 8 horas
PARTÍCULAS $PM_{2.5}$	Anual	25	$\mu g/m^3$	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días (valor guía)
	24 horas	50	$\mu g/m^3$	Concentración promedio horaria en 24 horas (valor guía)

ANEXO 3. ESCALAS DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Tabla 59. Escala de precipitación

Denominación	Precipitación Diaria [mm]	Precipitación Mensual [mm]
Escasa	0 – 5	0 - 20
Ligera	6 – 10	21 - 40
Moderada	11 – 20	41 - 80
Fuerte	21 – 50	81 - 200
Muy Fuerte	51 – 70	201 - 280
Intensa	> 70	>281

Tabla 60. Escala de velocidad del viento – Beaufort

Denominación	Velocidad del Viento [m/s]
Calma	0 - 0.5
Ventolina	0.6 - 1.7
Suave	1.8 - 3.3
Leve	3.4 - 5.2
Moderado	5.3 - 7.4
Regular	7.5 - 9.8
Fuerte	9.9 - 10.4
Muy Fuerte	10.5 - 15.2
Temporal	15.3 - 18.2
Temporal Fuerte	18.3 - 21.5
Temporal Muy Fuerte	21.6 - 25.1
Tempestad	25.2 - 29
Huracán	>29

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

Informe anual de calidad de aire de Bogotá

Año 2013

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C. 2014

126PM04-PR84-M-A2-V1.0

BOGOTÁ HUMANA

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
Secretaría Distrital
Ambiente

Gustavo Francisco Petro Urrego
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Néstor García Buitrago
Secretario Distrital de Ambiente

Julio César Pulido Puerto
Subsecretario Distrital de Ambiente

Haipha Thricia Quiñones Murcia
Directora de Control Ambiental

Fernando Molano Nieto
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

John Freddy Grajales
Coordinador RMCAB

Claudia Patricia Cifuentes Forero
Helberth Santiago Morales Pinilla
Nicolás Cuadros Rubio
Oscar Julián Guerrero Molina
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Norbey Alirio Barahona González
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Junio de 2014, Bogotá - Colombia
Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2014.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ
HUMANA

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C.

INFORME ANUAL 2013

Junio 2014

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo 13
Introducción 17
1. Generalidades 18
1.1. Normatividad vigente. 21
2. Indicadores de operación y desempeño 23
2.1. Porcentaje de captura de datos 23
2.2. Porcentaje de datos válidos. 25
3. Evaluación y análisis de contaminantes 27
3.1. Material particulado – MP o PM (P*articulate Matter*) 27
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM_{10} 27
3.1.2. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ 41
3.1.3. Relación de concentración de $PM_{2.5}/PM_{10}$ 51
3.1.4. Comportamiento de la concentración de PST. 51
3.2. Gases contaminantes 57
3.2.1. Comportamiento de la concentración de SO_2. 57
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2 65
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO 73
3.2.4. Comportamiento de la concentración de O_3 81
3.3. Índices de calidad del aire 90
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}. 91
3.3.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$ 93
3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono. 96
3.4. Síntesis de resultados 98
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas 109
4.1. Precipitación 111
4.2. Vientos 118
4.3. Temperatura Superficial 123
4.4. Radiación solar 128
4.5. Presión Atmosférica 129
4.6. Humedad Relativa 131
5. Meteorología y Calidad del Aire 132

5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado 132
5.2. Episodio de máxima concentración 138
Bibliografía 141
Glosario 143
A. Anexo 148
Lectura de Gráficos de *boxplot* 148

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el año 2013. 19
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2013. 23
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2013 24
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2013. 25
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2013. 26
Figura 3-1. Promedios anuales de PM_{10} durante el año 2013 por estación de monitoreo. 28
Figura 3-2. Material particulado (PM_{10}) promedio (superficie en colores). 30
Figura 3-3. Concentraciones promedio diarias y número de excedencias de PM_{10} por estación durante el año 2013. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m^3 (Resolución 610 de 2010). 31
Figura 3-4. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2013 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se muestran aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m^3..... 33
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2013 en la estación Parque Simón Bolívar. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 34
Figura 3-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza. 35
Figura 3-7. Ciclo diario de PM_{10} para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. 36
Figura 3-8. Ciclo anual de PM_{10} para 12 estaciones de la RMCAB en base mensual. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. 37
Figura 3-9. Gráfico de boxplot para PM_{10} en base diaria por días de la semana. 38
Figura 3-10. Gráfico de boxplot para PM_{10} en base diaria por meses comparando el año 2013 con años anteriores. 39
Figura 3-11. Gráfico de boxplot para PM_{10} diario por estaciones. Se presentan años 2009 a 2013. 40
Figura 3-12. Gráfico de boxplot para PM_{10} en base diaria entre 2009 y 2013. 41
Figura 3-13. Promedio de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy para el año 2013 y comparación con la norma anual (25 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010). 42
Figura 3-14. Máximo y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria durante el año 2013. Estación Kennedy. 43
Figura 3-15. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 44
Figura 3-16. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza. 45
Figura 3-17. Ciclo diario (izquierda) y anual (derecha) de la concentración de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en el año 2013. 45
Figura 3-18. Máximos y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria durante el cuarto trimestre de 2013. 46
Figura 3-19. Gráfico de boxplot para $PM_{2.5}$ por días de la semana en base diaria comparando el año 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy. 48

Figura 3-20. Gráfico de *boxplot* para $PM_{2.5}$ por meses desde base diaria entre 2010 y 2013. 49
Figura 3-21. Gráfico de boxplot para $PM_{2.5}$ por estaciones (desde base diaria) entre 2010 y 2013. 50
Figura 3-22. Concentración promedio de PST (TSP) durante el año 2013. Base diaria. . 52
Figura 3-23. Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante año 2013. Base diaria. 53
Figura 3-24. Gráfico de boxplot para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando 2013 con años anteriores. 54
Figura 3-25. Gráfico de boxplot para PST (TSP) por meses (desde base diaria) comparando para el 2009 - 2013. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal. 55
Figura 3-26. Gráfico de boxplot para PST en base diaria para años 2009 a 2013 para estación Carvajal. 56
Figura 3-27. Concentración promedio de SO_2 en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% durante el año 2013. 59
Figura 3-28. Máximos y número de excedencias de SO_2 en base de 3 horas por estación durante el año 2013. 60
Figura 3-29. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación durante el año 2013. 61
Figura 3-30. Gráfico de boxplot para SO_2 por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores. 62
Figura 3-31. Gráfico de *boxplot* para SO_2 en base diaria, por meses, entre 2009 y 2013. 63
Figura 3-32. Gráfico de boxplot para SO_2 diario por estaciones entre 2009 y 2013. 64
Figura 3-33. Gráfico de *boxplot* para SO_2 diario entre 2009 y 2013. 65
Figura 3-34. Concentración promedio de NO_2 en el año 2013 para las estaciones de la RMCAB que cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal igual o superior a 75%. Base de tiempo diaria. 66
Figura 3-35. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el año 2013. 67
Figura 3-36. Excedencias y concentración máxima de NO_2 en base diaria por estación para el año 2013. 68
Figura 3-37. Gráfico de boxplot para NO_2 por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores. 70
Figura 3-38. Gráfico de boxplot para NO_2 en base diaria por meses ente 2009 y 2013. .. 71
Figura 3-39. Gráfico de boxplot para NO_2 por estaciones en base diaria entre 2009 y 2013. 72
Figura 3-40. Gráfico de boxplot para NO_2 en base diaria entre 2009 y 2013. 73
Figura 3-41. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO durante el año 2013. 74
Figura 3-42. Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación durante el año 2013. 75
Figura 3-43. Gráfico de boxplot para CO en base diaria por días de la semana entre 2009 y 2013. 77
Figura 3-44. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013. .. 78
Figura 3-45. Gráfico de boxplot para CO en base diaria por estaciones entre 2009 y 2013. 79

Figura 3-46. Gráfico de boxplot para CO en base diaria entre 2009 y 2013. 80
Figura 3-47. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base horaria por estación durante el año 2013. 82
Figura 3-48. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base 8 horas por estación durante el año 2013. 84
Figura 3-49. Mapa de concentración promedio de O_3 en base de tiempo de 8 horas para el año 2013. Unidades: $\mu g/m^3$. 85
Figura 3-50. Gráfico de boxplot para O_3 en base diaria por días de la semana, comparando 2013 con años anteriores. 86
Figura 3-51. Gráfico de boxplot para O_3 promedio mensual (desde base diaria) entre 2009 y 2013. 87
Figura 3-52. Gráfico de boxplot de O_3 en función de las estaciones entre los años 2009 y 2013 (desde base diaria). 88
Figura 3-53. Gráfico de boxplot de O_3 con el comportamiento histórico en base diaria entre 2009 y 2013. 89
Figura 3-54. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2013. 91
Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el año 2013. 92
Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para el año 2013. 92
Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para el año 2013. 93
Figura 3-58. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013. 94
Figura 3-59. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por mes para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013. 95
Figura 3-60 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013. 95
Figura 3-61. Índice de calidad del aire (ICA) para $PM_{2.5}$ durante el cuarto trimestre de 2013. 96
Figura 3-62. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria. 97
Figura 3-63. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas. 97
Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas. 97
Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013) 110
Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 comparada con el promedio registrado en 2013. 112
Figura 4-3. Promedio de los acumulado precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1999 hasta 2013. 112
Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes). 113
Figura 4-5. Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes). 113

Figura 4-6. Mapa interpolado de acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013. 116
Figura 4-7. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012. 117
Figura 4-8. Distribución de los vientos en Bogotá. 120
Figura 4-9. Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). 121
Figura 4-10. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2013. 122
Figura 4-11. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2012 y su comparación con 2013. 123
Figura 4-12. Gráfica de la temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013. 124
Figura 4-13. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2013. 126
Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB. 127
Figura 4-15. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006- 2012 y su comparación con 2013. 128
Figura 4-16. Acumulado de radiación de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). 129
Figura 4-17. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, 2013. 129
Figura 4-18. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. 130
Figura 4-19. Comparación de la presión en los últimos años. 130
Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses de 2013. 131
Figura 5-1 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada de 2013. 134
Figura 5-2 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana de 2013. 135
Figura 5-3 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde de 2013. 136
Figura 5-4 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche de 2013. 137
Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 17 de enero de 2013, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming 138
Figura 5-6. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 017 de enero de 2013. Fuente RMCAB. 139
Figura 5-7. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. 140
Figura A-1. Gráfico de boxplot con una descripción de sus componentes. 148

Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en 2013. 20
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (Environmental Protection Agency)..... 21
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. 22
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro.. 24
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. 26
Tabla 3-1. Promedio anual de PM_{10} durante los años 2012 y 2013 y cambio de concentración entre los dos años. Se resalta en rojo las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3 28
Tabla 3-2. Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM_{10} durante el año 2013. Base de tiempo diaria. 32
Tabla 3-3. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM_{10} en promedios diarios entre 2009 y 2013. 41
Tabla 3-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en los años 2012 y 2013. La concentración anual no varió. 42
Tabla 3-5. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2013 en la estación Kennedy. 43
Tabla 3-6. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ por estación para el cuarto trimestre del año 2013..... 47
Tabla 3-7. Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por día de la semana durante los últimos 4 años. Se considera solamente la estación Kennedy. 48
Tabla 3-8. Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy. 50
Tabla 3-9. Resumen histórico de concentraciones de $PM_{2.5}$ para los años 2010 a 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy. 50
Tabla 3-10. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el cuarto trimestre de 2013. 51
Tabla 3-11. Concentración promedio y diferencia de concentración para los años 2012 y 2013 en la estación Carvajal. Promedios geométricos. 52
Tabla 3-12. Resumen de datos diarios de PST para el año 2013. 53
Tabla 3-13. Concentración promedio de PST por día de la semana en el año 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos. 54
Tabla 3-14. Promedios geométricos de PST por mes entre 2009 y 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. 55
Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios diarios entre 2009 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal con los promedios geométricos. 56
Tabla 3-16. Concentración promedio de SO_2 en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante durante el año 2013. Solamente se presentan los promedios de aquellas estaciones con un porcentaje de representatividad temporal superior a 75%. 58
Tabla 3-17. Resumen de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para año 2013. 60

Tabla 3-18. Resumen de datos en base 24 horas de SO_2 por estación para el año 2013. 61
Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO_2 en promedios diarios entre 2009 y 2013. 65
Tabla 3-20. Representatividad temporal, promedio en 2012 y 2013 y cambio de concentración de NO_2. 66
Tabla 3-21. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2013. 68
Tabla 3-22. Resumen de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2013. 69
Tabla 3-23. Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO_2 en base diaria entre 2009 y 2013. 73
Tabla 3-24. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2013. 74
Tabla 3-25. Resumen de datos de CO por estación en 2013. Base de 8 horas. 76
Tabla 3-26. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios entre 2009 y 2013. 80
Tabla 3-27. Resumen descriptivo de datos de O_3 por estación para el año 2013. Base horaria. 81
Tabla 3-28. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2013. 83
Tabla 3-29. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O_3 en promedios de 8 horas entre 2009 y 2013. 89
Tabla 3-30. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010). 90
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}), año 2013. 99
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2013. 100
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2013. 100
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2013. 101
Tabla 3-35. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2013. 102
Tabla 3-36. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2013. 103
Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de NO_2, año 2013. 104
Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2013. 105
Tabla 3-39. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2013. 106
Tabla 3-40. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2013. 107
Tabla 3-41. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2013. 108
Tabla 4-1. Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013) 110
Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante 2013 111
Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013. 114
Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013. 114
Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013, en mm/día. 115
Tabla 4-6. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012. 117

Tabla 4-7. Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral y anual 118
Tabla 4-8.valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB. 118
Tabla 4-9. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante 2013 123
Tabla 4-10. Promedios de temperatura anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013 a partir de datos diarios. 124
Tabla 4-11. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica promedio registradas por las estaciones de la RMCAB en el año 2013. 125
Tabla 4-12. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre..... 128
Tabla 4-13. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión. 130
Tabla 4-14. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. 131

Resumen ejecutivo

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 de 2006 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa.

Entre los contaminantes monitoreados se destacan el material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros conocido como PM_{10}, el material particulado menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono (O_3), pues en algunas oportunidades sus concentraciones superan los límites máximos permisibles por la normatividad. Los demás contaminantes (CO, NO_2 y SO_2) están presentes en concentraciones bajas con respecto a la norma de calidad del aire establecida. Por tanto, en lo registrado por la RMCAB no parecen representan riesgo para la salud de la población. Vale aclarar que los análisis comparativos con respecto a la normatividad nacional se llevan a cabo no sólo con respecto al promedio en el periodo encontrado (por ejemplo el promedio anual o el diario) sino también con respecto a las excedencias presentadas en cada estación.

La norma anual de PM_{10} (50 µg/m^3) fue excedida por las estaciones ubicadas en el suroccidente y en el noroccidente: Carvajal, Kennedy y Suba, las cuales registraron concentraciones promedio anual de 81 µg/m^3, 71 µg/m^3 y 55 µg/m^3, respectivamente. Por el contrario estaciones como Parque Simón Bolívar, Las Ferias y San Cristobal reportaron concentraciones entre 32 µg/m^3 a 34 µg/m^3, lo cual evidencia la alta heterogeneidad espacial en la distribución de este contaminante en el área urbana de Bogotá. En comparación al año anterior 2012, el cambio más desfavorable se presentó en la estación Guaymaral pasando de 34 a 50 µg/m^3 en 2013, lo que implica un cambio importante en la dinámica de operación de ese sector de la ciudad; mientras que otros cambios menores se presentaron en las estaciones Carvajal y Sagrado Corazón con 5 y 3 µg/m^3, respectivamente. En contraste, la mejor favorabilidad se presentó en la estación Las Ferias con un cambio de 46 a 34 µg/m^3, seguido de Tunal pasando de 47 a 43 µg/m^3. Por otro lado, el límite normativo diario de 100 µg/m^3, presentó excedencias en las estaciones de Carvajal, Kennedy y Guaymaral con 67, 35 y 2 respectivamente, lo que puede implicar riesgos a la salud pública en sectores aledaños. Al hacer un análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 75% y el 100% del valor de la norma diaria, se pueden ver estaciones como Carvajal, Kennedy y Guaymaral con 149, 104 y 24 datos (lo que representa 41%, 29% y 7% del conjunto de datos), mientras que el resto de estaciones presentan este indicador por debajo de 5%. Con respecto a los días de la semana, resultan los domingos los que registran las menores concentraciones, debido a la reducción de actividades, pero vale mencionar que aumentó su concentración en relación al año 2012. De los días entre semana, el lunes resulta el de menor concentración, debido

a la presencia de festivos y a la baja influencia residual del día previo, mientras que martes y viernes los de mayor concentración. Se debe destacar el comportamiento del día sábado, el cual no se diferencia de los demás días de la semana e incluso en el caso de la estación Kennedy resulta el día de mayor concentración en toda la semana. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8am (dependiendo la estación) para estabilizarse alrededor de las 10am y hasta las 4-5pm, para empezar otro leve aumento hasta las 8-9pm. Con respecto al comportamiento mensual, los meses de febrero y noviembre (con sus meses vecinos) registran las mayores concentraciones diarias, en contraste con junio y julio con las menores, lo cual se encuentra asociado a la dinámica de los vientos.

El contaminante $PM_{2.5}$ fue monitoreado entre enero y octubre de 2013 únicamente en la estación Kennedy y a partir del 01 de octubre 5 estaciones más (Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal) entraron en operación. Teniendo en cuenta este hecho, la norma anual fue evaluada únicamente en Kennedy y fue excedida con una concentración promedio de 28 µg/m^3, siendo la norma anual de 25 µg/m^3. Con respecto a la norma diaria de 50 µg/m^3 y la información obtenida, se pudo establecer 2 excedencias en la estación de Kennedy, mientras que las demás cumplieron con los límites normativos (solo reportado para cuarto trimestre). El comportamiento de este contaminante es similar al de PM_{10} con bajas concentraciones a mitad de año y en los días domingo y lunes.

El análisis de la relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades en las inmediaciones de la estación. La estación Parque Simón Bolívar tiene una relación relativamente alta (0,6), lo cual evidencia una influencia considerable por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y/o también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas; mientras que estaciones como Carvajal y Usaquén están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido (relación de 0,3). Por su parte estaciones como Kennedy y Tunal presentan influencia tanto de material proveniente de fuentes de combustión como por material resuspendido (relación de 0,4 – 0,5).

El material particulado suspendido total (PST) fue monitoreado en la estación Carvajal. Aunque no presentó excedencias de la norma diaria (300 µg/m^3), se incumplió con el límite normativo anual (100 µg/m^3) con un promedio geométrico de 115 µg/m^3. Es importante considerar que Carvajal es una estación fuertemente influenciada por actividades de fuentes móviles (especialmente vehículos pesados) y también por fuentes industriales.

El ozono (O3), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar, presentó excedencias de los límites normativos en la norma horaria de 120 µg/m^3, con un total de 28 excedencias en las estaciones Guaymaral (8), Parque Simón Bolívar (7), Suba (6), Las Ferias (4), Fontibón (2) y Usaquén (1), excedencias que representan tan solo un 0,4% del total de datos recuperados. Se destaca que en 2012 el número de excedencias fueron 155, lo que representa una mejora considerable en términos del ozono horario en la ciudad. En términos de la concentración octohoraria el O_3 en 2013 presentó 111 datos por

encima de la norma (80 µg/m^3), lo que corresponde a un 0,2% del total de datos y se debe destacar que en el año 2012 el número de estas excedencias estuvieron en 451, lo que al igual que para la norma horaria, representa una mejora en la concentración de ozono en la ciudad. Lo anterior puede estar influenciado por una disminución en la concentración de los precursores que facilitan esta reacción como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, pues en el año 2013 se presentó un comportamiento en los niveles de radiación solar mayor en comparación al periodo histórico 2006-2012. La mayoría de concentraciones máximas se presentaron en los meses de enero y abril de 2013 entre la 01:00 p.m. y las 03:00 p.m, horas en donde el sol se encuentra en un punto alto y la reacción fotoquímica puede darse más fácil. Las mayores concentraciones se presentan en las estaciones ubicadas en el norte y centro de la ciudad y para los días domingos, una tendencia contraria a la observada para PM_{10}. Guaymaral presentó un aumento notable de su concentración de ozono con respecto a 2012. El índice de calidad del aire para ozono, establece que la categoría buena se enmarca hasta una concentración de 59 ppb (aproximadamente 116 µg/m^3) en base de 8 horas y el máximo obtenido en las estaciones de la RMCAB fue 101 µg/m^3 en la estación Guaymaral. Al comparar este valor de 59 ppb (que resulta el nivel en el que no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena”), no se observan excedencias por parte de estos promedios durante el año 2013. Y al comparar con los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos, la norma anual es 75 ppb (147 µg/m^3) y tampoco hay excedencias de este límite.

El dióxido de azufre SO_2 y el dióxido de nitrógeno NO_2 en ningún momento excedieron los respectivos límites normativos establecidos por la Resolución 610 de 2010. Estos gases presentan concentraciones relativamente altas en el suroccidente de la ciudad siguiendo el comportamiento observado para PM_{10}. Adicionalmente, Las Ferias registró la concentración más alta de NO_2. Las concentraciones horarias y de ocho horas de monóxido de carbono CO igualmente no excedieron la norma ni tampoco el 50% del valor de la misma, demostrando que existe un bajo riesgo de que este contaminante exceda los límites establecidos.

En términos de protección a la salud pública, en todo momento se mantuvo la categoría buena para CO, SO_2 y NO_2, demostrando que en este aspecto estos contaminantes son menos críticos en comparación con PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 cuando se trata de la protección de la salud de la población.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante 2013. Con respecto a la precipitación, durante el año se observaron dos meses con promedios muy por encima del promedio histórico de la RMCAB, alcanzando diferencias de 56.1 y 49.1 para noviembre y febrero, respectivamente. Por su parte, el mes con más déficit de precipitación fue junio con 29.5 mm menos que el promedio histórico. Analizando el acumulado de precipitación anual desde el año 1999, 2013 presentó un acumulado promedio de 847.3 mm, similar a varios años de la última década. Espacialmente, el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del Sur de la localidad de Kennedy, Norte de Tunjuelito y

Occidente de Puente Aranda. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado Centro - oriental al igual que al norte, en la localidad de Suba donde se aprecian valores significativos de precipitación.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio a lo largo del año, seguido de la estación de Carvajal. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Puente Aranda con promedios anuales de 8.1 y 6.6 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 y 1.1 m/s con valores máximos de 4.0 y 4.1 m/s. Geográficamente, se observó que el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al norte y nororiente de la ciudad además de algunos sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Las velocidades de viento promedio más altas se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón, alcanzando velocidades de hasta 3.2 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 m/s en el Nororiente hasta los 3.2 m/s en el Occidente de la ciudad.

Con referencia al promedio de temperatura en la ciudad (a partir de promedios diarios) se observaron valores por encima con respecto al periodo 1998-2012 durante el primer semestre con diferencias de hasta los 0.8°C, particularmente en los meses de mayo y abril y valores más cercanos al promedio histórico para el segundo semestre. Las temperaturas promedio anual más altas se encuentran hacia el occidente de la ciudad en las estaciones Carvajal y Kennedy con valores de 15.5 y 14.8°C, mientras que las temperaturas más bajas se encuentran hacia el sur-suroriente de la ciudad en estaciones San Cristobal y Tunal con 13.0 y 13.1°C, respectivamente. En relación a la variable temperatura máxima (la cual es reportada hacia el medio día), se encuentran los valores más altos hacia el norte de la ciudad en las estaciones Parque Simón Bolivar (20.8°C), Guaymaral (20.6°C) y Suba (20.5°C), mientras que los valores más bajos se presentan hacia el suroriente en la estación de San Cristobal con 15.5°C, lo que implica una diferencia de temperatura por encima de 5°C para esta variable. Por su parte la variable temperatura mínima, presenta el promedio más alto cercano a 11.5°C en el suroccidente en las estaciones de Carvajal y Kennedy, mientras que los valores más bajos se presentan al sur-suroriente hacia las estaciones de Tunal (8.5°C) y San Cristobal (8.6°C).

Introducción

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera bogotana. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central donde se someten a un proceso de validación final y posterior análisis con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Para el año 2013, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de cada las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el año 2013. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante el 2013, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública. Posteriormente se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. Finalmente se presenta un capítulo concerniente a la relación entre calidad del aire y comportamiento meteorológico evidenciando la relación de las concentraciones de PM_{10} con los vientos así como el episodio de máxima concentración en la ciudad.
En la parte final se presenta una síntesis de resultados por medio de tablas, lo cual permiten visualizar el comportamiento de cada contaminante en un sector específico de la ciudad.

1. Generalidades

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por trece estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad y depuración. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación.

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos de contaminantes y de variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones del entorno de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire.

En el presente informe no se considera la Estación Móvil porque está evaluando la calidad del aire en corredores viales bajo el Convenio 176 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (*U.S. Governement Printing Office*, 2014). La Tabla 1-2 describe las Técnicas de Medición de los equipos por contaminante las cuales están acordes a los métodos de referencia de la EPA o sus equivalentes.

Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web http://www.ambientebogota.gov.co, vínculo “Calidad del aire en BOGOTÁ”[1]

[1] También se puede ir directamente usando la dirección http://201.245.192.252:81

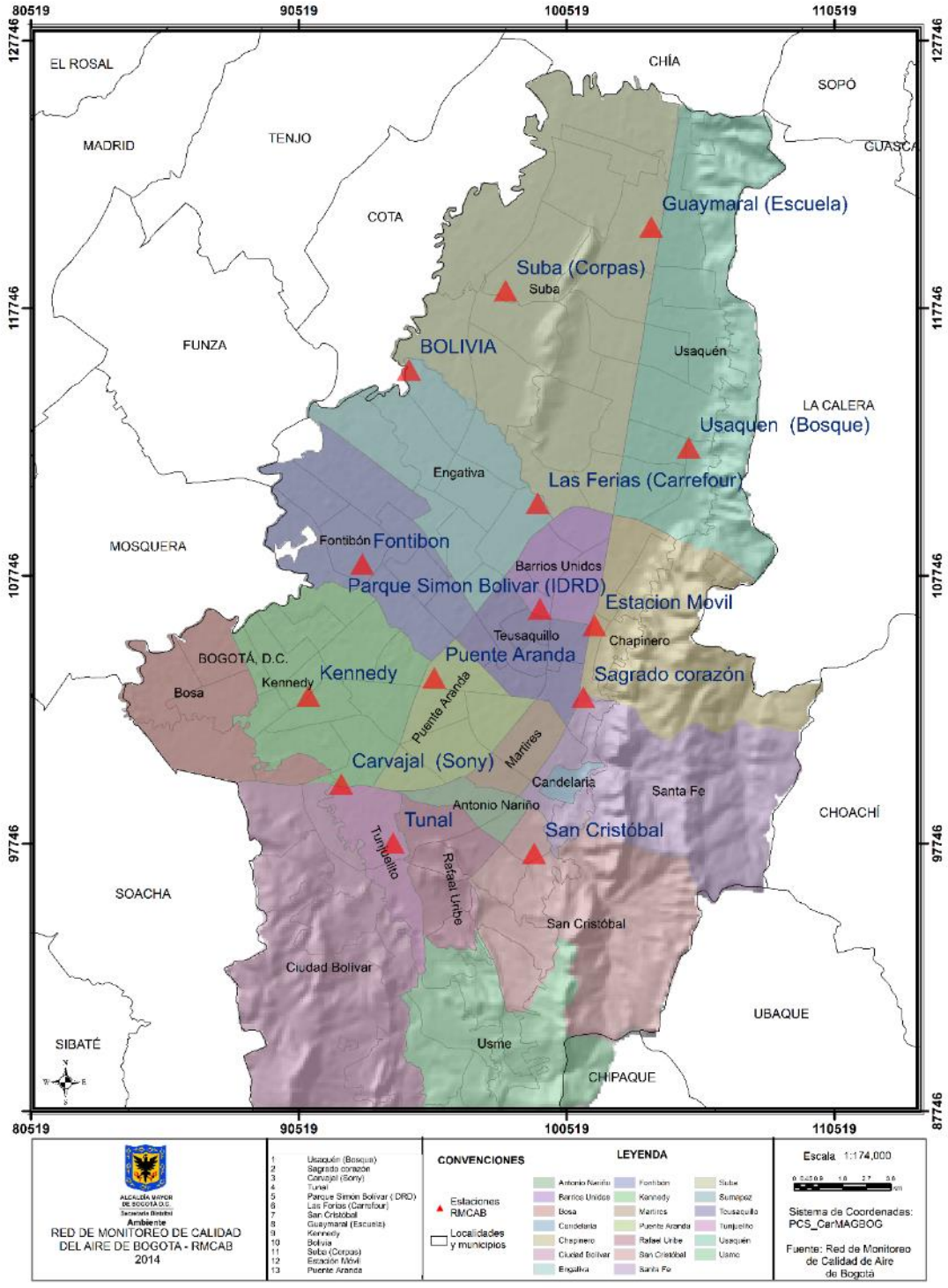


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el año 2013.

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en 2013.

	Característica	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	P. Simón Bolívar	Sagrado Corazón	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal	Tunal	San Cristóbal	Móvil
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°40'12.36"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N	---
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74 8'29.58"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W	---
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2591 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m	---
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	12 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal	---
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Carrera 96G # 17B-49	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	---
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo	
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	15 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m	
	Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	22 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m	
Contaminantes	PM_{10}	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PST											X			
	$PM_{2.5}$		X			X	X				X	X	X		
	O_3	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
	NO_2	X		X		X	X			X	X		X		X
	CO		X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
	SO_2			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X					X				X		X	X	X
	H. Relativa	X				X	X				X		X	X	X
	Presión Atm.	X				X			X		X				X

Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (*Environmental Protection Agency)*.

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PST	Atenuación por Radiación Beta	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O_3	Espectrometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones, ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años.

1.1. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 1-3 presenta los niveles máximos para los contaminantes criterio.

Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM_{10}	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO_2	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2013. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados y en operación, mientras que en la segunda parte se presenta los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el año 2013, en donde se puede ver que todos cumplen representatividad temporal superior al 75%. Sin embargo se observa que parámetros como el monóxido de carbono (CO) y el $PM_{2.5}$ presentaron porcentajes de captura relativamente inferiores en comparación con los demás parámetros. El comportamiento del monóxido de carbono se debió a que durante el periodo evaluado los analizadores de las estaciones San Cristóbal y Usaquén se encontraban en un proceso de mantenimiento en relación a las fuentes de infrarrojo (IR), lo cual conllevo a que el porcentaje de captura total de datos para estas dos estaciones, fuera comparativamente bajo, como se puede verificar en la Figura 2-2 y específicamente en la Tabla 2-1, en la que se encuentra un resumen del número de datos capturados por estación y por parámetro. En el caso de los monitores de $PM_{2.5}$ de las estaciones Carvajal y Usaquén, los porcentajes de captura de datos son relativamente bajos, en especial en Usaquén, debido a la puesta en operación de estos monitores en el año 2013, lo cual aporta a la disminución en dicho porcentaje.

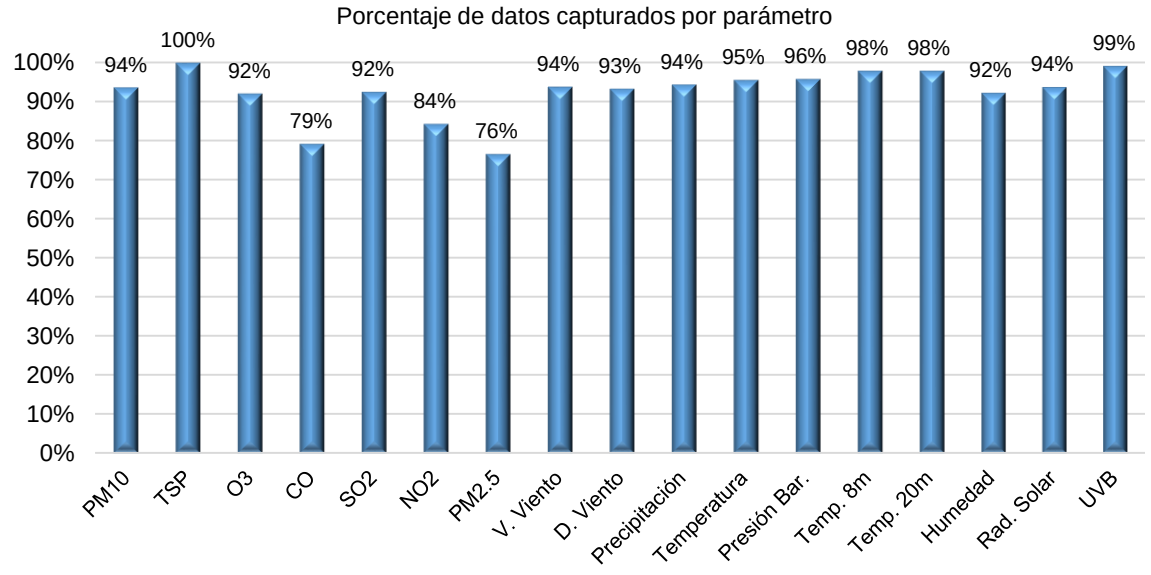


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2013.

De acuerdo a la Figura 2-2 Bolivia, San Cristóbal y Usaquén presentaron un porcentaje de captura de datos relativamente bajo, lo cual es explicado de acuerdo a la Tabla 2-1, que para el caso de Bolivia se debió a fallas encontradas en el anemómetro. No se capturaron datos de NO_2 en Fontibón porque el equipo requiere cambio en la tarjeta electrónica de importación. Los porcentajes relativamente bajos de captura en San Cristóbal de humedad relativa y radiación solar se deben a operaciones de mantenimiento del datalogger.

El porcentaje total de captura de datos en el año 2013 fue de 91%. Las celdas vacías en esta tabla indican que el parámetro no es medido en la respectiva estación.

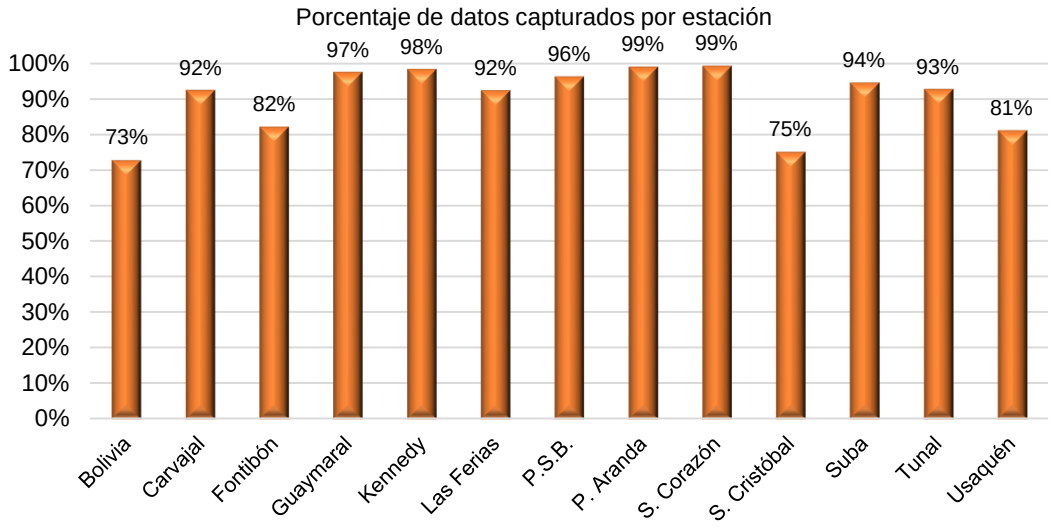


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2013

Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro.

	PM_{10}	TSP	O_3	CO	SO_2	NO_2	$PM_{2.5}$	V.V.	D.V.	P	T	P.B.	T8m	T20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								77%	64%	77%								73%
Carvajal	100%	100%	93%	100%	100%		32%	100%	100%	100%	100%							92%
Fontibón	85%		90%	93%	93%	0%		89%	93%	93%	93%	93%						82%
Guaymaral	98%		94%			96%		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%		97%
Kennedy	100%			100%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		98%
Las Ferias	91%		93%	93%	92%	90%	93%	93%	93%	93%	93%	93%			93%			92%
P.S.B.	94%		90%	98%	96%	99%	80%	99%	98%	99%	99%				99%	99%	99%	96%
P. Aranda	98%		99%	99%	99%	99%		99%	99%	99%	99%							99%
S. Corazón	99%		99%					99%	99%	99%								99%
S. Cristóbal	85%		72%	27%	84%			85%	85%	85%	85%				68%	74%		75%
Suba	95%		93%		96%	94%		94%	94%	94%	94%							94%
Tunal	83%		95%	75%		95%	95%	95%	95%	95%	95%				95%	97%		93%
Usaquén	94%		94%	27%			59%	90%	94%	94%	94%							81%
Total	94%	100%	92%	79%	92%	84%	76%	94%	93%	94%	95%	96%	98%	98%	92%	94%	99%	**91%**

2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el año 2013 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 84%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2010)[2]. Este manual establece la metodología de cálculo de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas según corresponda lo establecido por contaminante en la Resolución 610 de 2010. De acuerdo a la Figura 2-3 el dióxido de nitrógeno (NO_2), el monóxido de carbono (CO) y el material particulado $PM_{2.5}$ tienen un porcentaje válido inferior a 75%. Las causas del comportamiento del CO fueron las fallas en las fuentes de IR. Para el $PM_{2.5}$ se debió a la instalación de nuevos equipos, como se expuso en la sección anterior, cuyos datos fueron considerados válidos a partir del primero de octubre de 2013, posterior a la puesta a punto de los monitores a partir de procesos de ajuste operacional e intercomparación. El comportamiento del NO_2 se debe a que el equipo de la estación Fontibón se encuentra en mantenimiento y por tanto no es posible la captura de datos. Además varios datos capturados por las estaciones Guaymaral y Las Ferias fueron descartados en el proceso de validación por representar tendencias incongruentes que se atribuyen al funcionamiento de los equipos. De acuerdo a la Figura 2-4, las estaciones Bolivia, San Cristóbal y Usaquén fueron las únicas de la RMCAB que globalmente presentaron un porcentaje de recuperación de datos inferior a 75% debido a las razones operativas expuestas en la sección anterior. Por el contrario, Kennedy y Puente Aranda presentan un buen desempeño al presentar un porcentaje de datos válidos de 95%. La Tabla 2-2 es un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

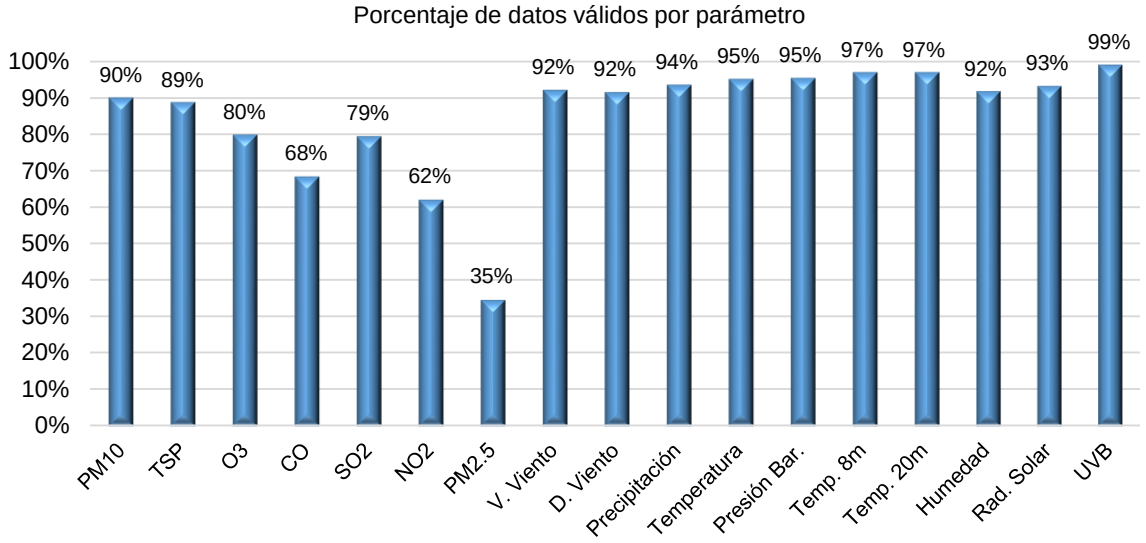


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2013.

[2] *El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.*

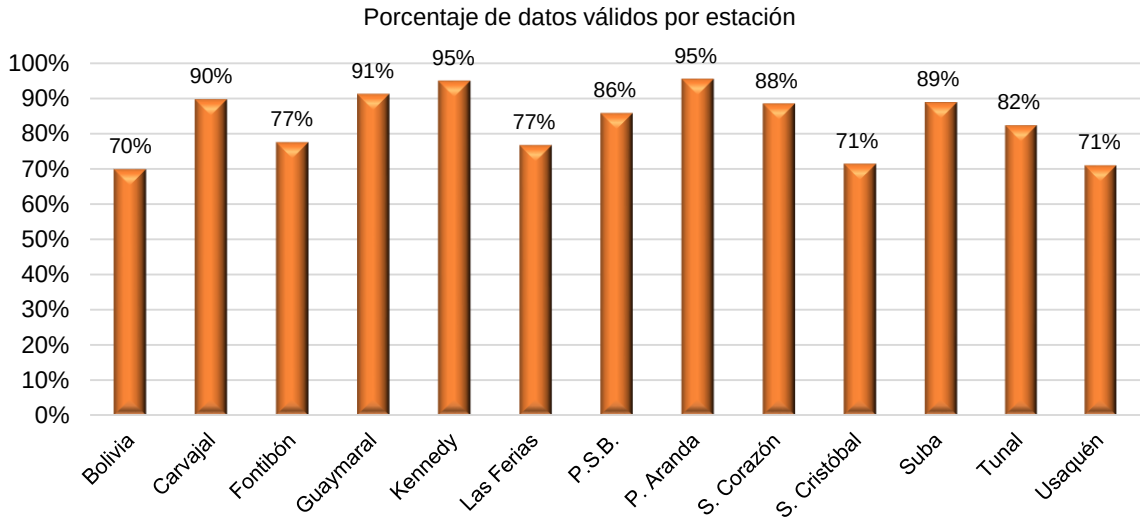


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2013.

Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

	PM_{10}	TSP	O_3	CO	SO_2	NO_2	$PM_{2.5}$	V.V.	D.V.	P	T	P.B.	T8m	T20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								77%	56%	77%								70%
Carvajal	99%	89%	91%	96%	98%		25%	100%	100%	100%	100%							90%
Fontibón	84%		82%	83%	74%	0%		81%	93%	93%	93%	93%						77%
Guaymaral	93%		93%			37%		96%	96%	96%	97%	97%	97%	97%	97%	97%		91%
Kennedy	97%			94%	61%	92%	97%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		95%
Las Ferias	85%		70%	85%	77%	28%	20%	92%	92%	92%	92%	92%			92%			77%
P.S.B.	87%		75%	86%	63%	90%	21%	99%	98%	99%	99%				99%	99%	99%	86%
P. Aranda	95%		84%	95%	99%	92%		99%	99%	99%	99%							95%
S. Corazón	96%		55%					98%	94%	99%								88%
S. Cristóbal	79%		67%	23%	71%			83%	83%	83%	83%				68%	73%		71%
Suba	92%		81%		92%	68%		94%	94%	94%	94%							89%
Tunal	80%		92%	50%		89%	22%	95%	95%	95%	95%				95%	96%		82%
Usaquén	94%		89%	6%			24%	83%	89%	90%	94%							71%
Total	90%	89%	80%	68%	79%	62%	35%	92%	92%	94%	95%	95%	97%	97%	92%	93%	99%	**84%**

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, el PM_{10}, y el $PM_{2.5}$; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son SO_2, NO_2, CO y O_3 y la tercera sección contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el año 2013 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentado en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

3.1. Material particulado – MP o PM (P*articulate Matter*)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades se encuentra el material particulado, el cual está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros. Este material tiene efectos sobre la salud humana dado su diámetro de partícula, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman, o servir como vehículo para el transporte de bacterias y virus.

Resultan de interés las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ que además son las reguladas en el territorio colombiano por la Resolución 610 de 2010, como se presentó en la página 21. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras que las segundas, las de $PM_{2.5}$ tienen tamaño menor o igual a 2,5 µm y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas) y resultan respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST) y son fracciones de este el PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, $PM_{2.5}$ y PM_{10} como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM_{10} se controla con 100 µg/m^3 y el anual con 50 µg/m^3.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM_{10}

Para el seguimiento de este contaminante la RMCAB contó en el año 2013 con 12 monitores, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.

Comportamiento anual de PM_{10}

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible en un tiempo de exposición anual para PM_{10} es 50 µg/m^3. La Tabla 3-1 y la Figura 3-1 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en promedios diarios) que monitorearon este contaminante durante 2013 y cuya representatividad temporal es superior a 75%. Las mayores concentraciones promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal con 81 µg/m^3 y Kennedy con 71 µg/m^3.

Tabla 3-1. Promedio anual de PM_{10} durante los años 2012 y 2013 y cambio de concentración entre los dos años. Se resalta en rojo las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2012 (µg/m^3)	Cambio 2013-2012 (µg/m^3)
Guaymaral	50	34	16
Usaquén	37	36	1
Suba	55	53	2
Las Ferias	34	46	-12
Parque Simón Bolívar	32	34	-2
Sagrado Corazón	45	42	3
Fontibón	47		
Puente Aranda	47	48	-1
Kennedy	71	71	0
Carvajal	81	76	5
Tunal	43	47	-4
San Cristóbal	34	36	-2

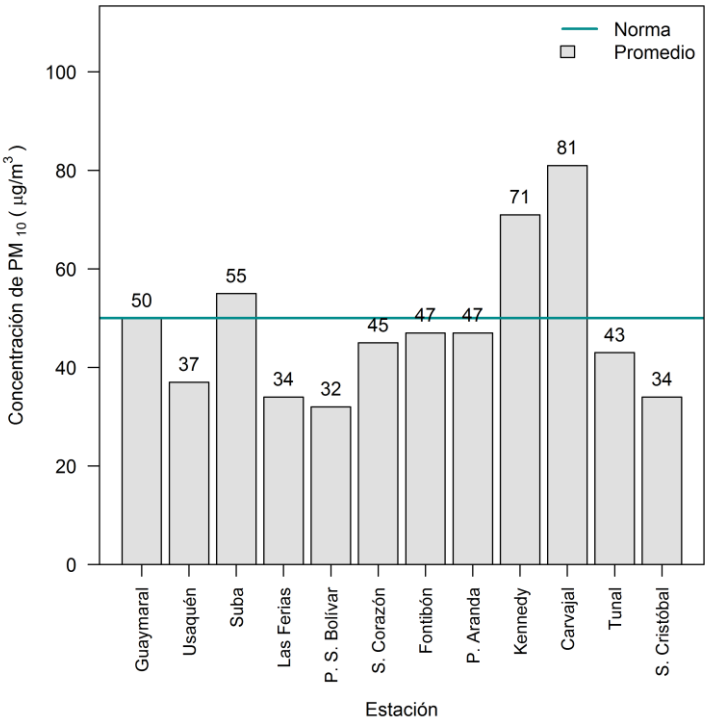


Figura 3-1. Promedios anuales de PM_{10} durante el año 2013 por estación de monitoreo.

Es de resaltar el aumento en la estación Guaymaral de 34 µg/m^3 a 50 µg/m^3 y aumentos más leves en Usaquén, Suba, Sagrado Corazón y Carvajal. Por el contrario, la estación Las Ferias registró un descenso notable de 46 µg/m^3 a 34 µg/m^3. Descensos más leves fueron observados en Tunal, San Cristóbal, Parque Simón Bolívar y Puente Aranda.

Las estaciones que superaron el límite normativo anual en 2013 fueron Carvajal, Kennedy y Suba con promedios de 81 µg/m^3, 71 µg/m^3 y 55 µg/m^3, respectivamente. Se resalta igualmente la estación Guaymaral que presentó una concentración promedio de 50 µg/m^3, la cual resulta el límite normativo permisible.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-2 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM_{10} (basado en promedios diarios) en las 12 estaciones durante el año 2013. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM_{10} fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad.

Comportamiento diario de PM_{10} (24 h)

El comportamiento diario de la concentración de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Cada dato diario se calcula a partir del promedio de los respectivos valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día.

Durante el año 2013 se reportó una representatividad temporal para el periodo mayor a 75% en las 12 estaciones analizadas, como se observa en la Tabla 3-2, columna “% de datos válidos”. Del total de datos registrados en las estaciones, el 3% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 104 valores: Carvajal (67), Kennedy (35) y Guaymaral (2). Las concentraciones máximas y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-3. La Tabla 3-2 resume los datos de PM_{10} en base diaria para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el año 2013.

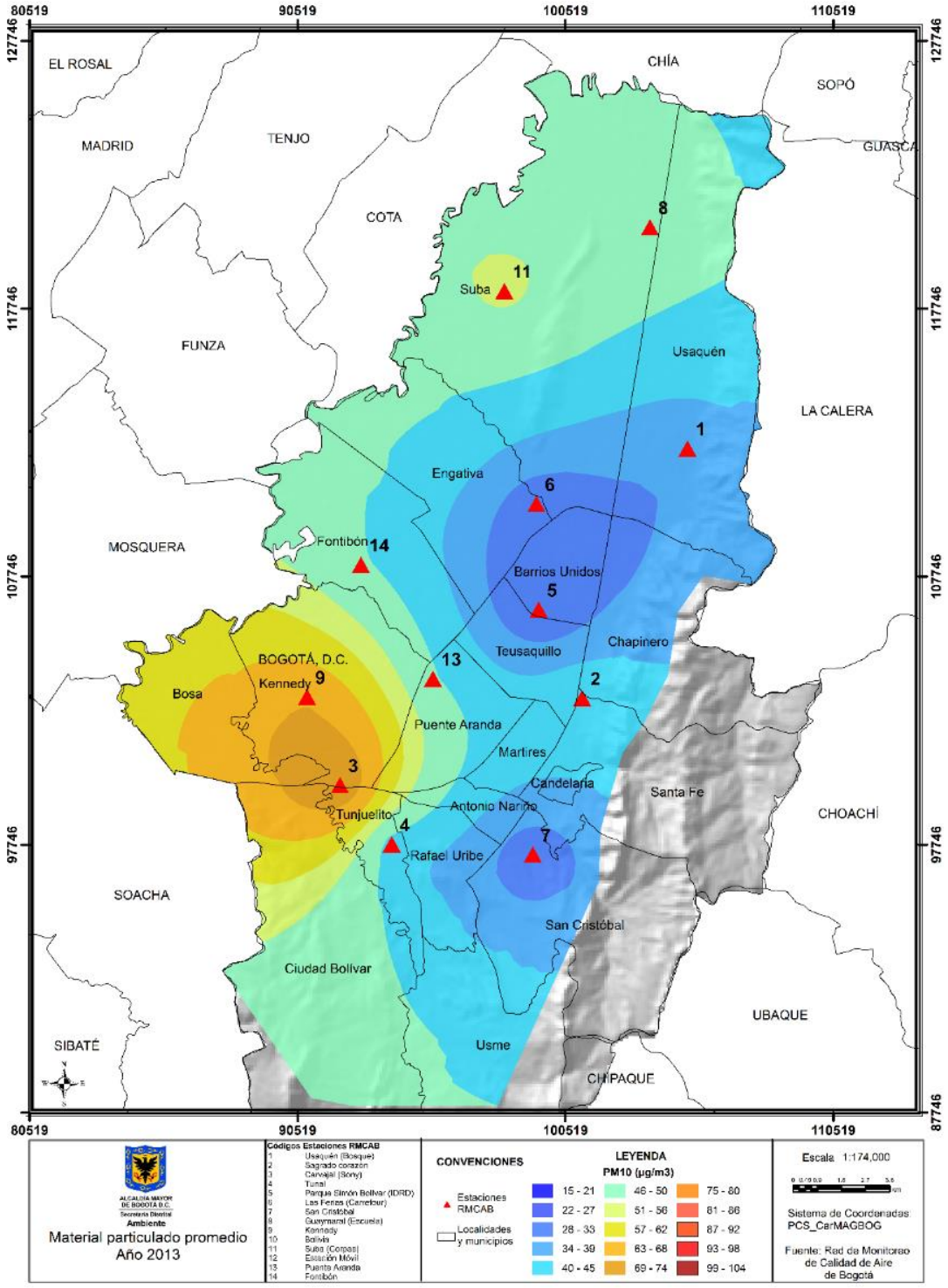


Figura 3-2. Material particulado (PM_{10}) promedio (superficie en colores).

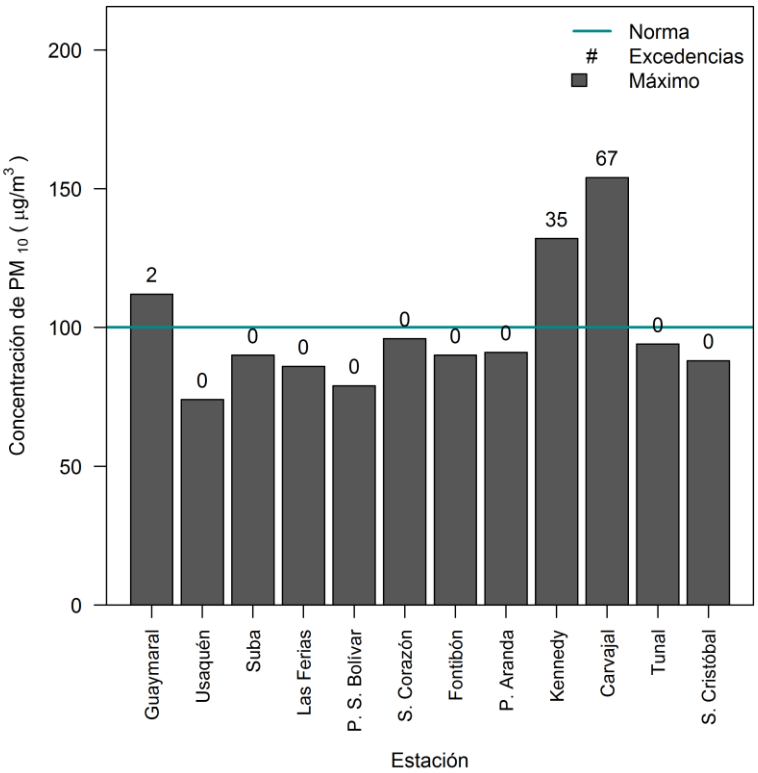


Figura 3-3. Concentraciones promedio diarias y número de excedencias de PM_{10} por estación durante el año 2013. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m^3 (Resolución 610 de 2010).

De acuerdo con la Tabla 3-2, las localidades más afectadas por PM_{10} en 2013 fueron las ubicadas en el suroccidente de la ciudad, especialmente Kennedy y Bosa, y las menos afectadas San Cristóbal, Engativá, Teusaquillo y Usaquén. En el año 2012 se registraron en total 92 excedencias, en contraste con 104 del año 2013.

Por otro lado, se destaca la última columna de la Tabla 3-2 la cual muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, que para este caso se encuentra entre 90 µg/m^3 y 100 µg/m^3. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Se puede ver que Sagrado Corazón, Puente Aranda y Tunal reportan datos en este rango (5 excedencias en conjunto), lo que evidencia que las zonas circundantes a estas tres estaciones están cerca de superar el límite normativo, además de las ya mencionadas por excedencias: Kennedy, Carvajal y Guaymaral.

Tabla 3-2. Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM_{10} durante el año 2013. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Excedencias de la norma 100 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[3]
Guaymaral	339	93%	2	1%	112	13/09/2013	1
Usaquén	340	93%	0	0%	74	08/11/2013	0
Suba	328	90%	0	0%	90	17/01/2013	0
Las Ferias	301	82%	0	0%	86	16/01/2013	0
Parque Simón Bolívar	306	84%	0	0%	79	17/01/2013	0
Sagrado Corazón	348	95%	0	0%	96	17/01/2013	2
Fontibón	300	82%	0	0%	90	09/08/2013	0
Puente Aranda	344	94%	0	0%	91	04/09/2013	1
Kennedy	351	96%	35	10%	132	03/09/2013	31
Carvajal	364	100%	67	18%	154	11/12/2013	56
Tunal	287	79%	0	0%	94	04/09/2013	2
San Cristóbal	278	76%	0	0%	88	17/01/2013	0

a) Calendario de contaminación por PM_{10} durante 2013

La Figura 3-4 y la Figura 3-5 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal y Parque Simón Bolívar, respectivamente, mostrando el contraste en los niveles de concentración diarios entre las estaciones con la concentración promedio anual más alta y la más baja. Se observa una diferencia considerable porque Carvajal presenta una alta cantidad de excedencias de la norma diaria las cuales son inexistentes en Parque Simón Bolívar. Para ambos casos los meses de mayo y junio presentan los niveles de concentración más bajos. Se destaca la segunda semana de diciembre como un episodio de alta concentración en Carvajal ya que todos los días hábiles excedieron el límite normativo. Además, durante dicha semana se registró la concentración máxima en la RMCAB con 154 µg/m³ el 11 de diciembre.

[3] *Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³*

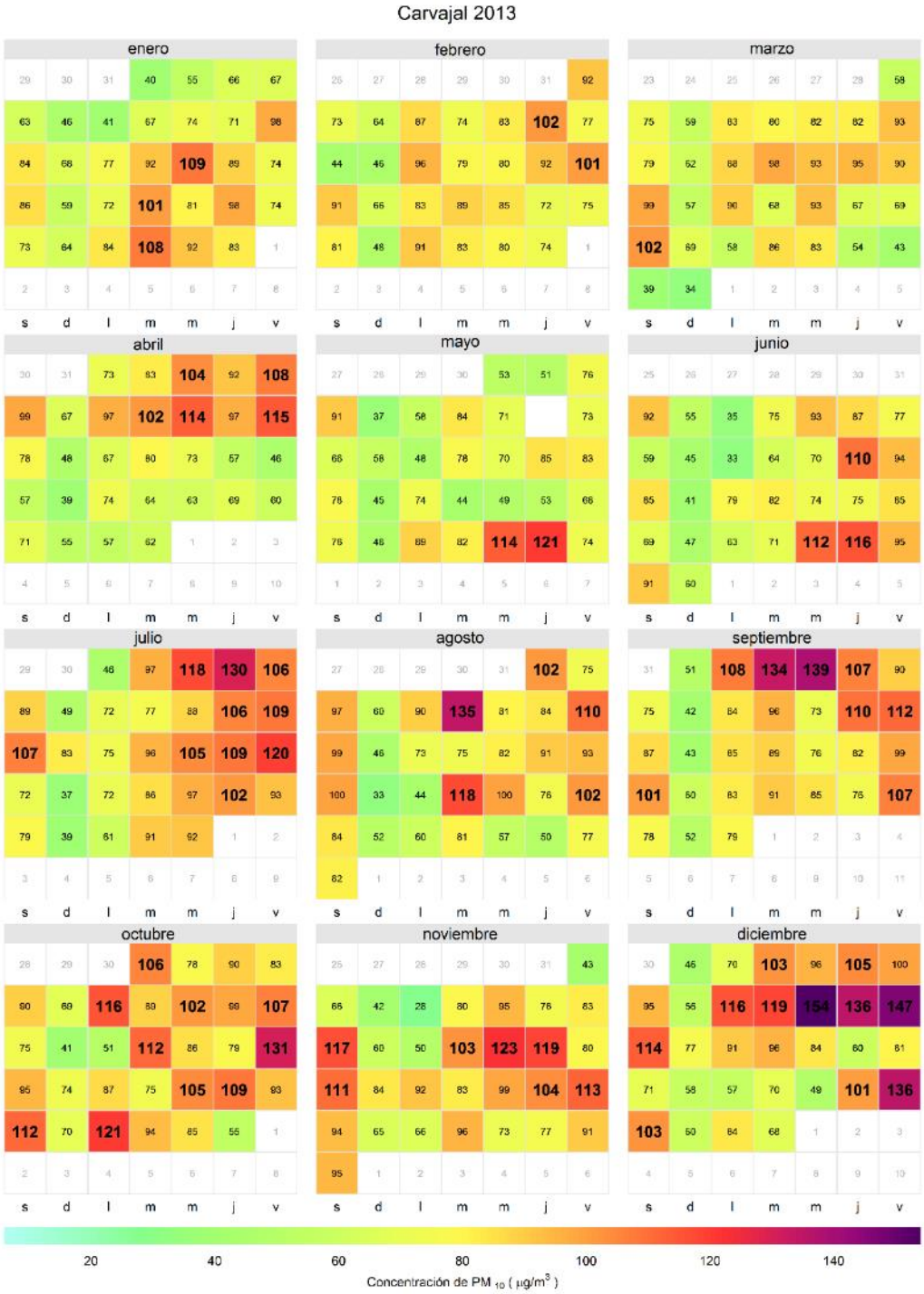


Figura 3-4. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2013 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se muestran aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m^3.



Figura 3-5. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2013 en la estación Parque Simón Bolívar. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

b) Análisis promedio de PM_{10} por día de la semana

La Figura 3-6 presenta el ciclo semanal de PM_{10} por estación para el año 2013. Se Puede ver que los días domingo registran las menores concentraciones en todas las estaciones, seguido por los lunes, lo cual también está asociado a la dinámica que tiene la ciudad el día anterior, por tener menor remanente de contaminantes que se alcanza a reflejar en el día lunes, además se debe tener en cuenta que en el año 2013 existieron 10 lunes festivos, lo cual tiene un impacto significativo en este descenso. Carvajal y Kennedy presentan la actividad más alta en los días entre semana, con valores promedio en el orden de 85 µg/m^3 y 75 µg/m^3, respectivamente; mientras que las demás estaciones se encuentran en el orden de 30 a 55 µg/m^3. Los ciclos semanales más cambiantes se presentan de igual forma en Kennedy y Carvajal, ya que la concentración tiene una reducción significativa los días domingo, lo que evidencia la actividad desarrollada durante los días laborales en la zona.

Se debe destacar la actividad del sábado en la ciudad, pues en las 12 estaciones no hay grandes diferencias en comparación con los días entre semana y en la estación Kennedy resulta ser el día más alto en PM_{10} de toda la semana. Las estaciones que presentan menor actividad en la semana resultan ser San Cristóbal y Usaquén, las cuales mantienen bajas concentraciones y una tendencia más constante.

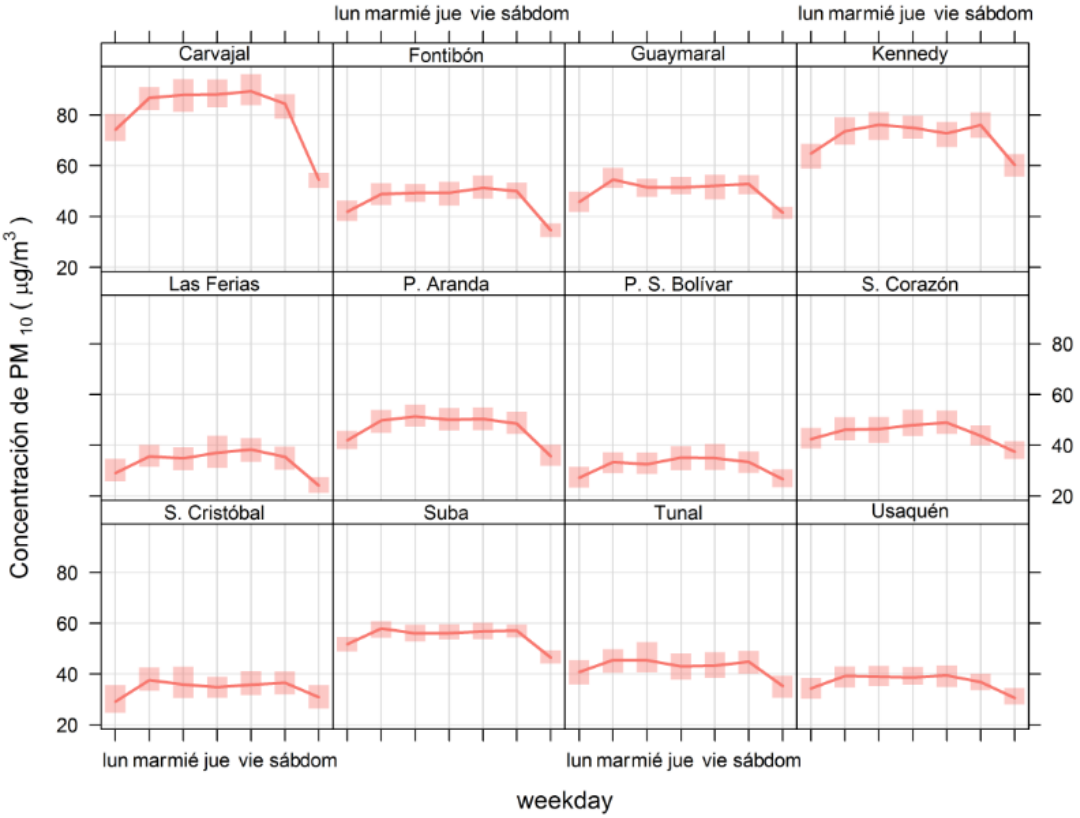


Figura 3-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

c) Tendencia horaria y mensual de PM_{10}

Aunque no existe normatividad de PM_{10} para tiempos de exposición de una hora y de un mes, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones medias mensuales y horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron este parámetro. La Figura 3-7 presenta los ciclos diarios por estación, en donde se puede ver que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 06:00 a.m. y 08:00 a.m. con incrementos más notables en Carvajal y Kennedy lo cual evidencia la actividad en el transporte en la ciudad. Posterior la actividad tiende a estabilizarse alrededor de las 10 a.m. y hasta las 4-5 p.m., para empezar nuevamente un leve aumento entre 06:00 p.m. y 08:00 p.m. que coincide con la denominada “hora pico” durante la cual aumenta el flujo vehicular. Es de notar que las estaciones Guaymaral y Suba presentan aumentos progresivos desde las 12:00 p.m. y hasta las 8:00 p.m., lo cual puede estar influenciado por la dinámica en el transporte.

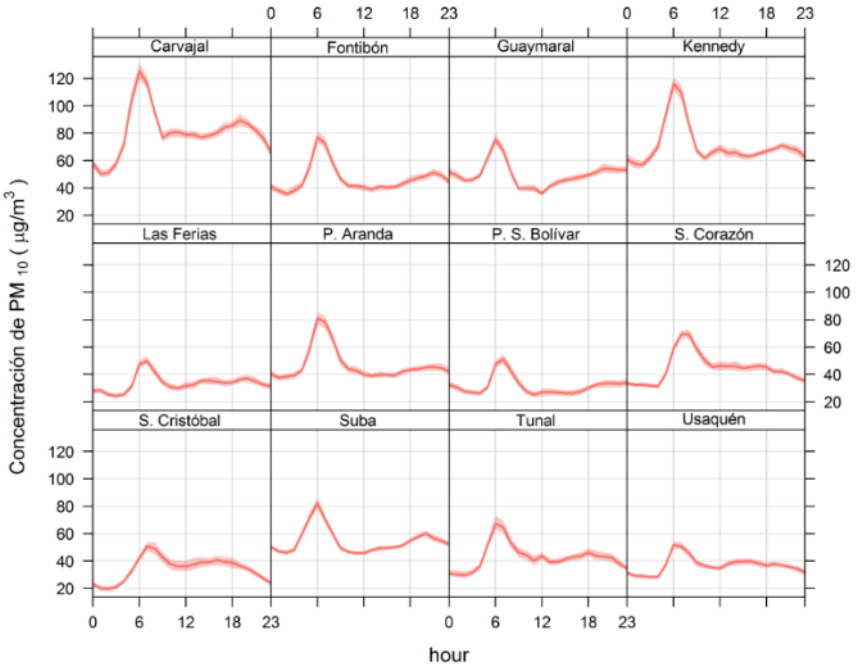


Figura 3-7. Ciclo diario de PM_{10} para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

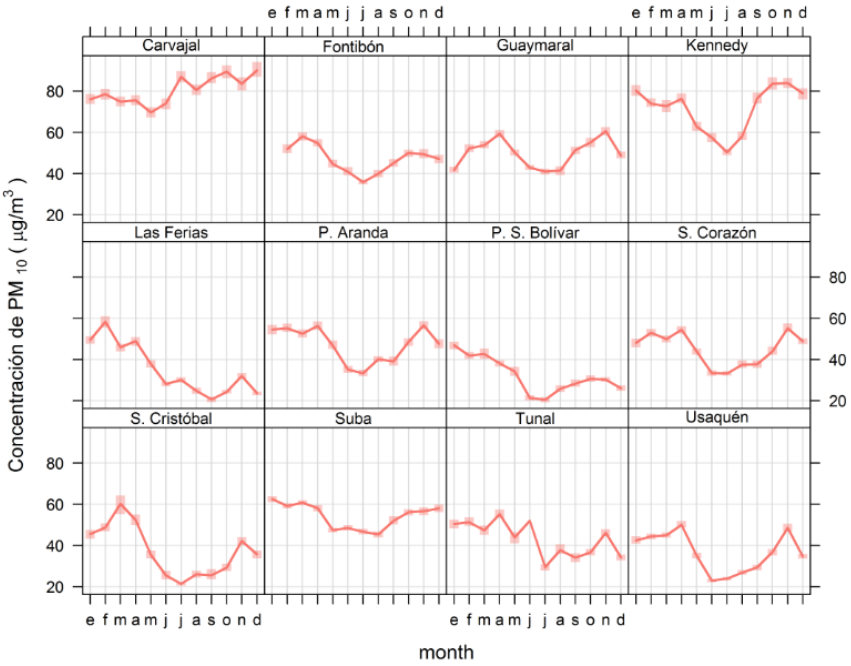


Figura 3-8. Ciclo anual de PM_{10} para 12 estaciones de la RMCAB en base mensual. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Con respecto al ciclo anual en base mensual, se puede ver en la Figura 3-8 un ciclo variable durante el año con los picos más altos durante febrero, marzo y abril, para luego descender hacia la mitad del año 2013 con los niveles de concentración más bajos (mayo, junio y julio) y en la mayoría de los casos volver a aumentar hacia noviembre. Sin embargo, en Carvajal la concentración fue aumentando progresivamente durante el año evidenciando un posible cambio en la dinámica de la ciudad con el transcurrir de los meses. Por el contrario la estación *Las Ferias*, presentó un descenso constante lo cual se refleja en su promedio anual de 34 µg/m^3, según la Tabla 3-1.

Comportamiento histórico de promedios de PM_{10}

a) Análisis semanal

La Figura 3-9 es un gráfico de *boxplot*[4] con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} para cada uno de los días de la semana desde el año 2009. Se puede ver una tendencia a la disminución en la concentración de PM10 para los días entre semana, pero no para los sábados y domingos, los cuales disminuyeron hasta el año 2012, pero en 2013 presentaron importantes aumentos (igualando la concentración de 2011, pero con menor dispersión en los datos), lo que evidencia un cambio en la dinámica de la ciudad para estos dos días. En comparación con el año 2012 las concentraciones en 2013 tienden a presentar valores similares entre los días lunes y viernes.

[4] Un entendimiento de la lectura de los gráficos de box-plot puede ser consultado en el anexo 1.

Con respecto a los años 2009-2011, las concentraciones del año 2013 son generalmente menores indicando una mejora progresiva en la calidad del aire. Se puede ver que el año 2009 presenta la mayor dispersión de datos y en términos históricos los días domingo tienden a ser menos dispersos y a presentar las menores concentraciones, lo cual evidencia la reducción de las actividades en la ciudad. El lunes es el día que presenta las concentraciones más bajas de los días hábiles, lo cual puede atribuirse a la influencia del día anterior, sumado a los 10 lunes festivos en 2013. Por su parte los jueves y viernes resultan los días de mayor concentración.

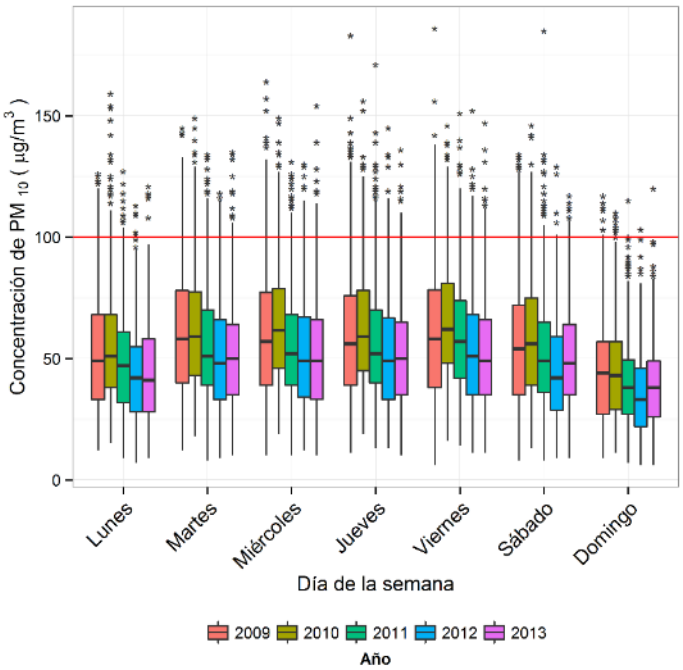


Figura 3-9. Gráfico de boxplot para PM_{10} en base diaria por días de la semana.

b) Análisis mensual

En la Figura 3-10 se observa el comportamiento histórico de PM_{10} en función de los meses del año. Los niveles de concentraciones más bajos se encuentran tradicionalmente en los meses de junio y julio mientras que enero, febrero y marzo registran valores un poco más altos. Este comportamiento puede estar asociado a la variabilidad meteorológica interanual, asociado al comportamiento de los vientos y las precipitaciones principalmente. Con respecto al año 2012 los meses de febrero, octubre, noviembre y diciembre de 2013 redujeron sus niveles de concentración. La dispersión de datos entre 2011, 2012 y 2013 es similar. La mayoría de máximas concentraciones de este contaminante se presentaron en los meses de enero y septiembre. Sin embargo, también hay ocurrencias en agosto, noviembre y diciembre.

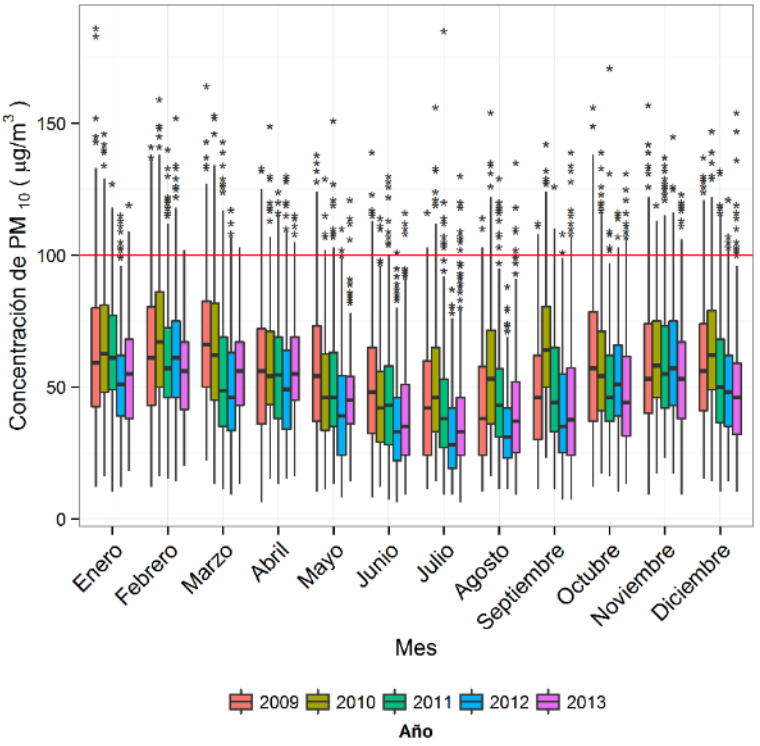


Figura 3-10. Gráfico de *boxplot* para PM_{10} en base diaria por meses comparando el año 2013 con años anteriores.

Con respecto al análisis por estaciones, la Figura 3-11 presenta dicho comportamiento, en donde se puede ver que las estaciones que registraron mayores niveles de concentración de PM_{10} fueron, en su orden, Carvajal, Kennedy y Suba. Por su parte la estación Guaymaral muestra un aumento muy significativo en la concentración de PM_{10} en 2013 en comparación los años anteriores y es posible observar los dos datos atípicos que fueron catalogados como excedencias en esta estación; mientras que Las Ferias presentó un descenso significativo en 2013. Las estaciones de San Cristóbal, Tunal, Font ibón y Parque Simón Bolívar han estado reduciendo progresivamente sus niveles de concentración. Las estaciones que registran una mayor dispersión en sus series de datos son Kennedy y Carvajal que históricamente han registrado los mayores valores de concentración promedio durante los últimos 5 años. Es posible que este comportamiento esté asociado a la actividad industrial relativamente elevada, a una alta densidad urbana y a un considerable tráfico de vehículos pesados, en comparación con otras zonas de la ciudad.

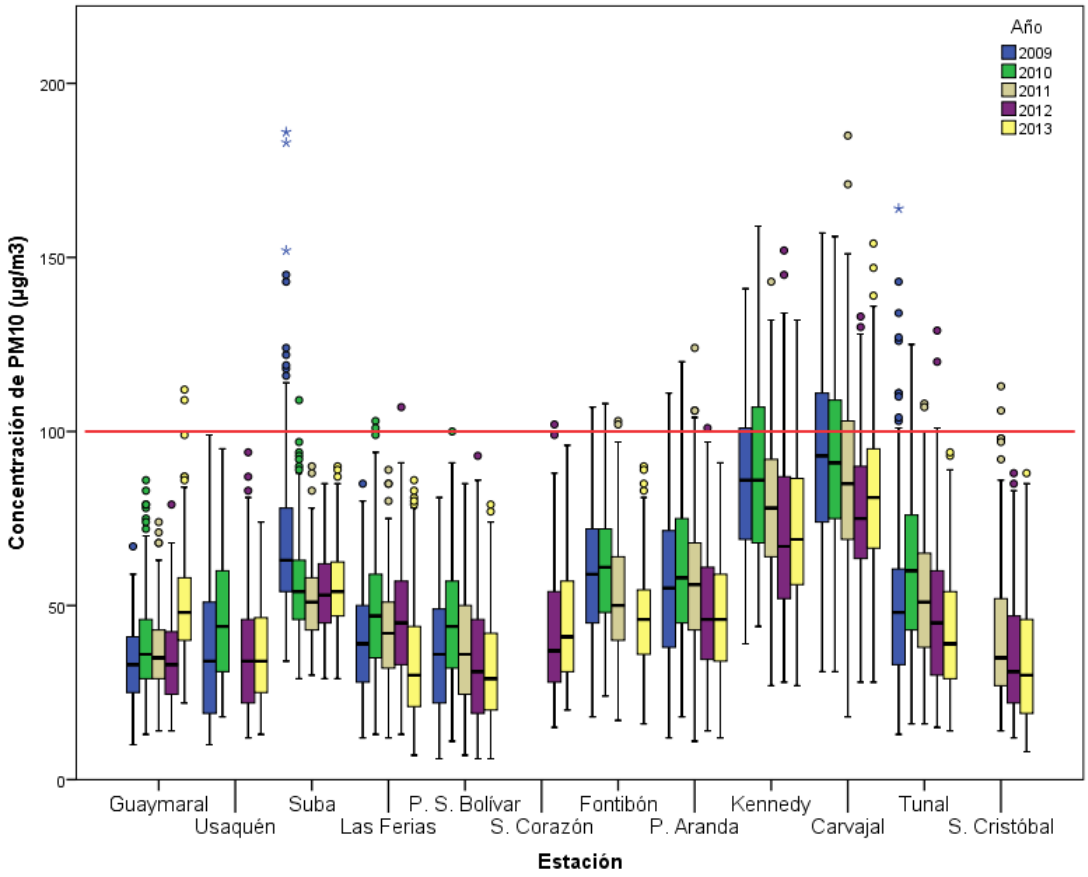


Figura 3-11. Gráfico de *boxplo*t para PM_{10} diario por estaciones. Se presentan años 2009 a 2013.

En lo referente al comportamiento general del contaminante en los últimos 5 años, se presenta una aproximación del consolidado del año en la Figura 3-12, lo cual no representa el comportamiento promedio del contaminante en la ciudad, pues se no considera la alta variabilidad espacial en las concentraciones de PM_{10} como sí se evidencia en la Figura 3-2. Se puede ver que los años 2012 y 2013 registran los menores niveles de concentración y sus diagramas de caja son similares en magnitud, dispersión y cantidad de datos atípicos. De los 5 años estudiados, el año 2010 registra las mayores concentraciones, lo cual se evidencia en el valor de la mediana de los diagramas de caja anteriores.

La Tabla 3-3 contiene un resumen de máximos y mínimos entre el año 2009 y el año 2013. El valor máximo de todos los registros diarios de la RMCAB en 2013 fue 154 $\mu g/m^3$ (presentado en la estación Carvajal) pero es menor en comparación con los años 2009, 2010 y 2011.

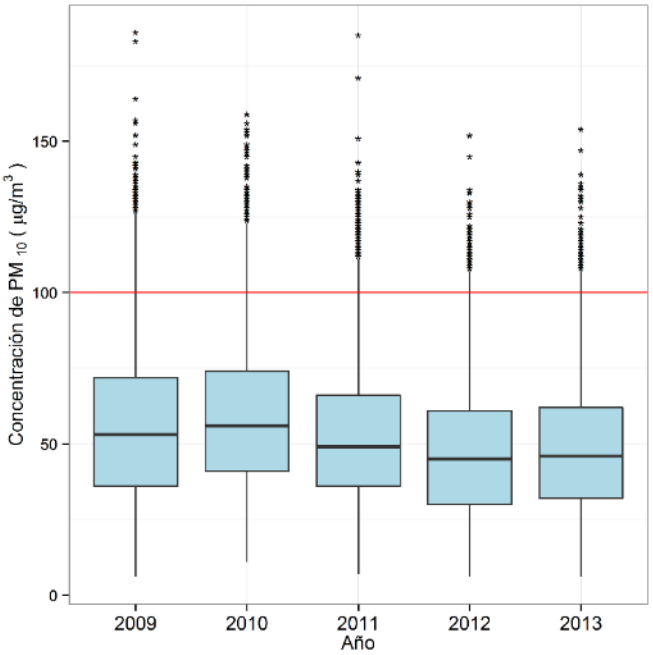


Figura 3-12. Gráfico de *boxplot* para PM_{10} en base diaria entre 2009 y 2013.

Tabla 3-3. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM_{10} en promedios diarios entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de PM_{10} en µg/m³	
	Máximo	Mínimo
2009	186	6
2010	159	11
2011	186	7
2012	152	6
2013	154	6

3.1.2. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

Este contaminante tiene límite normativo anual de 25 µg/m³ y límite normativo diario de 50 µg/m³. A continuación se presentan los comportamientos observados en comparación con la norma.

Comportamiento anual de $PM_{2.5}$ (Estación Kennedy)

La Figura 3-13 presenta el promedio de este contaminante en la estación Kennedy para el año 2013 ya que es la única que tiene una representatividad anual superior a 75%. Esta estación superó la norma anual de 25 µg/m³ con una concentración promedio de 28 µg/m³. Es importante destacar que el sector suroccidental de Bogotá tiende a presentar concentraciones relativamente altas de material particulado por lo que su comportamiento no es representativo de las demás zonas de la ciudad.

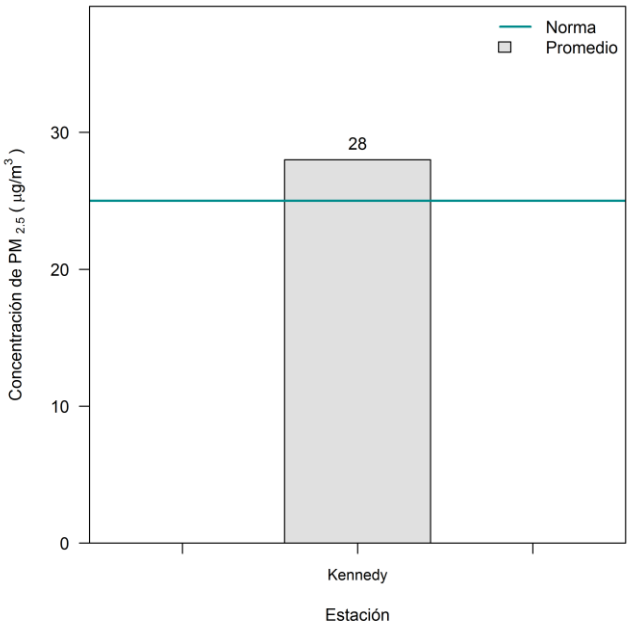


Figura 3-13. Promedio de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy para el año 2013 y comparación con la norma anual (25 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

En el año 2012 la concentración de $PM_{2.5}$ en esta estación fue igualmente 28 µg/m^3 (con una representatividad temporal de 87%) lo que muestra que el comportamiento de este contaminante fue estable durante los dos años en mención. En el año 2011 fue 31 µg/m^3.

Tabla 3-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en los años 2012 y 2013. La concentración anual no varió.

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2012 (µg/m^3)	Cambio 2013-2012 (µg/m^3)
Kennedy	28	28	0

Comportamiento diario de $PM_{2.5}$ (24h)

El reporte de las concentraciones diarias de este contaminante durante el año 2013 será dividido en dos secciones: la primera contendrá el análisis de la estación Kennedy (por ser la única estación disponible en operación) para todo el año 2013 (01 de enero a 31 de diciembre) y la segunda sección se referirá al análisis de las estaciones disponibles (incluyendo Kennedy), en el periodo de 01 de octubre de 2013 a 31 de diciembre de 2013, ya que durante el cuarto trimestre entraron en operación 5 monitores en las estaciones Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal.

a) Sección 1. Estación Kennedy (01 enero a 31 diciembre 2013)

La Figura 3-14 contiene un resumen de la concentración máxima y del número de excedencias de la norma diaria de $PM_{2.5}$ para el año 2013.

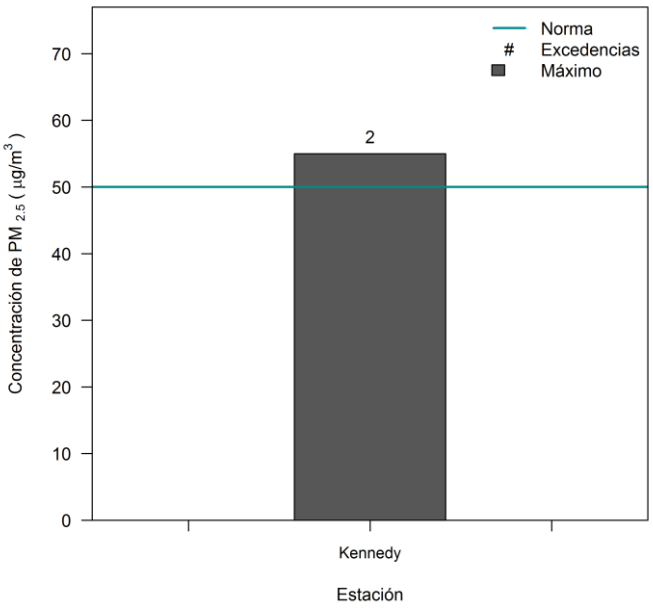


Figura 3-14. Máximo y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria durante el año 2013. Estación Kennedy.

La Tabla 3-5 contiene un resumen estadístico y de excedencias en la cual se puede ver una captura de datos válidos para 2013 de 356, lo cual corresponde a un 98% de representatividad temporal. Se presentaron dos excedencias del límite de 50 µg/m^3 establecido por la Resolución 610 de 2010 y un máximo de 55 µg/m^3 el día 16 de enero de 2013, día en que se registraron igualmente altas concentraciones de PM_{10}.

Tabla 3-5. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2013 en la estación Kennedy.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Excedencias norma 50 µg/m^3	%de excedencias	Máximo [µg/m^3]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma[5]
Kennedy	356	98%	2	1%	55	16/01/2013	13

En el año 2012 la representatividad temporal de la serie de datos fue 87% y se presentaron 13 excedencias de la norma diaria con un máximo de 63 µg/m^3 el 17 de febrero de 2012. Por tanto, los datos de 2013 evidencian una mejora de la calidad del aire en este sector y una menor afectación de la salud pública si se tiene en consideración la reducción de los valores máximos y del número de excedencias, las cuales aún persisten. Se presentaron 13 datos entre el 90% y el 100% de la norma, lo que indica que un 3.5% de los datos en 2013 se encuentran muy cerca de superar el límite normativo.

La Figura 3-15 corresponde a un diagrama calendario de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ durante el año 2013. Se observa que los dos días que excedieron la norma se encontraban en enero y abril. Julio fue el mes que presentó el mejor comportamiento de

[5] Mayor a 45 µg/m^3 y menor o igual a 50 µg/m^3

todo el año. Como se ha mencionado previamente, los domingos registran los menores niveles de concentración.

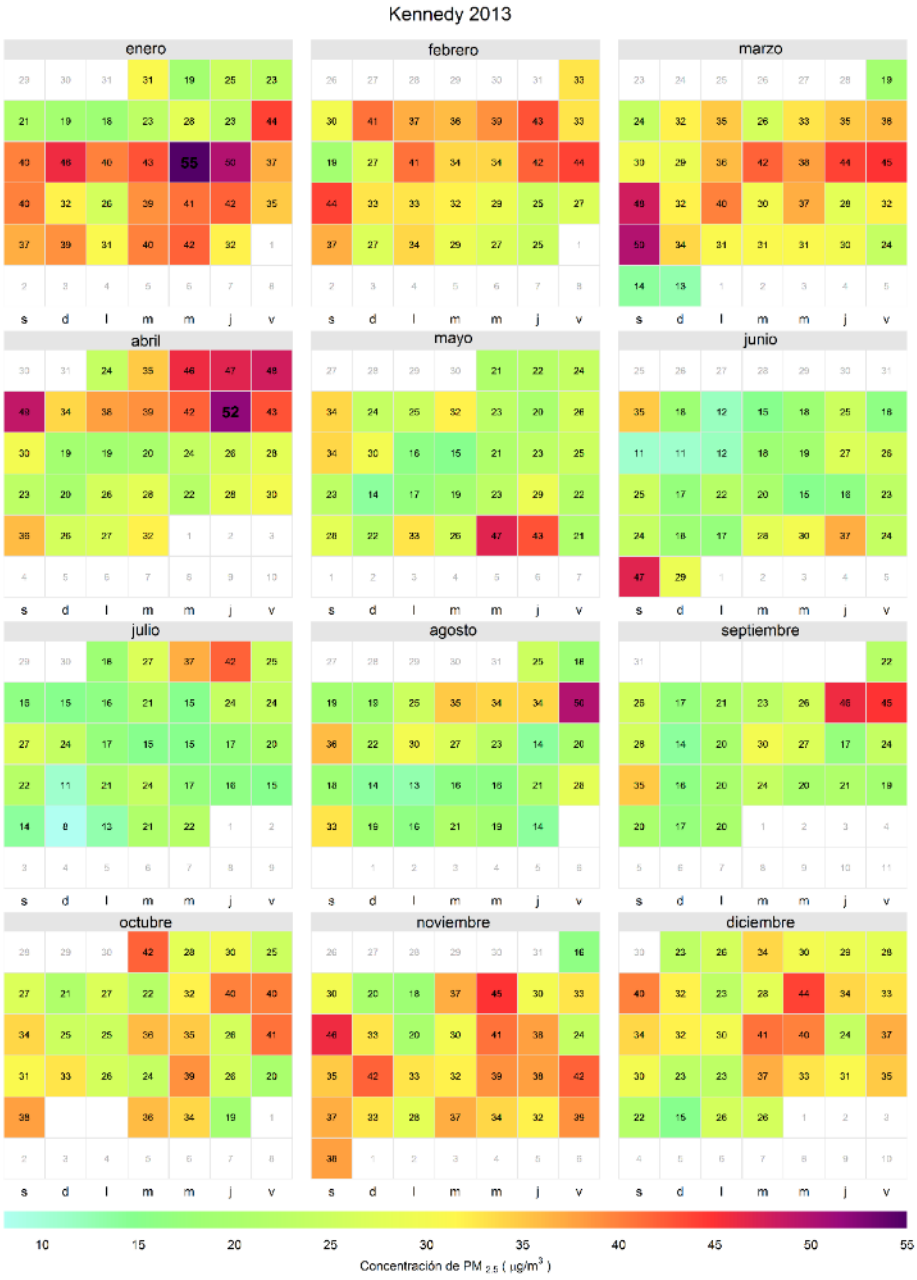


Figura 3-15. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

El perfil semanal de la Figura 3-16 muestra la alta variabilidad de los promedios diarios evidenciando la contribución de diferentes fuentes de emisión. En este caso los miércoles y viernes registran las concentraciones más altas en contraste con el lunes y el domingo.

La Figura 3-17 muestra los perfiles diario y anual en esta estación. Como es usual para el material particulado, el pico de concentración se encuentra entre las 06:00 a.m. y las 08:00 a.m. Se registra un aumento menos pronunciado desde las 06:00 p.m y hasta las 9:00 p.m., quizás por actividades vehiculares. El ciclo anual muestra un descenso importante de la concentración entre los meses de mayo a septiembre, lo que se atribuye a una mejor dispersión de los contaminantes gracias al aumento de la velocidad del viento en la zona durante estos meses del año (ver sección 4.2).

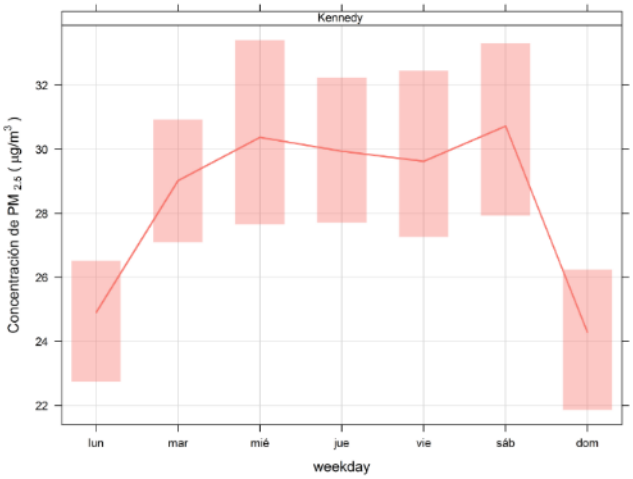


Figura 3-16. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

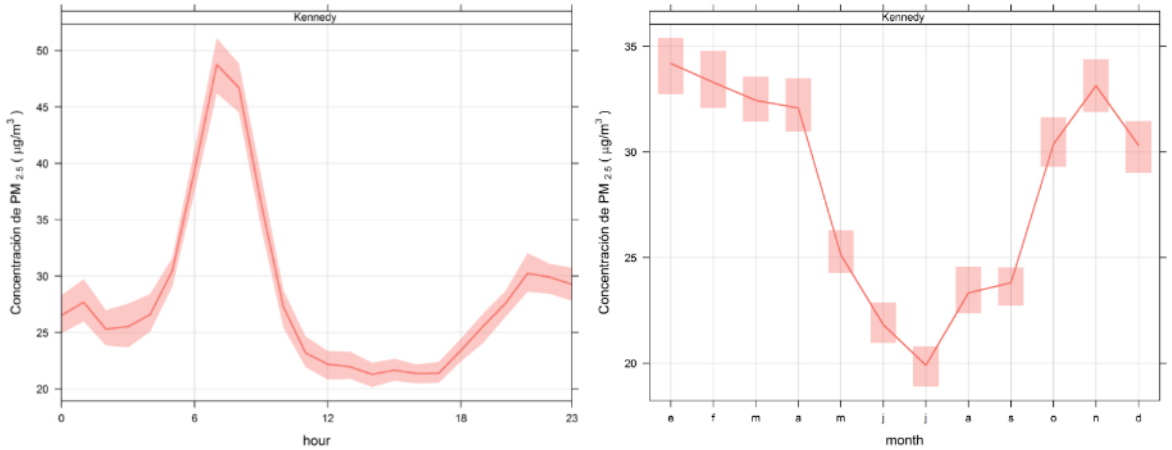


Figura 3-17. Ciclo diario (izquierda) y anual (derecha) de la concentración de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en el año 2013.

b) Sección 2: Estaciones Kennedy, Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal entre 01 octubre a 31 diciembre.

Entre el 01 de octubre de 2013 y el 31 de diciembre de 2013, 6 estaciones monitorearon $PM_{2.5}$. La Figura 3-18 corresponde a un resumen de los máximos y excedencias de este contaminante para el periodo en mención. Se observa que durante el cuarto trimestre no se presentaron excedencias de la norma diaria y que las máximas concentraciones fueron

reportadas en las estaciones Kennedy y Carvajal, una tendencia que es concordante con los resultados del análisis de PM_{10}.

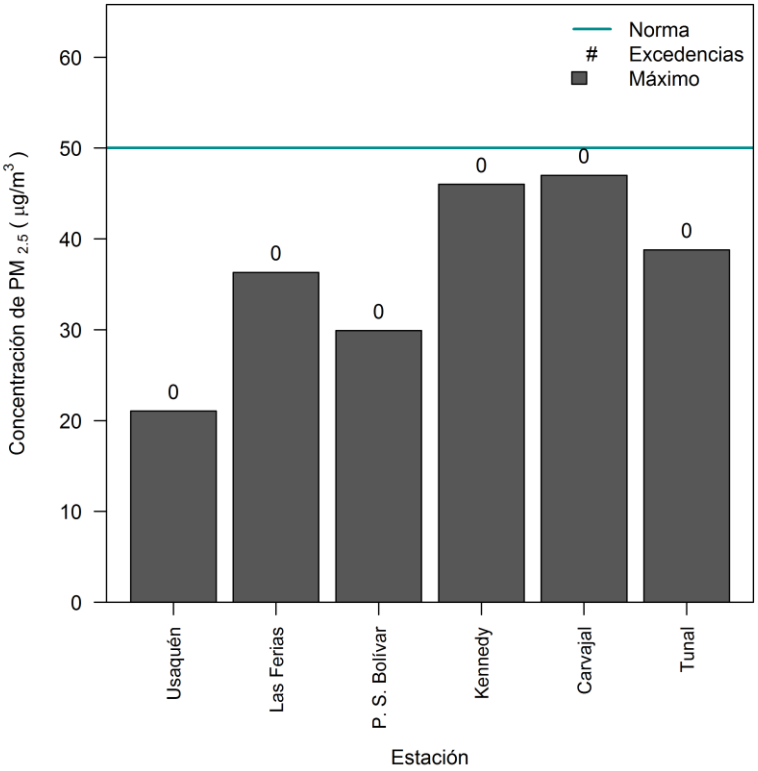


Figura 3-18. Máximos y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria durante el cuarto trimestre de 2013.

La Tabla 3-6 contiene un resumen estadístico descriptivo, en donde se encuentran los promedios de cada estación de forma indicativa, pero se debe aclarar que estos valores no pueden ser comparados con la normatividad diaria o anual al tener tiempos de exposición diferentes. Carvajal y Kennedy registraron sus máximas concentraciones de forma simultánea el 09 de noviembre de 2013, situación asociada a un episodio generalizado de máxima concentración en el suroccidente de la ciudad.

En general y con excepción de Las Ferias, todas las estaciones que miden $PM_{2.5}$ registraron los máximos para este periodo en noviembre. No se reporta el promedio de Las Ferias al no cumplir el criterio de representatividad temporal. Usaquén y Parque Simón Bolívar reportan los menores niveles de concentración los cuales contrastan en magnitud con los correspondientes a las estaciones Kennedy y Carvajal.

Tabla 3-6. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ por estación para el cuarto trimestre del año 2013.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Promedio[6] (µg/m³)	Excedencias norma diaria 50 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Excedencias sobre el 90% de la norma[7]
Usaquén	81	88%	10	0	21	20/11/2013	0
Las Ferias	63	68%		0	36	01/10/2013	0
Parque Simón Bolívar	73	79%	17	0	30	29/11/2013	0
Kennedy	90	98%	31	0	46	09/11/2013	1
Carvajal	91	99%	30	0	47	09/11/2013	2
Tunal	80	87%	19	0	39	20/11/2013	0

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

El comportamiento histórico temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ se describe en función de los días de la semana, los meses del año y las estaciones. Como se mencionó previamente solamente se cuenta con una representatividad temporal superior a 75% para la estación Kennedy durante el año 2013. Del presente análisis se excluye el año 2009 porque su representatividad temporal es 67%. El comportamiento en función de los días de la semana se ilustra en la Figura 3-19 y los valores de los respectivos promedios en la Tabla 3-7. Históricamente, los días domingo y lunes registran las menores concentraciones promedio mientras que los jueves y viernes las mayores. La dispersión de los datos es levemente menor los lunes. Este comportamiento es similar al observado para PM_{10} y PST. Se destaca que en el año 2013 el día sábado presentó un aumento notable de su concentración en comparación con lo observado en 2012, además de ser la mayor concentración de los todos los 7 días de la semana, con un promedio de 31 µg/m³. La dispersión de los datos es similar entre los distintos años, mostrando similitudes en la dinámica y la actividad de la ciudad.

[6] Este promedio es meramente indicativo y no debe compararse con los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 al tener tiempos de exposición diferentes.
[7] Mayor a 45 µg/m³ y menor o igual a 50 µg/m³

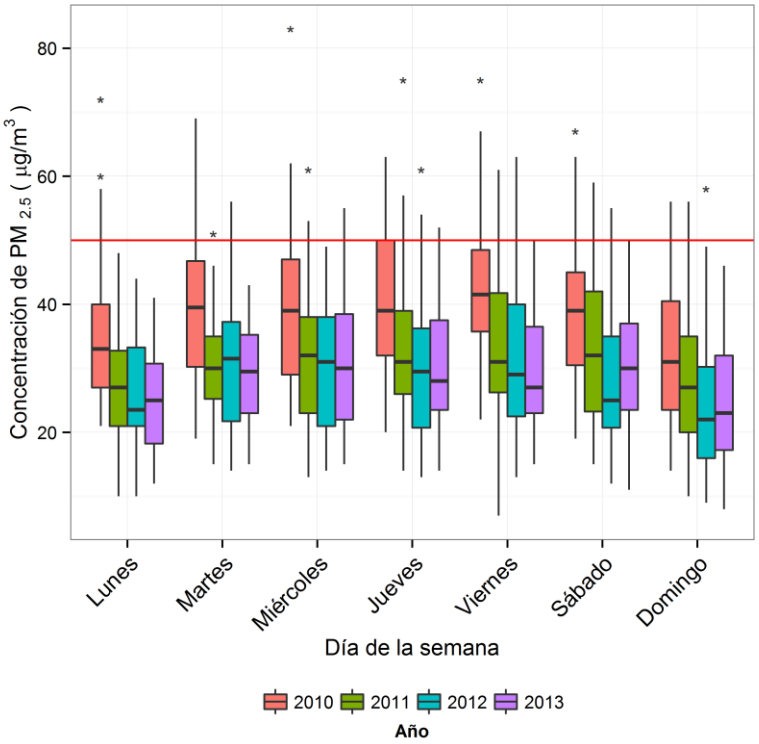


Figura 3-19. Gráfico de *boxplot* para $PM_{2.5}$ por días de la semana en base diaria comparando el año 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.

Tabla 3-7. Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por día de la semana durante los últimos 4 años. Se considera solamente la estación Kennedy.

Promedio del contaminante $PM_{2.5}$ por días de la semana en µg/m³				
Día	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Lunes	37	27	26	25
Martes	40	31	30	29
Miércoles	40	32	30	30
Jueves	41	33	30	30
Viernes	43	35	31	30
Sábado	39	33	28	31
Domingo	32	28	24	24

Las principales fuentes de $PM_{2.5}$ incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (EPA, 2014). Respecto a los demás días de la semana, el día domingo no muestra un descenso tan pronunciado en su concentración de $PM_{2.5}$, en comparación con el descenso observado para PM_{10}. Sin embargo, aún se evidencia la reducción en las actividades relacionadas con el tráfico vehicular. Es posible que el lunes, al menos durante las primeras horas, esté afectado por la menor contaminación remanente del día domingo, razón por lo que la comparación con otros días hábiles es menor.

La Figura 3-20 es un gráfico de *boxplot* histórico en función de los meses del año. Se observa, de forma similar al comportamiento de PM_{10}, que las mayores concentraciones se encuentran en los primeros y últimos meses del año mientras que hay descenso notable entre mayo y agosto. La dispersión de los datos es variable entre los años y los meses pero el año 2010 tiene una diferencia notable con el resto del conjunto. De acuerdo a la Tabla 3-8 se presentó un aumento de concentración en enero y en los meses de marzo a julio en comparación con el año 2012. Julio registra la menor concentración promedio mientras que enero la mayor. Los meses para los cuales no se registra información son aquellos que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal.

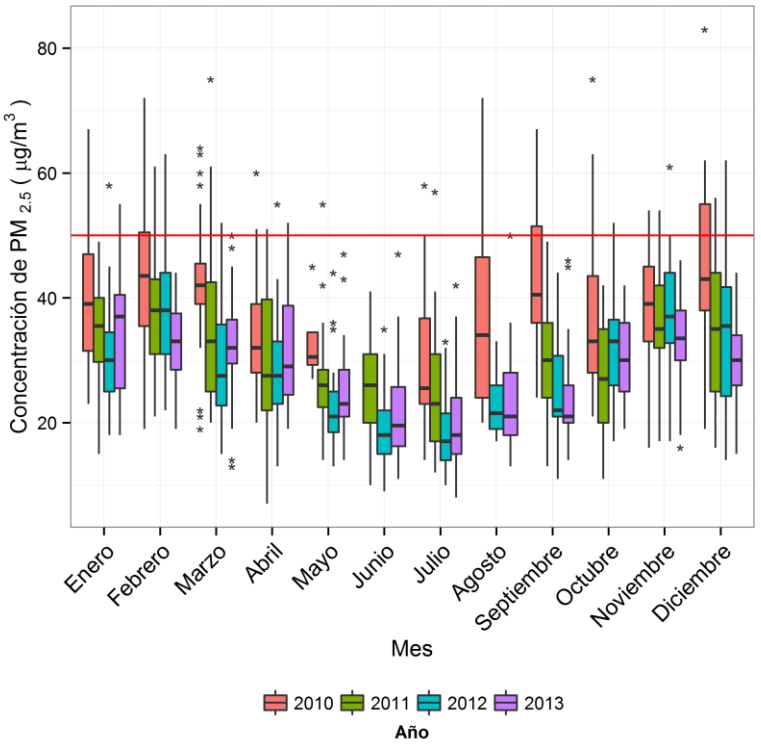


Figura 3-20. Gráfico de *boxplot* para $PM_{2.5}$ por meses desde base diaria entre 2010 y 2013.

La Figura 3-21 corresponde a un gráfico de *boxplot* generalizado con el comportamiento histórico de la concentración media de $PM_{2.5}$ entre 2010 y 2013 para la estación Kennedy. Desde el año 2010 la concentración media de $PM_{2.5}$ se ha reducido progresivamente (ver Tabla 3-9) y el promedio anual es igual en los años 2012 y 2013 (28 µg/m^3) aunque hay una diferencia en la cantidad de datos atípicos y en la dispersión. El año 2010 tiene una mayor dispersión de datos en comparación con los demás.

Tabla 3-8. Concentración promedio de $PM_{2.5}$ por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy.

Mes	Promedio del contaminante $PM_{2.5}$ por mes en $\mu g/m^3$			
	2010	2011	2012	2013
Enero	39	34	31	34
Febrero	44	38	39	33
Marzo	42	36	29	33
Abril	34	29	29	32
Mayo	N.R.	26	23	25
Junio	N.R.	25	19	22
Julio	30	N.R.	18	20
Agosto	37	N.R.	23	23
Septiembre	43	N.R.	25	24
Octubre	37	27	33	30
Noviembre	38	36	38	33
Diciembre	45	35	34	30

NR: no representativo de acuerdo al criterio de 75% de representatividad temporal.

Tabla 3-9. Resumen histórico de concentraciones de $PM_{2.5}$ para los años 2010 a 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.

Año	Concentración media de $PM_{2.5}$ en $\mu g/m^3$
2010	39
2011	31
2012	28
2013	28

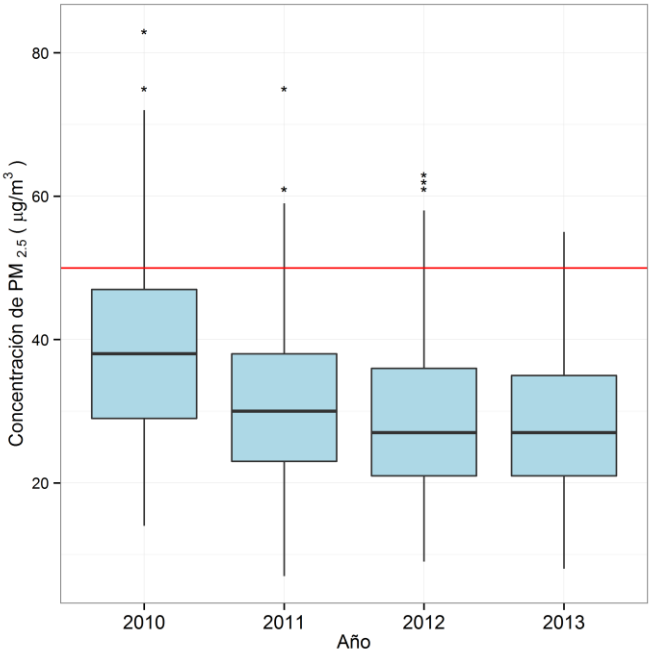


Figura 3-21. Gráfico de *boxplot* para $PM_{2.5}$ por estaciones (desde base diaria) entre 2010 y 2013.

3.1.3. Relación de concentración de $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 3-10 muestra la relación de concentraciones entre material particulado $PM_{2.5}$ y material particulado PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el cuarto trimestre de 2014. Esta relación muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. Se observa que Parque Simón Bolívar tiene una relación relativamente alta (0,6), lo cual evidencia una considerable influencia por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y/o también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas (Sun *et al.,* 2003; Baker y Scheff, 2007; Real y Sartelet, 2011). Por su parte estaciones como Carvajal y Usaquén están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido; mientras que estaciones como Kennedy y Tunal presentan influencia tanto de material proveniente de fuentes de combustión como por material resuspendido.

Tabla 3-10. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el cuarto trimestre de 2013.

Estación	Concentración de $PM_{2.5}$ (µg/m^3)	Concentración de PM_{10} (µg/m^3)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Usaquén	10	40	0,3
Parque Simón Bolívar	17	28	0,6
Kennedy	31	82	0,4
Carvajal	30	88	0,3
Tunal	19	39	0,5

3.1.4. Comportamiento de la concentración de PST.

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST), la RMCAB durante el año 2013 contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal.

Comportamiento anual de la concentración de PST

El cálculo de la concentración anual de material particulado total o partículas suspendidas totales (PST) se basa en promedios geométricos de los datos diarios de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 y al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; MAVDT, 2014). Para los demás contaminantes se usa el promedio aritmético.

El promedio geométrico se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{prom} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}} \quad \text{para } i = 1,2,3,\ldots,n$$

Donde C_{prom} es el promedio geométrico y $\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}$ es promedio de los logaritmos para los n valores de concentración del contaminante i.

El promedio geométrico de los datos diarios registrados en el año 2013 fue 115 µg/m^3. Este valor está por encima del límite normativo anual que corresponde a 100 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. En el año 2012 se obtuvo un promedio más alto, que corresponde a 130 µg/m^3. Los resultados pueden observarse en la Figura 3-22 y en la Tabla 3-11.

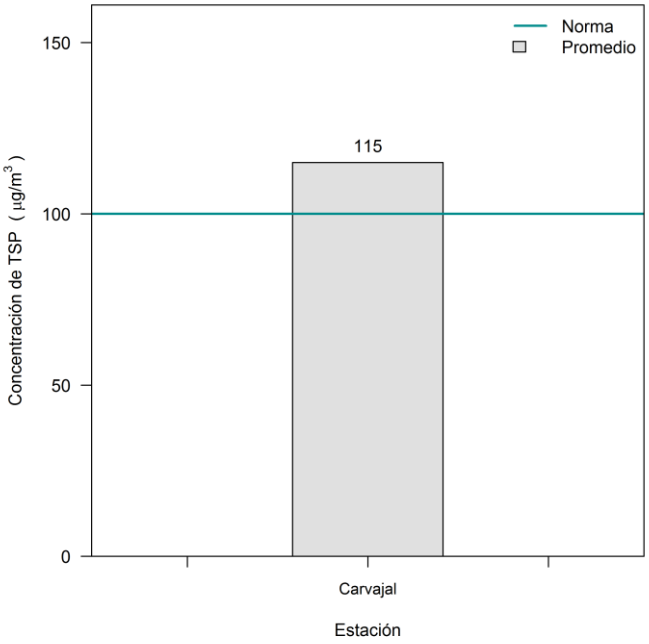


Figura 3-22. Concentración promedio de PST (TSP) durante el año 2013. Base diaria.

Tabla 3-11. Concentración promedio y diferencia de concentración para los años 2012 y 2013 en la estación Carvajal. Promedios geométricos.

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2012 (µg/m^3)	Cambio 2013-2012 (µg/m^3)
Carvajal	115	130	15

Comportamiento diario de la concentración de PST

En la estación Carvajal se registraron 305 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de recuperación de 84%. Ningún promedio excedió la norma (300 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010). El valor máximo fue de 279 µg/m^3 el día 11 de diciembre de 2013. Esta fecha también corresponde al promedio máximo de PM_{10} en la RMCAB (estación Carvajal) lo que demuestra congruencia en la tendencia y relación entre estos dos contaminantes. En la Figura 3-23 y en la Tabla 3-12 se resume lo expuesto anteriormente. Se muestra el número de excedencias y el valor máximo de los promedios diarios que fueron registrados en la estación Carvajal.

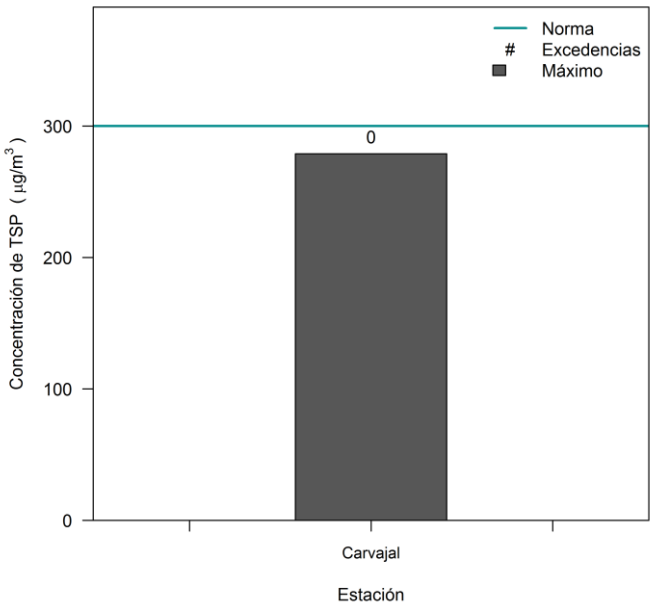


Figura 3-23. Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante año 2013. Base diaria.

Tabla 3-12. Resumen de datos diarios de PST para el año 2013.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma 300 µg/m3	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma[8]
Carvajal	305	84%	0	279	11/12/2013	1

Comportamiento histórico de promedios de PST en base diaria.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana en el año 2013 se presenta en la Figura 3-24 y el histórico de las concentraciones promedio en la Tabla 3-13. Con excepción de los días sábado y domingo, la concentración promedio en el año 2013 disminuyó en comparación con los promedios de 2012. Con respecto a los promedios de 2009 a 2011, hay reducción en todos los días de la semana. En un marco general, los días domingo tienden a registrar las menores concentraciones y menor dispersión de datos debido a la reducción de actividades. Los días martes y viernes tienden a estar más afectados por contaminación atmosférica.

[8] Mayor a 270 µg/m^3 y menor o igual a 300 µg/m^3

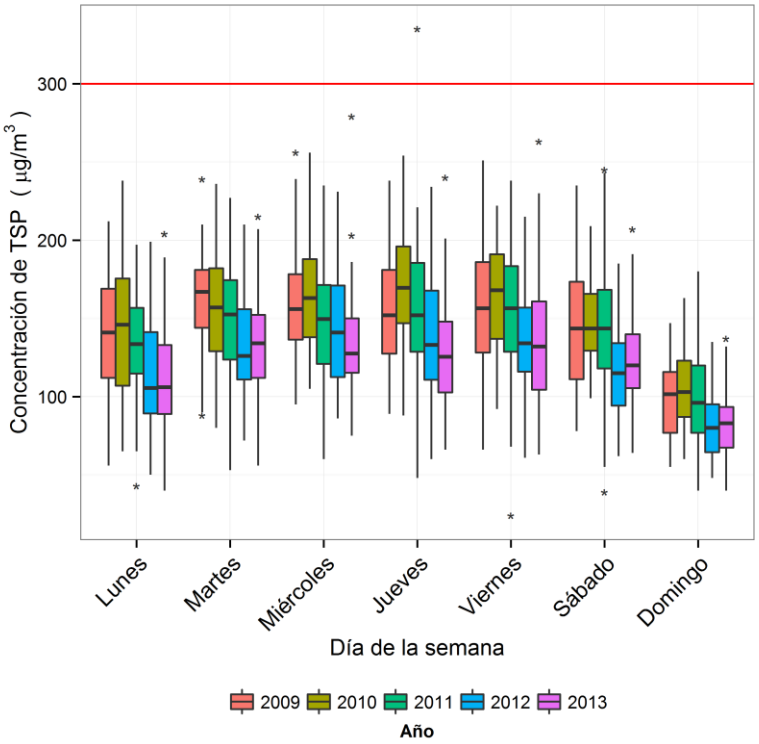


Figura 3-24. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando 2013 con años anteriores.

Tabla 3-13. Concentración promedio de PST por día de la semana en el año 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos.

Promedio geométrico del contaminante PST por días de la semana en µg/m³					
Día	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Lunes	133	137	126	108	105
Martes	161	154	142	133	131
Miércoles	156	159	141	139	128
Jueves	152	167	142	133	126
Viernes	150	161	143	133	130
Sábado	141	145	132	112	121
Domingo	97	100	94	79	80

En la Figura 3-25 se puede observar el comportamiento histórico de la concentración de PST en función del mes a manera de diagrama de caja. Los promedios geométricos respectivos se muestran en la Tabla 3-14. Es importante aclarar que los promedios mensuales se reportan únicamente si los datos del mes en cuestión tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Por esta razón se observan espacios sin datos en la respectiva tabla. Aunque de una forma menos pronunciada que en el caso de PM_{10} se observa que los mínimos valores tienden a registrarse entre los meses de mayo a julio. El grado de dispersión de los datos es altamente variable entre meses del mismo año y entre distintos años. Los meses de mayo, julio y agosto de 2013 no cumplen con el criterio de representatividad temporal. La única excedencia presente se observó el 27 de octubre de 2011 con un valor de 335 µg/m³.

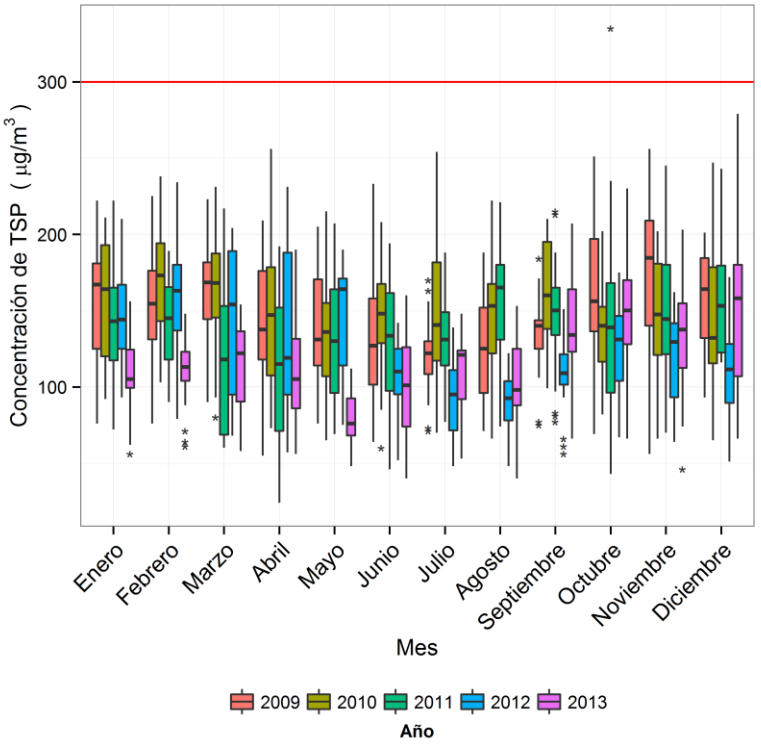


Figura 3-25. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por meses (desde base diaria) comparando para el 2009 - 2013. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.

Tabla 3-14. Promedios geométricos de PST por mes entre 2009 y 2013. Se considera solamente la estación Carvajal.

Mes	Promedio del contaminante PST por mes del trimestre en µg/m³				
	2009	2010	2011	2012	2013
Enero	132	152	137	N.R.	107
Febrero	143	167	139	N.R.	109
Marzo	163	159	111	N.R.	110
Abril	135	144	98	129	106
Mayo	134	128	N.R.	N.R.	N.R.
Junio	123	140	N.R.	N.R.	96
Julio	118	140	N.R.	86	N.R.
Agosto	120	141	151	N.R.	N.R.
Septiembre	133	N.R.	143	N.R.	131
Octubre	155	136	126	122	146
Noviembre	161	143	146	119	128
Diciembre	153	139	N.R.	106	143

N.R.: No Representativo.

En la Figura 3-26 se muestra el comportamiento histórico generalizado de la concentración de PST entre 2009 y 2013. Aunque el año 2013 registró concentraciones un poco más altas que en 2012, estos resultan inferiores en comparación a los demás años. Aunque la dispersión de los datos es levemente inferior, la cantidad de datos atípicos aumentó de forma considerable. Es importante destacar que esta figura

corresponde únicamente a la estación Carvajal y por este motivo no se presenta una gráfica por estaciones.

La Tabla 3-15 contiene un resumen de los promedios de PST entre 2009 y 2013. Se observa que aunque las concentraciones promedio anuales se han reducido progresivamente, aún exceden el límite normativo anual de 100 µg/m^3 establecido en la Resolución 610 de 2010.

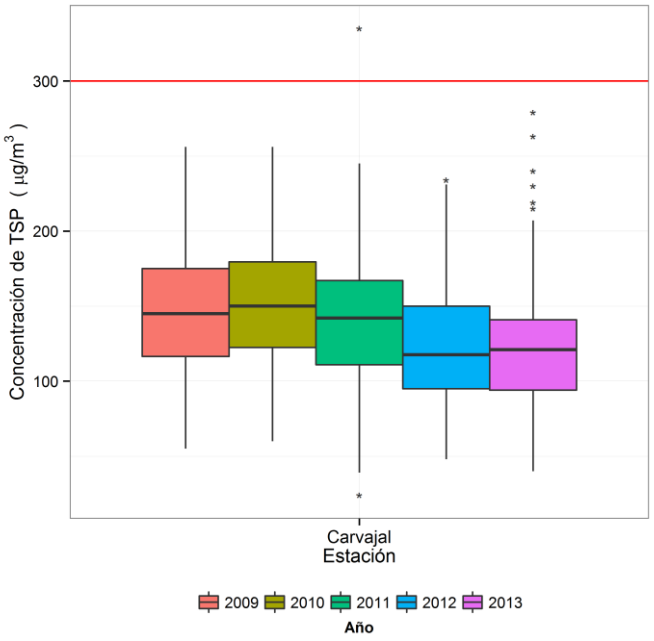


Figura 3-26. Gráfico de *boxplot* para PST en base diaria para años 2009 a 2013 para estación Carvajal.

Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios diarios entre 2009 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal con los promedios geométricos.

Año	Promedio de PST en µg/m^3
2009	161
2010	144
2011	134
2012	130
2013	115

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y de reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmosfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la luz solar.

3.2.1. Comportamiento de la concentración de SO_2.

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre (SO_2) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio diarias y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento anual de SO_2

La Tabla 3-16 resume los promedios de dióxido de azufre durante el año 2013 en las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal igual o superior a 75%. Por tanto, se muestran los datos de las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal, las cuales están ubicadas en la parte noroccidental, occidental y suroccidental de Bogotá. La estación Carvajal marca una diferencia considerable porque su promedio es notablemente superior. Esto se debe a que esta estación se ubica en las inmediaciones de un corredor vial (Autopista Sur) donde transita un alto flujo de vehículos de transporte público y de carga pesada y, además, hay una fuerte actividad industrial en la zona.

Tabla 3-16. Concentración promedio de SO_2 en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante durante el año 2013. Solamente se presentan los promedios de aquellas estaciones con un porcentaje de representatividad temporal superior a 75%.

Estación	% de datos válidos	Promedio [µg/m^3]	Promedio [ppb]
Suba	90%	6	2.4
Las Ferias	71%	N.R.	N.R.
Parque Simón Bolívar	61%	N.R.	N.R.
Fontibón	70%	N.R.	N.R.
Puente Aranda	99%	5	1.7
Kennedy	58%	N.R.	N.R.
Carvajal	98%	15	5.7
Tunal	71%	N.R.	N.R.
San Cristóbal	67%	N.R.	N.R.

N.R.: No Representativo.

La Figura 3-27 presenta el diagrama de barras de las concentraciones promedio de SO_2 para las estaciones que cumplieron el criterio de representatividad temporal. Se presentan dos escalas: µg/m^3 y ppb. Ninguna estación superó la norma anual establecida de 80 µg/m^3 (correspondiente a 31 ppb).

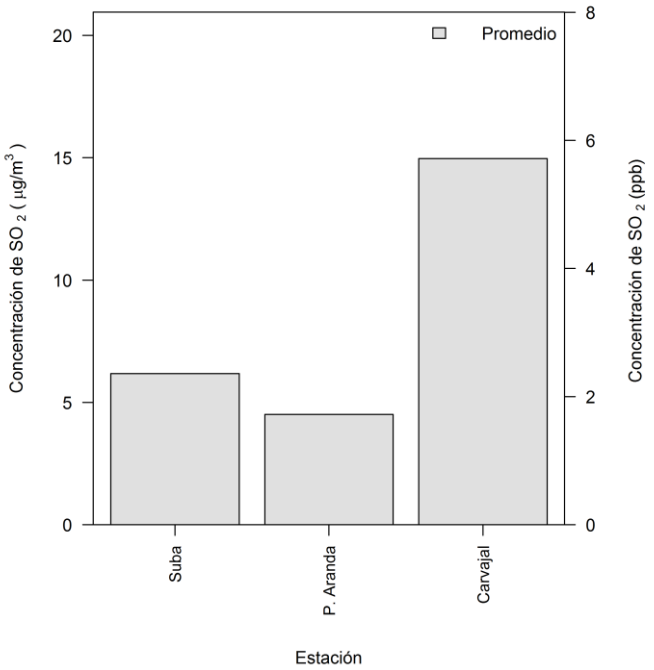


Figura 3-27. Concentración promedio de SO_2 en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% durante el año 2013.

Comportamiento de SO_2 promedios móviles de 3 horas

Durante el periodo analizado se obtuvieron 60545 (sesenta mil quinientos cuarenta y cinco) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 77% de los posibles en el año 2013. En la Tabla 3-17 se muestra un resumen estadístico de los datos por estación, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-28 se visualizan las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma.

El valor límite permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m^3) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. De acuerdo a la Tabla 3-17 la concentración más alta de SO_2 en el año 2013 fue 173 µg/m^3 en la estación Carvajal. La estación Kennedy registró 101 µg/m^3 como concentración máxima.

El día jueves 08 de agosto de 2013, entre 09:00 a.m. y 10:00 a.m., la concentración de SO_2 a nivel ciudad fue relativamente alta con un promedio de 39 µg/m^3 (15 ppb). Este evento pudo ser generado por condiciones meteorológicas adversas que impidieron la dispersión de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá.

El 21 de abril y el 19 de noviembre son otros días que registraron altas concentraciones por la coincidencia de los máximos de Parque Simón Bolívar y Tunal, Fontibón y Puente Aranda, respectivamente.

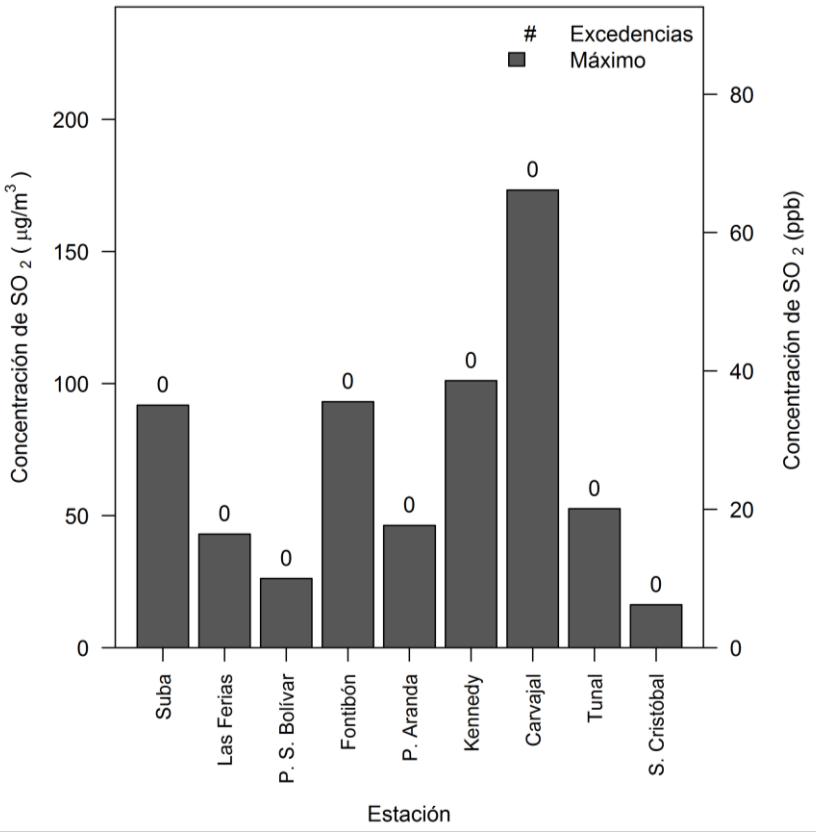


Figura 3-28. Máximos y número de excedencias de SO_2 en base de 3 horas por estación durante el año 2013.

Tabla 3-17. Resumen de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m³]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	90%	92	35	08/08/2013 09:00
Las Ferias (Carrefour)	75%	43	16	12/01/2013 09:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	61%	26	10	21/04/2013 17:00
Fontibón	71%	93	36	19/11/2013 02:00
Puente Aranda	98%	46	18	19/11/2013 03:00
Kennedy	59%	101	39	27/12/2013 02:00
Carvajal (Sony)	96%	173	66	29/09/2013 21:00
Tunal	72%	53	20	21/04/2013 17:00
San Cristóbal	69%	16	6	01/06/2013 11:00

Comportamiento diario de la concentración de SO_2

Se analizaron 2497 (dos mil cuatrocientos noventa y siete) valores diarios cuya representatividad temporal es del 76%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m³) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m³). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como PM_{10} y ozono.

En la Figura 3-29 y la Tabla 3-18 se muestra un resumen de las concentraciones máximas de SO_2, y el número de excedencias a la norma para cada una de las estaciones en base diaria. La estación Carvajal registra la concentración media más alta de la RMCAB con 51 µg/m^3 el día 13 de junio de 2013. Este valor es seguido con los máximos de las estaciones Tunal, Kennedy y Suba las cuales presentan valores similares. El valor máximo de Carvajal es notablemente mayor que sus equivalentes registrados en las demás estaciones. Esta zona se caracteriza por su fuerte actividad industrial y circulación de tráfico pesado. Por este motivo, los niveles de SO_2 son comparativamente más altos.

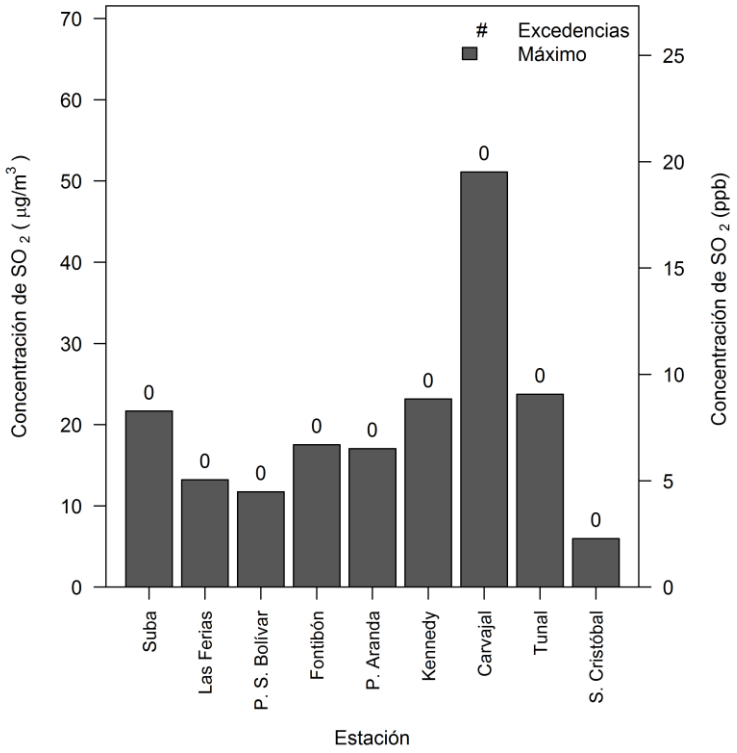


Figura 3-29. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación durante el año 2013.

Tabla 3-18. Resumen de datos en base 24 horas de SO_2 por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m^3]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	90%	22	8	02/02/2013
Las Ferias (Carrefour)	71%	13	5	12/01/2013
Parque Simón Bolívar (IDRD)	61%	12	4	14/01/2013
Fontibón	70%	18	7	20/11/2013
Puente Aranda	99%	17	7	19/07/2013
Kennedy	58%	23	9	27/12/2013
Carvajal (Sony)	98%	51	20	13/06/2013
Tunal	71%	24	9	22/04/2013
San Cristóbal	67%	6	2	05/05/2013

Comportamiento histórico de promedios de SO_2. Base de tiempo diaria.

La Figura 3-30 es un gráfico *boxplot* que muestra las tendencias históricas de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana. El año 2009 registra, con una diferencia notable, los mayores niveles de concentración y dispersión en comparación con los 4 años siguientes, lo cual puede ser atribuible a la mejora en la calidad del combustible diésel en relación a su contenido de azufre (ver sitio del Observatorio Ambiental de Bogotá http://www.oab.ambientebogota.gov.co) y/o al proceso de modernización de la RMCAB en lo referente a la instalación de nuevos equipos marca THERMO y Teledyne API en dicho periodo. Además, un número reducido de estaciones en 2009 cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% de las cuales Carvajal tiene una concentración notablemente alta.

En comparación con el año 2012, los niveles de concentración entre lunes y viernes se mantuvieron constantes y hubo un aumento leve en los fines de semana (sábados y domingos). Con excepción del año 2009, la dispersión de los datos en 2013 es mayor en comparación con el periodo 2010 – 2012 y la cantidad de datos atípicos es menor. Los domingos y lunes registran las menores concentraciones, debido en el primer caso, a la reducción de actividades de tráfico y, en el segundo caso, a la capa residual del día anterior.

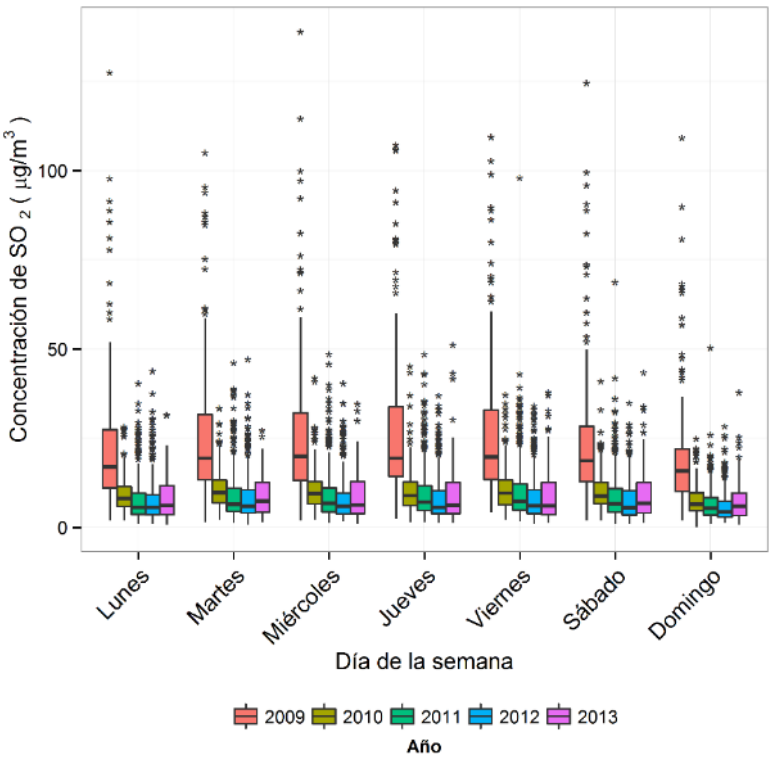


Figura 3-30. Gráfico de *boxplot* para SO_2 por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los meses del año se observa en la Figura 3-31. Con excepción de 2009, no se observa una diferencia notable entre los meses. El máximo valor diario registrado fue de 139 µg/m^3 en el mes de agosto de 2009. La variabilidad de los datos en 2013 aumentó en comparación con el periodo 2010 – 2012.

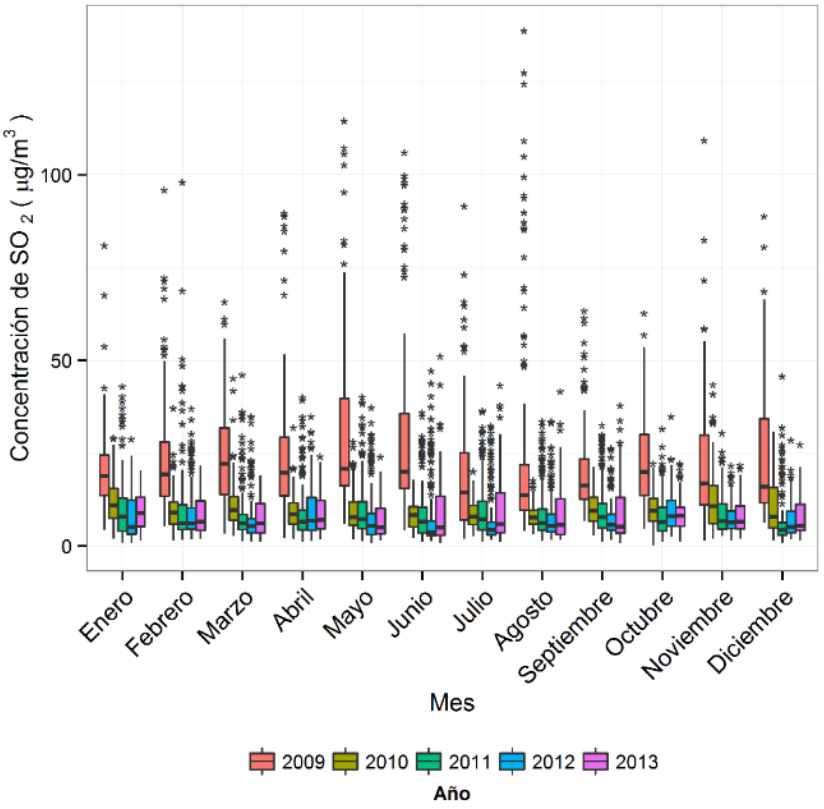


Figura 3-31. Gráfico de *boxplot* para SO_2 en base diaria, por meses, entre 2009 y 2013.

La Figura 3-32 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente y que cumplen el criterio de representatividad temporal anual de 75%. Como fue evidenciado en la Figura 3-27, las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal cumplieron en 2013 con el criterio de representatividad temporal de 75%. Se observa un cambio abrupto en la Estación Carvajal entre el año 2009 y el periodo 2011 – 2013 posiblemente por el cambio de los analizadores en el proceso de modernización de la RMCAB. En las demás estaciones las diferencias son menos marcadas. Con excepción de Suba, todas las estaciones de la RMCAB han reducido su concentración de forma progresiva lo que evidencia una mejoría de la calidad del aire en los años estudiados. La Figura 3-33 es un gráfico *boxplot* que describe la tendencia histórica general de las concentraciones diarias de SO_2 entre 2009 y 2013 y la Tabla 3-19 es el resumen estadístico descriptivo correspondiente. Entre 2009 y 2012 los niveles de concentración se redujeron progresivamente. Sin embargo, se presentó un aumento leve en el año 2013 así como de la dispersión de los datos. La cantidad de datos atípicos tiende a mantenerse constante y en niveles similares de

concentración con respecto a 2012. La diferencia notable de 2009 se observa nuevamente así como la gran cantidad de valores atípicos.

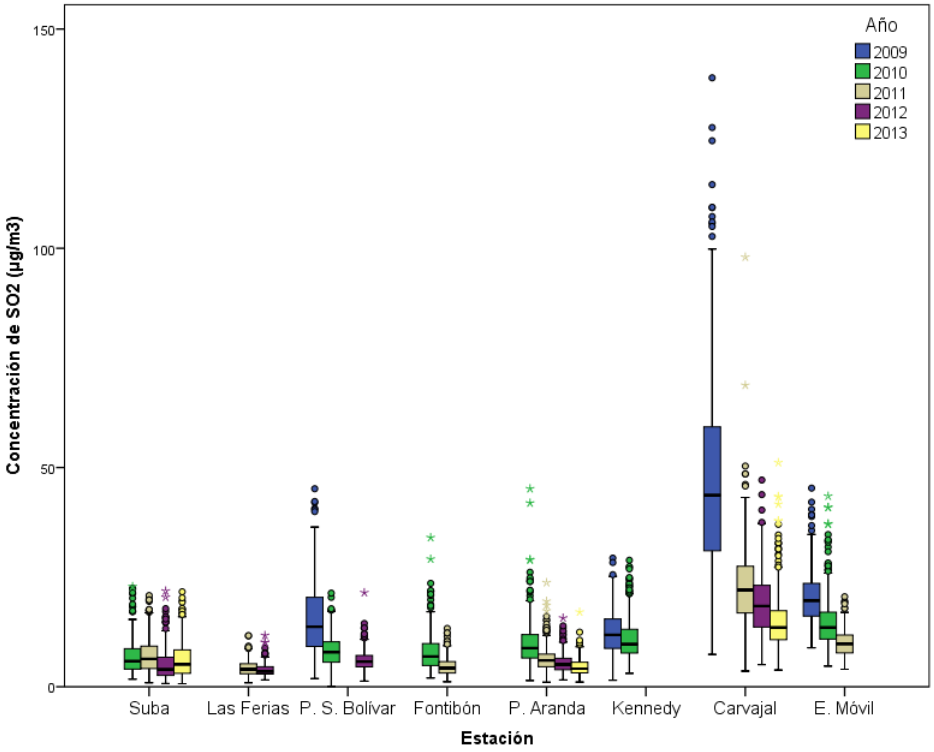


Figura 3-32. Gráfico de *boxplot* para SO_2 diario por estaciones entre 2009 y 2013[9].

[9] Se presentan para este caso de SO_2 los datos de la estación móvil para los años 2009, 2010 y 2011 al estar ubicada en el mismo sitio durante estos tres años: Localidad: Puente Aranda, Zona Industrial, emplazada en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud (Cra 32 12-81).

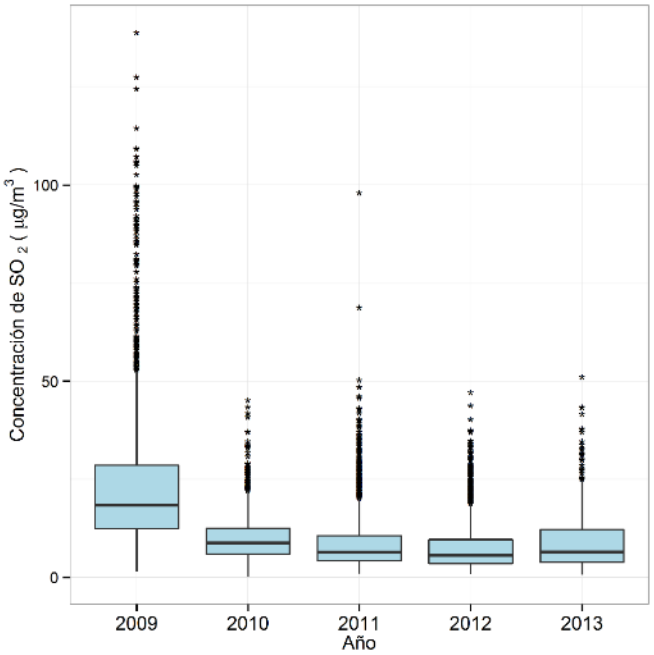


Figura 3-33. Gráfico de *boxplot* para SO_2 diario entre 2009 y 2013.

Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO_2 en promedios diarios entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de SO_2 en ppb			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m³	ppb	µg/m³
2009	53.0	139	0.2	1
2010	21.8	57	0.0	0
2011	37.4	98	0.2	1
2012	18.0	47	0.3	1
2013	19.5	51	0.2	0

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO_2 para el año 2013 a partir de los datos obtenidos en 7 estaciones que se presentan en la Tabla 1-1. No se incluye la estación Carvajal ya que el analizador correspondiente requiere de estudios de intercomparabilidad de datos. Las estaciones Guaymaral, Suba y Las Ferias se descartan para el cálculo de promedios al presentar un porcentaje de representatividad temporal menor a 75%. En el año 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones Suba y Parque Simón Bolívar. En marzo de 2010 se inició el registro en la estación Kennedy.

Comportamiento anual de NO_2

La Tabla 3-20 contiene un resumen de promedios anuales de NO_2 en los años 2012 y 2013 para las estaciones de la RMCAB que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Se muestran las concentraciones tanto en partes por billón en volumen

(ppb) como en microgramos por metro cúbico. Las estaciones que presentan datos para los dos años son Parque Simón Bolívar, Kennedy y Tunal, presentando las dos primeras reducciones en 2013 mientras que en la última la concentración se mantuvo constante.

Tabla 3-20. Representatividad temporal, promedio en 2012 y 2013 y cambio de concentración de NO_2.

Estación	Representatividad temporal 2013	Promedio 2013 (ppb)	Promedio 2013 (µg/m³)	Promedio 2012 (ppb)	Promedio 2012 (µg/m³)	Cambio 2013-2012 (µg/m³)
Guaymaral	35%				0	
Suba	63%			12	23	
Las Ferias	27%				0	
Parque Simón Bolívar	86%	9	16	13	24	-8
Puente Aranda	91%	21	40		0	
Kennedy	93%	18	34	20	38	-4
Tunal	86%	16	30	16	30	0

La Figura 3-34 muestra las concentraciones de este contaminante en el año 2013 con base en los datos diarios. Se observa que con una gran diferencia la estación Parque Simón Bolívar reporta una concentración más baja en comparación con las otras tres. Esto se debe posiblemente a que Parque Simón Bolívar mide predominantemente concentraciones de fondo y las demás están ubicadas en las cercanías a corredores viales.

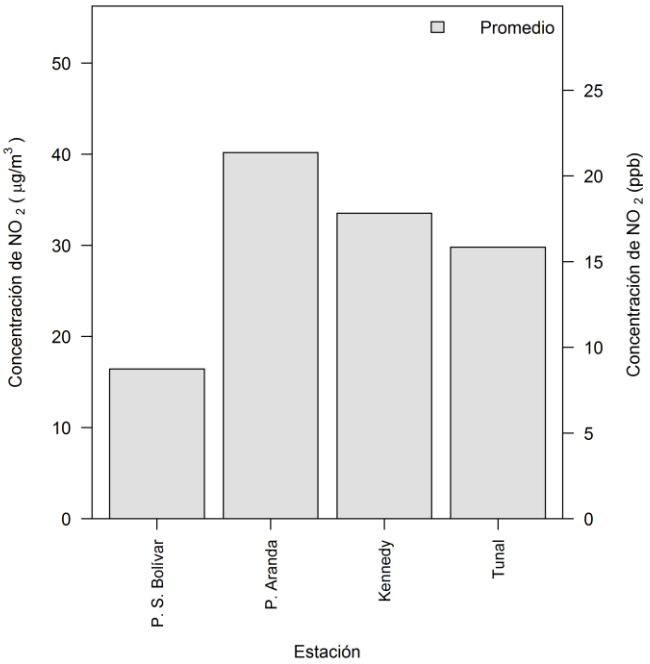


Figura 3-34. Concentración promedio de NO_2 en el año 2013 para las estaciones de la RMCAB que cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal igual o superior a 75%. Base de tiempo diaria.

Comportamiento horario de la concentración de NO_2

Durante el periodo analizado se obtuvieron 43103 (cuarenta y tres mil ciento tres) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 70%. La Figura 3-35 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO_2, en base de tiempo horaria. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m^3, Resolución 610 de 2006) pero sí del 50% de la misma (100 µg/m^3) en Guaymaral, Las Ferias, Puente Aranda, Kennedy y Tunal.

Los valores de porcentajes de representatividad temporal, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-21. Se observa un episodio sectorizado de alta concentración el 11 de enero de 2013 a las 10:00 a.m. hacia el sur-occidente de la ciudad (estaciones de Puente Aranda y Kennedy) y otro el 05 de febrero de 2013 entre 06:00 p.m. y 07:00 p.m. en el norte (estaciones de Guaymaral y Las Ferias). Sin embargo, la máxima concentración se reporta el 02 de septiembre de 2013 a las 10:00 a.m. en la estación Tunal.

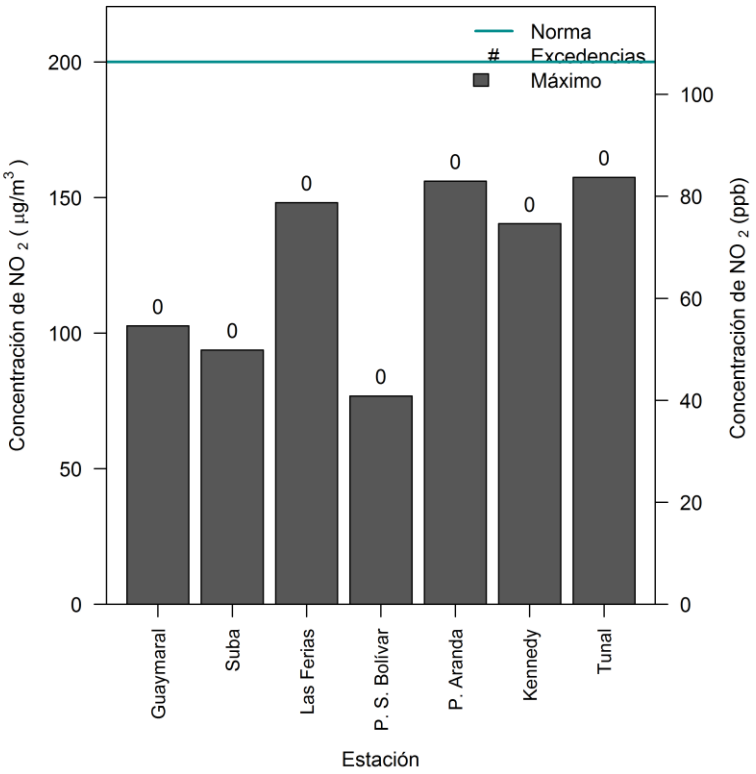


Figura 3-35. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el año 2013.

Tabla 3-21. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	37%	55	103	05/02/2013 18:00
Suba	67%	50	94	28/10/2013 18:00
Las Ferias	29%	79	148	05/02/2013 19:00
Parque Simón Bolívar	89%	41	77	01/10/2013 10:00
Puente Aranda	90%	83	156	11/01/2013 10:00
Kennedy	92%	75	140	11/01/2013 10:00
Tunal	88%	84	157	02/09/2013 10:00

Comportamiento diario de la concentración de NO_2

En lo referente al año 2013, se calcularon 1756 (mil setecientos cincuenta y seis) promedios diarios de NO_2, cuya representatividad temporal corresponde al 69% del total de datos posibles. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para 24 horas (150 µg/m³) como se observa en la Figura 3-36. En Las Ferias se registraron 3 excedencias al 50% de la norma (75 µg/m³). Esta última estación también registró la máxima concentración diaria del año con 84 µg/m³ el 05 de febrero de 2013.

En la Tabla 3-22 se reportan los porcentajes de datos válidos, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. El 15 de marzo de 2013 se registró un episodio generalizado de alta concentración en la ciudad ya que estaciones con una distancia mutua considerable registraron elevadas concentraciones el mismo día. Estas son Guaymaral (41 µg/m³), Suba (39 µg/m³), Las Ferias (63 µg/m³), Puente Aranda (65 µg/m³) y Kennedy (57 µg/m³).

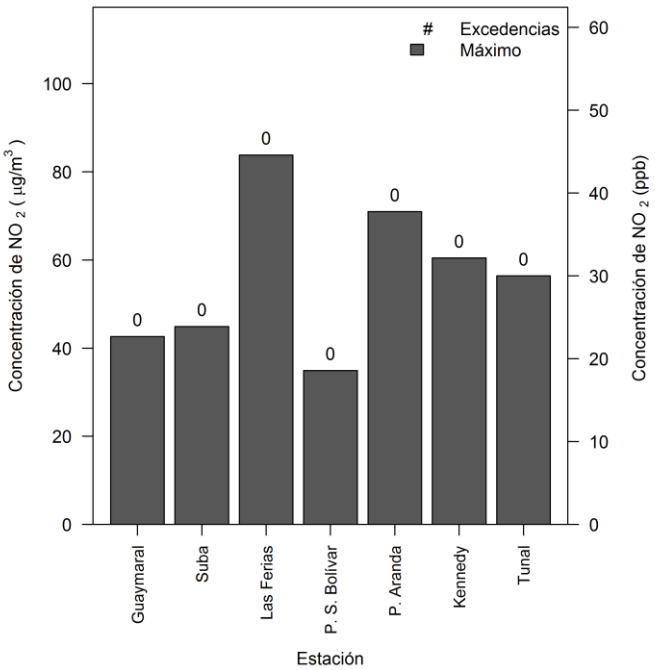


Figura 3-36. Excedencias y concentración máxima de NO_2 en base diaria por estación para el año 2013.

Tabla 3-22. Resumen de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppb)	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	35%	23	43	22/03/2013
Suba	63%	24	45	19/07/2013
Las Ferias	27%	45	84	05/02/2013
Parque Simón Bolívar	86%	19	35	01/10/2013
Puente Aranda	91%	38	71	01/10/2013
Kennedy	93%	32	60	12/03/2013
Tunal	86%	30	56	25/11/2013

Comportamiento histórico de promedios de NO_2. Base de tiempo diaria.

Se presenta el comportamiento histórico a continuación, sin embargo debe considerarse el hecho de que el este parámetro no es medido con la misma intensidad en todas las estaciones ni entre los diferentes años, debido a asuntos relacionados con la operatividad de la RMCAB y por eventos fortuitos que motivan el traslado o suspensión de una estación en particular. Para el año 2013 se cuenta con información representativa de 4 estaciones.

La Figura 3-37 muestra el comportamiento de la concentración de NO_2 en función de los días de la semana entre 2009 y 2013. Como es usual los días domingo registran las menores concentraciones y presentan menor dispersión en sus datos. El máximo histórico registrado por las estaciones de la RMCAB fue el 08 de abril de 2009 en Parque Simón Bolívar, pero no se excede la norma diaria correspondiente de 150 $\mu g/m^3$ según la Resolución 610 de 2010. En comparación con el año 2012, las concentraciones se mantuvieron en niveles constantes para todos los días de la semana.

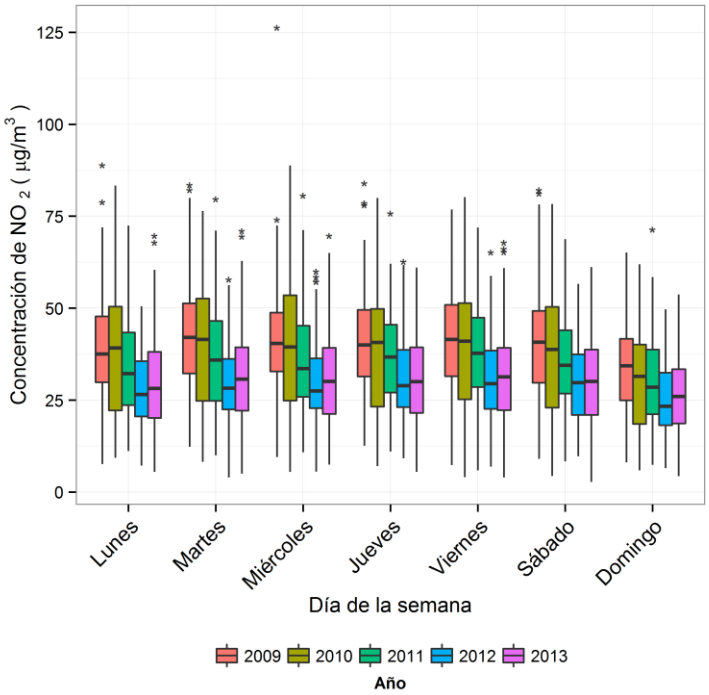


Figura 3-37. Gráfico de *boxplot* para NO_2 por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.

En la Figura 3-38 se presenta la distribución de los datos función de los meses del año entre 2009 y 2013. De forma similar al caso del material particulado PM_{10}, las menores concentraciones se han observado históricamente en mitad de año, especialmente en los meses de junio y julio. Este comportamiento se atribuye a una mejor ventilación de la ciudad durante dicha época al aumentar la velocidad de los vientos la cual favorece la mezcla de contaminantes en el aire ambiente.

Los años 2009 y 2010 marcan una diferencia considerable en términos de niveles de contaminación en comparación con 2012 y 2013. Este hecho evidencia una mejora progresiva de la calidad del aire de la ciudad. Las concentraciones más altas se observan en febrero, octubre y noviembre. La dispersión de los datos aumenta drásticamente en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio y es significativamente mayor que la correspondiente al año 2012. Estos niveles se asemejan a los observados para el año 2010.

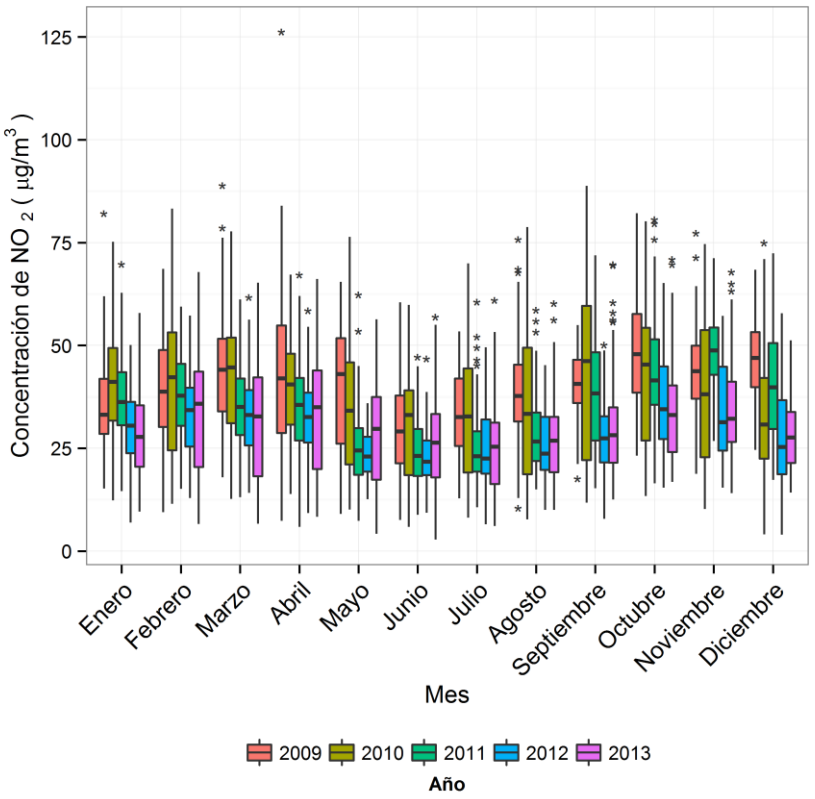


Figura 3-38. Gráfico de *boxplot* para NO_2 en base diaria por meses ente 2009 y 2013.

La Figura 3-39 presenta la distribución de las concentraciones de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los años. Por tanto, se muestra un total de 4 estaciones para el 2013. Como se mencionó previamente, en comparación con el 2012 hay disminución de las concentraciones en Parque Simón Bolívar y Kennedy así como niveles relativamente constantes en Tunal. Las concentraciones en Puente Aranda son mayores respecto al año 2009 pero menores si se comparan con los datos de 2010. Los menores niveles de dispersión se observan en Suba, Parque Simón Bolívar y Kennedy.

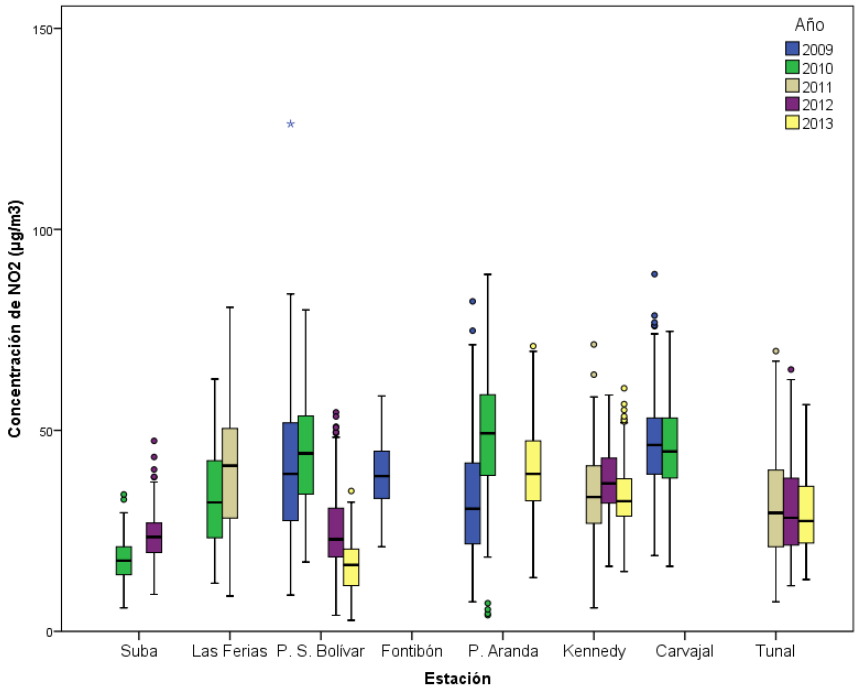


Figura 3-39. Gráfico de *boxplot* para NO_2 por estaciones en base diaria entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-40 se encuentra un gráfico *boxplot* con la distribución general de los datos entre 2009 y 2013. En comparación con el año 2012, la variabilidad aumentó aunque la cantidad de datos atípicos se mantuvo relativamente constante. El año más disperso fue 2010 debido posiblemente a influencia de la variabilidad climática y meteorológica. La concentración de NO_2 se ha reducido progresivamente con el transcurrir de los años.

La Tabla 3-23 es un resumen histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO_2 entre 2009 y 2013. Los valores máximos se redujeron progresivamente entre 2009 y 2012 evidenciando mejora de la calidad del aire. Sin embargo, se presentó un leve aumento en 2013.

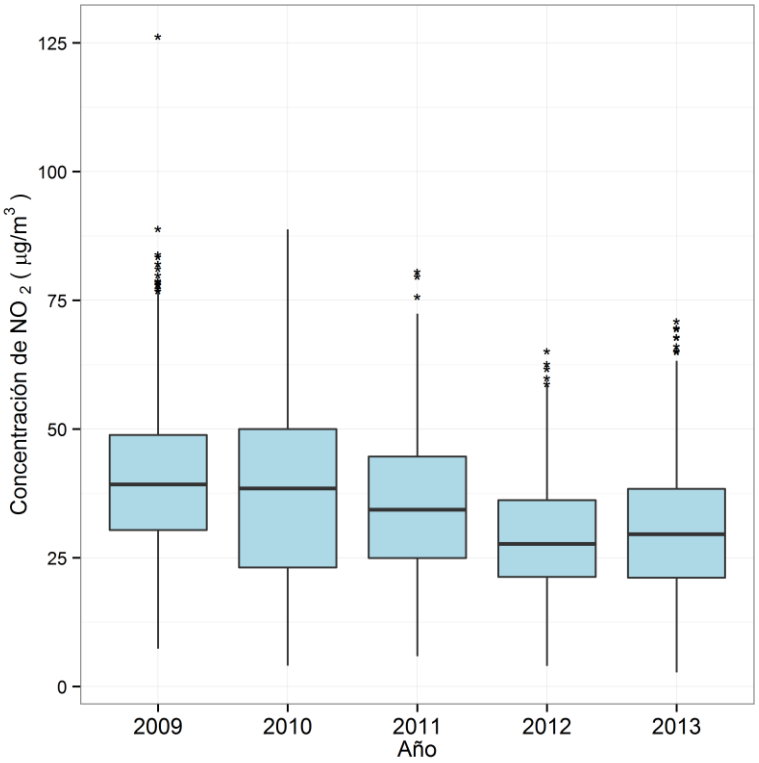


Figura 3-40. Gráfico de *boxplot* para NO_2 en base diaria entre 2009 y 2013.

Tabla 3-23. Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO_2 en base diaria entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de NO_2			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m³	ppb	µg/m³
2009	67	126	3	6
2010	47	89	2	4
2011	47	89	3	6
2012	41	77	2	4
2013	45	84	1	3

3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el año 2013 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) en base de 1 hora y de 8 horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-1. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 69% en base horaria respecto al máximo posible de información a obtener. Las estaciones Usaquén, Tunal y San Cristóbal no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% y fueron descartadas para el cálculo de promedios.

Comportamiento horario de CO

Se obtuvieron 54058 (cincuenta y cuatro mil cincuenta y ocho) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB durante el año 2013. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m^3, Resolución 610 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma (20 mg/m^3). En la Tabla 3-24 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el valor máximo horario (en ppm y en mg/m^3) y el día y hora en que ocurrieron. El máximo valor se registró en la estación Tunal el 04 de septiembre de 2013 a las 08:00 a.m. con 7,1 mg/m^3. La estación Usaquén tiene un porcentaje de representatividad temporal de solamente 5% de manera que el valor máximo reportado corresponde a una muestra muy reducida de información.

Tabla 3-24. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m^3)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	5%	5,0	5,7	0	11/02/2013 08:00
Las Ferias	85%	4,1	4,7	0	22/03/2013 21:00
Parque Simón Bolívar	85%	4,8	5,5	0	03/05/2013 20:00
Fontibón	83%	2,7	3,1	0	14/06/2013 07:00
Puente Aranda	96%	5,2	5,9	0	11/01/2013 09:00
Kennedy	94%	4,7	5,4	0	03/09/2013 07:00
Carvajal	96%	5,6	6,4	0	19/10/2013 02:00
Tunal	50%	6,2	7,1	0	04/09/2013 08:00
San Cristóbal	23%	4,8	5,5	0	23/03/2013 11:00

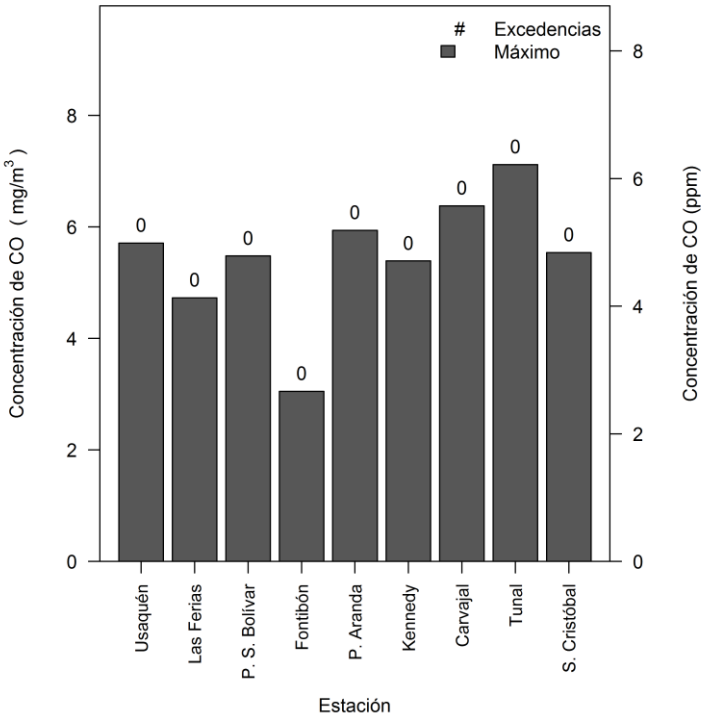


Figura 3-41. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO durante el año 2013.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

Para el año 2013 se calcularon 53452 (cincuenta y tres mil cuatrocientos cincuenta y dos) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 68% de los datos posibles en el periodo. La estación Carvajal registró el máximo episodio de concentración promediada de 8 horas, con 4,1 mg/m^3 (Figura 3-42) el 24 de diciembre a las 06:00 a.m. Consecuentemente, no se presentaron excedencias al límite normativo (10 mg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

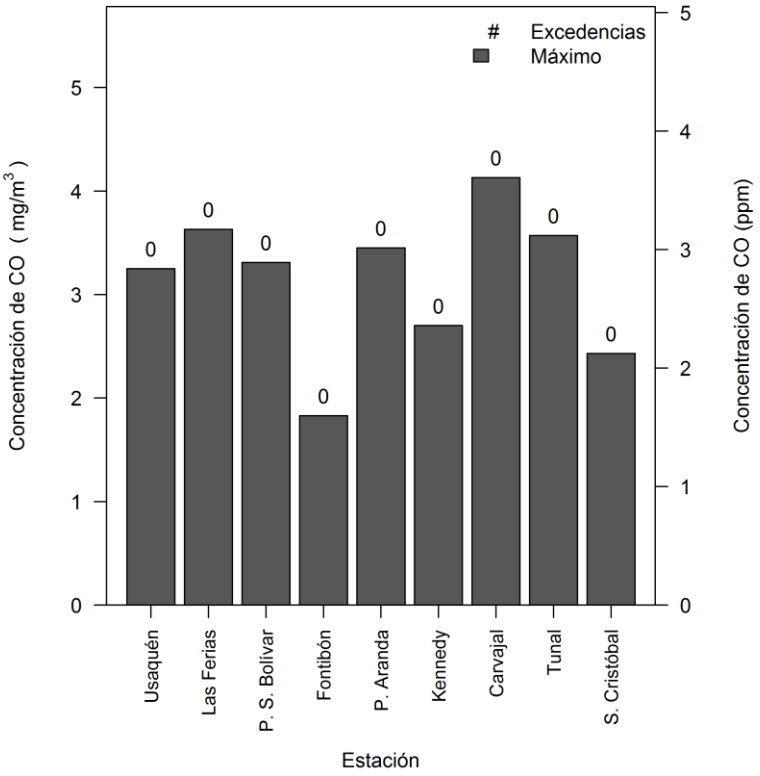


Figura 3-42. Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación durante el año 2013.

La Tabla 3-25 presenta un resumen de los datos de CO en función de las concentraciones en base de 8 horas. Se incluye el porcentaje de datos válidos y la máxima concentración con respectiva fecha y hora de ocurrencia.

Tabla 3-25. Resumen de datos de CO por estación en 2013. Base de 8 horas.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m^3)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	5%	2.8	3.3	0	08/02/2013 23:00
Las Ferias	85%	3.2	3.6	0	23/03/2013 13:00
Parque Simón Bolívar	84%	2.9	3.3	0	04/09/2013 03:00
Fontibón	82%	1.6	1.8	0	16/03/2013 01:00
Puente Aranda	96%	3.0	3.5	0	03/05/2013 23:00
Kennedy	94%	2.4	2.7	0	16/03/2013 01:00
Carvajal	95%	3.6	4.1	0	24/12/2013 06:00
Tunal	47%	3.1	3.6	0	30/11/2013 00:00
San Cristóbal	22%	2.1	2.4	0	23/03/2013 12:00

Análisis de tendencias históricas

La elaboración de los *boxplot* de tendencias históricas que se presentan a continuación consideró promedios diarios. Si bien no existe una norma diaria para este contaminante, los cálculos se desarrollan con el objetivo de visualizar el comportamiento de una forma más clara mediante la suavización de las tendencias y la reducción de datos atípicos.

La Figura 3-43 muestra las tendencias históricas de la concentración de monóxido de carbono entre 2009 y 2013 en función de los días de la semana. El domingo registra los menores niveles de concentración y de dispersión de datos mientras que los días viernes y sábado tienden a mantener concentraciones más altas. Esto se debe a que los domingos presentan generalmente un cambio sustancial de actividad en comparación con los demás días de la semana. En comparación con el año 2012, las concentraciones de CO disminuyeron en todos los días de la semana. A partir de 2010 se observa una tendencia clara de reducción de los niveles de este contaminante. La cantidad de datos atípicos entre los diferentes años es comparable. A pesar de que el domingo registra las concentraciones más bajas, la diferencia con los demás días no es tan alta si se tienen en cuenta los límites normativos (40 mg/m^3 horario y 10 mg/m^3 en ocho horas de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

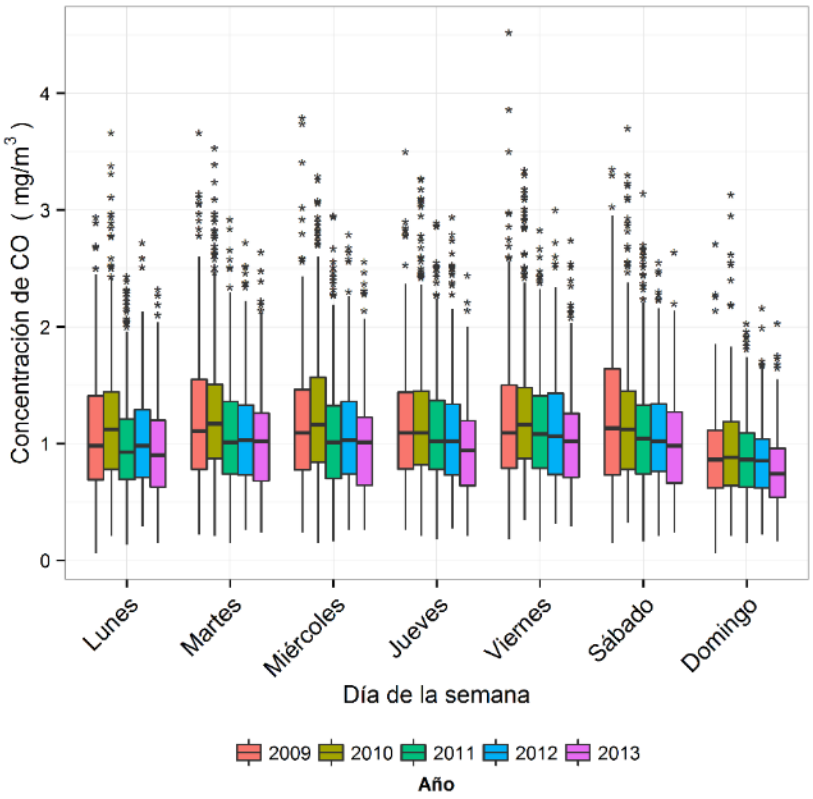


Figura 3-43. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por días de la semana entre 2009 y 2013.

La Figura 3-44 representa la tendencia de la concentración de CO en función de los meses del año entre 2009 y 2013 en base diaria. Marzo de 2009 registra niveles más altos así como mayor dispersión y octubre del mismo año el valor atípico más alto. En general, se observan mayores concentraciones en noviembre y diciembre y menores en junio y julio. Esta tendencia es similar a la observada para material particulado PM_{10}.

Los cambios de niveles de concentración en los diferentes años discriminados entre los 12 meses son variables. Diciembre y enero son los únicos meses que han reducido su concentración progresivamente desde el año 2010. Por el contrario, marzo registra un aumento gradual. Marzo y mayo fueron los únicos meses del año 2013 que aumentaron su concentración en comparación con los niveles registrados en 2012.

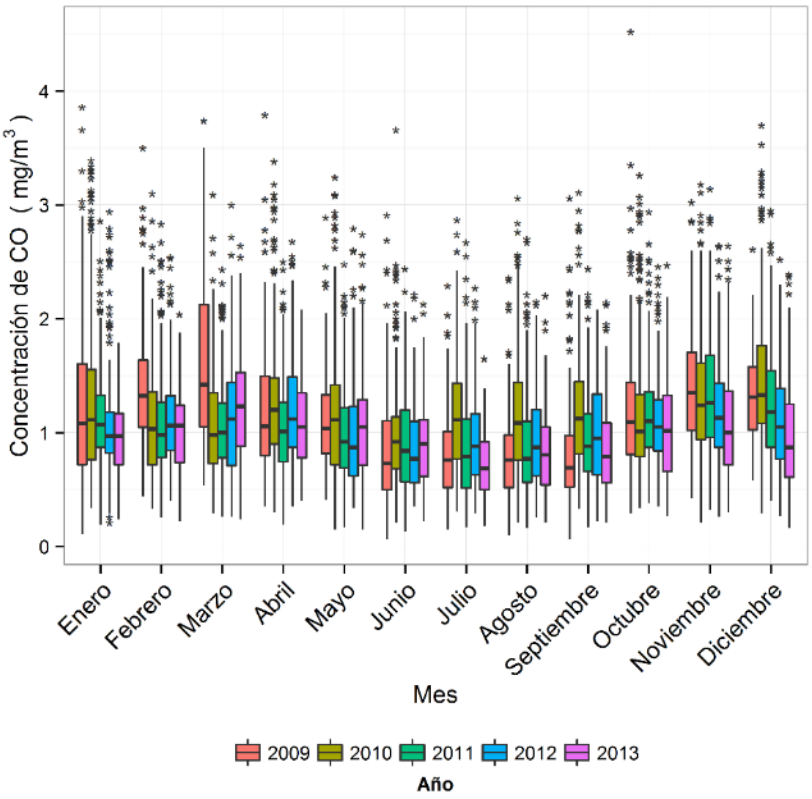


Figura 3-44. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-45 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO entre 2009 y 2013 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La base de tiempo es 24 horas al igual que las dos figuras anteriores. Los mayores niveles de concentración se observan en Carvajal en todos los años estudiados, un hecho que es concordante con las características de los alrededores de la estación (zona industrial y en las inmediaciones de la Autopista Sur y La Avenida Boyacá). Desde el año 2010 esta estación ha reducido sus concentraciones promedio de forma progresiva. Las menores concentraciones se observan en las estaciones Fontibón y San Cristóbal. Con excepción de Las Ferias y Parque Simón Bolívar, todas las estaciones redujeron sus niveles de concentración en el año 2013. La variabilidad de los datos no mostró una tendencia definida ya que se observaron tanto aumentos como reducciones de la misma.

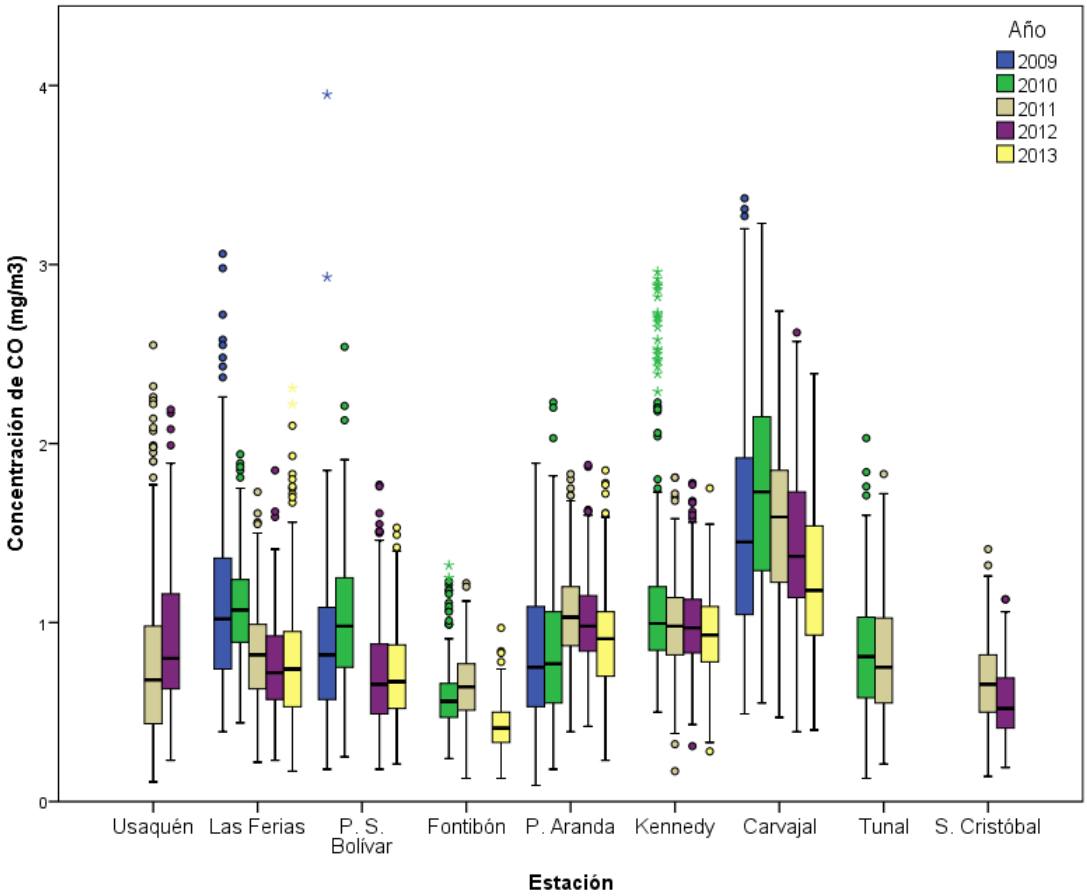


Figura 3-45. Gráfico de boxplot para CO en base diaria por estaciones entre 2009 y 2013.

La Figura 3-46 muestra el comportamiento generalizado histórico de las concentraciones de monóxido de carbono entre 2009 y 2013 en base diaria. Como se ha mencionado, desde 2010 hay una reducción progresiva de los niveles de concentración de este contaminante así como de los valores máximos. La dispersión de los datos es similar a lo largo de los diferentes años. La Tabla 3-26 es un resumen descriptivo del comportamiento general de este contaminante.

En resumen, el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM_{10} y el O_3. Sus concentraciones promedio no exceden en ningún caso la normatividad.

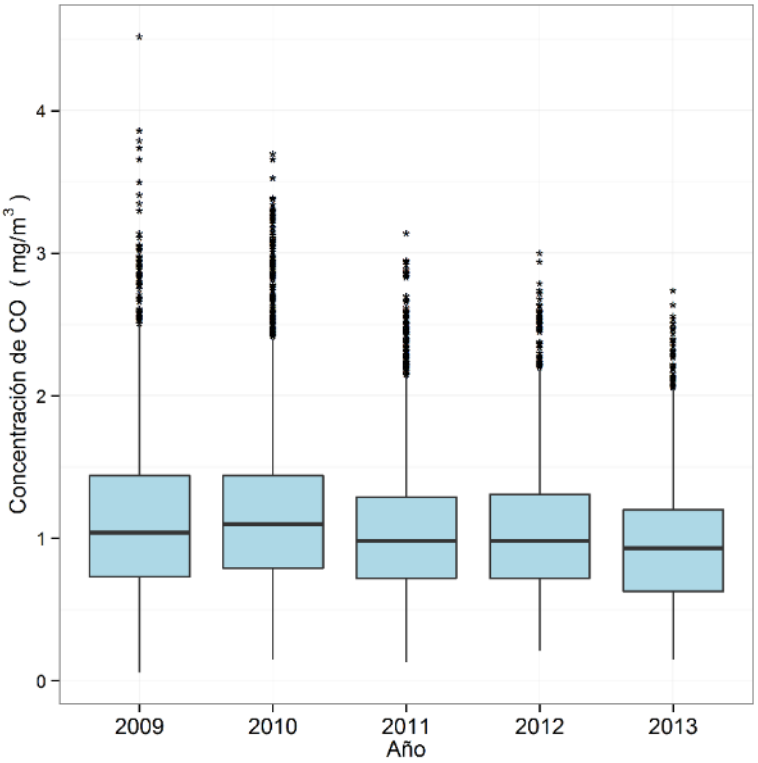


Figura 3-46. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria entre 2009 y 2013.

Tabla 3-26. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de CO en ppm y mg/m³			
	Máximo		Mínimo	
	ppm	mg/m³	ppm	mg/m³
2009	16.1	18.4	0.0	0.0
2010	11.8	13.5	0.0	0.0
2011	7.9	9.0	0.0	0.0
2012	6.1	7.0	0.0	0.0
2013	6.2	7.1	0.0	0.0

3.2.4. Comportamiento de la concentración de O_3

La RMCAB contó con doce (12) equipos para monitorear ozono durante el año 2013, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1.

Comportamiento horario de O_3

Durante el año 2013 se obtuvieron 76589 (setenta y seis mil quinientos ochenta y nueve) promedios horarios de O_3, lo que representa un porcentaje de recuperación de los datos de 80%. El porcentaje de recuperación, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora se presentan en la Tabla 3-27. Se presentó un total de 28 excedencias en las estaciones Guaymaral (8), Parque Simón Bolívar (7), Suba (6), Las Ferias (4), Fontibón (2) y Usaquén (1). Estas excedencias representan un 0,4% del total de datos recuperados.

La mayoría de concentraciones máximas se presentaron en los meses de enero y abril de 2013 entre la 01:00 p.m. y las 03:00 p.m, horas en donde el sol se encuentra en un punto alto y la reacción fotoquímica puede darse más fácil. En el día 06 de abril entre 01:00 p.m. y 02:00 p.m. se registró un episodio singular y generalizado de alta contaminación por ozono en Bogotá ya que en dicha hora las estaciones Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón, Fontibón y Carvajal registraron sus valores más altos en la serie anual. El máximo valor registrado fue 152 µg/m^3 en la estación Parque Simón Bolívar.

Tabla 3-27. Resumen descriptivo de datos de O_3 por estación para el año 2013. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Máximo [µg/m^3]	Máximo [ppb]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	94%	8	0,1%	151	77	04/04/2013 17:00
Usaquén	89%	1	0,0%	126	64	18/10/2013 14:00
Suba	81%	6	0,1%	139	71	26/01/2013 14:00
Las Ferias	69%	4	0,1%	138	70	26/01/2013 14:00
Parque Simón Bolívar	74%	7	0,1%	152	78	06/04/2013 14:00
Sagrado Corazón	53%	0	0,0%	97	49	06/04/2013 14:00
Fontibón	82%	2	0,0%	144	74	06/04/2013 14:00
Puente Aranda	83%	0	0,0%	98	50	11/01/2013 15:00
Carvajal	92%	0	0,0%	98	50	06/04/2013 13:00
Tunal	91%	0	0,0%	103	53	25/03/2013 13:00
San Cristóbal	66%	0	0,0%	118	60	25/03/2013 13:00

En base horaria, 4 estaciones no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% (Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón y San Cristóbal). Sin embargo, se reportan los valores de concentración máxima y de excedencias al corresponder estos a eventos singulares, como se muestra en la Figura 3-47.

En el año 2012 se registraron 155 excedencias de la norma horaria, un porcentaje de recuperación del 87% y una estación (Fontibón) que no cumplió con el criterio de representatividad temporal para el cálculo de promedios. De la Figura 3-47 se puede ver un total de excedencias de 28, valor muy por debajo total registrado en 2012.

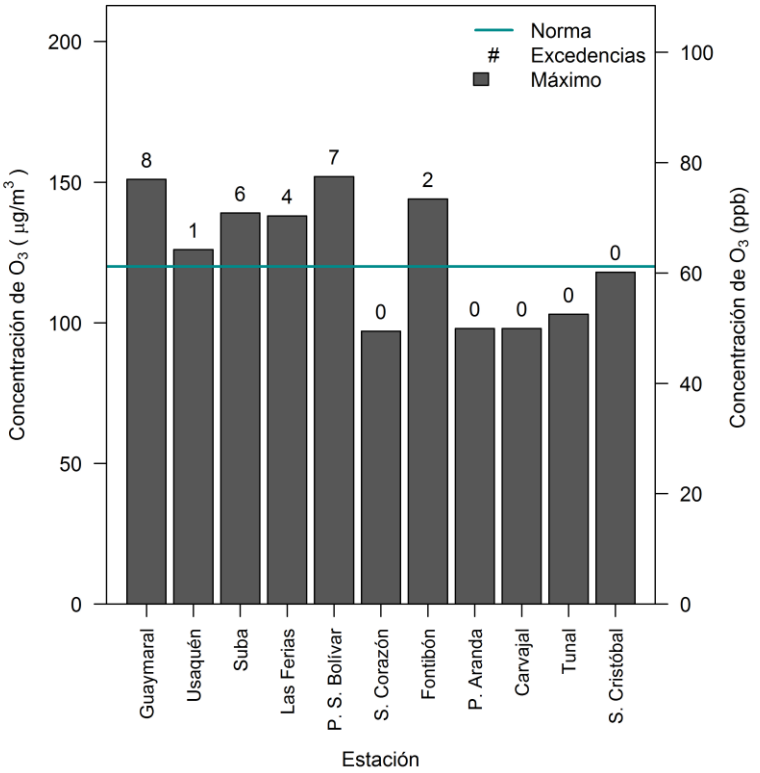


Figura 3-47. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base horaria por estación durante el año 2013.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O_3

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 75608 (setenta y cinco mil seiscientos ocho) promedios que representan el 79% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el año 2013. Se obtuvieron 111 datos por encima de la norma (80 µg/m^3, Res. 610 de 2010) correspondiendo a 0,2% del total. Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrieron los máximos por estación se presentan en la Tabla 3-28. En la Figura 3-48 se muestran las concentraciones máximas y las excedencias en base de ocho horas de O_3, para cada una de las estaciones.

Como se observa a partir de la Figura 3-48, el mayor número de excedencias se concentran en el sector norte, occidental y central. En la estación Suba se registró el mayor número de excedencias con 39, seguida por Parque Simón Bolívar y Fontibón con 22 cada una, Guaymaral con 17 y Las Ferias con 10. En el año 2012 se obtuvieron 451 excedencias totales lo que evidencia una reducción considerable. Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón y San Cristóbal fueron descartadas del cálculo de estas excedencias al no cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%.

Tabla 3-28. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8 h) 80 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m^3)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	94%	17	0,2%	51	101	04/04/2013 18:00
Usaquén)	89%	0	0,0%	39	77	15/02/2013 06:00
Suba	81%	39	0,6%	51	100	14/02/2013 18:00
Las Ferias	67%	10	0,2%	43	85	25/03/2013 17:00
Parque Simón Bolívar	72%	22	0,4%	48	94	06/04/2013 18:00
Sagrado Corazón	48%	0	0,0%	30	60	25/03/2013 17:00
Fontibón	82%	22	0,3%	48	95	06/04/2013 18:00
Puente Aranda	84%	0	0,0%	32	64	11/01/2013 18:00
Carvajal	92%	0	0,0%	38	74	06/04/2013 17:00
Tunal	91%	0	0,0%	38	74	06/04/2013 17:00
San Cristóbal	64%	1	0,0%	42	82	25/03/2013 18:00

Al comparar con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb que es el nivel en el que no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena” (EPA, 2013), no se observan excedencias por parte de los promedios de ocho horas durante el año 2013. Según los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos, la norma anual es 75 ppb y consecuentemente tampoco hay excedencias de este límite.

Las horas de concentración máxima sugieren que los máximos niveles de O_3 en base de 8 horas ocurren predominantemente entre las 05:00 p.m. y las 07:00 p.m., lo cual y a pesar de no ser concordante con la realidad teniendo en cuenta que una mayor concentración de ozono está asociada a alta radiación solar, es importante tener en cuenta que los valores de dichas horas son el resultado de promediar las 8 horas pasadas, cuando la radiación solar es considerable, donde están incluidas horas cercanas al medio día que registran los niveles más altos de esta variable. Los días 25 de marzo y 06 de abril se caracterizaron por presentar valores singularmente altos de concentración.

La Figura 3-49 es un mapa de la concentración promedio de ozono en una base temporal de 8 horas para el año 2013 en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La interpolación fue hecha con el método *Kriging* con base en las localizaciones espaciales de la información disponible. Las localidades del norte de la ciudad registran las mayores concentraciones de este gas contaminante mientras que el suroccidente las menores. Esta tendencia es contraria a la que se observa para material particulado, monóxido de carbono y dióxido de azufre. Las razones de estos comportamientos requieren mayor investigación.

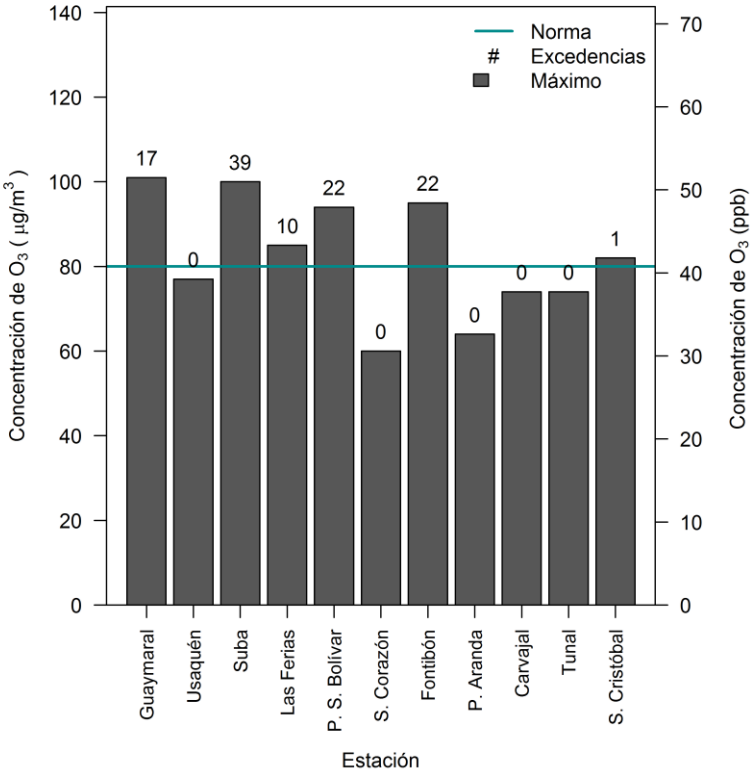


Figura 3-48. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base 8 horas por estación durante el año 2013.

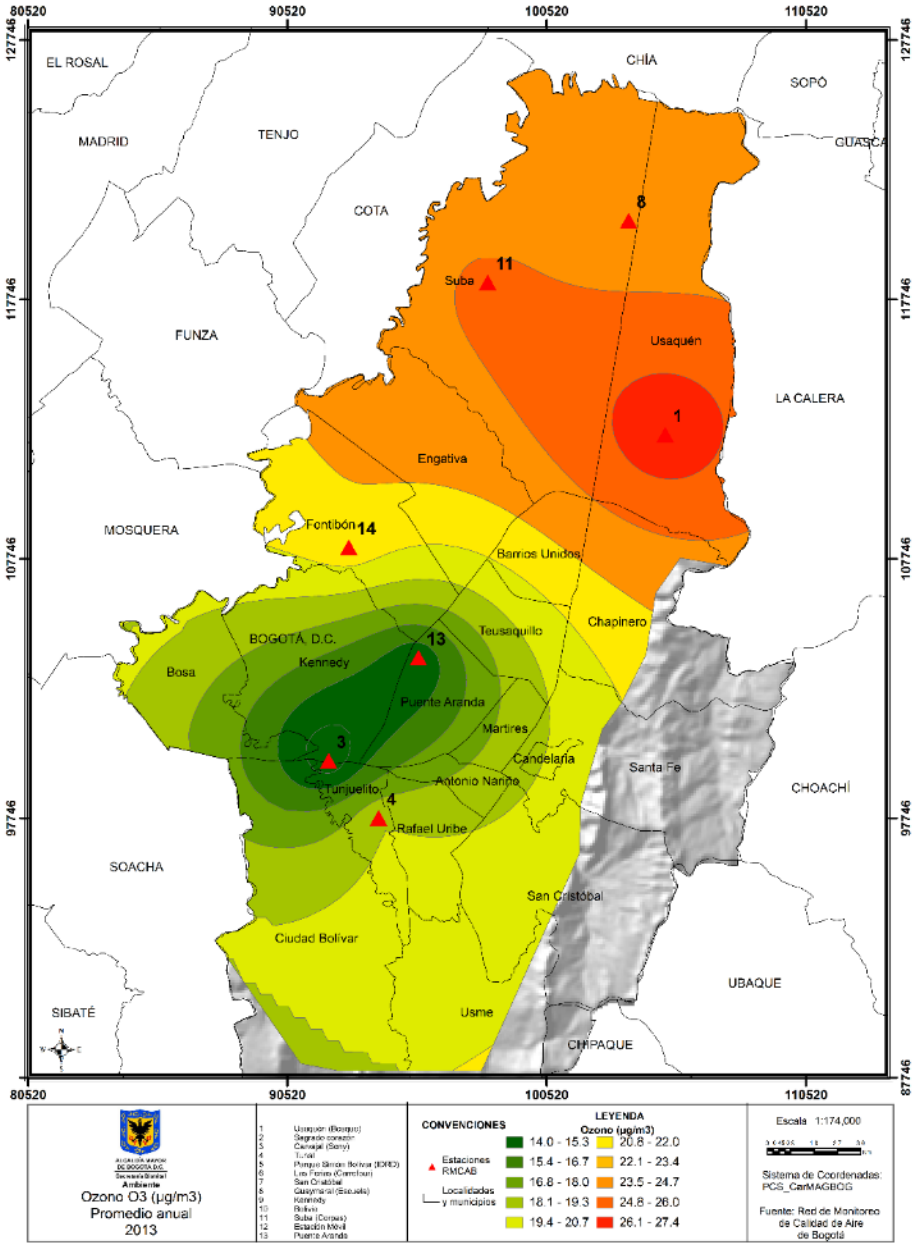


Figura 3-49. Mapa de concentración promedio de O_3 en base de tiempo de 8 horas para el año 2013. Unidades: µg/m^3.

Comportamiento histórico del O_3

La Figura 3-50 contiene la tendencia histórica de la concentración de ozono (base de 24 horas) en función de los días de la semana entre los años 2009 y 2013. Los diagramas de caja entre los diferentes días son similares en magnitud y dispersión, sin embargo el domingo registra niveles levemente mayores. Los años 2009 y 2010 presentan las mayores concentraciones de ozono, las cuales se reducen sensiblemente en periodos

posteriores. La dispersión de datos es mayor en el año 2010. El día 22 de agosto de 2010 en la estación Usaquén se registra la mayor concentración diaria con un valor de 163 µg/m^3 lo cual se evidencia en la respectiva figura. Al comparar los resultados de los años 2012 y 2013 se observa que las concentraciones diarias se han mantenido relativamente constantes.

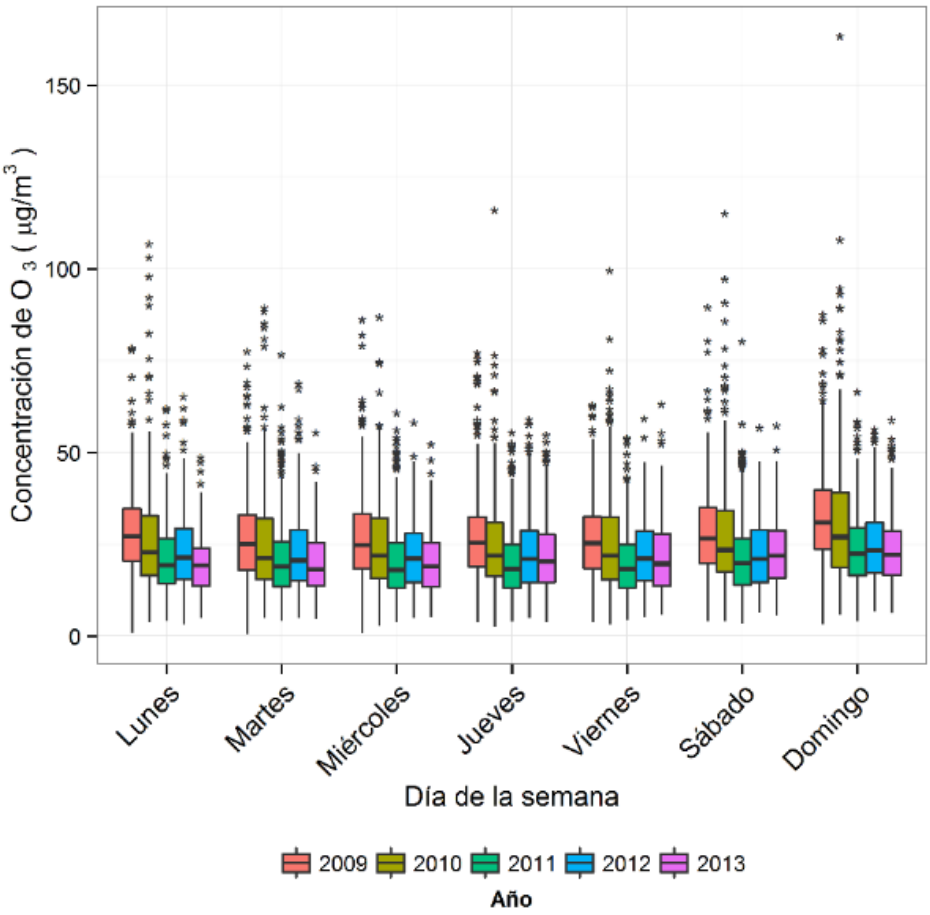


Figura 3-50. Gráfico de *boxplot* para O_3 en base diaria por días de la semana, comparando 2013 con años anteriores.

La Figura 3-51 muestra el comportamiento de los promedios diarios de concentración de ozono en función de los meses entre 2009 y 2013. Los meses de enero, febrero, septiembre y octubre han registrado históricamente los valores más altos de concentración, especialmente el mes de septiembre de 2009. Por el contrario, en abril, mayo y junio se encuentran las menores concentraciones. En cuanto a la dispersión de los datos, los años 2009 y 2010 son los más dispersos. Históricamente mayo ha registrado un rango de distribución más reducido de sus datos.

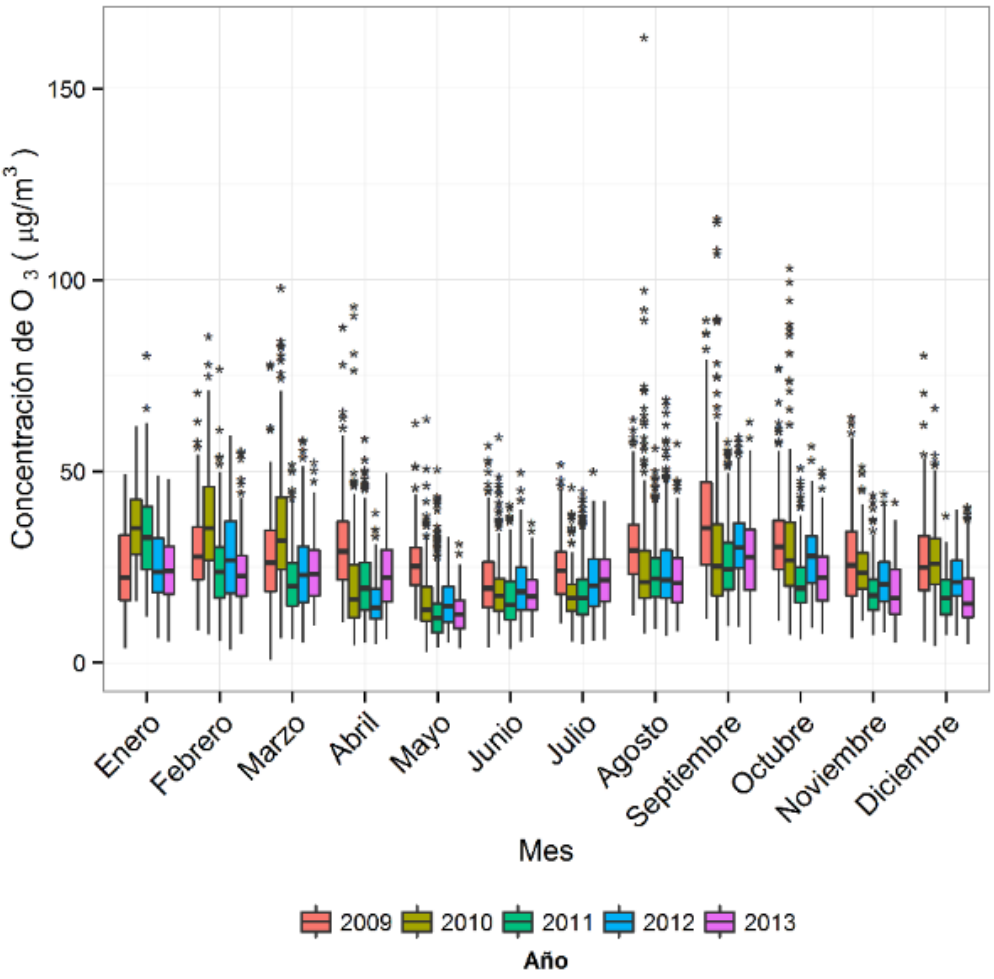


Figura 3-51. Gráfico de *boxplot* para O_3 promedio mensual (desde base diaria) entre 2009 y 2013.

La Figura 3-52 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de las estaciones de monitoreo. Puente Aranda y Carvajal han registrado los menores valores en los últimos 5 años, así como la menor dispersión de datos. Usaquén, Sagrado Corazón y Suba han registrado históricamente niveles altos. Con respecto al año 2012, hay disminución de la concentración en Suba y Puente Aranda. La disminución progresiva en Guaymaral fue interrumpida por un aumento repentino en 2013. Carvajal se caracteriza por presentar las mayores concentraciones de material particulado, un hecho que contrasta con las bajas concentraciones de ozono.

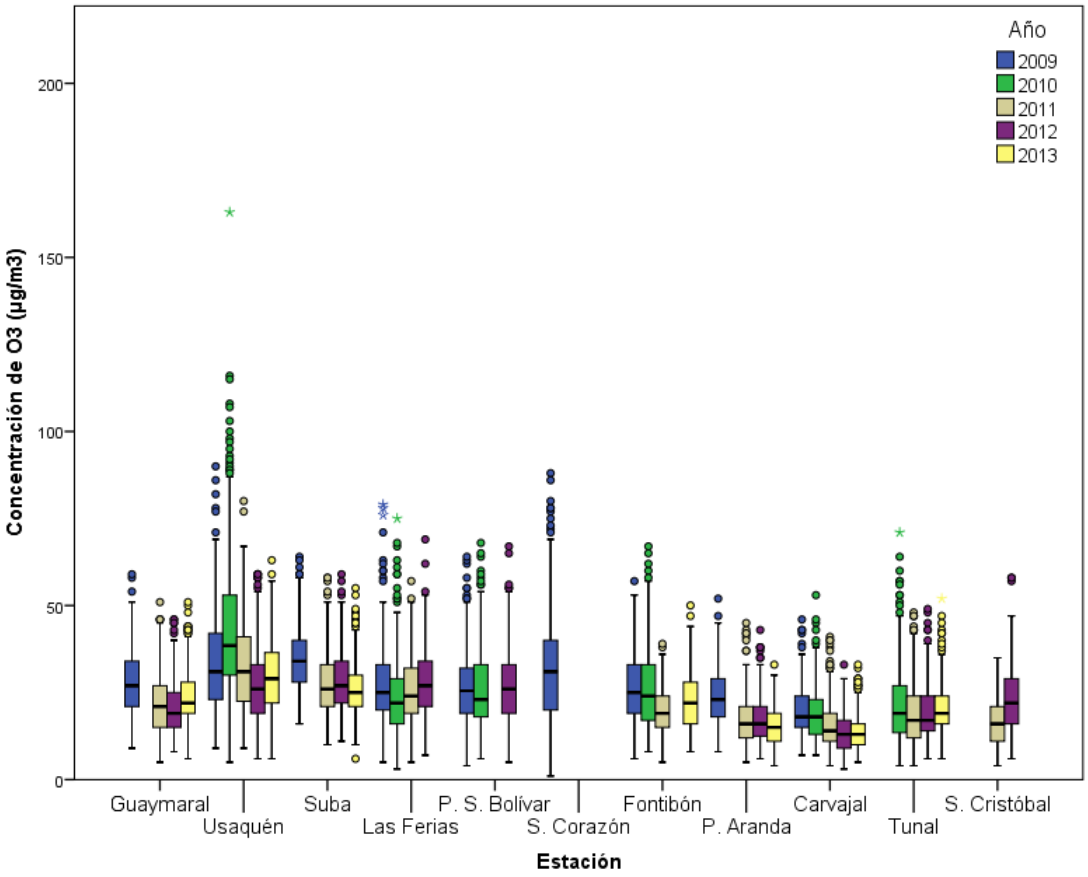


Figura 3-52. Gráfico de *boxplot* de O_3 en función de las estaciones entre los años 2009 y 2013 (desde base diaria).

El resumen general del comportamiento de ozono entre 2009 y 2013 se presenta en la Figura 3-53. La dispersión de datos entre 2011 y 2013 es similar y se observa una disminución de los niveles de concentración en 2013. Aunque en 2009 se registran mayores niveles de concentración, en 2010 hay una mayor cantidad de datos atípicos y de dispersión. La Tabla 3-29 es un resumen histórico de las concentraciones de ozono en base de 8 horas, en donde se puede ver que la magnitud del valor máximo ha estado reduciéndose con el transcurrir de los años. No se presentan resultados en base diaria al no existir normatividad correspondiente.

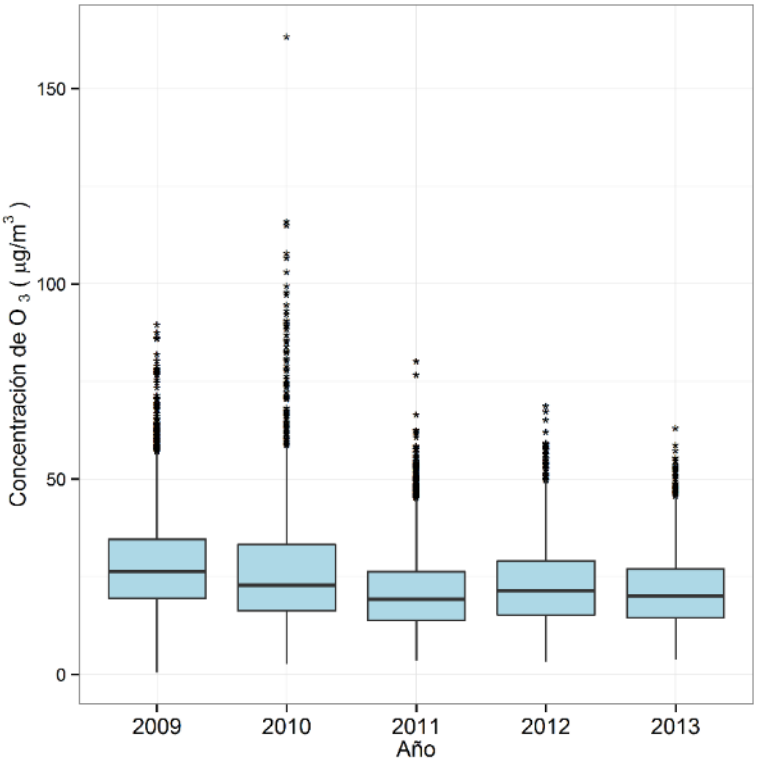


Figura 3-53. Gráfico de *boxplot* de O_3 con el comportamiento histórico en base diaria entre 2009 y 2013.

Tabla 3-29. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O_3 en promedios de 8 horas entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de O_3 en ppb			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m³	ppb	µg/m³
2009	81	160	0	0
2010	104	204	0	0
2011	65	128	0	0
2012	67	132	0	0
2013	51	101	0	0

3.3. Índices de calidad del aire

El presente capítulo presenta el Índice de Calidad del Aire (ICA) para los contaminantes criterios (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2 y NO_2). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (EPA, 2013), donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo como lo muestra la Tabla 3-30.

Tabla 3-30. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010).

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h $\mu g/m^3$	$PM_{2.5}$ 24h $\mu g/m^3$	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O_3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.
(4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse debido a que los contaminantes alcanzan niveles no saludables.

3.3.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM_{10} puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La Figura 3-54 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM_{10} en función de la estación de monitoreo. La categoría "Buena" tiende a predominar para la mayoría de las estaciones, especialmente para Parque Simón Bolívar, Usaquén y San Cristóbal. Contrariamente, las estaciones Kennedy y Carvajal tienen una predominancia de la categoría "Moderada" la cual representa un riesgo a la salud especialmente para personas con enfermedades respiratorias. No se registran categorías superiores o más críticas en términos de calidad del aire.

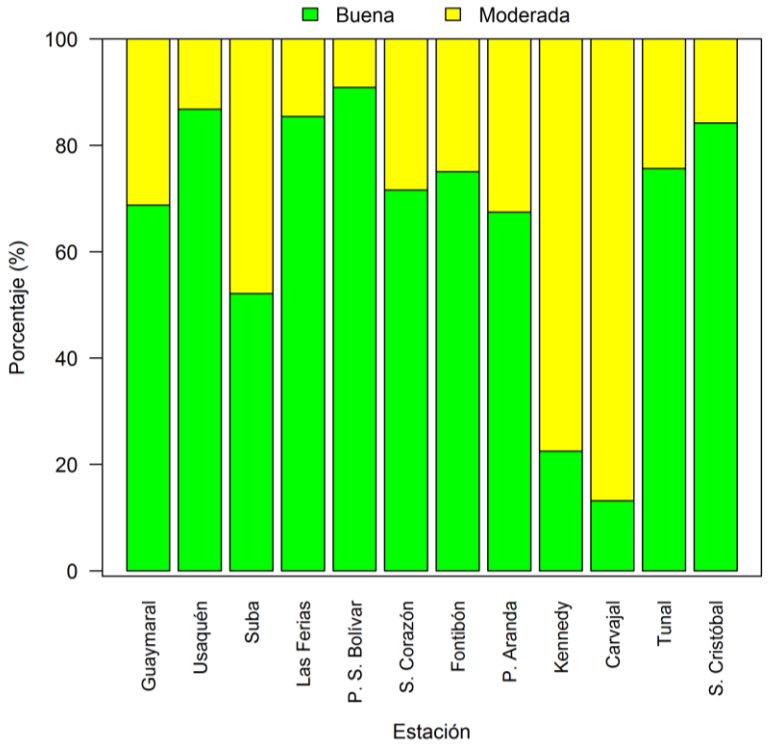


Figura 3-54. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2013.

La Figura 3-55 muestra una discriminación del ICA en función de los meses del año 2013. En concordancia con la Figura 3-10 los meses de enero a abril tienen una mayor afectación de la calidad del aire en comparación con el periodo mayo a septiembre. Este comportamiento puede estar relacionado con el aumento de las velocidades de viento a mitad de año, que da lugar a una mayor ventilación y consecuentemente a una reducción de los niveles de concentración. De acuerdo a esta figura marzo podría ser el mes con mayor incidencia en la salud pública, dado que tiene la mayor proporción de calidad de aire como moderado.

La Figura 3-57 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Todos los días registran las categorías de “Buena” y “Moderada”. Sin embargo, los días domingo y lunes tienen una mejor calidad del aire en lo referente a este contaminante. Este comportamiento está asociado a la reducción de actividades en los domingos y la influencia de la capa residual del día anterior en los días lunes.

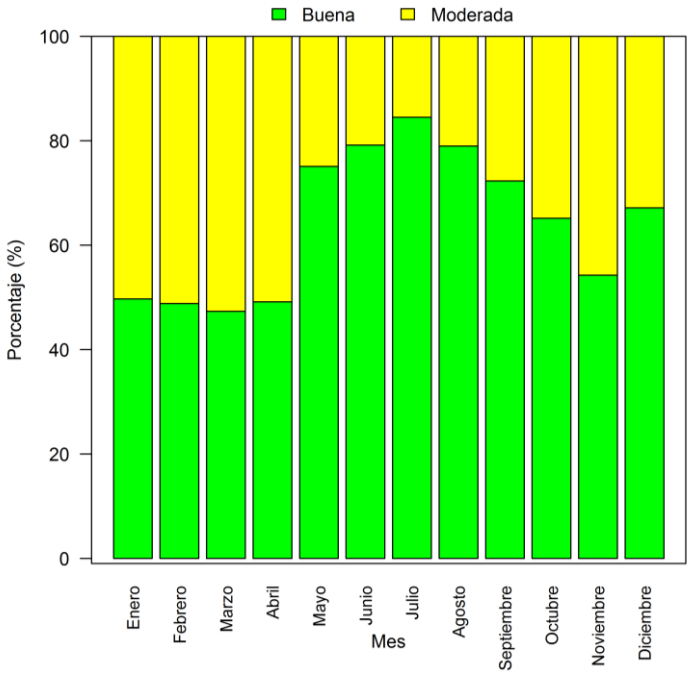


Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el año 2013.

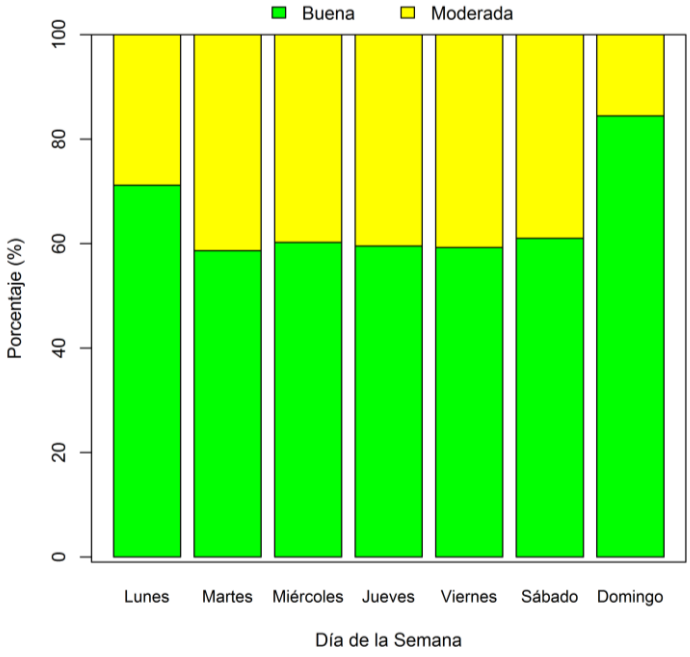


Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para el año 2013.

bLa Figura 3-57 clasifica las estaciones de acuerdo al valor del Índice de Calidad del Aire de este contaminante. Concordante con la discusión anterior, Kennedy y Carvajal (ubicadas en el suroccidente de Bogotá) registran los valores más altos y son las únicas estaciones que son clasificadas en la categoría “Moderada”: Estas estaciones son seguidas en valor por Suba, Guaymaral, Fontibón y Puente Aranda.

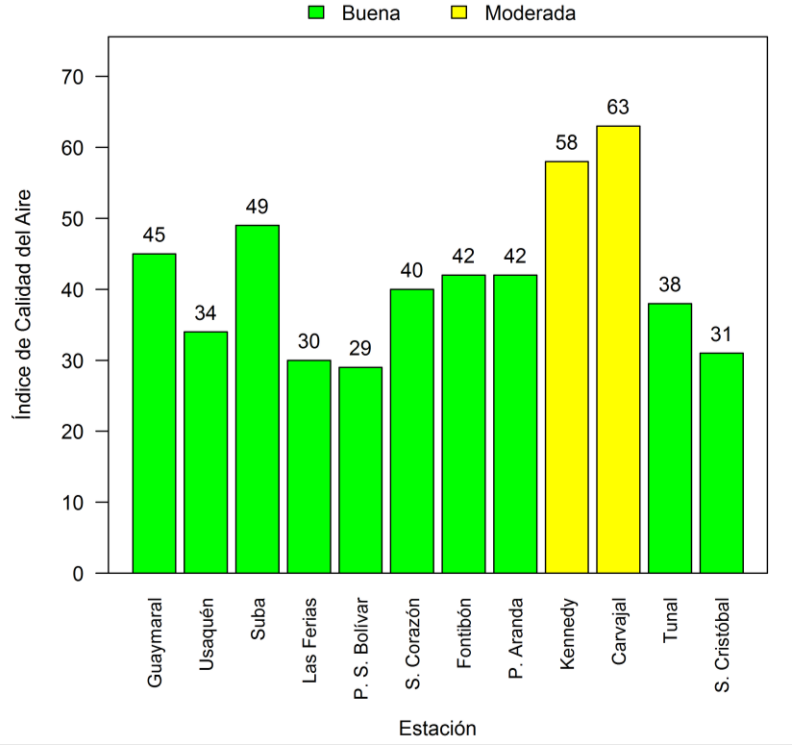


Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para el año 2013.

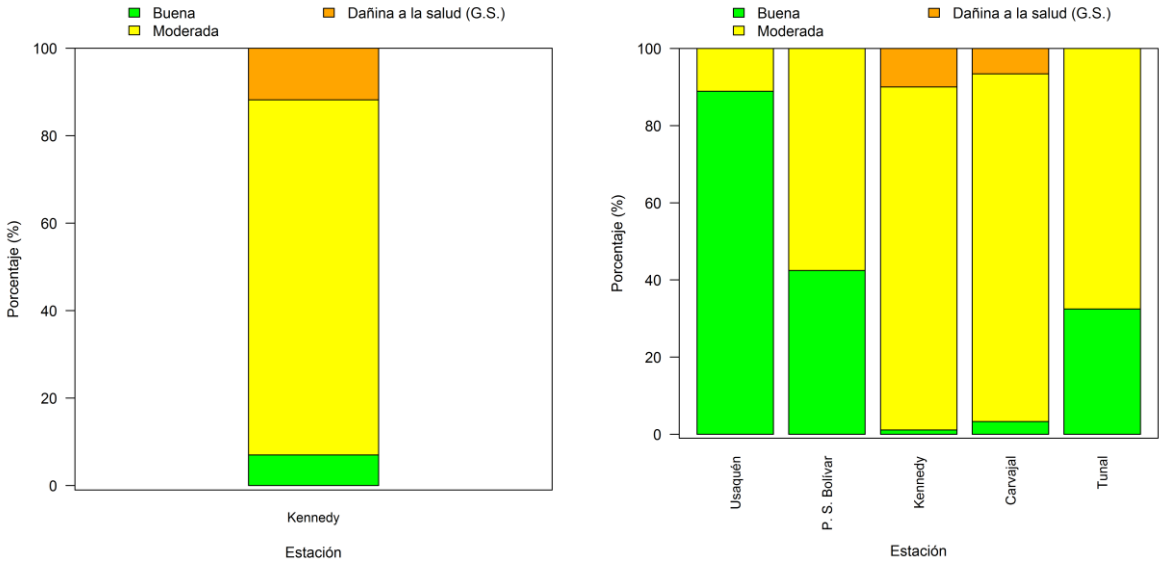
3.3.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 μm ($PM_{2.5}$) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. De forma consistente con la sección 3.1.2, el índice de calidad del aire para este contaminante se presentará para la estación Kennedy entre el 01 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2013 y para esta y las demás estaciones entre el 01 de octubre de 2013 y el 31 de diciembre de 2013.

La Figura 3-58 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios diarios en las dos secciones descritas. Se observa la predominancia de la categoría “Moderada” y participación más reducida de las categorías “Buena” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. El $PM_{2.5}$ es el único contaminante criterio del año 2013 que registra esta última categoría la cual se refiere específicamente a afectaciones en personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, adultos mayores y niños. Es importante considerar que Kennedy es una estación que, junto con Carvajal, presenta los niveles más altos de PM_{10}. Entonces, es

posible que otros sectores de la ciudad hayan niveles comparativamente menores en los primeros 3 trimestres de 2013. En términos numéricos, la estación registra un índice de 76, que se enmarca en la categoría “Moderada”.

En lo que respecta al cuarto trimestre de 2013, Kennedy y Carvajal continúan registrando la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”. En contraste, la localidad de Usaquén presenta una calidad del aire predominantemente “Buena”.



a) Año 2013 b) Cuarto trimestre de 2013

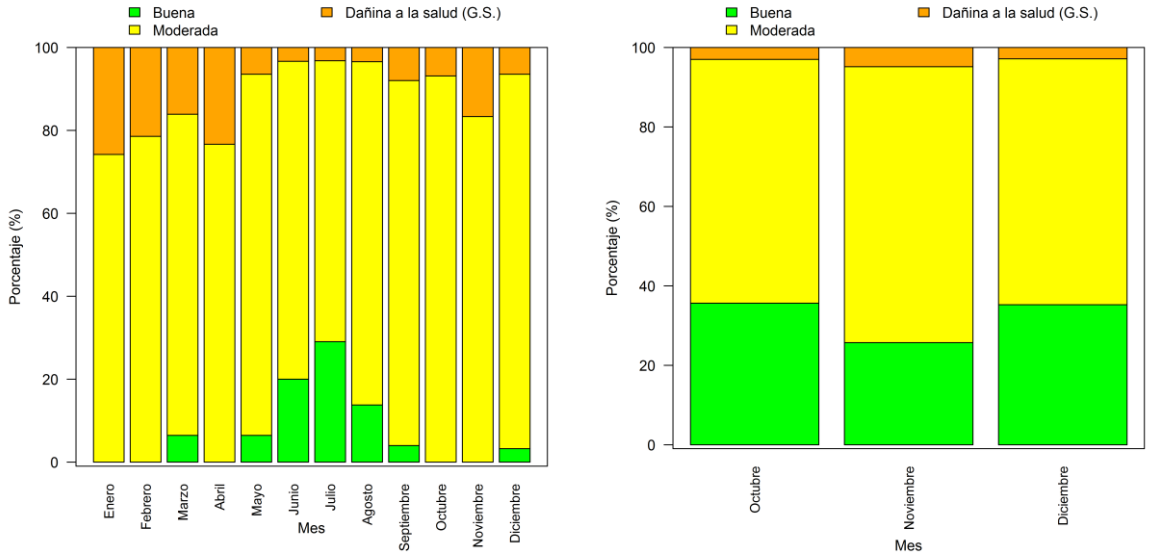
Figura 3-58. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.

La Figura 3-59(a) corresponde a la disgregación del Índice de Calidad del Aire en función de los meses. De forma concordante a las tendencias de las concentraciones de material particulado, se obtienen índices más saludables en la mitad del año. En contraste, enero, febrero, marzo, abril y noviembre son los más contaminados. Todos los meses del año registran la categoría “Dañino para grupos sensibles”. Como se ha mencionado previamente esta descripción solamente aplica para la estación Kennedy. Los meses del cuarto trimestre para las 5 estaciones tienen un comportamiento similar. Noviembre registra niveles levemente más altos de contaminación.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-59. *Proporción relativa* del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM2.5 por mes para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.

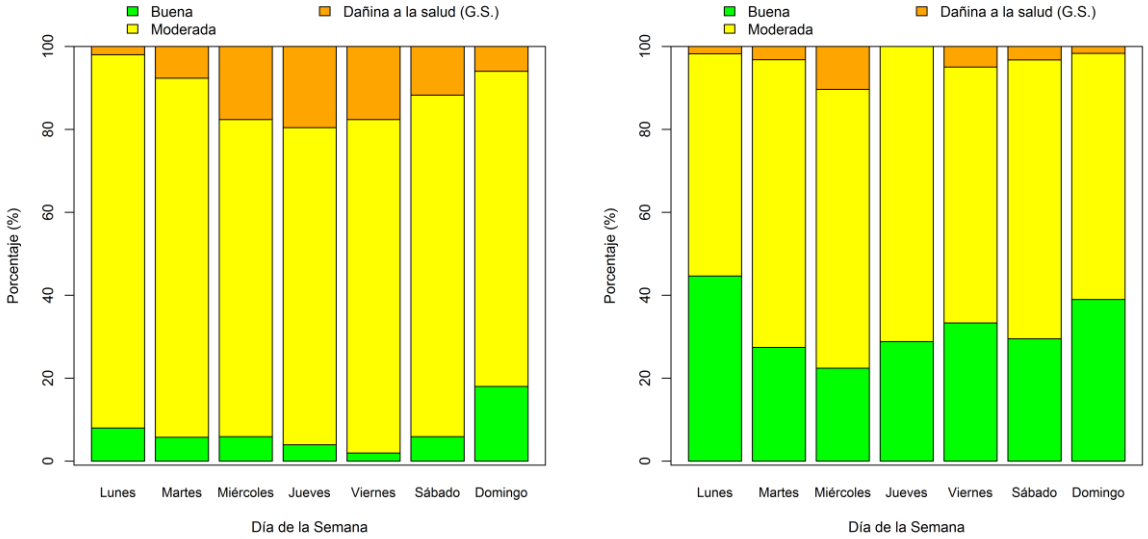
muestra que la calidad del aire en la estación Kennedy fue menos favorable los días miércoles, jueves y viernes. Durante el cuarto trimestre el conjunto de las 5 estaciones mostró una mejor calidad del aire los jueves y domingos. El comportamiento del día jueves es atípico y contrasta con el observado para los miércoles y viernes.

En general, durante el cuarto trimestre de 2013 la única estación que registró una categoría “Buena” fue Usaquén con un ICA de 31. En contraste, Kennedy presentó un nivel moderado con un ICA de 82 lo cual se atribuye a los altos niveles de concentraciones de material particulado registrados en la zona suroccidental de la ciudad.



a) Año 2013 b) Cuarto trimestre de 2013

Figura 3-59. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por mes para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.



a) Año 2013 b) Cuarto trimestre de 2013

Figura 3-60 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.

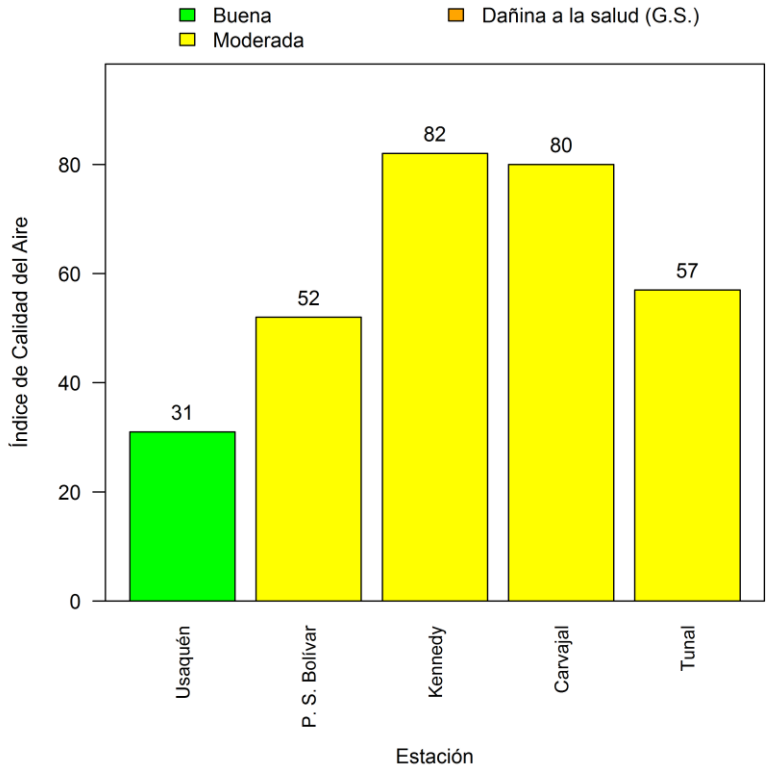


Figura 3-61. Índice de calidad del aire (ICA) para $PM_{2.5}$ durante el cuarto trimestre de 2013.

3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono.

Todas las mediciones de estos contaminantes en sus respectivas bases temporales registran una categoría “Buena”. El máximo valor promedio del índice fue 14 y corresponde a monóxido de carbono en la estación Carvajal. Teniendo en cuenta que el corte entre la categoría “Buena” y “Moderada” es 50 y que ningún dato individual registra una categoría diferente a “Buena”, se puede afirmar que los niveles de concentración de estos contaminantes representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

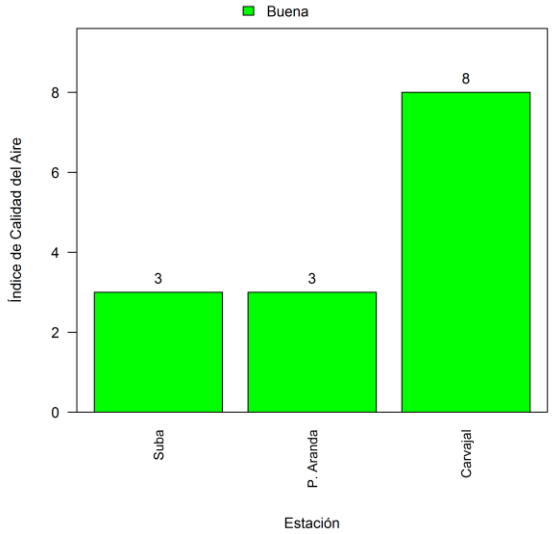


Figura 3-62. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria.

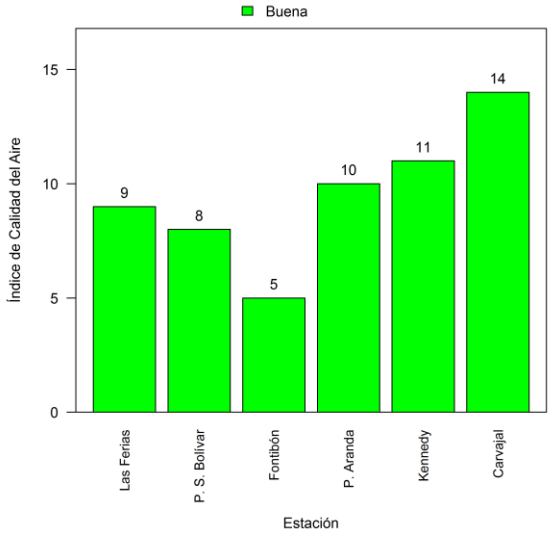


Figura 3-63. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

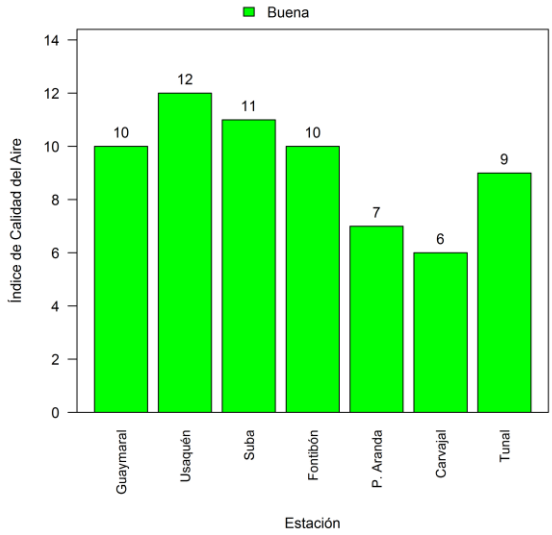


Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas.

3.4. Síntesis de resultados

Se presenta una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para el caso de se PM_{10} se presenta en la Tabla 3-31 el comportamiento de los promedios de 24 horas para el año 2013, en donde se puede ver en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en 2013 y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la afección a la norma. Finalmente, en la última columna se presentan los valores promedio de las concentraciones durante el año las cuales deben ser comparados con su respectiva norma anual.
Una síntesis similar a la descrita anteriormente, se realiza para los promedios diarios de $PM_{2.5}$ en la Tabla 3-32 y para PST en la Tabla 3-33. La síntesis de resultados para los gases contaminantes SO_2, NO_2, CO y O_3 se presenta de la Tabla 3-34 a la Tabla 3-41.

Es importante aclarar que los contaminantes que no registran la columna de promedio, corresponden a aquellos que no poseen norma anual de acuerdo a la Resolución 610 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{10}. Año 2013 [Norma: 100 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual[10] [µg/m³]**
Norte	Guaymaral	339	93%	2	1%	120	24	112	1.1	50
	Usaquén	340	93%	0	0%	69	0	74	0.7	37
	Subtotal	***679***	***93%***	***2***	***0%***	***189***	***24***	***112***	***1.1***	***44***
Noroccidente	Suba	328	90%	0	0%	188	10	90	0.9	55
	Las Ferias	301	82%	0	0%	47	6	86	0.9	34
	Subtotal	***629***	***86%***	***0***	***0%***	***235***	***16***	***90***	***0.9***	***45***
Centro	Parque Simón Bolívar	306	84%	0	0%	40	2	79	0.8	32
	Sagrado Corazón	348	95%	0	0%	99	16	96	1.0	45
	Subtotal	***654***	***90%***	***0***	***0%***	***139***	***18***	***96***	***1.0***	***39***
Suroccidente	Fontibón	300	82%	0	0%	102	12	90	0.9	47
	Puente Aranda	344	94%	0	0%	123	18	91	0.9	47
	Kennedy	351	96%	35	10%	154	104	132	1.3	71
	Carvajal	364	100%	67	18%	108	149	154	1.5	81
	Subtotal	***1359***	***93%***	***102***	***7%***	***487***	***283***	***154***	***1.5***	***62***
Sur	Tunal	287	79%	0	0%	75	13	94	0.9	43
	San Cristóbal	278	76%	0	0%	54	4	88	0.9	34
	Subtotal	***565***	***77%***	***0***	***0%***	***129***	***17***	***94***	***0.9***	***39***

[10] Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 50 µg/m³.

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de $PM_{2.5}$ [Norma diaria: 50 µg/m^3; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio anual[11] [µg/m^3]**
Suroccidente	Kennedy	356	98%	2	1%	142	62	55	1.1	28

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m^3; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m3]**	**Max/ Norma**	**Promedio Geométrico[12] [µg/m3]**
Suroccidente	Carvajal	305	84%	0	0%	55	4	279	0.9	115

[11] Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 25 µg/m^3.
[12] Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 100 µg/m^3.

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO_2 para 3 horas, año 2013.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO_2 [Norma: 750 µg/m^3; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Promedio Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**
Noroccidente	Suba	7923	90%	0	0%	0	0	92	0.1
	Las Ferias	6534	75%	0	0%	0	0	43	0.1
	Subtotal	***14457***	***83%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***92***	***0.1***
Centro	Parque Simón Bolívar	5314	61%	0	0%	0	0	26	0.0
	Subtotal	***5314***	***61%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***26***	***0.0***
Suroccidente	Fontibón	6206	71%	0	0%	0	0	93	0.1
	Puente Aranda	8611	98%	0	0%	0	0	46	0.1
	Kennedy	5159	59%	0	0%	0	0	101	0.1
	Carvajal	8452	96%	0	0%	0	0	173	0.2
	Subtotal	***28428***	***81%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***173***	***0.2***
Sur	Tunal	6282	72%	0	0%	0	0	53	0.1
	San Cristóbal	6064	69%	0	0%	0	0	16	0.0
	Subtotal	***12346***	***70%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***53***	***0.1***

Tabla 3-35. Consolidado de los promedios de SO_2 para 24 horas, año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de SO_2 [Norma diaria: 250 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio[13] [µg/m³]**
Noroccidente	Suba	330	90%	0	0%	0	0	22	0.1	6
	Las Ferias	259	71%	0	0%	0	0	13	0.1	
	Subtotal	***589***	***81%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***22***	***0.1***	***6***
Centro	Parque Simón Bolívar	222	61%	0	0%	0	0	12	0.1	
	Subtotal	***222***	***61%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***12***	***0.1***	
Suroccidente	Fontibón	254	70%	0	0%	0	0	18	0.1	
	Puente Aranda	360	99%	0	0%	0	0	17	0.1	5
	Kennedy	211	58%	0	0%	0	0	23	0.1	
	Carvajal	358	98%	0	0%	0	0	51	0.2	15
	Subtotal	***1183***	***81%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***51***	***0.2***	***10***
Sur	Tunal	258	71%	0	0%	0	0	24	0.1	
	San Cristóbal	245	67%	0	0%	0	0	6	0.0	
	Subtotal	***503***	***69%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***24***	***0.1***	

[13] Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 80 µg/m³.

Tabla 3-36. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de NO_2 [Norma: 200 µg/m^3; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Guaymaral	3251	37%	0	0	2	0	103	0.5
	Subtotal	***3251***	***37%***	***0***	***0***	***2***	***0***	***103***	***0.5***
Noroccidente	Suba	5848	67%	0	0	0	0	94	0.5
	Las Ferias	2498	29%	0	0	47	0	148	0.7
	Subtotal	***8346***	***48%***	***0***	***0***	***47***	***0***	***148***	***0.7***
Centro	Parque Simón Bolívar	7796	89%	0	0	0	0	77	0.4
	Subtotal	***7796***	***89%***	***0***	***0***	***0***	***0***	***77***	***0.4***
Suroccidente	Puente Aranda	7926	90%	0	0	42	1	156	0.8
	Kennedy	8091	92%	0	0	3	0	140	0.7
	Subtotal	***16017***	***91%***	***0***	***0***	***45***	***1***	***156***	***0.8***
Sur	Tunal	7693	88%	0	0	24	1	157	0.8
	Subtotal	***7693***	***88%***	***0***	***0***	***24***	***1***	***157***	***0.8***

Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de NO_2, año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de NO_2 [Norma: 150 µg/m^3; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio[14] [µg/m^3]**
Norte	Guaymaral	126	35	0	0%	0	0	43	0.3	26
	Subtotal	***126***	***35***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***43***	***0.3***	***26***
Noroccidente	Suba	230	63	0	0%	0	0	45	0.3	25
	Las Ferias	100	27	0	0%	3	0	84	0.6	45
	Subtotal	***330***	***45***	***0***	***0%***	***3***	***0***	***84***	***0.6***	***35***
Centro	Parque Simón Bolívar	315	86	0	0%	0	0	35	0.2	16
	Subtotal	***315***	***86***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***35***	***0.2***	***16***
Suroccidente	Puente Aranda	332	91	0	0%	0	0	71	0.5	40
	Kennedy	340	93	0	0%	0	0	60	0.4	34
	Subtotal	***672***	***92***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***71***	***0.5***	***37***
Sur	Tunal	313	86	0	0%	0	0	56	0.4	30
	Subtotal	***313***	***86***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***56***	***0.4***	***30***

[14] Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 100 µg/m^3.

Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m^3; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Usaquén	480	5%	0	0%	0	0	6	0.1
	Subtotal	***480***	***5%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6***	***0.1***
Noroccidente	Las Ferias	7450	85%	0	0%	0	0	5	0.1
	Subtotal	***7450***	***85%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5***	***0.1***
Centro	Parque Simón Bolívar	7464	85%	0	0%	0	0	5	0.1
	Subtotal	***7464***	***85%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***5***	***0.1***
Suroccidente	Fontibón	7267	83%	0	0%	0	0	3	0.1
	Puente Aranda	8417	96%	0	0%	0	0	6	0.2
	Kennedy	8255	94%	0	0%	0	0	5	0.1
	Carvajal	8382	96%	0	0%	0	0	6	0.2
	Subtotal	***32321***	***92%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***6***	***0.2***
Sur	Tunal	4359	50%	0	0%	0	0	7	0.2
	San Cristóbal	1984	23%	0	0%	0	0	6	0.1
	Subtotal	***6343***	***36%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***7***	***0.2***

Tabla 3-39. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2013.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m^3]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Usaquén	474	5%	0	0%	0	0	3	0.3
	Subtotal	***474***	***5%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3***	***0.3***
Noroccidente	Las Ferias	7419	85%	0	0%	0	0	4	0.4
	Subtotal	***7419***	***85%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***	***0.4***
Centro	Parque Simón Bolívar	7326	84%	0	0%	0	0	3	0.3
	Subtotal	***7326***	***84%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***3***	***0.3***
Suroccidente	Fontibón	7159	82%	0	0%	0	0	2	0.2
	Puente Aranda	8424	96%	0	0%	0	0	3	0.3
	Kennedy	8230	94%	0	0%	0	0	3	0.3
	Carvajal	8296	95%	0	0%	0	0	4	0.4
	Subtotal	***32109***	***92%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***	***0.4***
Sur	Tunal	4155	47%	0	0%	0	0	4	0.4
	San Cristóbal	1969	22%	0	0%	0	0	2	0.2
	Subtotal	***6124***	***35%***	***0***	***0%***	***0***	***0***	***4***	***0.4***

Tabla 3-40. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de O_3 [Norma: 120 µg/m^3]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Guaymaral	8200	94%	8	0%	340	57	151	1.3
	Usaquén	7794	89%	1	0%	228	10	126	1.1
	Subtotal	***15994***	***91%***	***9***	***0%***	***568***	***67***	***151***	***1.3***
Noroccidente	Suba	7108	81%	6	0%	340	62	139	1.2
	Las Ferias	6027	69%	4	0%	314	35	138	1.2
	Subtotal	***13135***	***75%***	***10***	***0%***	***654***	***97***	***139***	***1.2***
Centro	Parque Simón Bolívar	6498	74%	7	0%	388	63	152	1.3
	Sagrado Corazón	4640	53%	0	0%	26	2	97	0.8
	Subtotal	***11138***	***64%***	***7***	***0%***	***414***	***65***	***152***	***1.3***
Suroccidente	Fontibón	7160	82%	2	0%	417	66	144	1.2
	Puente Aranda	7302	83%	0	0%	84	2	98	0.8
	Carvajal	8086	92%	0	0%	66	3	98	0.8
	Subtotal	***22548***	***86%***	***2***	***0%***	***567***	***71***	***144***	***1.2***
Sur	Tunal	7990	91%	0	0%	123	4	103	0.9
	San Cristóbal	5784	66%	0	0%	127	6	118	1.0
	Subtotal	***13774***	***79%***	***0***	***0%***	***250***	***10***	***118***	***1.0***

Tabla 3-41. Consolidado de los promedios de O_3 para 8 horas, año 2013.

Información de los promedios de 8 horas de concentración de O_3 [Norma: 80 µg/m^3]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios anuales**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Guaymaral	8198	94%	17	0%	987	195	101	1.3
	Usaquén	7788	89%	0	0%	1676	80	77	1.0
	Subtotal	***15986***	***91%***	***17***	***0%***	***2663***	***275***	***101***	***1.3***
Noroccidente	Suba	7102	81%	39	1%	1088	197	100	1.3
	Las Ferias	5828	67%	10	0%	959	141	85	1.1
	Subtotal	***12930***	***74%***	***49***	***0%***	***2047***	***338***	***100***	***1.3***
Centro	Parque Simón Bolívar	6304	72%	22	0%	1065	208	94	1.2
	Sagrado Corazón	4243	48%	0	0%	204	0	60	0.8
	Subtotal	***10547***	***60%***	***22***	***0%***	***1269***	***208***	***94***	***1.2***
Suroccidente	Fontibón	7166	82%	22	0%	880	203	95	1.2
	Puente Aranda	7321	84%	0	0%	186	2	64	0.8
	Carvajal	8077	92%	0	0%	161	13	74	0.9
	Subtotal	***22564***	***86%***	***22***	***0%***	***1227***	***218***	***95***	***1.2***
Sur	Tunal	7933	91%	0	0%	483	37	74	0.9
	San Cristóbal	5648	64%	1	0%	602	37	82	1.0
	Subtotal	***13581***	***78%***	***1***	***0%***	***1085***	***74***	***82***	***1.0***

4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2013. La RMCAB a través de los sensores localizados en las estaciones presentadas en la Tabla 1-1, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo:

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A lo largo de 2013 se presentó una fase neutral según informes de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA, 2009), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un máximo de -0.2°C en el promedio de los trimestres marzo abril mayo (MAM), abril mayo junio (AMJ) y septiembre octubre noviembre (SON) y un mínimo de -0.6 en enero febrero marzo (EFM). Esto significa que durante 2013 la lluvia y otras variables meteorológicas respondieron a la climatología y eventos de escala menor, con tendencia a valores promedio.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del Noreste y Sudeste, los cuales confluyen en la región tropical formando la ZCIT, que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, 2000).La Figura 4-1 presenta la precipitación horaria para cada uno de los 12 meses del año de la estación del aeropuerto ElDorado, en donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre – noviembre, donde además se puede ver que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde.

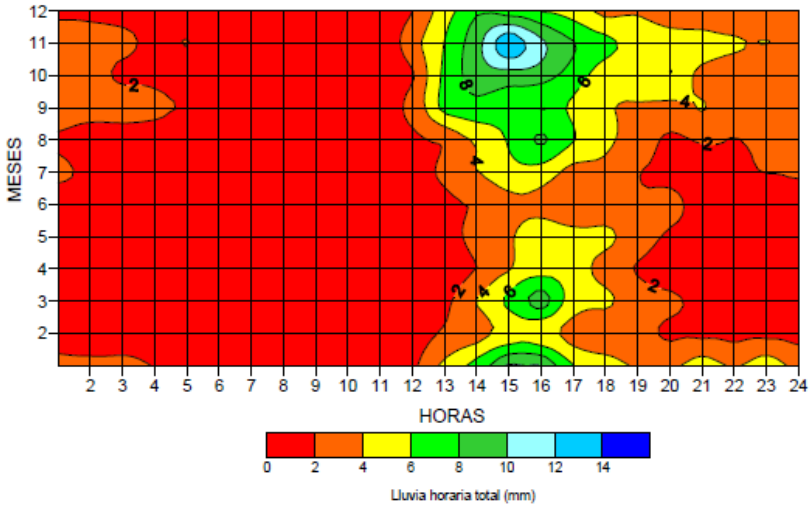


Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013)

En Bogotá se presentan dos regímenes de vientos, los generales y los vientos locales, los primeros son los de influencia sinóptica asociados a los alisios, los cuales toman direcciones Noreste y Sureste sobre la ciudad y la sabana. Estos vientos traen consigo gran cantidad de humedad que producen lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y además estos vientos arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad (IDEAM, 2004). Por su parte, los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias, y viajan hacia el Nororiente, Oriente y Occidente, con velocidades medias de 4 a 6 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes ascendentes, que junto con el calentamiento diurno, apoyan la formación de nubes de amplio despliegue vertical favoreciendo las precipitaciones fuertes y la ocurrencia de tormentas eléctricas, granizadas y torbellinos en zonas locales y a veces de poca extensión. También favorecen la dispersión de los contaminantes en algunas zonas, pero en los meses de la segunda temporada de lluvias arrastran contaminantes sobre zonas de alta emisión (SDA, 2011).
Para referencia del lector se presentan algunos promedios de variables meteorológicas en el periodo 1971 al 2000 en la estación del aeropuerto ElDorado, Bogotá. (Tabla 4-1)

Tabla 4-1. Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013)

Estación	Ciudad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
		PRECIPITACION (mm)												
Apto Eldorado P1-2	Bogotá	29	44	66	101	93	54	43	46	72	106	90	52	797
		TEMPERATURA MEDIA (°C)												
		13.0	13.4	13.8	14.0	14.0	13.8	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.1	13.1
		TEMPERATURA MEDIA MAXIMA (°C)												
		19.8	19.9	19.8	19.5	19.2	18.7	18.2	18.6	19.0	19.1	19.3	19.5	19.2
		TEMPERATURA MEDIA MINIMA (°C)												
		5.6	6.5	7.6	8.6	8.7	8.3	7.7	7.3	7.1	7.7	7.9	6.3	7.4
		HUMEDAD RELATIVA (%)												
		79	80	81	82	81	79	77	77	79	82	83	81	80

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la Tabla 4-2, en donde se observa el porcentaje de representatividad de datos capturados válidos durante los meses del año. No obstante y a pesar de que la estación de Fontibon exhibió buena representatividad temporal, la información reportada no presenta congruencia espacial con las demás estaciones.

Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante 2013

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	99	99	100	99	100	98	0	57	98	99	100	100	96
Usaquén (Bosque)	95	94	100	90	99	85	100	73	92	100	50	100	90
Suba (Corpas)	99	100	99	85	100	100	95	82	79	99	93	100	94
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Sagrado Corazón (MAVDT)	99	98	100	100	100	100	100	100	100	95	100	97	99
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Puente Aranda	99	100	94	94	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Carvajal (Sony)	99	100	99	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	99	100	100	87	95
San Cristóbal	81	99	55	44	92	99	100	88	82	97	93	59	82
Bolivia	100	70	87	38	0	0	95	100	100	100	100	100	77

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio de precipitación en el periodo 1998-2012 con respecto a los promedios obtenidos en 2013, que si bien es cierto no representan una climatología de Bogotá, resultan útiles para hacer una comparación con el promedio obtenido en los últimos años. Durante el año se observaron dos meses con promedios muy por encima del promedio histórico, alcanzando diferencias de 56.1 y 49.1 para noviembre y febrero, respectivamente. Por su parte, el mes con más déficit de precipitación fue junio con 29.5 mm menos del promedio histórico presentado. Como referencia de comparación anual, se presenta la Figura 4-3, la cual muestra el acumulado de precipitación desde el año 1999, en donde se puede ver que en 2013 se presentó un acumulado promedio de 847.3 mm, similar a varios años de la última década, sin embargo es de resaltar que esta comparación no es directa, pues no resultan las mismas estaciones de medición en cada años, de manera que se presenta como referencia de tendencias. El comportamiento general de la precipitación durante 2013 en forma horaria y para cada mes del año, se presenta en la Figura 4-4, en donde los colores representan el acumulado de lluvia horaria durante el año; acorde con la estacionalidad bogotana. Se pueden ver las dos épocas lluviosas del año en el segundo y último trimestre, además de presentarse las mayores precipitaciones en horas de la tarde-noche y unas lluvias más pequeñas en horas de la madrugada y a mediados del año. Por su parte la Figura 4-5 presenta el mismo comportamiento anterior, pero discriminado para cada una de las estaciones de la RMCAB, en donde se puede ver un comportamiento similar, en particular, se muestra que durante la primera temporada de lluvias, Las Ferias y Parque Simón Bolívar registraron sus mayores valores cerca del mediodía (12-15 hlc); horas más tarde (14 – 18 hlc) se observó este comportamiento en estaciones como Guaymaral y Usaquén. Asimismo estaciones como Sagrado Corazón, Tunal y San Cristóbal presentaron sus mayores acumulados en el mes de febrero e iniciando la noche. Durante la segunda temporada de lluvias prevalecieron las precipitaciones en horas de la noche en la mayoría de las estaciones. Para ambas temporadas, las madrugadas y mañanas presentaron un acumulado bajo de lluvias.

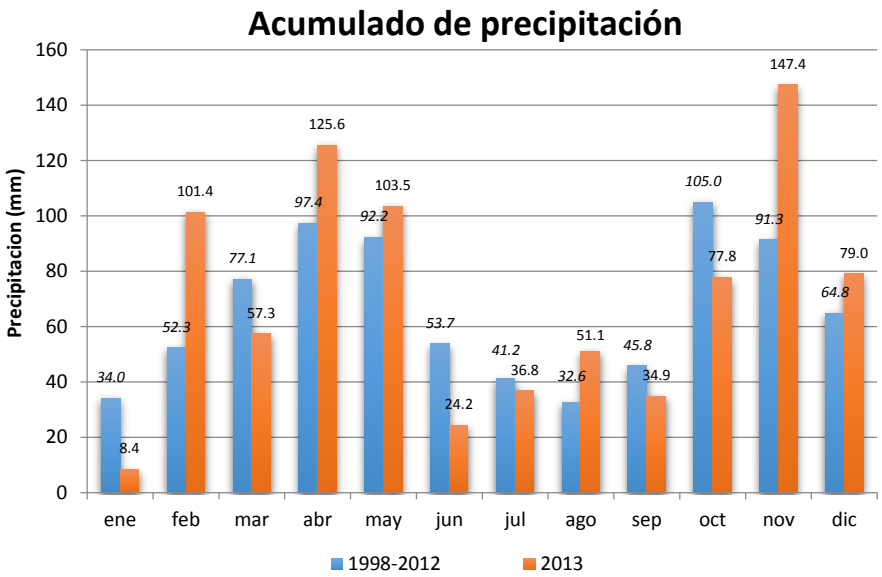


Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 comparada con el promedio registrado en 2013.

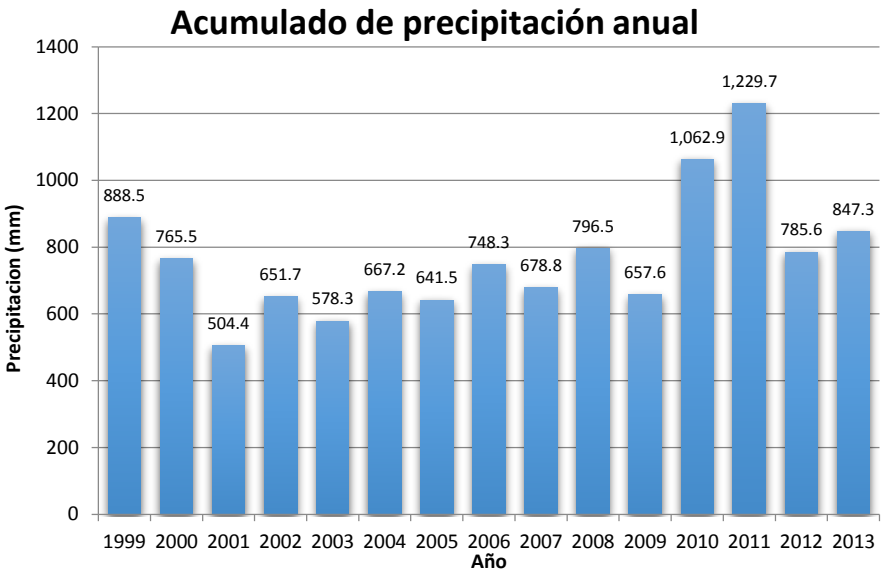


Figura 4-3. Promedio de los acumulado precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1999 hasta 2013.

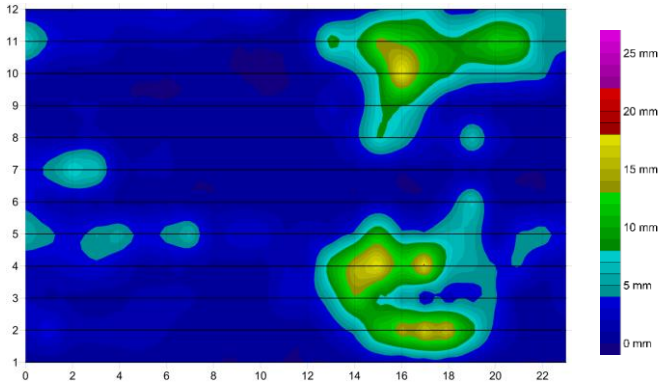


Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

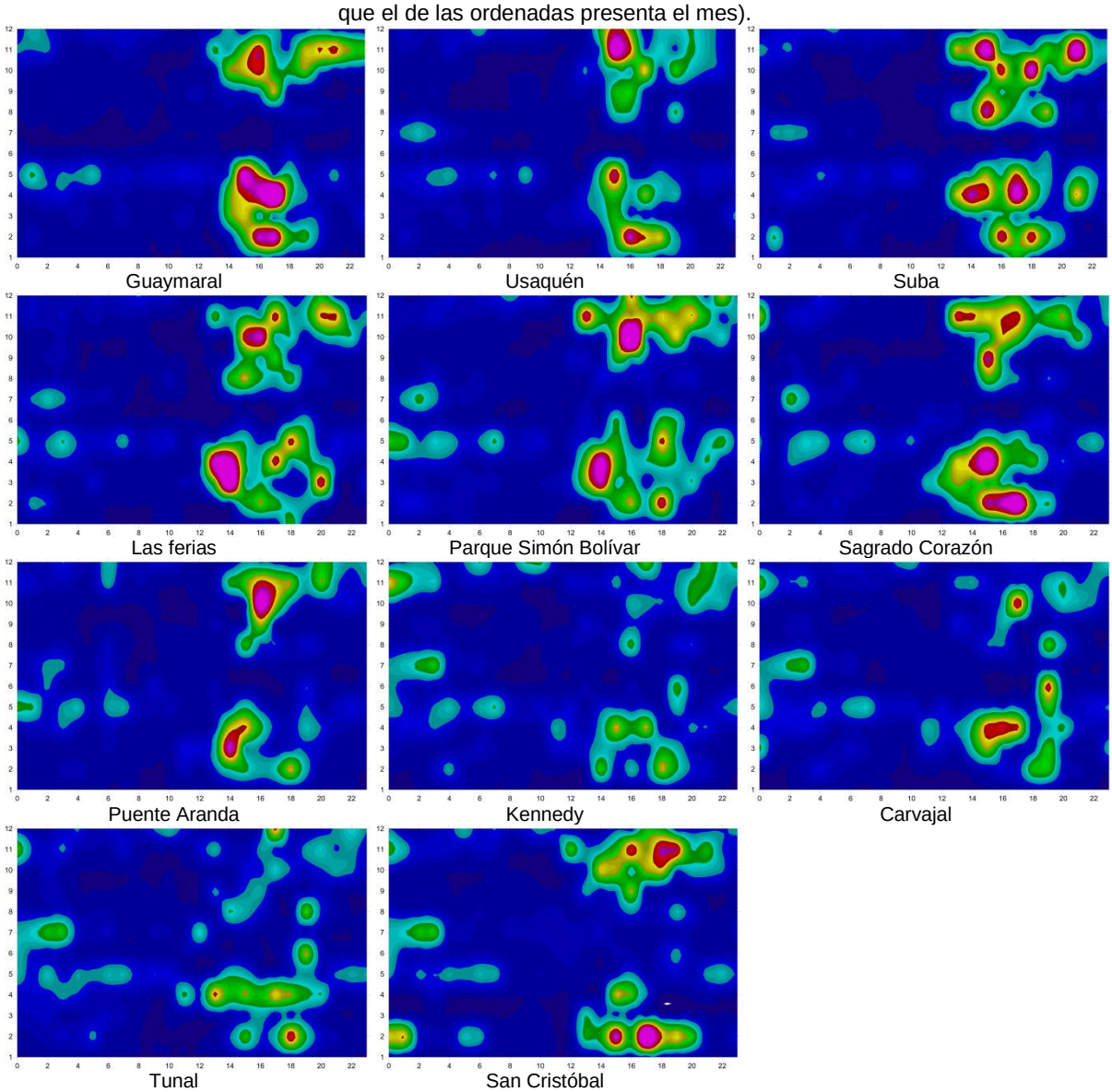


Figura 4-5. Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

Los datos presentados en la Tabla 4-3 representan los acumulados del año de cada estación de la red, hasta 2013.

Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral			577		540		491	646	821	656	1048	1394	630	828
Usaquén						910		780	946	624	1291	1276	825	703
Suba	650	671			1007				570	642	1018	1155	820	930
Las ferias	606	592	667		675	882	861	655	695	759	1321	1429	889	855
Simón Bolívar					739	752	1030	707	848	815	1523	1710	889	964
Sagrado Corazón										811			913	911
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522			
Puente Aranda		564			248	425	580	701		855	877	808	692	660
Kennedy							611	546	838	559	644	587		688
Carvajal	585	317	580	401	577		689	669		620	970	1024	612	678
Tunal								539	686	542	1071	1066	665	711
San Cristóbal													937	865

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, característica de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. Para realizar una comparación del número de días húmedos por estación (registro diario superior a 1.0 mm), se presenta la Tabla 4-4, la cual muestra que en la estación Parque Simón Bolívar (ubicada en la localidad de Barrios Unidos) se registró el mayor numero de días de lluvia con 117, seguido de Suba con 104 días. Por otra parte, Usaquén registró 84 días, consolidándose como la estación con menor número de días de lluvia. La estación de Las Ferias presenta mayores volumenes promedio de lluvia en el día, como se nota en la Tabla 4-5 mientras que las más bajas precipitaciones son observadas en la estación de Puente Aranda con 6.7 mm/día.

Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral			81		78		82	85	117	87	126	152	101	91
Usaquén						94		91	105	76	147	123	98	84
Suba	99	91			107				101	90	129	152	110	104
Las ferias	84	78	80		108	119	101	87	118	105	137	152	103	88
Simón bolívar					109	110	119	91	118	102	148	160	100	117
Sagrado Corazón										94			110	101
Fontibón	105	66	84	82	101	90	70	94		68	98			
Puente Aranda		76			55	99	112	109		114	127	124	103	99
Kennedy							84	87	104	78	105	92		95
Carvajal	107	57	93	62	93		85	103		91	125	130	96	97
Tunal								84	97	83	131	134	100	92
San Cristóbal													114	98

El mapa de la Figura 4-6 presenta el área de Bogotá con la interpolación de los acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013. Los sectores sombreados (en gris) correspondientes al Oriente y Sur, representan a terrenos que por su condición orográfica, no son aptos para ser incorporados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*. Se puede observar el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del Sur de la localidad de Kennedy, Norte de Tunjuelito y Occidente de Puente Aranda. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el

costado Centro - oriental de la ciudad, al igual que buena parte de la localidad de Suba, donde se aprecian valores de precipitación promedio por arriba de 900mm.

Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013, en mm/día.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral			7.1		6.9		6.0	7.6	7.0	7.5	8.3	9.2	6.2	9.1
Usaquén						9.7		8.6	9.0	8.2	8.8	10.4	8.4	8.4
Suba	6.6	7.4			9.4				5.6	7.1	7.9	7.6	7.5	8.9
Las ferias	7.2	7.6	8.3		6.2	7.4	8.5	7.5	5.9	7.2	9.6	9.4	8.6	9.7
Simón Bolívar					6.8	6.8	8.7	7.8	7.2	8.0	10.3	10.7	8.9	8.2
Sagrado Corazón										8.6			8.3	9.0
Fontibón	6.5	7.1	7.8	7.0	6.8	6.1	7.4	5.9		5.6	5.3			
Puente Aranda		7.4			4.5	4.3	5.2	6.4		7.5	6.9	6.5	6.7	6.7
Kennedy							7.3	6.3	8.1	7.2	6.1	6.4		7.2
Carvajal	5.5	5.6	6.2	6.5	6.2		8.1	6.5		6.8	7.8	7.9	6.4	7.0
Tunal								6.4	7.1	6.5	8.2	8.0	6.6	7.7
San Cristóbal			7.1		6.9		6.0	7.6	7.0	7.5	8.3	9.2	6.2	9.1

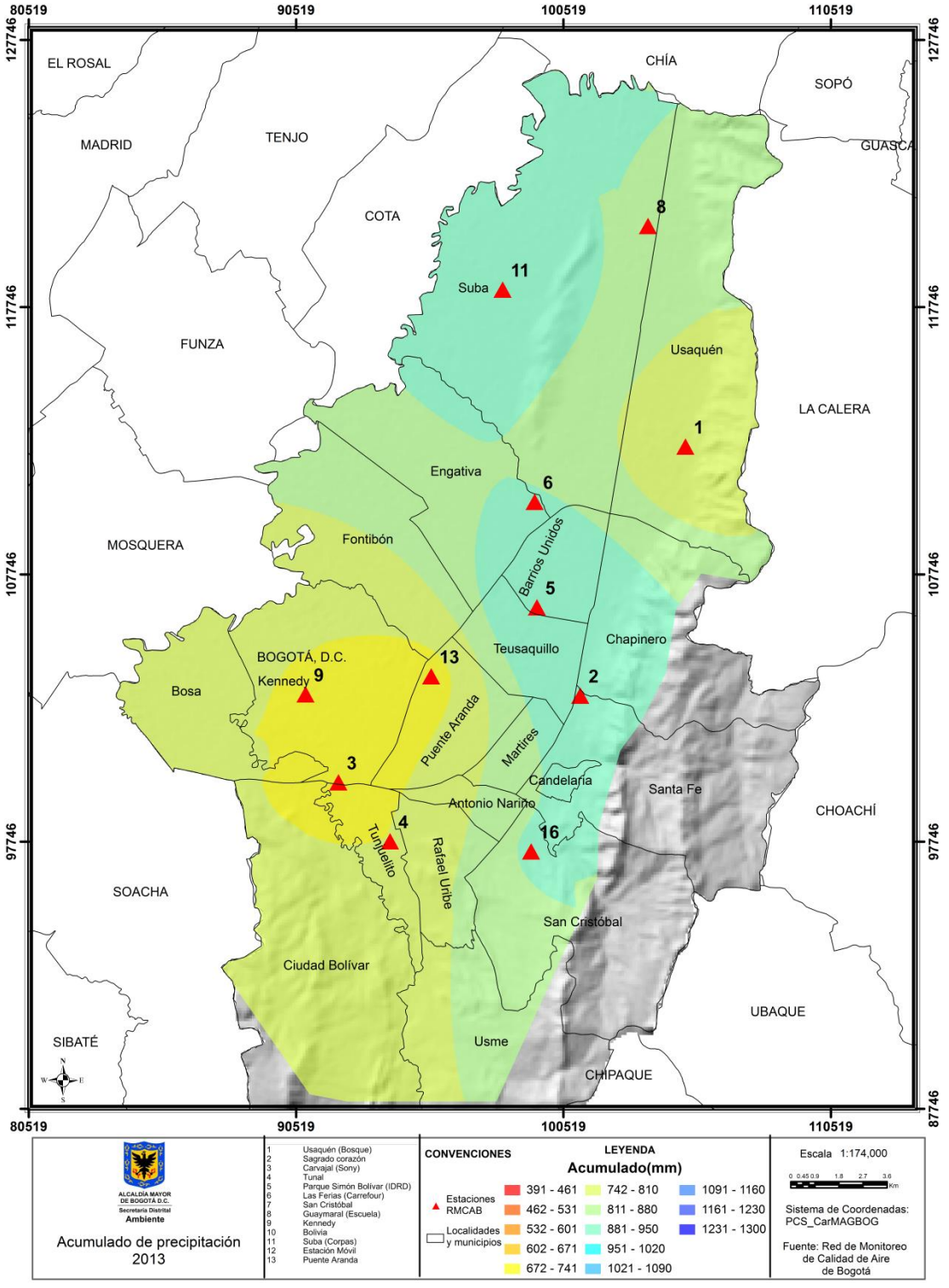


Figura 4-6. Mapa interpolado de acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013.

En la Figura 4-7 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB del año 2013 con respecto al periodo historico 1998-2012 o anomalía de precipitación (notése que cada estación tiene una historia distinta, según la Tabla 4-5 dada la fecha de inicio de operación). Se observa una importante diferencia entre lo sucedido en Suba, donde la anomalía resulta significativa a favor de 2013 alcanzando los 165 mm seguido de la estacion de sagrado corazón, mientras que en Usaquén se presentó un deficit que superó los 247 mm. La Tabla 4-6, especifica los valores encontrados, los cuales fueron calculados con valores de la Tabla 4-3.

Tabla 4-6. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012.

Estación	Anomalía
Guaymaral (Escuela)	34.0
Usaquén (Bosque)	-247.5
Suba (Corpas)	165.0
Las Ferias (Carrefour)	61.4
Parque Simón Bolívar (IDRD)	-38.0
Sagrado corazón	148.3
Fontibón	-133.9
Puente Aranda	-4.8
Kennedy	57.1
Carvajal (Sony)	46.2
Tunal	-22.4
San Cristóbal 2009	-112.6

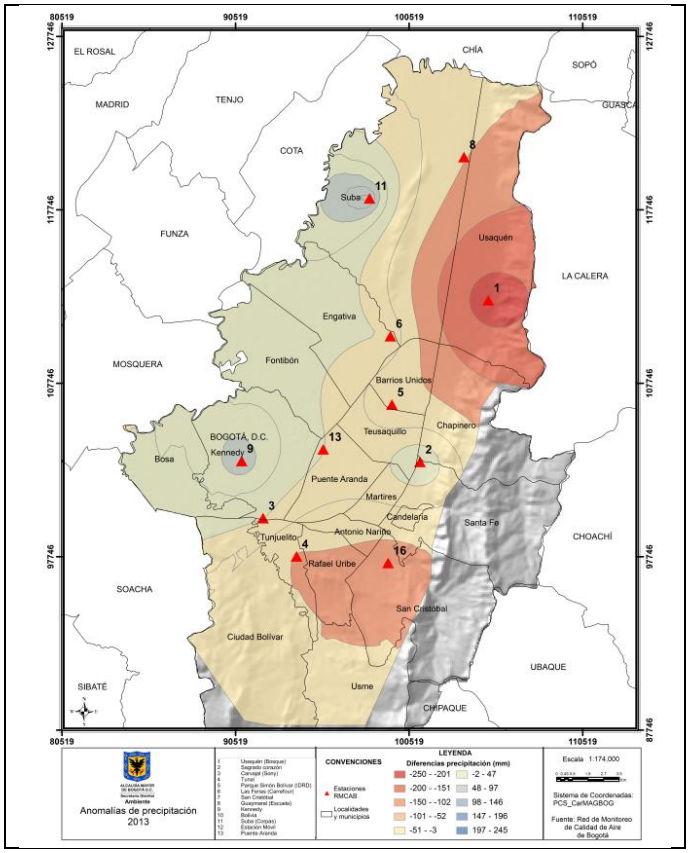


Figura 4-7. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012.

4.2. Vientos

Durante 2013 la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones de la Tabla 4-7 la cuál presenta la representatividad de los datos capturados validos trimestral y anual, en donde se puede ver un buen porcentaje de captura de datos para casi todas las estaciones, con excepción de Bolivia. Por su parte la Tabla 4-8 presenta los valores promedio y los valores de velocidad máxima en el año para las estaciones. Fontibón y Kennedy son las estaciones en que se registraron los mayores valores promedio de velocidad de viento a lo largo del año seguido de Carvajal; en velocidades máximas se observó a Fontibón y Puente Aranda con promedios anuales de 8.1 y 6.6 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 y 1.1 m/s con valores máximos de 4.0 y 4.1 m/s.

Tabla 4-7. Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral y anual

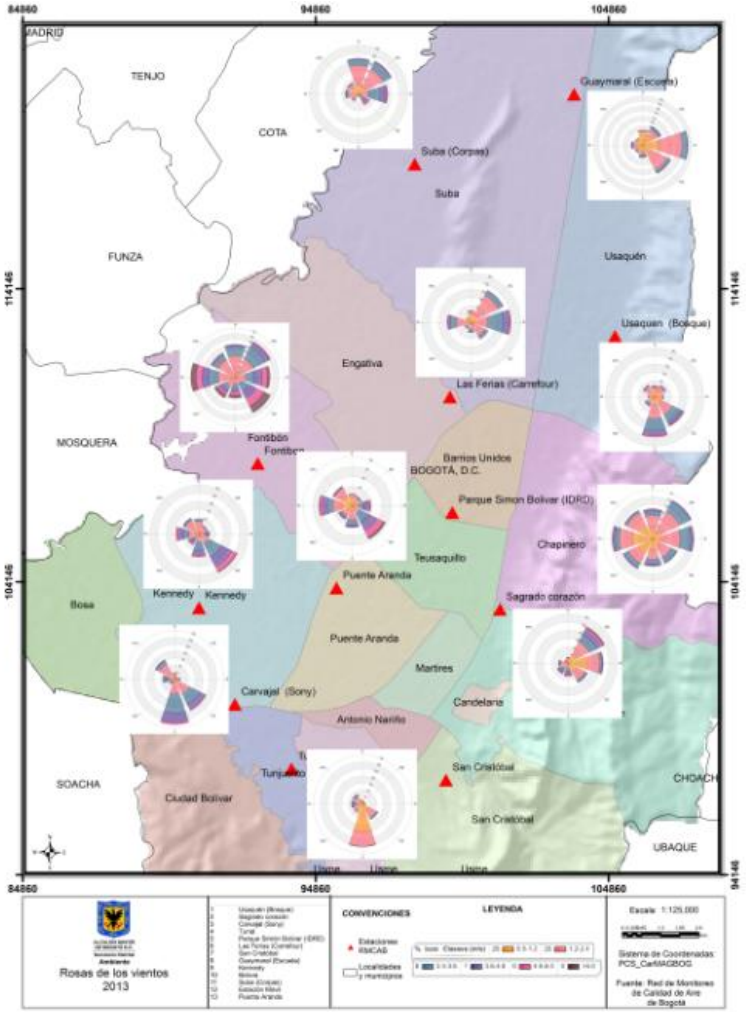
ESTACIÓN	Velocidad del viento (%)					Dirección del viento (%)				
	EFM	AMJ	JAS	OND	2013	EFM	AMJ	JAS	OND	2013
Guaymaral (Escuela)	96	99	93	99	97	96	99	93	100	97
Usaquén (Bosque)	96	75	61	100	83	95	77	85	96	88
Suba (Corpas)	99	95	85	97	94	99	95	85	97	94
Las Ferias (Carrefour)	81	96	98	94	92	81	96	98	94	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	100	99	98	99	99	100	97	98	98
Sagrado Corazón (MAVDT)	96	100	100	97	98	93	97	98	92	93
Fontibón	73	67	100	85	81	87	98	100	85	93
Puente Aranda	98	98	100	100	99	98	98	100	100	99
Kennedy	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
San Cristóbal	99	100	90	83	83	80	78	90	83	83
Carvajal (Sony)	91	95	100	100	100	99	100	100	100	100
Tunal	80	78	100	96	95	91	95	100	96	95
Bolivia	86	13	98	99	77	86	13	46	100	56

Tabla 4-8.valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

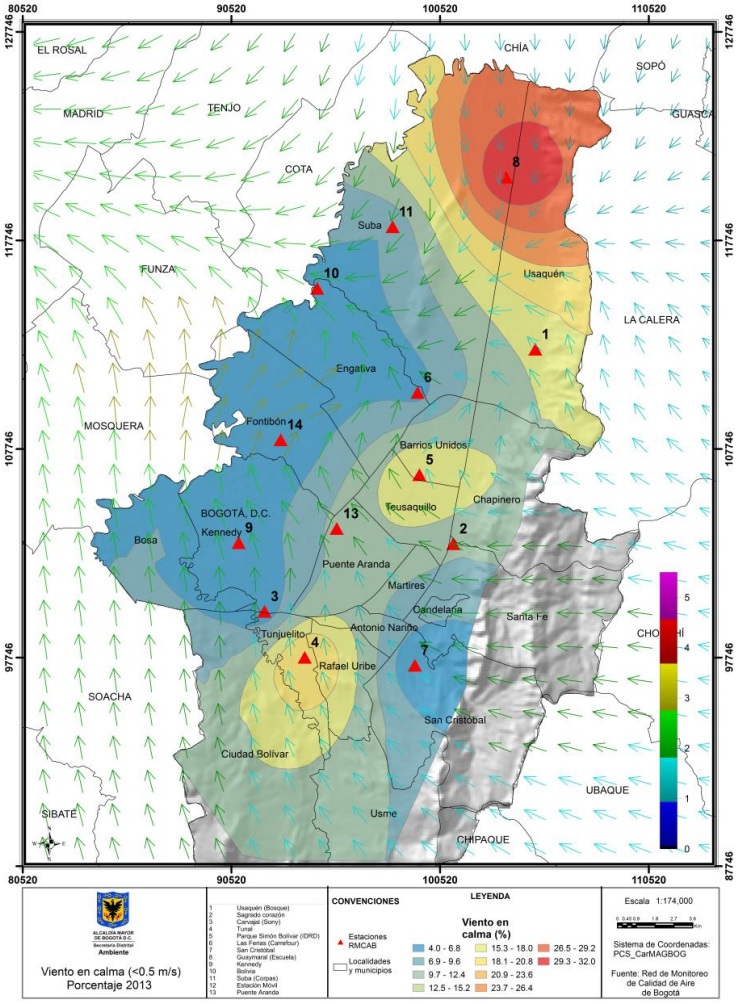
Estación	Promedios de velocidad del viento (m/s)					Valores máximos de velocidad del viento (m/s)				
	EFM	AMJ	JAS	OND	2013	EFM	AMJ	JAS	OND	2013
Guaymaral	1.0	1.0	1.2	0.9	1.0	3.8	3.7	4.8	3.6	4.0
Usaquén	1.6	1.9	2.0	1.3	1.7	5.8	6.5	6.2	5.4	6.0
Suba	1.9	1.9	2.3	1.7	2.0	5.2	5.2	6.4	4.9	5.4
Las ferias	1.8	1.9	2.0	1.8	1.9	5.0	5.1	5.4	5.0	5.2
Simón Bolívar	1.4	1.4	1.6	1.4	1.4	4.7	4.5	4.4	4.7	4.6
sagrado corazón	1.7	1.7	2.0	1.6	1.8	6.1	7.0	6.5	6.2	6.4
Fontibón	2.9	2.9	3.4	2.9	3.0	8.0	7.8	8.6	8.1	8.1
Puente Aranda	2.0	2.0	2.5	1.9	2.1	6.6	6.1	7.1	6.5	6.6
Kennedy	2.4	2.5	2.9	2.3	2.5	6.3	6.1	7.2	6.0	6.4
Carvajal	2.3	2.3	2.7	2.1	2.4	5.1	5.1	5.7	5.2	5.3
Tunal	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	4.4	3.9	3.6	4.3	4.1
San Cristóbal	2.2	2.3	2.3	2.1	2.2	5.6	6.0	6.1	5.3	5.8
Bolivia	2.2		2.6	2.1	2.3	2.2	2.2	2.6	2.1	2.3

La Figura 4-8(a) presenta la rosa de vientos para cada estación de la RMCAB durante el año 2013, las cuales han sido construidas a partir de los datos diezminutales de velocidad y dirección del viento en todo el año. Varias estaciones, ubicadas en sectores del Sur y Occidente de la ciudad registraron vientos predominantes del Sur y Sureste como es el caso de Puente Aranda, Kennedy, Carvajal, y Tunal; Fontibón mostró una predominancia del Oeste aunque con amplia variabilidad de direcciones. Al Norte y Oriente del área capitalina se observaron vientos del Norte y Este como lo fue en Suba y Guaymaral a diferencia de Usaquén en donde predominaron del Sur. En Parque Simón

Bolívar se registró una importante variabilidad de la dirección de los vientos con predominancia del Este - noreste, mientras que en Sagrado Corazón predominaron del Noreste. Asimismo, la Figura 4-8(b) presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que hacia el occidente, los vientos tienden a estar en movimiento, a diferencia del Norte en donde más del 30% de los datos del año se presentaron en calma, lo cual indica una menor dispersión de los contaminantes.



a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB



b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos año 2013

Figura 4-8. Distribución de los vientos en Bogotá.

Se presenta el comportamiento de los vientos por estación en la Figura 4-9, en donde se puede ver el comportamiento de cada mes en relación a las horas del día. En términos generales se puede ver que las velocidades más altas de viento, ocurren entre los meses 6 a 10 (junio a octubre) y en la franja horaria de la tarde. Se puede ver que la estación Fontibón presenta los mayores promedios, condición que es característica según se observa en los diagramas de Puente Aranda, Kennedy y Carvajal; mientras que en estaciones como Guaymaral y Tunal los vientos tienen características débiles.

Como complemento, se presenta una interpolación de la velocidad de los vientos superficiales para 2013, además de la dirección predominante de los vientos (mostrado como vectores con color que indica su velocidad) en la Figura 4-10. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento al norte y nororiente de la ciudad y sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Las velocidades de viento promedio más altas se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón, alcanzando velocidades de hasta 3.2 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 m/s en el Nororiente hasta los 3.2 m/s en el Occidente de la ciudad.

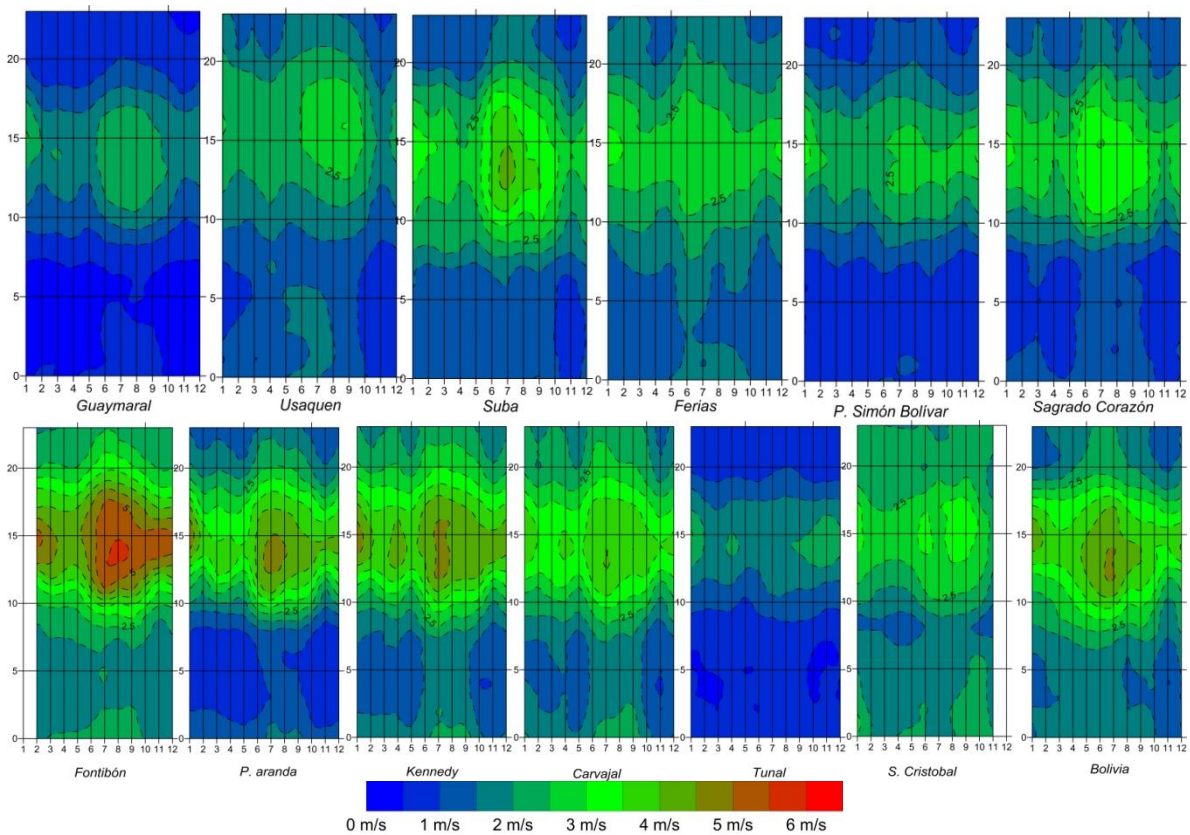


Figura 4-9. Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

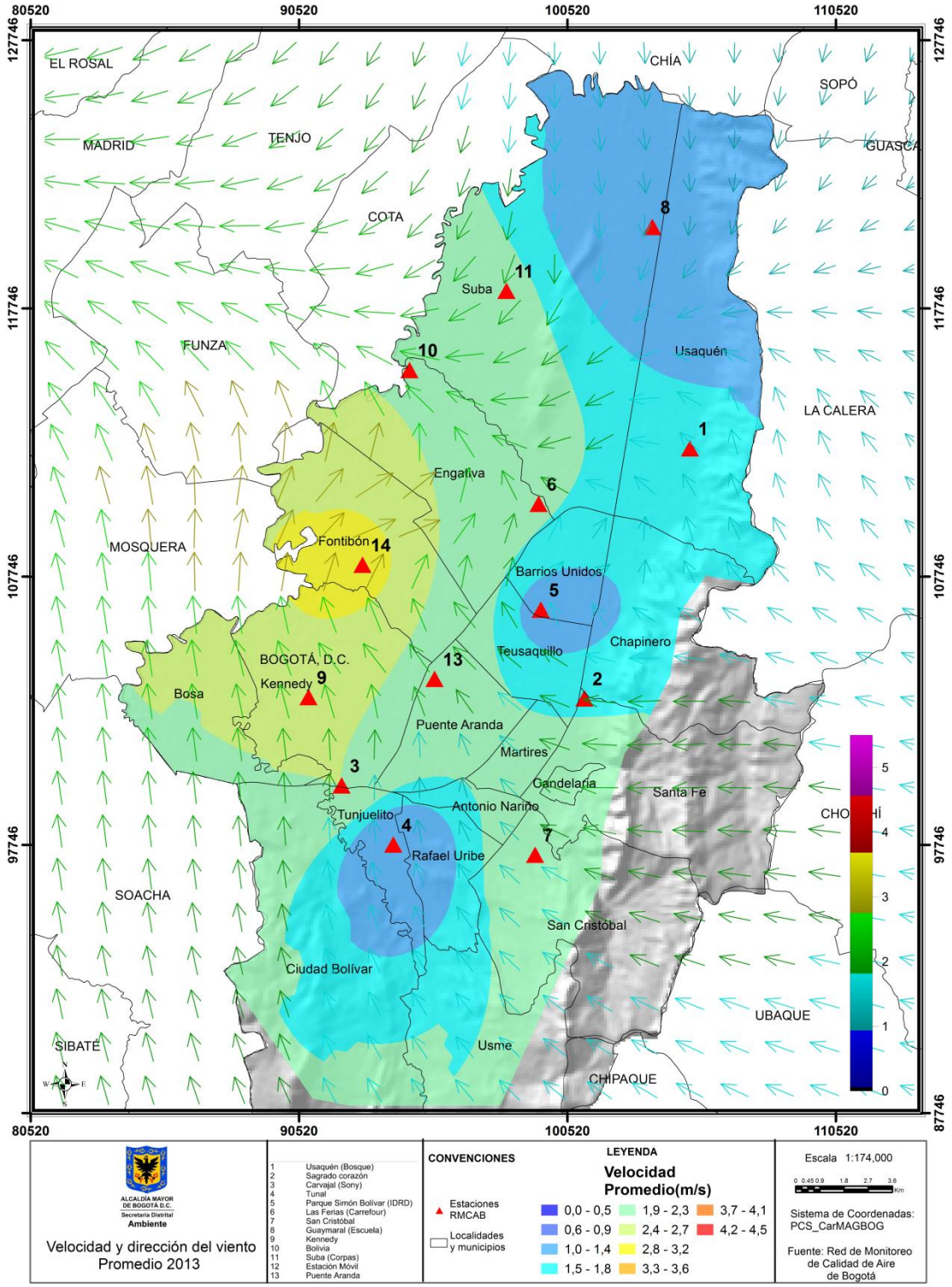


Figura 4-10. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2013.

4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas para la variable temperatura se presentan en la Tabla 4-9, donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos; en donde la única estación no considerada fue Bolivia, por ausencia de datos en varios meses. El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el año se caracterizó por valores moderadamente por encima de los promedios (periodo 1998-2012) durante el primer semestre con diferencias de hasta los 0.8 °C, particularmente en los meses de mayo y abril y más cerca a los valores normales durante el segundo semestre. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 4-11 la cual muestra el promedio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura en el trimestre.

Tabla 4-9. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante 2013

Estación	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	80	98	99	100	100	97
Usaquén (Bosque)	95	94	100	91	99	84	100	72	92	100	100	100	94
Suba (Corpas)	99	100	99	85	99	100	95	81	79	99	93	100	94
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Puente Aranda	99	100	94	94	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Carvajal (Sony)	99	100	99	100	100	99	99	100	100	100	100	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	100	100	100	87	95
San Cristóbal	88	98	55	43	91	99	100	89	82	96	93	59	83
Bolivia	100	70	87	38	0	0	95	100	100	100	100	14	62

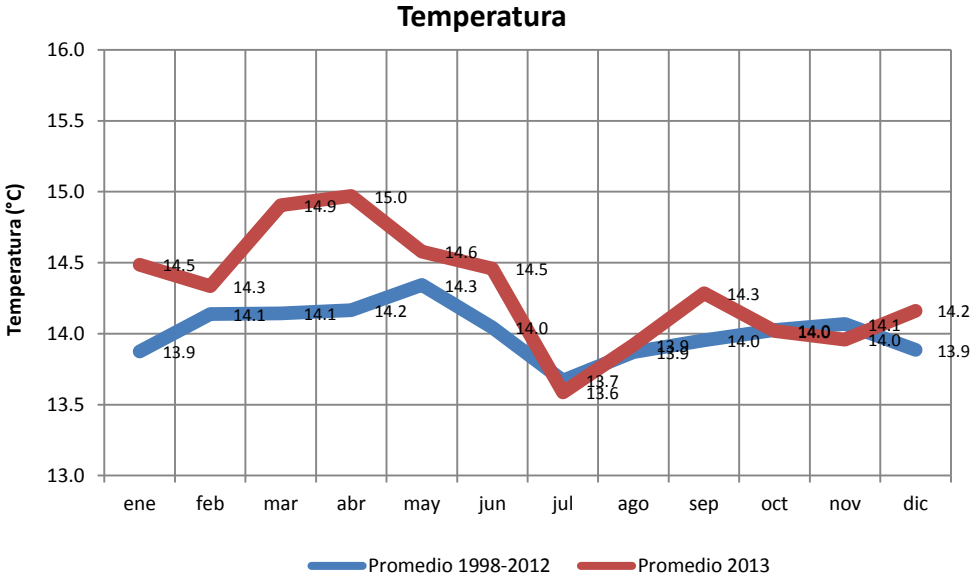


Figura 4-11. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 y su comparación con 2013.

La Figura 4-12, muestra la evolución de la temperatura media anual (promedio construido a partir de promedios diarios) en el periodo 1998-2013. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2010 alcanzando los 14.8 °C mientras que el de menor temperatura fue en 2000, con 13.3°C.

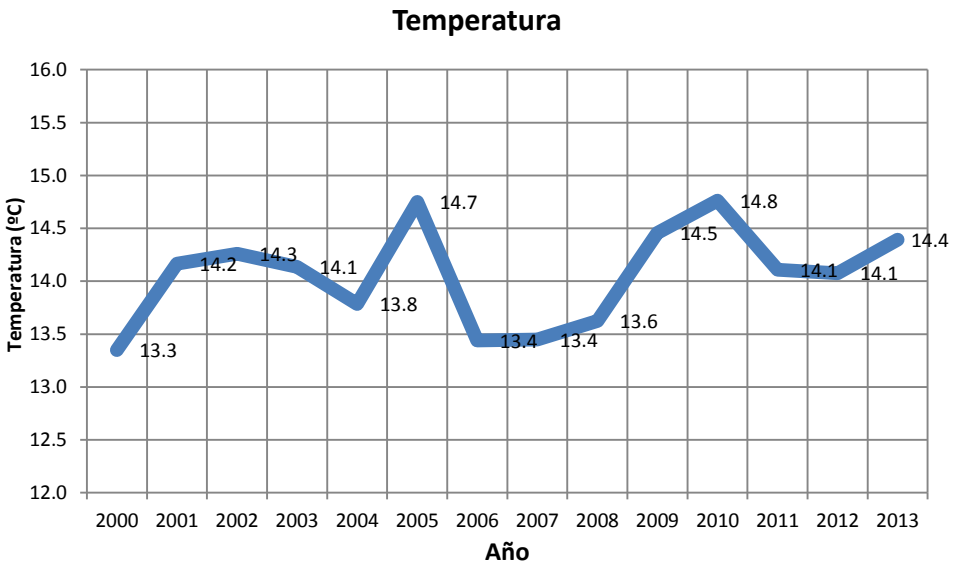


Figura 4-12. Gráfica de la temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013.

La Tabla 4-10 muestra esta evolución distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-10. Promedios de temperatura anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013 a partir de datos diarios.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral 2m	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	13.6	13.5	13.5	13.8	14.4	14.9	14.3	14.3	14.6
Usaquén								12.6	12.0	14.6	15.1	14.4	14.4	14.7
Suba	10.6	12.8	13.6		12.7	15.3	12.8	13.2	13.7	12.9	13.4	14.0	14.0	14.3
Las ferias	15.6	15.9	16.0	16.2	15.3	15.7		14.2	13.4	14.0	14.2	13.8	13.9	14.2
Parque Simón Bolívar					15.8	15.8		14.4	14.0	14.7	14.9	14.5	14.6	14.8
Fontibón	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.1	14.0	13.9	14.2	14.8	14.6	13.7	13.8	14.1
Puente Aranda	14.0	14.5	14.6	14.7	14.5	14.7	14.6	14.6	14.0	14.6	14.6	14.0	13.8	13.7
Kennedy									13.7	14.8	14.8	14.4	14.5	14.8
Carvajal						12.8	12.4	11.3	14.1	15.4	15.5	15.0	15.2	15.5
Tunal							12.3		14.2	14.6	17.5	13.2	13.4	13.1
San Cristóbal										13.5	13.2	13.8	13.0	13.0

Adicionalmente la Tabla 4-11 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas[15] en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. La estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11,3°C seguido de Suba con 11.2°C mientras que la estación de San Cristóbal se consolida como

[15] Se trata de la variable temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria, las cuales son reportadas hacia el medio día y en horas de la madrugada, respectivamente.

la de menor amplitud con 6,8 °C; pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. La historia de este tipo de análisis muestra que la amplitud térmica en Bogotá no supera los 12°C.

Tabla 4-11. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica promedio registradas por las estaciones de la RMCAB en el año 2013.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Guaymaral 2m	20.6	9.5	11.3
Usaquén	18.9	10.9	8.1
Suba	20.5	9.5	11.2
Las ferias	18.3	10.1	8.3
Parque Simón Bolívar	20.8	10.1	10.9
Fontibón	17.4	10.2	7.3
Puente Aranda	17.6	10.6	7.0
Kennedy	18.8	11.7	7.1
Carvajal	20.3	11.8	8.6
Tunal	18.8	8.5	10.4
San Cristóbal	15.5	8.6	6.8

El mapa de la Figura 4-13 muestra la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el año 2013 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados, principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al Suroriente de la capital. Los mayores promedios se encuentran en gran parte del Occidente particularmente en la localidad de Kennedy mientras que al Norte de la ciudad se presentaron valores relativamente homogéneos.
De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 4-14 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente. Las temperaturas máximas presentaron diferencias de hasta 5°C, observándose en la localidad de San Cristóbal los menores valores y al norte los mayores, los cuales alcanzaron hasta 21°C; por su parte las temperaturas mínimas, presentan el promedio más alto cercano a 11.5°C en el Occidente del área capitalina y en zonas aledañas a la estación de Tunal valores de hasta 8.5°C.

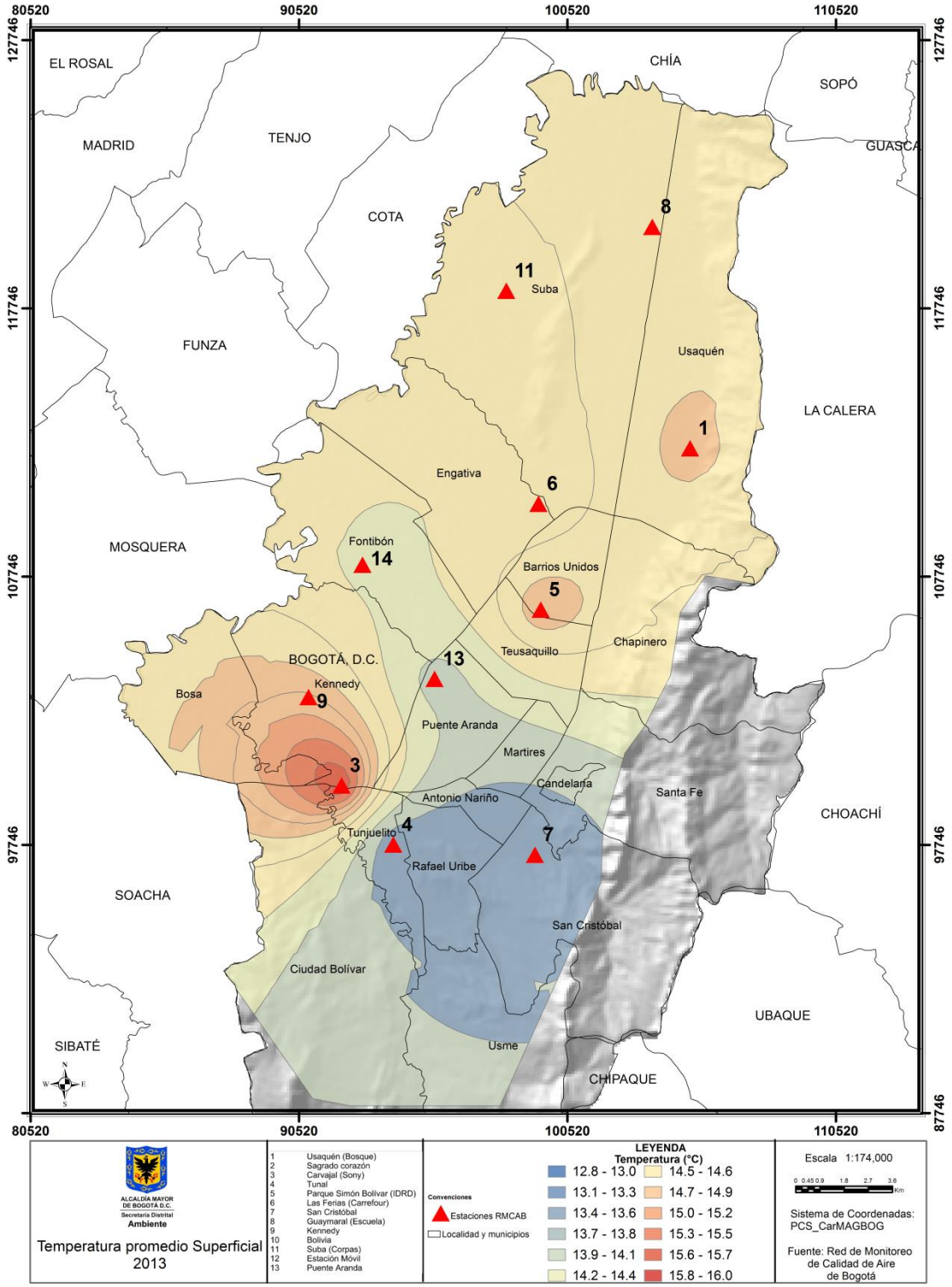
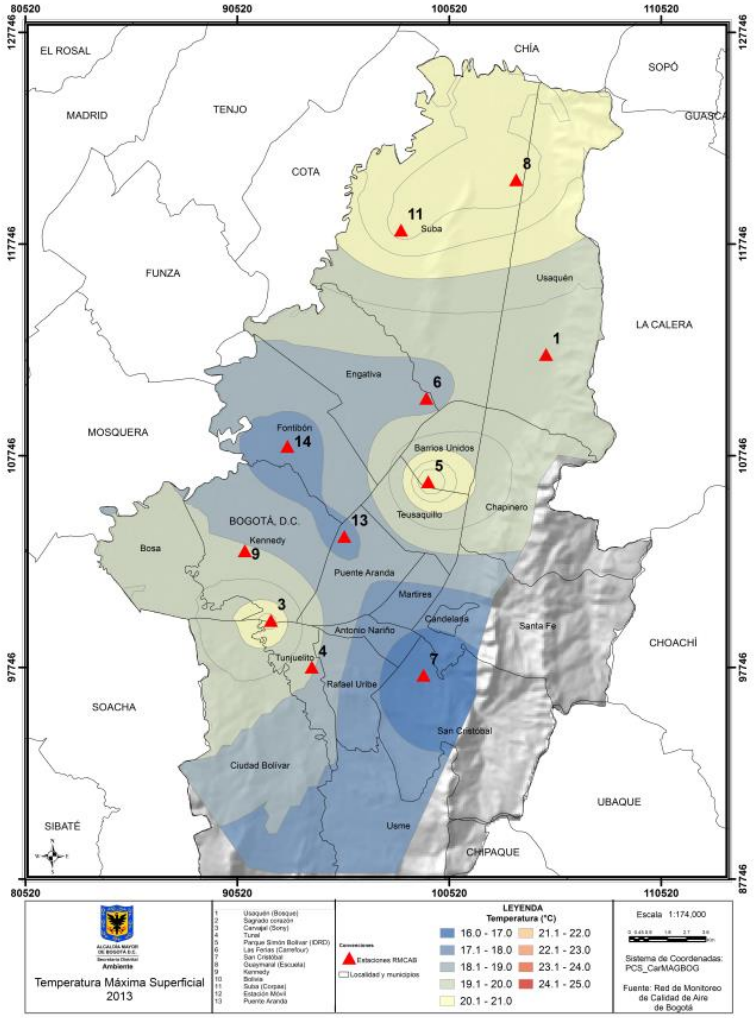
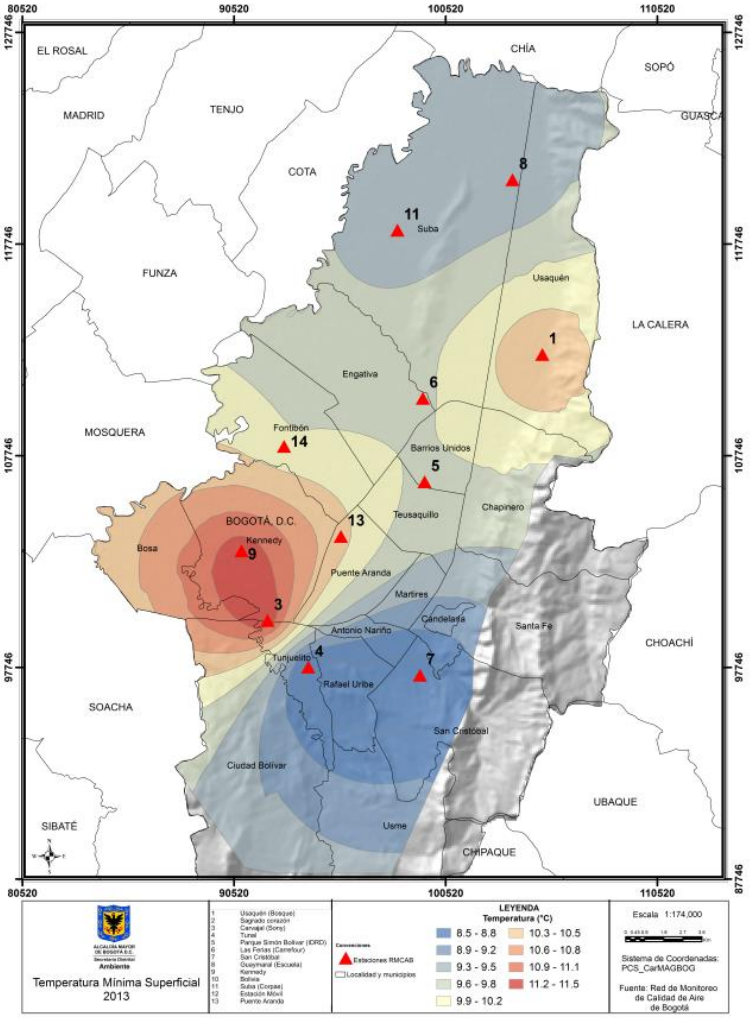


Figura 4-13. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2013.



Promedio Temperatura máxima 2013



Promedio Temperatura mínima 2013

Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 4-15, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2012 de radiación mensual promedio para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable y su comparación con el promedio de radiación global durante el año. Se puede observar que la radiación durante a lo largo de 2013 fue ligeramente mayor en su acumulado respecto al periodo histórico de referencia, con un tope en el mes de enero que alcanzó 4950 W/m2 y una diferencia con el periodo de referencia de 344 W/m2. No obstante los meses de febrero, marzo y diciembre presentaron una diferencia negativa en sus acumulados la más significativa de 739 W/m2 en el mes de febrero. La Tabla 4-12 presenta la representatividad de los datos; para este análisis no se ha tenido en cuenta la estación de San Cristóbal por falta de información.

Tabla 4-12. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre.

Estación	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY.	JUNE	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	100	100	99	100	99	100	83	99	100	100	100	97
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	99	100	100	100	100	98	100	94	99	100	99
Kennedy	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Tunal	100	100	87	98	95	94	100	100	100	89	100	88	96
San Cristóbal	94	100	78	68	46	0	100	60	0	32	93	59	73

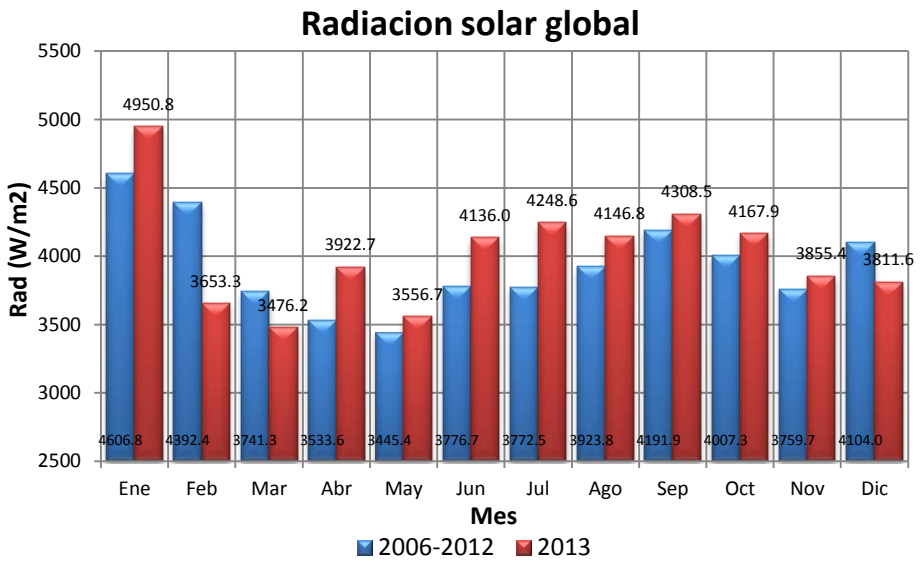


Figura 4-15. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2012 y su comparación con 2013.

La Figura 4-16 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora, entre las 5 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Se observa que las estaciones con mayor acumulado fueron Guaymaral y Tunal; en Tunal se presentó los mayores valores hacia la 1 pm, durante el mes de enero, julio y agosto, mientras que en Guaymaral los más significativos se presentaron en enero y en el último

trimestre; por su parte Kennedy presenta el menor registro con un acumulado no mayor a los 600 W/m^2 al medio día; en la estación de Parque Simón Bolívar se presentó un acumulado similar desde las 11 am hasta pasadas las 2 de la tarde.

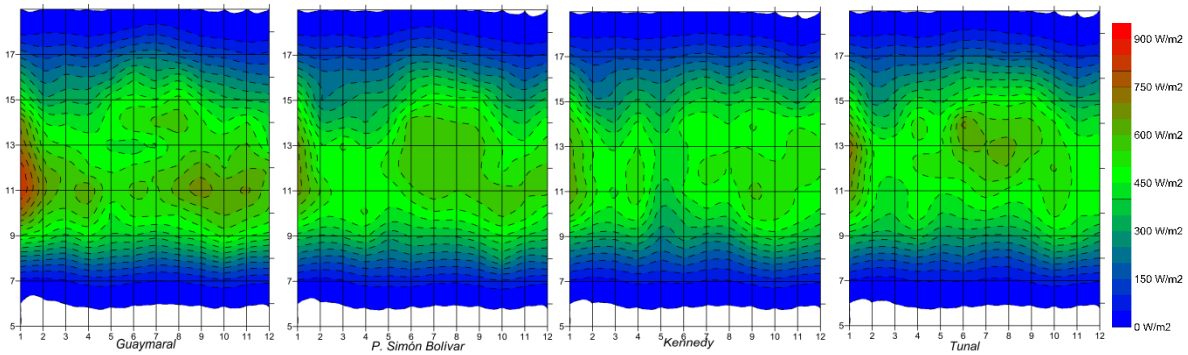


Figura 4-16. Acumulado de radiación de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

La Figura 4-17 presenta el resumen para el trimestre, en donde se confirma que la estación con mayor acumulado de radiación se presentó en Guaymaral seguido de la estación Tunal.

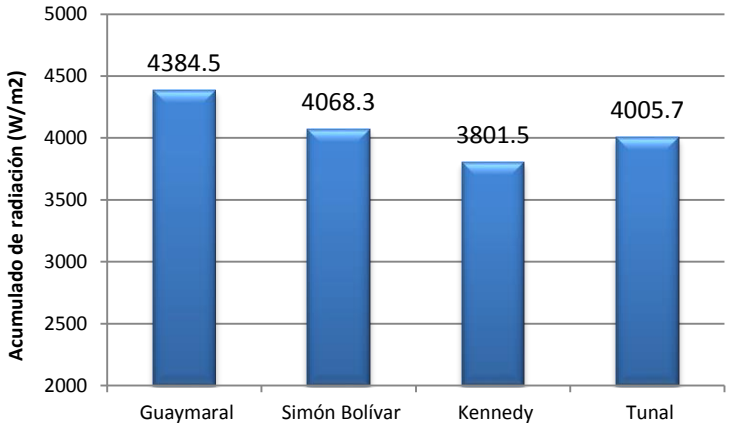


Figura 4-17. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, 2013.

4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 4-13. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al Occidente de la Ciudad).

Tabla 4-13. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.

Estaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	81	98	99	100	100	97
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100

La Figura 4-18 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general en lo corrido del año la presión estuvo por encima durante el primer trimestre y por debajo del promedio histórico en el segundo trimestre. Como se observa en la Figura 4-19, los valores trimestrales en los últimos años han sido bastante similares.

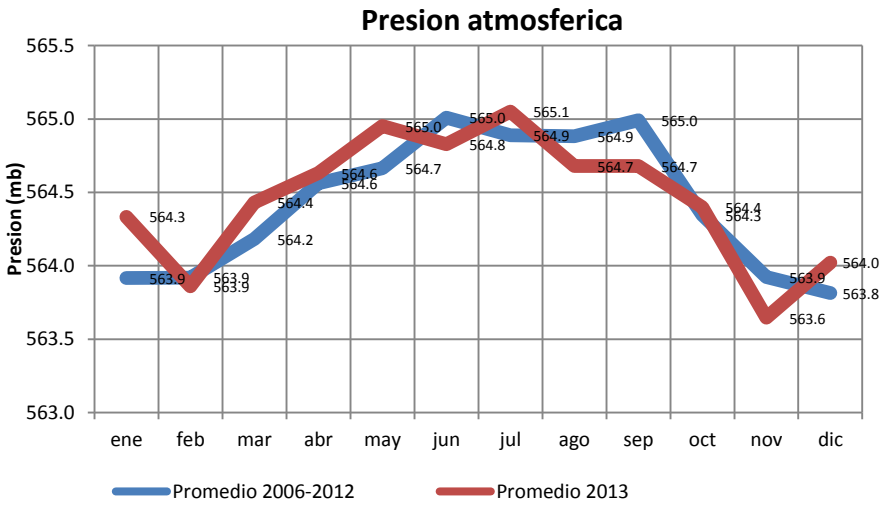


Figura 4-18. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

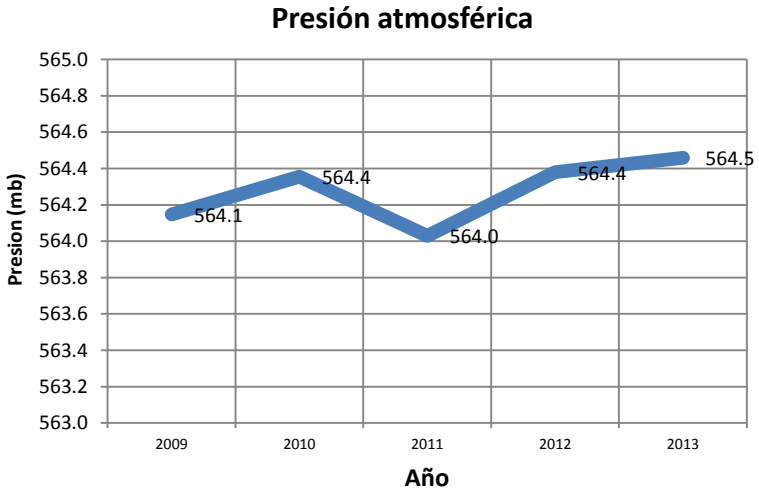


Figura 4-19. Comparación de la presión en los últimos años.

4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describió en la Tabla 4-14 la cuál presenta la representatividad de los datos tomados. La Figura 4-20 muestra que la humedad relativa en el año estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2012, en especial el mes de julio en donde la diferencia alcanzó 6.8%.

Tabla 4-14. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY.	JUN.	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	81	98	99	100	100	97
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	100	100	100	77	94
San Cristóbal	88	99	55	34	0	0	100	60	0	32	93	59	68

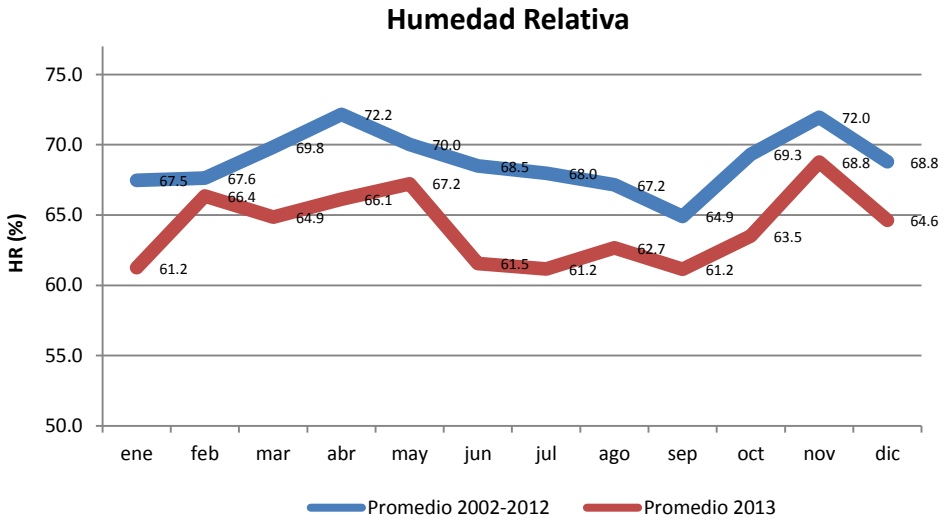


Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses de 2013.

5. Meteorología y Calidad del Aire

5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM_{10} y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el año. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Las Figura 5-1,Figura 5-2, Figura 5-3 y Figura 5-4 representan el promedio de la concentración de PM10 con los vectores de viento (mapas del costado izquierdo) así como la interpolación el coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el PM10 nuevamente con los vectores de viento (mapas de la derecha). Examinando los resultados de los mapas, se encuentra que en horas de la madrugada (Figura 5-1), cuando los vientos predominan del sureste y Noreste y los cuales confluyen al Occidente de la ciudad con valores no mayores a los 2 m/s, se presentan concentraciones altas de PM_{10}, particularmente en la localidad de Kennedy en donde se presentan vientos del suroeste. Al revisar la correlación en esta área, se presenta de modo inverso, a saber; a mayor velocidad del viento menor concentración de material particulado, aunque en la estación de Tunal, en donde se apreciaron valores altos de concentración se observaron correlaciones de menor valor; de esta forma se concluye que la velocidad del viento, que no es alta, contribuye a dispersar el material particulado en sectores del Norte, Centro y Occidente de la ciudad y es indiferente en zonas del Sur y Suroriente en horas de la madrugada. Durante las horas de la mañana, considerando el inicio de la actividad antropogénica, se presenta un aumento considerable en la concentración de material particulado que a su vez es fortalecido por las condiciones estables de la atmósfera producto del descenso de temperatura de la madrugada. La Figura 5-2 muestra que el Occidente de la ciudad presenta valores significativos en PM10, con vientos que, según el coeficiente de correlación de la zona y con velocidades que están entre los 2 y 3 m/s provenientes del sureste, son indiferentes o favorecen la dispersión del contaminante. En el resto de la ciudad se mantiene esta tendencia, a mayor velocidad del viento, el PM10 tiende a disminuir; a esta altura del día los vientos ya han alcanzado valores de hasta 3m/s con dirección del Suroriente al Sur de la Ciudad y del Norte - Nororiente al Norte del área. En el caso de la tarde, (Figura 5-3) se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y aumento de la velocidad del viento. Así mismo, se observa que fue en este grupo horario en el que se presentaron los mayores acumulados de lluvia, lo que ratifica la inestabilidad en el área además del probable lavado atmosférico. No obstante, el viento participó en algunos casos con tendencia negativa según los registros de las estaciones como muestra el mapa de correlaciones, en donde el PM10 aumentó cuando el viento elevaba su velocidad, manifestándose especialmente en la zona Suroccidental de la capital, mientras que en la zona Nororiental el viento favoreció a la disminución de la concentración del material

particulado. Los vientos alcanzaron velocidades de hasta 5m/s los cuales fueron predominantes del Este – Sureste con tendencia a confluir en los municipios de la sabana Occidente de Bogotá. Por la noche según la Figura 5-4 las condiciones fueron similares a las de la madrugada en términos de la concentración del PM10 y de la correlación con la velocidad del viento aunque en este grupo horario aún se aprecian vientos con velocidades cercanas a los 3 m/s y de dirección predominante del Este –Sureste al Sur de la Ciudad y del Noreste al Norte.

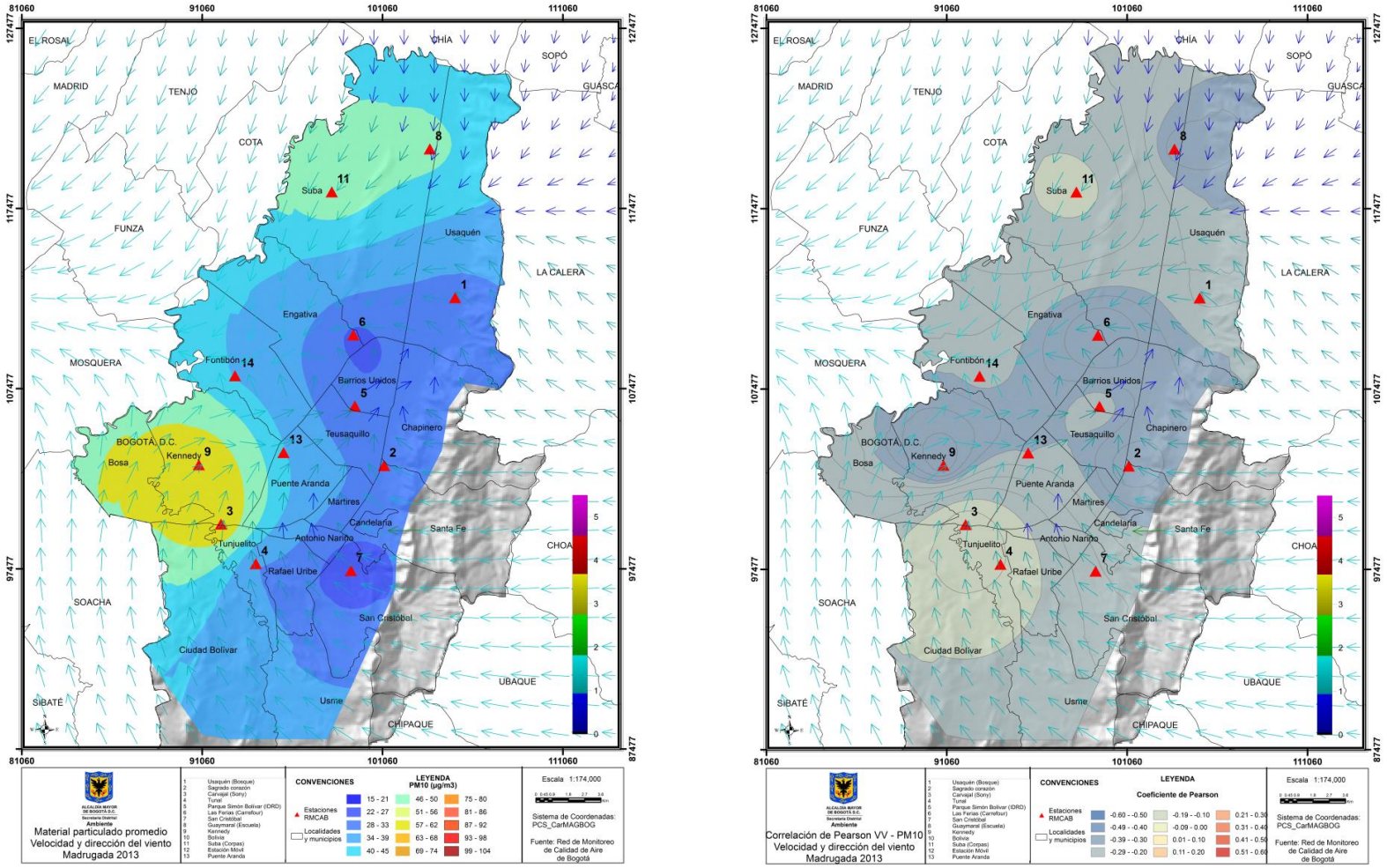


Figura 5-1 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada de 2013.

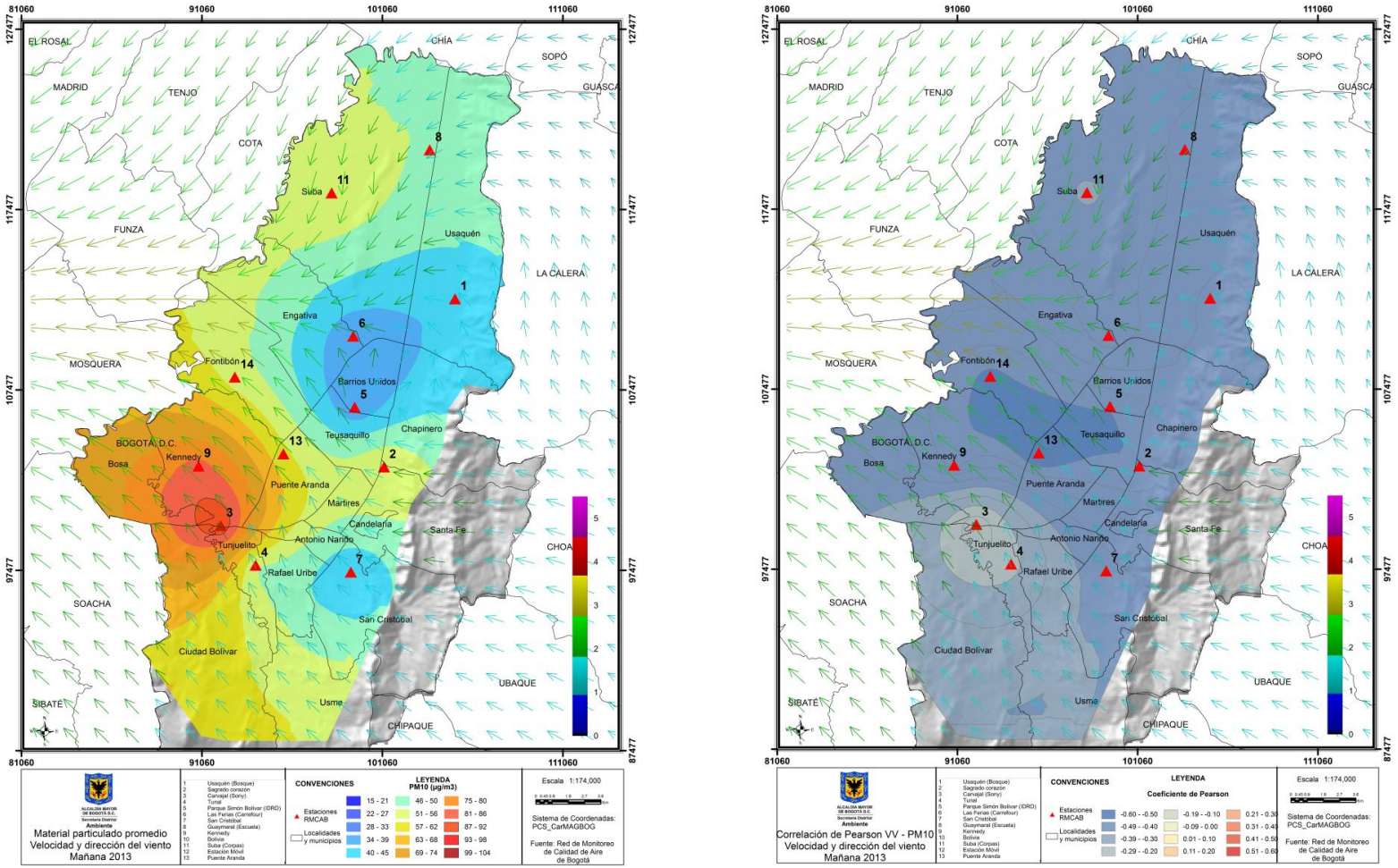


Figura 5-2 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana de 2013.

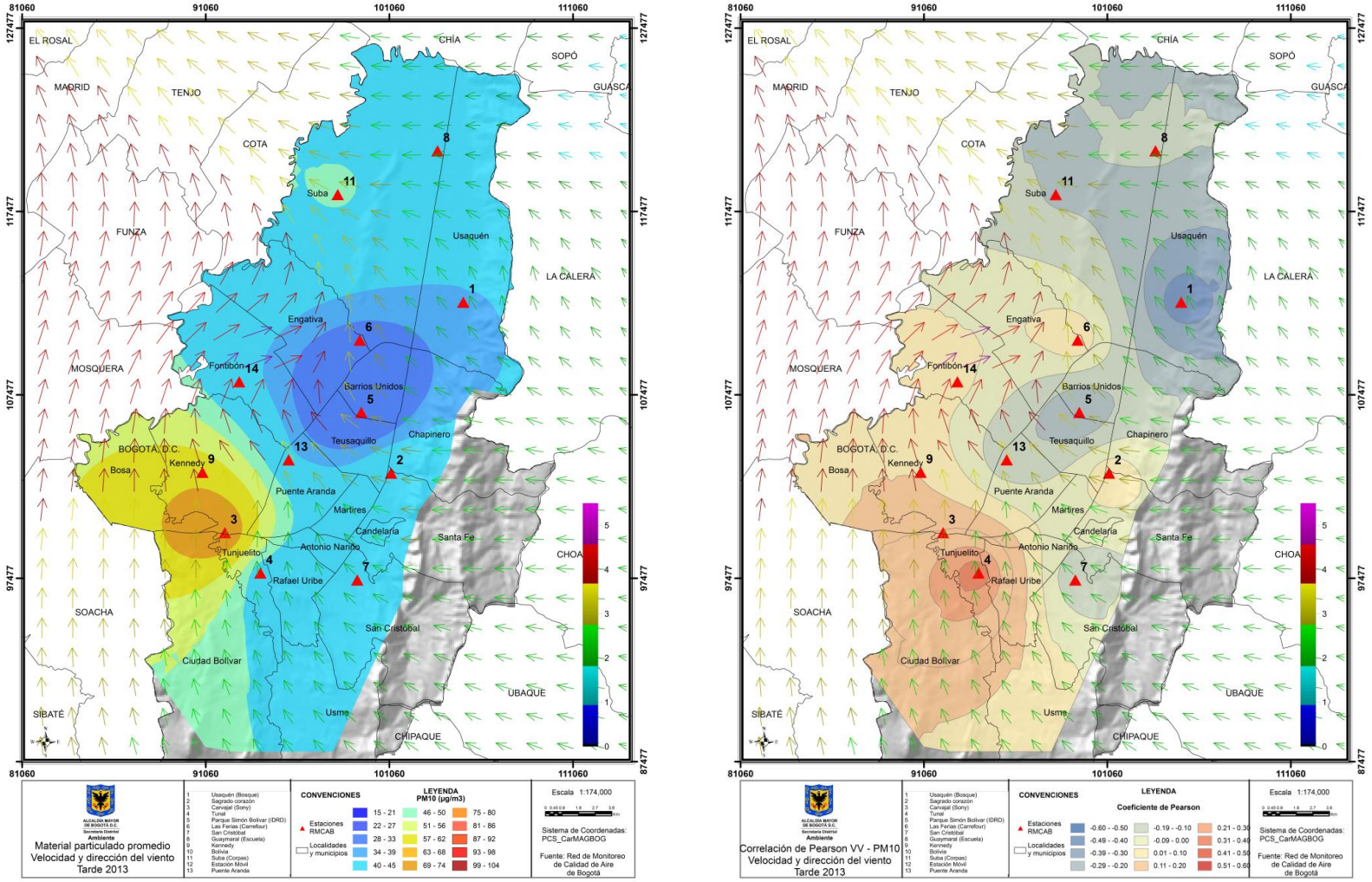


Figura 5-3 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde de 2013.

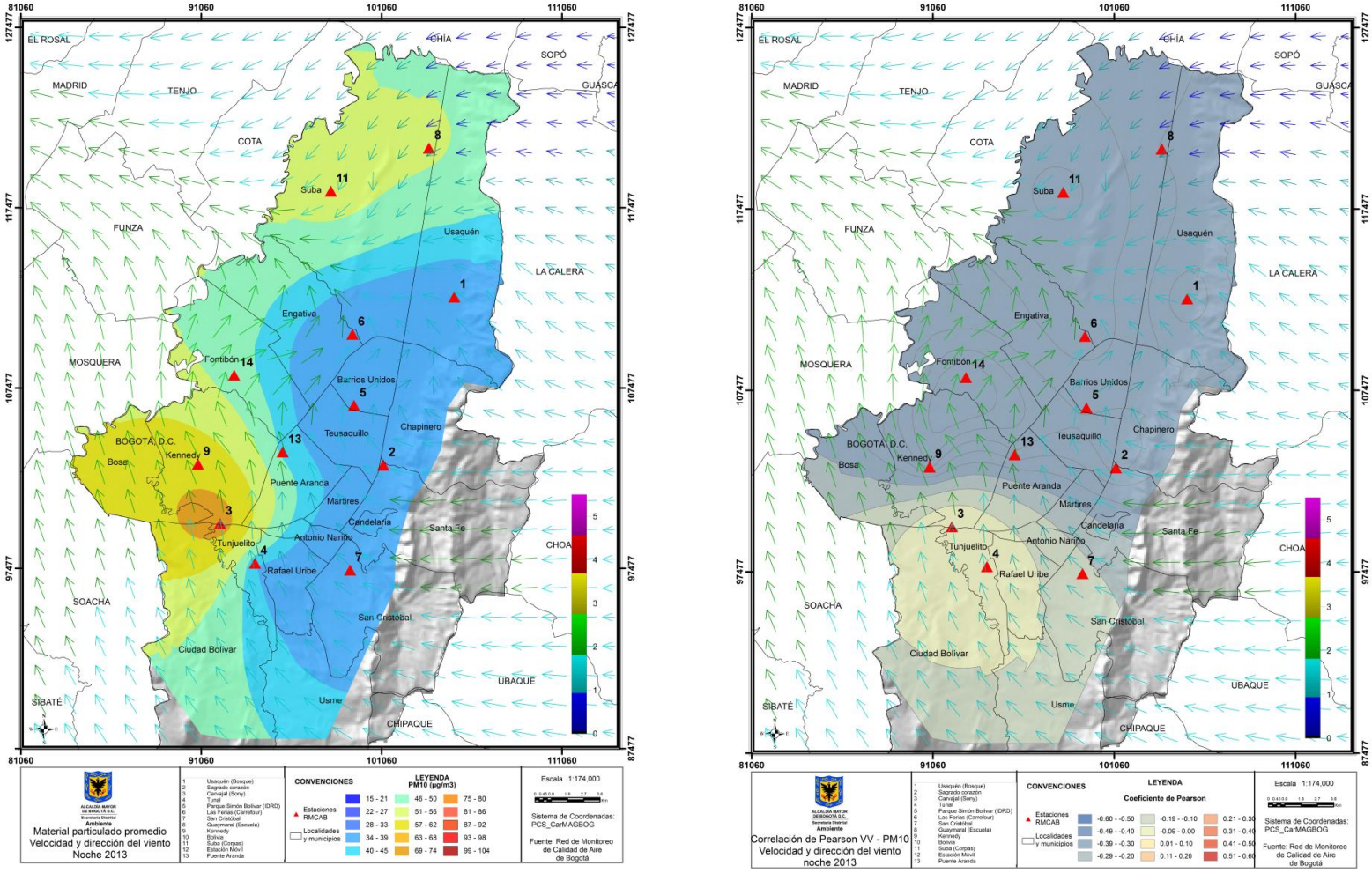


Figura 5-4 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche de 2013.

5.2. Episodio de máxima concentración

El 17 de enero de 2013 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 5-5 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional ElDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 0.82, CAPE = 39.17) las condiciones eran estables con baja probabilidad de lluvia en horas de la mañana, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo en las primeras capas lo que produjo precipitaciones de carácter ligero. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas medias, la más significativa y con un alto gradiente de temperatura en los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de PM_{10} durante varias horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM_{10} en horas de las tarde, como se observa en los mapas de la Figura 5-7. La concentración fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, sector cuyos vientos fueron predominantes del Oeste, tendencia que se mantuvo a lo largo del día como se observa en el mapa de la Figura 5-6. En la madrugada, la concentración no fue significativa y en horas de la noche se observaron valores que muestran que no hubo una dispersión regular de manera que el promedio del día se acercó a los 121 µg/m3 en esta zona.

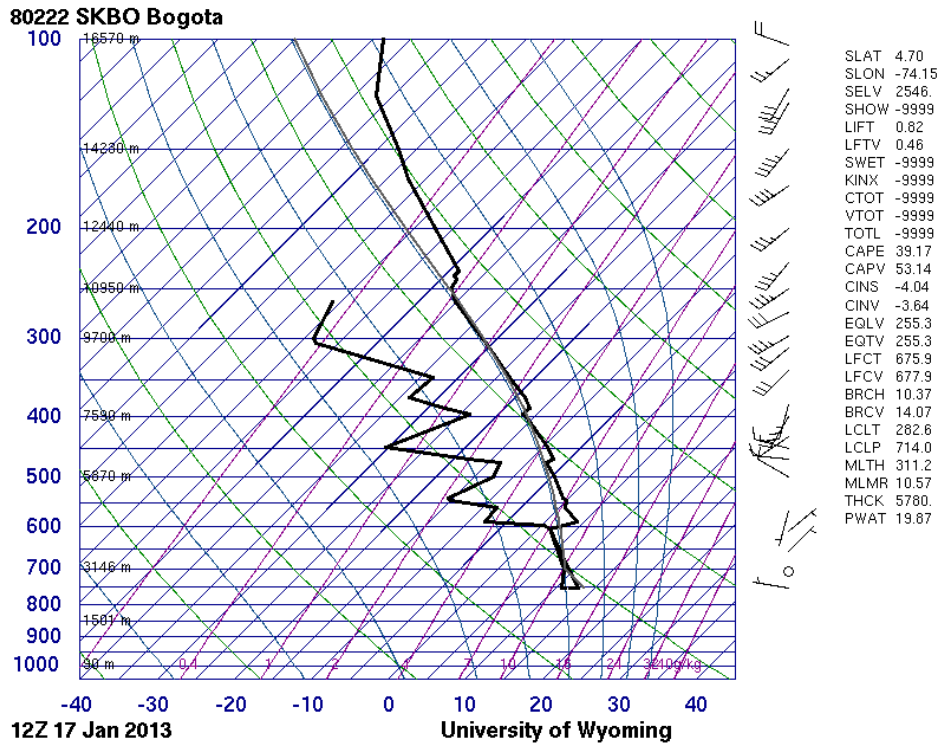


Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 17 de enero de 2013, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

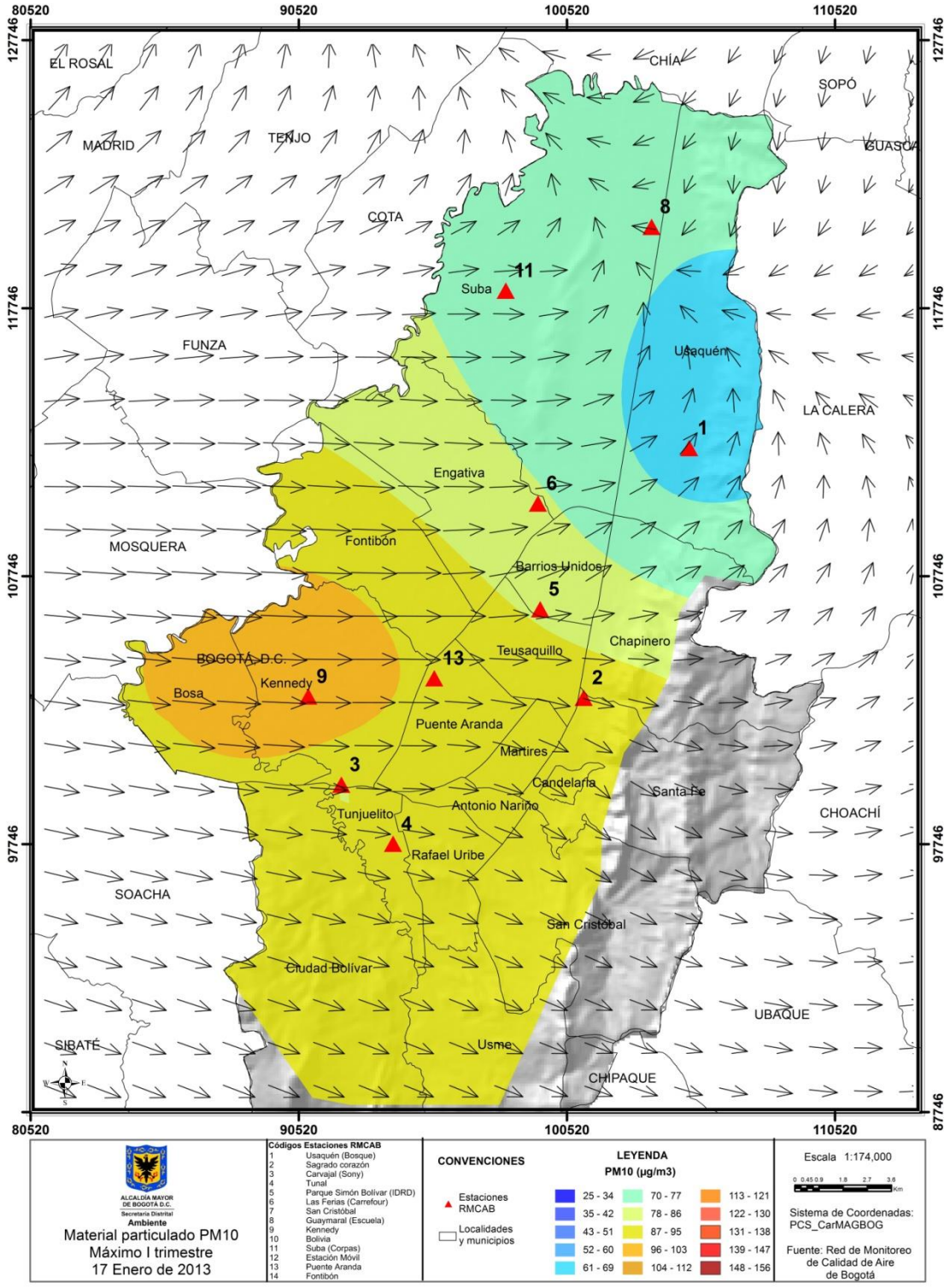


Figura 5-6. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 017 de enero de 2013. Fuente RMCAB.

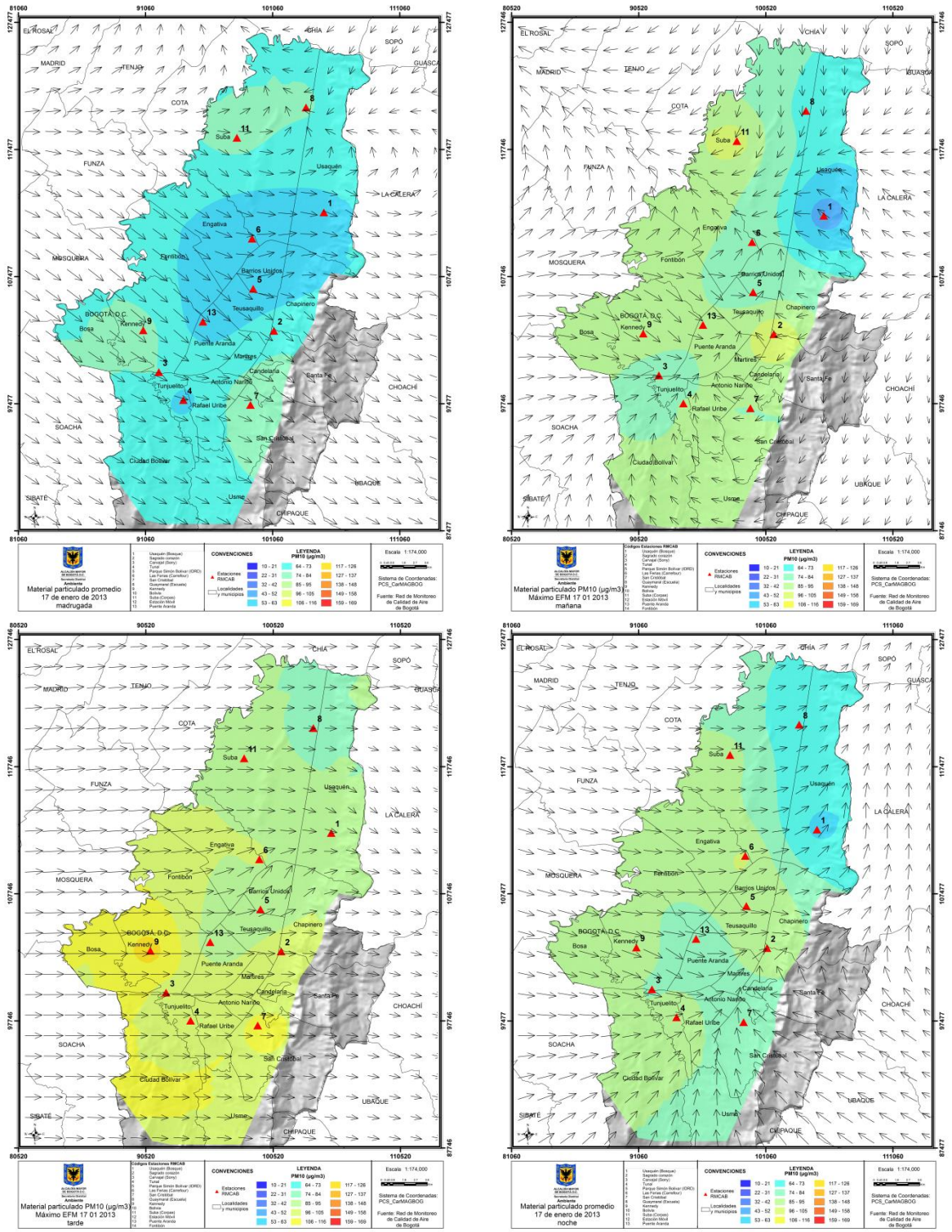


Figura 5-7. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

Bibliografía

Baker, K., & Scheff, P. (2007). Photochemical model performance for PM2. 5 sulfate, nitrate, ammonium, and precursor species SO2, HNO3, and NH3 at background monitor locations in the central and eastern United States.*Atmospheric Environment*, *41*(29), 6185-6195.

Carslaw, D.C. and K. Ropkins, (2012). *openair — an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software*. Volume 27-28, 52-61.

Carslaw, D.C. (2013). *The openair manual — open-source tools for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*, King's College London.

Climatic Prediction Center. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. [En línea] http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/.

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. sitio web de IDEAM. [En línea] 2013. www.ideam.gov.co.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010). PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE: Manual de operación de Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Disponible en http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/documentos/documentos.jsp

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010). Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Real, E., & Sartelet, K. (2011). Modeling of photolysis rates over Europe: impact on chemical gaseous species and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11*(4), 1711-1727.

Secretaría distrital de Ambiente. Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. [aut. libro] Secretaría distrital de ambiente. Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. Bogotá : s.n., 2011.

Sun, C. H., Lin, Y. C., & Wang, C. S. (2003). *Relationships among particle fractions of urban and non-urban aerosols*. *Aerosol Air Qual. Res*, 3(1), 7-15.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA / AIRNow (2014). *Particle Pollution (PM_{10}) and ($PM_{2.5}$)*.

U.S. Environmental Protection Agency, EPA / Office of Air Quality Planning and Standards (2013)*. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office (2014)*. Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 – Protection of Environment.*

Glosario

Aire: fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.
Aire cero: es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo. La purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.
Agentes contaminantes convencionales: se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, dióxido de nitrógeno).
Analizador: equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.
Anemómetro: instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.
Aseguramiento de la Calidad (AC): sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].
Auditoría: evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].
Bandera: registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.
Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.
Bitácora: libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.
Calibración: conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.
Cilindro de gas patrón certificado: es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.
Concentración de fondo: fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.
Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.
Condiciones normales para normas de calidad del aire: las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.
Contaminación atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.
Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
Diagrama de caja (*box-plot*): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) se aplicará la siguiente ecuación:

$$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{\mathrm{C}[\mathrm{ppm}] \times \mathrm{PM}}{24{,}466} \times 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:
$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
$\mathrm{C}[\mathrm{ppm}]$= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24,466 = Volumen de una kmol en m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.
Episodio de contaminación: es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
Equipo para Calibración: es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
Estabilidad atmosférica: característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.
Estación de monitoreo: es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
Estándar de calidad del aire: valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
Excedencia: una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.
Gas de calibración: término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.
Generador de aire cero: dispositivo utilizado para generar aire cero.
Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en

suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.
Índice: expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.
Isohuma: línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.
Isotaca: línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.
Isoterma: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.
Isoyeta: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.
Material particulado: término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.
Media aritmética: es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.
Media móvil: se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de *n* datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.
Método equivalente: es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.
Método de referencia: es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.
Monitoreo: en el sentido más amplio de la palabra, medición continua para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.
Nivel Normal (Nivel I): es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.
Nivel de Prevención (Nivel II): es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.
Nivel de Alerta (Nivel III): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.
Nivel de emergencia (Nivel IV): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar

enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Obstáculo: elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio anual: promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.

Promedio diario: promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.

Promedio Geométrico: antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{\text{prom geom}} = 10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]} \quad \text{para } i = 1,2,3\ldots,n$$

Donde:

$C_{\text{prom geom}}$: Promedio geométrico de concentración

$\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)$: Suma de los n logaritmos de los valores de concentración del contaminante i.

$10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]}$: Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los “n” valores de concentración del contaminante i.

Protocolo: plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.
Repetitividad: grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].
Representatividad: grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].
Sensor: dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.
Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.
Sustancias Peligrosas: son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.
Toma-muestras: conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
Unidades: Las unidades más utilizadas son:
mg/m^3: miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: microgramos por metro cúbico.
ppm: partes por millón.
ppb: partes por billón.
Validación: confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

Anexo

Lectura de Gráficos de *boxplot*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *boxplot*.

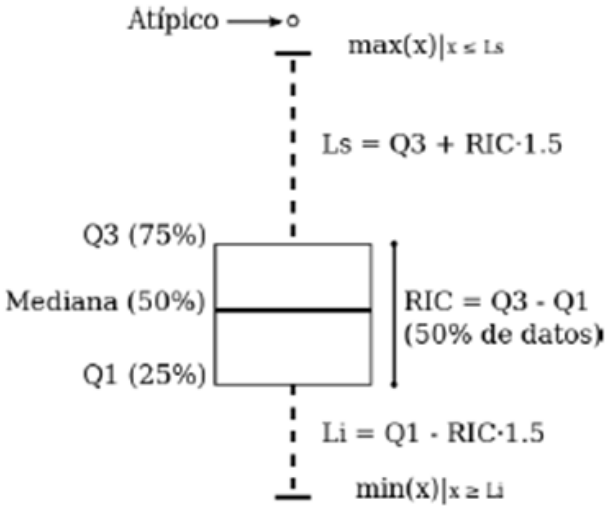


Figura A-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. Si se tiene el conjunto de datos en orden ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **Mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, quartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, quartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). Los puntos por fuera de los límites, se les llama valores **atípicos**.

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2014

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C. 2015

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

BOGOTÁ HUMANA



Gustavo Francisco Petro Urrego
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Susana Muhamad
Secretaria Distrital de Ambiente

Ramón Eduardo Villamizar Maldonado
Subsecretario Distrital de Ambiente

Andrea Cortés Salazar
Directora de Control Ambiental

Rodrigo Alberto Manrique Forero
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

John Freddy Grajales
Coordinador RMCAB

Helberth Santiago Morales Pinilla
Nicolás Cuadros Rubio
Oscar Julián Guerrero Molina
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Diana María Rodríguez Alaguna
Héctor Alejandro Beltrán
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Mayo de 2015, Bogotá - Colombia
Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2015.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ HUMANA

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C.

Informe Anual 2014

Mayo de 2015

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo 15
Introducción 21
1. Generalidades 22
1.1. Normatividad vigente. 25
2. Indicadores de operación y desempeño 27
2.1. Porcentaje de captura de datos 27
2.2. Porcentaje de datos válidos. 30
3. Evaluación y análisis de contaminantes 32
3.1. Material particulado – MP o PM (*Particulate Matter*) 32
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST 33
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM_{10}. 35
3.1.3. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ 51
3.1.4. Relación de concentración $PM_{2.5}/PM_{10}$ 66
3.2. Gases contaminantes 67
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O_3 68
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2 81
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO_2 93
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO 107
3.3. Índices de calidad del aire 116
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}. 117
3.3.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$ 121
3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) 125
3.4. Síntesis de resultados 127
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas 138
4.1. Precipitación 139
4.2. Vientos 149
4.3. Temperatura Superficial 156
4.4. Radiación solar 161
4.5. Presión Atmosférica 163
4.6. Humedad Relativa 164
5. Meteorología y Calidad del Aire 166
5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado. 166
5.2. Estudio de caso: días de máxima concentración 172

5.2.1. Evento de incendio de llantas en Fontibón 172
5.2.2. Transporte de polvo del Sahara a Suramérica en junio de 2014..... 177
Bibliografía..... 183
Glosario 185
Anexos 190

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el año 2014. 23
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2014. 28
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2014. 29
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2014. 30
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2014. 31
Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el año 2014. Base diaria. 34
Figura 3-2. Promedios anuales de PM_{10} durante el año 2014 por estación de monitoreo. 36
Figura 3-3. Material particulado (PM_{10}) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014. 37
Figura 3-4. Número de excedencias y máximos de PM_{10} por estación durante el año 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m^3 (Resolución 610 de 2010). 38
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2014 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m^3. 41
Figura 3-6. Diagrama calendario para PM_{10} durante año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan dos días que excedieron el límite máximo permisible de 100 µg/m^3. 42
Figura 3-7. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2014 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resalta el único día que excedió el límite máximo permisible de 100 µg/m^3 en esta estación correspondiente al 27 de junio de 2014. 43
Figura 3-8. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el año 2014. 44
Figura 3-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del año 2014. 45
Figura 3-10. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza. 46
Figura 3-11. Ciclo diario de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. 47
Figura 3-12. Ciclo anual (año 2014) de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. 48
Figura 3-13. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM_{10} por estación de monitoreo en los años 2010 a 2014. 49
Figura 3-14. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ durante el año 2014 por estación de monitoreo. 52
Figura 3-15. Material particulado ($PM_{2.5}$) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014. Se incluyen las estaciones Las Ferias y San Cristóbal como referencia porque no cumplen con el criterio de cobertura temporal de 75% (68% y 65% con promedios anuales de 18 µg/m^3 y 9 µg/m^3, respectivamente) 53
Figura 3-16. Máximo y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria para el año 2014. 54
Figura 3-17. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 57

Figura 3-18. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 58
Figura 3-19. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración..... 59
Figura 3-20. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente..... 61
Figura 3-21. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses del año 2014 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente..... 61
Figura 3-22. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza..... 62
Figura 3-23. Ciclos diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación en el año 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza..... 63
Figura 3-24. Ciclo anual (año 2014) de $PM_{2.5}$ para 7 monitores de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%, con excepción de Ministerio de Ambiente con 74%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. 64
Figura 3-25. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para los años 2010 a 2014. 65
Figura 3-26. Máximos y excedencias de la norma de O_3 en base horaria por estación durante el año 2014. 69
Figura 3-27. Concentraciones máximas y excedencias de la norma de O_3 (80 µg/m^3) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el año 2014. 72
Figura 3-28. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. 74
Figura 3-29. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para año 2014. 75
Figura 3-30. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de 2014 y de las estaciones de monitoreo..... 76
Figura 3-31. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. 77
Figura 3-32. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día..... 78
Figura 3-33. Ciclo anual de las concentraciones de ozono en base mensual para el año 2014. 78
Figura 3-34. Gráfico de *boxplot* de O_3 en función de las estaciones entre los años 2010 y 2014 (con base en promedios móviles de 8 horas). 79
Figura 3-35. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal igual o superior a 75% durante el año 2014. 82
Figura 3-36. Máximos y excedencias de los datos horarios de NO_2 por estación durante el año 2014..... 84
Figura 3-37. Excedencias y concentraciones máximas de NO_2 en base diaria por estación para año 2014..... 85

Figura 3-38. Diagrama calendario para NO_2 durante el año 2014 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3. 86
Figura 3-39. Diagrama calendario para NO_2 durante el año 2014 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3. 87
Figura 3-40. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014. 88
Figura 3-41. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los meses del año 2014 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. 89
Figura 3-42. Ciclos semanales de las concentraciones de NO_2 para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el año 2014. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. 90
Figura 3-43. Ciclos diarios de las concentraciones de NO_2 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 90
Figura 3-44. Ciclos anuales de las concentraciones de NO_2 con base en promedios mensuales. Año 2014. En cada mes se muestra el intervalo de confianza de 95%. 91
Figura 3-45. Gráfico de *boxplot* para NO_2 por estaciones en base diaria entre los años 2010 y 2014. 92
Figura 3-46. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal igual o superior a 75% durante el año 2014. 94
Figura 3-47. Máximos y número de excedencias de SO_2 en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2014. 95
Figura 3-48. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación para el año 2014. 97
Figura 3-49. Diagrama calendario para SO_2 durante el año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Debe tenerse en cuenta qu4e el límite normativo es 250 µg/m^3. 99
Figura 3-50. Diagrama calendario para SO_2 durante el año 2014 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3. 100
Figura 3-51. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2014. 101
Figura 3-52. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los meses de 2014 por estación de monitoreo. 102
Figura 3-53. Ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 103
Figura 3-54. Ciclos diarios de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 103
Figura 3-55. Ciclos anuales de las concentraciones de SO_2 con base en promedios mensuales. Año 2014. En cada mes se muestra el intervalo de confianza de 95%. 104
Figura 3-56. Gráfico de *boxplot* para SO_2 en base diaria por estación de monitoreo entre los años 2010 y 2014. 105

Figura 3-57. Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2014. 108
Figura 3-58.Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2014. 110
Figura 3-59. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2014..... 111
Figura 3-60. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses por estación de monitoreo para el año 2014. 111
Figura 3-61. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 112
Figura 3-62. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2014 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 113
Figura 3-63. Ciclos anuales de monóxido de carbono con base en promedios mensuales en las estaciones de monitoreo con una cobertura temporal igual o superior a 75%. Año 2014. Se presenta el intervalo de confianza de 95% en cada promedio mensual. 113
Figura 3-64. Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo entre los años 2010 y 2014. 114
Figura 3-65. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2014. 118
Figura 3-66. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de 2014. 119
Figura 3-67. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el año 2014. 119
Figura 3-68. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB durante el año 2014. 120
Figura 3-69. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2014. 121
Figura 3-70. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ para los meses de 2014. 122
Figura 3-71 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2014. 123
Figura 3-72. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para $PM_{2.5}$ durante el año 2014..... 124
Figura 3-73. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas. 126
Figura 3-74. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas..... 126
Figura 3-75. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria. 126
Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013) 139
Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado trimestralmente por la RMCAB. 141
Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta 2014. 141

Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes). 144
Figura 4-5. Precipitación promedio acumulada de las estaciones en 2014 144
Figura 4-6. Acumulados multianuales del promedio de las estaciones de la RMCAB. ... 145
Figura 4-7. Número de días y promedio diario de precipitación en 2014. 146
Figura 4-8. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el año 2014. 147
Figura 4-9. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB trimestrales en 2014. 148
Figura 4-10. Anomalía de precipitación anual entre 1998 – 2013 y 2014 para las estaciones de la RMCAB. 149
Figura 4-11. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA..... 150
Figura 4-12. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA..... 151
Figura 4-13. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos. 152
Figura 4-14. Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM 153
Figura 4-15. Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2014 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). 154
Figura 4-16. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2014. 155
Figura 4-17. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y RMCAB 2014..... 156
Figura 4-18. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014. 157
Figura 4-19. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y en 2014. 158
Figura 4-20. Temperatura promedio de las estaciones en 2014. (La escala de colores tiene unidades de °C, el eje de las abscisas representa el mes y el de las ordenadas presenta la hora). 159
Figura 4-21. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2014. 160
Figura 4-22. Acumulado de radiación de las estaciones (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). 162
Figura 4-23. Radiación trimestral de los últimos años. 163
Figura 4-24. Radiación mensual de los últimos años. 163
Figura 4-25. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. 164
Figura 4-26. Humedad relativa mensual media del periodo 2008- 2013 y su comparación con los meses de 2014..... 165
Figura 5-1. PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del año 2014. 168
Figura 5-2 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana año 2014. 169

Figura 5-3 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde año 2014. 170
Figura 5-4. PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche año 2014. 171
Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 6 de noviembre de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. 173
Figura 5-6 PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 6 de noviembre de 2014. 174
Figura 5-7. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 6 de noviembre de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. 175
Figura 5-8. Rosas de contaminación de material particulado (a) PM_{10} y (b) $PM_{2.5}$ para el día 6 de junio de 2014. 176
Figura 5-9. Corriente de polvo proveniente del Sahara con dirección a Suramérica. Fuente: *NASA Earth Observatory* (http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966). Imagen del 24 de junio de 2014. 179
Figura 5-10. Índice de aerosoles del 25 de junio de 2014. Fuente: *NASA Ozone Mapping and Profiler Suite*. Fuente: http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust 179
Figura 5-11. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 27 de junio de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. 180
Figura 5-12 PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014. 181
Figura 5-13. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. 182
Figura 0-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes. 190
Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{10} por estación durante el año 2014. 192
Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de $PM_{2.5}$ por estación durante el año 2014. 192
Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O_3 por estación durante el año 2014. 193
Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO_2 por estación durante el año 2014. 193
Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el año 2014. 194
Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el año 2014. 194

Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de estas en el año 2014. 24
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (*Environmental Protection Agency*)..... 25
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. 26
Tabla 2-1. Fechas de inicio de monitoreo de $PM_{2.5}$ en cuatro equipos instalados durante el año 2014..... 27
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro. . 29
Tabla 2-3. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro..... 31
Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el año 2014. 34
Tabla 3-2. Promedio anual de PM_{10} durante los años 2013 y 2014 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3 35
Tabla 3-3. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos diarios de PM_{10} durante el año 2014. 39
Tabla 3-4. Número de excedencias de la norma diaria de PM_{10} (100 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014. 40
Tabla 3-5. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM_{10} en entre los años 2010 y 2014. 50
Tabla 3-6. Promedio anual de $PM_{2.5}$ durante los años 2013 y 2014. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m^3. Base de tiempo diaria. 51
Tabla 3-7. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2014. Base de tiempo diaria. 55
Tabla 3-8. Número de excedencias de la norma diaria de $PM_{2.5}$ (50 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014. 56
Tabla 3-9. Resumen histórico de concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ entre los años 2010 y 2014. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2010 y 2013. 65
Tabla 3-10. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el año 2014 y que tienen cobertura temporal superior a 75%. Como excepción y referencia, se incluye Ministerio de Ambiente con una cobertura temporal de 74% en $PM_{2.5}$. 66
Tabla 3-11. Resumen descriptivo de los datos horarios de O_3 por estación para el año 2014. 68
Tabla 3-12. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximos y respectivos periodos de ocurrencia, de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2014. 71
Tabla 3-13. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014. 72
Tabla 3-14. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O_3 en promedios móviles de 8 horas entre los años 2010 y 2014. 80
Tabla 3-15. Concentraciones promedio anuales de NO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años. 81
Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2014. 83
Tabla 3-17. Resumen de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2014. 84
Tabla 3-18. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO_2 en base diaria entre los años 2010 y 2014. 92

Tabla 3-19. Concentraciones promedio anuales de SO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años. 93
Tabla 3-20. Resumen de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para el año 2014. 95
Tabla 3-21. Resumen de datos en base diaria de SO_2 por estación para el año 2014. 98
Tabla 3-22. Resumen estadístico histórico de los máximos diarios de SO_2 entre los años 2010 y 2014. 106
Tabla 3-23. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2014. Los promedios anuales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010. 107
Tabla 3-24. Resumen de datos de CO por estación en el año 2014. Base de 8 horas... 109
Tabla 3-25. Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios de 8 horas entre los años 2010 y 2014. 115
Tabla 3-26. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). 116
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2014..... 128
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), año 2014. 128
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}), año 2014. 129
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2014. 130
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O_3, año 2014. 131
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2014. 132
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios diarios de NO_2, año 2014..... 133
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2014. 134
Tabla 3-35. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, año 2014..... 135
Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO_2, año 2014..... 136
Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de SO_2, año 2014. 137
Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2014. (NA no cumple criterio de representatividad) 140
Tabla 4-2. Acumulados de los primeros trimestres multianuales y por estación. 142
Tabla 4-3. Acumulados de los segundos trimestres multianuales y por estación. 142
Tabla 4-4. Acumulados de los terceros trimestres multianuales y por estación. 143
Tabla 4-5. Acumulados de los cuartos trimestres multianuales y por estación. 143
Tabla 4-6. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014. 145
Tabla 4-7.valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento para las estaciones de la RMCAB. 150
Tabla 4-8. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014. 151
Tabla 4-9. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014. 157
Tabla 4-10. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica. 158
Tabla 4-11. Radiación en W/m^2 acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB . 161
Tabla 4-12. Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB. 164

Tabla 4-13. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. 164
Tabla 5-1. Concentraciones de PM_{10} y de $PM_{2.5}$ para el 27 de junio de 2014 en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Fuente: Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. 177
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. 191

Resumen ejecutivo

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 de 2006 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PST), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa.

Entre los contaminantes monitoreados se destacan el material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros conocido como PM_{10}, el material particulado menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono (O_3), pues en algunas oportunidades sus concentraciones superan los límites máximos permisibles por la normatividad. Los demás contaminantes (CO, NO_2 y SO_2) están presentes en concentraciones bajas con respecto a la norma de calidad del aire establecida. Por tanto, en lo registrado por la RMCAB, no representan riesgo para la salud de la población. Vale aclarar que los análisis comparativos con respecto a la normatividad nacional se llevan a cabo no sólo con respecto al promedio en el periodo encontrado (por ejemplo el promedio anual o el diario) sino también con respecto a las excedencias presentadas en cada estación.

La norma diaria de PM_{10} (100 µg/m$_3$) fue excedida en un 6% del total de datos registrados válidos, porcentaje equivalente a 222 valores, distribuidos entre las estaciones así: Carvajal-Sevillana (121), Kennedy (49), Puente Aranda (25), Tunal (13), Fontibón (4), San Cristóbal (2), Minambiente (2), Suba (2), Guaymaral (1), Usaquén (1), Las Ferias (1) y Centro de Alto Rendimiento (1). Todas las estaciones reportaron excedencias, un comportamiento que fue inusual, teniendo en cuenta que en 2013 hubo 104 excedencias y solo en 3 estaciones. Sin embargo, se debe destacar el evento de contaminación transfronteriza proveniente de las arenas del Sahara, razón por la cual en todas las estaciones se reportó como excedencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 90% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a 90 µg/m^3 y menores o iguales a 100 µg/m^3, se puede evidenciar que a excepción de las estaciones de Guaymaral y CDAR, las demás estaciones se encuentran en un rango próximo a empezar a exceder. Las mayores magnitudes reportadas por la RMCAB durante el año 2014 fueron 243 µg/m^3 y 240 µg/m^3 en las estaciones Fontibón y Carvajal-Sevillana, respectivamente, valores que corresponden al 27 de junio en el evento de arenas del Sahara. Las tendencias observadas indican que las localidades más afectadas por concentraciones altas de PM_{10} en el año de 2014 fueron las ubicadas en el suroccidente y sur de la ciudad, especialmente Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar, Puente Aranda y Tunjuelito y las menos afectadas fueron las ubicadas al norte y al oriente. Se debe destacar la alta actividad industrial y de fuentes móviles, especialmente vehículos de carga pesada en la estación Carvajal-Sevillana, pues tanto el promedio como el número de excedencias difieren ampliamente de las demás estaciones de la ciudad. Este resultado destaca la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios globales, por lo cual es más recomendable su sectorización para los análisis respectivos. Por su parte, los meses más contaminados en PM_{10} se encontraron en

el primer semestre (a excepción de abril), sin embargo diciembre fue el mes con la mayor cantidad de excedencias de todo el 2014, caso contrario al comportamiento de julio, agosto y septiembre que tienen bajas excedencias. Los promedios anuales más altos de PM_{10} estuvieron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 91, Kennedy con 71, Puente Aranda con 62, Tunal con 53 y Suba con 51 µg/m^3, mientras que las demás estaciones estuvieron por debajo de 50 µg/m^3. En comparación con el año 2013, el monitor de Puente Aranda presentó un aumento significativo en 2014 de 15 µg/m^3; mientras que las estaciones de Carvajal-Sevillana y Tunal tuvieron un aumento de 10 µg/m^3. Por su parte las estaciones de Suba, Las Ferias y Minambiente presentaron reducciones en sus concentraciones y las estaciones de Usaquén y Kennedy se mantuvieron constantes. Con respecto al comportamiento semanal, el lunes resulta el día de menor concentración, debido a la presencia de festivos y a la baja influencia residual del día previo, mientras que el día de mayor concentración resultó el viernes (a excepción de Minambiente que resultó el jueves). Los domingos reportan los valores de concentración más bajos de toda la semana y para todas las estaciones, lo cual evidencia el fuerte impacto que tiene la actividad de la ciudad (fuentes fijas y móviles) en la concentración de PM_{10}. Vale destacar el comportamiento del día sábado, el cual no tiene gran diferencia con respecto a otros días de la semana. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8 horas para descender a valores mínimos alrededor de las 11-13 horas (dependiendo la estación), estabilizándose y luego presentando otro aumento paulatino que va hasta las 20-22 horas e incluso continúa elevándose como en los casos de Guaymaral y CDAR que van hasta las 23-24 horas.

Con respecto al contaminante $PM_{2.5}$ el límite normativo anual es de 25 µg/m^3 y mide principalmente fuentes de combustión. En el año 2014 el $PM_{2.5}$ fue monitoreado por 10 estaciones, sin embargo no todas cumple criterios de representatividad temporal, por entrar en operación durante el año. Las mayores concentraciones promedio se encontraron en Carvajal-Sevillana con 35 µg/m^3 y Kennedy con 32 µg/m^3 (tendencia que es similar a la registrada para PM_{10}); mientras que la estación Usaquén, al norte de la ciudad, reporto los niveles más bajos con 13 µg/m^3. En comparación a 2013, la estación Kennedy (la única que tuvo dato representativo ese año) tuvo una concentración promedio de 28 µg/m^3 lo que implica un aumento de 4 µg/m^3. Por primera vez, se presenta un mapa de tendencia con la concentración promedio de $PM_{2.5}$ para Bogotá, evidenciando un comportamiento similar a la registrada para PM_{10}, en donde el suroccidente de la ciudad tiene los valores más altos de concentración y el norte y oriente de la ciudad los valores más bajos. Con respecto al registro diario (el cual tiene un límite normativo de 50 µg/m^3), el valor máximo se presentó en Carvajal-Sevillana el 27 de junio de 2014 con 77 µg/m^3, día en que ocurrió el evento de alta concentración de material particulado proveniente de las arenas del Sahara y que también reporto su máximo diario en las estaciones de Usaquén, Las Ferias y San Cristobal, con 46, 52 y 44 µg/m^3, respectivamente. También se destacan los días del 31 de marzo de 2014 en donde Suba y Kennedy presentaron sus registros máximos en el año, con 55 y 67 µg/m^3 y el día del evento del incendio de llantas en Fontibón (6 de noviembre) en donde las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y Minambiente presentaron sus máximos con 51 y 56 µg/m^3. Por su parte, la cantidad de excedencias (superar el valor normativo de 50 µg/m^3) se dieron principalmente en las estaciones de Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal con 28, 17 y 10, respectivamente. En términos generales los jueves y viernes resultan los peores días de la semana para $PM_{2.5}$. Los ciclos diarios evidencian picos de concentración en todas las estaciones entre 6 y 9 a.m. aunque su magnitud es variable dependiendo de las características específicas de cada una de las estaciones. Se destacan las tendencias de las estaciones Suba donde las concentraciones hasta el medio día tienen un descenso

abrupto (un comportamiento atípico) y son menores a las registradas en horas de la noche (posiblemente por actividades de tráfico pesado) y en Usaquén donde los niveles son bajos y el pico de concentración de la tarde es similar en magnitud y dispersión al de la mañana. Lo anterior evidencia la diferencia en las actividades de las diversas zonas de la ciudad, por lo cual no resulta conveniente generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad, sino que es necesario sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

El ozono (O_3), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de radiación solar, en términos de la concentración octohoraria el O_3 en 2014 presentó 237 excedencias con respecto al límite máximo permisible de 8 horas el cual es de 80 µg/m^3 según la resolución 610 de 2010, sin embargo es importante precisar que es una normatividad muy exigente y se encuentra incluso por debajo de la recomendación de la Organización Mundial de la Salud, la cual normalmente es muy estricta y en la actualidad es de 100 µg/m^3. Vale destacar que dicha recomendación no es adoptada en las legislaciones de calidad de aire, ni en los Estados Unidos ni tampoco por la Comunidad Europea. Al hacer la comparación con respecto a la norma de la OMS el número de excedencias desciende a 58, y con respecto a la normatividad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la cual es de 147 µg/m^3, no se obtienen excedencias en Bogotá en 2014. También es importante destacar el episodio de contaminación de ozono ocurrido en marzo 29 de 2014, en el cual se registraron los máximos para 9 de las 11 estaciones durante el 2014 y que además en el análisis mensual se pueden ver excedencias muy marcadas en el primer trimestre y principalmente marzo, lo cual deja ver que dichas excedencias fueron por ocasionadas principalmente por temas meteorológicos a nivel regional o tal vez a escala global y no puntuales y generalizado durante todo el año. Por su parte el comportamiento espacial del O_3 en Bogotá, muestra una diferencia de las tendencias registradas con respecto a los demás contaminantes, pues mientras los contaminantes PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2 y CO tienen concentraciones bajas al norte de la ciudad, el ozono resulta alto; mientras que al sur y suroccidente las concentraciones de ozono tienden a ser bajas y el resto de contaminantes tienden a ser altos, lo cual se asocia a su naturaleza de contaminante secundario. El día de mayor concentración de ozono resulta el domingo y los de menor los jueves y miércoles (tendencia contraria a los demás contaminantes). El valor de concentración máximo encontrado en 2014 para 8 horas de exposición fue de 133 µg/m^3. Por su parte la concentración horaria de ozono, presentó excedencias en casi todas las estaciones de la RMCAB a excepción de Carvajal-Sevillana, sin embargo dichas excedencias ocurren en el evento de contaminación por ozono mencionado del 29 de marzo de 2014. Las estaciones con mayores excedencias a nivel horario fueron Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Fontibón. El máximo horario de ozono registrado por la RMCAB en 2014 fue 179 µg/m^3 en la estación Usaquén. En comparación al año 2013, en donde se presentaron 28 excedencias, en el año 2014 se presentaron 74 excedencias, sin embargo esta atribuido puntualmente al evento del 29 de marzo.

El dióxido de nitrógeno NO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora ni tampoco para 24 horas. El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de 199 µg/m^3 (100 ppb) en la estación Carvajal-Sevillana, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de 93 µg/m$_3$ (47 ppb) en Las Ferias.

El análisis del ciclo semanal para este contaminante deja ver que los martes y los viernes presentan las mayores concentraciones, mientras que los domingos y los lunes las menores. Por su parte el ciclo diario presenta un comportamiento más similar al material particulado, con picos entre las 6 y 9am, con mínimo alrededor del mediodía, para volver a aumentar las concentraciones en horas de la tarde-noche, lo cual se encuentra ligado a la fotoquímica de este contaminante. Con respecto al comportamiento histórico de este contaminante, no se aprecian cambios significativos en los últimos 5 años, sin embargo llama la atención el comportamiento de la estación Suba, para la cual se observa una pequeña tendencia al aumento.

El dióxido de azufre SO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas (750 µg/m^3), ni para 24 horas (250µg/m^3), ni tampoco para la exposición anual de 80 µg/m^3. El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de 158 µg/m^3, mientras que para 24 horas de exposición estuvo en 32 µg/m^3, en ambos casos en la estación Kennedy. La comparación de 2014 con años anteriores se observa similar e incluso inferior en algunos casos. El ciclo diario de este contaminante se aprecia similar al material particulado, con incrementos en las horas pico de la mañana y leves aumentos en la tarde-noche.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se observan datos entre el 75% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de 10.4 mg/m^3 para una exposición de 1 hora (norma nacional 40 mg/m^3) y de 5.4 mg/m^3 para una exposición de 8 horas (norma nacional 10 mg/m^3).

El análisis del Índice de Calidad de Aire (ICA) para PM_{10}, permite observar que se tuvo una predominancia en la categoría de “Buena” para las estaciones de Usaquén, Suba, Las Ferias, CDAR, Minambiente, Tunal y San Cristobal, mientras que las estaciones de Carvajal-Sevillana, Kennedy y Puente Aranda tuvieron una predominancia en “Moderado”. Los días de la semana que tienen mejor ICA son domingo y lunes, con una predominancia en la categoría de “Bueno” alrededor de un 75%; mientras los peores días son los viernes con un 55% en “Bueno”, un 43% en moderado y un 2% en “Dañino para la salud de grupos sensibles”. Los martes, miércoles y jueves también presentan alrededor de un 60% en la categoría de “Bueno”, siendo su complemento la categoría de “Moderado”. Es de notar que los sábados no presentan gran diferencia con respecto a días entre semana. Los meses del año con peor ICA fuero febrero y marzo y el mejor fue julio. Por su parte el análisis para ICA del $PM_{2.5}$, se presenta por primera vez para 7 estaciones como el promedio anual, predominando la categoría de “Moderado”, especialmente para las estaciones de Carvajal-Sevillana con un 80% y Kennedy con un 75% aproximadamente, presentando tan sólo un 5% en la categoría de ”Bueno” y llegando a tener incluso un 0.5% en “Dañino para la salud”, además de 20 y 15% en la categoría de “Dañino para la salud de grupos sensibles”, respectivamente. Los días entre semana y el sábado presentan un comportamiento similar, mientras que el domingo se aprecia un poco mejor. Al igual que para el ICA en PM_{10} los meses con peor ICA fueron febrero y marzo y el mejor fue julio. Por último los gases contaminantes muestran un ICA en la categoría de “Buena” para todas las estaciones y todos los gases.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante el segundo trimestre de 2014.
Con respecto a la precipitación, durante el año 2014 se presentó un comportamiento sectorizado a lo largo del año con respecto a promedios históricos tanto de la RMCAB (1998-2013) como de la estación ElDorado del IDEAM (1980 – 2010), pues para el primer y cuarto trimestre se presentaron excedencias, en especial noviembre y diciembre con excedencias de hasta 103% en función de los históricos; mientras que el segundo y el tercer trimestre presentaron deficiencias, que incluso para los meses de abril y agosto fueron muy significativos. Por otro lado, al revisar el promedio histórico de la RMCAB en los últimos 14 años, se evidencia una tendencia al aumento en las precipitaciones en Bogotá, lo cual también se evidencia en el número de días húmedos (días con precipitación mayor a 1mm), lo cual para este 2014, se encontró por encima de los registros históricos a excepción de los meses de abril, mayo y agosto. Sin embargo, se debe aclarar, que la cantidad de precipitación que cae en promedio por día, se encontró en casi todos los meses por debajo, a excepción de diciembre que superó ampliamente el registro histórico. Lo anterior muestra un comportamiento “anormal” de las precipitaciones en Bogotá durante 2014. Por su parte la distribución de precipitaciones en Bogotá, muestra que el suroccidente de la ciudad es la zona más seca de la ciudad, lo cual está asociado a la mayor carga de material particulado, mientras que la zona oriental de la ciudad resulta la más lluviosa. Por su parte las horas del día de mayor precipitación son entre las 3 y 6 pm, La estación en donde más llovió en este trimestre fue San Cristobal con 1076mm acumulado en 2014, mientras que la de menor precipitación fue Carvajal-Sevillana con 639mm, lo cual evidencia un comportamiento sectorizado, en el cual el norte y suroccidente presentan los menores valores, mientras que al suroriente y el centro geográfico de la ciudad, los mayores valores de precipitación.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Kennedy, Carvajal-Sevillana y Puente Aranda registraron los mayores valores promedio a lo largo del año con 2.6, 2.4 y 2.1 m/s, respectivamente. Las velocidades máximas se observaron en Kennedy, Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Minambiente con 4.9, 4.8, 4.2 y 4.2, respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento alrededor de 1m/s y valores máximos de 2.7 y 2.5m/s, respectivamente. Lo anterior ilustra un mapa de vientos para Bogotá en 2014, en donde la mayor velocidad de viento se encuentra al suroccidente y occidente, mientras que las menores velocidades de viento se encuentran al oriente y norte de la ciudad. Con respecto a la dirección de los vientos, estos estuvieron predominantes del este – sureste – sur, particularmente hacia las zonas oriental, sur y suroccidente de la ciudad. En algunas zonas del occidente y del norte se observaron predominancias del norte – noreste y fue común la baja predominancia de vientos del oeste en toda la ciudad. Por su parte los vientos en calma (menores a 0.5 m/s), se observan principalmente hacia el noreste en donde más del 30% de los datos del año se presentaron en calma, mientras que la zona sur y suroccidente se observan los menores valores de viento en calma (no mayor 10%).

Con respecto a la variable temperatura media, se obtuvo un promedio de 14.1°C en las estaciones de la RMCAB durante el 2014. Con respecto a los datos históricos de la RMCAB (1998-2013) y la estación ElDorado del IDEAM (1980 – 2010), se encontraron valores por encima de estos históricos hasta en 0.6°C para los meses de abril y noviembre a excepción de agosto que tuvo un comportamiento negativo con -0.2 °C. Las zonas con mayor temperatura media en la ciudad resultan al suroccidente y las de menor temperatura al suroriente, mientras que las demás zonas se encuentran en rangos intermedios.

Estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y frías en las noches, a diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal-Sevillana que mantienen condiciones menos calurosas durante los días, pero más cálidas hacia las noches.

Por otro lado se hace un análisis de meteorología y calidad de aire, en donde se correlacionan los datos de PM_{10} contra las velocidades de vientos, sin tener en cuenta las demás variables, lo cual, aunque no resulta una "realidad completa", pues se están dejando de lado algunas variables que pueden ser impactantes en este análisis, sí nos permite ver las tendencias y encontrar relaciones que pueden resultar interesantes en el transporte de contaminantes en Bogotá. Este análisis directo debe conllevar a unas correlaciones negativas (relación lineal inversa) si existe un proceso de dispersión por vientos. Para el bloque horario de la mañana (6am a 12m), se encuentran valores de correlación entre -0.3 a -0.4, lo que muestra la dispersión de contaminantes al aumentar la velocidad en la zona central de la ciudad principalmente, sin embargo el suroccidente de la ciudad no presenta este comportamiento, siendo incluso las correlaciones con bajos valores positivos, lo que puede sugerir un pequeño transporte de PM_{10} de otros lados. En el bloque de horas de la tarde se encuentran correlaciones principalmente positivas de hasta 0.3 y 0.4, en especial en el centro geográfico de la ciudad, sur y suroccidente, lo cual le da un poco más de fuerza al posible arrastre de PM_{10} desde la zona sur en las localidades de Tunjuelito, Rafael Uribe, Ciudad Bolívar y posiblemente Soacha, sitios de donde proviene el viento. En los bloques de madrugada y noche no se aprecian correlaciones significativas, sin embargo la tendencia es negativa en la mayor parte de la ciudad.

Por último se hace el análisis del estudio de caso del día de máxima concentración, que resulto el 27 de junio, a causa del transporte de material particulado proveniente del Sahara, pero para este informe también se ha hecho el análisis del día 6 de noviembre, a causa del incendio de llantas en la bodega de Fontibón, evento que presentó unos aumentos considerables de material particulado. Ambos casos son estudiados en este informe de 2014.

Introducción

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central donde se someten a un proceso de validación final y con el fin de analizar tendencias espaciales y temporales, y evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Para el año 2014, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el año 2014. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública. Posteriormente se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. Finalmente se presenta un capítulo de meteorología y calidad de aire en el cual se presentan dos análisis de caso: Análisis de vientos vs. Material particulado y el estudio de caso del día de máxima concentración, que para el caso de 2014, resultaron dos días de interés, el incendio de llantas en Fontibón y el transporte de polvo del Sahara hacia Suramérica en junio de 2014. En ambos casos se analiza el contaminante PM_{10}.

El usuario puede revisar los resultados de calidad de aire para el año 2014 en la parte final del tercer capítulo, en la cual se presenta una síntesis de los resultados por medio de tablas que permiten visualizar en términos cuantitativos el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad.

1. Generalidades

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por trece estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de contaminantes criterio y variables meteorológicas en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación.

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones de la zona de influencia de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire. En la interpretación de los análisis de este informe es importante destacar tres cambios de nombres en las estaciones Parque Simón Bolívar que ahora es Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón que ahora es Ministerio de Ambiente o Min.Ambiente y la estación Carvajal que ahora es Carvajal-Sevillana, a fin de ilustrar de mejor forma el sitio en donde se encuentran ubicadas. Las coordenadas geográficas no fueron modificadas con respecto a información de documentos previos.

En el presente informe no se considera la Estación Móvil porque está evaluando la calidad del aire en corredores viales bajo el Convenio 26 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (*U.S. Government Printing Office*, 2014). La Tabla 1-2 describe las Técnicas de Medición de los equipos por contaminante las cuales están acordes a los métodos de referencia de la EPA o sus equivalentes.

Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web http://www.ambientebogota.gov.co, vínculo “Calidad del aire en BOGOTÁ”[1]

[1] También es posible acceder directamente mediante la dirección http://201.245.192.252:81

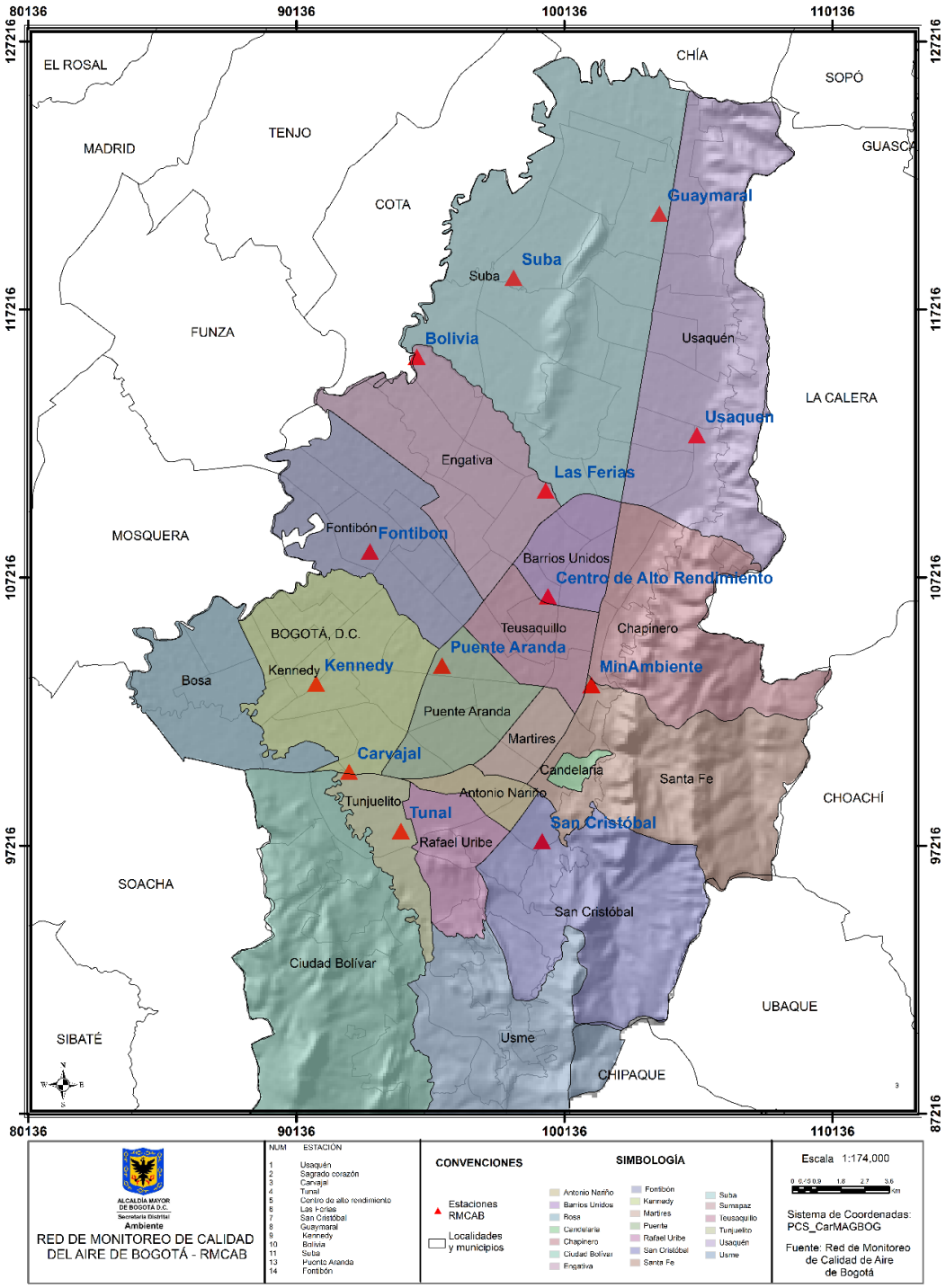


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el año 2014[2].

[2] Parque Simón Bolívar (IDRD) será referida como Centro de Alto Rendimiento y Sagrado Corazón como Min. Ambiente o Ministerio de Ambiente.

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de estas en el año 2014.

Característica		Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	C. de Alto Rendimiento	Min. Ambiente	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal	Móvil
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°40'12.36"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N	---
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74 8'29.58"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W	---
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2591 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m	---
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	12 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal	---
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Carrera 96G # 17B-49	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	---
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo	
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	15 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m	
	Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	22 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m	
Contaminantes	PST											X			
	PM_{10}	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	$PM_{2.5}$	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X	
	O_3	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
	NO_2	X		X		X	X			X	X	X	X		X
	CO		X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
	SO_2			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X					X				X		X	X	X
	H. Relativa	X				X	X				X		X	X	X
	Presión Atm.	X				X			X		X				X

La estación Parque Simón Bolívar será referenciada como Centro de Alto Rendimiento y Sagrado Corazón como Min. Ambiente.

Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (*Environmental Protection Agency*).

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PST	Atenuación por Radiación Beta	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones, ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años.

1.1. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 1-3 presenta los niveles máximos para los contaminantes criterio.

Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m^3)	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM_{10}	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO_2	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2014. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que son aquellos obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados. En la segunda parte se presentan los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

Para 4 de los 17 parámetros monitoreados en la RMCAB se obtuvieron porcentajes de pérdida de datos superior al 10%, valor a partir del cual la causa se debe a una de las tres situaciones siguientes: 1) fallas mayores en múltiples equipos, 2) falla en suministro de energía o 3) inclusión de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año.

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el año 2014[3], donde se observa que 16 de los 17 parámetros monitoreados cumplen representatividad temporal superior al 75%. El monóxido de carbono (CO) registra un porcentaje de captura del 69% debido a que se presentó una acumulación de fallas en las fuentes IR de los equipos de Kennedy, Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Usaquén. Las fuentes IR no son partes que fallan frecuentemente en el corto plazo, son costosas y deben ser importadas de diferentes países, por lo tanto, su trámite de compra se realiza exclusivamente cuando se presenta la necesidad por falla.

A continuación se analizan los 3 parámetros cuyo porcentaje de captura se encuentra entre el 75% y 90%, los cuales son: Material particulado inferior a 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$), dióxido de azufre (SO_2) y presión barométrica.

Para el caso del $PM_{2,5}$ se registra una captura del 82%, debido a que se incluyen las 4 estaciones en donde se instalaron monitores adicionales de $PM_{2,5}$, alcanzando por primera vez en la historia de la RMCAB un total de 10 monitores con registros automáticos simultáneos de este parámetro en la ciudad.

Tabla 2-1. Fechas de inicio de monitoreo de $PM_{2.5}$ en cuatro equipos instalados durante el año 2014.

Estación	Fecha inicio monitoreo de $PM_{2,5}$
Guaymaral	15 de octubre de 2014
San Cristóbal	02 de mayo de 2014
MinAmbiente	26 de marzo de 2014
Suba	07 de marzo de 2014

La presión barométrica registra una captura del 84% debido a que 1 de los 4 sensores de la RMCAB, ubicado en Fontibón, dejó de funcionar por problema técnico en el suministro eléctrico de la estación desde 01 de julio de 2014 en adelante.

[3] T: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación solar; RDR: radiación solar directa; RDF: radiación solar difusa; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En el caso del dióxido de azufre (SO_2) se presenta una captura de datos del 80% debido a que se incluye en el conteo un equipo adicional instalado en la estación de tunal, el cual entró en operación el 25 de mayo de 2015. Se presentó influencia adicional por la pérdida de datos del analizador de la estación de Fontibón por la falta de suministro eléctrico, y el analizador de la estación de Carvajal por daño en la tarjeta CPU del equipo.

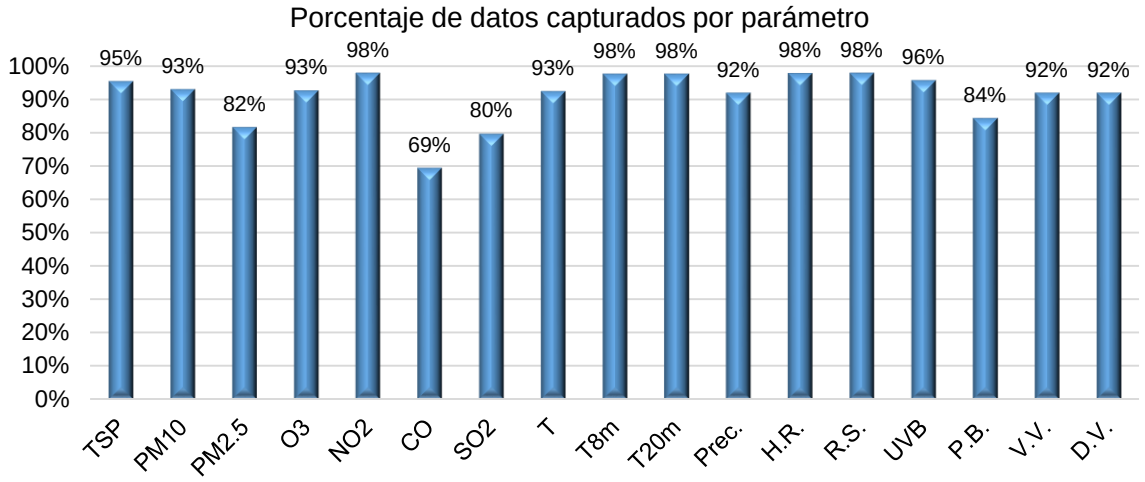


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2014.

En la Figura 2-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por estación, donde se observa que la estación de Fontibón registra el porcentaje de captura más bajo del año, con un 44%. Como se mencionó anteriormente, esto se debió a problemas técnicos en el suministro eléctrico de la estación. Los analizadores fueron reubicados a otras estaciones mientras se proyectaba la solución para el funcionamiento ininterrumpido de la estación y a largo plazo de manera confiable. En el caso de la estación de Bolivia, se presentaron perdidas de datos mayormente relacionada con bloqueos del Datalogger y daño en sensores meteorológicos. La estación de Centro de Alto Rendimiento presenta una pérdida de captura de datos del 20% debida a falla de 3 equipos, el analizador de monóxido de carbono (CO), sensor de radiación directa y sensor de radiación difusa. Para el caso de la estación de Usaquén el porcentaje de captura del 88% se ve influenciado por la puesta en funcionamiento del analizador de monóxido de carbono (CO) que entró en operación en el mes de julio de 2014. En Carvajal la disminución se presenta debido a daño en CPU del equipo el 01 de abril de 2014.

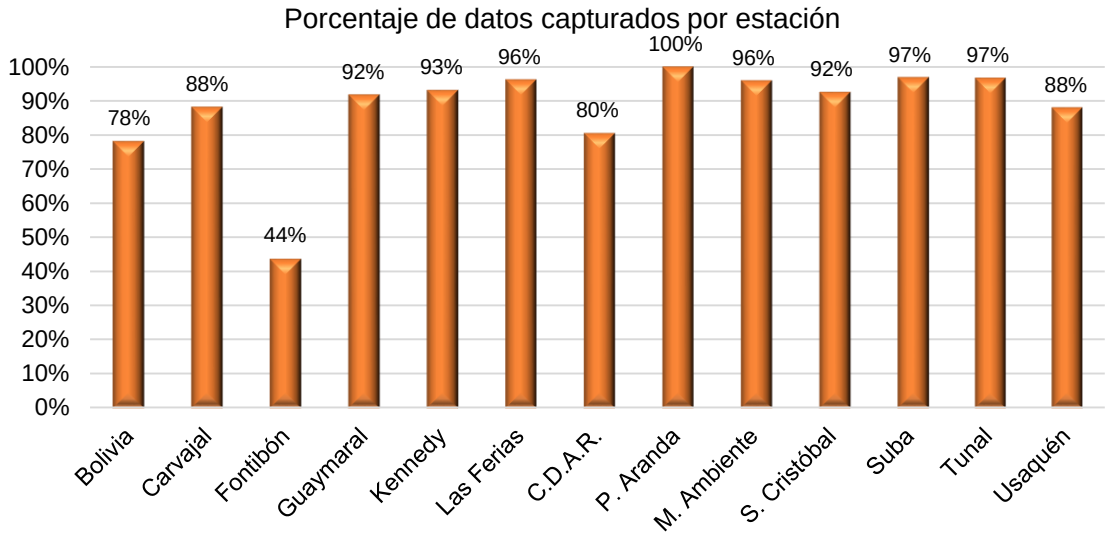


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2014.

En la Tabla 2-2 se presenta el porcentaje total de captura de datos por estación y por parámetro para el año 2014. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro.

	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											78%							78%	78%	78%
Carvajal	95%	95%	94%	95%	95%	95%	21%	95%			95%							95%	95%	95%
Fontibón		44%		44%		44%	44%	44%			44%						44%	44%	44%	44%
Guaymaral		98%	21%	98%	98%			98%	98%	98%	98%	98%	98%				98%	98%	98%	92%
Kennedy		99%	99%		99%	28%	97%	99%			99%	99%	99%				99%	99%	99%	93%
Las Ferias		97%	97%	97%	97%	82%	98%	97%			97%	97%					97%	97%	97%	96%
C.D.A.R.		96%	97%	96%	96%	58%	94%	96%			96%	96%	96%	0%	0%	96%		96%	96%	80%
P. Aranda		100%		100%	100%	100%	100%	100%			100%							100%	100%	100%
M. Ambiente		100%	75%	100%							100%							100%	100%	96%
S. Cristóbal		98%	67%	99%		64%	98%	98%			98%	98%	98%					98%	98%	92%
Suba		99%	75%	100%	100%		100%	100%			100%							100%	100%	97%
Tunal		100%	99%	99%	99%	99%	67%	99%			99%	99%	99%					99%	99%	97%
Usaquén		93%	93%	93%		55%		93%			93%							93%	93%	88%
Total	95%	93%	82%	93%	98%	69%	88%	93%	98%	98%	92%	98%	98%	0%	0%	96%	84%	92%	92%	***89%***

2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el año 2014 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 81%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)[4].

La Figura 2-3 presenta el porcentaje de datos válidos por parámetro, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-1 con el propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. Para los parámetros meteorológicos la disminución en porcentaje oscila entre el 0% y 5%. Para el caso de los contaminantes material particulado PM_{10}, $PM_{2,5}$, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) el porcentaje de disminución de datos oscila entre 7% y 12%. En el caso de partículas suspendidas totales (TSP) se alcanza un porcentaje de disminución del 65%, debido a problemas recurrentes de ajustes en el contacto de boquilla con cinta de muestreo, perdida de muestra, y afectación del valor de los datos por falla en la bomba de succión del equipo. En el caso de dióxido de nitrógeno (NO_2) se presentó una disminución del 33%, debida a fallas mayores en la confiabilidad de desempeño de conversión del catalizador de molibdeno, flujo de los equipos y proporción NO, NO_2 y NO_x de las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Las Ferias.

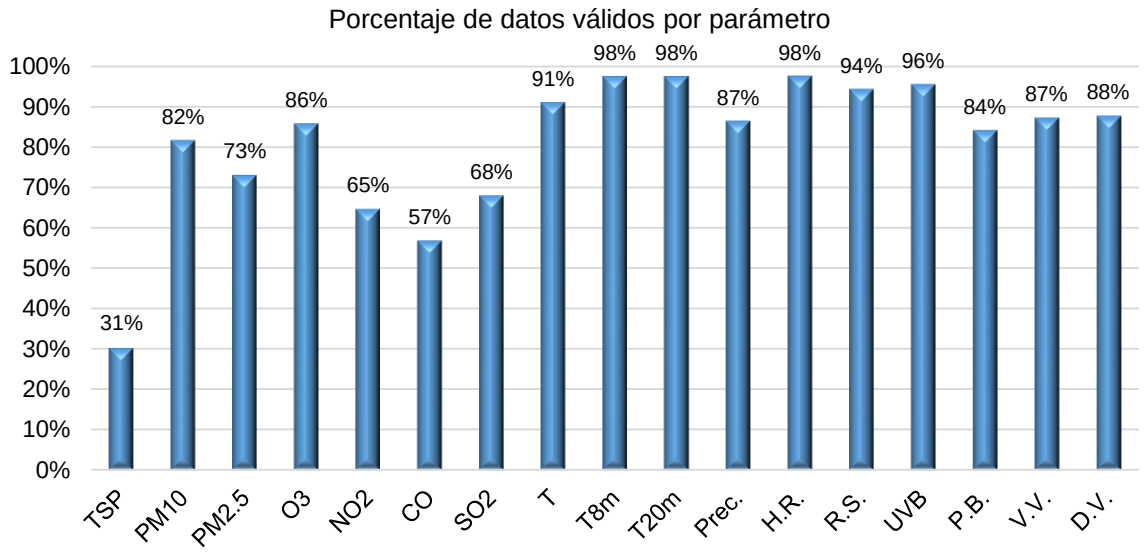


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2014.

La Figura 2-4 presenta el porcentaje de datos válidos por estación, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos por estación de la Figura 2-2 con el

[4] El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.

propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. Para las estaciones de Fontibón, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, MinAmbiente, San Cristobal, Suba, Tunal y Usaquén, la disminución en porcentaje de datos oscila entre el 1% y 11%. Las estaciones de Bolivia y Carvajal fueron las excepciones con cambios porcentuales de datos capturados versus datos válidos del 22% y 23% respectivamente. Para la estación de Bolivia, el cambio se debió a falla en el canal del convertidor de velocidad del viento. En el caso de Carvajal el cambio se debió exclusivamente al analizador de dióxido de nitrógeno (NO_2) por inestabilidad recurrente en el cero del equipo que afecta el rango de registro de los datos capturados.

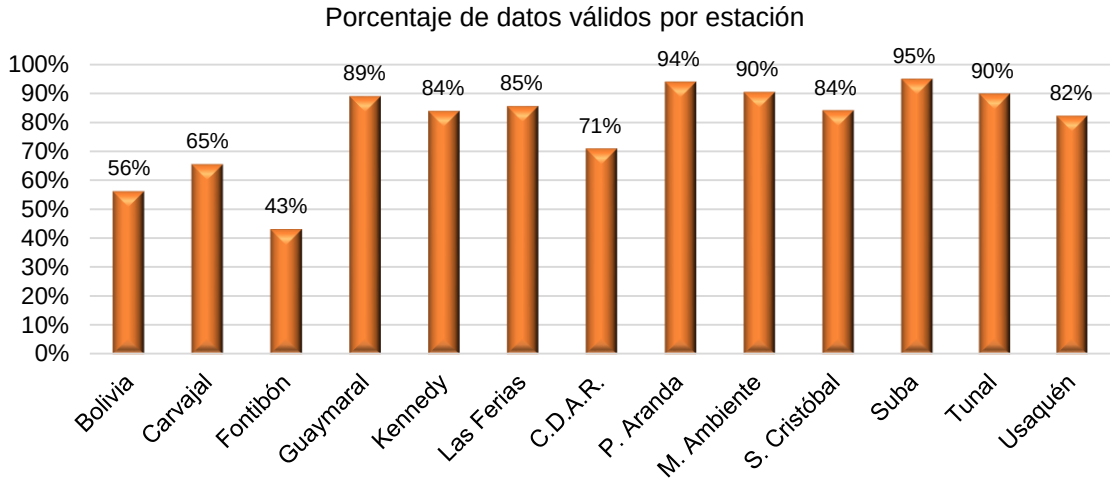


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2014.

La Tabla 2-3 corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro

Tabla 2-3. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											49%							60%	60%	56%
Carvajal	31%	87%	88%	79%	7%	80%	19%	82%			82%							82%	82%	65%
Fontibón		43%		43%		40%	43%	44%			44%						44%	44%	44%	43%
Guaymaral		67%	20%	95%	97%			98%	98%	98%	98%	98%	97%				98%	98%	98%	89%
Kennedy		92%	90%		95%	25%	38%	99%			76%	99%	97%				99%	98%	98%	84%
Las Ferias		88%	73%	82%	38%	79%	86%	97%			94%	97%					97%	97%	97%	85%
C.D.A.R.		77%	82%	90%	29%	24%	91%	96%			96%	96%	96%	0%	0%	96%		96%	96%	71%
P. Aranda		91%		98%	86%	99%	92%	100%			100%							90%	90%	94%
M. Ambiente		98%	72%	78%							100%							99%	95%	90%
S. Cristóbal		83%	63%	96%		41%	91%	97%			97%	97%	84%					81%	92%	84%
Suba		94%	71%	97%	99%		95%	100%			100%							100%	100%	95%
Tunal		75%	94%	96%	68%	93%	58%	99%			99%	99%	99%					99%	99%	90%
Usaquén		87%	80%	90%		32%		92%			92%							92%	92%	82%
Total	31%	82%	73%	86%	65%	57%	68%	91%	98%	98%	87%	98%	94%	0%	0%	96%	84%	87%	88%	80%

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en cuatro secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, PM_{10} y el $PM_{2.5}$; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O_3, NO_2, CO y SO_2; la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA) y la cuarta presenta un resumen cuantitativo para cada contaminante en los tiempos de exposición definidos en la Resolución 610 de 2010. Para esto, la RMCAB durante el año 2014 contó con 13 estaciones (incluyendo la estación móvil) que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentados en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

3.1. Material particulado – MP o PM (*Particulate Matter*)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades se encuentra el material particulado, el cual está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios o de origen antropogénico, provenientes del uso de la quema de combustibles fósiles en la industria y en el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros. Este material tiene efectos sobre la salud humana dado su diámetro de partícula, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman, o servir como vehículo para el transporte de bacterias y virus.

Resultan de interés las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ que además son las reguladas en el territorio colombiano por la Resolución 610 de 2010, como se presentó en la sección 1.1. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras que las segundas, las de $PM_{2.5}$, tienen tamaño menor o igual a 2,5 µm y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas). Resultan respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST) y son fracciones de este el PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, $PM_{2.5}$ y PM_{10} como lo muestra la Tabla 1-3.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Entre enero y junio de 2014, la RMCAB contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal-Sevillana para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST).

El cálculo de la concentración promedio de material particulado total o partículas suspendidas totales (PST) se basa en promedios geométricos de los datos diarios de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 y al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Para los demás contaminantes se usa el promedio aritmético.

El promedio geométrico se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{prom} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}} \quad \text{para } i = 1,2,3,\dots,n$$

Donde C_{prom} es el promedio geométrico y $\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}$ es el promedio de los logaritmos para los n valores de concentración del contaminante i.

Comportamiento de las concentraciones diarias de PST

En la estación Carvajal-Sevillana se registraron 111 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de representatividad de 30%. El monitor correspondiente presentó fallas en el sistema de muestreo y la bomba de flujo fue suspendida temporalmente. Como consecuencia, no se registraron mediciones en mayo y en los meses comprendidos entre julio y diciembre. Además, solamente hay cobertura temporal suficiente para el cálculo de promedios en los meses de febrero y marzo. Por las razones expuestas, durante el año es posible comparar con el límite máximo permisible diario (Resolución 610 de 2010) y realizar el reporte de máximos y de excedencias, pero no es posible realizar la comparación con el límite anual.

La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue 274 µg/m^3 el 27 de junio de 2014 la cual se encontró por debajo del límite normativo de 300 µg/m^3 según la Resolución 610 de 2010. En esta fecha ocurrió un episodio singular a nivel ciudad con altas concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la mayoría de las estaciones. Este dato es el único que supera el valor del 90% del límite normativo (270 µg/m^3). En la Figura 3-1 y en la Tabla 3-1 se resume lo expuesto anteriormente.

Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el año 2014.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma 300 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma[5]
Carvajal-Sevillana	111	30%	0	274	27/06/2014	1

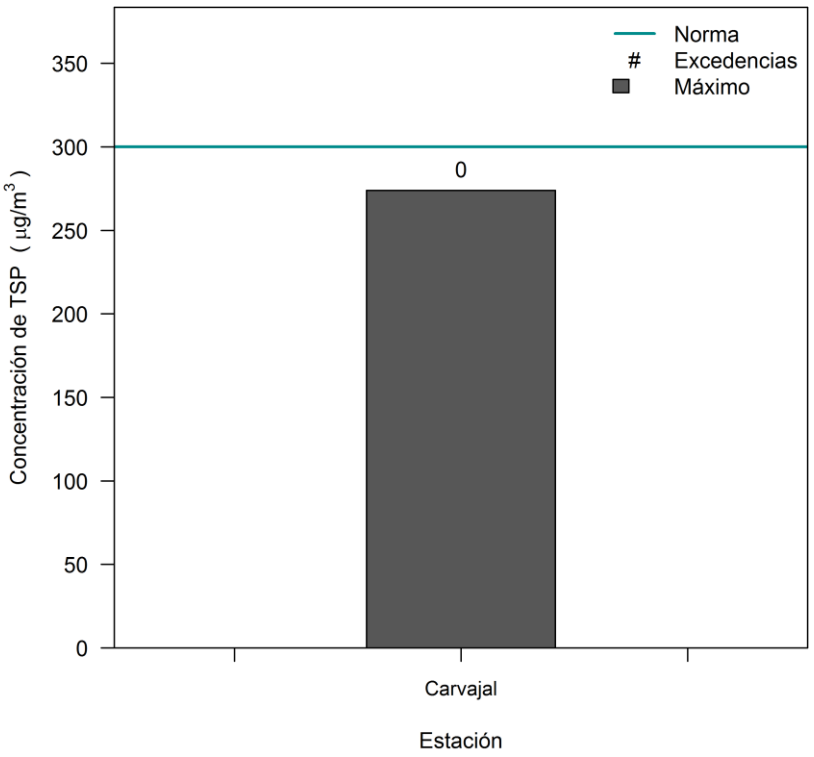


Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el año 2014. Base diaria.

5 Mayor a 270 µg/m3 y menor o igual a 300 µg/m3

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM_{10}.

Para el monitoreo de este contaminante, la RMCAB contó en el año 2014 con 12 equipos, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.El monitor de la estación Fontibón presenta datos hasta el 1 de julio debido a inconvenientes técnicos relacionados con el suministro eléctrico de la estación.

Comportamiento anual de PM_{10}

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible en un tiempo de exposición anual para PM_{10} es 50 µg/m^3. La Tabla 3-2 y la Figura 3-2 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en promedios diarios) que monitorearon este contaminante durante 2014 y cuya representatividad temporal es superior a 75%.

Las estaciones Guaymaral y Fontibón no cumplieron con el criterio de representatividad temporal de 75% al tener coberturas de 66% y 43%, respectivamente. De las diez estaciones restantes, la mitad supera el límite máximo permisible anual siendo estas Suba, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal, de las cuales las últimas cuatro estaciones se ubican en el suroccidente y en el sur de la ciudad demostrando que esta zona representa altos niveles de contaminación en comparación con otros sectores de la ciudad. La concentración anual de Suba marca una diferencia relativamente leve (1 µg/m^3) respecto al límite máximo permisible. Las mayores concentraciones promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 91 µg/m^3 y Kennedy con 71 µg/m^3.

Tabla 3-2. Promedio anual de PM_{10} durante los años 2013 y 2014 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2014 (µg/m^3)	Cambio de 2013 a 2014 (µg/m^3)
Guaymaral	50	N.R.	
Usaquén	37	37	0
Suba	**55**	**51**	-4
Las Ferias	34	32	-2
Centro de Alto Rendimiento	32	40	8
Ministerio de Ambiente	45	43	-2
Fontibón	47	N.R.	
Puente Aranda	47	**62**	15
Kennedy	**71**	**71**	0
Carvajal-Sevillana	**81**	**91**	10
Tunal	43	**53**	10
San Cristóbal	34	41	7

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En comparación con el año 2013, el monitor de Puente Aranda presentó un aumento significativo en 2014 en 15 µg/m^3. Este aumento es seguido por los presentados en Carvajal-Sevillana y Tunal con 10 µg/m^3, en cada una. Suba, Las Ferias y Ministerio de Ambiente, por el contrario, presentaron reducciones en sus concentraciones mientras que Usaquén y Kennedy se mantuvieron en niveles constantes.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-3 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM_{10} (basado en promedios diarios) en las 10 estaciones durante el año 2014. Aunque no cumple con el criterio de cobertura temporal de 75% (66% con un promedio anual de 30 µg/m^3), se incluye la estación Guaymaral como referencia. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM_{10} fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad.

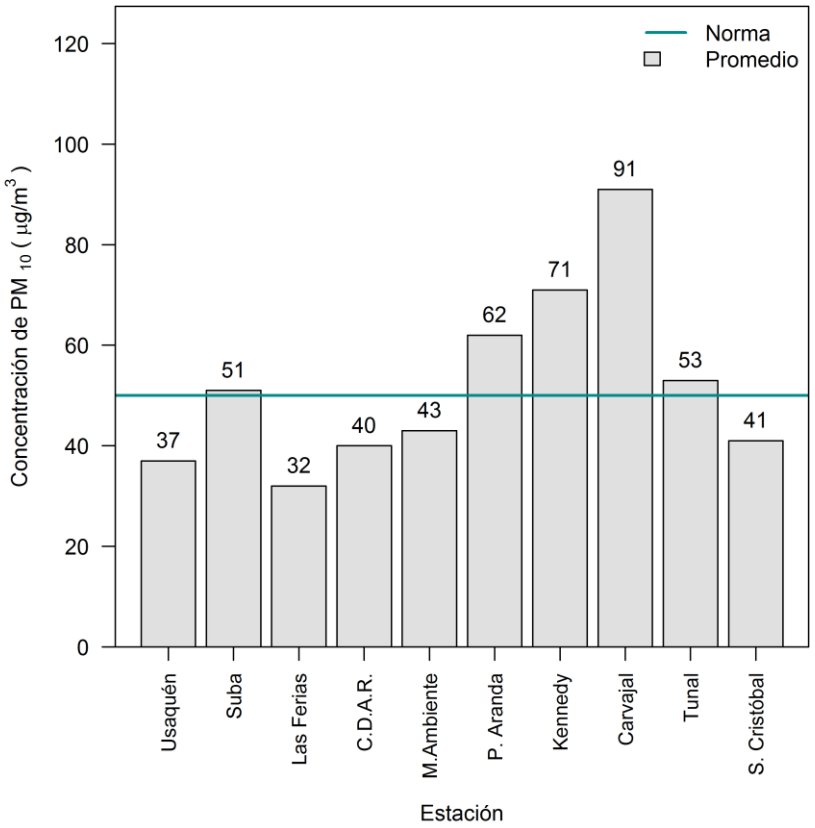


Figura 3-2. Promedios anuales de PM_{10} durante el año 2014 por estación de monitoreo.

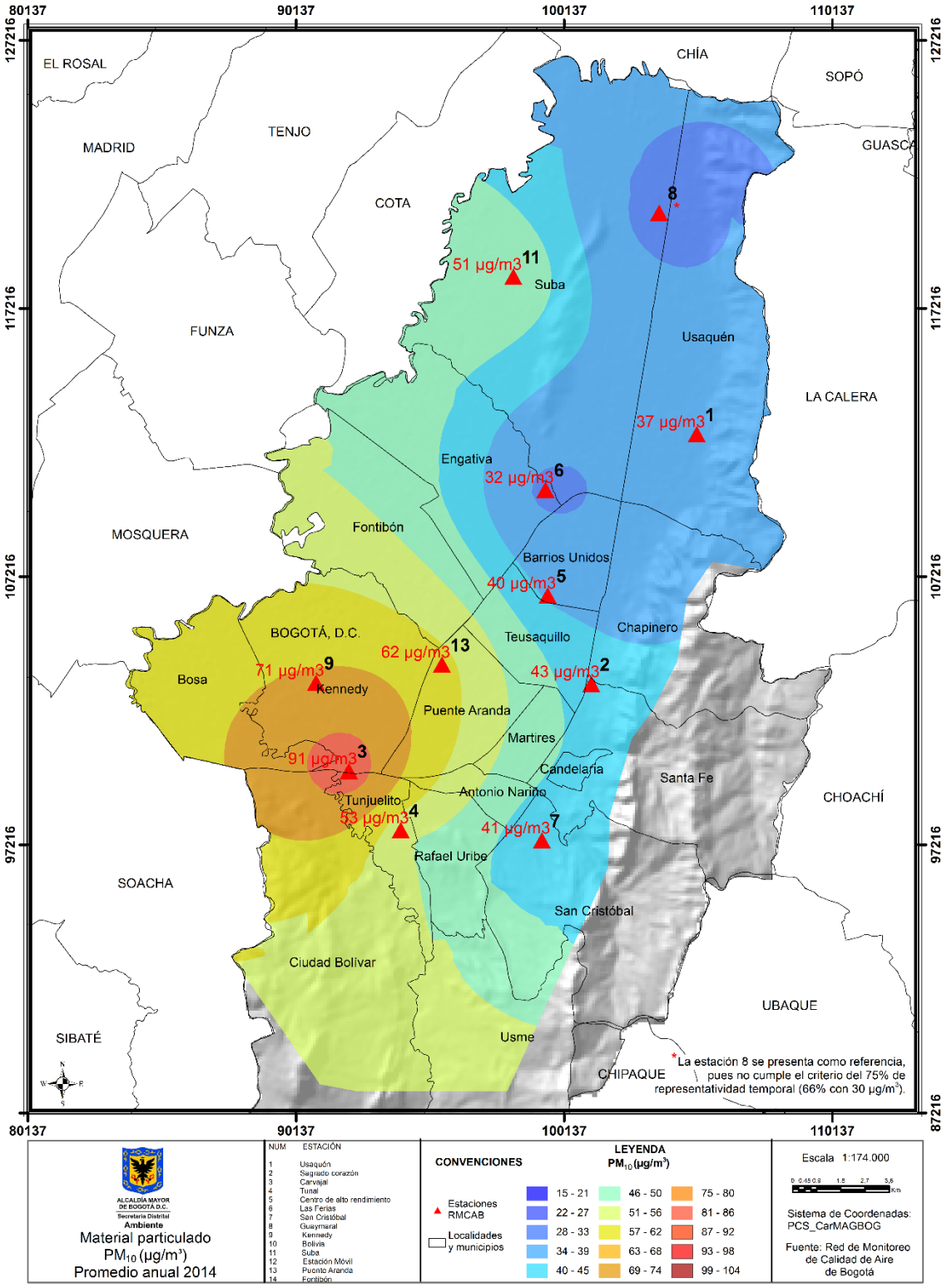


Figura 3-3. Material particulado (PM_{10}) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014.

Comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} (24 h)

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Cada dato diario se calcula a partir del promedio de los respectivos valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día.

Las concentraciones máximas y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-4. La Tabla 3-3 resume los datos diarios de PM_{10} para cada una de las estaciones de la RMCAB. De las 12 estaciones consideradas, 2 no cumplieron el criterio de cobertura temporal igual o superior a 75% y estas fueron Guaymaral y Fontibón donde en la primera se presentaron inconvenientes en el funcionamiento del sistema de regulación de flujo interno del monitor y en la segunda fue suspendido el suministro eléctrico a principios del mes de julio. Por esta razón, solamente se tendrán en cuenta los eventos diarios de estas estaciones y no sus concentraciones promedio anuales.

Del total de datos registrados, el 6% superó el valor de la norma diaria. Todas las estaciones presentaron excedencias destacándose especialmente las ubicadas en el suroccidente de la ciudad: Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana presentando 25, 49 y 121 excedencias, respectivamente. Estas tres estaciones totalizan 195 excedencias de las 222 totales presentadas en la RMCAB.

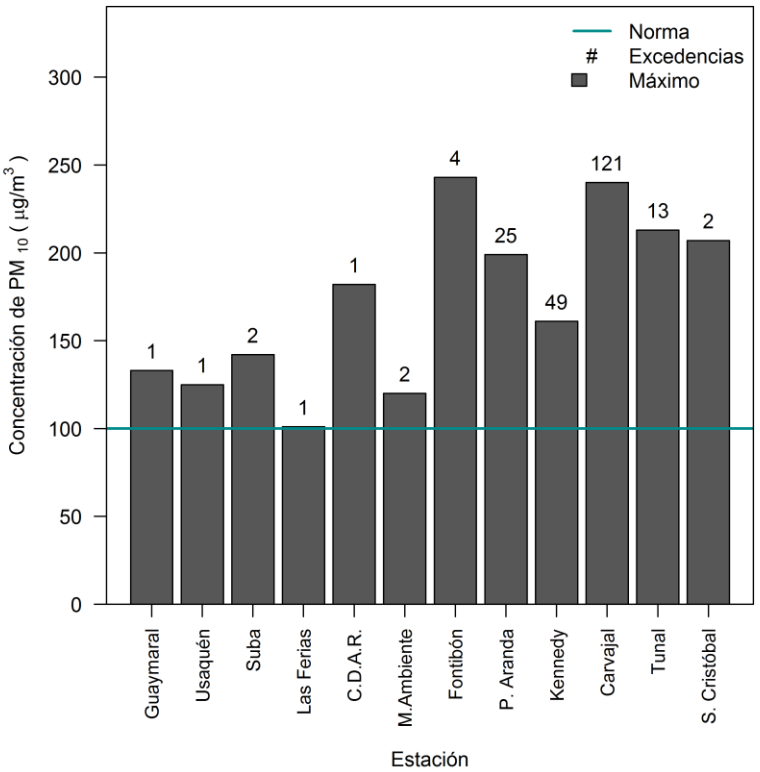


Figura 3-4. Número de excedencias y máximos de PM_{10} por estación durante el año 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m^3 (Resolución 610 de 2010).

En 2013 ocurrieron 104 excedencias que corresponden a menos de la mitad de las presentadas en 2014. Adicionalmente, en dicho año solamente se presentaron excedencias en Guaymaral (2), Kennedy (35) y Carvajal-Sevillana (67). Estas observaciones muestran un deterioro de la calidad del aire en 2014 en el cual se destacan especialmente Puente Aranda y Tunal, las cuales no presentaron excedencias en 2013.

Se destaca la última columna de la Tabla 3-3 que muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, es decir, mayores a 90 µg/m^3 y menores o iguales a 100 µg/m^3. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Aunque Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento reportaron una excedencia cada una, son las únicas que no presentan valores entre 90 µg/m^3 y 100 µg/m^3, evidenciando que el episodio del 27 de junio fue especialmente particular a nivel ciudad. Las demás estaciones estuvieron más propensas a exceder los límites máximos permisibles.

Tabla 3-3. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos diarios de PM_{10} durante el año 2014.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Excedencias de la norma 100 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[6]	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	240	66%	1	0,4%	0	133	27/06/2014
Usaquén	312	85%	1	0,3%	2	125	27/06/2014
Suba	344	94%	2	0,6%	7	142	27/06/2014
Las Ferias	321	88%	1	0,3%	2	101	27/06/2014
Centro de Alto Rendimiento	284	78%	1	0,4%	0	182	27/06/2014
MinAmbiente	355	97%	2	0,6%	4	120	27/06/2014
Fontibón	156	43%	4	2,6%	5	243	27/06/2014
Puente Aranda	334	92%	25	7,5%	12	199	27/06/2014
Kennedy	333	91%	49	14,7%	33	161	27/06/2014
Carvajal-Sevillana	316	87%	121	38,3%	46	240	27/06/2014
Tunal	272	75%	13	4,8%	7	213	27/06/2014
San Cristóbal	296	81%	2	0,7%	1	207	27/06/2014

La Tabla 3-4 muestra que diciembre, febrero, mayo y marzo presentaron la mayor cantidad de excedencias de 2014, caso contrario al comportamiento en julio, agosto y septiembre. Se observa que estaciones como Guaymaral, Usaquén, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento mostraron excedencias únicamente en el mes de junio, específicamente el día 27, cuando se observó un episodio generalizado de alta concentración por material particulado en la ciudad. En esta fecha todas las estaciones registraron excedencias y los valores máximos diarios del año. Las mayores magnitudes reportadas por la RMCAB

[6] Mayor a 90 µg/m^3 y menor o igual a 100 µg/m^3.

durante el año 2014 fueron 243 µg/m^3 y 240 µg/m^3 en las estaciones Fontibón y Carvajal-Sevillana, respectivamente.

Las tendencias observadas indican que las localidades más afectadas por concentraciones altas de PM_{10} en el año de 2014 fueron las ubicadas en el suroccidente y sur de la ciudad, especialmente Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar, Puente Aranda y Tunjuelito y las menos afectadas fueron las ubicadas al norte y al oriente. Es importante destacar las diferencias considerables en número de excedencias entre la estación Carvajal-Sevillana y el conjunto formado por los demás receptores. Esto se debe al número de actividades que se desarrollan en este sector causantes de la emisión de material particulado por fuentes fijas industriales y fuentes móviles, especialmente vehículos de carga pesada. Este resultado destaca la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios globales. Es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis.

Tabla 3-4. Número de excedencias de la norma diaria de PM_{10} (100 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Guaymaral	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Usaquén	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Suba	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Las Ferias	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
MinAmbiente	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
Fontibón	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4
Puente Aranda	0	0	0	0	1	2	0	0	2	4	9	7	25
Kennedy	14	15	7	2	5	1	0	0	0	2	1	2	49
Carvajal-Sevillana	8	14	15	11	18	8	3	9	2	9	10	14	121
Tunal	0	0	0	0	1	2	0	0	0	2	1	7	13
San Cristóbal	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Total de excedencias	**22**	**29**	**23**	**13**	**26**	**24**	**3**	**9**	**4**	**17**	**22**	**30**	***222***
Días de excedencias	**15**	**22**	**16**	**11**	**19**	**8**	**3**	**9**	**3**	**12**	**14**	**17**	***149***

Calendario de contaminación por PM_{10} durante el año 2014

La Figura 3-5, la Figura 3-6 y la Figura 3-7 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y Usaquén, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. Aunque para algunos meses no existe la cobertura temporal suficiente que sea representativa de su respectivo comportamiento, se observa que los meses de junio, julio, agosto y septiembre presentaron las menores concentraciones. Esta diferencia se atribuye en parte al comportamiento meteorológico de los vientos a mitad de año cuando su velocidad aumenta y ocurre una mayor ventilación en la ciudad. Como se ha destacado previamente, el 27 de junio marca un alto contraste en comparación con los demás días del año, no solo en estas estaciones sino en todo el conjunto de monitores de la RMCAB.



Figura 3-5. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2014 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan los días que superaron el límite normativo de 100 $\mu g/m^3$.



Figura 3-6. Diagrama calendario para PM_{10} durante año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan dos días que excedieron el límite máximo permisible de 100 $\mu g/m^3$.

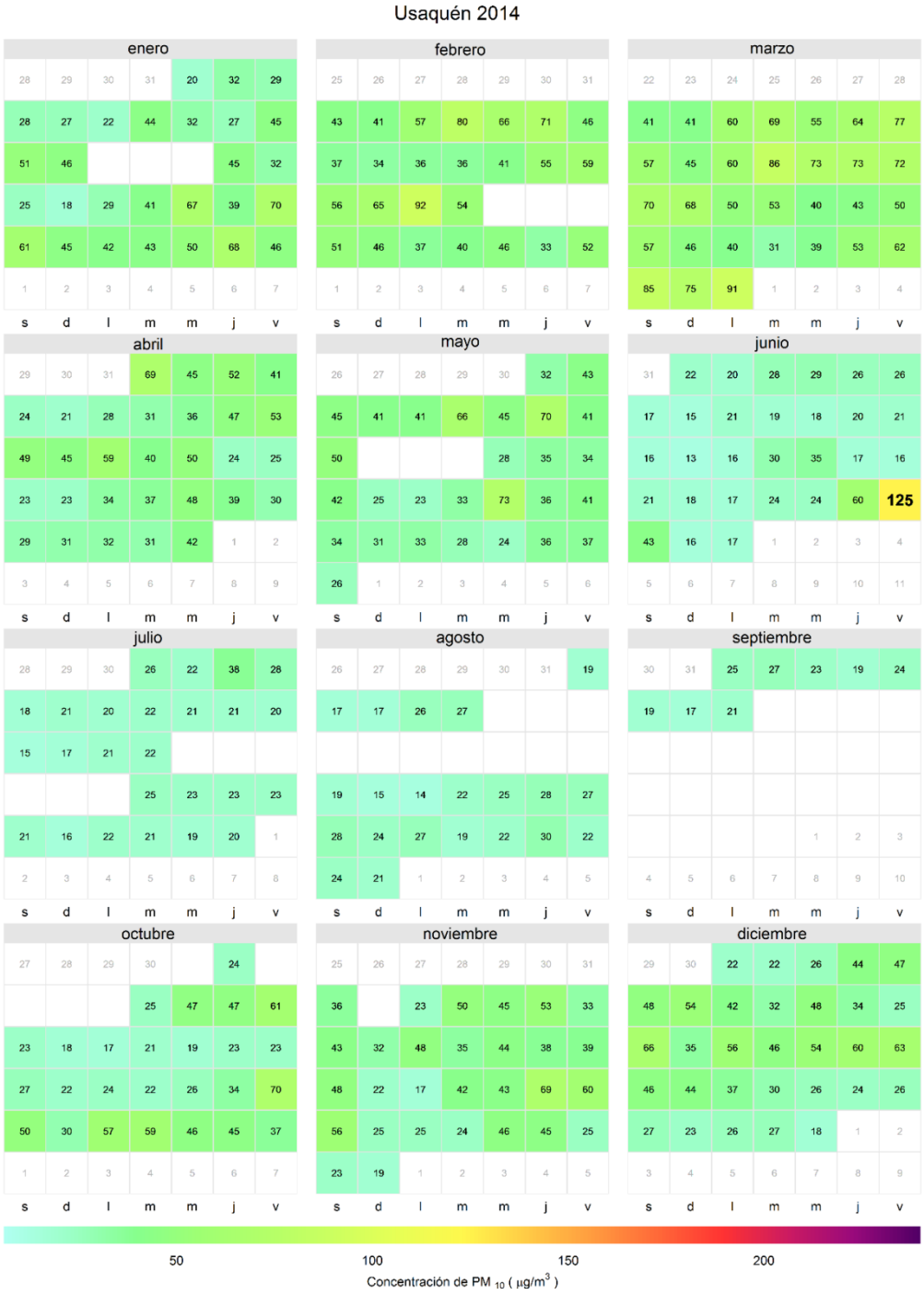


Figura 3-7. Diagrama calendario para PM_{10} durante el año 2014 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resalta el único día que excedió el límite máximo permisible de 100 µg/m^3 en esta estación correspondiente al 27 de junio de 2014.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PM_{10}

La Figura 3-8 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los días de la semana. En las estaciones analizadas se observa que los lunes y los domingos son los días con las menores concentraciones, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad vehicular e industrial. Entre martes y viernes se mantienen niveles de concentración similares.

Se observa que para algunas estaciones existen valores atípicos que son considerablemente mayores al resto del conjunto de datos los cuales corresponden al día 27 de junio cuando se presentó un episodio generalizado de alta concentración. En términos de dispersión no existen diferencias significativas entre los sitio de monitoreo.

La distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los meses de 2014 y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-9. En todas las estaciones se observa que los menores niveles de concentración se presentan en los meses de junio, julio y agosto. Una excepción es Puente Aranda donde se observó que sus concentraciones aumentaron gradualmente con el transcurrir del año. En general, se observa que los meses con las mayores concentraciones de PM_{10} corresponden a los de inicio y final de año. Estas diferencias de comportamiento se atribuyen en cierto grado al aumento de la velocidad de los vientos a mitad de año permitiendo mayor ventilación y, por tanto, menores concentraciones.

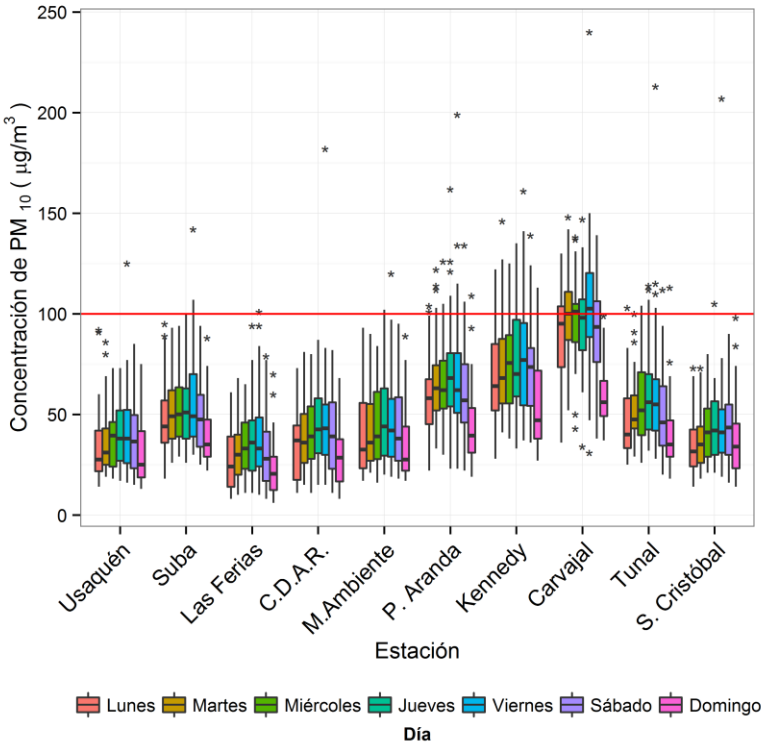


Figura 3-8. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el año 2014.

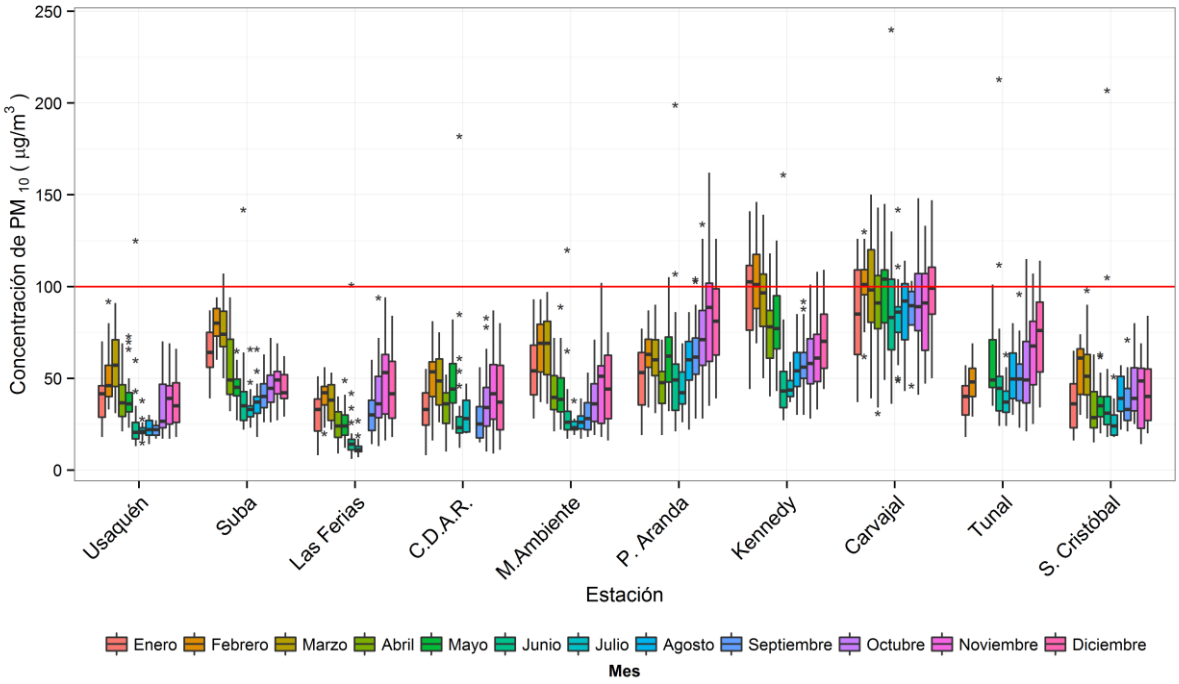


Figura 3-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del año 2014.

Ciclos semanales, diarios y anuales de las concentraciones de PM_{10}

La Figura 3-10 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2014. Aunque no cumple con el criterio de cobertura temporal de 75% (66% con un promedio anual de 30 µg/m^3), se incluye la estación Guaymaral como referencia. Usualmente los domingos reportan las menores concentraciones de este contaminante en todas las estaciones lo cual es concordante con el cambio de la dinámica de la ciudad. Los lunes y los sábados son los siguientes días con bajas concentraciones. Los lunes por la presencia de días feriados y por la influencia de la capa residual del día anterior y los sábados por el cambio en la dinámica de la ciudad al enmarcarse dentro del fin de semana. El comportamiento entre martes y viernes varía en función de la estación de monitoreo. El ciclo más variable del año correspondió a la estación Carvajal-Sevillana en los días domingos marcan una tendencia de descenso considerable en comparación con los demás días, evidenciando un cambio sustancial en la dinámica de su zona de influencia. Puente Aranda sigue a esta estación en variabilidad con tendencias menos pronunciadas. Los ciclos más uniformes se evidenciaron en Ministerio de Ambiente, San Cristóbal y Usaquén. La variación de las concentraciones de PM_{10} en el transcurrir de la semana está altamente influenciada por las características de los alrededores de cada estación.

El análisis de las concentraciones medias horarias para cada estación de la RMCAB que midió esta variable se presenta en la Figura 3-11: ciclos diarios por estación, en donde se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m. con magnitudes variables, donde la mayor se observan en Carvajal-Sevillana y Kennedy y las menores en Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén. Estas tendencias

evidencian la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada “hora pico” en la mañana. Ciertas estaciones presentan un pico de concentración de menor intensidad en horas de la tarde y de la noche, lo cual coincide en algunos casos con la “hora pico” de la tarde.

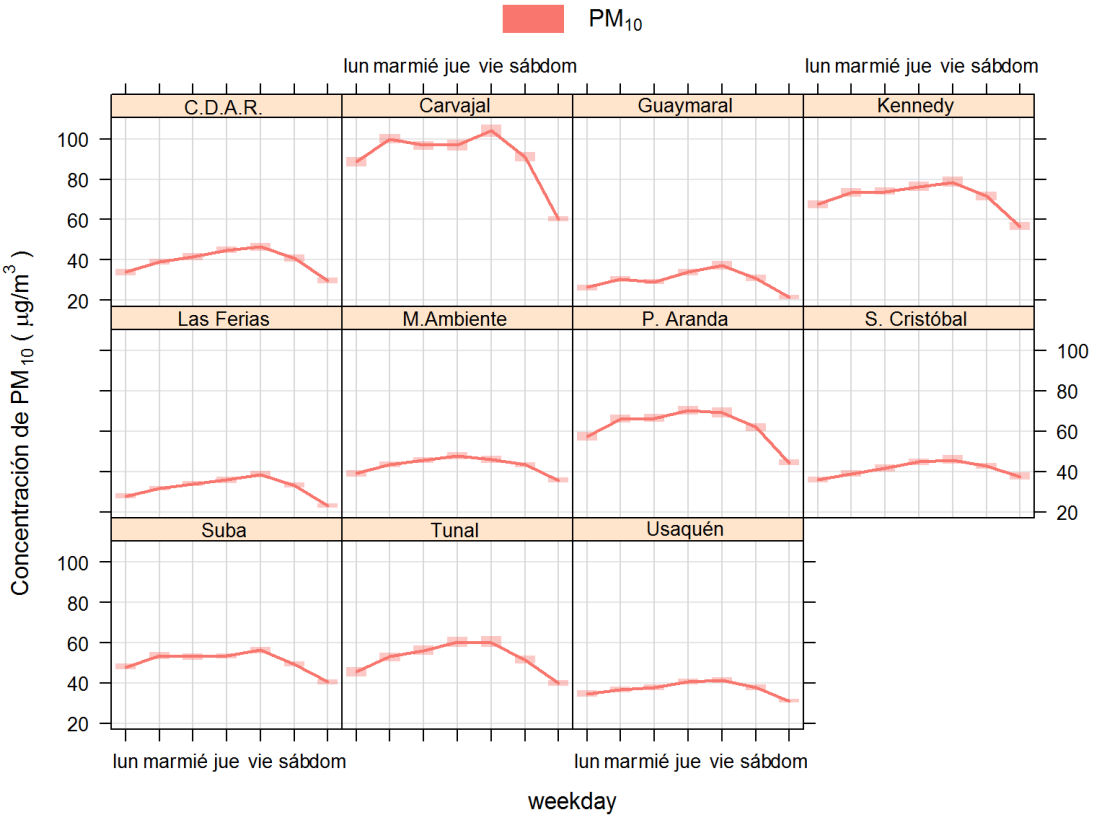


Figura 3-10. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

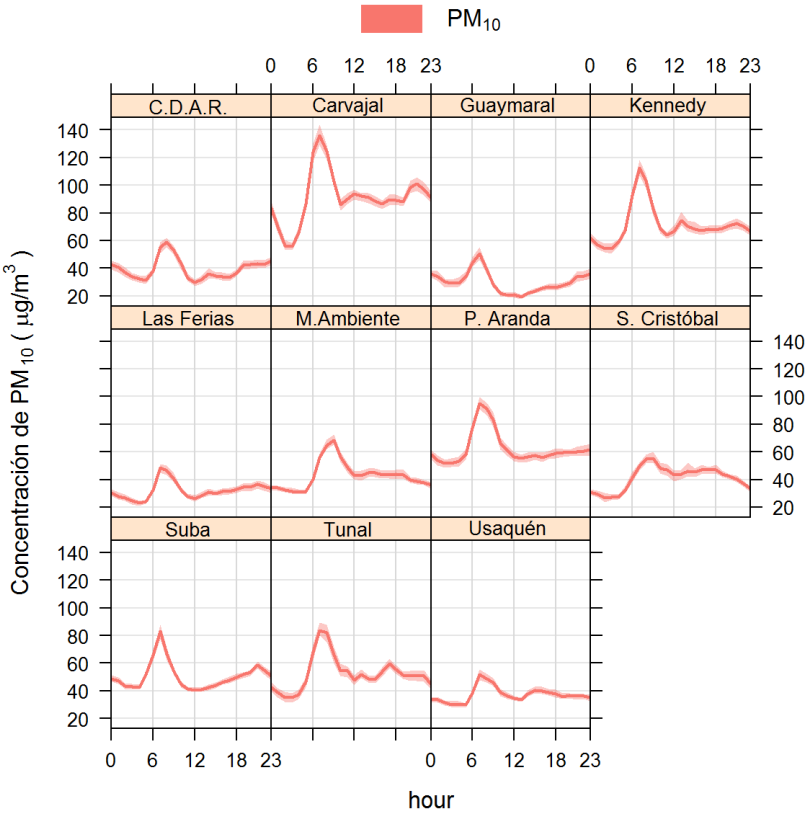


Figura 3-11. Ciclo diario de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

La Figura 3-12 presenta el ciclo anual de los monitores de PM_{10} con una cobertura temporal superior a 75%. Esta figura confirma las observaciones dadas respecto a la Figura 3-9 ya que las concentraciones son generalmente menores a mitad de año y más altas a comienzos y final del mismo. Se observan cambios abruptos entre el primer y segundo semestre de 2014 donde se presentó una disminución generalizada de concentración en Kennedy y un aumento en Puente Aranda. En estaciones como Kennedy, Ministerio de Ambiente, Suba y Usaquén se observa que el primer trimestre del año presentó concentraciones relativamente altas. Para Guaymaral no se cuenta con datos capturados válidos de los tres primeros meses del año más sin embargo se observa que las concentraciones son más altas al finalizar el año.

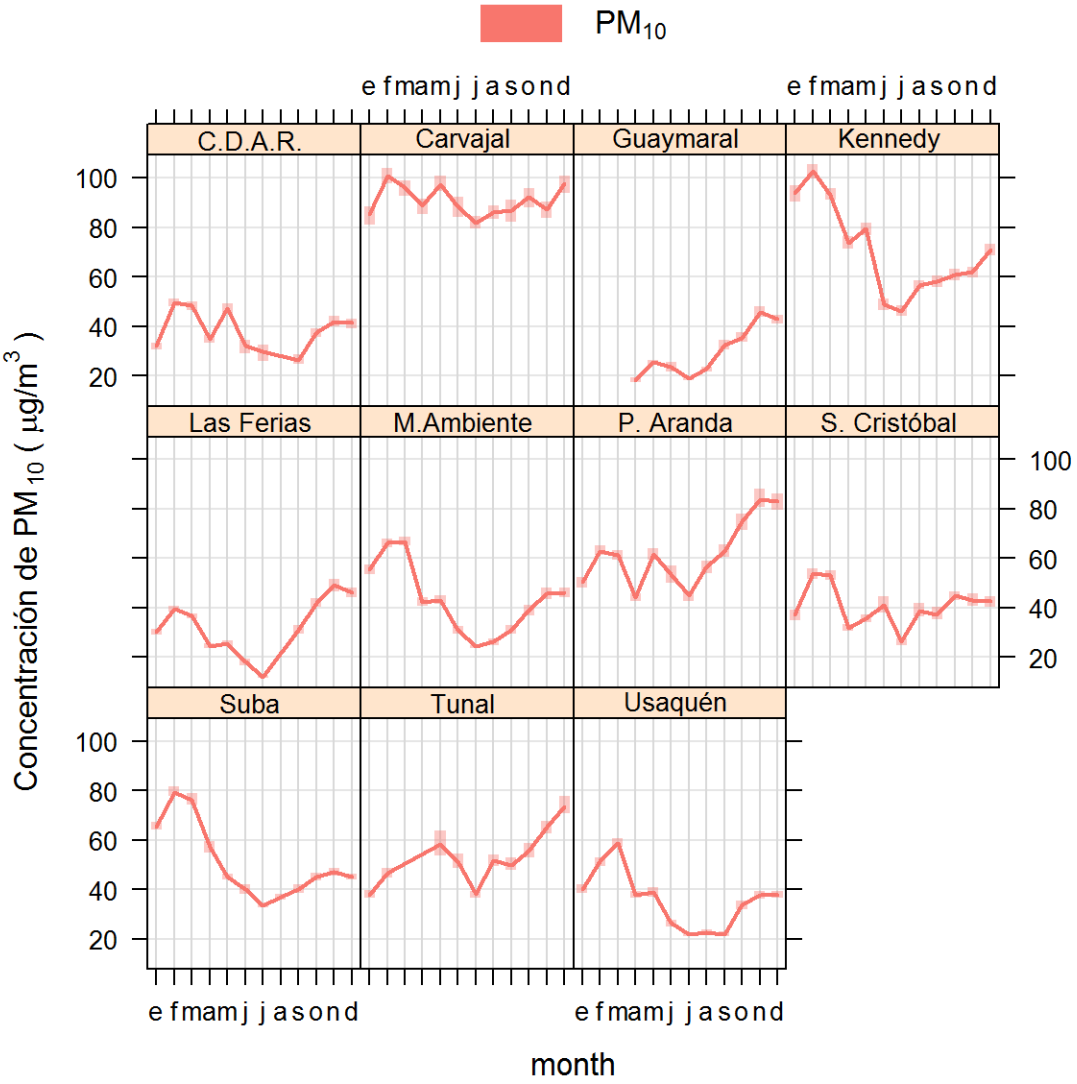


Figura 3-12. Ciclo anual (año 2014) de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM_{10}

La Figura 3-13 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} entre los años 2010 y 2014. Se observa que Kennedy y Carvajal-Sevillana históricamente han mantenido valores altos de concentración y de número de excedencias a la normatividad nacional, lo cual se debe a las características de su zona de influencia, que está sujeta a una alta actividad de fuentes industriales y asociadas al tráfico pesado. Por el contrario, Usaquén y San Cristóbal, ubicadas al oriente de la ciudad, han presentado niveles relativamente bajos de concentración y de dispersión en sus datos.

En la estación Kennedy se registró una reducción progresiva de los niveles de concentración entre 2010 y 2012 y se mantuvieron relativamente constantes en los años

2013 y 2014. En Carvajal-Sevillana se observó un reducción entre 2010 y 2012, tendencia que fue revertida en 2013 y 2014.

En comparación con el año 2013, en 2014 los niveles de concentración aumentaron en Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Carvajal-Sevillana, Tunal y San Cristóbal, disminuyeron en Suba, Las Ferias y Ministerio de Ambiente y se mantuvieron constantes en Usaquén y Kennedy. Se observa que en el año 2014 se presentaron valores atípicamente altos, en comparación con los demás años, los cuales corresponden predominantemente al 27 de junio.

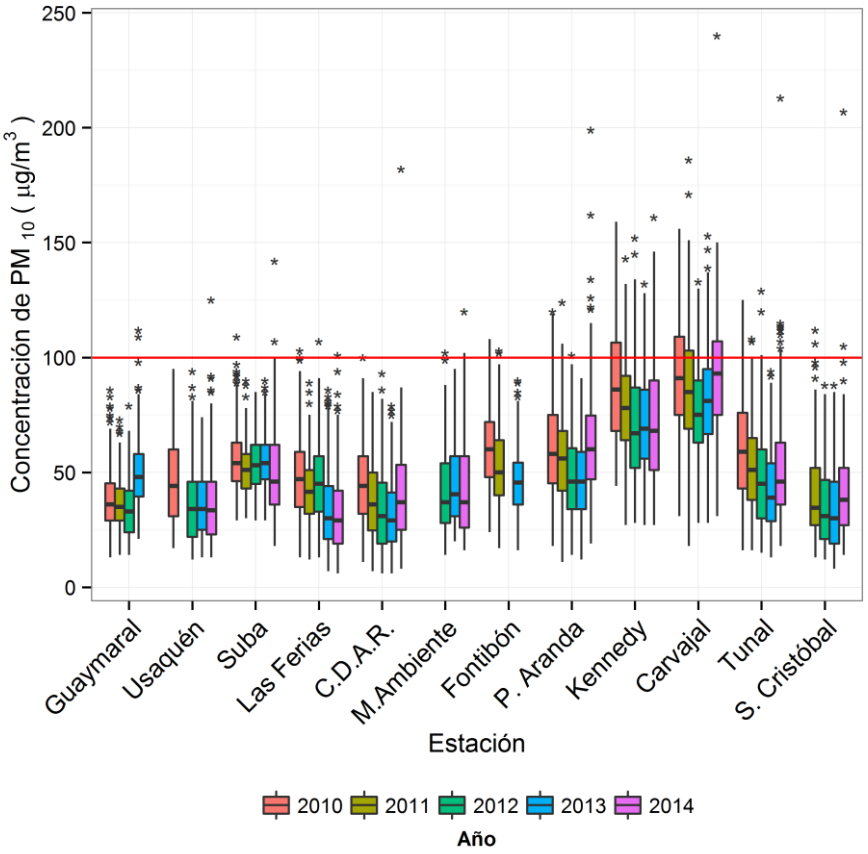


Figura 3-13. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM_{10} por estación de monitoreo en los años 2010 a 2014.

La Tabla 3-5 contiene un resumen de máximos históricos entre los años 2010 y 2014. Entre 2010 y 2013 las estaciones Kennedy y Carvajal-Sevillana registraron los máximos de la RMCAB, un comportamiento esperado teniendo en cuenta las características de su área de influencia. En 2014 el máximo anual de PM_{10} fue observado en Fontibón con un valor de 243 µg/m^3 el cuál es el más alto de los años estudiados, que corresponde al episodio de contaminación transfronteriza del 27 de junio de 2014.

Tabla 3-5. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM_{10} en entre los años 2010 y 2014.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	159	15/02/2010	Kennedy
2011	186	02/07/2011	Carvajal-Sevillana
2012	152	17/02/2012	Kennedy
2013	154	11/12/2013	Carvajal-Sevillana
2014	243	27/06/2014	Fontibón

3.1.3. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

El límite normativo diario de $PM_{2.5}$ es 50 µg/m^3. Durante el año 2014, 10 estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. Se obtuvieron 2706 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global de 74% entre las estaciones que registraron mediciones debido a que durante 2014 entraron en funcionamiento 4 estaciones de monitoreo, por lo cual este porcentaje es relativamente bajo. Las principales fuentes de $PM_{2.5}$ incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (*U.S. Environmental Protection Agency EPA*, 2014).

Comportamiento anual de $PM_{2.5}$

El nivel máximo permisible de material particulado de tamaño inferior a 2,5 µm ($PM_{2.5}$) en un tiempo de exposición anual es 25 µg/m^3, según la Resolución 610 de 2010. La Tabla 3-2 presenta los promedios anuales en los años 2013 y 2014 en las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% del total de datos posibles del año. La Figura 3-2 presenta un resumen gráfico para el año 2014. Se observa que las estaciones Kennedy y Carvajal-Sevillana excedieron el valor normativo con 32 µg/m^3 y 35 µg/m^3, respectivamente. Estas estaciones están localizadas en el suroccidente de Bogotá, que es una zona con concentraciones relativamente altas de material particulado lo cual se debe a la alta actividad de fuentes fijas y móviles. Por el contrario, la estación Usaquén, ubicada en el norte de Bogotá, registró la concentración anual más baja con 13 µg/m^3. Estas diferencias evidencian la heterogeneidad espacial existente en Bogotá en términos de contaminación atmosférica.

Tabla 3-6. Promedio anual de $PM_{2.5}$ durante los años 2013 y 2014. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m^3. Base de tiempo diaria.

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2014 (µg/m^3)
Usaquén	N.R.	13
Suba	N.R.	21
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	20
Kennedy	28	**32**
Carvajal-Sevillana	N.R.	**35**
Tunal	N.R.	23

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En el 2013 la estación Kennedy fue la única con una cobertura temporal superior a 75%, teniendo en cuenta que monitores adicionales entraron en operación el 1 de octubre del mismo año. La concentración de $PM_{2.5}$ en esta estación aumentó en el año 2014 en 4 µg/m^3.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-3 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación

espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ (basado en promedios diarios) en 8 estaciones durante el año 2014. Las Ferias y San Cristóbal no cumplen con el criterio de cobertura temporal de 75% al tener porcentajes de 68% y 65%, respectivamente. Sin embargo, teniendo en cuenta que estos valores se encuentran sobre 65% y para disminuir las incertidumbres del método, se consideran como referencia en el mapa. Los resultados muestran que la zona occidental de Bogotá está sujeta a niveles más altos de este contaminante, especialmente el suroccidente de la ciudad.

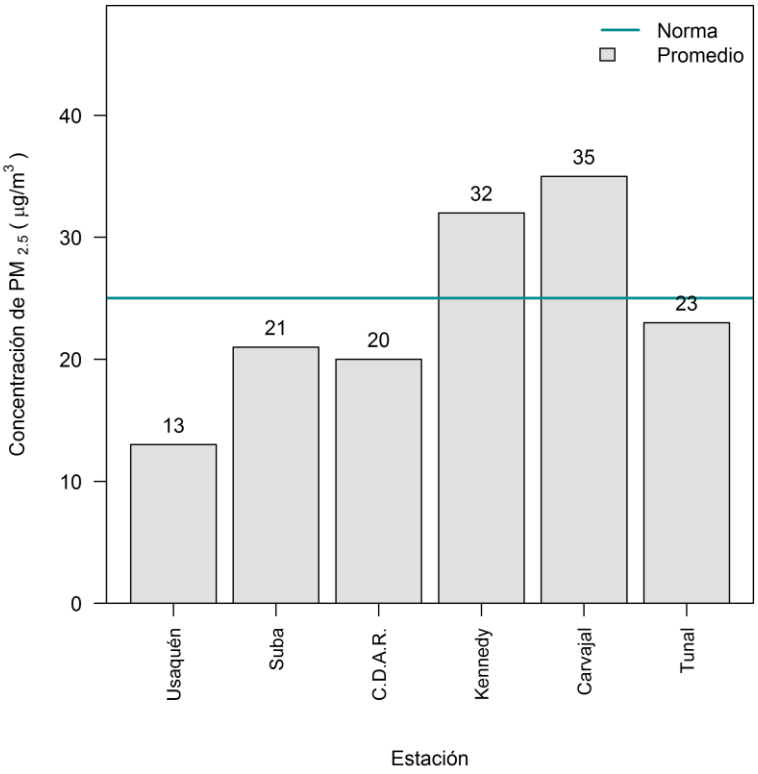


Figura 3-14. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ durante el año 2014 por estación de monitoreo.

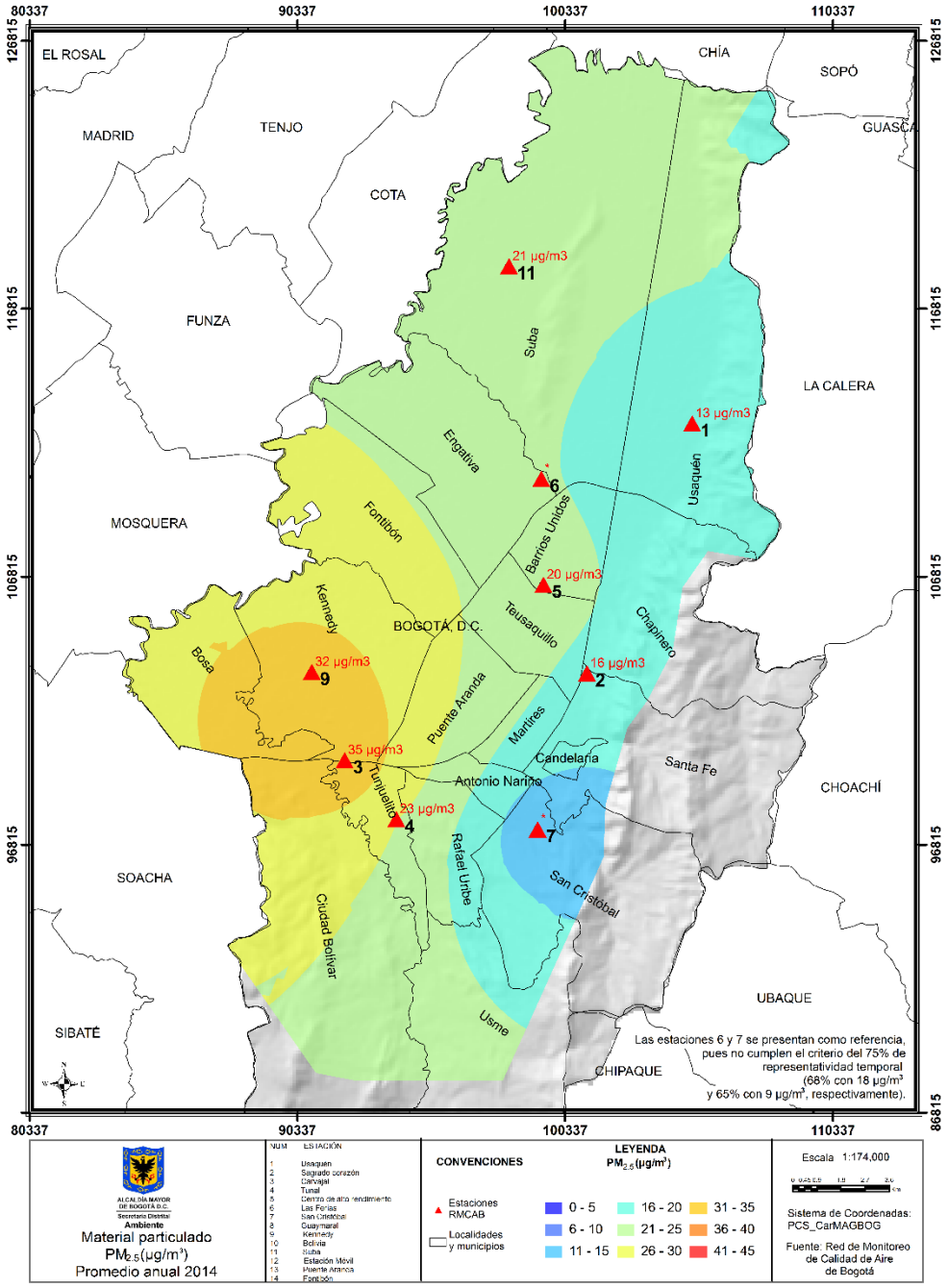


Figura 3-15. Material particulado ($PM_{2.5}$) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014. Se incluyen las estaciones Las Ferias y San Cristóbal como referencia porque no cumplen con el criterio de cobertura temporal de 75% (68% y 65% con promedios anuales de 18 µg/m^3 y 9 µg/m^3, respectivamente)

Comportamiento de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ (24h)

La Figura 3-16 y la Tabla 3-7 contienen un resumen de concentraciones máximas y del número de excedencias de la norma diaria para $PM_{2.5}$ en el año 2014. Con excepción de

las estaciones Guaymaral y Usaquén, ubicadas en el norte de la ciudad, y de San Cristóbal, localizada el suroriente, en todos los sitios de medición se presentaron excedencias del límite máximo permisible. Carvajal-Sevillana y Kennedy reportaron el mayor número de incumplimientos normativos con 28 y 17, respectivamente. Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente presentaron 1 excedencia cada una, mientras que en Suba ocurrieron 2 y en Tunal 10.

El máximo registro diario de la RMCAB para $PM_{2.5}$ se presentó en Carvajal-Sevillana el 27 de junio de 2014 con 77 µg/m^3. En este día ocurrió un evento generalizado de alta concentración de material particulado producto de contaminación transfronteriza. Usaquén, Las Ferias y San Cristóbal también registraron sus máximos del año en este día. El 31 de marzo de 2014 Suba y Kennedy coincidieron en sus registros mientras que el 6 de noviembre sucedió para Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente. En esta última fecha y sus días cercanos ocurrió un incendio de un depósito de llantas en la localidad de Fontibón, el cual presentó una afectación de la calidad del aire que fue detectada por las estaciones ubicadas en el centro y oriente de la ciudad.

El segundo registro máximo correspondió a 67 µg/m^3 en la estación Kennedy. En la comparación mutua de excedencias y de valores máximos, es importante tener en cuenta la representatividad temporal de las estaciones, especialmente en Guaymaral, la cual tiene una cobertura temporal de 20% ya que el monitor inició operación en el mes de octubre.

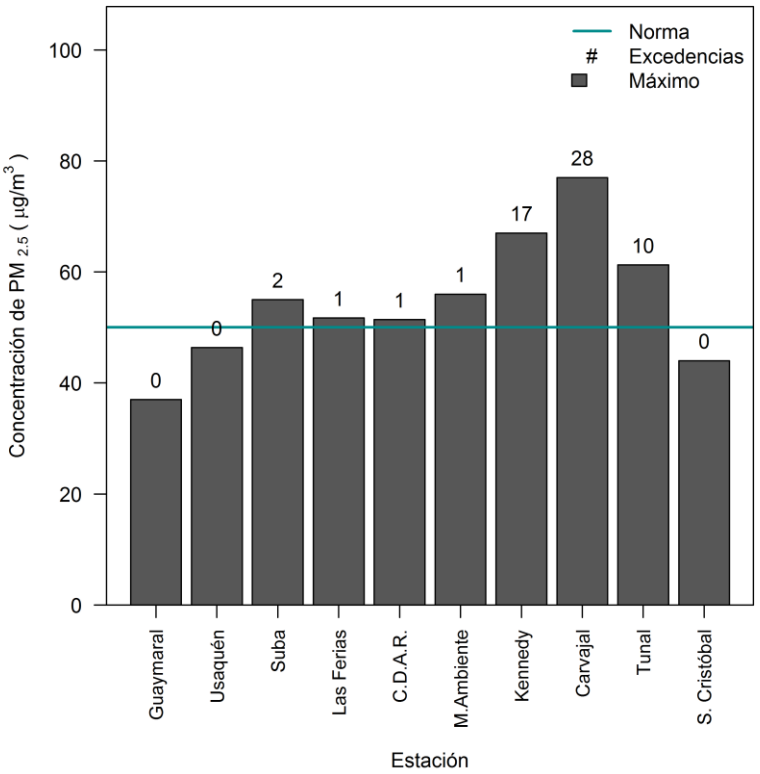


Figura 3-16. Máximo y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria para el año 2014.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo no muestra ningún registro en Ministerio de Ambiente pero sí una

excedencia el 6 de noviembre. Este hecho da un indicio de que las concentraciones registradas en este día muestran la ocurrencia de un episodio singular de alta concentración en Bogotá. El 27 de junio, Usaquén estuvo propensa a superar la norma al tener un valor en el rango descrito.

En el año 2013 la estación Kennedy registró 2 excedencias con un porcentaje de cobertura temporal de 98%, mientras que en el 2014 se reportaron 17.

Tabla 3-7. Resumen de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2014. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Excedencias norma 50 µg/m³	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma[7]
Guaymaral	72	20%	0	37	19/12/2014	0
Usaquén	303	83%	0	46	27/06/2014	1
Suba	279	76%	2	55	31/03/2014	1
Las Ferias	249	68%	1	52	27/06/2014	3
Centro de Alto Rendimiento	306	84%	1	51	06/11/2014	5
MinAmbiente	269	74%	1	56	06/11/2014	0
Kennedy	325	89%	17	67	31/03/2014	17
Carvajal-Sevillana	316	87%	28	77	27/06/2014	24
Tunal	351	96%	10	61	07/12/2014	10
San Cristóbal	236	65%	0	44	27/06/2014	0

N.R.: no representativo. Los datos diarios tienen una cobertura temporal inferior a 75%.

La Tabla 3-8 presenta el número de excedencias de $PM_{2.5}$ por estación y por mes. Las mayores excedencias se presentaron en los meses de inicio y final de año, especialmente en el primer trimestre. Se observa que el único incumplimiento de Las Ferias ocurrió el 27 de junio, fecha correspondiente al episodio generalizado de alta concentración en la ciudad.

[7] Mayor a 45 µg/m³ y menor o igual a 50 µg/m³

Tabla 3-8. Número de excedencias de la norma diaria de $PM_{2.5}$ (50 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Guaymaral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usaquén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suba	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Las Ferias	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Kennedy	0	2	5	1	0	1	0	0	0	3	1	4	17
Carvajal-Sevillana	7	8	11	0	0	1	0	0	0	1	0	0	28
Tunal	0	0	3	0	0	1	0	0	0	2	2	2	10
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de excedencias	**7**	**10**	**20**	**2**	**0**	**4**	**0**	**0**	**0**	**6**	**5**	**6**	***60***
Días de excedencias	**7**	**8**	**12**	**1**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**	**4**	**2**	**5**	***40***

Calendario de contaminación por $PM_{2.5}$ durante el año 2014

Las Figura 3-17, Figura 3-18 y Figura 3-19 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en estaciones con concentraciones altas (Carvajal-Sevillana), concentraciones en rangos medios (Suba) y concentraciones bajas (Usaquén) mostrando el contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. Se puede observar el contraste del día 27 de junio en comparación a los otros días en el año, en especial para Carvajal-Sevillana y Usaquén.

En todos los sitios de medición analizados se observa que los niveles de concentración disminuyen en los meses de julio y agosto, comportamiento que está asociado al aumento de la velocidad del viento.

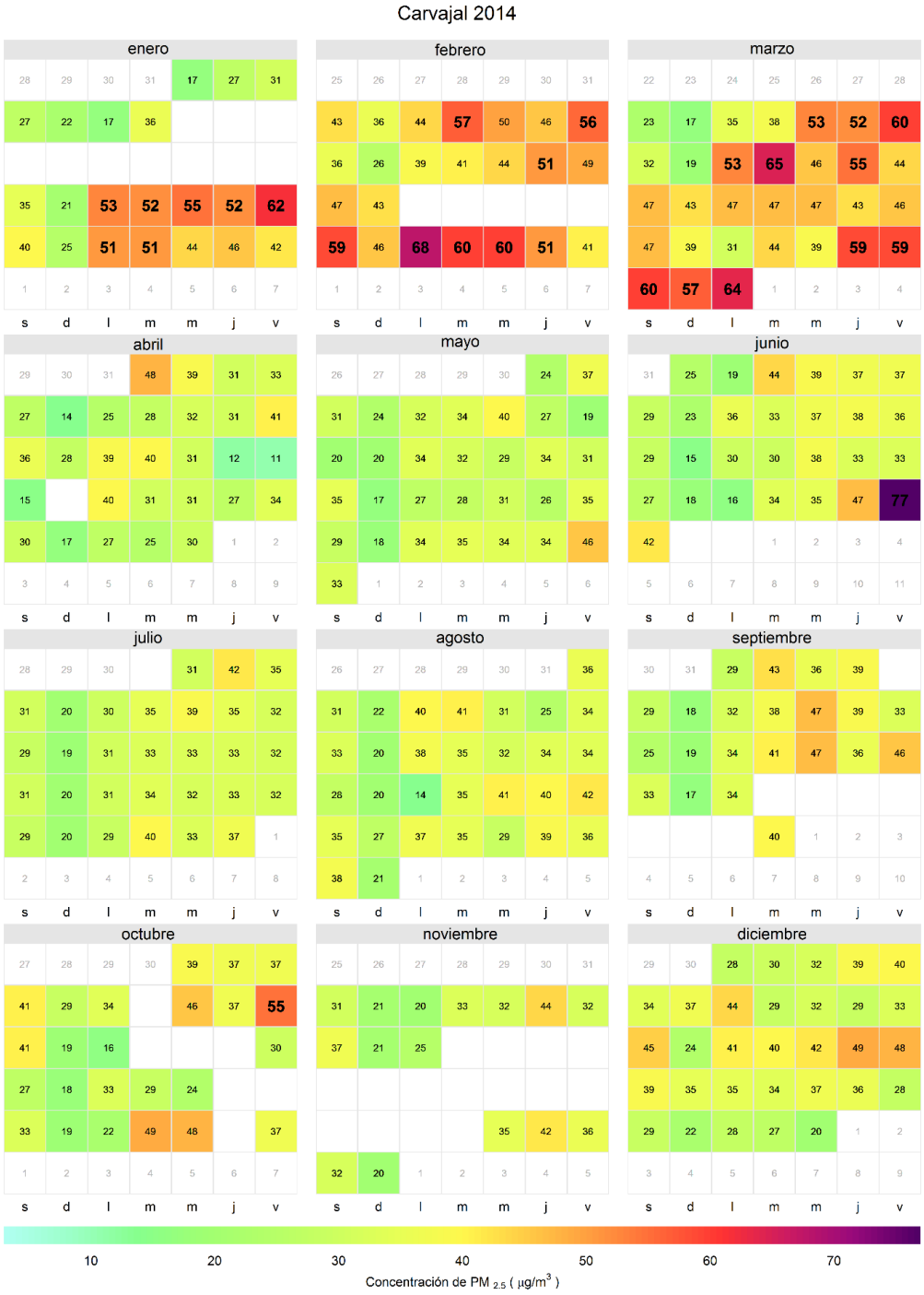


Figura 3-17. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

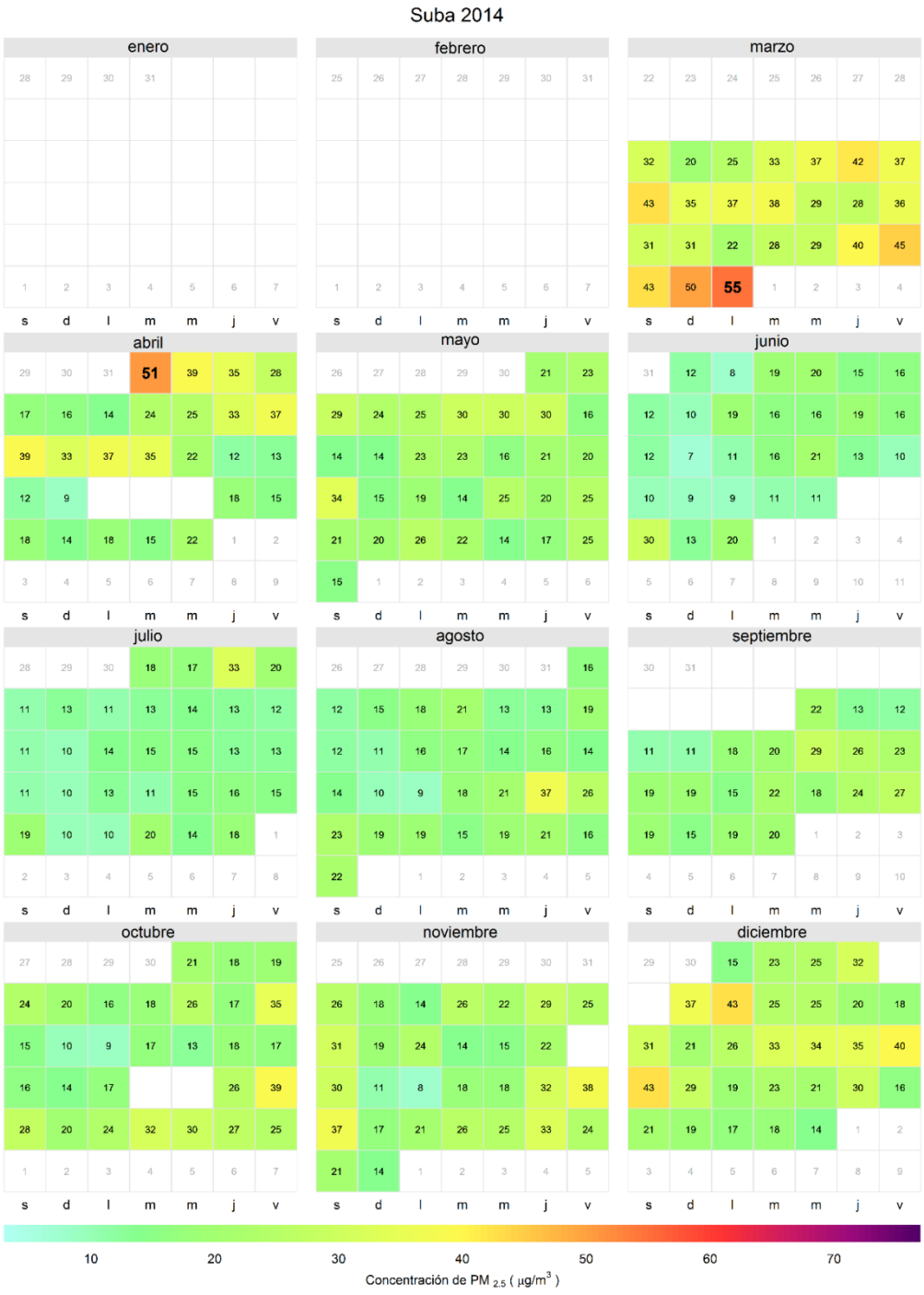


Figura 3-18. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

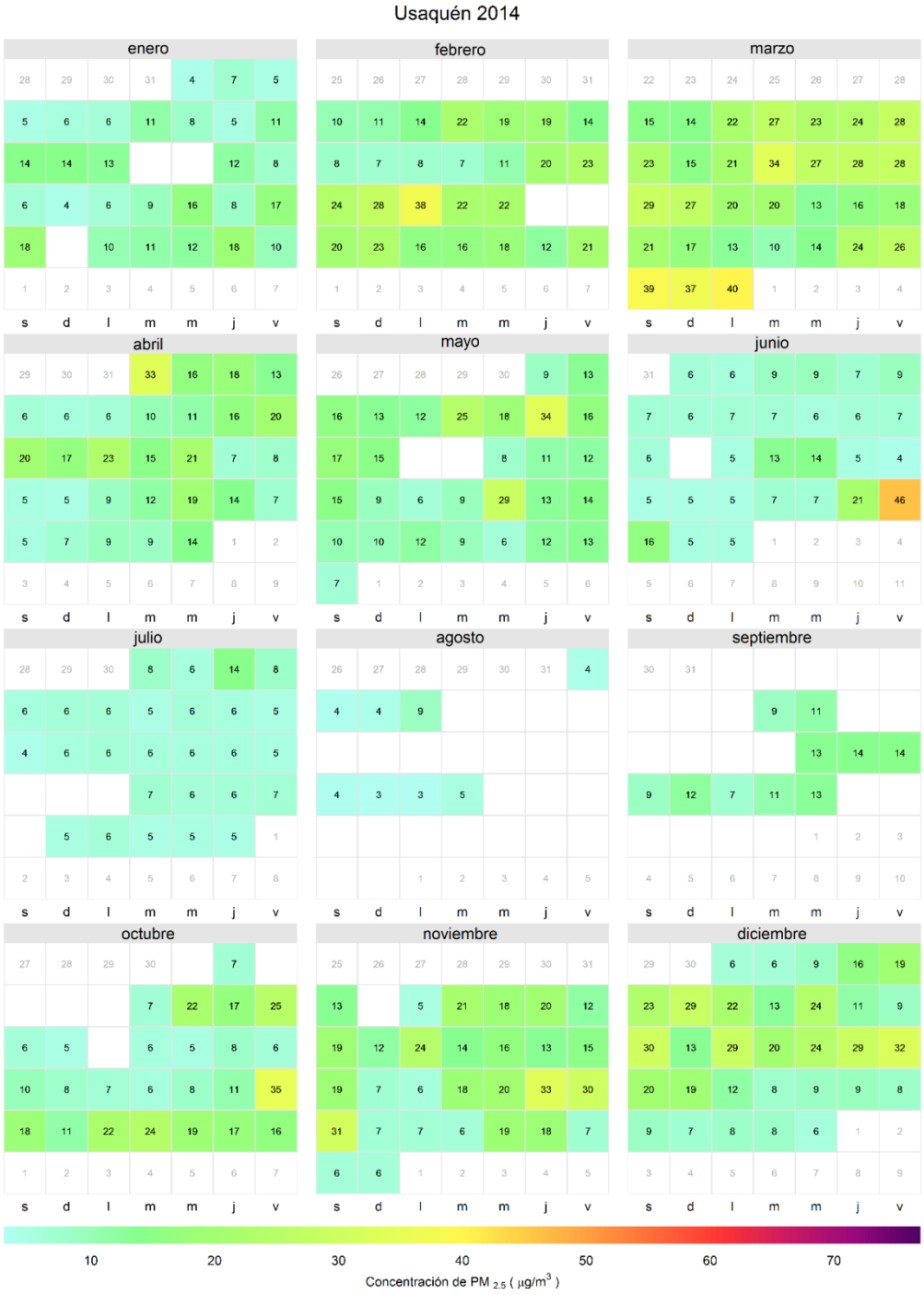


Figura 3-19. Diagrama calendario para $PM_{2.5}$ durante el año 2014 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-20 contiene la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Se observa que los domingos y los lunes son por lo general los días con las menores concentraciones, lo cual se atribuye a la diferencia en el nivel de actividad del domingo con los demás días de la semana y en el caso del lunes a la influencia remanente del fin de semana y la presencia de días feriados. Los martes y sábados son los siguientes días con las concentraciones más bajas.

El ciclo más heterogéneo y los niveles más altos se observan en Carvajal-Sevillana donde existe un amplio contraste entre el domingo y los demás días de la semana. Como se ha mencionado previamente, esta estación está cercana a la influencia de fuentes de tráfico pesado e industrias. Por el contrario, la estación Usaquén tiene las concentraciones diarias más bajas así como el ciclo más homogéneo al ser relativamente menores las diferencias entre los días de la semana.

Como referencia, en la figura se adicionó el límite máximo permisible de 50 $\mu g/m^3$ establecido en la Resolución 610 de 2010 sobre el cual es posible observar las excedencias. En concordancia con la discusión de las secciones previas, Carvajal-Sevillana y Kennedy presentaron la mayor cantidad de excedencias las cuales ocurren de lunes a domingo para Carvajal-Sevillana y entre martes y sábado para Kennedy. Se observa que aunque Carvajal-Sevillana tiene los mayores niveles de concentración, su dispersión es menor en comparación con otras estaciones con altos niveles de contaminación. Las características de los alrededores de las estaciones influyen en el grado de distribución de las concentraciones medidas.

El comportamiento en función de los meses enero a diciembre de 2014 se observa en la Figura 3-21. Con excepción de Carvajal-Sevillana, los ciclos anuales de las estaciones muestran que junio, julio y agosto se caracterizan por presentar concentraciones más bajas, lo cual se atribuye al comportamiento meteorológico de la ciudad cuando la velocidad del viento se incrementa y se favorece la ventilación de la ciudad. Por el contrario, los meses de febrero, marzo y diciembre presentaron las concentraciones más altas del año.

La variabilidad del ciclo anual para la estación Carvajal-Sevillana muestra concentraciones particularmente altas en los primeros tres meses del año. A partir de abril los niveles disminuyen drásticamente así como la diferencia entre los promedios mensuales. A diferencia de las demás estaciones, no se observa una disminución pronunciada de los niveles de concentración para los meses de la mitad del año. Es posible que la exposición de esta estación a fuentes directas de contaminación (fijas y móviles) reduzca la influencia de áreas más lejanas y, por tanto, no sea posible evidenciar cambios generales en el comportamiento meteorológico de la ciudad. Por el contrario, el ciclo semanal sí muestra un amplio contraste al ser reflejo del cambio de actividades entre los días de la semana.

En términos de distribución y con excepción de Carvajal-Sevillana, los meses de comienzo y final de año son los más dispersos al tener rangos intercuartílicos notablemente mayores.

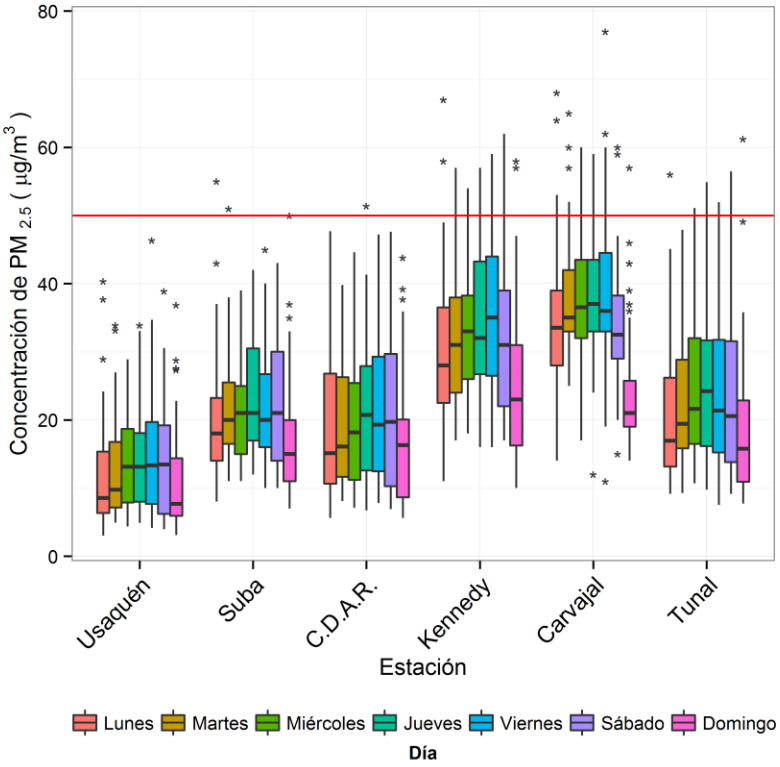


Figura 3-20. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

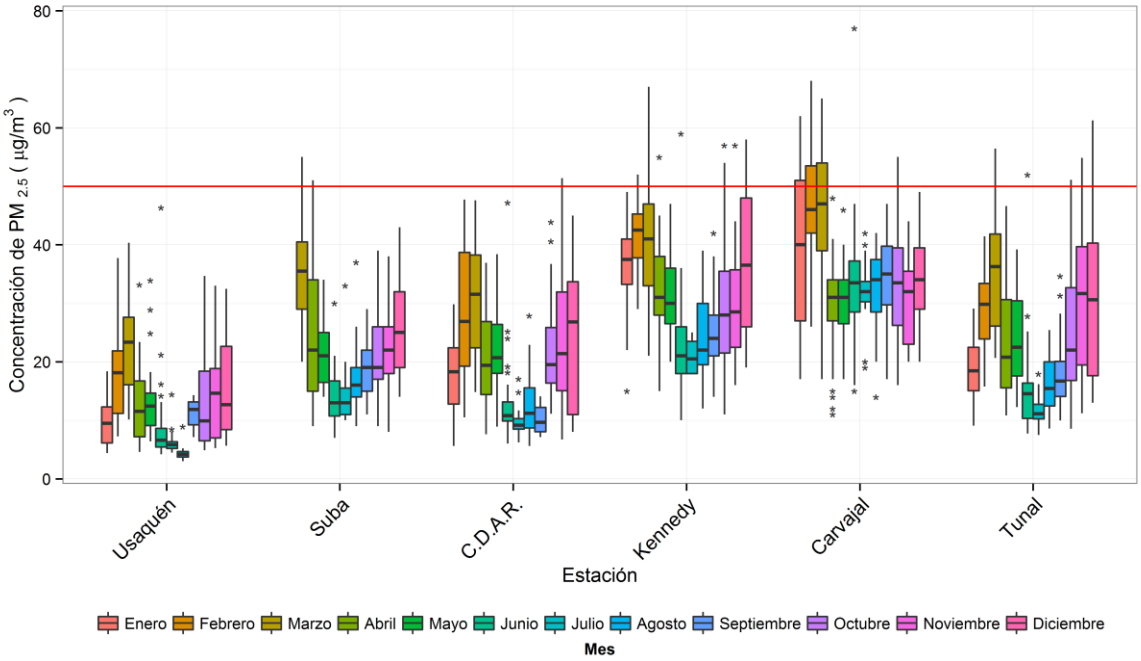


Figura 3-21. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses del año 2014 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

Ciclo semanales, diarios y anuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-22 presenta el perfil semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Se incluye los análisis de la estación Ministerio de Ambiente porque tiene una representatividad temporal de 74%, valor que es muy cercano al criterio mencionado. Conforme a lo descrito en la sección anterior, en todas las estaciones analizadas los lunes y los domingos presentaron las menores concentraciones. Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan ciclos más variables, caso contrario a lo que sucede en la estación Usaquén, en la cual las concentraciones diarias y los rangos de los intervalos de confianza son relativamente bajos. En Ministerio de Ambiente se observa que los niveles de concentración se mantienen constantes entre miércoles y sábado y son menores en los domingos, lunes y sábados.

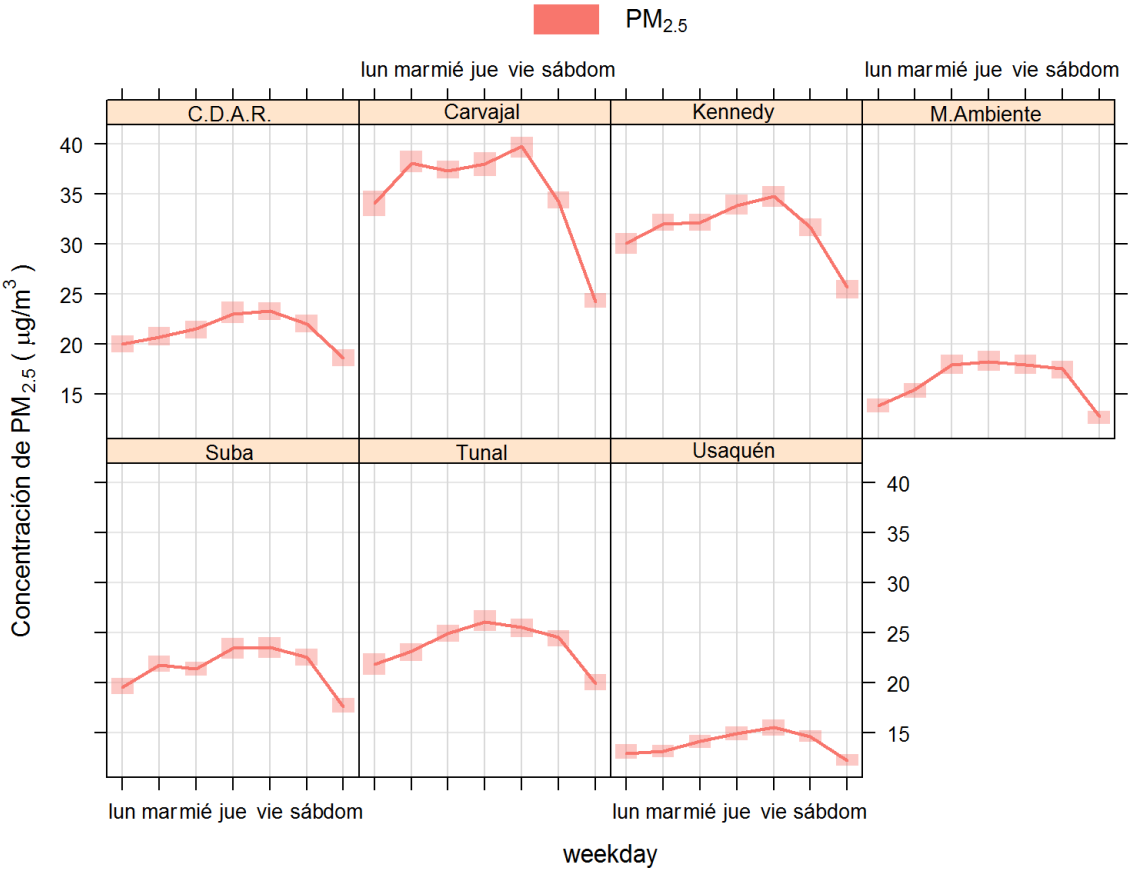


Figura 3-22. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-23 presenta los ciclos diarios por estación de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$. En todos los sitios de monitoreo se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m., especialmente en Carvajal-Sevillana y Kennedy. Este comportamiento se atribuye a la influencia de las fuentes móviles durante la denominada “hora pico”. Para estas dos estaciones y Suba se evidencia un aumento de concentración después de las 6:00 p.m., que puede deberse a actividades industriales o de

tráfico pesado que se desarrollan en horas de la noche. Centro de Alto Rendimiento, Ministerio de Ambiente, Tunal y Usaquén presentan aumentos menores en horas de la tarde que coinciden con el respectivo incremento del flujo vehicular. A manera de caso especial, se observa que en Suba la concentración de $PM_{2.5}$ tiene un descenso abrupto en horas cercanas al medio día, lo cual podría estar asociado a una reducción del flujo vehicular en dicho momentos. Las diferencias existentes entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

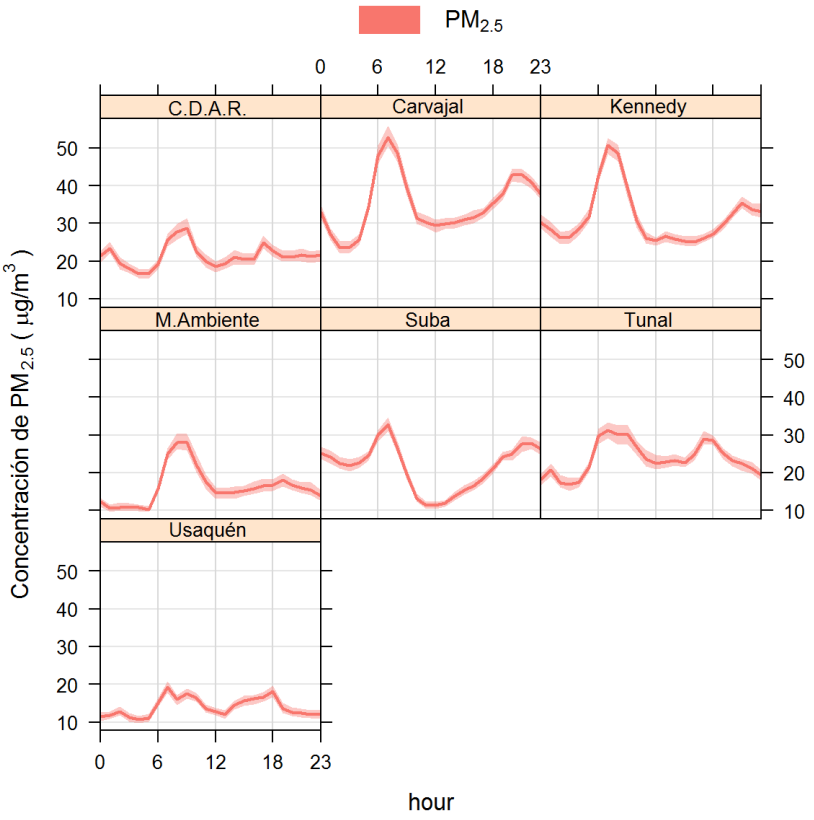


Figura 3-23. Ciclos diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación en el año 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

Los ciclos anuales de la Figura 3-24 confirman las observaciones dadas en la sección anterior con respecto a la Figura 3-21. Con excepción de Carvajal-Sevillana, las concentraciones disminuyen abruptamente en los meses de julio y agosto, como consecuencia del aumento de la velocidad de los vientos que favorece la ventilación de la ciudad. Se observa que para todas las estaciones (con excepción de Suba y Ministerio de Ambiente cuyos monitores no estaban operativos a principios de año) enero presenta concentraciones bajas en comparación con meses como febrero y marzo. Esto se debe a la influencia de los primeros días del año en los cuales la actividad de la ciudad es reducida.

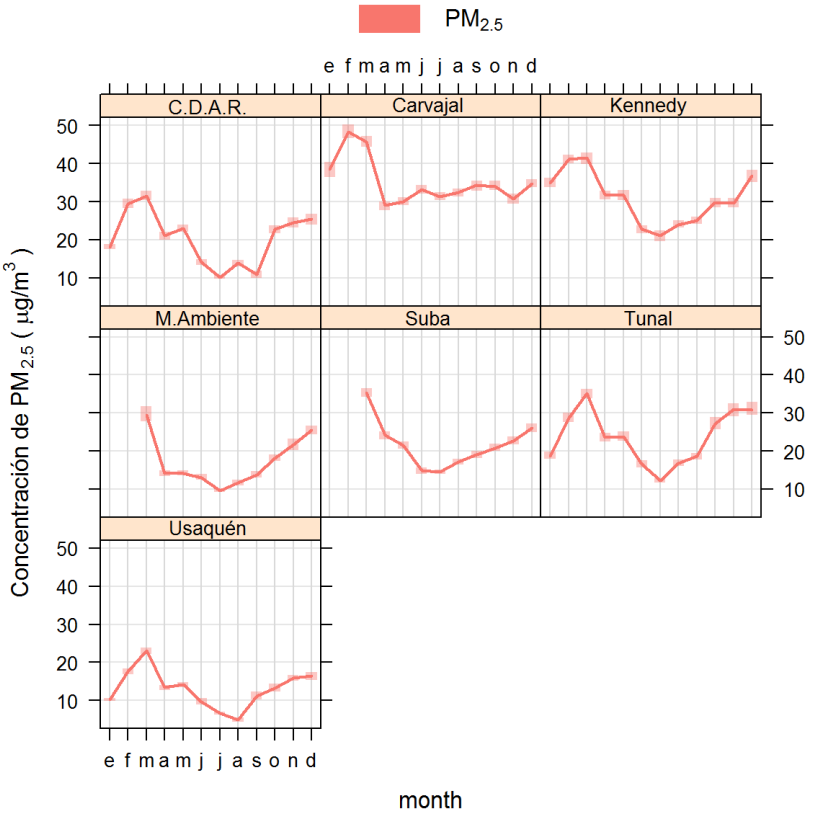


Figura 3-24. Ciclo anual (año 2014) de $PM_{2.5}$ para 7 monitores de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%, con excepción de Ministerio de Ambiente con 74%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis de las tendencias históricas es importante aclarar que los periodos entre 2010 y 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que el año 2014 corresponde al análisis de 6 estaciones en conjunto (con cobertura temporal suficiente) teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 monitores adicionales iniciaron operación.

La Figura 3-25 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy entre los años 2010 y 2014 y de las estaciones Usaquén, Suba, Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana y Tunal en 2014. Por tanto, el análisis de tendencias históricas (en periodos de tiempo superiores a un año) solamente es posible en Kennedy. Se observa que entre 2010 y 2012, los niveles de concentración en este sitio de medición presentaron una reducción progresiva, se mantuvieron constantes en 2013 y aumentaron en 2014. En todos los años se observaron excedencias del límite máximo permisible diario. La dispersión entre los diagramas de caja se mantuvo relativamente constante.

La Tabla 3-9 contiene un resumen histórico de máximos entre 2010 y 2014. Es importante destacar que en los periodos de 2010 a 2013 solamente existieron mediciones válidas de

Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue 83 µg/m^3 el 8 de diciembre de 2010, el cual es superior a la concentración reportada en Carvajal-Sevillana (77 µg/m^3) en el episodio de contaminación transfronteriza del 27 de junio de 2014, que corresponde al máximo valor diario de 2014.

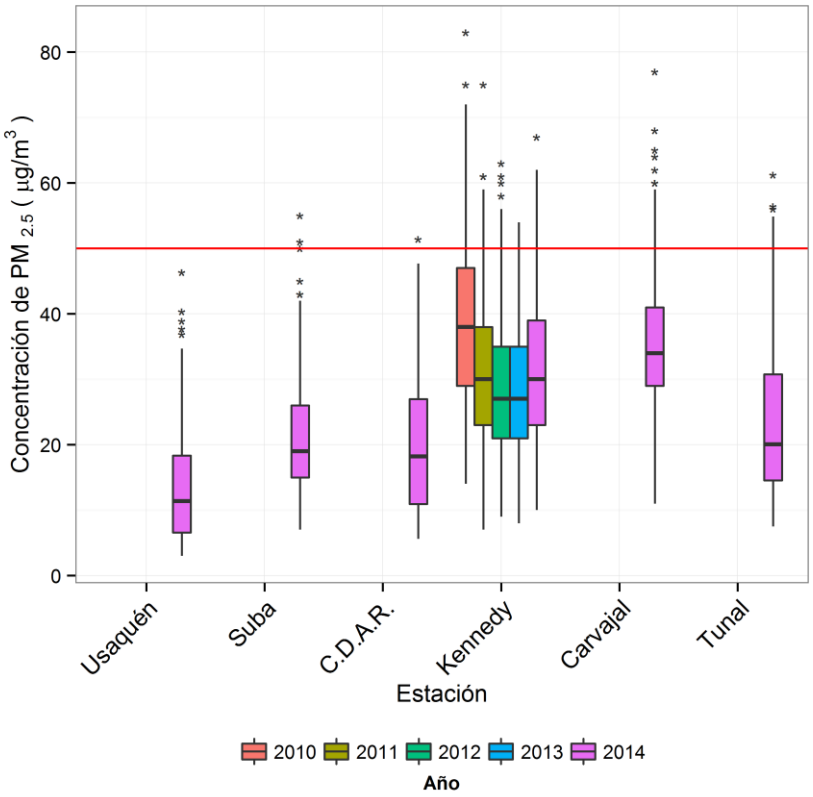


Figura 3-25. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para los años 2010 a 2014.

Tabla 3-9. Resumen histórico de concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ entre los años 2010 y 2014. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2010 y 2013.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	83	08/12/2010	Kennedy
2011	75	17/03/2011	Kennedy
2012	63	17/02/2012	Kennedy
2013	55	16/01/2013	Kennedy
2014	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana

3.1.4. Relación de concentración $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 3-10 muestra la relación de concentraciones promedio anuales entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el año 2014 y que tienen una cobertura temporal superior a 75%. Seis (6) estaciones cumplieron este criterio las cuales fueron Usaquén, Suba, Centro de Alto Rendimiento, Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal.

La relación entre PM_{10} y $PM_{2.5}$ muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. Las fracciones más altas fueron observadas en Centro de Alto Rendimiento y Kennedy lo cual indica que en el área cubierta por estas estaciones habría una mayor influencia por parte de las fuentes de combustión. Por el contrario, Usaquén, Ministerio de Ambiente y Carvajal-Sevillana registraron los menores valores con 0,35, 0,37 y 0,38, respectivamente, reflejando una mayor participación de material particulado grueso asociado a la influencia de la resuspensión de partículas.

En resumen, las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003) y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

Tabla 3-10. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el año 2014 y que tienen cobertura temporal superior a 75%. Como excepción y referencia, se incluye Ministerio de Ambiente con una cobertura temporal de 74% en $PM_{2.5}$.

Estación	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Usaquén	13	37	0,35
Suba	21	51	0,41
Centro de Alto Rendimiento	20	40	0,50
Ministerio de Ambiente	16	43	0,37
Kennedy	32	71	0,45
Carvajal-Sevillana	35	91	0,38
Tunal	23	53	0,43

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmosfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

En las secciones que se presentan a continuación, las concentraciones de los gases serán reportadas en unidades de masa por unidad de volumen. En decir, las concentraciones de O_3, NO_2 y SO_2 se presentarán en $\mu g/m^3$ mientras que las correspondientes a CO en mg/m^3. El reporte en este sistema está acorde al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Teniendo en cuenta que en informes anteriores los resultados se reportaron en ppb y ppm, en el Anexo B se proporciona una tabla con los factores de conversión de unidades.

3.2.1. Comportamiento de la concentración de O_3

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el año 2014, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1. La estación Fontibón reporta una cobertura temporal notablemente baja (43%) al salir de operación en el mes de julio.

Comportamiento de las concentraciones horarias de O_3

Durante el 2014 se obtuvieron 82620 (ochenta y dos mil seiscientos veinte) promedios horarios válidos de O_3, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 86% entre las estaciones que reportaron al menos una medición en el año. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora de ocurrencia por estación se presentan en la Tabla 3-11. La Figura 3-26 es un reflejo de la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

Tabla 3-11. Resumen descriptivo de los datos horarios de O_3 por estación para el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m^3	Máximo [µg/m^3][8]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[9]
Guaymaral	96%	13	159	29/01/2014 15:00	23
Usaquén	90%	17	179	29/03/2014 15:00	13
Suba	97%	0	120	29/01/2014 14:00	4
Las Ferias	82%	7	168	29/03/2014 14:00	15
Centro de Alto Rendimiento	89%	16	157	29/03/2014 14:00	13
MinAmbiente	78%	1	123	29/03/2014 15:00	2
Fontibón	43%	16	165	29/03/2014 14:00	18
Puente Aranda	98%	2	126	29/03/2014 14:00	5
Carvajal-Sevillana	79%	0	106	30/03/2014 12:00	0
Tunal	94%	1	128	29/03/2014 14:00	2
San Cristóbal	96%	1	128	29/01/2014 14:00	2

Con excepción de Carvajal-Sevillana y Suba, todas las estaciones presentaron excedencias al límite normativo horario de 120 µg/m^3, especialmente Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Fontibón que se localizan en el norte, occidente y centro de la ciudad. A

[8] En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O_3, NO_2, CO y SO_2) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m^3 y µg/m^3 acordemente.
[9] Mayor o a 108 µg/m^3 y menor o igual a 120 µg/m^3.

pesar de su baja cobertura temporal, Fontibón reportó 16 excedencias, lo que indica que de haber continuado su funcionamiento en el segundo semestre de 2014, el número de incumplimientos normativos pudo haber sido mayor. A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur de la ciudad (Carvajal-Sevillana Tunal y San Cristóbal) tienden a registrar niveles menores de ozono, un comportamiento que requiere de mayor investigación. Una excepción es Ministerio de Ambiente, ubicada en el centro de la ciudad que registró solamente una excedencia. En resumen, el número total de excedencias del límite normativo diario de ozono en la RMCAB fue 74, representando un 0,1% de los datos capturados válidos.

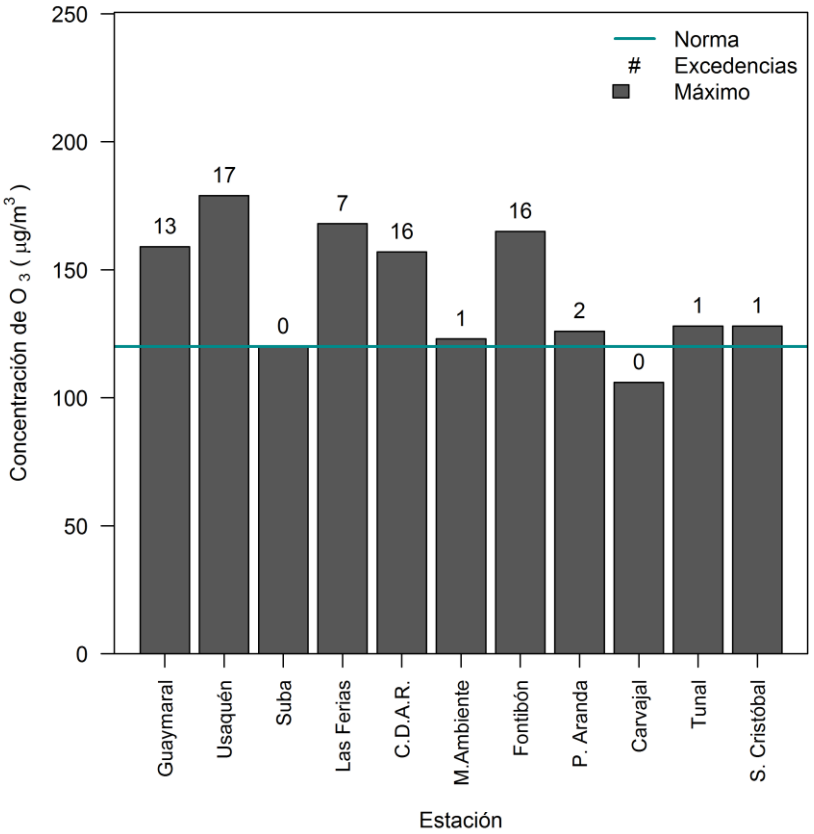


Figura 3-26. Máximos y excedencias de la norma de O_3 en base horaria por estación durante el año 2014.

La cantidad de datos que se encontraron entre el 90% y 100% de la norma muestra las estaciones que están propensas a presentar excedencias o a generar mayores incumplimientos. Se observa que a pesar de que Suba no registró excedencias, presentó 4 datos en este rango y su valor máximo fue precisamente el límite máximo permisible, el cual no se considera excedencia. Carvajal-Sevillana, por el contrario no presenta datos entre estos límites, indicando concentraciones notablemente bajas en comparación con las demás estaciones de la RMCAB.

En términos de concentraciones máximas, se observó una tendencia particular el 29 de marzo de 2014 entre 2:00 p.m. y 3:00 p.m., momento en el cual siete estaciones reportaron simultáneamente sus valores horarios más altos del año. Estas fueron Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Ministerio de Ambiente, Fontibón, Puente Aranda y Tunal. La

distancia existente entre estos sitios de monitoreo sugiere que se trató de un episodio generalizado a nivel ciudad, similar en extensión geográfica al ocurrido el 27 de junio de 2014 para material particulado. El día siguiente, 30 de marzo de 2014 a las 12:00 m., la estación Carvajal-Sevillana registró su valor máximo del año. El 29 de enero entre 2:00 p.m. y 3:00 p.m. las estaciones Guaymaral, Suba y San Cristóbal reportaron valores más altos del año, indicando otro episodio singular de alta concentración. El máximo horario de ozono registrado por la RMCAB en 2014 fue 179 µg/m^3 en la estación Usaquén.

En el año 2013 se presentó un total de 28 excedencias correspondientes al 0,04% del respectivo total de promedios válidos. Por el contrario, en el año 2014 se presentaron 74 excedencias, demostrando un incremento considerable y un consecuente deterioro de la calidad del aire en términos de este contaminante.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O_3

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 82146 (ochenta y dos mil ciento cuarenta y seis) promedios que representan el 85% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el año 2014. Se presentaron 237 excedencias del límite máximo permisible de 8 horas (80 µg/m^3, Resolución 610 de 2010). El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios anuales, excedencias y máximos se presenta en la Tabla 3-12. Los promedios anuales que se muestran en la tabla son indicativos para comparación mutua de las estaciones y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles ya que estos no consideran un tiempo de exposición anual.

Con respecto a las excedencias del límite máximo permisible de 80 µg/m^3, se observa que las estaciones Guaymaral, Usaquén y Fontibón dan cuenta del 68% del total. Para esta última estación se cuenta con representatividad temporal de 43% y es posible que de haber continuado el monitoreo más adelante del 1 de julio, el número de excedencias hubiera sido mayor. Como contraste, Ministerio de Ambiente y las estaciones localizadas en el occidente y sur de la ciudad (Puente Aranda, Carvajal-Sevillana, Tunal y San Cristóbal) registraron un total de 12 excedencias, representando 5% del total. Las diferencias observadas muestran que es más adecuado analizar la calidad del aire de Bogotá por sectores en lugar de calcular promedios a nivel ciudad. Entre el 28 de marzo y el 1 de abril las concentraciones de ozono alcanzaron niveles inusualmente altos y se registró un total de 133 excedencias en Guaymaral (18), Usaquén (35), Suba (9), Las Ferias (22), Centro de Alto Rendimiento (17), Ministerio de Ambiente (3), Fontibón (20), Puente Aranda (4) y Tunal (5). Estos cinco días representaron el 56% de las excedencias totales del año demostrando la ocurrencia de un episodio persistente de altas concentraciones en gran parte del área urbana de Bogotá.

La Figura 3-27 presenta el resumen en forma gráfica de máximos y excedencias del límite máximo permisible de la Resolución 610 de 2010 (80 µg/m^3) así como la comparación de los valores máximos con la guía de la Organización Mundial de la Salud de 100 µg/m^3 (Organización Mundial de la Salud, 2006) y con el límite normativo de los *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) de Estados Unidos correspondiente a 75 ppb o 147 µg/m^3 (*U.S. Environmental Protection Agency*, 2012). La comparación con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o 116 µg/m^3 debajo del cual no se esperan efectos sobre la salud y

la calidad del aire se considera "Buena" *(U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards*, 2013) muestra un total de 15 excedencias distribuidas en Usaquén (5), Las Ferias (4), Centro de Alto Rendimiento (2) y Fontibón (4). Con respecto a la normatividad europea (*European Comission - Environment*, 2014) se presentaron 12 excedencias del límite normativo de 120 µg/m^3 en Usaquén (5), Las Ferias (3) y Fontibón (4). Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue 133 µg/m^3, la RMCAB no presentó excedencias del límite normativo de los NAAQS. Con respecto a la guía de la OMS se presentaron 58 excedencias distribuidas en Guaymaral (6), Usaquén (20), Las Ferias (12), Centro de Alto Rendimiento (9) y Fontibón (11).

Tabla 3-12. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximos y respectivos periodos de ocurrencia, de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma (8h) 80 µg/m^3	Máximo (µg/m^3)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	96%	23	49	107	29/03/2014 19:00
Usaquén	90%	31	62	133	29/03/2014 19:00
Suba	97%	22	12	89	31/03/2014 18:00
Las Ferias	81%	25	22	127	29/03/2014 18:00
Centro de Alto Rendimiento	88%	23	30	120	29/03/2014 18:00
MinAmbiente	77%	20	3	90	29/03/2014 19:00
Fontibón	43%	N.R.	50	129	29/03/2014 18:00
Puente Aranda	98%	15	4	97	29/03/2014 18:00
Carvajal-Sevillana	77%	14	0	80	29/03/2014 17:00
Tunal	94%	18	5	95	29/03/2014 18:00
San Cristóbal	95%	20	0	78	29/01/2014 17:00

N.R. No representativo. La cantidad de datos válidos en el año es inferior al 75% del total posible.

La Tabla 3-13 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 µg/m^3) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que, con una diferencia considerable, el primer trimestre del año registró la mayor cantidad de excedencias. Es importante destacar el contraste existente entre el total de incumplimientos y el número de días de excedencias en estos meses. En marzo, por ejemplo, se presentaron 130 excedencias repartidas en 5 días. En los meses de mitad de año no ocurrieron excedencias, producto del comportamiento meteorológico de la ciudad.

Tabla 3-13. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Guaymaral	16	15	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
Usaquén	14	4	28	7	0	0	0	0	0	3	6	0	62
Suba	3	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Las Ferias	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
Centro de Alto Rendimiento	5	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	8	30
MinAmbiente	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Fontibón	11	15	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Puente Aranda	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Carvajal-Sevillana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tunal	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de excedencias	**49**	**34**	**130**	**7**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**3**	**6**	**8**	***237***
Días de excedencias	**6**	**6**	**5**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**1**	**2**	***22***

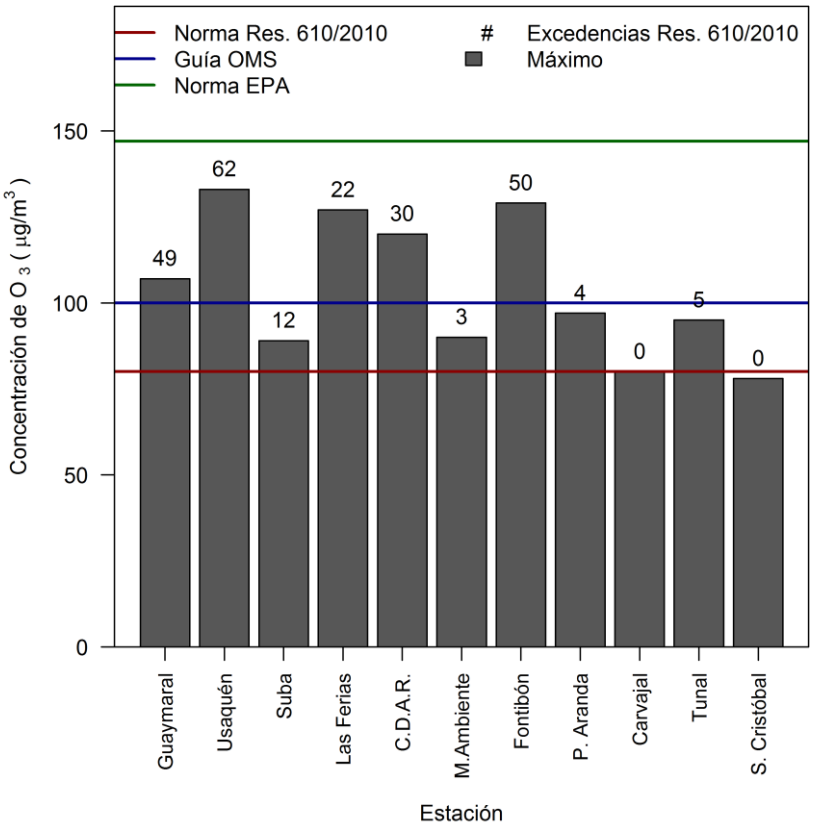


Figura 3-27. Concentraciones máximas y excedencias de la norma de O_3 (80 µg/m^3) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el año 2014.

Con excepción de Fontibón, todas las estaciones de la RMCAB presentaron una cobertura temporal superior a 75%, lo cual permite el cálculo de los respectivos promedios anuales. Usaquén registró el promedio más alto con 31 µg/m^3. Este valor es seguido por los calculados en Las Ferias, Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2 y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual se debe a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Las menores concentraciones promedios fueron observadas en Puente Aranda y Carvajal-Sevillana localizadas en la zona suroccidental de la ciudad.

Los promedios móviles de ocho horas permiten suavizar las tendencias de las concentraciones horarias y visualizar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. El 29 de marzo de 2014 entre 5:00 p.m. y 7:00 p.m., 9 estaciones de la RMCAB coincidieron en el reporte de sus valores máximos evidenciando la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel ciudad, como ya fue discutido. Los demás receptores, Suba y San Cristóbal, reportaron sus máximos el 31 de marzo de 2014 a las 6:00 p.m. y el 29 de enero de 2014 a las 5:00 p.m. Como se mencionó previamente, la máxima concentración de ozono en promedio móvil de 8 horas registrada por la RMCAB fue 133 µg/m^3, valor registrado en la estación Usaquén el 29 de marzo de 2014 a las 7:00 p.m. Es importante considerar que los promedios móviles resumen las 8 horas anteriores que en estos casos corresponden a horas cercanas al mediodía y de la tarde.

La Figura 3-28 corresponde a un mapa con la distribución espacial de las concentraciones anuales de ozono (en base de promedios móviles de 8 horas) en las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal superior a 75%. Como se ha mencionado previamente, se observa que a diferencia del material particulado, donde las altas concentraciones predominan en el suroccidente, el ozono tiende a mantener niveles altos en el norte de la ciudad, especialmente en la localidad de Usaquén. Al ser un contaminante secundario, el ozono presenta ciertas particularidades que están asociadas al comportamiento de sus precursores y al transporte de los mismos sobre Bogotá.

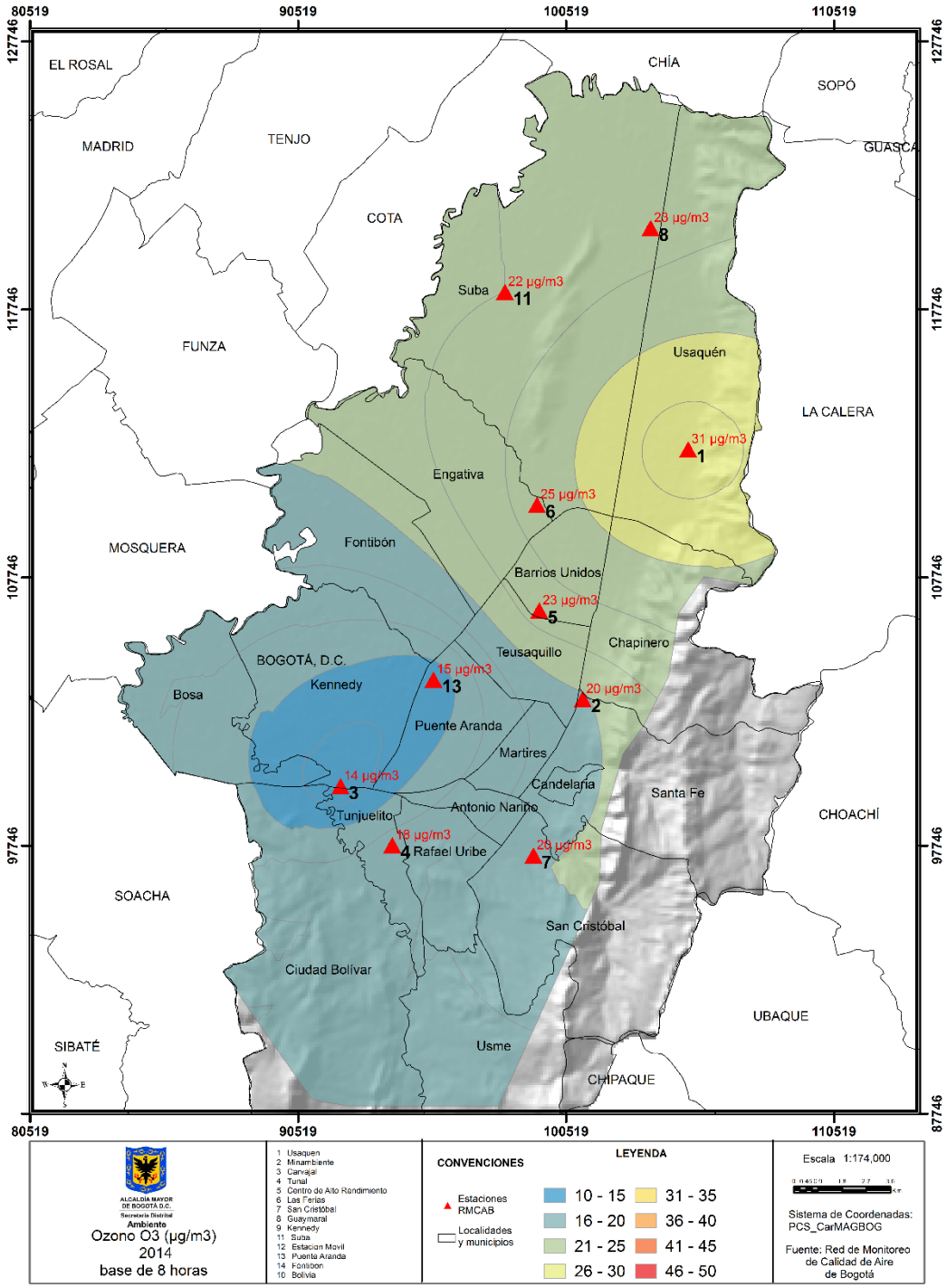


Figura 3-28. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O_3

La Figura 3-29 presenta la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo. En general las concentraciones más altas se presentan los lunes y los domingos y no se observan diferencias significativas entre los martes y los sábados. Esta es una tendencia contraria a la observada para los demás contaminantes. Las estaciones localizadas en el sur y occidente de la ciudad (Puente Aranda, Carvajal-Sevillana, Tunal y San Cristóbal) registraron los menores niveles de dispersión y de excedencias. Usaquén establece una diferencia al presentar concentraciones y distribuciones más amplias en sus datos.

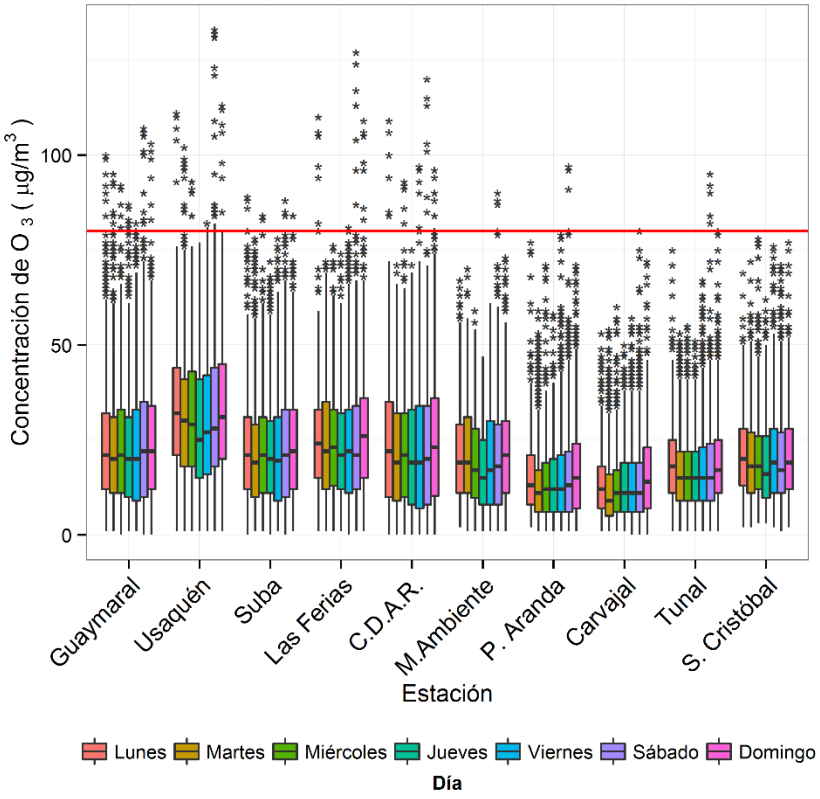


Figura 3-29. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para año 2014.

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses del año 2014 se presenta en la Figura 3-30. Con excepción de Las Ferias, se observan en general bajos niveles de concentración en los meses de mitad de año. Este comportamiento se explica teniendo en cuenta la variación intra-anual de la velocidad del viento, la cual tiende a aumentar en julio y agosto. Para Guaymaral, Usaquén, Suba y San Cristóbal se observaron mayores niveles de concentración durante el primer trimestre de 2014.

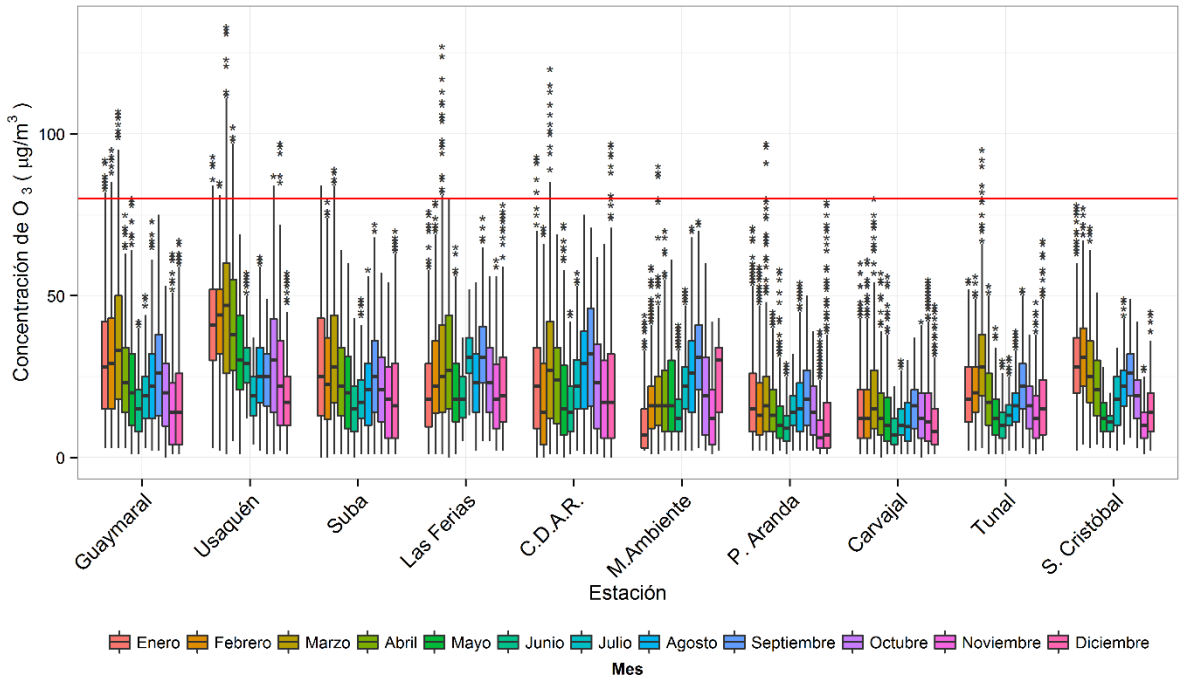


Figura 3-30. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de 2014 y de las estaciones de monitoreo.

Ciclos semanales, diarios y anuales de las concentraciones de O_3

La Figura 3-31 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. En la mayoría de los casos, los niveles más altos se observan en los lunes y los domingos mientras que los menores se observan entre martes y viernes, especialmente los jueves. La variabilidad de los ciclos depende de la estación a analizar. Ministerio de Ambiente y Usaquén presentan mayores cambios en el ciclo semanal. En esta figura también es posible observar que las estaciones ubicadas al norte y oriente de la ciudad registran los niveles más altos de ozono. En la estación Suba se presenta una tendencia ascendente de las concentraciones entre lunes y domingo. La tendencia semanal del ozono es en general contraria a la observada para los demás contaminantes en los cuales las mayores concentraciones se presentan en los días hábiles.

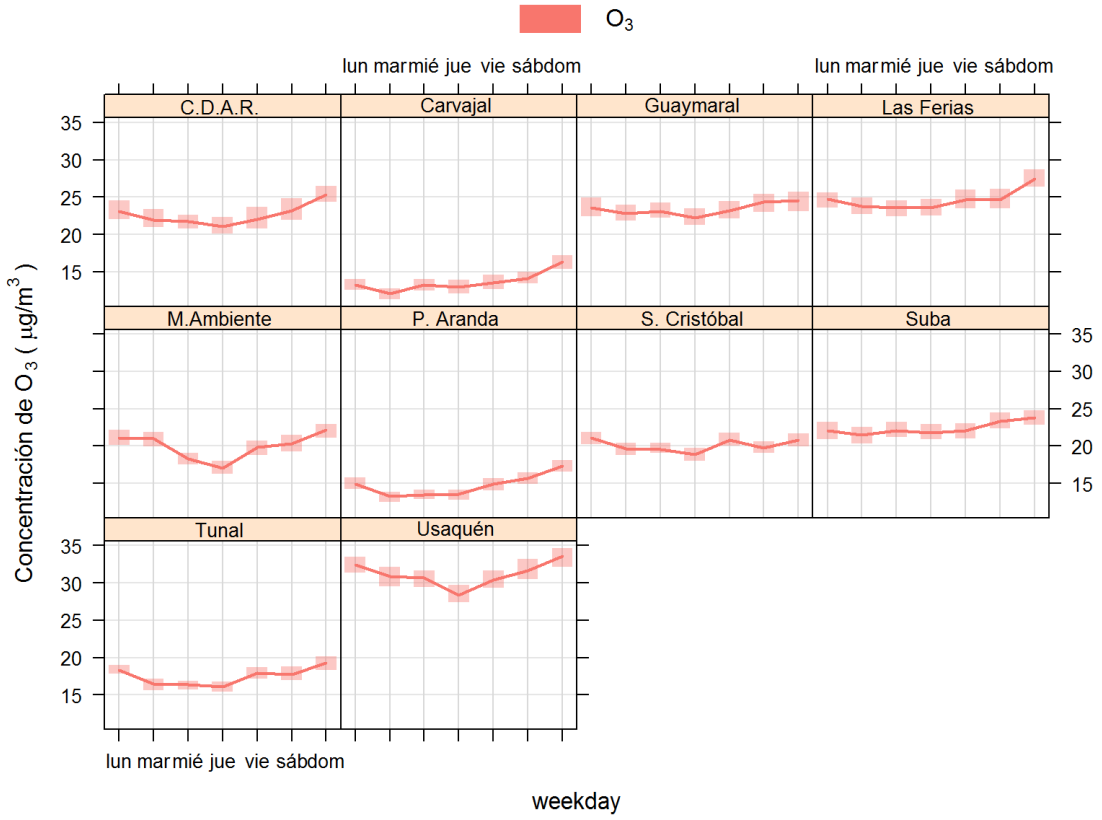


Figura 3-31. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.

Los ciclos diarios de la Figura 3-32 confirman la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaquén, Ministerio de Ambiente y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, un tema que requiere de una investigación más profunda.

La Figura 3-33 presenta los ciclos anuales en base mensual de las concentraciones de ozono para el año 2014. Las diferencias en las características de las áreas de influencia de las estaciones impiden identificar una tendencia generalizada de la variabilidad de los ciclos anuales. Sin embargo, se observa que los meses correspondientes a la mitad de año (junio, julio y agosto) presentan las más bajas concentraciones, lo cual estaría influenciado por la variabilidad de la velocidad de los vientos.

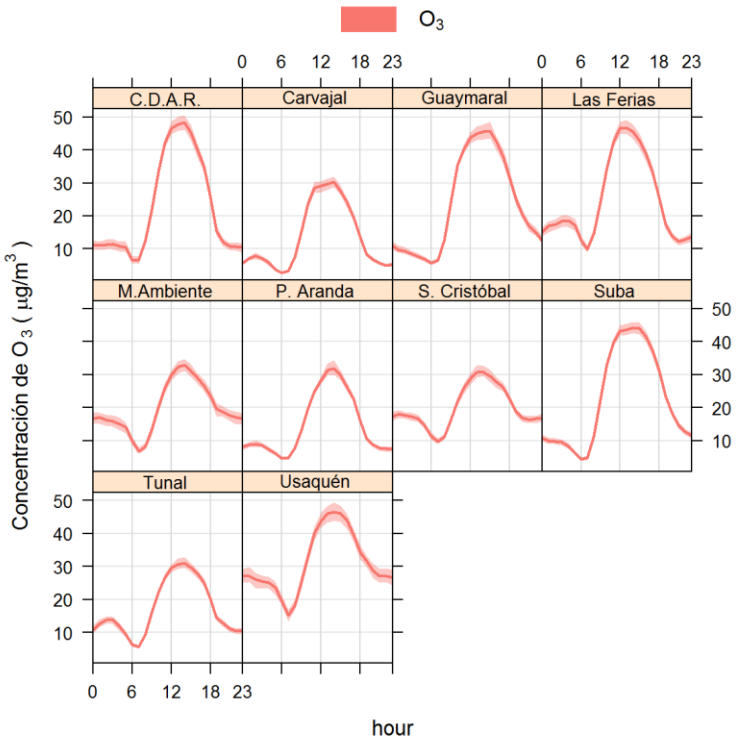


Figura 3-32. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.

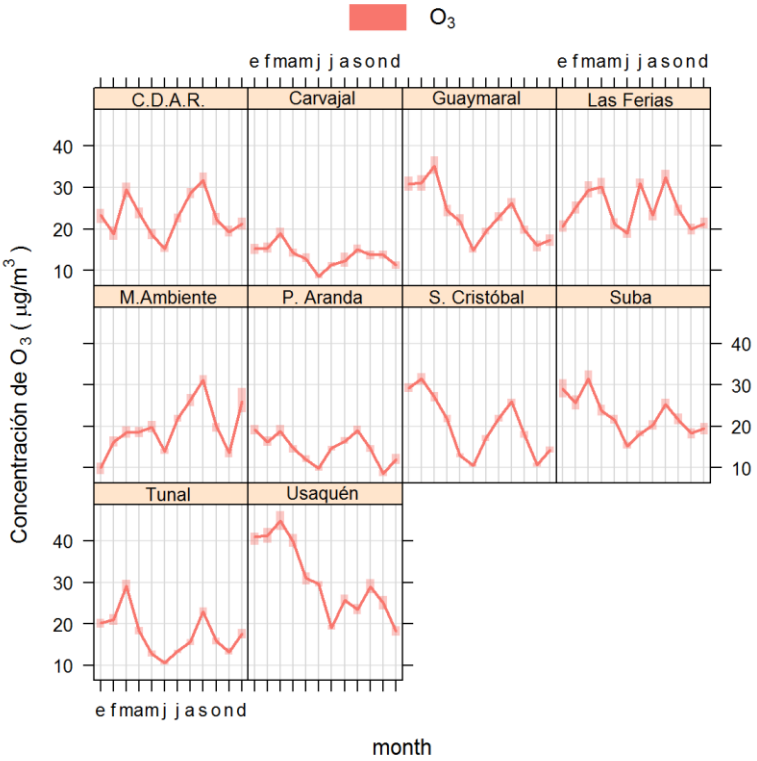


Figura 3-33. Ciclo anual de las concentraciones de ozono en base mensual para el año 2014.

Comportamiento histórico del O_3

La Figura 3-34 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2010 y 2014. Históricamente, Usaquén ha mostrado los niveles de concentración más altos en los 5 años estudiados, especialmente en el 2010 donde se observa que la cantidad de valores atípicos y sus respectivas magnitudes son considerablemente altas, excediendo el límite normativo de 80 µg/m^3 (Resolución 610 de 2010).

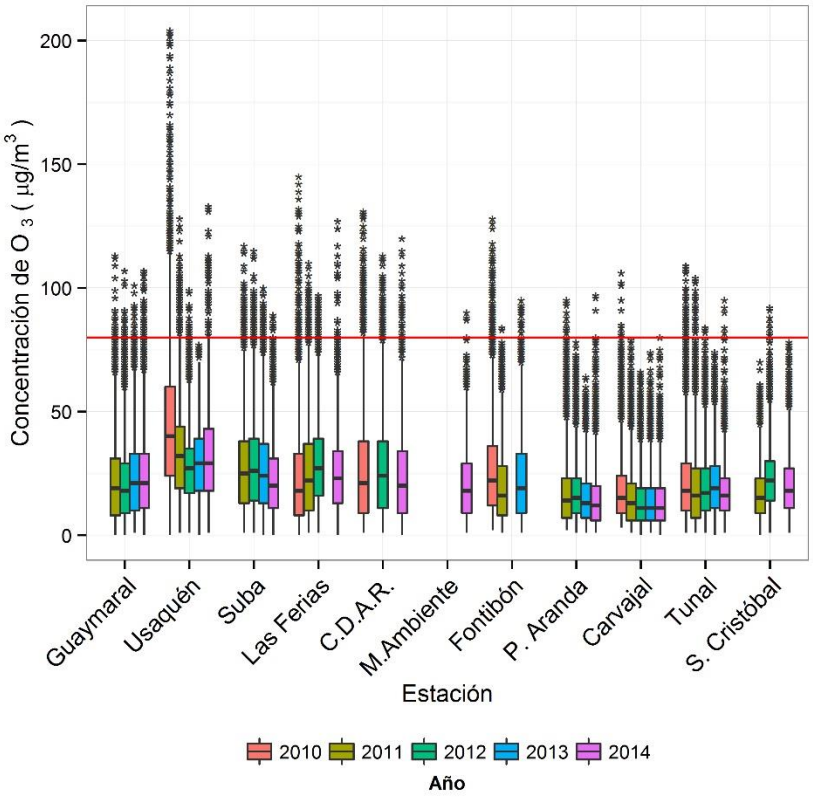


Figura 3-34. Gráfico de *boxplot* de O_3 en función de las estaciones entre los años 2010 y 2014 (con base en promedios móviles de 8 horas).

La distribución de los datos sugiere una disminución de las concentraciones en Suba entre 2012 y 2014. Se observa además que en este periodo las concentraciones en Carvajal-Sevillana se han mantenido constantes luego de una disminución entre 2010 y 2011. Con respecto al año 2013, en 2014 las concentraciones aumentaron en Usaquén y se mantuvieron relativamente constantes en las demás estaciones. Para otros puntos de medición no es posible realizar la comparación al tener representatividad temporal suficiente únicamente en uno de los dos años o en ninguno. Respecto al año 2012, en el año 2014 San Cristóbal redujo sus niveles de concentración. Estas observaciones evidencian una heterogeneidad de las concentraciones de ozono en la ciudad y la necesidad de sectorizarla en los análisis de las tendencias. En términos de dispersión se observa que las estaciones localizadas al norte presentan mayores distribuciones, en contraste con el sur. Históricamente, las estaciones ubicadas en la zona norte y central de

Bogotá han registrado mayores concentraciones en comparación con la zona sur, especialmente el suroccidente de Bogotá.

La Tabla 3-14 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de ozono en base de promedios móviles de 8 horas. Se observa que el valor máximo reportado en las estaciones de la RMCAB entre los periodos considerados fue 204 µg/m^3 el 22 de agosto de 2010 a las 8:00 a.m. en la estación Usaquén. Este dato es considerablemente alto en comparación con los máximos encontrados en los demás periodos y debe entenderse como el promedio de las 8 horas previas al reporte, el cual cubre momentos de la madrugada. En los demás periodos las concentraciones se mantuvieron en el rango comprendido entre 101 µg/m^3 y 133 µg/m^3 entre las 6:00 p.m. y las 7:00 p.m. cubriendo horas de la tarde y cercanas al medio día. Las concentraciones máximas se reportaron principalmente en estaciones localizadas en el norte y el centro de la ciudad. Se destaca que no se presentan resultados en base diaria para esta Tabla al no existir normatividad correspondiente.

Tabla 3-14. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O_3 en promedios móviles de 8 horas entre los años 2010 y 2014.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	204	22/08/2010 8:00	Usaquén
2011	128	25/01/2011 18:00	Usaquén
2012	132	16/02/2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	101	04/04/2013 18:00	Guaymaral
2014	133	29/03/2014 19:00	Usaquén

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2

En el año 2014, se contó con 8 estaciones para el monitoreo de dióxido de nitrógeno, tal como se indica en la Tabla 1-1. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de las concentraciones anuales de NO_2

La Tabla 3-15 presenta las concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno para los años 2013 y 2014, con base en promedios diarios en las estaciones con representatividad temporal superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes para aquellos sitios de medición que tienen cobertura temporal suficiente en los dos años. Las únicas estaciones para las que es posible analizar las diferencias son Puente Aranda y Kennedy, ubicadas en el occidente de la ciudad. La concentración de Kennedy se mantuvo constante mientras que en Puente Aranda disminuyó en 1 µg/m^3, el cual es un cambio leve que no permite afirmar un aumento.

Tabla 3-15. Concentraciones promedio anuales de NO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años.

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2014 (µg/m^3)	Cambio de 2013 a 2014 (µg/m^3)
Guaymaral	N.R.	23	
Suba	N.R.	26	
Centro de Alto Rendimiento	16	N.R.	
Puente Aranda	40	39	-1
Kennedy	34	34	0
Tunal	30	N.R.	

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La tendencias de la Figura 3-35 muestran que Puente Aranda y Kennedy son las estaciones con mayores concentraciones de este contaminante lo cual se atribuye a mayores actividades de combustión (fuentes móviles y fijas) en sus áreas de influencia. Se observa un contraste de la concentración de Puente Aranda en relación con Suba y Guaymaral que se localizan en el norte de la ciudad. Las diferencias en las características de las zonas de influencia de las estaciones de la RMCAB indican que es más adecuado sectorizar la ciudad para analizar las tendencias en lugar de establecer promedios a nivel ciudad.

El límite máximo permisible en un tiempo de exposición anual para dióxido de nitrógeno es 100 µg/m^3. De acuerdo a la Tabla 3-15, ninguna estación superó este límite teniendo en cuenta que el promedio anual más alto fue 39 µg/m^3 en la estación Puente Aranda.

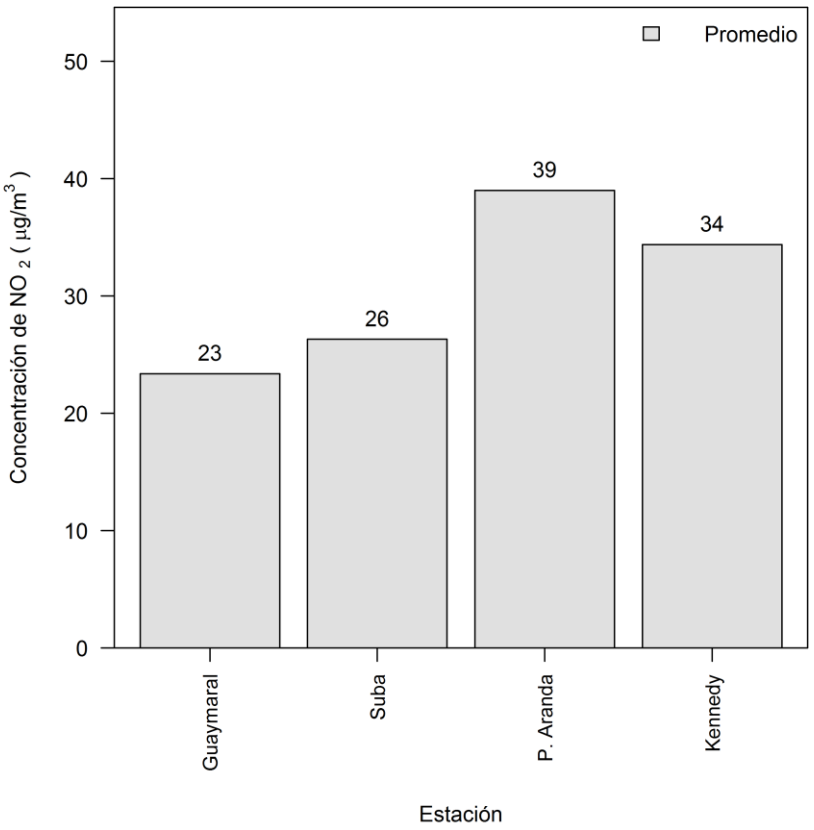


Figura 3-35. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal igual o superior a 75% durante el año 2014.

Comportamiento de los promedios horarios de NO_2

Durante el periodo analizado se obtuvieron 45282 (cuarenta y cinco mil doscientos ochenta y dos) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 65% entre las ocho estaciones que registraron mediciones, lo cual incumple con el criterio de cobertura temporal mínima requerida de 75%. La Figura 3-36 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO_2, en base de tiempo horaria. Los valores de porcentajes de representatividad temporal, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-16. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m^3, Resolución 610 de 2010) pero sí del 75% de la misma (150 µg/m^3) en Tunal (3), Las Ferias (2), Puente Aranda (2) y Carvajal-Sevillana (1). Esta última estación también presentó un dato diario que excedió el 90% del límite máximo permisible (180 µg/m^3) con un valor de 199 µg/m^3.

De las 8 estaciones consideradas, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana y Tunal presentaron una cobertura temporal inferior a 75%, representando la mitad de los analizadores disponibles. Por tanto, no es posible obtener un promedio anual de las mismas para NO_2 ya que no sería representativo del periodo a analizar. La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en 2014 fue 199 µg/m^3 en Carvajal-Sevillana, la cual está 1 µg/m^3 por debajo del límite máximo permisible

(200 µg/m^3). Entonces la zona de influencia de esta estación es propensa de presentar incumplimientos normativos. Este máximo es seguido por Tunal con 178 µg/m^3 el 28 de octubre a las 10:00 a.m.

El análisis de los valores máximos permite identificar dos episodios singulares de alta concentración en la ciudad. El primero ocurrió el 28 de octubre entre 9:00 a.m. y 10:00 a.m. en Carvajal-Sevillana y Tunal, localizadas en el sur de la ciudad. El siguiente ocurrió el 19 de diciembre entre 5:00 p.m. y 6:00 p.m. para las estaciones Guaymaral, Las Ferias y Puente Aranda sugiriendo un evento de altas concentraciones a nivel ciudad.

Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[10]
Guaymaral	97%	106	19/12/2014 17:00	0
Suba	99%	113	29/10/2014 19:00	0
Las Ferias	38%	156	19/12/2014 18:00	2
Centro de Alto Rendimiento	28%	124	10/12/2014 14:00	0
Puente Aranda	85%	164	19/12/2014 18:00	2
Kennedy	95%	102	31/03/2014 09:00	0
Carvajal-Sevillana	7%	199	28/10/2014 09:00	1
Tunal	68%	178	28/10/2014 10:00	3

Comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2

Se obtuvieron 1872 valores diarios de NO_2, cuya representatividad temporal global corresponde al 64% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición, evidenciando una cobertura temporal inferior al límite de 75%. En la Tabla 3-17 se reportan los porcentajes de datos válidos, máximos con sus fechas de ocurrencia, y cantidad de datos superiores al 50% del límite máximo permisible, por estación. De estos valores diarios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para un tiempo de exposición de 24 horas (150 µg/m^3) como se observa en la Figura 3-37. Sin embargo, se observaron 12 datos superiores al 50% de la norma (75 µg/m^3) en Las Ferias (8), Puente Aranda (2) y Carvajal-Sevillana (2). Estas estaciones están sujetas a una influencia destacable de emisiones de fuentes móviles y fijas, lo cual contribuye a que los niveles de inmisión de NO_2 sean notablemente más altos, en comparación con las demás estaciones de la RMCAB.

[10] Mayor a 150 µg/m^3 y menor o igual a 200 µg/m^3

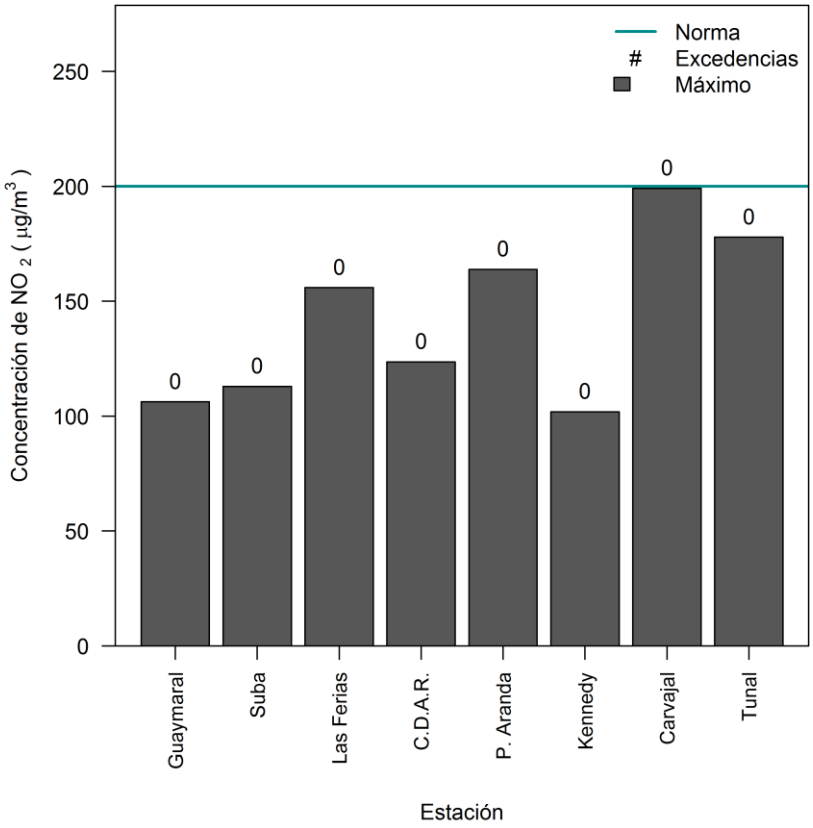


Figura 3-36. Máximos y excedencias de los datos horarios de NO_2 por estación durante el año 2014.

En términos de concentraciones diarias, el 20 de noviembre las estaciones Guaymaral, Suba y Las Ferias coincidieron en el reporte de sus valores máximos con 43 µg/m^3, 54 µg/m^3 y 93 µg/m^3, evidenciando un episodio de alta concentración en el norte y occidente de la ciudad. Esta fecha no fue observada cuando se analizaron las concentraciones en términos horarios y la razón se fundamenta en que los eventos singulares en base horaria son más puntuales que sus contrapartes diarias cuyas tendencias permiten conocer episodios de mayor duración. La máxima concentración diaria de NO_2 en el año 2014 fue 93 µg/m^3 en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda el 20 de noviembre y el 19 de diciembre, respectivamente, representando el 62% del límite máximo permisible de 150 µg/m^3.

Tabla 3-17. Resumen de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos superior al 50% de la norma[11]
Guaymaral	96%	43	20/11/2014	0
Suba	99%	54	20/11/2014	0
Las Ferias	37%	93	20/11/2014	8

[11] Mayores a 75 µg/m^3.

Centro de Alto Rendimiento	27%	63	22/11/2014	0
Puente Aranda	85%	93	19/12/2014	2
Kennedy	95%	53	01/04/2014	0
Carvajal-Sevillana	7%	84	29/10/2014	2
Tunal	67%	72	28/10/2014	0

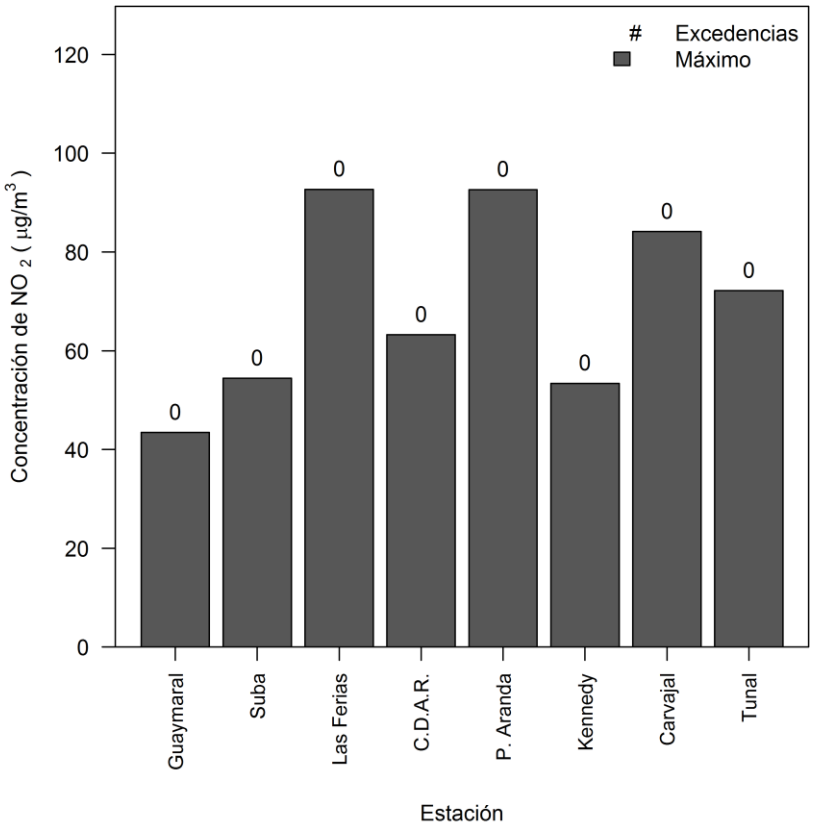


Figura 3-37. Excedencias y concentraciones máximas de NO_2 en base diaria por estación para año 2014.

Calendario de contaminación por NO_2 durante el año 2014

La Figura 3-38 y la Figura 3-39 corresponde a diagramas calendario de las concentraciones diarias de NO_2 para las estaciones Puente Aranda y Guaymaral que registraron, de acuerdo a los promedios anuales, las concentraciones más altas y más bajas del año. Entre estas dos estaciones se observa un contraste notable y en general niveles son más elevados en los meses iniciales y finales, lo cual se atribuye al comportamiento meteorológico de la ciudad. En Puente Aranda se observa, con una diferencia notable respecto a los demás días, la concentración máxima de la RMCAB 93 µg/m^3 ocurrida el 19 de diciembre, la cual es seguida por 78 µg/m^3 el 20 de diciembre sugirieron un único episodio de alta concentración de NO_2 en la ciudad.

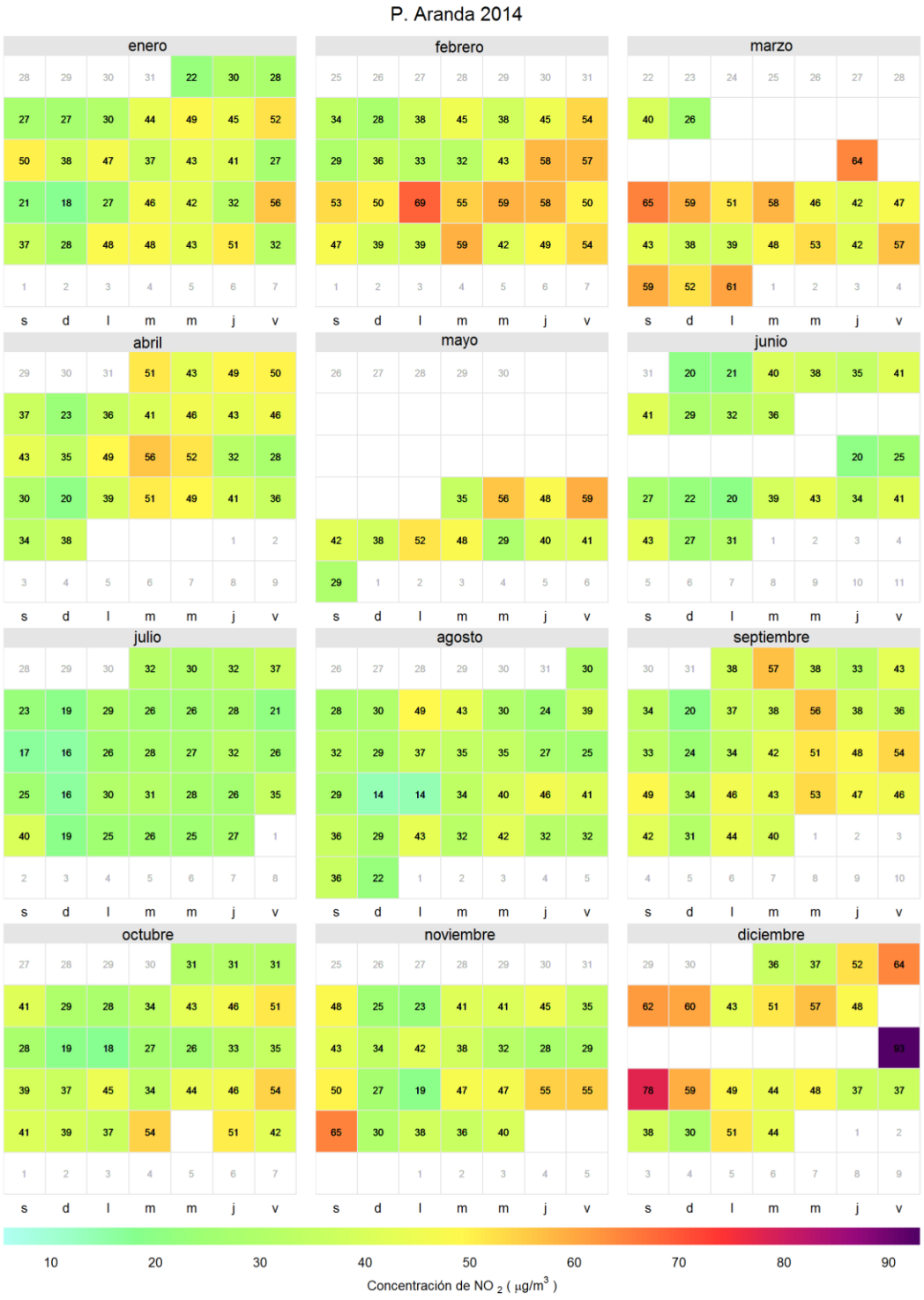


Figura 3-38. Diagrama calendario para NO_2 durante el año 2014 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3.

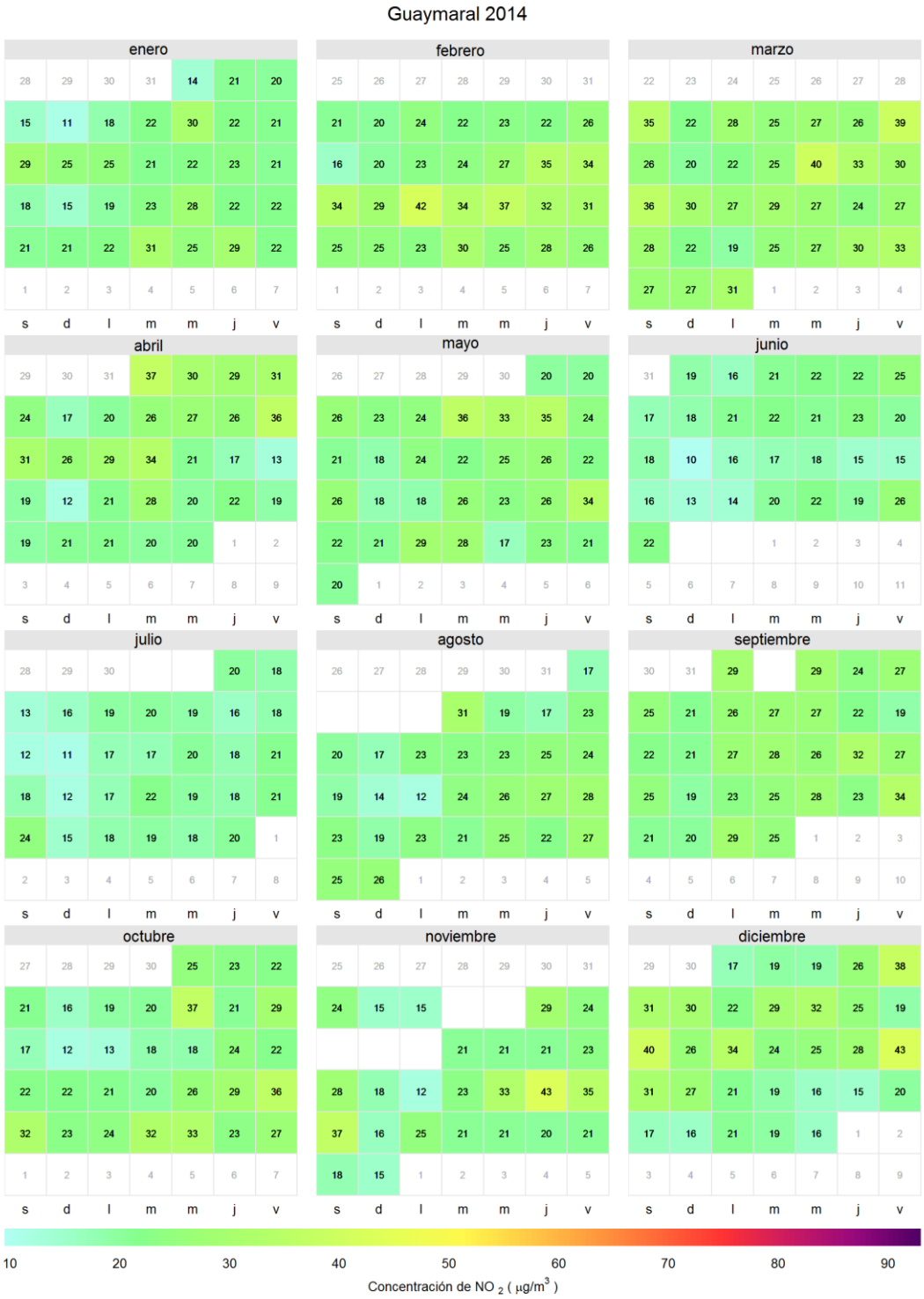


Figura 3-39. Diagrama calendario para NO_2 durante el año 2014 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO_2

La Figura 3-40 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% y de los días de la semana. En los cuatro sitios de medición se observa que los domingos presentan concentraciones notablemente menores. La razón de esta diferencia se basa en que durante estos días se reduce la actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles. Los lunes siguen a los domingos en esta tendencia, posiblemente por la influencia de la capa residual del día anterior y la presencia de días feriados. El comportamiento de las concentraciones entre los martes y los sábados no permite establecer una tendencia generalizada tanto en magnitud como en dispersión.

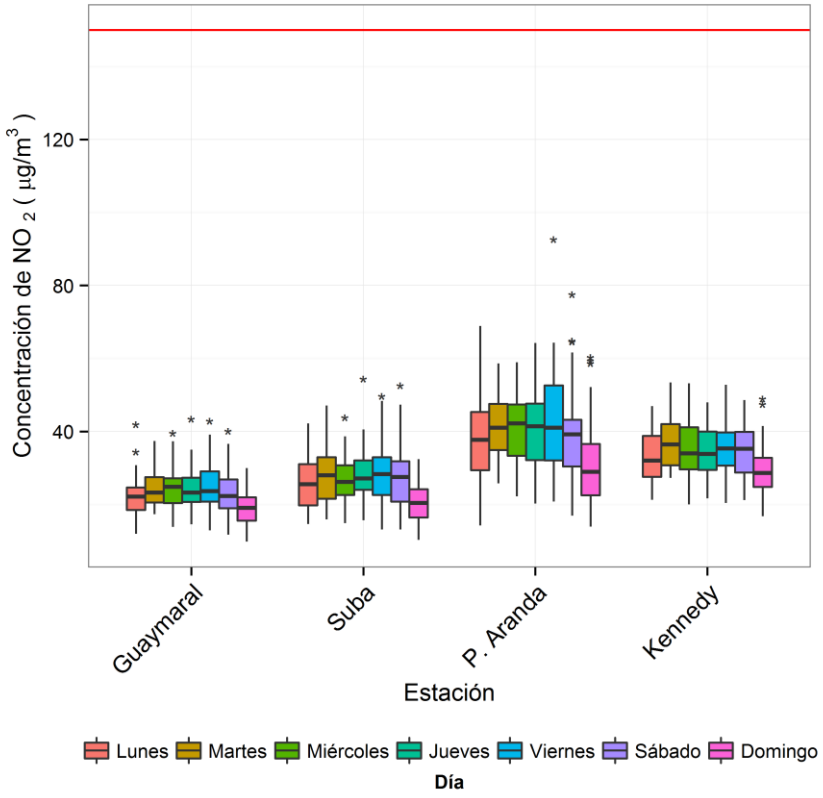


Figura 3-40. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014.

La Figura 3-41 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO_2 en función del mes y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% del total posible a medir. Para todos los sitios se observa que los niveles se reducen en los meses de junio, julio y agosto, producto de la variabilidad anual de la velocidad de los vientos. En todas las estaciones se observa que el mes de enero igualmente presenta concentraciones bajas, lo cual se atribuye a la reducción de la actividad de la ciudad durante sus primeros días. Los meses con las concentraciones más altas son por lo general febrero (excepto Kennedy), marzo, abril y diciembre (excepto Suba en este último). En términos de

dispersión, se observa que los meses de mitad de año son los que presentan menor variabilidad, posiblemente asociado a una mayor ventilación de la ciudad.

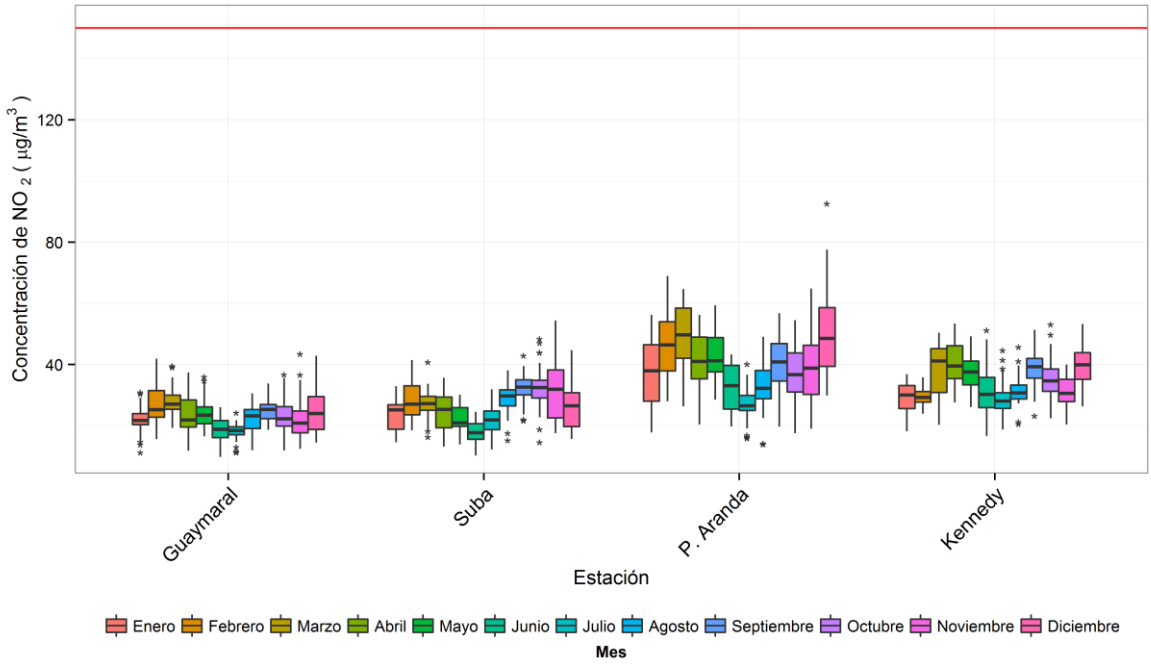


Figura 3-41. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los meses del año 2014 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.

Ciclos semanales, diarios y anuales de las concentraciones de NO_2

Los ciclos semanales de la Figura 3-42 muestran que los domingos y los lunes presentaron las menores concentraciones del año. Por el contrario, en los martes y viernes se observaron niveles relativamente altos, aunque levemente superiores a los correspondientes a los miércoles y jueves. Puente Aranda presenta un ciclo más variable, lo cual es consecuencia de grado de actividad desarrollado en su zona de influencia, que corresponde a fuentes móviles e industriales.

La Figura 3-43 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una cobertura temporal superior a 75%. En todas las estaciones se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana y a la tarde. Al medio día ocurre una reducción significativa estableciendo un mínimo, el cual es producto del consumo de NO_2 y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar. En Guaymaral, Kennedy y Puente Aranda, el pico de la mañana se presenta entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m. y el de la estación Suba inicia una hora antes. Las elevaciones de la tarde por lo general inician a las 7:00 p.m. y terminan a las 9:00 p.m.

La Figura 3-44 presenta los ciclos anuales con base en promedios mensuales para las cuatro estaciones con cobertura temporal igual o superior a 75%. De forma similar al caso observado para el material particulado, las concentraciones son bajas en los meses de

enero, junio, julio y agosto. Como se mencionó previamente, este comportamiento está asociado a la variabilidad anual de la velocidad de los vientos.

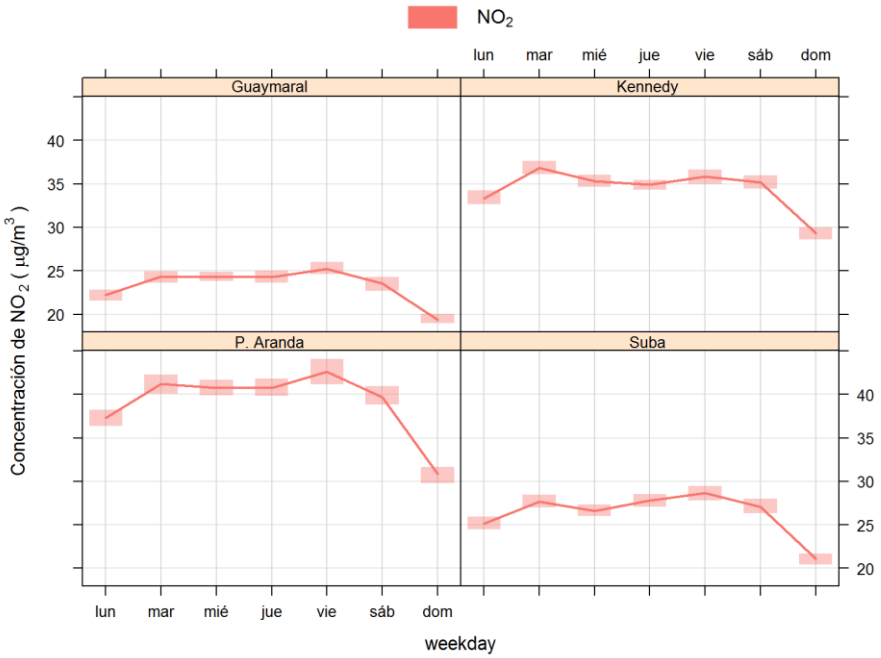


Figura 3-42. Ciclos semanales de las concentraciones de NO_2 para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el año 2014. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.

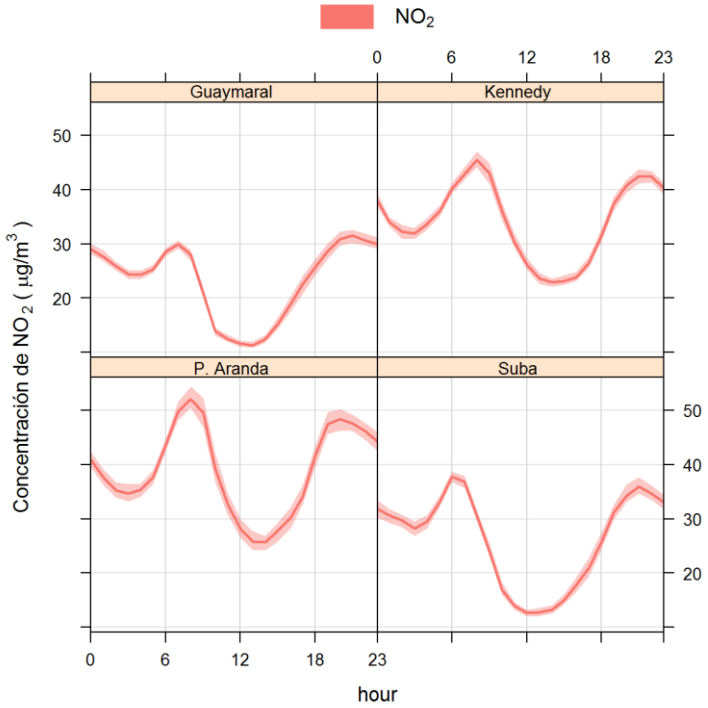


Figura 3-43. Ciclos diarios de las concentraciones de NO_2 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

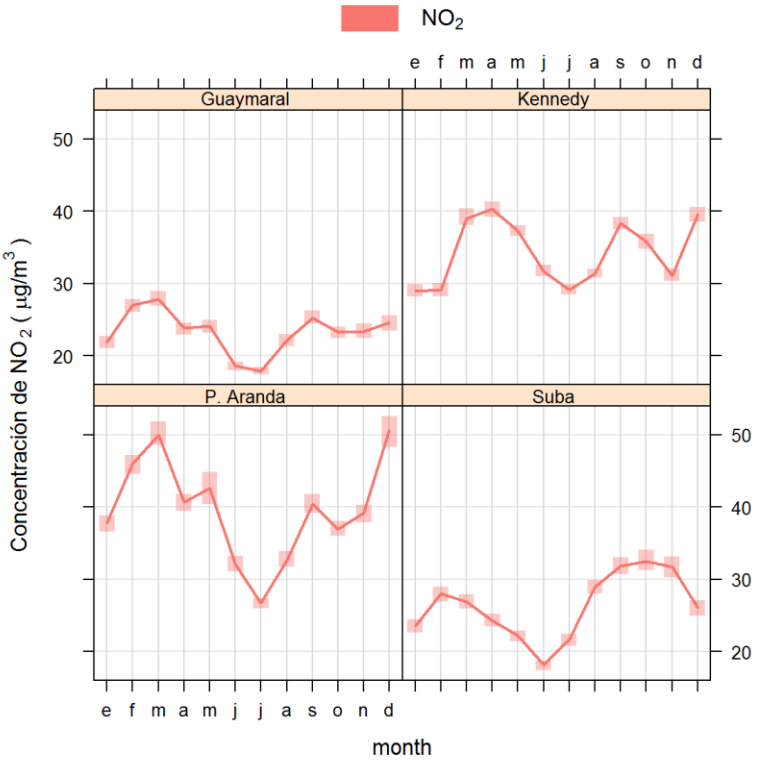


Figura 3-44. Ciclos anuales de las concentraciones de NO_2 con base en promedios mensuales. Año 2014. En cada mes se muestra el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de NO_2.

La Figura 3-45 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% entre los años 2010 y 2014. Históricamente se observa que Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal han registrado las concentraciones más altas en la RMCAB lo cual es producto de las características de su zona de influencia en cuanto a tipos de emisión y actividad (fuentes móviles y fijas industriales). Con excepción de Kennedy y Tunal, no se tiene un registro continuo a través de los años estudiados porque, por asuntos relacionados con operación algunas estaciones, no alcanzan la cobertura temporal suficiente.

Los niveles de concentración en la estación Kennedy se han mantenido constantes entre 2011 y 2014 mientras que para Tunal se redujeron entre 2010 y 2013. Aunque hay brechas sin datos en la estación Suba, los diagramas de caja de 2010, 2012 y 2014 muestran un aumento progresivo, evidenciando un deterioro en la calidad del aire en términos de este contaminante, caso contrario a Centro de Alto Rendimiento donde se observa una reducción para los años 2010, 2012 y 2013. De la estación Guaymaral no se cuentan con registros históricos con los cuales llevar a cabo la comparación. Los diagramas de 2010 y 2013 evidencian un aumento notable en Carvajal-Sevillana mientras que entre 2013 y 2014 los niveles de Puente Aranda se mantuvieron constantes. En Las Ferias no se cuenta con

representatividad suficiente desde el 2012. Los mayores niveles de dispersión se han observado en Las Ferias y Tunal.

La Tabla 3-18 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO_2 entre 2010 y 2014. El máximo valor reportado por la RMCAB en los 5 años considerados fue 93 µg/m^3 en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda el 20 de noviembre y el 19 de diciembre de 2014. Este valor corresponde al 62% del límite máximo permisible de 150 µg/m^3 establecido en la Resolución 610 de 2010. Como se observa en la tabla, Las Ferias, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana predominan en el reporte de valores atípicos altos de este contaminante. En 2010 y 2011 se reportó el mismo máximo correspondiente a 89 µg/m^3 en Puente Aranda y Carvajal-Sevillana, respectivamente.

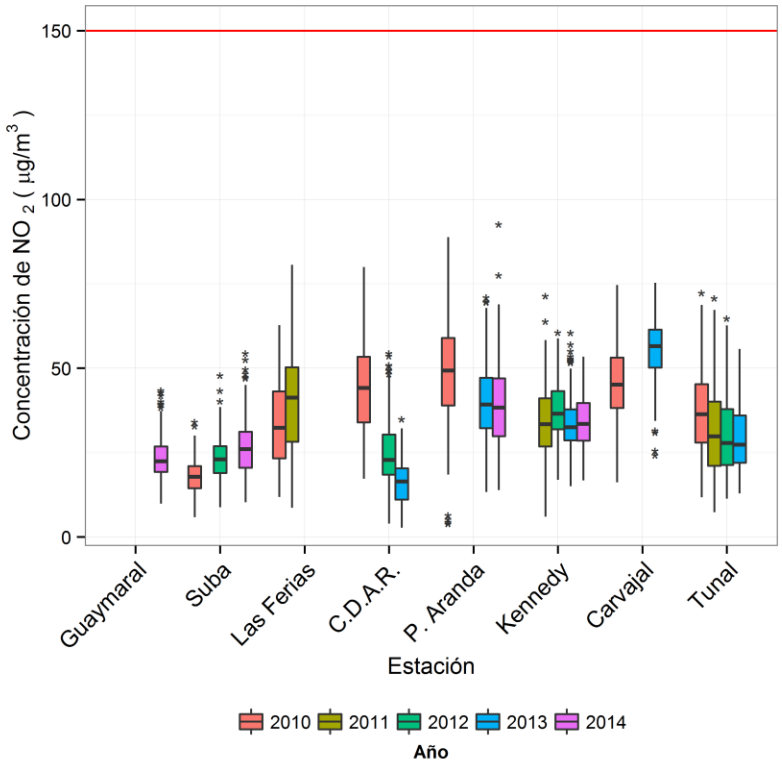


Figura 3-45. Gráfico de *boxplot* para NO_2 por estaciones en base diaria entre los años 2010 y 2014.

Tabla 3-18. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO_2 en base diaria entre los años 2010 y 2014.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	89	29/09/2010	Puente Aranda
2011	89	26/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	77	14/04/2012 y 29/02/2012	Las Ferias y Carvajal-Sevillana
2013	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda

3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO_2

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre (SO_2) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular las concentraciones promedio diarias, anuales y móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. El analizador de la estación Fontibón presentó una cobertura temporal reducida durante el año. Esto se debió a que la estación fue suspendida el 1 de julio de 2014 por asuntos relacionados con su suministro eléctrico.

Comportamiento de las concentraciones anuales de SO_2

La Tabla 3-19 presenta las concentraciones promedio anuales de SO_2 para 2013 y 2014 así como el respectivo cambio para los analizadores con cobertura temporal superior a 75%. Con respecto a 2013, en 2014 Suba aumentó su concentración anual en 1,1 µg/m^3 mientras que Puente Aranda mostró una disminución en una magnitud de 0,3 µg/m^3. Estas dos estaciones son las únicas para las cuales es posible realizar la comparación al tener representatividad superior a 75% en los dos años.

Tabla 3-19. Concentraciones promedio anuales de SO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años.

Estación	Promedio 2013 (µg/m^3)	Promedio 2014 (µg/m^3)	Cambio de 2013 a 2014 (µg/m^3)
Suba	6,2	7,3	1,1
Las Ferias	N.R.	3,4	
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	4,4	
Puente Aranda	4,5	4,2	-0,3
Carvajal-Sevillana	15,0	N.R.	
San Cristóbal	N.R.	1,7	

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Los promedios anuales de 2014 se observan de forma gráfica en la Figura 3-46. Suba presentó el promedio anual de SO_2 más alto de la RMCAB con un valor de 7,3 µg/m^3, el cual establece un contraste con las otras cuatro estaciones que se encuentran en el rango comprendido entre 1,7 µg/m^3 (San Cristóbal) y 4,4 µg/m^3 (Centro de Alto Rendimiento). Como se observará en los siguientes apartes, la estación Suba presenta picos importantes de este contaminante en horas de la mañana.

El límite máximo permisible anual de SO_2 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 80 µg/m^3. Este valor es notablemente superior a las concentraciones anuales registradas en la RMCAB. El valor máximo de 7,3 µg/m^3 representa el 9% del límite normativo, indicando que tiene un bajo riesgo en términos de protección a la salud pública en comparación con, por ejemplo, PM_{10} y $PM_{2.5}$.

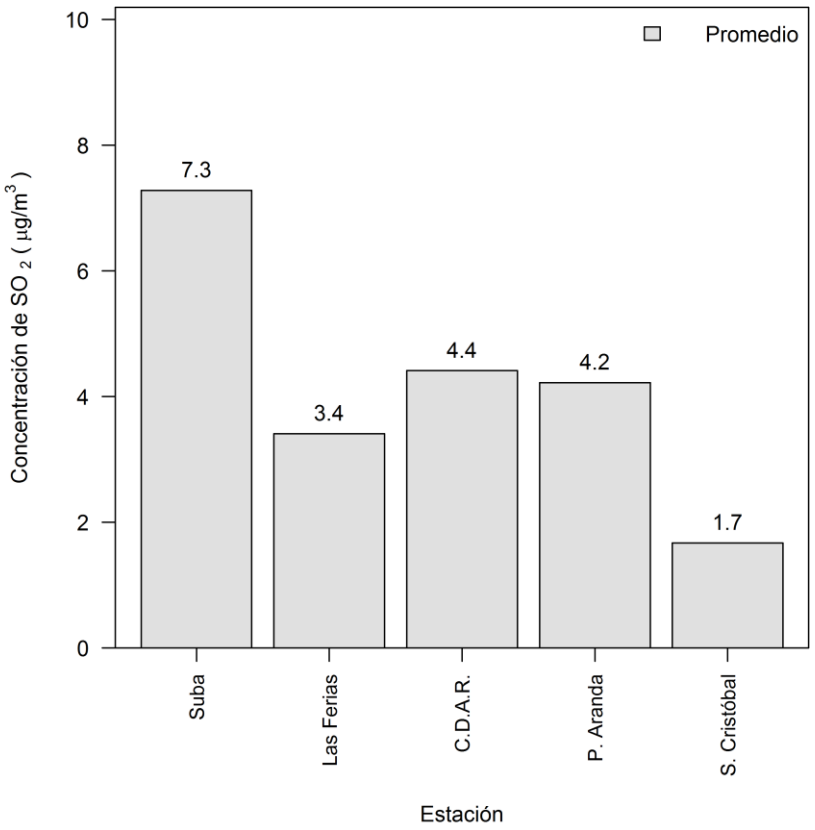


Figura 3-46. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal igual o superior a 75% durante el año 2014.

Comportamiento de las concentraciones de SO_2. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 52852 (cincuenta y dos mil ochocientos cincuenta y dos) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 67% de cobertura temporal de los posibles datos a medir (9 analizadores) en el año 2014.

En la Tabla 3-20 se muestra un resumen de la cobertura temporal por estación en esta base temporal, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-47 se visualizan las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma. La máxima concentración móvil de 3 horas reportada por la RMCAB en 2014 fue 158,1 µg/m^3 el 13 de diciembre de 2014 a las 4:00 a.m. en Kennedy. Esta hora de reporte es inusual teniendo en cuenta que durante la madrugada la actividad de fuentes de emisión disminuye a nivel ciudad. La misma tendencia se observa para las estaciones Las Ferias, Carvajal-Sevillana y Centro de Alto Rendimiento. La distancia entre estas estaciones impide la asociación de una zona específica de Bogotá donde se presenta alta actividad de emisión de este contaminante. El valor máximo registrado en Kennedy es seguido por Suba y Carvajal-Sevillana con registros de 115,7 µg/m^3 el 18 de diciembre de 2014 a las 10:00 a.m. y 148,6 µg/m^3 el 18 de marzo de 2014 a las 00:00 a.m., respectivamente. Las tres estaciones establecen un contraste destacado en máximos ya

que en las demás estaciones se reportaron valores comprendidos en el rango de 15,8 µg/m^3 y 45,5 µg/m^3.

Tabla 3-20. Resumen de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m^3]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	92%	115,7	18/12/2014 10:00
Las Ferias	85%	35,1	31/01/2014 02:00
Centro de Alto Rendimiento	89%	32,5	10/12/2014 00:00
Fontibón	43%	45,5	16/03/2014 09:00
Puente Aranda	91%	36,5	06/02/2014 10:00
Kennedy	36%	158,1	13/12/2014 04:00
Carvajal-Sevillana	18%	148,6	18/03/2014 00:00
Tunal	58%	28,5	17/09/2014 09:00
San Cristóbal	91%	15,8	06/02/2014 11:00

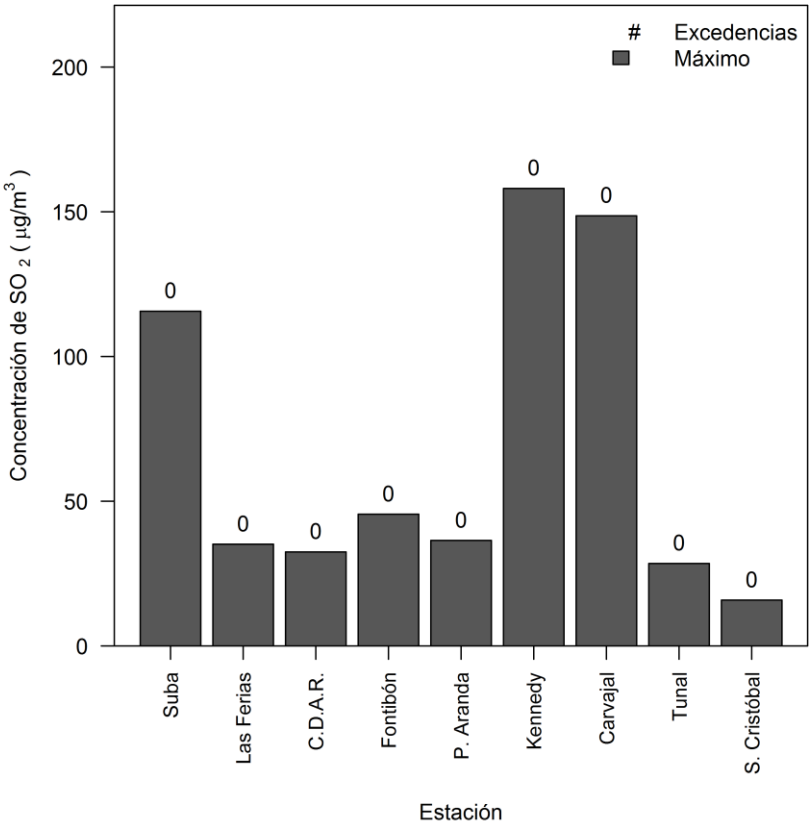


Figura 3-47. Máximos y número de excedencias de SO_2 en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2014.

El 6 de febrero de 2014, durante la denominada jornada del "Día sin Carro", Puente Aranda y San Cristóbal coincidieron en el reporte de máximos promedios móviles de tres horas con

valores de 36,5 µg/m^3 y 15,8 µg/m^3. Este día se caracterizó por registrar concentraciones relativamente altas de dióxido de azufre en todas las estaciones, evidenciando un episodio generalizado de alta concentración a nivel ciudad.

El límite máximo permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m^3) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. El máximo de 158,1 µg/m^3 representa el 21% de este límite normativo. Por tanto, este contaminante no es susceptible de presentar excedencias de la normatividad nacional.

Comportamiento diario de la concentración de SO_2

Se analizaron 2211 (dos mil doscientos once) valores diarios cuya representatividad temporal global es 67% entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año, lo que indica que en términos generales las mediciones de este contaminante no cumplieron con el criterio de cobertura temporal de 75% del total posible. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m^3) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m^3). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como PM_{10} y $PM_{2.5}$.

La Figura 3-48 y la Tabla 3-21 presentan un resumen de concentraciones máximas de SO_2 en base diaria. Fontibón, Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal presentaron coberturas temporales inferiores a 75%, especialmente Carvajal-Sevillana con 18%. La máxima concentración diaria de SO_2 reportada en la RMCAB fue 32,2 µg/m^3 el 13 de diciembre de 2014 en la estación Kennedy que representa el 13% del límite normativo diario de 250 µg/m^3. Este valor es seguido por Suba con 32,0 µg/m^3 el 18 de diciembre de 2014. En contraste, San Cristóbal y Tunal reportaron valores máximos de 7,3 µg/m^3 y 9,0 µg/m^3, respectivamente. Las tendencias observadas muestran que Suba y las estaciones localizadas al suroccidente de la ciudad están sujetas a altas concentraciones de este contaminante, posiblemente por la influencia de la combustión en vehículos de carga pesada que usan diésel como combustible así como en calderas industriales.

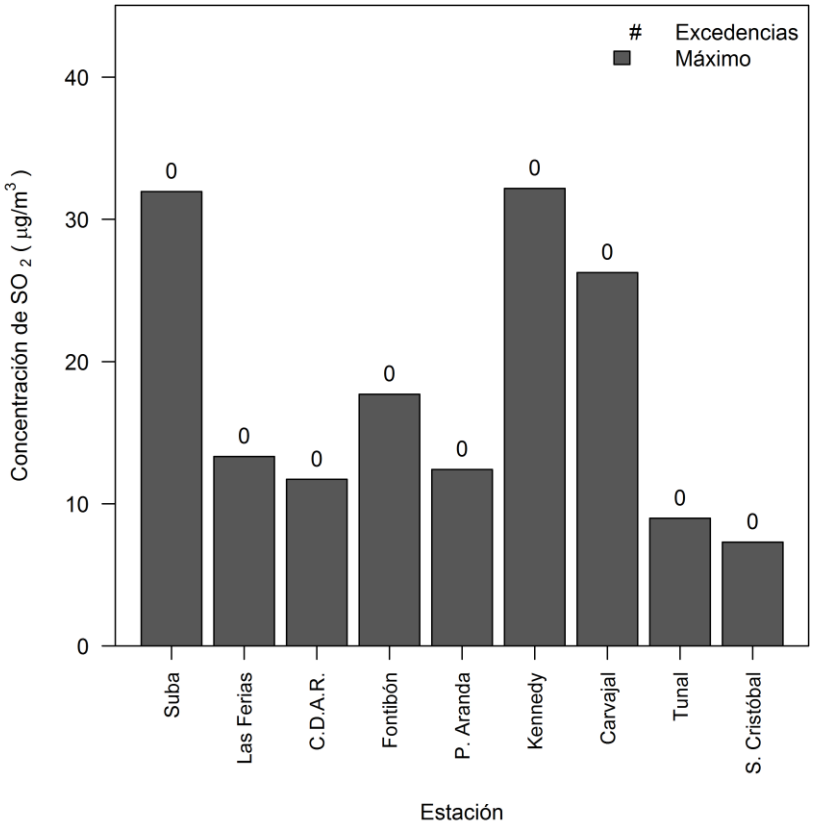


Figura 3-48. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación para el año 2014.

El 6 de febrero de 2014, durante la jornada del denominado “Día sin Carro”, tres estaciones reportaron de forma simultánea sus concentraciones máximas diarias, siendo estas Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal. La ubicación relativa de estas estaciones y su distancia mutua sugiere la ocurrencia de un evento singular de alta concentración en la ciudad. El 13 de diciembre de 2014 Las Ferias y Kennedy coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas. Este día también correspondió a un evento generalizado de alta contaminación en la ciudad teniendo en cuenta que las demás estaciones también registraron valores altos durante este día. Se observa que las concentraciones máximas se reportaron en los meses de enero, febrero, septiembre, noviembre y diciembre, pero no en meses de mitad de año.

Tabla 3-21. Resumen de datos en base diaria de SO_2 por estación para el año 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m^3]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	93%	32,0	18/12/2014
Las Ferias	85%	13,3	13/12/2014
Centro de Alto Rendimiento	91%	11,7	22/11/2014
Fontibón	43%	17,7	06/02/2014
Puente Aranda	92%	12,4	06/02/2014
Kennedy	37%	32,2	13/12/2014
Carvajal-Sevillana	18%	26,3	25/01/2014
Tunal	57%	9,0	17/09/2014
San Cristóbal	90%	7,3	06/02/2014

Calendario de contaminación por SO_2 durante el año 2014

La Figura 3-49 y la Figura 3-50 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de SO_2 en 2014 para la estación con la mayor concentración promedio anual (Suba) y la de menor concentración (San Cristóbal). Las diferencias en magnitudes entre estas dos estaciones son significativas evidenciando la alta heterogeneidad espacial en el comportamiento de este contaminante en la ciudad. Para ambas estaciones, se observa que los valores diarios fueron relativamente altos durante la jornada del Día Sin Carro ocurrida el 6 de febrero. A manera de tendencia particular, el mes de diciembre en Suba presentó días con concentraciones notablemente altas.



Figura 3-49. Diagrama calendario para SO_2 durante el año 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Debe tenerse en cuenta qu4e el límite normativo es 250 µg/m^3.

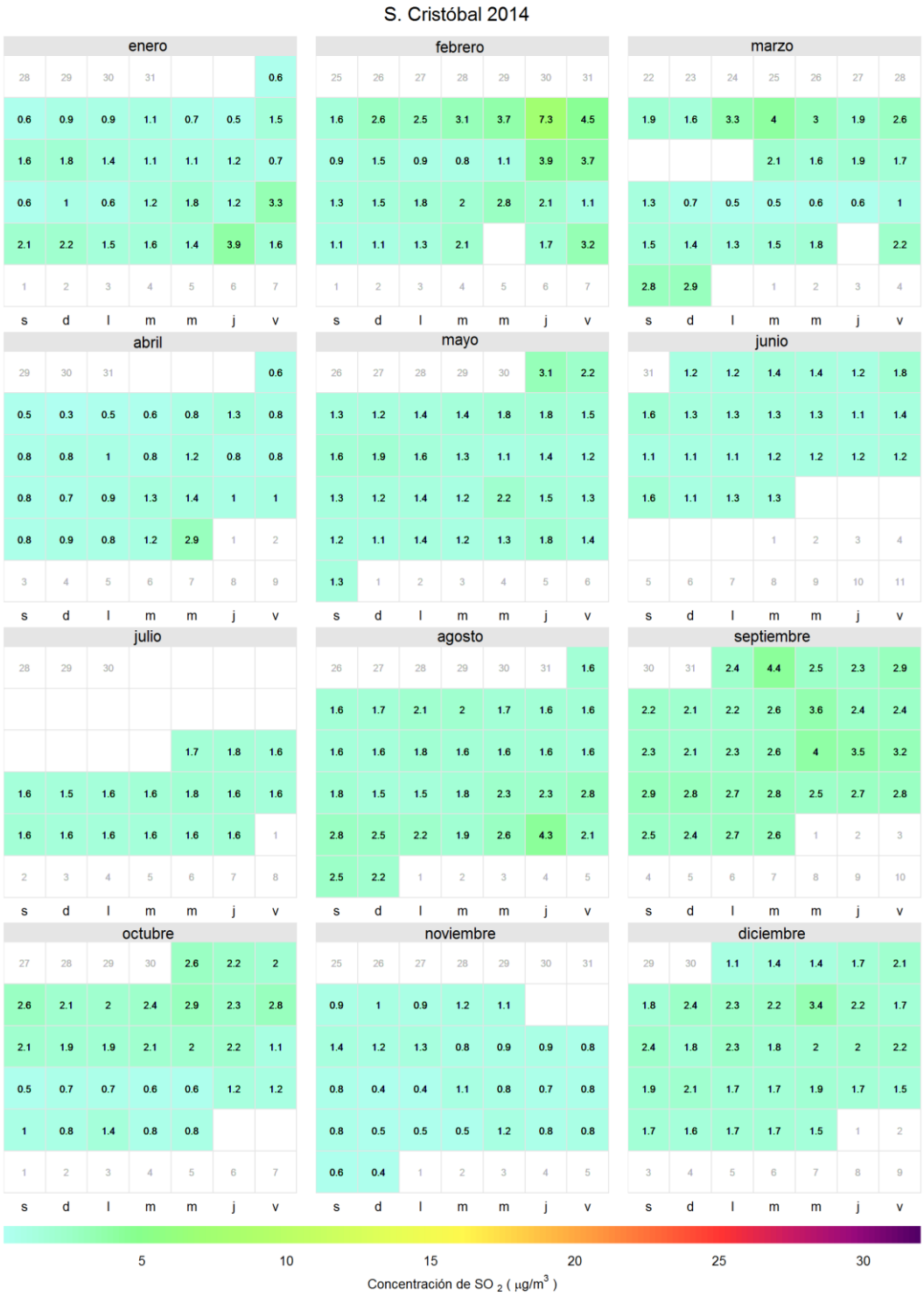


Figura 3-50. Diagrama calendario para SO_2 durante el año 2014 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3.

Comportamiento temporal de las concentraciones de SO_2

La Figura 3-51 describe el comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo. En comparación con las demás estaciones, Suba mantiene notablemente los mayores niveles de dispersión y concentración en todos los días, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario sucede en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal.

De forma similar al comportamiento observado para PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 y CO, los días con los menores niveles de concentración son los lunes y los domingos. El periodo comprendido entre martes y viernes tiene concentraciones mayores lo cual está asociado al aumento de la actividad en la ciudad durante dichos días. El valor máximo de 32,0 µg/m^3 fue observado un jueves.

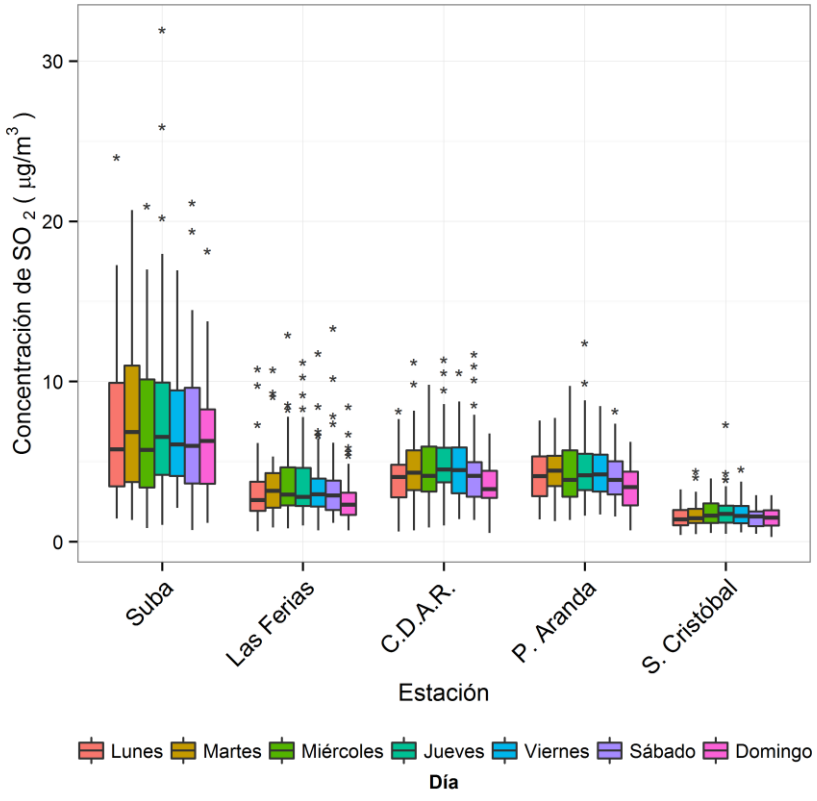


Figura 3-51. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2014.

La Figura 3-52 presenta el comportamiento de las concentraciones en función de los meses del año 2014 por estación de monitoreo. En Suba y Las Ferias se observa claramente que los meses de mitad de año presentaron los menores valores de concentración, lo cual está influenciado por la variación de la velocidad de los vientos. Las tendencias de Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda son menos claras porque en la primera se observa que

marzo registró los niveles más bajos de concentración mientras que en la segunda junio fue uno de los meses con los valores más altos. Como se mencionó previamente, las tendencias en la estación San Cristóbal impiden establecer con claridad variaciones presentadas durante el año 2014.

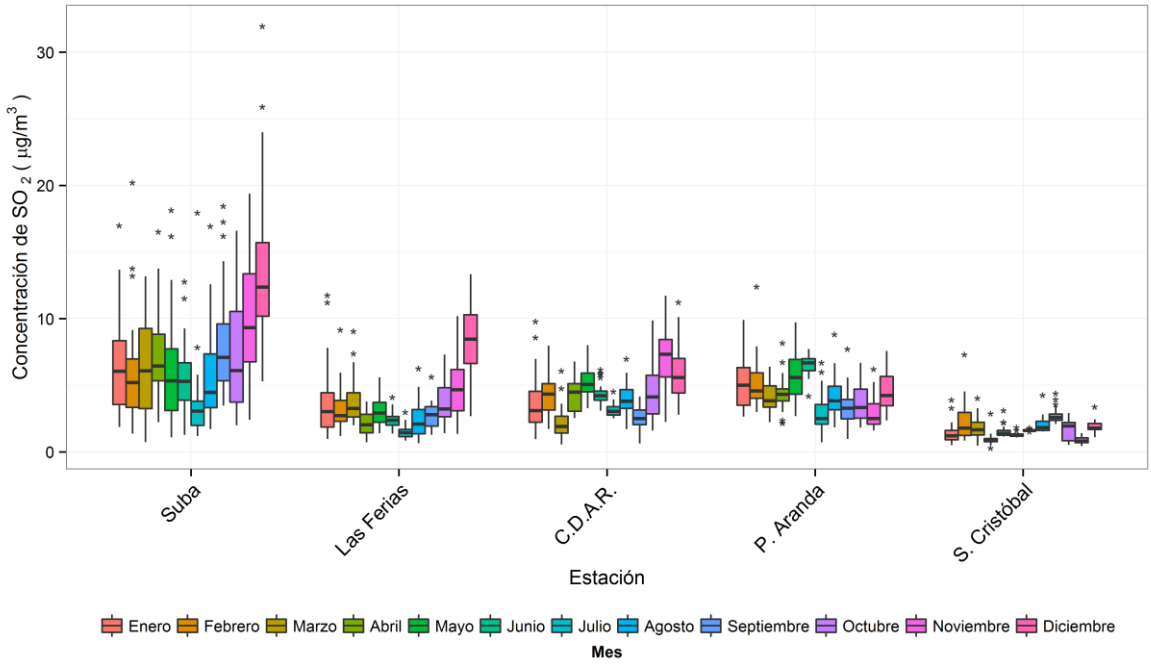


Figura 3-52. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los meses de 2014 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales, diarios y anuales de las concentraciones de SO_2

La Figura 3-53 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% en el año 2014. Conforme a las observaciones dadas en el aparte anterior, los menores niveles de concentración se observan los lunes y los domingos. Los días comprendidos entre martes y viernes mantienen niveles similares. Suba establece una diferencia considerable con respecto a las demás estaciones al mantener concentraciones e intervalos de confianza en niveles relativamente más altos. El ciclo semanal de la estación San Cristóbal evidencia que los días jueves mantienen altas concentraciones.

Los perfiles diarios de la Figura 3-54 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 8:00 a.m. y las 10:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en la presencia de niveles altos de este contaminante. En Suba, la magnitud de las concentraciones así como el intervalo de confianza son relativamente elevados en horas de la media noche y de la madrugada posiblemente por actividades relacionadas con el transporte o emisiones de fuentes fijas en la zona de influencia de esta estación.

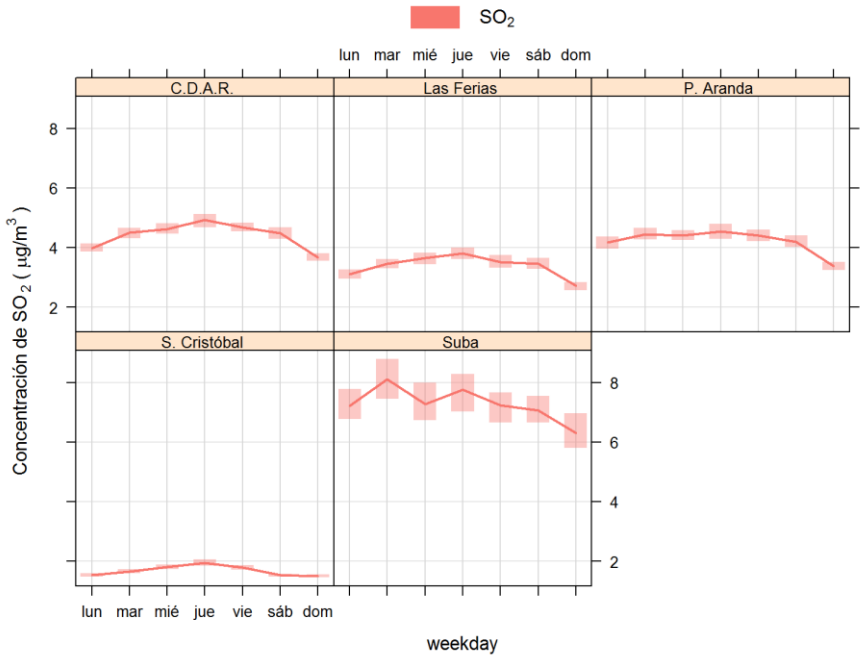


Figura 3-53. Ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

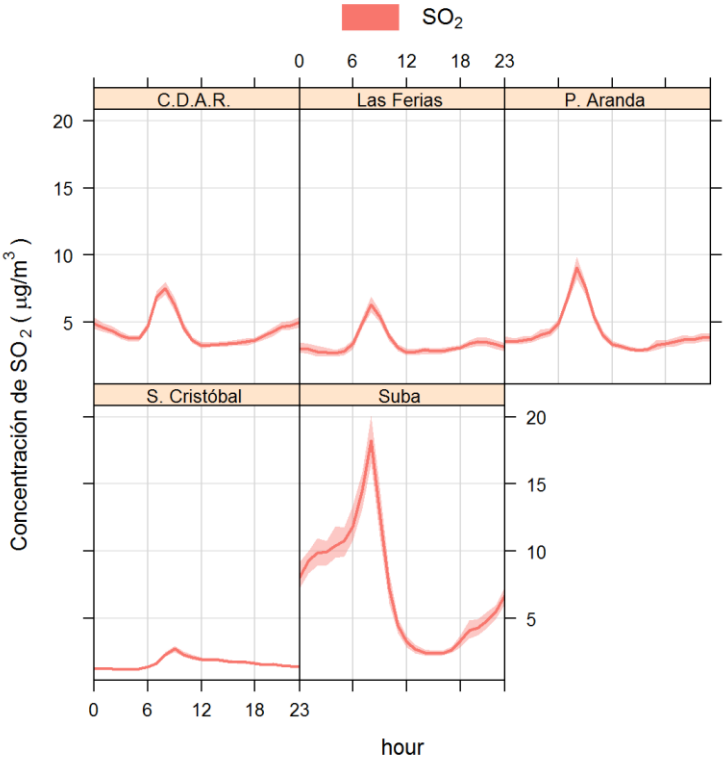


Figura 3-54. Ciclos diarios de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

La Figura 3-55 presenta los ciclos anuales de los analizadores que presentaron una cobertura temporal mayor a 75% durante el año 2014, con base en promedios mensuales. Para Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Suba se observa que las concentraciones aumentaron notablemente a partir del mes de agosto. La explicación de las causas de este aumento es un tema de investigación en curso. En Puente Aranda, la mayor concentración fue observada en el mes de julio mientras que en San Cristóbal, la uniformidad del ciclo anual impide identificar con claridad la diferenciación en el comportamiento entre los meses.

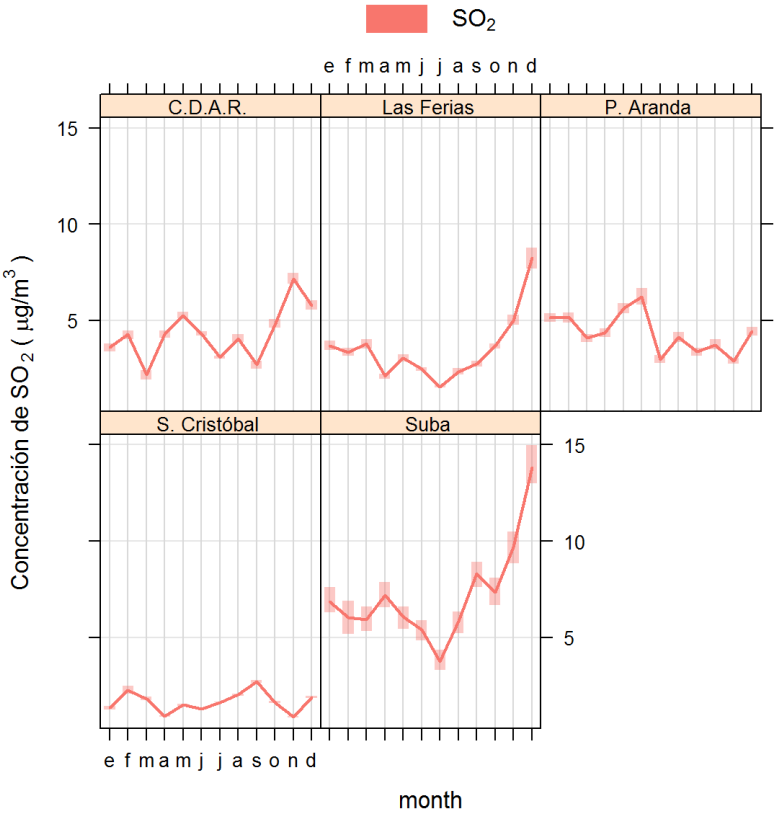


Figura 3-55. Ciclos anuales de las concentraciones de SO_2 con base en promedios mensuales. Año 2014. En cada mes se muestra el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de SO_2

La Figura 3-56 presenta la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 entre los años 2010 y 2014 en función de las estaciones de monitoreo. Históricamente y con una diferencia apreciable, los niveles más altos se mantienen en la estación Carvajal-Sevillana a pesar de observarse una reducción progresiva general de las concentraciones entre 2011 y 2013. Los niveles son incluso superiores a los presentados en Suba, estación que ha venido incrementando sus concentraciones. Esto se debe a que las actividades relacionadas con combustión en los alrededores de la estación son mayores teniendo en cuenta la presencia de actividad industrial.

Puente Aranda es la única estación que cuenta con cobertura temporal superior a 75% entre 2010 y 2014, periodo durante el cual se ha observado una tendencia de disminución

constante. Aunque Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento tienen años en los cuales no hay suficiente cobertura temporal, sí se observan reducciones en 2011, 2012 y 2014 para la primera y 2010, 2012 y 2014 para la segunda.

En comparación con el año 2013, en 2014 se observó una reducción en Puente Aranda y un aumento en Suba. Esta estación ha estado incrementando sus niveles de dióxido de azufre entre 2012 y 2014. San Cristóbal solamente registra cobertura temporal suficiente para 2014 y, por tanto, no es posible establecer una comparación en términos históricos. En general, todas las tendencias observadas dan evidencia de la alta heterogeneidad de Bogotá en relación a sus fuentes de emisión y correspondientes niveles de inmisión.

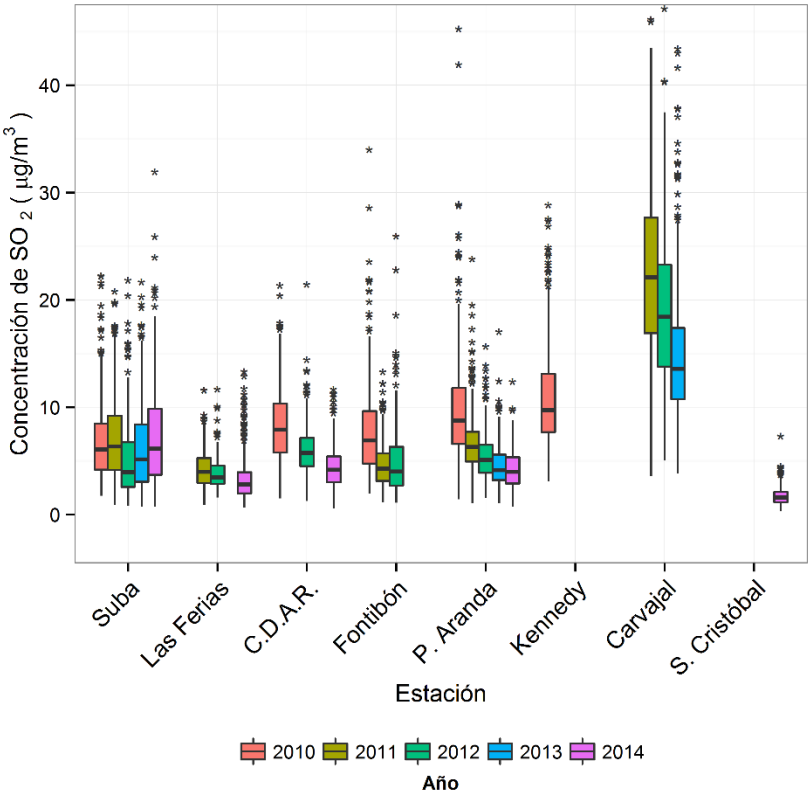


Figura 3-56. Gráfico de *boxplot* para SO_2 en base diaria por estación de monitoreo entre los años 2010 y 2014.

La Tabla 3-22 es el resumen de los máximos históricos entre los años 2010 y 2014. El máximo valor registrado en estos años fue 98,0 µg/m^3 el 25 de febrero de 2010 en la estación Carvajal-Sevillana. Entre 2010 y 2013 esta estación se destacó por ser la única en presentar valores máximos. Esta tendencia fue interrumpida en 2014 al ser Kennedy la estación que reportó el máximo de la RMCAB. Se destaca que la magnitud de 2014 es notablemente menor en comparación con años anteriores. Ningún valor máximo histórico supera el 50% del límite normativo establecido, lo cual en consecuencia indica que el SO_2 representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.

Tabla 3-22. Resumen estadístico histórico de los máximos diarios de SO_2 entre los años 2010 y 2014.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	57,1	12/02/2010	Carvajal-Sevillana
2011	98,0	25/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	47,1	05/06/2012	Carvajal-Sevillana
2013	51,1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana
2014	32,2	13/12/2014	Kennedy

3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el año 2014 se contó con promedios horarios y móviles de 8 horas de monóxido de carbono (CO) para 9 estaciones, como se indica en la Tabla 1-1. La Resolución 610 de 2010 establece un límite normativo de 40 mg/m^3 para un tiempo de exposición de 1 hora y de 10 mg/m^3 para 8 horas.

Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Se obtuvieron 44851 (cuarenta y cuatro mil ochocientos cincuenta y uno) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB para el año 2014. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 57% con respecto al máximo posible de información a obtener en las estaciones que registraron mediciones en el periodo.

Tabla 3-23. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2014. Los promedios anuales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m^3)	Máximo (mg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	32%	N.R.	3,1	24/10/2014 23:00
Las Ferias	79%	0,7	4,1	24/10/2014 23:00
Centro de Alto Rendimiento	24%	N.R.	6,9	28/10/2014 22:00
Fontibón	40%	N.R.	2,8	13/05/2014 07:00
Puente Aranda	99%	0,9	10,4	20/02/2014 11:00
Kennedy	25%	N.R.	5,1	23/12/2014 07:00
Carvajal-Sevillana	80%	1,5	7,7	28/03/2014 06:00
Tunal	93%	0,8	7,8	22/04/2014 20:00
San Cristóbal	40%	N.R.	4,5	10/09/2014 09:00

N.R.: No representativo. Los datos del periodo tienen una cobertura temporal inferior al 75% del número total posible en la estación.

En la Tabla 3-23 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio anual, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron y en la Figura 3-57 se encuentran los máximos y excedencias en forma gráfica. Las Ferias, Puente Aranda Carvajal-Sevillana y Tunal presentaron una representatividad temporal superior a 75% y son las únicas para las que se reportan promedios anuales. Carvajal-Sevillana estableció una diferencia notable con las otras tres estaciones ya que su promedio de 1,5 mg/m^3 es significativamente mayor a los demás al encontrarse en el rango comprendido entre 0,7 mg/m^3 y 0,9 mg/m^3.En la zona de influencia de esta estación se observa una alta actividad de fuentes de combustión las cuales son las principales responsables de la emisión de monóxido de carbono. Es importante destacar que los promedios anuales de la Tabla 3-23 son indicativos para la comparación mutua de las estaciones pero no contrastables con la normatividad nacional ya que esta no regula tiempos de exposición de un año para este contaminante.

La máxima concentración horaria reportada en las estaciones de la RMCAB fue 10,4 mg/m^3 en Puente Aranda el 20 de febrero de 2014 a las 11:00 a.m. Este valor es seguido en magnitud por los máximos reportados en Tunal y Carvajal-Sevillana con 7,8 mg/m^3 y 7,7 mg/m^3 el 22 de abril a las 8:00 p.m. y el 28 de marzo a las 6:00 a.m. El 24 de octubre de 2014 a las 11:00 p.m., Usaquén y Las Ferias presentaron coincidencias en sus concentraciones máximas con valores de 3,1 mg/m^3 y 4,1 mg/m^3, respectivamente, sugiriendo un posible episodio singular de alta concentración al norte de la ciudad.

El límite máximo permisible de CO en un tiempo de exposición horario es 40 mg/m^3. La concentración máxima de 10,4 mg/m^3 representa el 26% de este valor. Por tanto, no se presentaron incumplimientos normativos y además, todos los datos horarios se registraron por debajo del 50% del límite (20 mg/m^3).

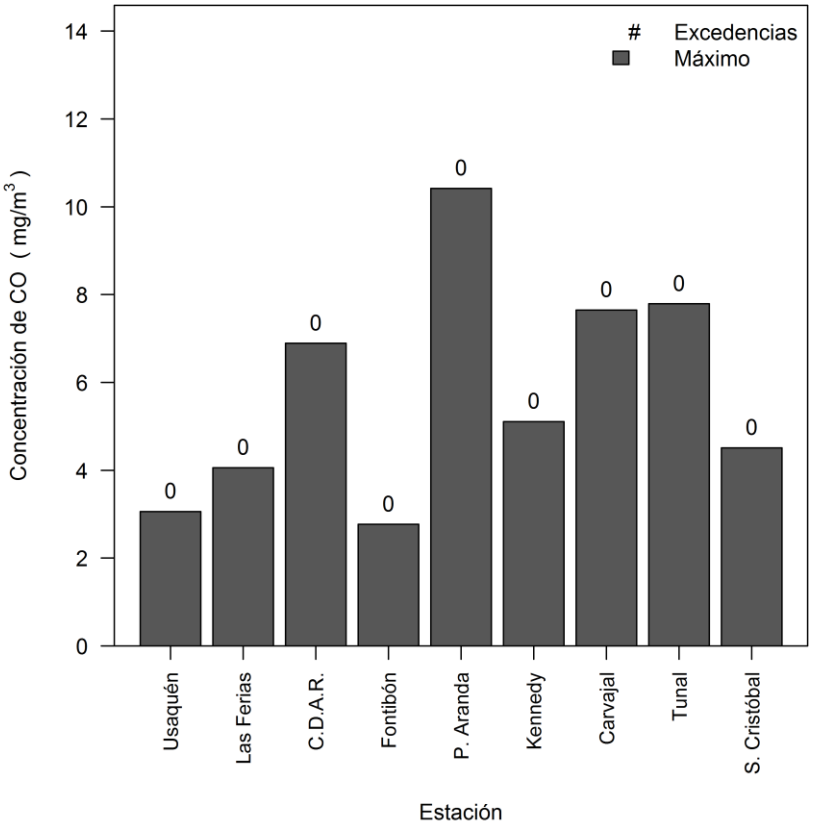


Figura 3-57. Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2014.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el año 2014 se calcularon 44560 (cuarenta y cuatro mil quinientos sesenta) promedios móviles de 8 horas de CO, equivalentes al 57% de los datos posibles en el año entre las estaciones que reportaron mediciones. Conforme a las observaciones proporcionadas para el análisis de concentraciones horarias, la cobertura temporal global fue inferior a 75%. Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Fontibón, Kennedy y San Cristóbal contribuyeron a este resultado con representatividades menores a 75%.

La Tabla 3-24 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos, máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia y excedencias del 50% de la norma para el año 2014. La Figura 3-58 muestra los valores máximos y el número de excedencias de la normatividad en forma gráfica. El máximo promedio móvil de 8 horas de CO reportado en la RMCAB fue 5,4 mg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana el 10 de octubre de 2014 a las 6:00 a.m. Esta valor es seguido por las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda con valores de 4,7 mg/m^3 el 29 de octubre a las 2:00 a.m. y 4,1 mg/m^3 el 7 de marzo a las 12:00 m. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 10 mg/m^3, el valor máximo de 5,4 mg/m^3 representa el 54% de este valor de referencia. Como consecuencia, se presentaron 3 excedencias del 50% del límite normativo (5 mg/m^3) en la estación Carvajal-Sevillana.

En términos de promedios móviles de 8 horas, el 25 de octubre las estaciones Usaquén y Las Ferias coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas a las 12:00 a.m. y las 2:00 a.m. Este episodio corresponde al descrito en el apartado anterior que ocurrió el 24 de octubre. El corrimiento de un día se explica teniendo en cuenta que los máximos corresponden a las 8 horas previas, las cuales cubren la noche del día anterior. La mayoría de concentraciones máximas se reportaron en los primeros y últimos meses del año.

Tabla 3-24. Resumen de datos de CO por estación en el año 2014. Base de 8 horas.

Estación	% de datos válidos	Máximo (mg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Excedencias del 50% del límite normativo[12]
Usaquén	32%	2,2	25/10/2014 00:00	0
Las Ferias	79%	3,1	25/10/2014 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	23%	4,7	29/10/2014 02:00	0
Fontibón	40%	1,6	22/04/2014 23:00	0
Puente Aranda	100%	4,1	07/03/2014 12:00	0
Kennedy	25%	2,7	25/01/2014 10:00	0
Carvajal-Sevillana	79%	5,4	10/10/2014 06:00	3
Tunal	92%	4,0	03/04/2014 22:00	0
San Cristóbal	39%	2,8	02/09/2014 13:00	0

[12] Mayor a 5 mg/m^3 y menor a 10 mg/m^3.

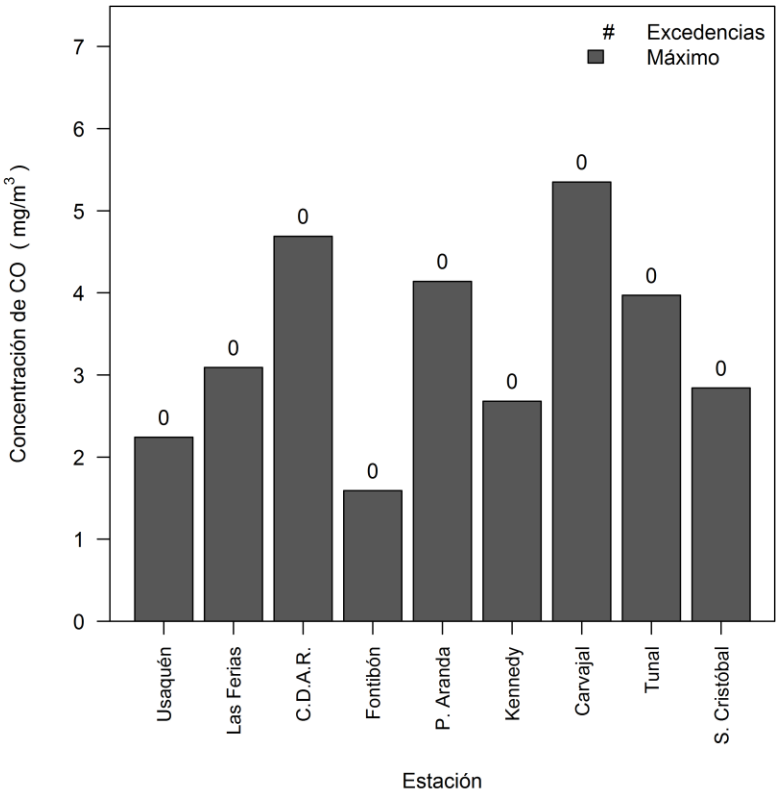


Figura 3-58.Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2014.

Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-59 presenta el comportamiento de las concentraciones de CO (promedios móviles de 8 horas) en función de la estación y de los días de la semana. En Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Tunal se observa que las menores concentraciones se presentan los lunes y los domingos, lo cual se atribuye, en el caso de los domingos, a la reducción de actividades en comparación a los demás días y, en el caso de los lunes, a la presencia de festivos y a la influencia del día anterior. En Las Ferias, los domingos son los días con las menores concentraciones pero el diagrama de caja del lunes es similar en magnitudes y dispersión a los correspondientes a los días martes a sábado. Carvajal-Sevillana y Tunal presentaron mayores niveles de dispersión, lo cual está asociado al nivel de actividad desarrollado en sus zonas de influencia. En Las Ferias se observa la menor cantidad de valores atípicos. Los domingos en Puente Aranda y Carvajal-Sevillana tienen menores variabilidades, lo cual está asociado a la dinámica de la ciudad de Bogotá.

El comportamiento de las estaciones en función de los meses de 2014 se muestra en la Figura 3-60. Las menores concentraciones fueron observadas en los meses de junio, julio y agosto, consecuencia de la variabilidad en la velocidad de los vientos. En Puente Aranda y Carvajal-Sevillana se observaron bajas concentraciones en enero. Al ser estaciones cercanas a fuentes de emisión asociadas con la combustión, la reducción de actividades durante los primeros días de este mes es más evidente.

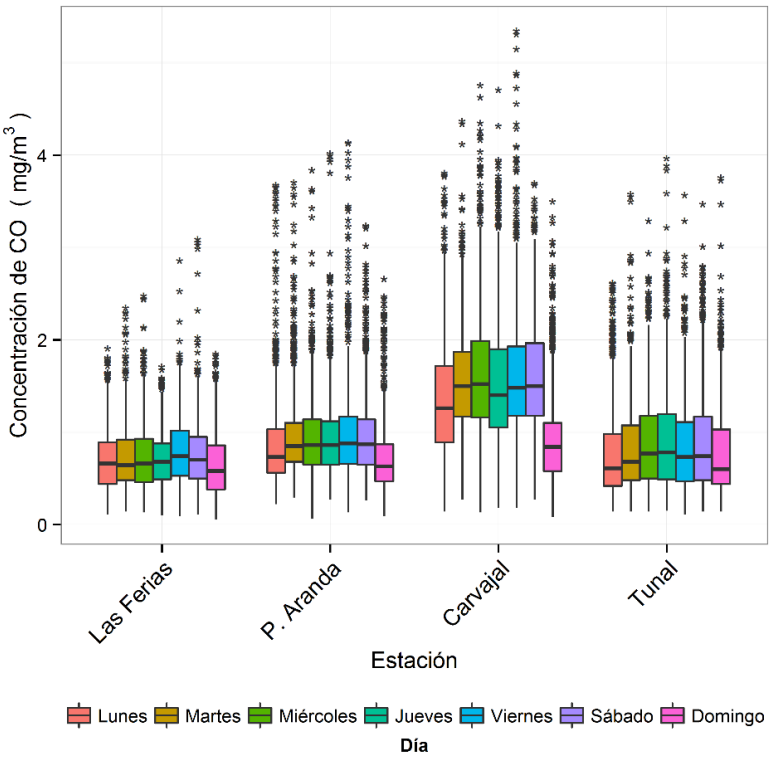


Figura 3-59. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2014.

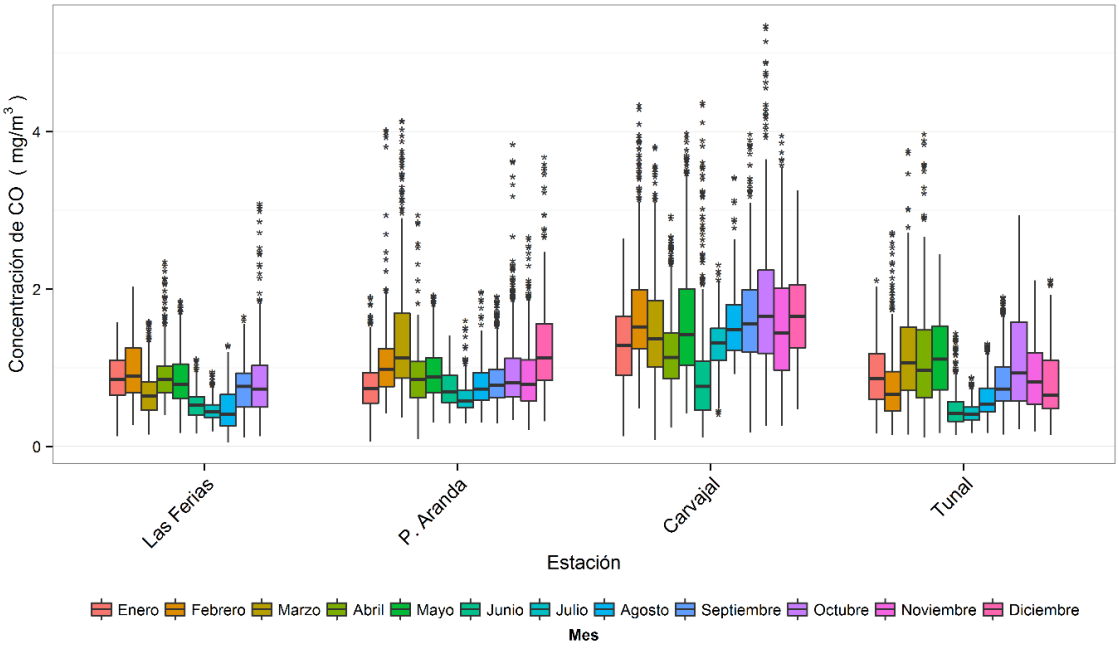


Figura 3-60. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses por estación de monitoreo para el año 2014.

Ciclos semanales, diarios y anuales de las concentraciones de CO

La Figura 3-61 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. El ciclo más heterogéneo y las concentraciones más altas se observan en la estación Carvajal-Sevillana estableciendo una diferencia significativa con respecto a los correspondientes de las demás estaciones. Esto se observa especialmente en los días domingo que muestran un descenso significativo y evidencian la alta influencia de sus alrededores inmediatos. En general, estos días mostraron los menores niveles en todas las estaciones así como los lunes, excepto en Las Ferias donde no hay una diferencia consistente. En los viernes se observa de forma generalizada altos niveles de este contaminante.

La Figura 3-62 presenta el comportamiento en función de las horas del día. En general se observa un pico de concentración en la mañana, lo cual está acorde con el comportamiento del flujo vehicular de la ciudad que tiende a ser mayor entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. En horas de la noche, después de las 6:00 p.m., se presenta un nuevo aumento de concentración que coincide con la denominada “hora pico” de la tarde. En Las Ferias y Tunal, este pico presenta magnitudes similares al correspondiente al de la mañana. En cambio, es menor en Carvajal-Sevillana y Puente Aranda.

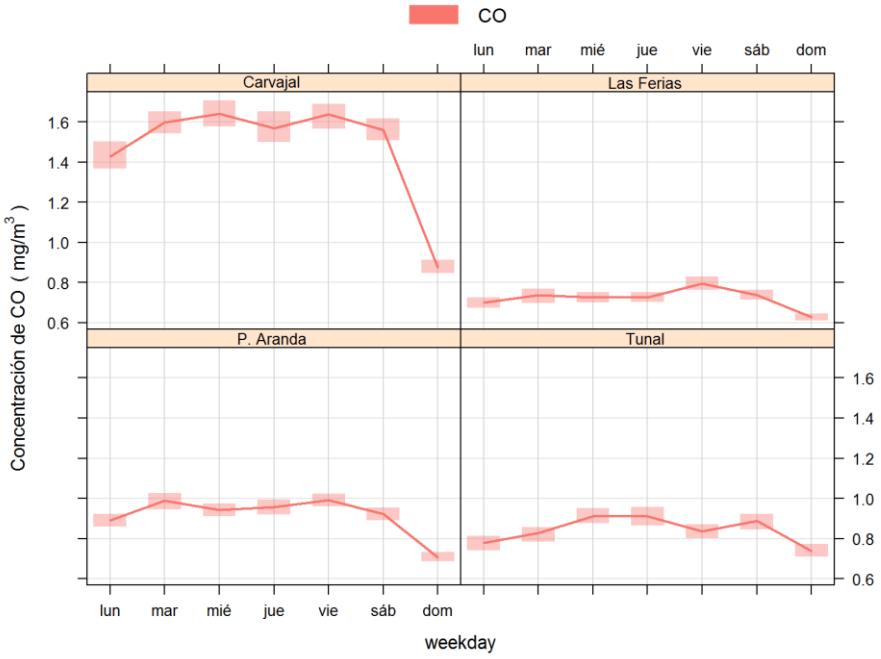


Figura 3-61. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el año 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los ciclos mensuales de la Figura 3-63 muestran que los meses de enero, junio y julio presentan las menores concentraciones, lo cual corresponde en el primer mes a la reducción del nivel de actividad en la ciudad durante sus primeros días y en los demás al aumento de la velocidad del viento a mitad de año, la cual favorece la ventilación de la ciudad. En Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Puente Aranda, el mes de febrero mostró las mayores concentraciones del año, mientras que para Las Ferias fue marzo.

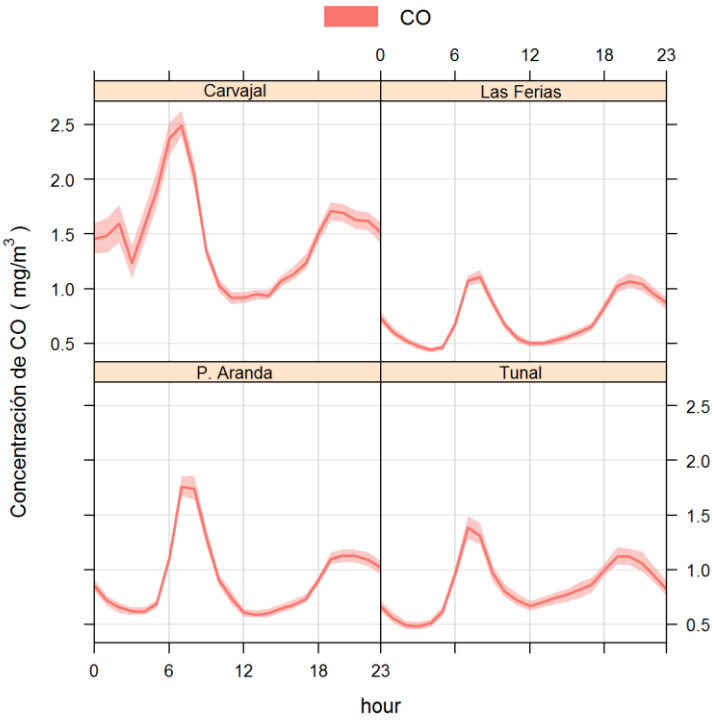


Figura 3-62. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2014 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

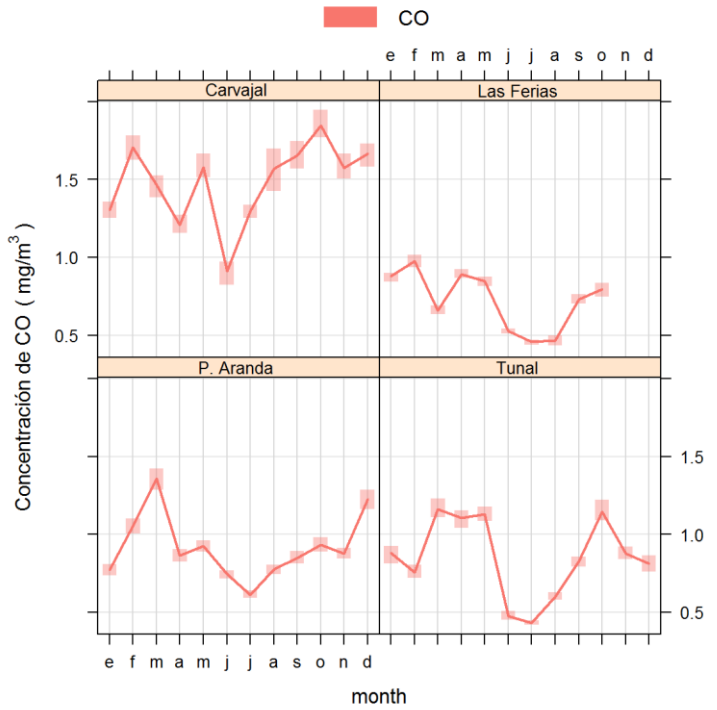


Figura 3-63. Ciclos anuales de monóxido de carbono con base en promedios mensuales en las estaciones de monitoreo con una cobertura temporal igual o superior a 75%. Año 2014. Se presenta el intervalo de confianza de 95% en cada promedio mensual.

Comportamiento histórico de las concentraciones de monóxido de carbono.

En la Figura 3-64 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO entre los años 2010 y 2014 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La estación Las Ferias ha reducido sus niveles de concentración progresivamente en los años estudiados. En Kennedy también se observa reducción hasta 2013 mientras que Puente Aranda presentó un leve incremento entre 2010 y 2011 y luego una reducción hasta 2014. En Carvajal-Sevillana la reducción fue progresiva hasta 2013 y se estabilizó en 2014; este sitio de monitoreo ha presentado los mayores niveles de concentración de la RMCAB. Para las demás estaciones no se cuenta con información histórica suficiente que permita establecer una tendencia definida. Se observa que ninguna concentración móvil de 8 horas ha excedido el límite máximo permisible de 10 mg/m^3 en los 5 años analizados.

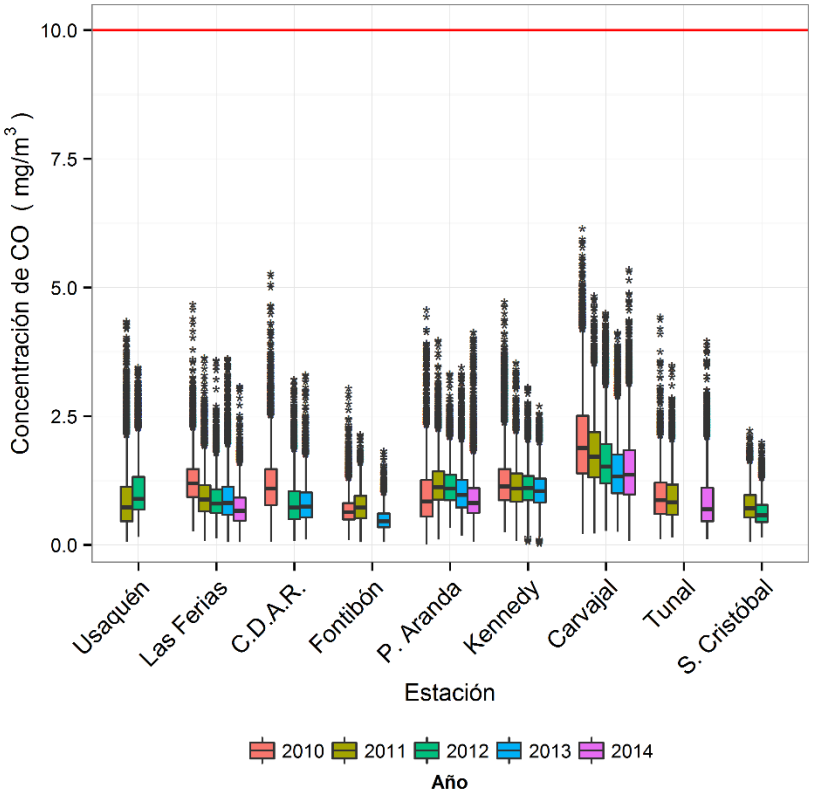


Figura 3-64. Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo entre los años 2010 y 2014.

El resumen de máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas entre 2010 y 2014 se presenta en la Tabla 3-25. La máxima concentración de monóxido de carbono observada en estos 5 años fue 6,2 mg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana el 7 de mayo de 2010 a las 7:00 a.m., lo que implica que abarcó las horas de la madrugada, lo cual corresponde a lo observado en los ciclos diarios de la Figura 3-62. Para los años 2012, 2013 y 2014 esta estación igualmente presentó los valores máximos de la RMCAB en horas

cercanas (5:00 a.m. y 6:00 a.m.) lo cual se debe a que se encuentra influenciada por actividades de tráfico pesado (Autopista Sur) e industrias. La excepción correspondió a Centro de Alto Rendimiento el 5 de marzo de 2011 a las 2:00 a.m., con una concentración de 5,2 mg/m^3. Las horas que abarca este promedio móvil son inusuales teniendo en cuenta la tendencia diaria de este contaminante.

Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es 10 mg/m^3, se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3.

Tabla 3-25. Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios de 8 horas entre los años 2010 y 2014.

Año	Máximo mg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	6,2	07/05/2010 07:00	Carvajal-Sevillana
2011	5,2	05/03/2011 02:00	Centro de Alto Rendimiento
2012	4,5	11/05/2012 05:00	Carvajal-Sevillana
2013	4,1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	5,4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana

3.3. Índices de calidad del aire

Esta sección presenta el Índice de Calidad del Aire (ICA) para seis contaminantes criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-26.

Tabla 3-26. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h µg/m³	$PM_{2.5}$ 24h µg/m³	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O_3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora.
(4) Los números entre paréntesis se asocian a valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables.

3.3.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM_{10} puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-65 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Las diferencias en la proporción del ICA entre los sitios de monitoreo muestra la alta variabilidad en las características de sus zonas de influencia. La categoría "Moderada" predomina en las estaciones Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana, localizadas al occidente y suroccidente de Bogotá. La zona que representan estas estaciones está sujeta a una actividad alta de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada. La categoría "Moderada" en PM_{10} implica un riesgo a la salud, especialmente para personas con enfermedades respiratorias. En las demás estaciones se observa la predominancia de la categoría "Buena", especialmente en Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal. Sin embargo, existen horas con categoría "Moderada".

Se observa una participación leve de la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" que corresponde al 26 y 27 de junio cuando ocurrió un episodio generalizado de contaminación transfronteriza de material particulado, evidenciándose especialmente en Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana, Tunal y San Cristóbal; al 6 y 7 de noviembre cuando ocurrió el incendio de un depósito de llantas en la localidad de Fontibón en el cual se observaron altas concentraciones en Puente Aranda y al 19 de diciembre de 2014 en Carvajal-Sevillana. La categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" representa efectos adversos en la salud para personas con afecciones cardiacas o respiratorias, adultos mayores y niños.

La Figura 3-66 muestra la discriminación del ICA de PM_{10} en función de los meses de 2014. La participación de la categoría "Buena" es relativamente mayor en enero y en los meses de mitad de año, lo cual en el primer mes del año se debe a la reducción del nivel de actividad de la ciudad durante sus primeros días y en el caso de junio y julio al aumento de la velocidad de los vientos que favorecen la ventilación de la ciudad y la consecuente reducción de las concentraciones de los contaminantes. La calidad del aire se deteriora entre agosto y diciembre, consecuencia del comportamiento meteorológico de la ciudad. De forma concordante al análisis de la proporción del ICA por estaciones de monitoreo, se observa que los meses de junio y noviembre presentan una participación de la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles". Como se mencionó previamente, ocurrió adicionalmente un evento con esta categoría en el mes de diciembre pero no se evidencia en la figura al tener una duración de una hora.

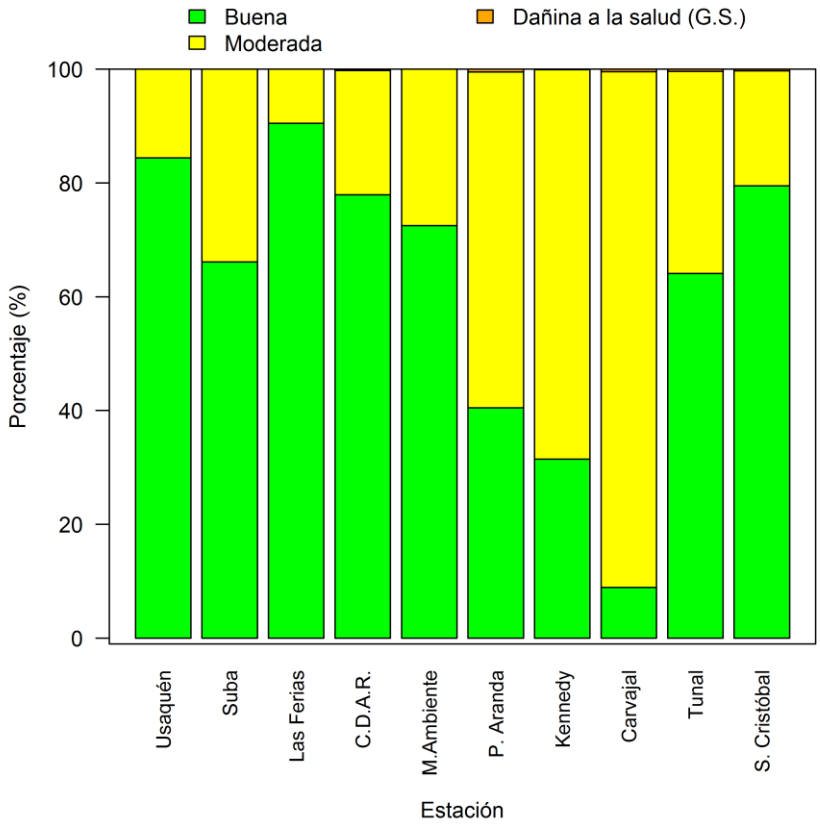


Figura 3-65. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2014.

La Figura 3-67 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. De martes a sábado ocurre la mayor afectación mientras que los lunes y domingos presentaron una mejor calidad del aire en términos de este contaminante. Este es un resultado esperado y concordante con el análisis realizado para las concentraciones de PM_{10}. Aunque el lunes no es catalogado como día perteneciente a un fin de semana, es posible que la influencia de los días feriados y de la capa residual del día anterior influyan en su mejor calidad del aire.

La Figura 3-68 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM_{10} durante el año 2014. La categoría “Buena” se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría con excepción de Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana que representaron una predominancia de la categoría “Moderada”. El mayor valor de ICA correspondió a 68 en la estación de Carvajal-Sevillana mientras que el menor fue observado en Las Ferias con 29 el cual es seguido por Usaquén con 34.

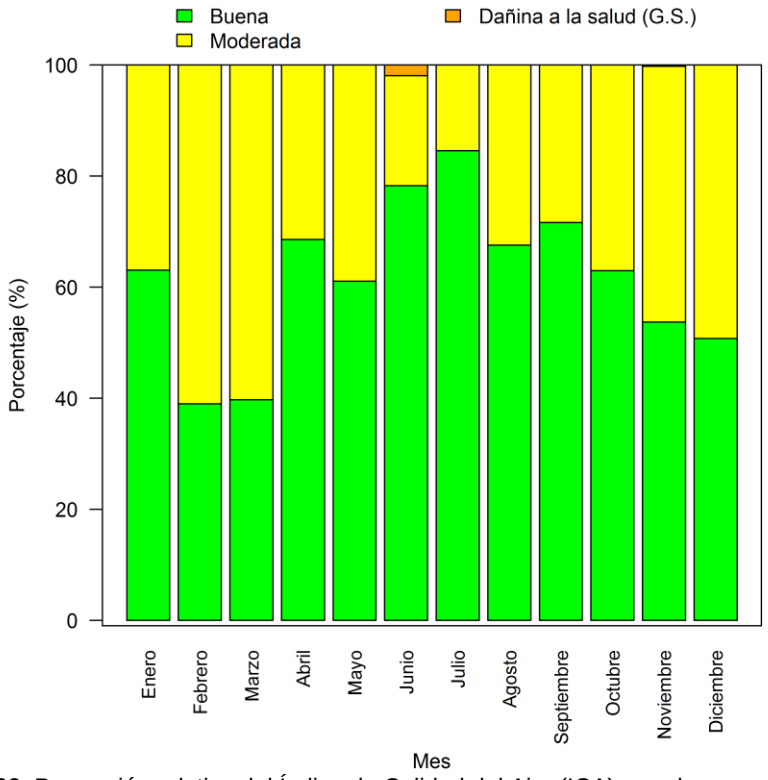


Figura 3-66. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de 2014.

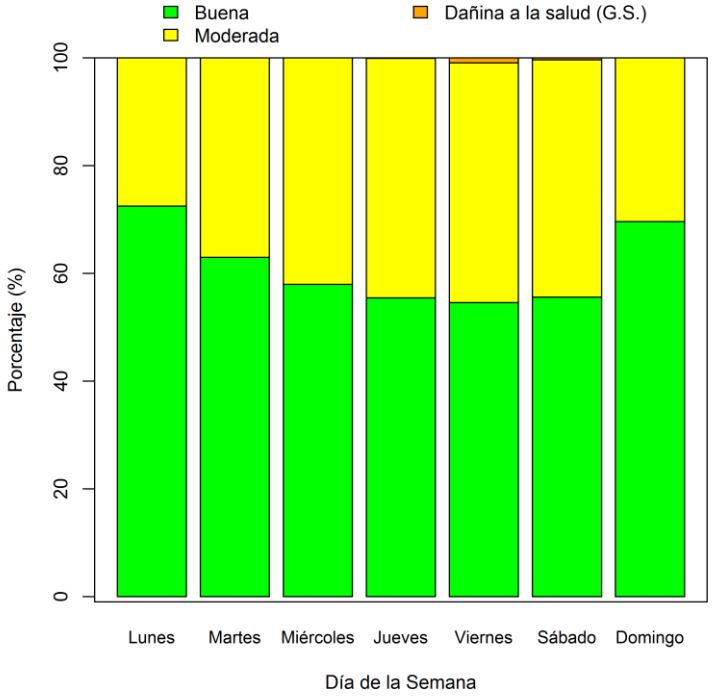


Figura 3-67. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el año 2014.

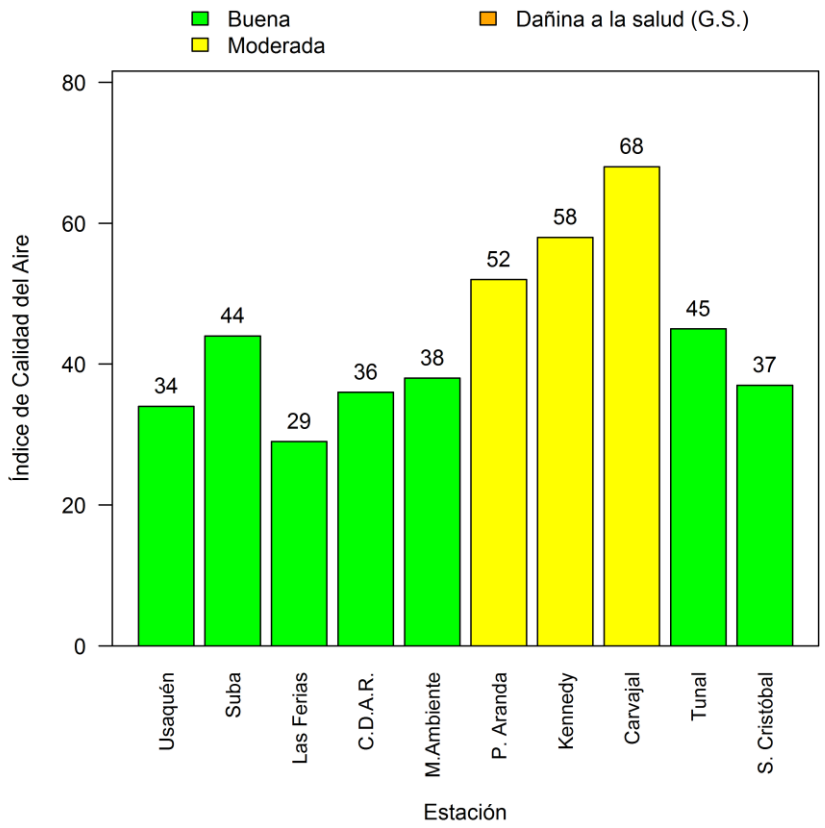


Figura 3-68. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB durante el año 2014.

3.3.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 μm ($PM_{2.5}$) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La Figura 3-69 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. En todas las estaciones analizadas se observa la participación de las categorías "Buena", "Moderada" y "Dañina a la salud para grupos sensibles" en diferentes proporciones. Usaquén y Ministerio de Ambiente mostraron la mayor participación de la categoría "Buena", mientras que la calidad del aire "Moderada" presentó una proporción mayor en Suba, Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Carvajal-Sevillana, especialmente en las dos últimas.

La categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" mostró una participación relativamente baja en Usaquén y se observó en los días 31 de marzo y 27 y 28 de junio. Kennedy y Carvajal-Sevillana, en cambio, mostraron las mayores proporciones. La categoría "Dañina a la salud" está asociada a la agravación de enfermedades cardiacas o respiratorias y una mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiovasculares, adultos mayores y personas de bajos niveles socioeconómicos y los efectos respiratorios se incrementan en la población en general. Esta categoría fue identificada el 31 de marzo y el 1 de abril en Kennedy, el 8 de diciembre en Kennedy y Tunal y el 27 y 28 de junio en Carvajal-Sevillana. En las dos últimas fechas ocurrió un episodio generalizado de contaminación transfronteriza.

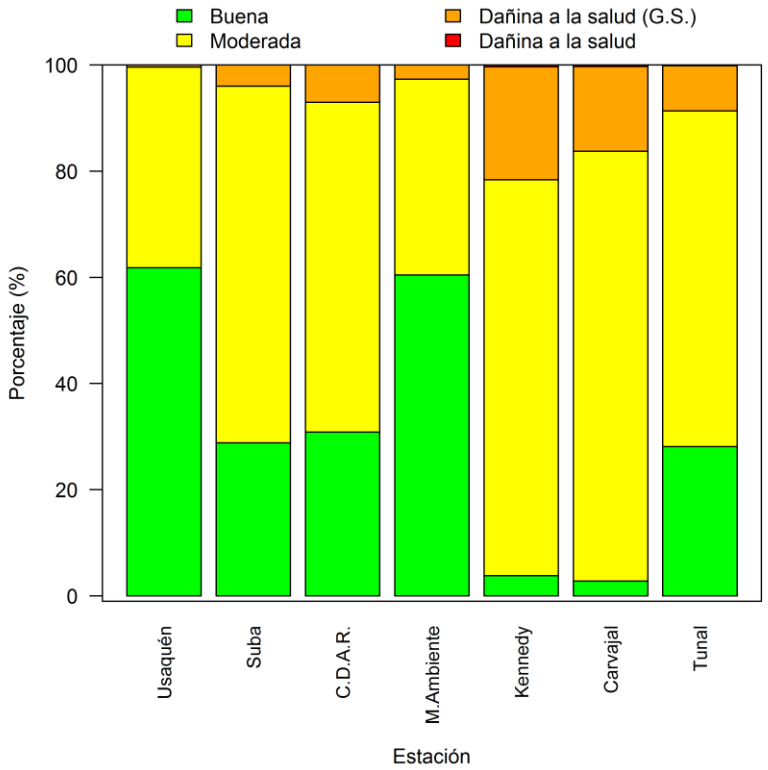


Figura 3-69. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2014.

La Figura 3-70 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses de 2014. En todos ellos la calidad del aire se enmarca en las categorías “Buena”, “Moderada” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. Los meses de marzo, abril, junio y diciembre mostraron la categoría “Dañina a la salud”, la cual estuvo presente especialmente en los dos últimos. Se observa que enero y los meses de junio, julio y agosto tienen una mayor participación de la categoría “Buena”. Las razones son similares a las dadas para PM_{10}, que muestran que en los primeros días de enero hay una reducción del nivel de actividad de la ciudad mientras que a mitad de año la velocidad de los vientos aumenta favoreciendo la ventilación de la ciudad.

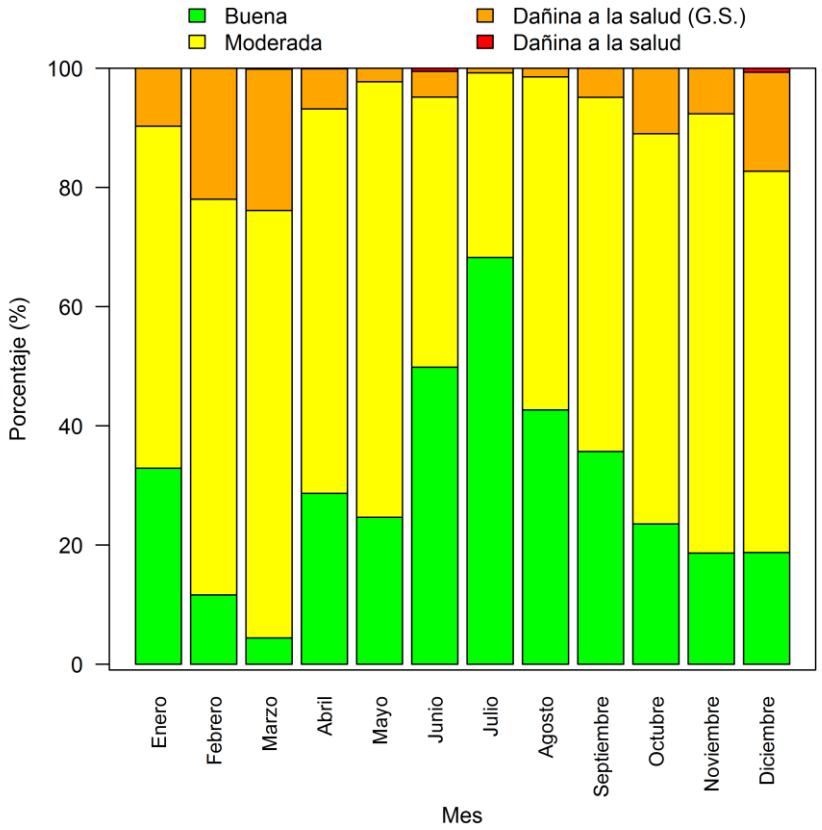


Figura 3-70. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ para los meses de 2014.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-71 muestra que los domingos y los lunes presentaron mejor calidad del aire por su mayor participación de la categoría “Buena”. La proporción es menor el martes y disminuye entre miércoles y viernes aumentando levemente el sábado. Se observa que entre domingo y sábado la proporción de la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” aumenta progresivamente evidenciando un deterioro de la calidad del aire con respecto a este contaminante.

Los valores de ICA de la Figura 3-72 durante el año 2014 muestran que las estaciones Usaquén y Ministerio de Ambiente son las únicas en las que se observa una predominancia de la categoría “Buena”. Sin embargo, la segunda estación reporta un valor de ICA de 49, el cual se encuentra muy cercano de 50, límite a partir del cual la calidad del aire es

"Moderada". Las demás estaciones registraron una predominancia de esta última categoría y los valores promedio más altos del índice de calidad del aire fueron observados en Kennedy y Carvajal-Sevillana con 83 y 85, respectivamente. Estas dos estaciones se localizan en el suroccidente de Bogotá donde predomina alta actividad de fuentes industriales y móviles, especialmente vehículos de carga pesada.

En comparación con los resultados obtenidos para PM_{10}, se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de $PM_{2.5}$ en el año 2014 presentaron una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como la ocurrencia de episodios de alta contaminación.

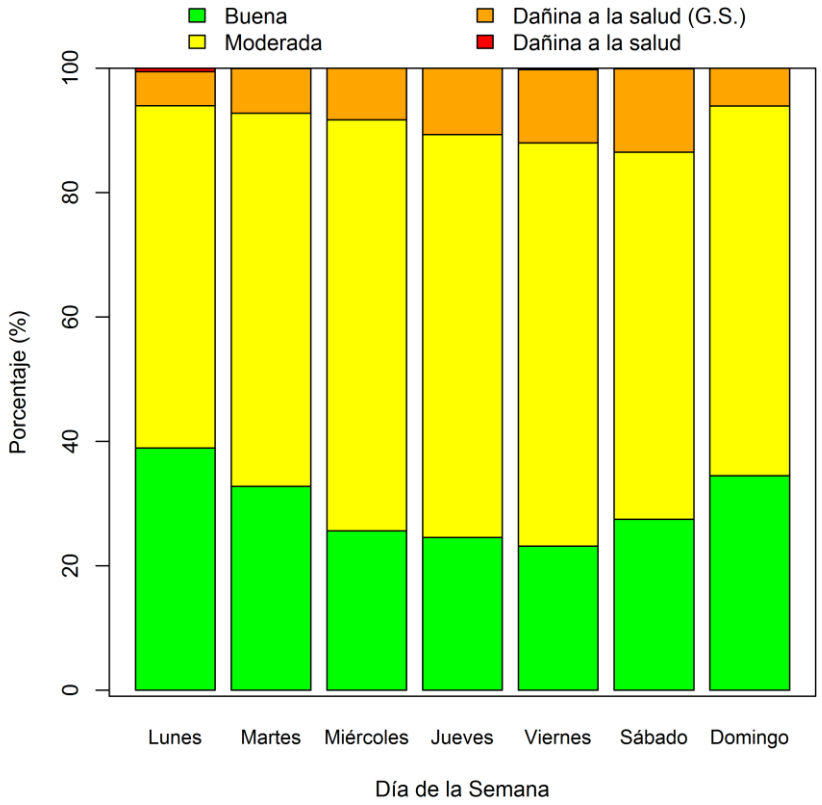


Figura 3-71 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2014.

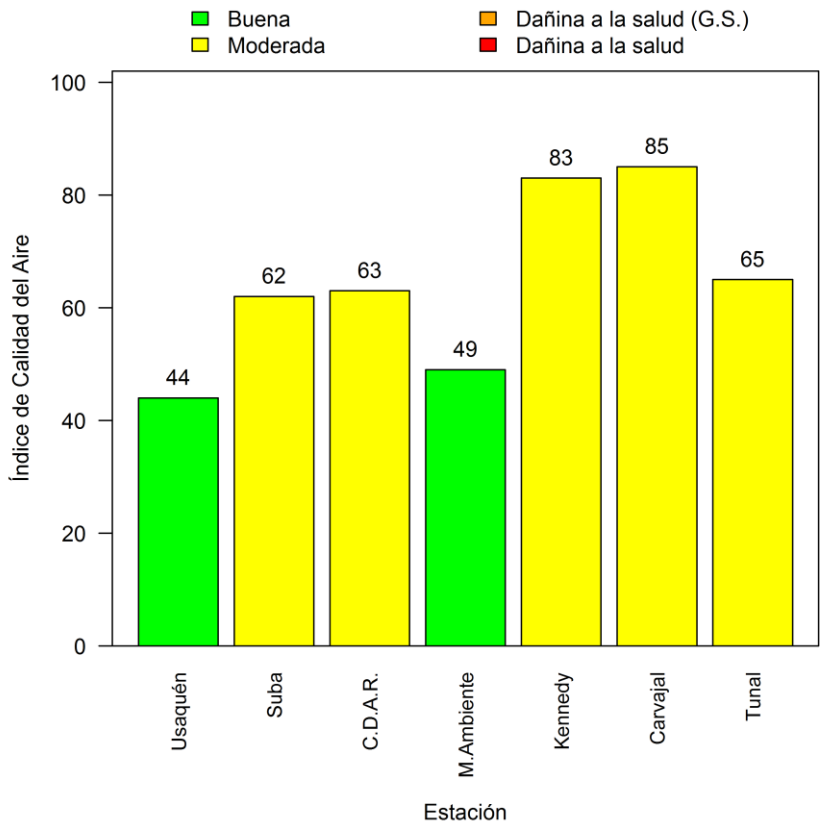


Figura 3-72. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para $PM_{2.5}$ durante el año 2014.

3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

La Figura 3-73, la Figura 3-74 y la Figura 3-75 presentan el índice de calidad del aire promedio por estación para el año 2014 en los contaminantes O_3, CO y SO_2 en tiempos de exposición de 8 horas para los dos primeros de 24 horas para el último. No se presentan resultados para el dióxido de nitrógeno teniendo en cuenta que en este contaminante solamente se consideran valores de ICA superiores a 200, correspondientes a una concentración de 650 ppb o 1222 µg/m^3 en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de NO_2 medida por la RMCAB en 2014 fue 199 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

La categoría "Moderada" se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría "Buena" en el año. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO_2 teniendo en cuenta que el máximo valor fue 4 en la estación Suba.

El máximo valor de ICA para ozono fue 13 en la estación Usaquén y es seguido por Centro de Alto Rendimiento con 11 unidades. Estos resultados son concordantes con los análisis llevados a cabo en apartados anteriores teniendo en cuenta que las concentraciones más altas fueron observadas en el norte y centro geográfico de la ciudad. Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, localizadas al suroccidente y occidente de la ciudad registraron valores inferiores de ICA evidenciando una tendencia contraria a la observada para PM_{10} y $PM_{2.5}$. El 29 de marzo de 2014 ocurrió un episodio singular de alta concentración de ozono a nivel ciudad y los niveles de concentración alcanzaron la categoría "Moderada" entre las 5:00 p.m. y las 9:00 p.m. en Usaquén, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento. La categoría "Moderada" de ozono implica que las personas inusualmente sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios.

En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 15 en la estación Carvajal-Sevillana. Como se ha mencionado previamente, en la zona de influencia de esta estación predomina alta actividad relacionada con la emisión de fuentes industriales y móviles cuyos procesos de combustión favorecen la emisión de monóxido de carbono. Este valor de ICA es seguido por 9 en Puente Aranda y Tunal y 7 en Las Ferias, demostrando un amplio contraste en las tendencias de la calidad del aire en la ciudad. En Carvajal-Sevillana, el 10 de octubre de 2014 entre 5:00 a.m. y 7:00 a.m. los niveles de concentración se enmarcaron en la categoría "Moderada" producto de altos niveles de concentración en horas de la madrugada.

Los índices de calidad del aire para el dióxido de azufre muestran un valor máximo de 4 en la estación Suba, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría "Buena" y "Moderada". Este valor es seguido por 2 en Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda y por 1 en San Cristóbal. Las tendencias en Suba sugieren una actividad de emisión de SO_2 mayor en horas de la madrugada y de la mañana, en comparación con las demás estaciones, lo que estaría asociado a vehículos de carga pesada.

En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

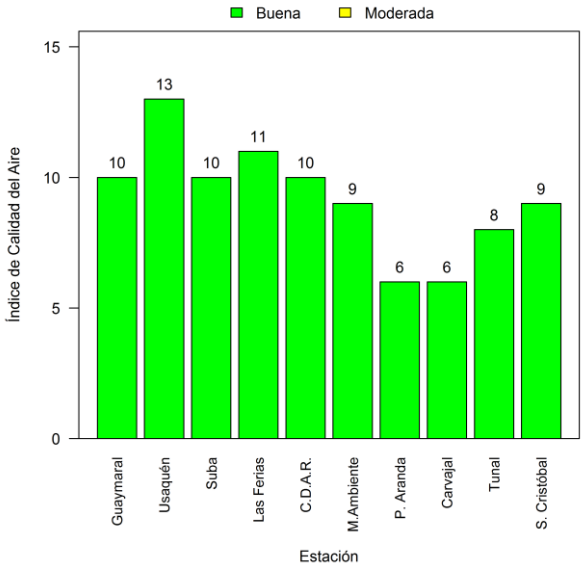


Figura 3-73. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas.

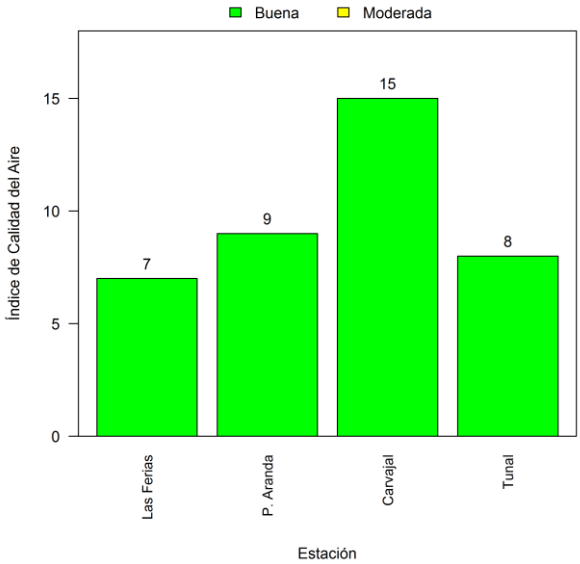


Figura 3-74. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

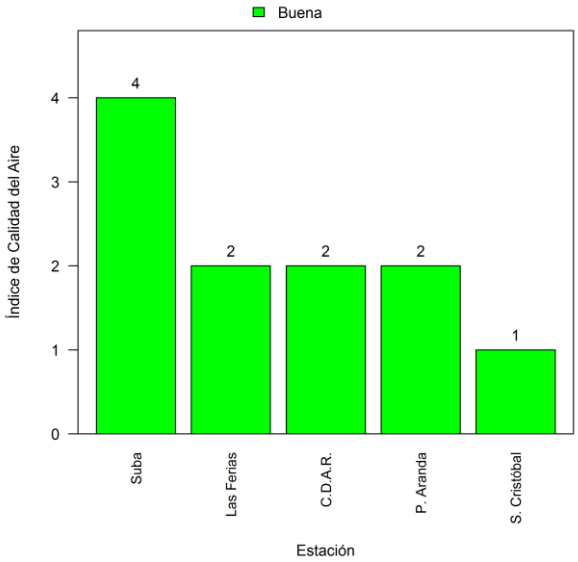


Figura 3-75. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria.

3.4. Síntesis de resultados

Esta sección contiene una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para cada caso se presenta el comportamiento de los promedios en las bases temporales estudiadas para el año 2014.

Para cada tabla, se observa en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cobertura temporal del monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la susceptibilidad de exceder los límites normativos. La última columna presenta los valores de los promedios anuales los cuales en el caso del monóxido de carbono y del ozono son indicativos al no estar regulado un tiempo de exposición anual en la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/ Norma**
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	111	30%	0	0,0%	35	2	274	0,9

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$), año 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de $PM_{2.5}$ [Norma diaria: 50 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m³)[13]**
Norte	Guaymaral	72	20%	0	0,0%	13	0	37	0,7	N.R.
	Usaquén	303	83%	0	0,0%	24	4	46	0,9	13
	Subtotal	***375***	***51%***	***0***	***0,0%***	***37***	***4***	***46***	***0,9***	***13***
Noroccidente	Suba	279	76%	2	0,7%	58	14	55	1,1	21
	Las Ferias	249	68%	1	0,4%	41	11	52	1,0	N.R.
	Subtotal	***528***	***72%***	***3***	***0,6%***	***99***	***25***	***55***	***1,1***	***21***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	306	84%	1	0,3%	62	26	51	1,0	20
	MinAmbiente	269	74%	1	0,4%	28	12	56	1,1	N.R.
	Subtotal	***575***	***79%***	***2***	***0,3%***	***90***	***38***	***56***	***1,1***	***20***
Suroccidente	Kennedy	325	89%	17	5,2%	116	84	67	1,3	32
	Carvajal-Sevillana	316	87%	28	8,9%	150	82	77	1,5	35
	Subtotal	***641***	***88%***	***45***	***7,0%***	***266***	***166***	***77***	***1,5***	***34***
Sur	Tunal	351	96%	10	2,9%	86	33	61	1,2	23
	San Cristóbal	236	65%	0	0,0%	0	1	44	0,9	N.R.
	Subtotal	***587***	***80%***	***10***	***1,7%***	***86***	***34***	***61***	***1,2***	***23***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[13] Comparar con el límite máximo permisible en un tiempo de exposición anual de 25 µg/m³.

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}), año 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{10} [Norma: 100 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m³)[14]**
Norte	Guaymaral	240	66%	1	0,4%	27	1	133	1,3	N.R.
	Usaquén	312	85%	1	0,3%	53	6	125	1,3	37
	Subtotal	***552***	***76%***	***2***	***0,4%***	***80***	***7***	***133***	***1,3***	***37***
Noroccidente	Suba	344	94%	2	0,6%	96	41	142	1,4	51
	Las Ferias	321	88%	1	0,3%	36	6	101	1,0	32
	Subtotal	***665***	***91%***	***3***	***0,5%***	***132***	***47***	***142***	***1,4***	***42***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	284	78%	1	0,4%	71	10	182	1,8	40
	MinAmbiente	355	97%	2	0,6%	83	29	120	1,2	43
	Subtotal	***639***	***88%***	***3***	***0,5%***	***154***	***39***	***182***	***1,8***	***42***
Suroccidente	Fontibón	156	43%	4	2,6%	85	22	243	2,4	N.R.
	Puente Aranda	334	92%	25	7,5%	147	52	199	2,0	62
	Kennedy	333	91%	49	14,7%	117	84	161	1,6	71
	Carvajal-Sevillana	316	87%	121	38,3%	52	115	240	2,4	91
	Subtotal	***1139***	***78%***	***199***	***17,5%***	***401***	***273***	***243***	***2,4***	***75***
Sur	Tunal	272	75%	13	4,8%	74	25	213	2,1	53
	San Cristóbal	296	81%	2	0,7%	77	6	207	2,1	41
	Subtotal	***568***	***78%***	***15***	***2,6%***	***151***	***31***	***213***	***2,1***	***47***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[14] Comparar con el límite máximo permisible en un tiempo de exposición anual de 50 µg/m³.

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de O_3, año 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de O_3 [Norma: 120 µg/m^3]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**
Norte	Guaymaral	8398	96%	13	0,2%	326	82	159	1,3
	Usaquén	7917	90%	17	0,2%	645	62	179	1,5
	Subtotal	***16315***	***93%***	***30***	***0,2%***	***971***	***144***	***179***	***1,5***
Noroccidente	Suba	8492	97%	0	0,0%	296	34	120	1,0
	Las Ferias	7165	82%	7	0,1%	296	31	168	1,4
	Subtotal	***15657***	***89%***	***7***	***0,0%***	***592***	***65***	***168***	***1,4***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7829	89%	16	0,2%	321	44	157	1,3
	MinAmbiente	6838	78%	1	0,0%	100	8	123	1,0
	Subtotal	***14667***	***84%***	***17***	***0,1%***	***421***	***52***	***157***	***1,3***
Suroccidente	Fontibón	3798	43%	16	0,4%	280	62	165	1,4
	Puente Aranda	8601	98%	2	0,0%	75	19	126	1,1
	Carvajal-Sevillana	6923	79%	0	0,0%	64	6	106	0,9
	Subtotal	***19322***	***74%***	***18***	***0,1%***	***419***	***87***	***165***	***1,4***
Sur	Tunal	8265	94%	1	0,0%	59	9	128	1,1
	San Cristóbal	8394	96%	1	0,0%	90	16	128	1,1
	Subtotal	***16659***	***95%***	***2***	***0,0%***	***149***	***25***	***128***	***1,1***

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O_3, año 2014.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de O_3 [Norma: 80 µg/m^3]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m^3)[15]**
Norte	Guaymaral	8376	96%	49	0,6%	871	229	107	1,3	23
	Usaquén	7888	90%	62	0,8%	1710	435	133	1,7	31
	Subtotal	***16264***	***93%***	***111***	***0,7%***	***2581***	***664***	***133***	***1,7***	***27***
Noroccidente	Suba	8497	97%	12	0,1%	827	161	89	1,1	22
	Las Ferias	7128	81%	22	0,3%	841	137	127	1,6	25
	Subtotal	***15625***	***89%***	***34***	***0,2%***	***1668***	***298***	***127***	***1,6***	***24***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7737	88%	30	0,4%	965	135	120	1,5	23
	MinAmbiente	6753	77%	3	0,0%	496	39	90	1,1	20
	Subtotal	***14490***	***83%***	***33***	***0,2%***	***1461***	***174***	***120***	***1,5***	***21***
Suroccidente	Fontibón	3806	43%	50	1,3%	464	181	129	1,6	N.R.
	Puente Aranda	8579	98%	4	0,1%	210	29	97	1,2	15
	Carvajal-Sevillana	6747	77%	0	0,0%	141	11	80	1,0	14
	Subtotal	***19132***	***73%***	***54***	***0,3%***	***815***	***221***	***129***	***1,6***	***14***
Sur	Tunal	8275	94%	5	0,1%	292	22	95	1,2	18
	San Cristóbal	8360	95%	0	0,0%	468	42	78	1,0	20
	Subtotal	***16635***	***95%***	***5***	***0,0%***	***760***	***64***	***95***	***1,2***	***19***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[15] Estos promedios anuales no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios horarios de NO_2, año 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de NO_2 [Norma: 200 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**
Norte	Guaymaral	8484	97%	0	0,0%	1	0	106	0,5
	Subtotal	***8484***	***97%***	***0***	***0,0%***	***1***	***0***	***106***	***0,5***
Noroccidente	Suba	8663	99%	0	0,0%	8	0	113	0,6
	Las Ferias	3301	38%	0	0,0%	90	2	156	0,8
	Subtotal	***11964***	***68%***	***0***	***0,0%***	***98***	***2***	***156***	***0,8***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2477	28%	0	0,0%	5	0	124	0,6
	Subtotal	***2477***	***28%***	***0***	***0,0%***	***5***	***0***	***124***	***0,6***
Suroccidente	Puente Aranda	7478	85%	0	0,0%	54	2	164	0,8
	Kennedy	8296	95%	0	0,0%	1	0	102	0,5
	Carvajal-Sevillana	655	7%	0	0,0%	16	1	199	1,0
	Subtotal	***16429***	***63%***	***0***	***0,0%***	***71***	***3***	***199***	***1,0***
Sur	Tunal	5928	68%	0	0,0%	32	3	178	0,9
	Subtotal	***5928***	***68%***	***0***	***0,0%***	***32***	***3***	***178***	***0,9***

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios diarios de NO_2, año 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de NO_2 [Norma: 150 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m³)[16]**
Norte	Guaymaral	352	96%	0	0,0%	0	0	43	0,3	23
	Subtotal	***352***	***96%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***43***	***0,3***	***23***
Noroccidente	Suba	363	99%	0	0,0%	0	0	54	0,4	26
	Las Ferias	134	37%	0	0,0%	8	0	93	0,6	N.R.
	Subtotal	***497***	***68%***	***0***	***0,0%***	***8***	***0***	***93***	***0,6***	***26***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	98	27%	0	0,0%	0	0	63	0,4	N.R.
	Subtotal	***98***	***27%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***63***	***0,4***	***N.R.***
Suroccidente	Puente Aranda	310	85%	0	0,0%	2	0	93	0,6	39
	Kennedy	345	95%	0	0,0%	0	0	53	0,4	34
	Carvajal-Sevillana	25	7%	0	0,0%	2	0	84	0,6	N.R.
	Subtotal	***680***	***62%***	***0***	***0,0%***	***4***	***0***	***93***	***0,6***	***37***
Sur	Tunal	245	67%	0	0,0%	0	0	72	0,5	N.R.
	Subtotal	***245***	***67%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***72***	***0,5***	***N.R.***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[16] Comparar con el límite máximo permisible en un tiempo de exposición anual de 100 µg/m³.

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m^3; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m^3]**	**Max/Norma**	**Promedio (mg/m^3)[17]**
Norte	Usaquén	2791	32%	0	0,0%	0	0	3,1	0,1	N.R.
	Subtotal	***2791***	***32%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***3,1***	***0,1***	***N.R.***
Noroccidente	Las Ferias	6931	79%	0	0,0%	0	0	4,1	0,1	0,7
	Subtotal	***6931***	***79%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***4,1***	***0,1***	***0,7***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2111	24%	0	0,0%	0	0	6,9	0,2	N.R.
	Subtotal	***2111***	***24%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***6,9***	***0,2***	***N.R.***
Suroccidente	Fontibón	3510	40%	0	0,0%	0	0	2,8	0,1	N.R.
	Puente Aranda	8715	99%	0	0,0%	0	0	10,4	0,3	0,9
	Kennedy	2224	25%	0	0,0%	0	0	5,1	0,1	N.R.
	Carvajal-Sevillana	6987	80%	0	0,0%	0	0	7,7	0,2	1,5
	Subtotal	***21436***	***61%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***10,4***	***0,3***	***1,2***
Sur	Tunal	8104	93%	0	0,0%	0	0	7,8	0,2	0,8
	San Cristóbal	3478	40%	0	0,0%	0	0	4,5	0,1	N.R.
	Subtotal	***11582***	***66%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***7,8***	***0,2***	***0,8***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[17] Estos promedios anuales no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-35. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, año 2014.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m³]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m³]**	**Max/Norma**
Norte	Usaquén	2778	32%	0	0,0%	0	0	2,2	0,2
	Subtotal	***2778***	***32%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***2,2***	***0,2***
Noroccidente	Las Ferias	6929	79%	0	0,0%	0	0	3,1	0,3
	Subtotal	***6929***	***79%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***3,1***	***0,3***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2058	23%	0	0,0%	0	0	4,7	0,5
	Subtotal	***2058***	***23%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***4,7***	***0,5***
Suroccidente	Fontibón	3500	40%	0	0,0%	0	0	1,6	0,2
	Puente Aranda	8734	100%	0	0,0%	0	0	4,1	0,4
	Kennedy	2214	25%	0	0,0%	0	0	2,7	0,3
	Carvajal-Sevillana	6908	79%	0	0,0%	3	0	5,4	0,5
	Subtotal	***21356***	***61%***	***0***	***0,0%***	***3***	***0***	***5,4***	***0,5***
Sur	Tunal	8025	92%	0	0,0%	0	0	4,0	0,4
	San Cristóbal	3414	39%	0	0,0%	0	0	2,8	0,3
	Subtotal	***11439***	***65%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***4,0***	***0,4***

Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO_2, año 2014.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO_2 [Norma: 750 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**
Noroccidente	Suba	8032	92%	0	0,0%	0	0	115,7	0,2
	Las Ferias	7475	85%	0	0,0%	0	0	35,1	0,1
	Subtotal	***15507***	***89%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***115,7***	***0,2***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7815	89%	0	0,0%	0	0	32,5	0,0
	Subtotal	***7815***	***89%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***32,5***	***0,0***
Suroccidente	Fontibón	3752	43%	0	0,0%	0	0	45,5	0,1
	Puente Aranda	7993	91%	0	0,0%	0	0	36,5	0,1
	Kennedy	3175	36%	0	0,0%	0	0	158,1	0,2
	Carvajal-Sevillana	1577	18%	0	0,0%	0	0	148,6	0,2
	Subtotal	***16497***	***47%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***158,1***	***0,2***
Sur	Tunal	5052	58%	0	0,0%	0	0	28,5	0,0
	San Cristóbal	7981	91%	0	0,0%	0	0	15,8	0,0
	Subtotal	***13033***	***74%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***28,5***	***0,0***

Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de SO_2, año 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de SO_2 [Norma diaria: 250 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Representatividad Temporal**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m³)[18]**
Noroccidente	Suba	339	93%	0	0,0%	0	0	32,0	0,1	7,3
	Las Ferias	310	85%	0	0,0%	0	0	13,3	0,1	3,4
	Subtotal	***649***	***89%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***32,0***	***0,1***	***5,3***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	331	91%	0	0,0%	0	0	11,7	0,1	4,4
	Subtotal	***331***	***91%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***11,7***	***0,1***	***4,4***
Suroccidente	Fontibón	157	43%	0	0,0%	0	0	17,7	0,1	N.R.
	Puente Aranda	335	92%	0	0,0%	0	0	12,4	0,1	4,2
	Kennedy	136	37%	0	0,0%	0	0	32,2	0,1	N.R.
	Carvajal-Sevillana	65	18%	0	0,0%	0	0	26,3	0,1	N.R.
	Subtotal	***693***	***47%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***32,2***	***0,1***	***4,2***
Sur	Tunal	209	57%	0	0,0%	0	0	9,0	0,0	N.R.
	San Cristóbal	329	90%	0	0,0%	0	0	7,3	0,0	1,7
	Subtotal	***538***	***74%***	***0***	***0,0%***	***0***	***0***	***9,0***	***0,0***	***1,7***

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el año.

[18] Comparar con el límite máximo permisible en un tiempo de exposición anual de 80 µg/m³.

4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2014. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa.

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A lo largo de 2014 se presentó una fase neutral según los informes emitidos por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), en donde el índice oceánico de EL NIÑO (ONI) alcanzó un máximo de 0.7°C en el promedio de los trimestres Octubre-Noviembre-Diciembre (OND) y un mínimo de -0.6 en Enero-Febrero-Marzo (EFM). Esto significa que durante el año, las precipitaciones y otras variables meteorológicas no debieron afectarse por la influencia del fenómeno ENOS y más su respuesta es con base en la climatología presente en la región y a eventos de escala menor, con tendencia a valores promedio.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del noreste y sureste, los cuales confluyen en la zona tropical formando la llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra genera las temporadas de lluvia en el país. Regularmente la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía modificando la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad (500 a 1000 mm en promedio (IDEAM, 2010)). La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, 2000). Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá se resumen desde el punto de vista horario y mensual en la Figura 4-1, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, en donde la más fuerte es en octubre - noviembre y a su vez la mayor intensidad se presenta en horas de la tarde y primeras horas de la noche.

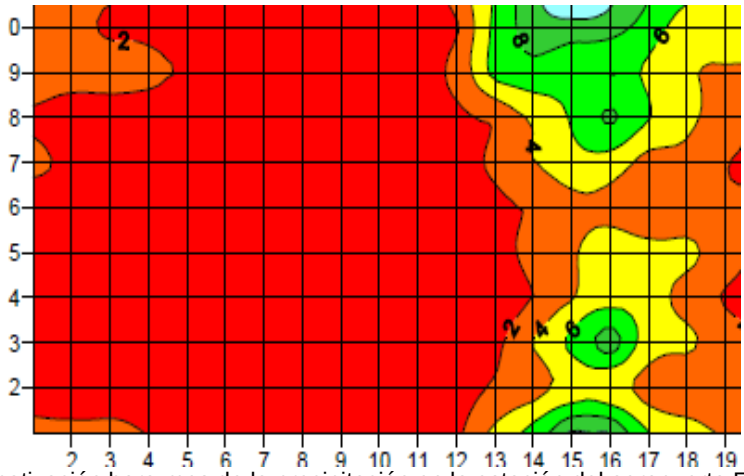


Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013)

Los vientos alisios traen consigo humedad que a su vez produce lloviznas que de alguna forma reemplazan las lluvias fuertes de los periodos lluviosos y que además gracias a ellos los contaminantes producidos en zonas industriales en las afueras de la ciudad, (municipios como Soacha, Madrid) son transportados hacia la ciudad. Por otra parte, los llamados vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias y viajan hacia el nororiente, oriente y occidente, con velocidades medias de 4 a 6 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes ascendentes, que junto con el calentamiento diurno, apoyan la formación de nubes de amplio despliegue vertical favoreciendo las precipitaciones fuertes y la ocurrencia de tormentas eléctricas, granizadas y torbellinos en zonas locales y a veces de poca extensión.

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la Tabla 1-1 en donde se observa la representatividad de los datos recolectados.

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual de la RMCAB en el periodo 1998 – 2013, el promedio mensual de las estación del aeropuerto ElDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB en 2014. Se observa que durante los primeros tres meses se presentaron lluvias por encima de lo normal, lo que tendió a disminuir drásticamente con valores moderadamente por debajo de lo normal hasta el último trimestre en donde se presentó un acumulado significativo, particularmente en el mes de diciembre en donde se registraron 132 mm y siendo la estación de Las Ferias la de mayor valor con 179 mm para este mes de diciembre (ver Tabla 4-1**Tabla 1-1**). Por su parte, en el mes de agosto se presentó la diferencia más significativa, alcanzando los 20 mm por debajo con respecto al estimado de la RMCAB. Es importante resaltar que los promedios de la RMCAB aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2014. (NA no cumple criterio de representatividad)

Estación	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Carvajal-Sevillana	NA	39.7	69.6	74.9	59.5	42.4	25.7	NA	34.9	119.2	92.9	NA
Centro_de_Alto_Rendimiento	52.9	121.8	167.6	100.2	117.4	31.6	18.9	9.6	NA	131.3	133.7	135.8
Fontibón	NA	28.7	45.9	28.6	41.2	17.4	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Guaymaral	84.3	84.7	117.3	42.3	40.6	47.9	29.8	24.4	46.9	109.1	85.1	123.9
Kennedy	24	50.9	68	83.3	83.9	NA	NA	NA	39.9	95.8	101	124
Las_Ferias	36.7	85.5	135.5	54.3	109.5	31.6	23.2	3.1	NA	110.1	143.6	179.5
MinAmbiente	69	60.4	97.4	34.7	99.3	41.3	31.1	17.9	27	140.2	132.7	163.6
Puente_Aranda	24.3	39	47.9	63.1	71.7	56.7	22.4	22.6	38.3	73.9	108.8	111.6
San_Cristobal	46.3	93.5	175.7	81.8	80.8	93	60.9	43.2	24.5	53.9	163.5	158.4
Suba	56.5	62.4	60.7	61.3	82.7	37.7	24.6	11.9	46.6	101.5	75.7	110.8
Tunal	31.5	52.7	49	52.2	58.5	49.6	33.7	21.4	32.6	105.4	96.1	91.7
Usaquén	70.2	52.7	113.4	64.7	78.3	39	23.9	NA	NA	99	159.7	119.9

La Figura 4-3 muestra el acumulado de precipitación trimestral comparada con los últimos años. Durante el primer trimestre de 2014 el acumulado alcanzó los 201 mm, valor que está por encima de la media para este periodo, el cual es de 163 mm. En el segundo trimestre el valor observado fue de 179 mm el cual está significativamente por debajo de la media histórica del periodo, que corresponde a 234 mm. En el tercer trimestre de 2014 se presentó un acumulado promedio de 77 mm, por debajo del promedio que es 117 mm y el cual es uno de los más bajos reportados hasta la fecha solamente superado por 2006 con 52 mm. Durante el cuarto trimestre de los 253 mm esperados en promedio, se presentó un 35% más con 341mm. Este valor fue superado solamente por los cuartos trimestres de 1998, 2007, 2010 y 2011. También resulta importante destacar que en el mes de diciembre se obtuvo un 103% más de lluvia que lo esperado en el promedio. La Figura 4-3 es producto de la información que se presenta en desde la Tabla 4-2 a la Tabla 4-5.

La Figura 4-4 presenta en el eje de las abscisas la hora, en el eje de las ordenadas el mes y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el año; en ella se nota una diferencia de la estacionalidad de la lluvia con respecto a la climatología, en donde lo valores más significativos se presentaron en el mes de febrero, en horas de las tardes y no en marzo como se aprecia la Figura 4-1. También llama la atención las lluvias presentadas en las primeras horas de las noches de marzo y diciembre, así como las medianoches de abril y el intervalo de las 8 a las 10 pm en mayo. En la Figura 4-5 se aprecia el comportamiento en cada una de las estaciones de la RMCAB. Durante el año, las lluvias más significativas se concentraron en las tardes del primer y último trimestre.

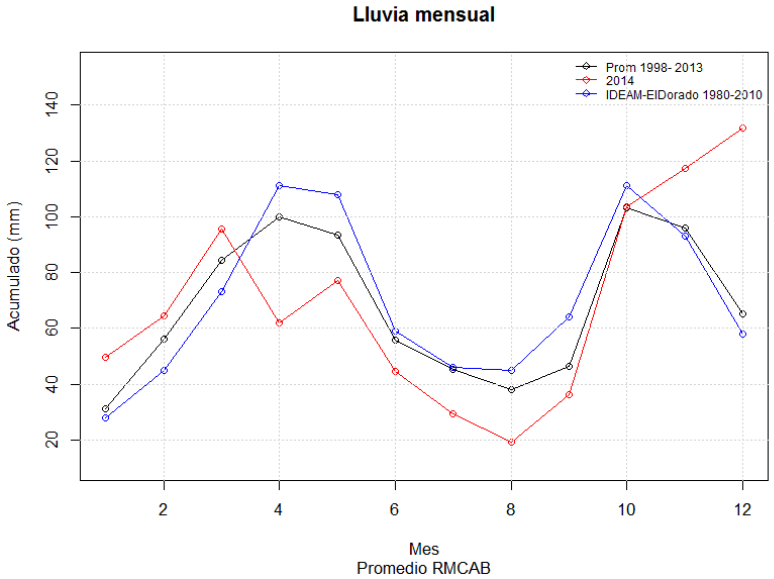


Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado trimestralmente por la RMCAB.

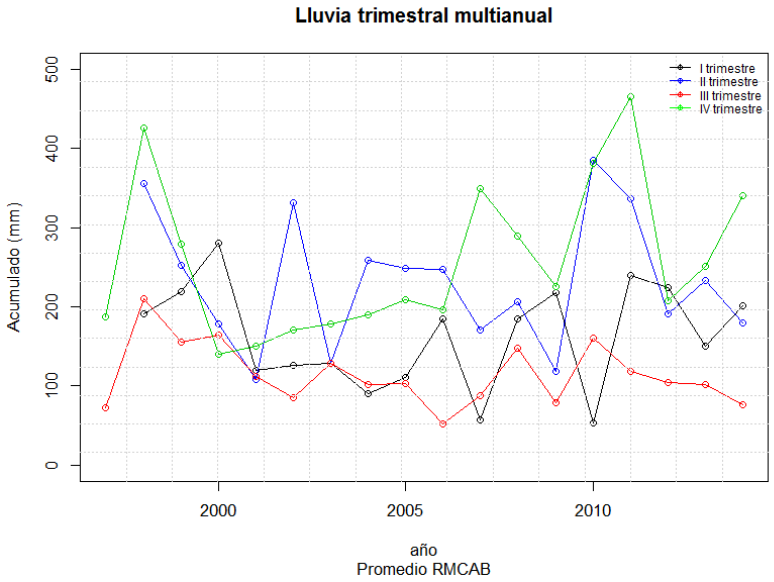


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta 2014.

Tabla 4-2. Acumulados de los primeros trimestres multianuales y por estación.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	241	133	100	133	148										
Carvajal-Sevillana	193	58	65	83	95	70	91	65	269	137	63	227	101	121	109
Cazuca	130	68	79	85	82	33	73	40	117	108					
Central_de_Mezclas		23													
Centro_de_Alto_Rendimiento					98	145		78	110	296	78	419	330	182	342
Chico_lago_.Sto_Tomas.	374	146	208	140		171	348	83		279	67				
Fontibón	185	133	136	99	111	74	274	26	86	103	22	84	73	100	75
Guaymaral	244		91					35	245	189	31	305	184	168	286
Kennedy							87	29	235	221	39	206		121	143
Las_Ferias		168		131		141	258	73	152	315	56	314	337	126	258
Mimbiente	296	184	159	187						321	56		315	221	227
Olaya	339	183													
Puente_Aranda	238	144	145	142	6	58	139	60	306	435	48	160	179	132	111
San_Cristobal											28		296	226	316
Suba	140	112	130			61	122	76		263	89	260	303	153	180
Tul								55	268	116	36	197	121	103	133
Univ._ciol	348	145	69												
Usaquen	635	62	208	158		239	230	89	191	201	41	197		150	236
USME							196	31	91	74					
Vitelma							211	66	150		89	271			

Tabla 4-3. Acumulados de los segundos trimestres multianuales y por estación.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	325	263	140	110	353	155	145								
Carvajal-Sevillana	279	209	154	68	311	125	252		307	238	133	161	290	312	207
Cazuca	209	108	170	63	231	17	254		342	123	271				
Central_de_Mezclas		123	110	72											
Centro_de_Alto_Rendimiento							235	271			245	164	592	467	232
Chico_lago_.Sto_Tomas.	307	248	142	134	400		309		301	257		132	534		
Engativa	309	346													
Fontibón			153	138	292	102	303	219	92			87	210	105	34
Guaymaral	604	459	252		271					152	150	123	390	399	118
Kennedy									154		161	92	239	305	
Las_Ferias			121	135	315	137	255	314	313			113	461	384	236
Mimbiente	670	299	177	130	385	133						140	492		174
Olaya	306	103	345	119											
Puente_Aranda				134	414	148		131	184	165	155		312	199	237
San_Cristobal														398	236
Suba	309	267	139	100			524			47		78	357	385	235
Tul											175	133	429	329	180
Univ._ciol	317	280	152	106											
Usaquen	272	316	261	93	343	209	57	305	130	202	143	50	516	334	208
USME									277	174	291				
Vitelma									375	177	339	145	188	422	

Tabla 4-4. Acumulados de los terceros trimestres multianuales y por estación.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	202	119	53	82	95										
Carvajal-Sevillana	152	91	75	45	72		37	87		89	166	93	91	109	
Cazuca	130	78	77		85	74	71	85	137						
Central_de_Mezclas	85	79													
Centro_de_Alto_Rendimiento					138	117		95	117	73	240	189	69	100	29
Chico_lago_.Sto_Tomas.	189	113	118		102		52	91	173	84	262				
Fontibón	211	86		133	95			104	37	44	94	61	23	54	
Guaymaral	64	127	36	134				65	126	58	206	154	149	35	101
Kennedy							46	93	117		101			97	
Las_Ferias	180	130	96		149	118	18	79	112	74	260	169	134	131	26
Mimbiente	246	166	111							77			141	123	76
Olaya	175														
Puente_Aranda		111	87	366	72	106	41	72	360		128	90	83	78	83
San_Cristobal												116	132	135	129
Suba	182	115	65		110		38	68	131	89	107	72	152	159	83
Tul							90	108	58	99	175	116	65	136	88
Univ._ciol	157	108													
Usaquen	160	130	135	12			51	45	160	40	86	121	105	61	
USME							63	125	178		168				
Vitelma							67	118	214	143	102				

Tabla 4-5. Acumulados de los cuartos trimestres multianuales y por estación.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	188	427	275	171	162	220									
Carvajal-Sevillana	191		173	57	100	129	81	141		233	279	171	233	451	392
Cazuca	128	178	137	121	131	98	41	104	87	188	224	179			
Central_de_Mezclas	119	202	161	106	101										
Centro_de_Alto_Rendimiento								223	219		445	377	283	555	637
Chico_lago_.Sto_Tomas.	251	580	393	179	195	187		227	308	320	484	306	263		
Engativa	135	372	276												
Fontibón				139	84	160	202	175	157	112	317		101	121	
Guaymaral	61	816	131		160	168	381				395	280	287	405	536
Kennedy										185	269	203	195	265	74
Las_Ferias				187	159	174		271	310	161	481	293	257	545	562
Mimbiente	278	455	405	132	158	219							275		658
Olaya	223	198	362	52											
Puente_Aranda			294	163	175	254	190	121	136	216	405	696	186	393	363
San_Cristobal															499
Suba	241	406	274	131	169	85		257	242			259	216	271	398
Tul										208	215	142	194	410	424
Univ._ciol	236	455	315	207	183										
Usaquen	196	592	434	174	175	181			171	148	444	409	270	551	585
USME										79	146	159			
Vitelma									255	308	442		181	229	

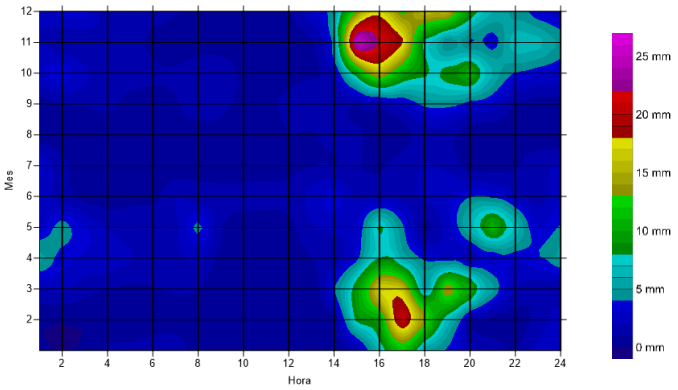


Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

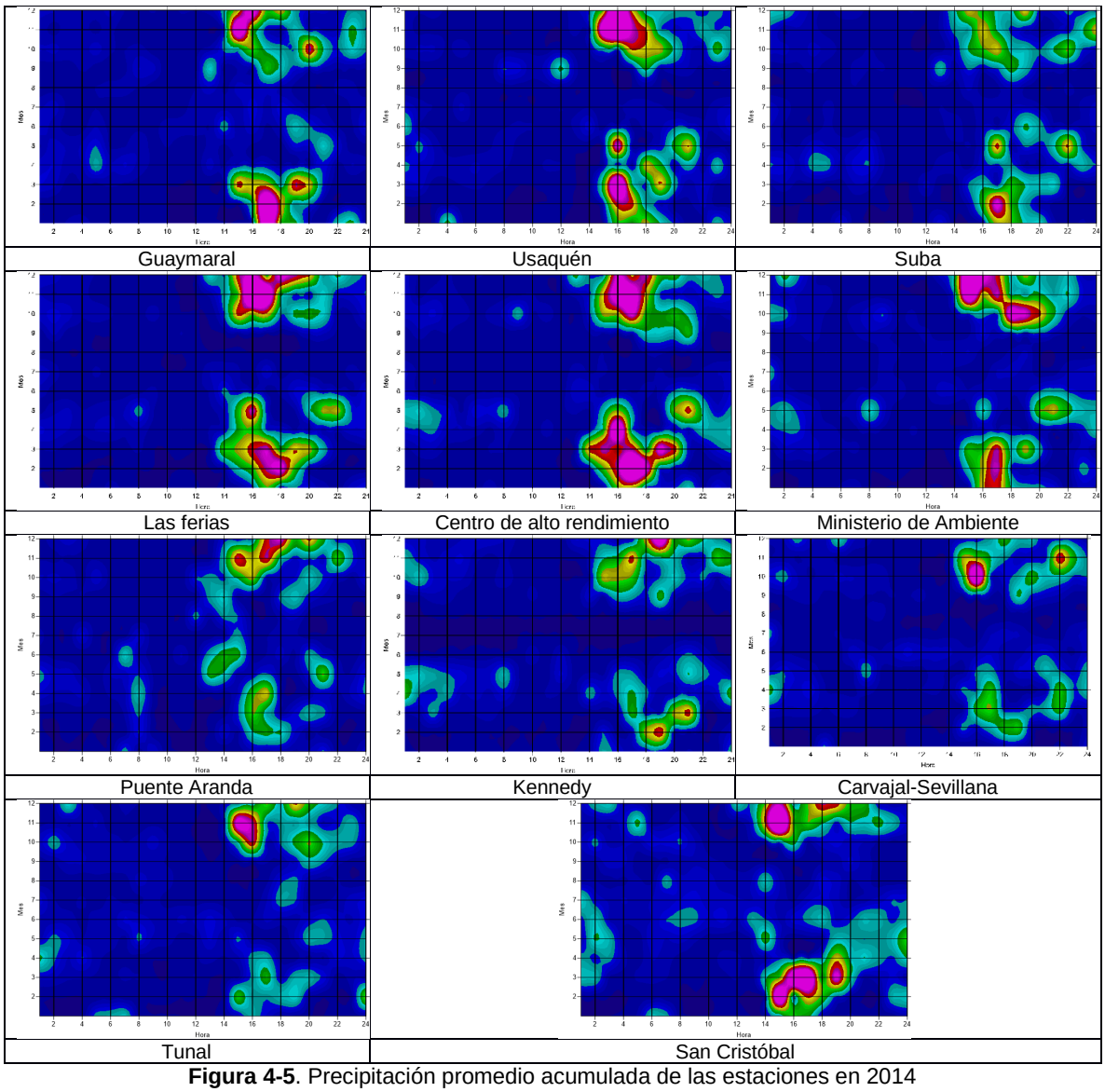


Figura 4-5. Precipitación promedio acumulada de las estaciones en 2014

Los datos presentados en la Tabla 4-6 representan los acumulados anuales de cada estación de la RMCAB, hasta 2014. El promedio de la RMCAB anual estuvo por encima de lo sucedido historicamente con 73 mm. Las estaciones con mayor acumulado en 2014 fueron Centro de alto rendimiento y San Cristóbal mientras que Tunal y Puente Aranda registraron los menores valores.

Tabla 4-6. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014.

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade Energía	754	525	812	551											
Carvajal-Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703						
Central de Mezclas	402	345													
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980				
Engativa															
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392	
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925
MinAmbiente	851	636	874							812			940	940	915
Olaya	1138														
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680
San Cristóbal													938	865	1076
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674
Univ. Nacional	863	542													
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869
USME							702	553	718						
Vitelma							1087	803	839	652	922				
Promedio Anual	768	498	711	540	648	668	747	646	838	668	1016	1097	761	768	827

La Figura 4-6 presenta los acumulados multianuales del promedio de las estaciones de la RMCAB a partir del año 1998 y hasta 2014, según las estaciones presentes y descritas en la Tabla 4-6.

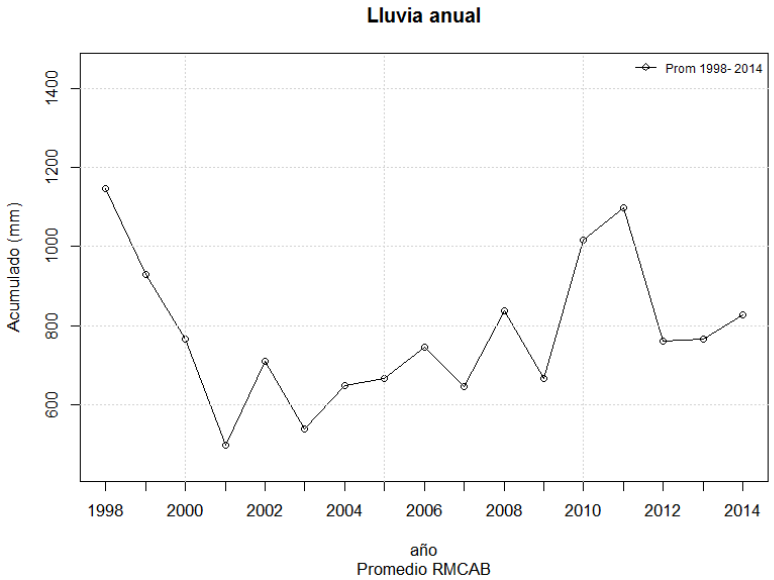


Figura 4-6. Acumulados multianuales del promedio de las estaciones de la RMCAB.

Con respecto al número de días que llueve en Bogotá (asumiendo un día de lluvia con un valor mayor o igual a 1 mm en 24 h), la Figura 4-7 muestra que en 2014 el número de días con lluvia en el primer trimestre estuvo por encima del promedio, mientras que en el

segundo trimestre, abril y mayo presentaron valores por debajo de la media, junio mostró un acumulado ligermente por encima de lo normal; el tercer trimestre presentó un comportamiento variable, ya que julio y septiembre estuvieron por encima de lo esperado mientras que agosto alcanzó solamente 57 días. Finalmente en el último trimestre, similar al acumulado de lluvias, se presentó incremento en el número de días con lluvia comparado con la media histórica. En el caso de precipitación por día, es similar a lo presentado en el acumulado total, significativamente menor a lo esperado salvo en el último trimestre en donde el incremento de lluvia por día es significativo.

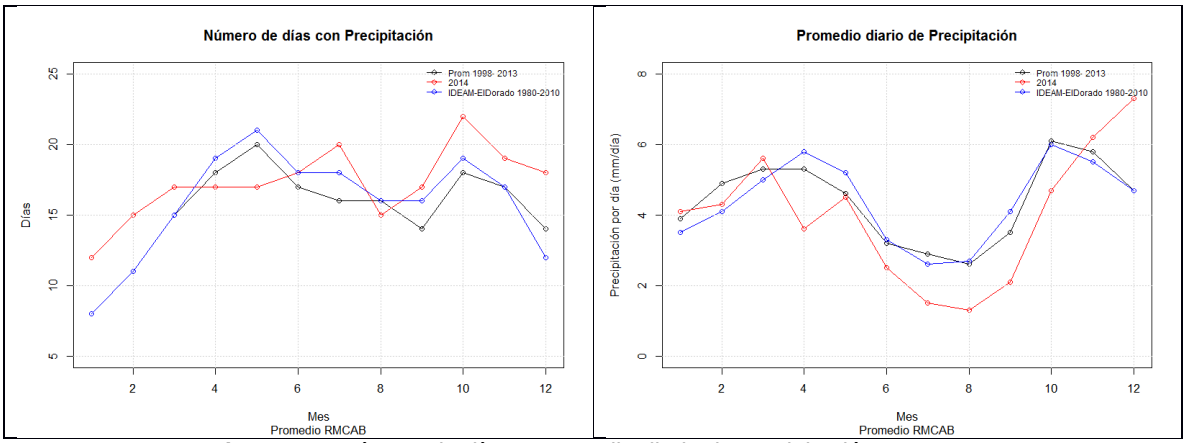


Figura 4-7. Número de días y promedio diario de precipitación en 2014.

El mapa de la Figura 4-8 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación de 2014 sobre esta superficie. Los sectores sombreados, principalmente al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no son aptos para ser representados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*. La ciudad mostró su comportamiento típico de precipitación, alcanzando los mayores acumulados en Teusaquillo, Barrios Unidos y San Cristóbal, zonas cercanas al oriente y tendiendo a disminuir hacia el occidente particularmente en la estación de Carvajal-Sevillana en la localidad de Tunjuelito y Kennedy.

Desde el punto de vista trimestral, en la Figura 4-9 llama la atención que en el cuarto trimestre las condiciones de lluvia fueron significativamente mayores comparadas a los otros trimestres. Esta condición se ve acentuada particularmente en las estaciones cercanas a Chapinero, Barrios Unidos y oriente de Engativá, situación que dista significativamente del periodo inmediatamente anterior, ya que fue en esta zona en la que se presentaron los menores acumulados.

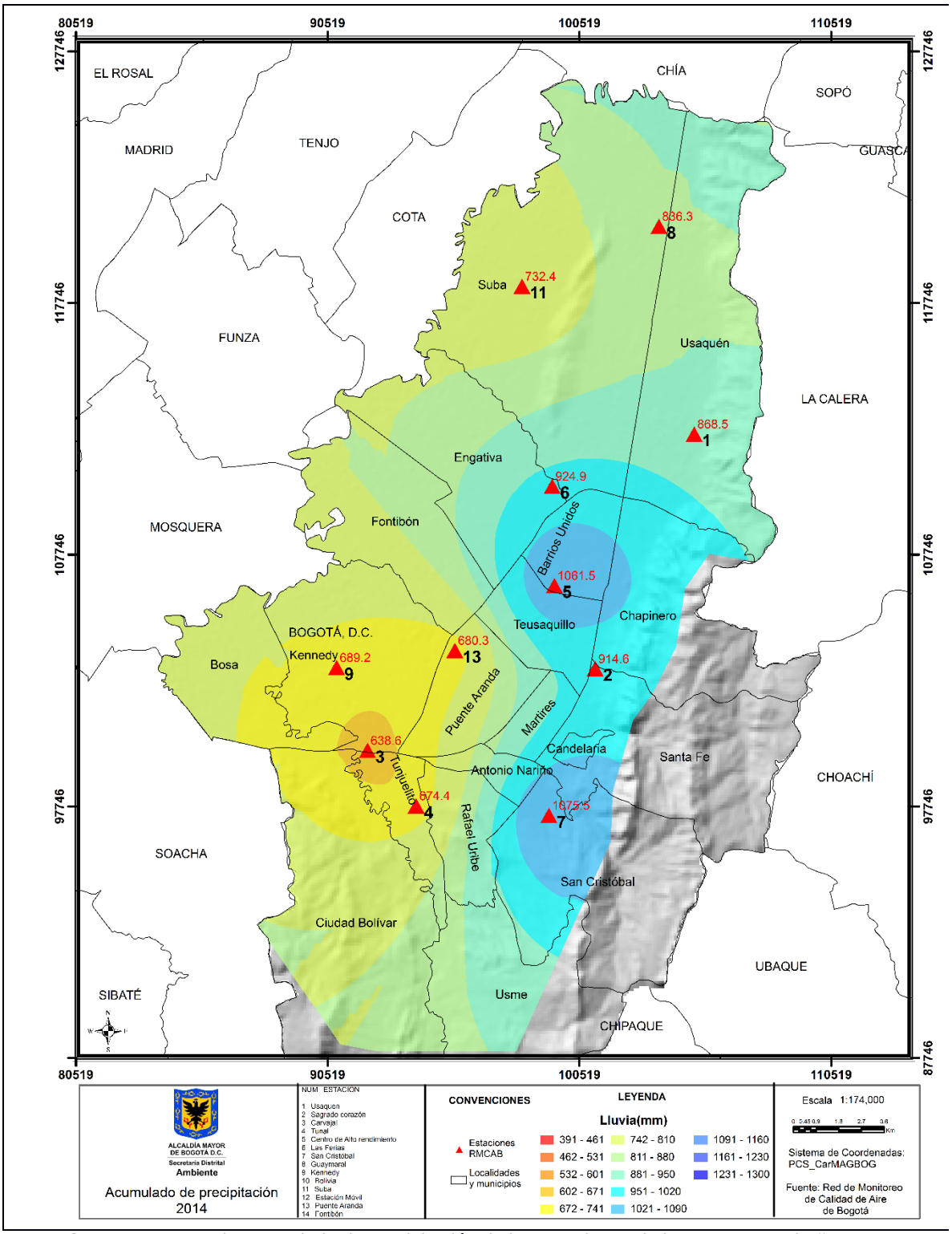


Figura 4-8. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el año 2014.

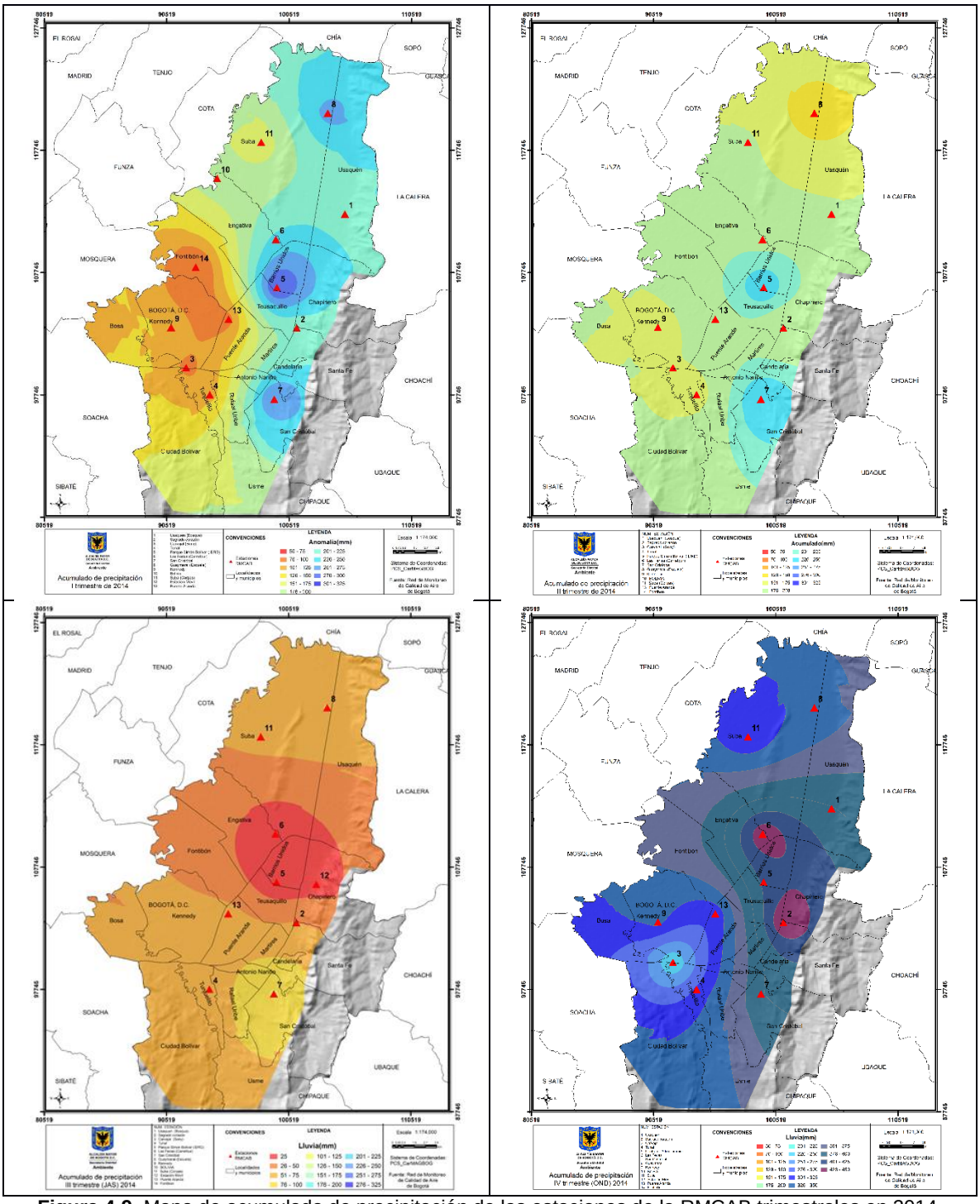


Figura 4-9. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB trimestrales en 2014.

En la Figura 4-10 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registradas por las estaciones de la RMCAB durante 2014 y su similar en el periodo 1998-2013 (esto es denominado anomalía de precipitación. Note que cada estación tiene una historia distinta, según la fecha de inicio de operación). Se observa que la gran mayoría del área estuvo por debajo de lo esperado con particular acento en la zona norte de la ciudad

mientras que se presentaron algunas anomalías positivas importantes en la zona de San Cristóbal, Barrios Unidos, sur de Engativa y Kennedy.

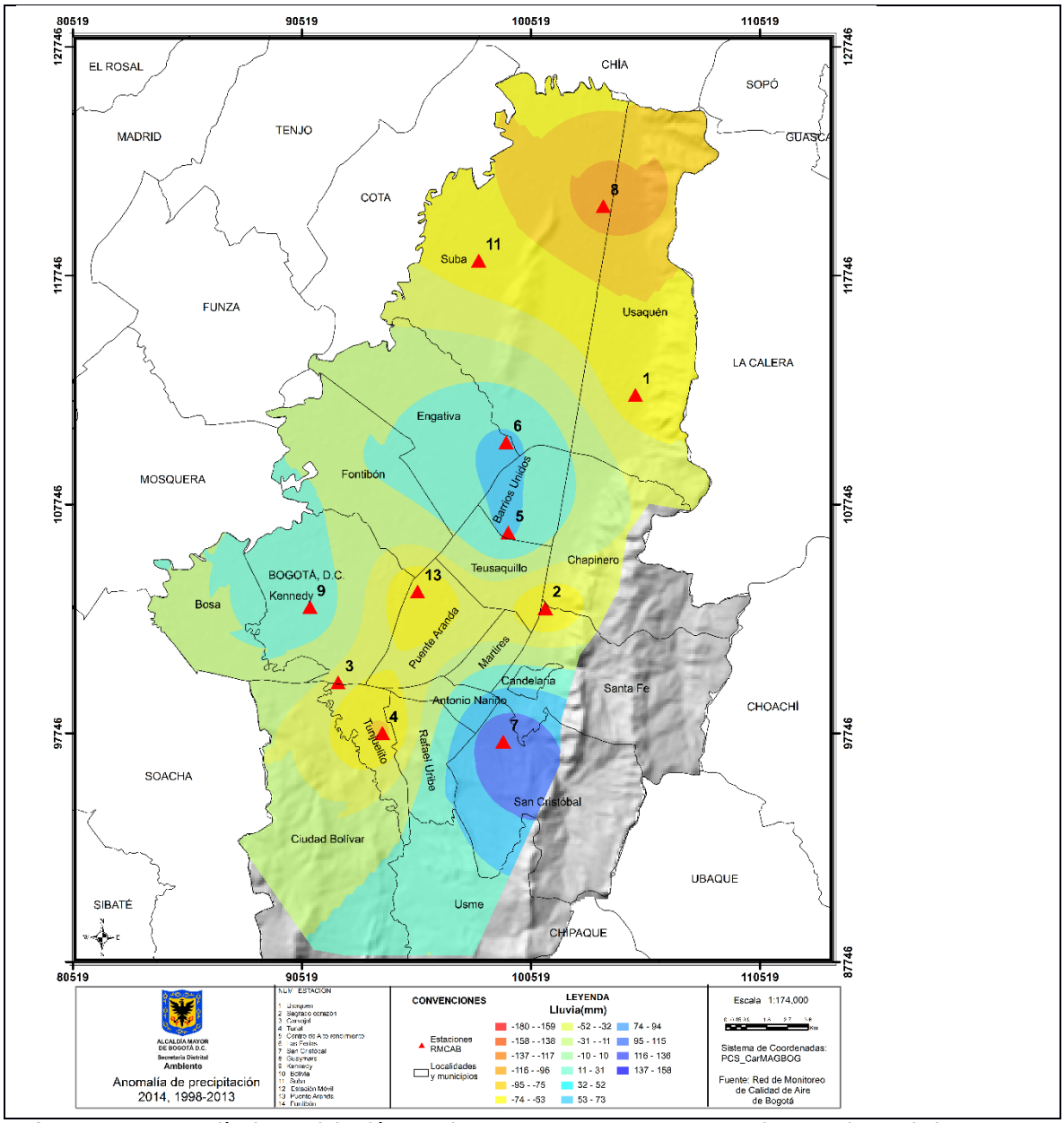


Figura 4-10. Anomalía de precipitación anual entre 1998 – 2013 y 2014 para las estaciones de la RMCAB.

4.2. Vientos

Durante 2014 la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones según se observa en la Tabla 1-1 la cual presenta la representatividad de los datos recolectados mensual y trimestralmente. Por su parte, la Tabla 4-7 presenta los valores promedio de velocidad y predominancia de la dirección de los vientos durante el año en grupos horarios y diarios. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de

las tardes, particularmente en las estaciones de Kennedy, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana, con vientos máximos relativos de hasta 4.9 m/s. Por el contrario Tunal y Guaymaral registraron promedios del viento de 1.0 y 1.1 m/s promedio diario, alcanzando valores máximos de 2.5 y 2.7 m/s respectivamente.

Tabla 4-7.valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento para las estaciones de la RMCAB.

Estación	Velocidad del viento						Dirección del viento				
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Max prom	Predominancia	madrugada	mañana	tarde	noche
Carvajal-Sevillana	1.6	2.1	3.5	2.3	2.4	4.2	180	135	135	180	180
Centro de Alto Rendimiento	0.8	1.3	2.3	1.3	1.4	3.2	270	315	315	90	90
Guaymaral	0.5	1	1.9	0.9	1.1	2.7	90	0	90	90	90
Kennedy	1.6	2.2	4.0	2.5	2.6	4.9	135	315	135	135	135
Las Ferias	1.4	1.7	2.5	1.7	1.8	3.6	45	45	45	135	90
MinAmbiente	1.1	1.5	2.8	1.7	1.8	4.2	90	135	90	90	90
Puente Aranda	1	1.6	3.6	2	2.1	4.8	135	315	135	135	180
San Cristóbal	1.4	1.5	2.5	1.7	1.8	3.7	90	90	90	90	90
Suba	1.2	2	2.9	1.5	1.9	3.8	45	45	0	90	0
Tunal	0.6	0.9	1.8	0.9	1	2.5	180	180	180	180	180
Usaquén	0.8	1.2	2.1	1.5	1.4	3.2	180	135	180	180	135

La Figura 4-11 presenta los valores promedios históricos de velocidad media y máxima relativa de la red y la comparación con lo corrido de 2014. En el caso de la velocidad media, las condiciones fueron ligeramente superiores a lo esperado históricamente, particularmente a mediados del año mientras que en el caso de las velocidades máximas relativas, durante el primer semestre tendió a estar por encima de lo esperado y en el segundo semestre los valores tendieron a estar similares a la referencia. La Tabla 4-8 presenta los promedios anuales para cada una de las estaciones de la RMCAB, desde 2000 hasta 2014 siendo los NA datos que no cumplen el criterio de representatividad del 75%. Por su parte, la Figura 4-12 presenta el comportamiento multianual, por un lado los promedios trimestrales y por otro el comportamiento horario multianual. Predominan por velocidades altas los terceros trimestres y en las horas de las tardes, notándose una tendencia de disminución de la velocidad de los vientos en el último año.

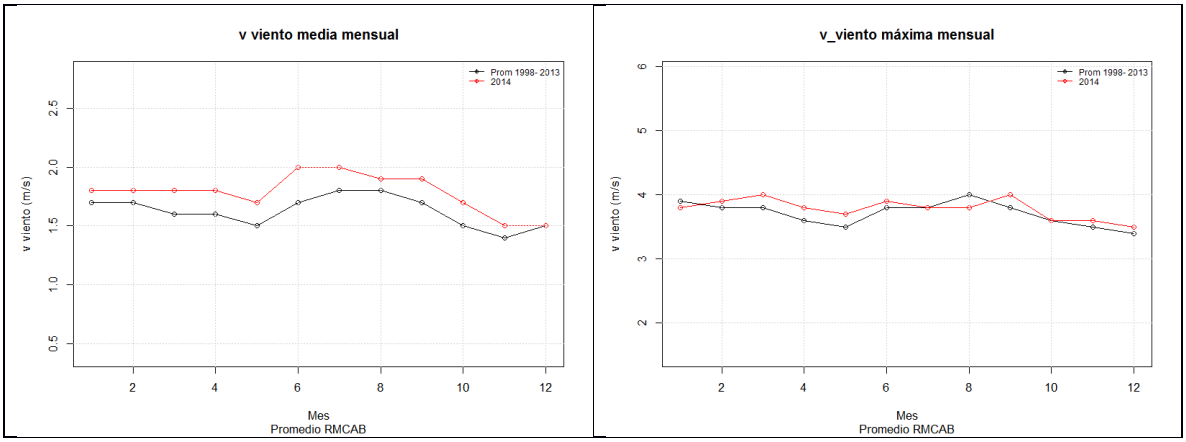


Figura 4-11. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

Tabla 4-8. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	0.7	0.9	0.7	0.8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Carvajal-Sevillana	0.9	1.3	1.2	2.1	NA	NA	NA	1.8	1.9	2.4	2.1	2.1	2.4	2.4	2.4
Cazuca	1.9	2.1	2.3	NA	2.8	2.4	2.5	2.6	1.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Central_de_Mezclas	2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Centro_de_Alto_Rendimiento	NA	NA	NA	NA	0.8	1.9	NA	1.1	1.4	1.7	1.5	1.3	1.4	1.4	1.4
Chico_lago_.Sto_Tomas.	0.4	0.4	0.4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Fontibon	2.4	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9	3.4	2.7	3	2.8	2.9	3	3	NA
Guaymaral	NA	NA	0.6	NA	NA	NA	NA	1.1	1.2	1.3	NA	0.9	1	1	1.1
Kennedy	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.5	1.5	2.3	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	2.6
Las_Ferias	1.7	1.7	1.6	NA	NA	1.5	1.4	1.4	1.9	2.1	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8
MinAmbiente	0.4	0.5	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.2	NA	NA	NA	1.8	1.8
Olaya	1.8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Puente_Aranda	1.9	2.4	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.9	2.7	2.7	2.2	2.1	2.1
San_Cristobal	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.1	1.7	1.8	2.2	1.8
Suba	1.4	1.4	1.3	NA	1.6	NA	1.3	1.5	0.5	0.9	1	1.8	2	2	1.9
Tunal	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.1	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1
Univ._Nacional	0.5	0.6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Usaquen	1.2	1.1	1	1.2	NA	1.6	2.4	1.8	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.6	1.4
USME	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2.6	2.7	3.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Vitelma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1.6	1.5	1.7	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Promedio	1.3	1.4	1.3	1.9	2.1	2.2	2.1	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.7

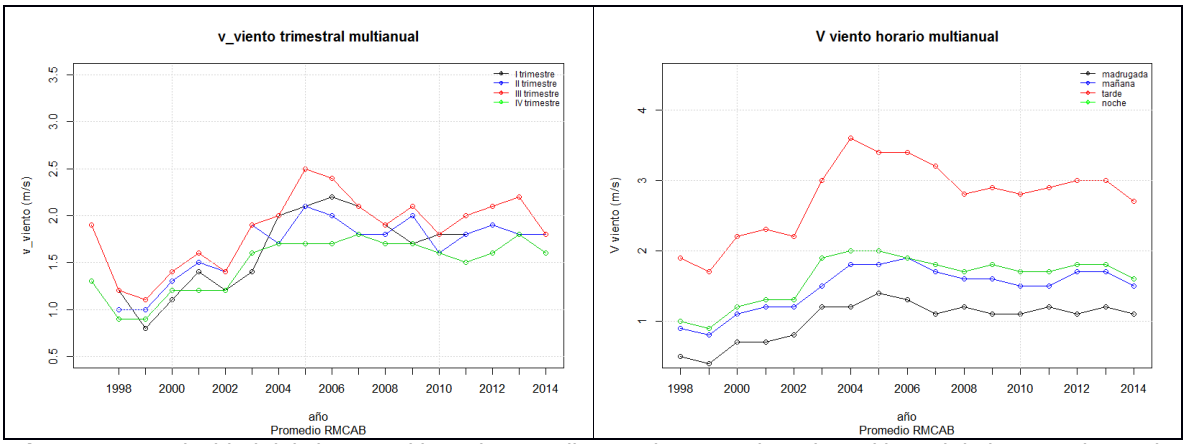


Figura 4-12. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.

La Figura 4-13 esquematiza las rosas de vientos en la RMCAB durante el trimestre, presentando un comportamiento regular según su ubicación; hacia el norte y oriente es común observar vientos predominantes del este y del norte, salvo en la estación de Usaquén la cual presentó predominancia del sur. Por su parte, las estaciones ubicadas al centro geográfico de la ciudad como Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda presentaron frecuencias con una amplia variabilidad en sus direcciones; hacia el occidente son predominantes vientos del este y del sur a medida que se acercan al sur geográfico de la ciudad. La Figura 4-13 también presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que hacia el occidente y suroriente de la ciudad, los vientos tienden a estar la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del noreste donde hasta el 30% de los datos anuales se presentaron en calma. Esta condición obedece a la

orografía de la ciudad, la cual a su vez facilita la dispersión en algunas zonas de los contaminantes y también genera corrientes de vientos ascendentes que apoyan la formación de lluvias locales.

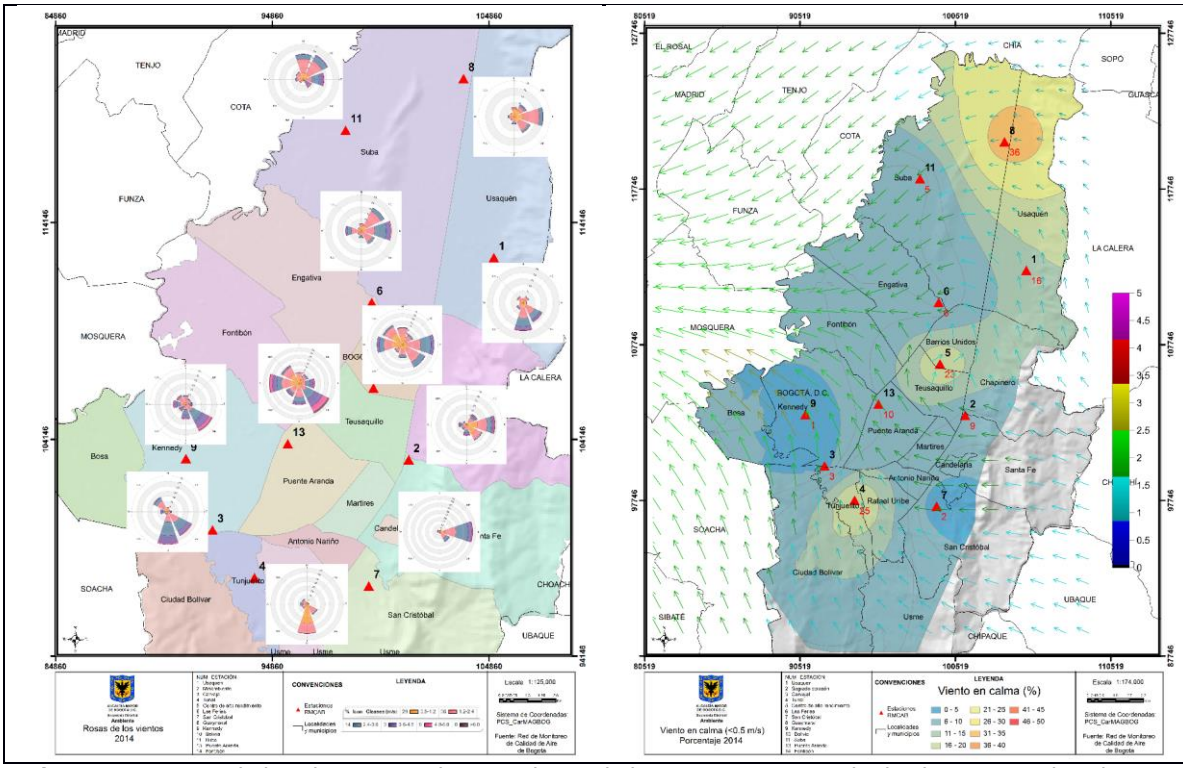


Figura 4-13. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

La Figura 4-15 presenta las condiciones de viento para cada estación discriminado por mes y por hora; para referencia se presenta el comportamiento climatológico de la estación del aeropuerto ElDorado, en donde se observa la cresta de velocidad del viento luego de mitad de año particularmente en horas de las tardes; en el caso de la RMCAB, la estación de Kennedy presenta los mayores promedios durante las tardes y en el tercer trimestre del año, condición que es característica según se observa en los diagramas de Puente Aranda y Carvajal-Sevillana y Suba; en estaciones como Guaymaral y Tunal los vientos tienen características débiles y llegan a presentar comportamientos distintos a lo largo del año. Por ejemplo la estación de San Cristóbal mostró una tendencia de mayor velocidad en el primer trimestre, condición que tiende a ser similar en las zonas de los llanos orientales. Las estaciones del centro geográfico de la ciudad presentan un comportamiento semiregular con vientos de velocidades relativamente bajas.

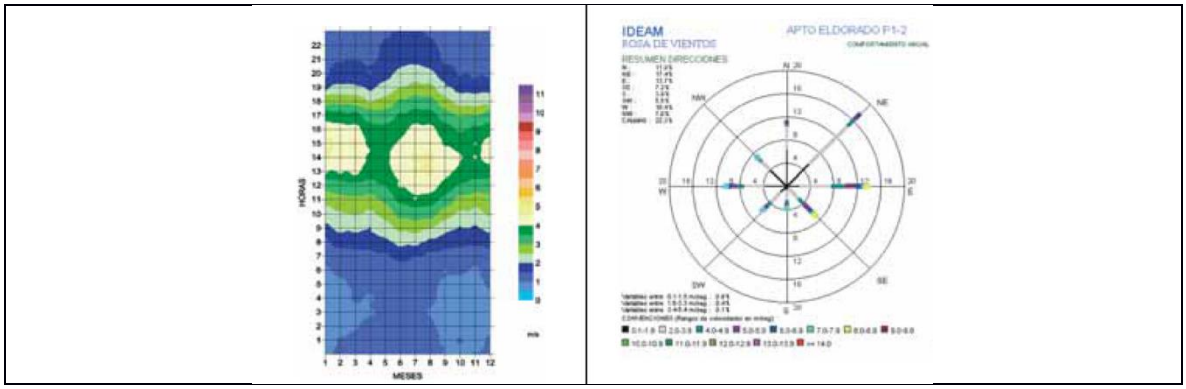


Figura 4-14. Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM

El mapa de la Figura 4-16 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento en el 2014 sobre esta superficie. Asimismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos. Según lo descrito anteriormente, se puede observar que la tendencia de la velocidad del viento geográficamente tiente a presentar velocidades bajas al nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del noreste-este y sureste-este en los extremos norte y sur de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 2.6 m/s promedio diario.

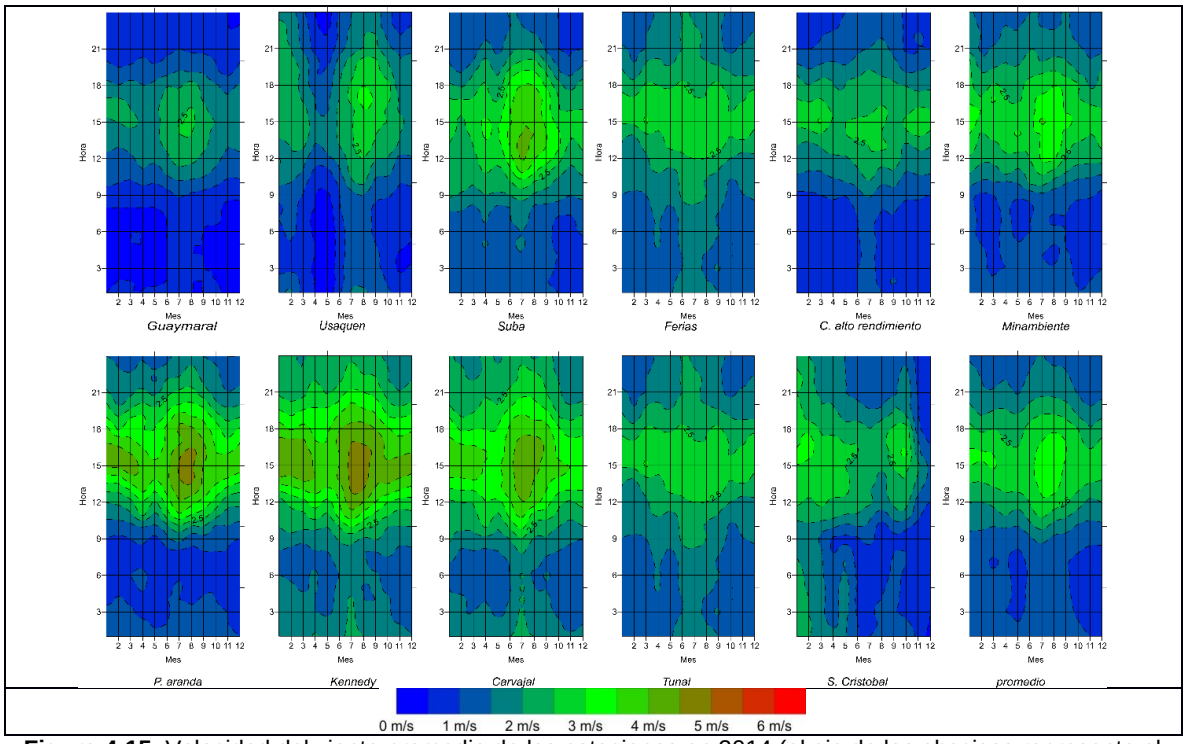


Figura 4-15. Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2014 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

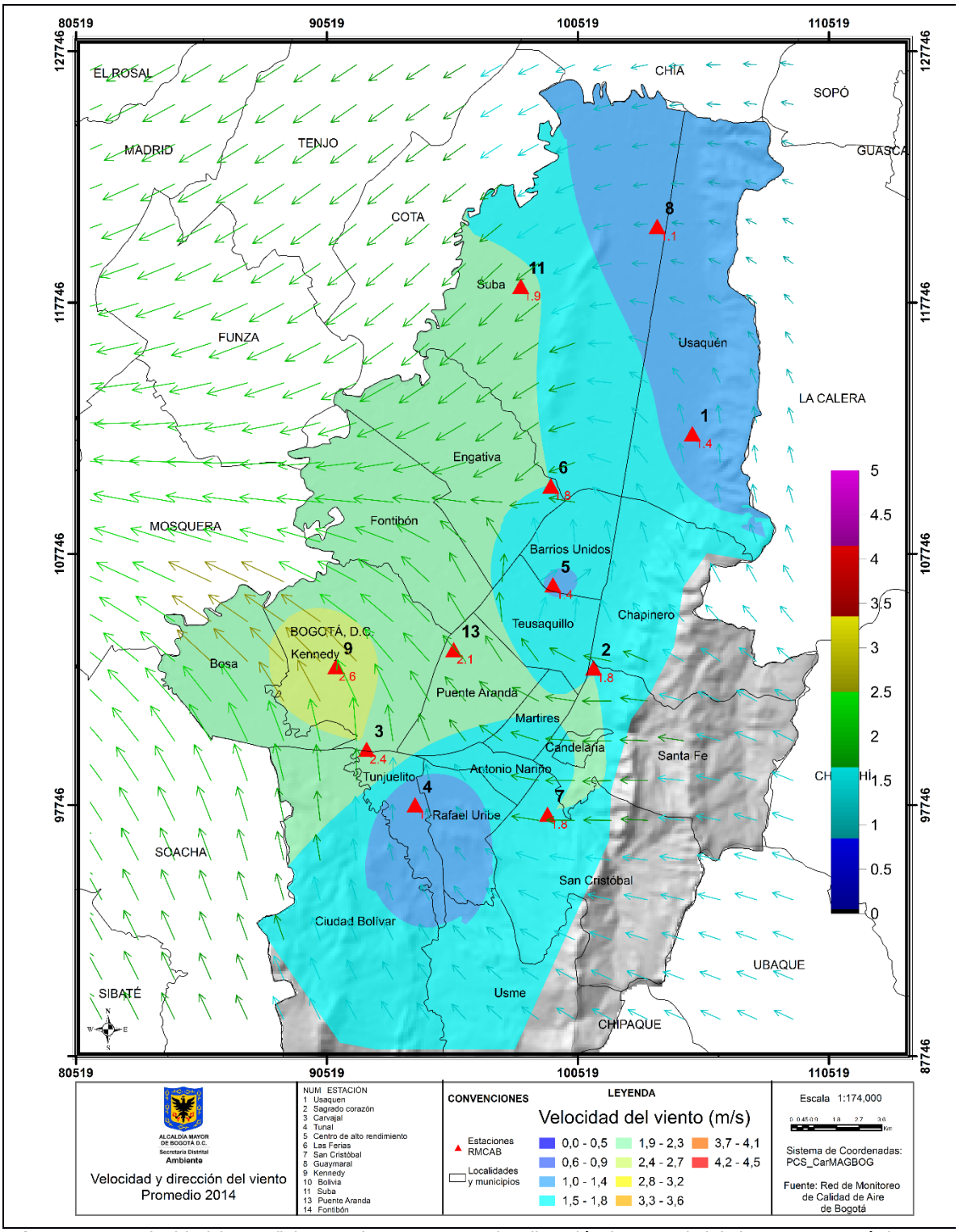


Figura 4-16. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2014.

4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el año para la variable temperatura se presentan en la Tabla 1-1 donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos. La temperatura del aire en la superficie (2m arriba de la ubicación de la estación en cada punto) de la ciudad mostró valores superiores a los esperados según la historia de la RMCAB y se observaron diferencias de hasta 0.6 °C (abril y noviembre), mientras que el único mes de diferencia negativa se presentó en agosto con -0.2 °C. Similar a esto, los valores promedio fueron mayores a lo reportado climatológicamente por la estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM, como se puede apreciar en la Figura 4-17, la cual muestra el promedio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente, los valores de la estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y su comparación con el promedio de temperatura mensual de 2014.

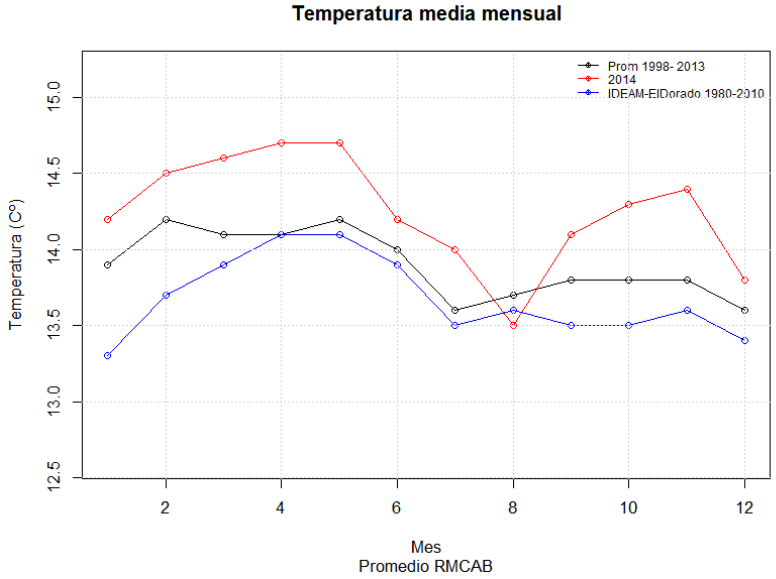


Figura 4-17. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y RMCAB 2014.

La Figura 4-18, muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 1998-2014. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2002 y 2005 mientras que la menor temperatura fue en 2006 - 2008. 2014 en promedio mostró temperaturas similares en el I y II trimestre, una disminución hacia el tercer trimestre para posteriormente incrementarse en el último trimestre.

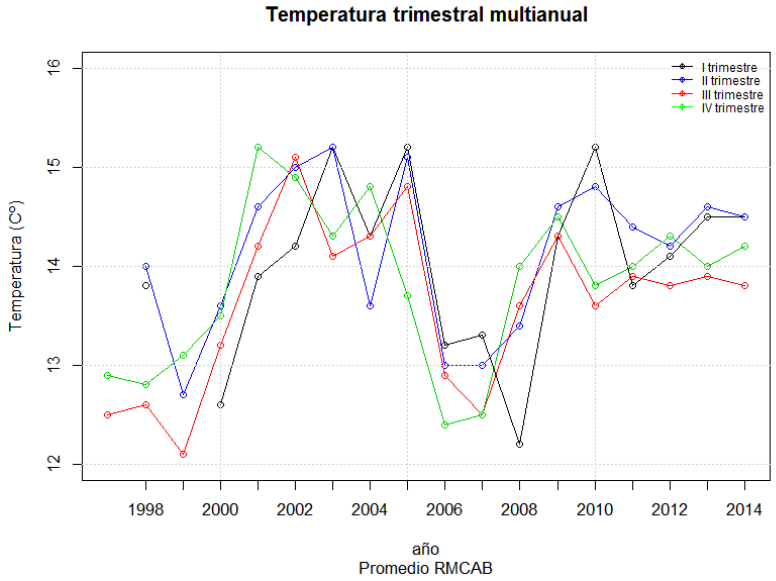


Figura 4-18. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014.

La Tabla 4-9 muestra la temperatura superficial promedio anual distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-9. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014.

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Carvajal-Sevillana							12.2	11.2	14.1	15.4	15.5	15	15.2	15.5	15.5
Cazuca							12.3	11.7	13						
Centro de Alto Rendimiento									13.9	14.7	14.8	14.5	14.6	14.8	14.8
Fontibón	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.2	14.1	13.9	14.1	14.7	14.5	13.6	13.8	14.1	
Guaymaral									13.9	14.4	14.8	14.3	14.3	14.6	14.6
Kennedy									13.6	14.8	14.8	14.4	14.5	14.8	14.9
Las Ferias	15.6	16	16			15.9			13.3	14	14.2	13.7	13.9	14.2	14.2
Puente Aranda	14.1	14.5	14.6	14.7	14.5	14.8	14.6	14.6	14	14.6	14.6	14	13.8	13.7	14
San Cristóbal											13.5	13.7	13	13.1	13
Suba	10.6						12.6	13.2	13.7	12.9			14	14.3	14.3
Tunal										14.6		13.2	13.4	13	13.1
Usaquén									11.9	14.5	15.1	14.4	14.4	14.8	14.7
USME							11.8	12.5	13.4						
Vitelma								11.7	11.5		12.9				
Promedio				13.5	14.8	14.9	14.4	14.2	14.9	12.9	12.7	13.4	14.5	14.5	14.1

Adicionalmente la Tabla 4-10 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. En ella se observa que la estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11.3°C seguido de Suba con 11,2°C mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 7.0 °C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Esto se puede apreciar en la Figura 4-19 donde se presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas de los últimos años y lo observado en el año. Las temperaturas máximas tendieron a ser menores durante la mitad del año y de mayor

magnitud en el resto del periodo comparado con la historia de la red y con lo esperado en el aeropuerto ElDorado; las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio salvo en los meses de mayo, agosto y diciembre donde los valores fueron cercanos al promedio.

Tabla 4-10. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal-Sevillana	20.1	12.2	8
Centro de Alto Rendimiento	20.9	10.1	10.9
Guaymaral	20.9	9.6	11.3
Kennedy	19	11.7	7.2
Las Ferias	19.2	10.6	8.6
Puente Aranda	18	11	7
San Cristóbal	17.4	9.7	7.7
Suba	20.8	9.6	11.2
Tunal	19.4	8.7	10.8
Usaquén	19.6	11.5	8.2

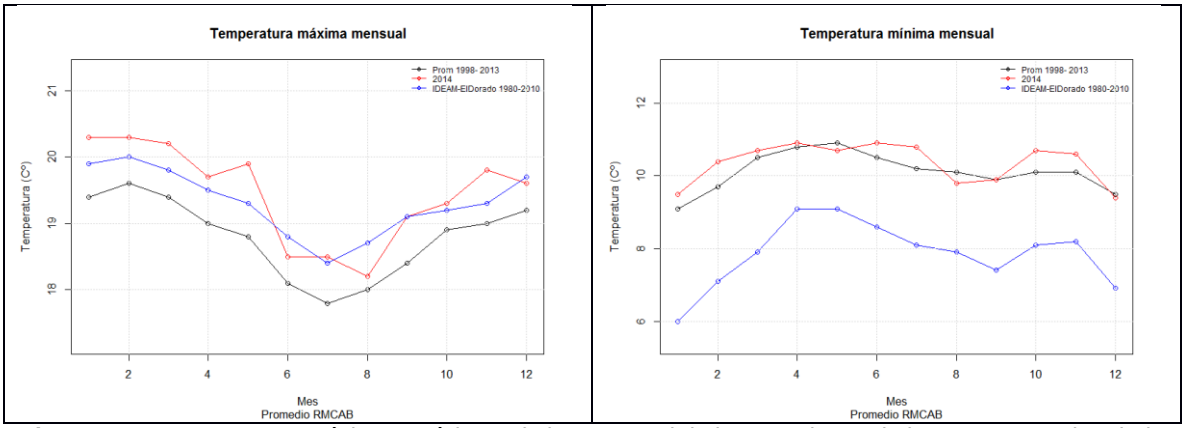


Figura 4-19. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y en 2014.

La Figura 4-20 presenta las condiciones de temperatura promedio para cada estación discriminado por mes y por hora, en donde la escala de colores tiene unidades de °C; en esta sección se observa que las temperaturas máximas y mínimas influyen en el comportamiento promedio de algunas estaciones que no se caracterizan por tener los valores máximos promedio; es decir, estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y frías en las noches, a diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal-Sevillana que mantienen condiciones menos calurosas durante los días y más cálidas hacia las noches. Resulta significativo mencionar que en Kennedy no se presenta la bimodalidad de temperaturas máximas observadas en el resto de estaciones, alcanzando un pico máximo en julio. También es notorio el comportamiento de las temperaturas de los últimos meses en las estaciones de Kennedy y Carvajal-Sevillana en donde encuentra dos máximos a diferentes horas; el primero a las 4 pm y el segundo cerca de la 1 pm.

El mapa de la Figura 4-21 muestra la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el año sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los

sectores sombreados, principalmente al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital, muy cerca de los promedios más altos de temperatura al sur de la localidad de Kennedy donde resalta el gradiente de hasta 2.4 °C en una distancia no mayor a 2.9 Km. Hacia el oriente, localidades como Chapinero, Usaquén y norte de Suba presentan valores ligeramente por encima de lo ocurrido en zonas como Engativá, Fontibón y sur de Suba.

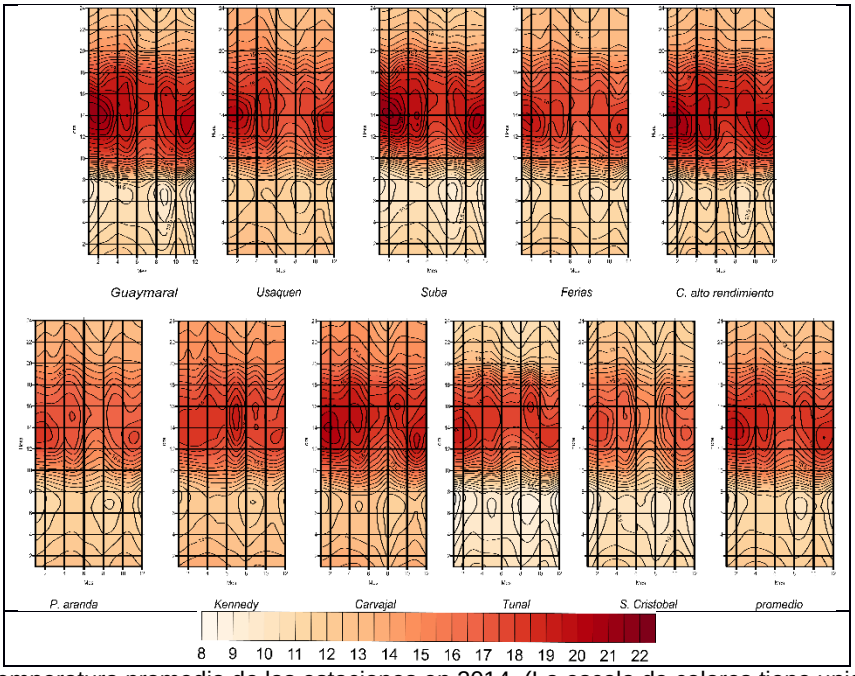


Figura 4-20. Temperatura promedio de las estaciones en 2014. (La escala de colores tiene unidades de °C, el eje de las abscisas representa el mes y el de las ordenadas presenta la hora).

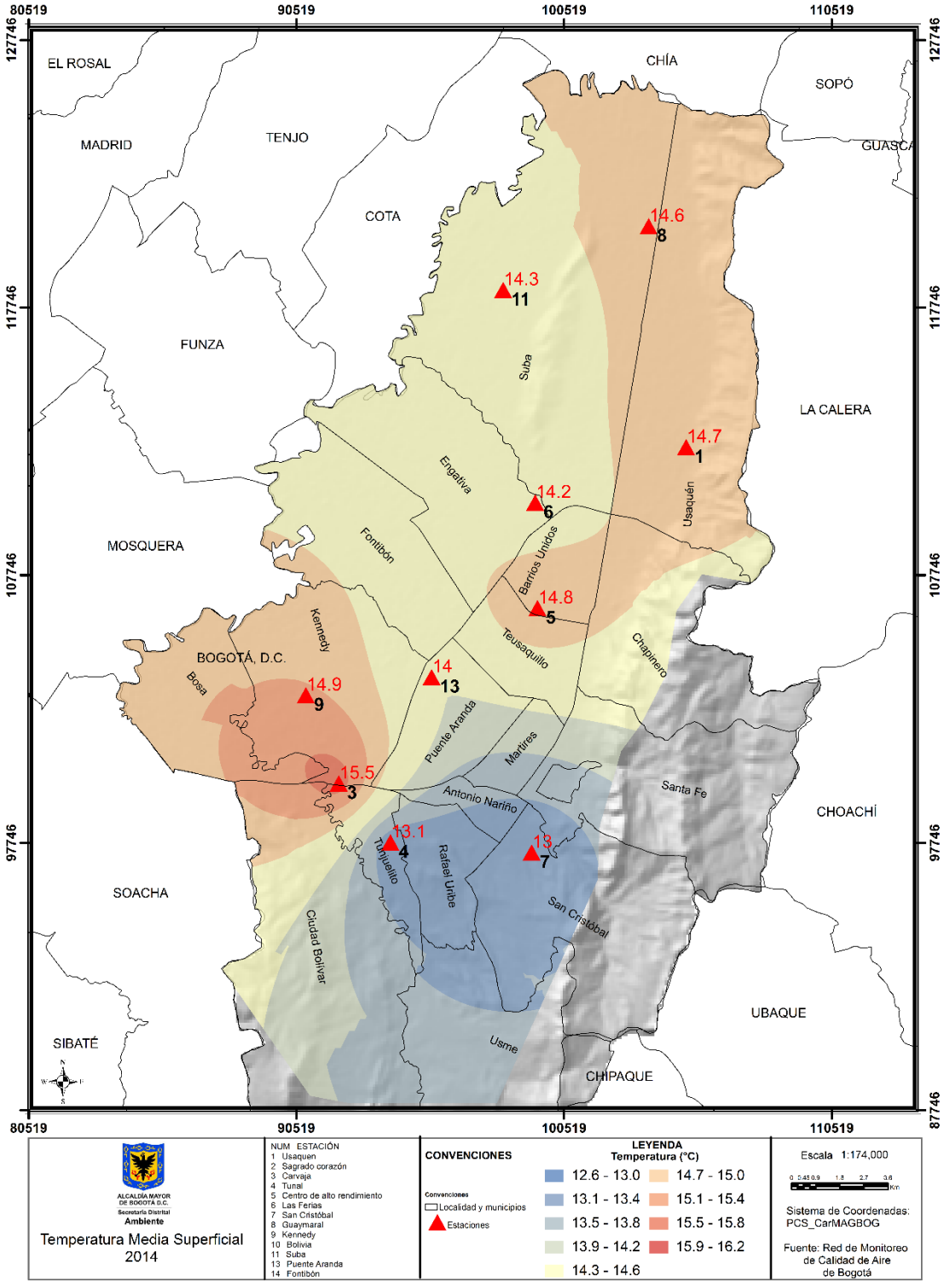


Figura 4-21. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2014.

4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global fue monitoreado por las estaciones descritas en la Tabla 1-1 la cual presenta la representatividad de los datos durante el año. En la Tabla 4-11 se presenta el acumulado promedio trimestral en W/m^2 y anual para las estaciones de la red y su promedio, estableciendo a San Cristóbal como la estación de mayor acumulado anual y en todos los trimestres salvo en el tercero, donde fue superada por la estación de Kennedy, Guaymaral y Tunal.

Tabla 4-11. Radiación en W/m^2 acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB

Estación	Tri_1	Tri_2	Tri_3	Tri_4	Acum_anual
Centro_de_Alto_Rendimiento	4135	3913	3683	3728	3865
Guaymaral	4837	3787	3968	3903	4124
Kennedy	4332	3578	4013	3902	3956
San_Cristobal	4911	4745	3924	4432	4503
Tunal	4152	3566	3946	3371	3759
promedio_RMCAB	4473	3918	3907	3867	4041

La Figura 4-22 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora, entre las 6 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Concordante con la Tabla 4-11, San Cristóbal presenta los mayores acumulados a lo largo del año con valores máximos que inician en el primer trimestre hacia el mediodía, a mitad del año a la 1pm y finalizando el periodo en octubre entre las 11a.m y las 12m. Estaciones como Guaymaral y Kennedy presentaron sus mayores acumulados el primer trimestre en horas cercanas al medio día. Fue constante la disminución de la radiación en horas de la tarde en el mes de noviembre y las crestas hacia inicios y mitad de año en todas las estaciones; los comportamientos en las estaciones de Centro de alto rendimiento y Kennedy son similares en cuanto a variabilidad e intensidad.

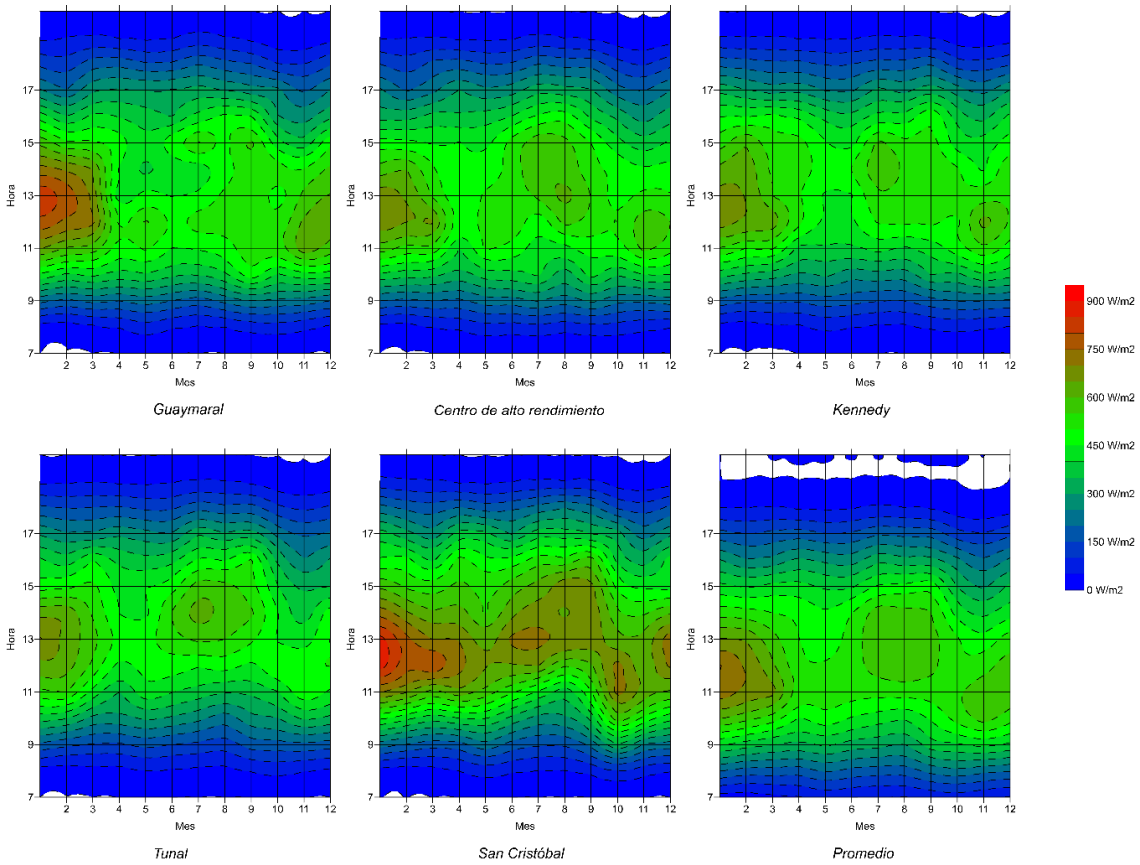


Figura 4-22. Acumulado de radiación de las estaciones (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

La Figura 4-23 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2008 hasta 2014. En 2014 salvo el primer trimestre, tendieron a estar similares los acumulados, situación que no ha sido común en los años anteriores. De igual forma se nota que en promedio, los valores de radiación fueron superiores al promedio de la red (Figura 4-24); la diferencia más significativa se encontró en el mes de marzo.

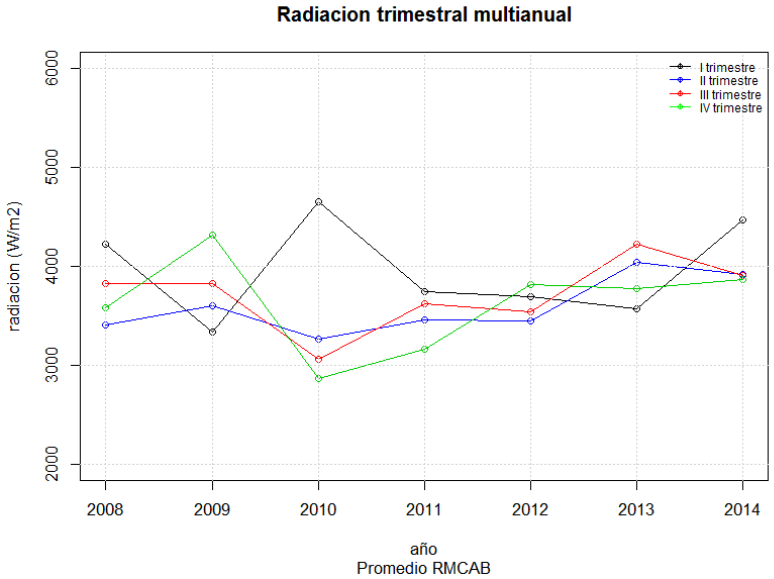


Figura 4-23. Radiación trimestral de los últimos años.

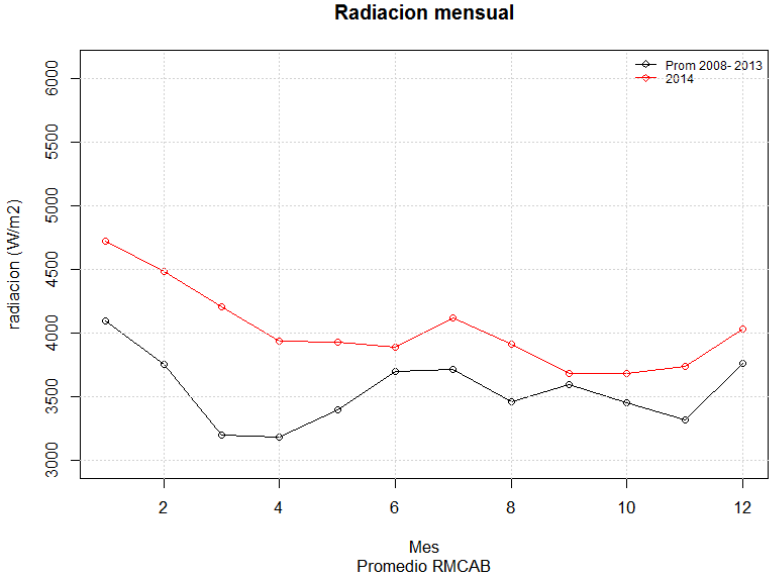


Figura 4-24. Radiación mensual de los últimos años.

4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 1-1. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general, depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad).

La Figura 4-25 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que durante el gran parte del año

la presión estuvo por encima del promedio salvo en los meses de mayo, septiembre y octubre. En la Tabla 4-12 se presentan los datos promedio anuales de presión por estación en los últimos años.

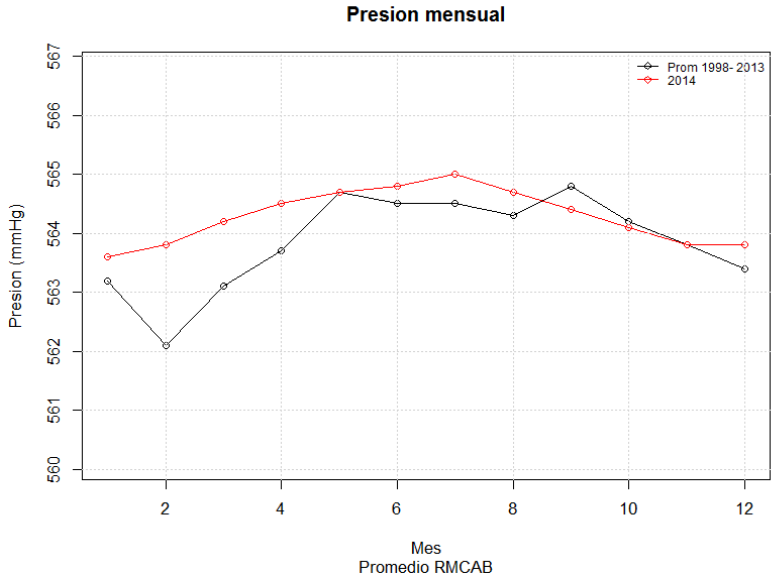


Figura 4-25. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-12. Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.

Estación.	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Guaymaral	564.1	564.2	563.9	564	564	564.1
Kennedy	NA	564.1	563.6	563.7	563.7	563.7
Las_Ferias	564.7	564.7	564.4	564.5	564.6	564.5
Promedio	564.4	564.6	564.3	564.4	564.5	564.1

4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describe en la Tabla 1-1 la cual presenta la representatividad de los datos tomados. La Figura 4-26 muestra que la humedad relativa en términos trimestrales ha venido disminuyendo y que en 2014 el último trimestre presentó el mayor porcentaje de este parámetro. En la Tabla 4-13 se presentan los promedios de los últimos años en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-13. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Centro de Alto Rendimiento	67.9	71	68.6	66.5	66.5	67.3
Guaymaral	73.6	NA	65.1	63	62.3	65.9
Kennedy	67.5	69.2	69.9	66.1	65.2	64.5
Las Ferias	64.6	66.7	66.7	64	62.9	62.8
San Cristobal	NA	NA	NA	60.5	NA	59.1
Tunal	66.1	67.5	67.4	64.2	63.1	63
Promedio	70.2	68.6	67.6	64	64	63.8

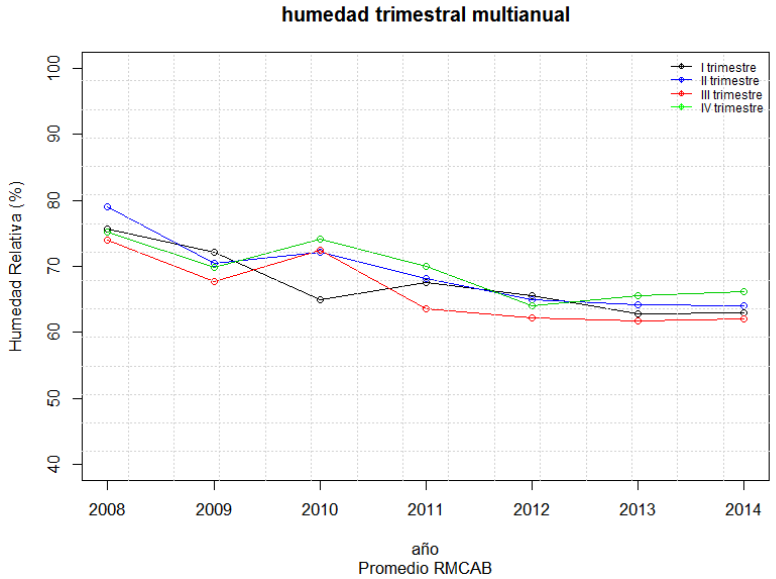


Figura 4-26. Humedad relativa mensual media del periodo 2008- 2013 y su comparación con los meses de 2014

5. Meteorología y Calidad del Aire

5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado.

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM_{10} y las variables velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el año. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en las tres variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios; madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Desde la Figura 5-1 hasta la Figura 5-4 se hace énfasis en el comportamiento del PM_{10} en estos grupos horarios con sus respectivos vectores de viento (mapas del costado izquierdo) y se presenta la interpolación de *Kriging* del coeficiente de correlación de Pearson obtenido a partir de los valores de velocidad del viento y de material particulado PM_{10}, a los cuales se le ha sobrepuesto los vectores de viento también interpolados con este método (mapas de la derecha).

Al analizar los mapas se presentan varias consideraciones importantes; inicialmente lo que llama la atención es la predominancia de los elevados valores de PM_{10} durante todas las jornadas en el occidente de la ciudad. En la madrugada, los vientos que tienen características débiles o nulas tienden a ingresar por la zona sur – suroccidental iniciando su recorrido desde Ciudad Bolívar, viajando por Soacha y entrando por Bosa y Kennedy. Este tipo de comportamiento se puede explicar por el cambio de temperatura de las regiones aledañas, como se observó en la Figura 4-20 en donde las noches y madrugadas de la estación de Kennedy y Carvajal-Sevillana presentan temperaturas más elevadas que la zona circundante, particularmente las estaciones de Tunal y San Cristóbal. Estos vientos, de hasta 1.5 m/s en promedio, tienden a perder intensidad a medida que se desplazan por el área capitalina. En la figura del lado derecho, los coeficientes de correlación tienden a ser nulos hacia la zona sur de la ciudad, en especial en la estación de Carvajal-Sevillana y a ser negativos en la zona central y norte. El hecho de un aire frio cercano a la superficie terrestre en este grupo horario, permite intuir una atmósfera comprimida con elevada humedad relativa, impidiendo el proceso de dispersión de contaminantes. En la mañana, al iniciar el flujo de radiación solar (Figura 4-24), inicia el proceso de dilatación de la atmósfera, además del direccionamiento de los vientos en busca de zonas de masas de aire menos densas como consecuencia del calentamiento superficial. No obstante la dinámica de la ciudad ha ingresado una componente importante de PM_{10} que empieza a desplazarse hacia el occidente, partiendo en algunos casos de los cerros orientales y alcanzando las localidades occidentales en donde zonas de Kennedy y Bosa presentan las concentraciones más elevadas. En su mayoría, los índices de correlación son negativos salvo, nuevamente, la estación de Carvajal-Sevillana, sin embargo los valores de correlación son bajos y no se puede atribuir directamente con este análisis. En la tarde se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno, por aumento de la velocidad del viento y por el cambio en la dinámica de la ciudad; los vientos con componente suroriental en la zona occidental presentan velocidades de hasta 4 m/s en promedio, mientras que en el norte de la ciudad los valores oscilan entre 2 y 3 m/s, predominantes del este. Hacia el norte la tendencia es a disminuir

la concentración de PM_{10} cuando la velocidad del viento aumenta, mientras que hacia el sur la tendencia es inversa, sugiriendo un posible arrastre de contaminación desde la zona sur en las localidades de Tunjuelito y Ciudad Bolívar, de donde proviene el viento. Por la noche según se observa en la Figura 5-7 las condiciones fueron similares a las de la madrugada en términos de la concentración del PM_{10} y de la correlación con la velocidad del viento. No obstante la dirección continúa predominando del sureste al sur y del noreste este al norte de la ciudad, con velocidades que están cercanas a los 3 m/s hacia el occidente de la ciudad.

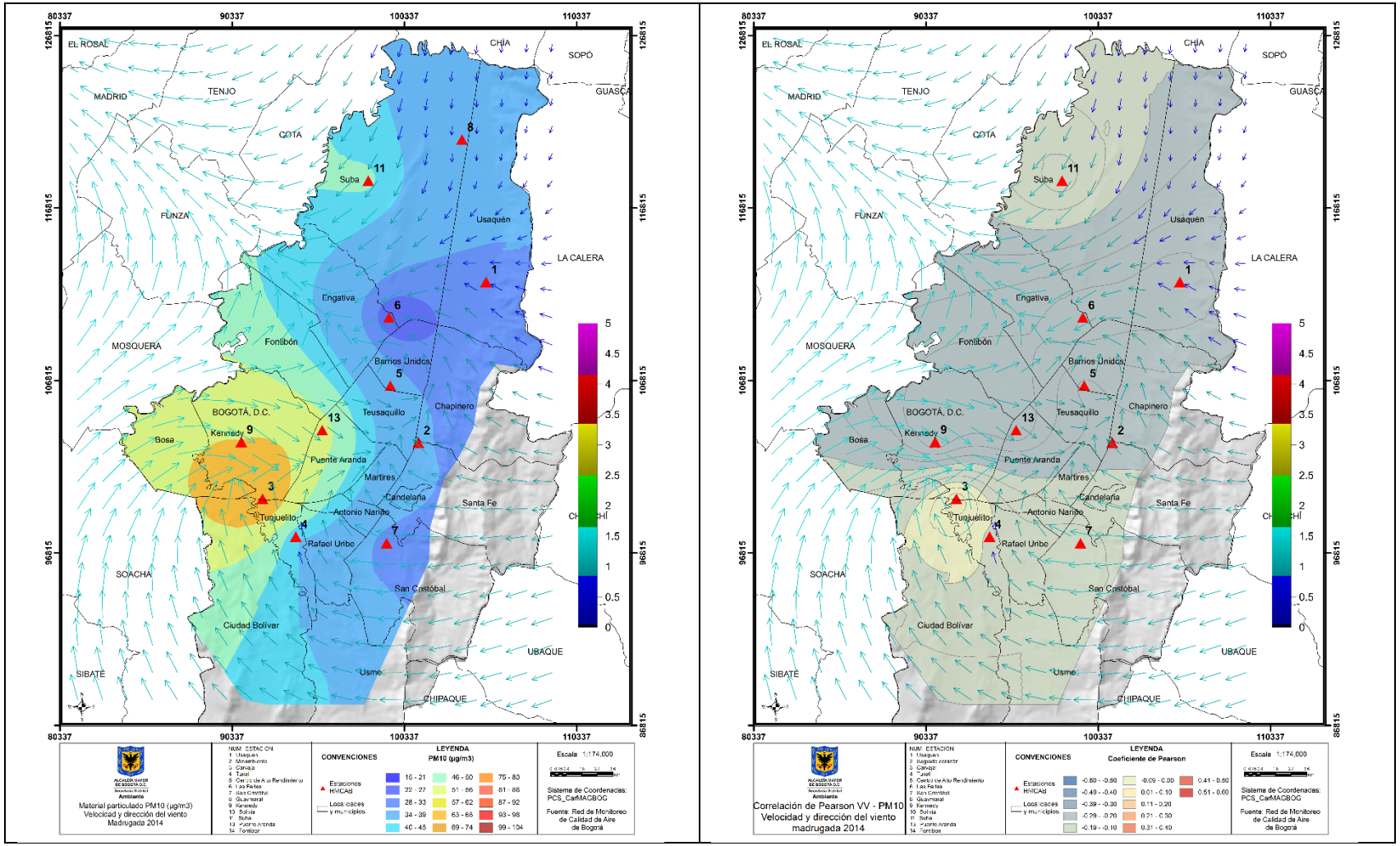


Figura 5-1. PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del año 2014.

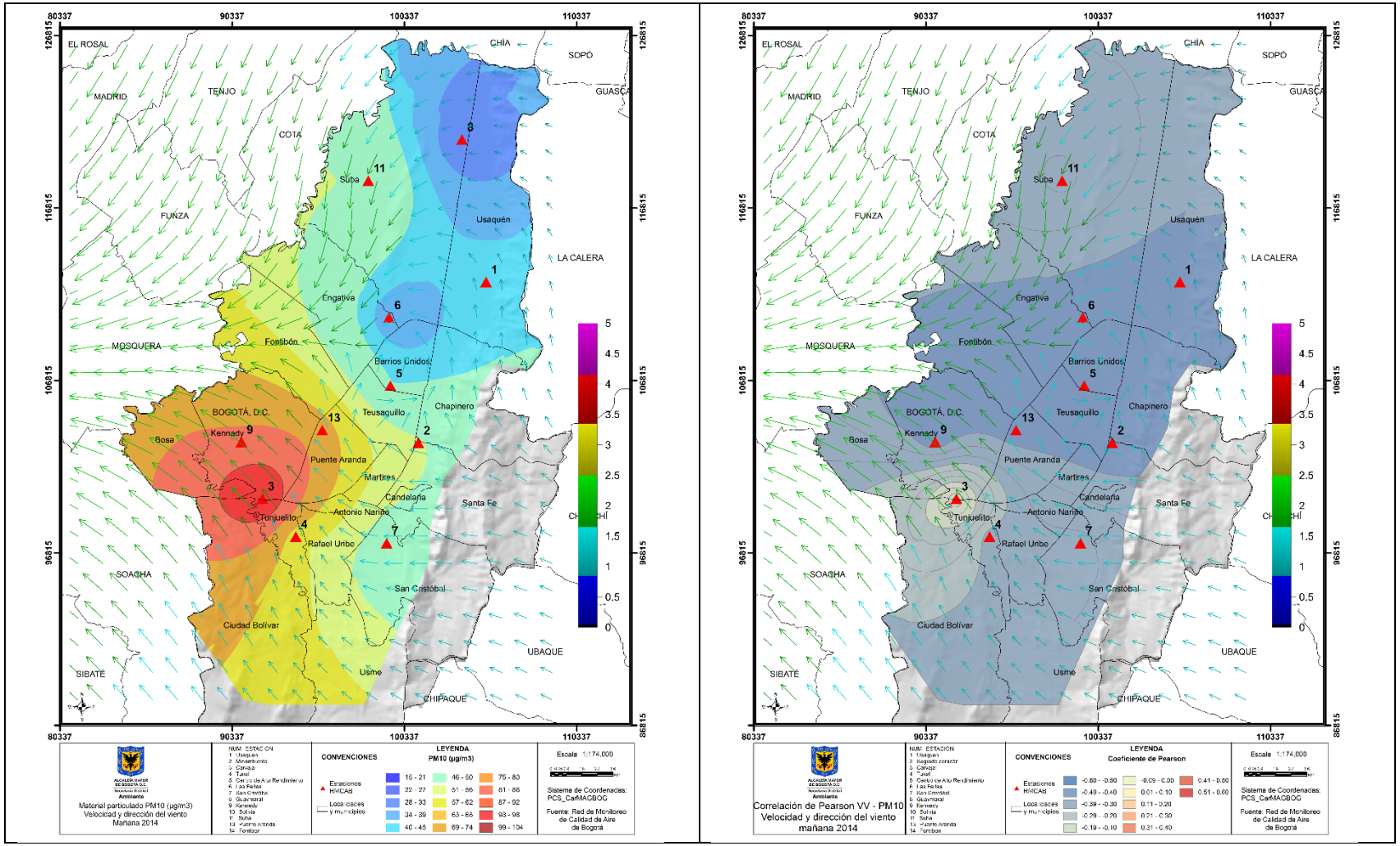


Figura 5-2 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana año 2014.

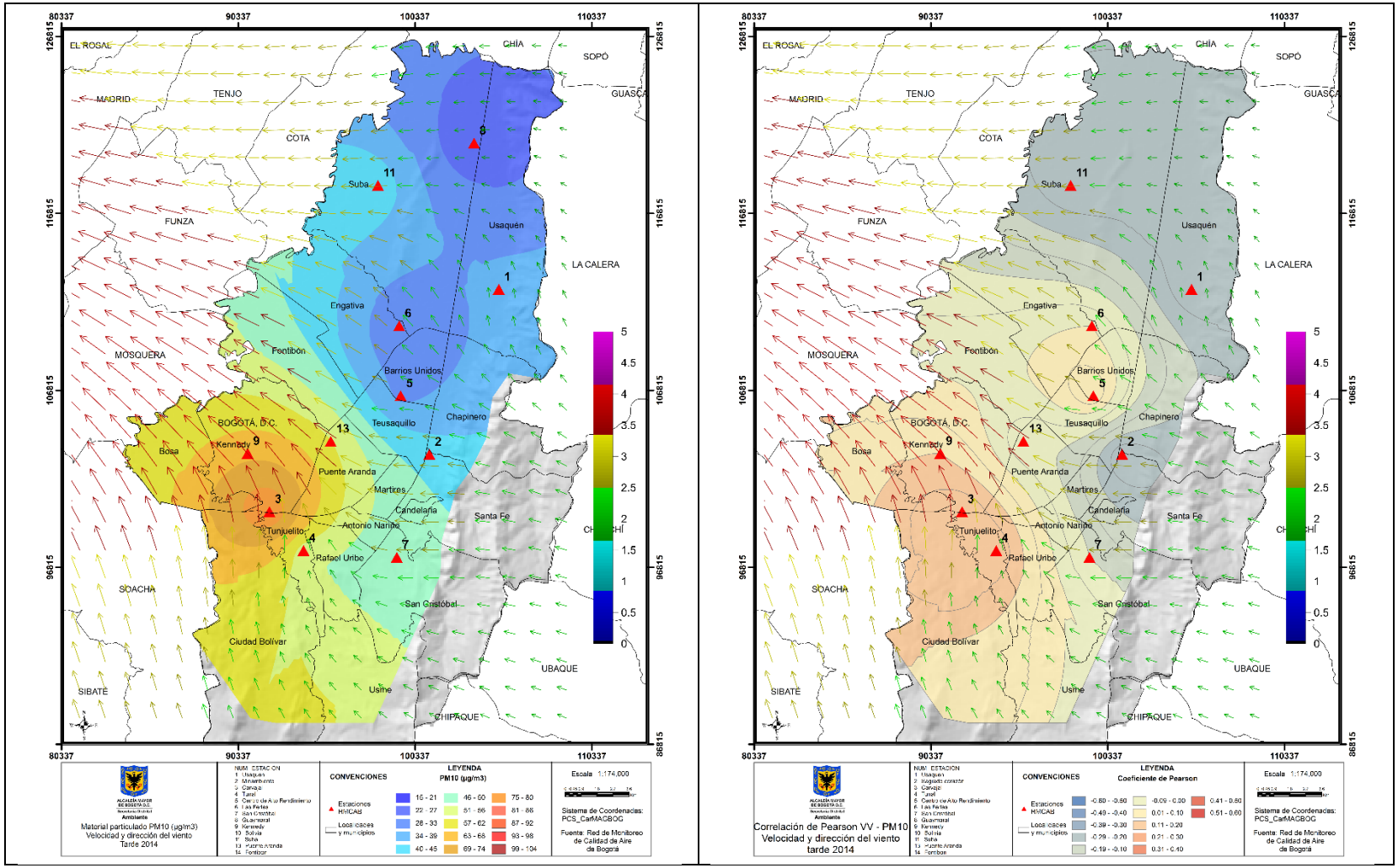


Figura 5-3 . PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde año 2014.

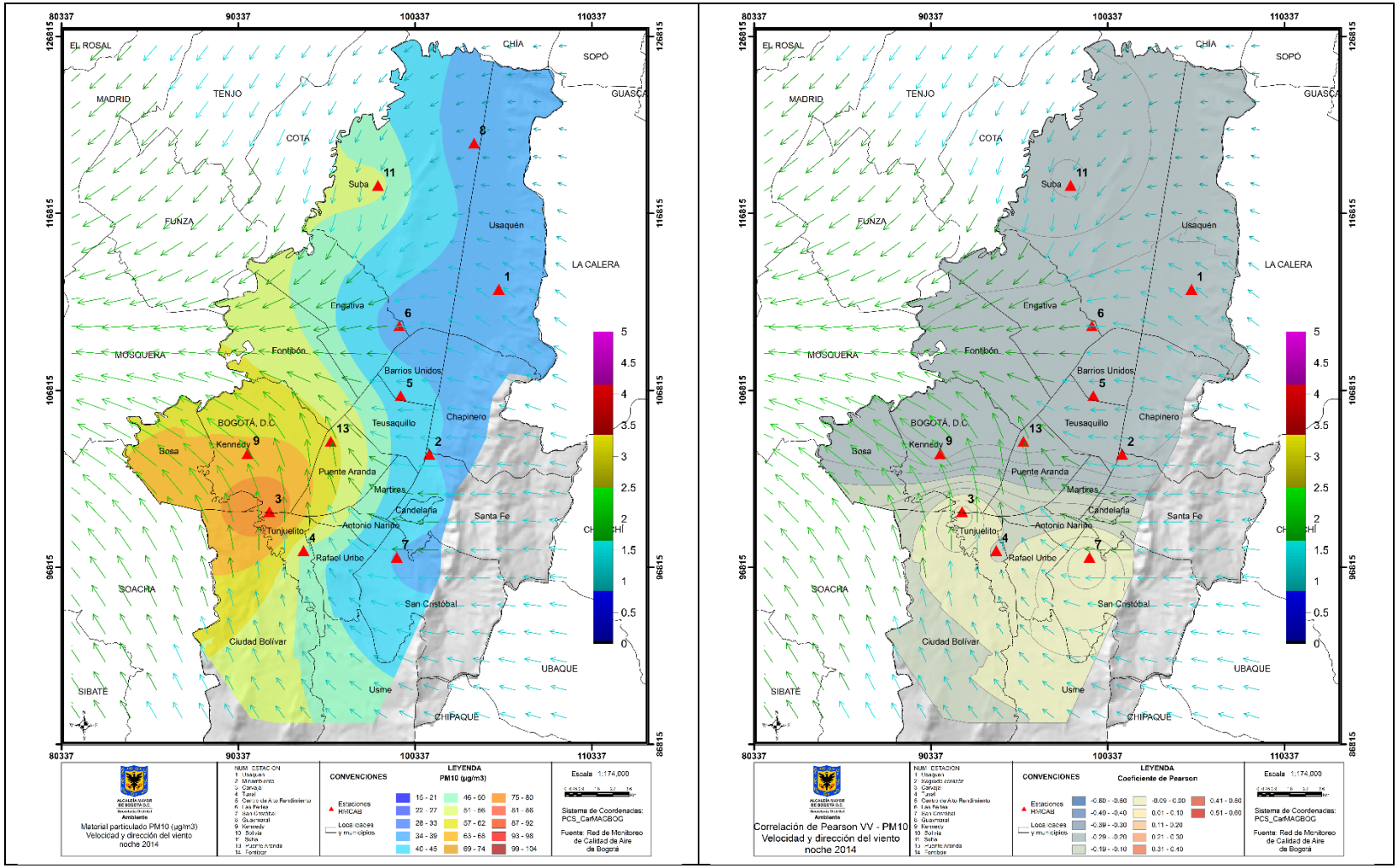


Figura 5-4. PM_{10} (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche año 2014.

5.2. Estudio de caso: días de máxima concentración

Esta sección presentará 2 días de altas inmisiones de material particulado, que por su naturaleza y características se han considerado relevantes para mencionar. El día 27 de junio de 2014, las estaciones de la red registraron un aumento inusual en concentración de material particulado, evento que fue asociado al ingreso de polvo proveniente de África, mientras que el día 6 de noviembre se presentó una emergencia local en Fontibón debido al incendio de una bodega que almacenaba llantas usadas.

6 de noviembre de 2014

5.2.1. Evento de incendio de llantas en Fontibón

Sitio del incendio: Calle 14 con Carrera 123

Las estaciones analizadas de la RMCAB (Puente Aranda, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento) evidenciaron un aumento inusual en las concentraciones de material particulado en horas de la noche del 5 y de la madrugada y mañana del 6 de noviembre con vientos provenientes principalmente del occidente.

Al corte de las 6am del 10 de noviembre, se apreciaron condiciones usuales y dentro de los rangos normales en las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en todas las estaciones de la RMCAB. Por su parte los gases SO_2, NO_2, O_3 y CO no presentaron incrementos significativos en lo registrado por las estaciones de la RMCAB durante el periodo del 4 al 10 de noviembre a las 6am. Además, no se presentaron excedencias de ninguno de estos gases contaminantes a la normatividad nacional. Con respecto al reporte del Índice de Calidad de Aire (ICA), todas las estaciones presentaron un comportamiento en la categoría de moderado (amarillo), lo cual se encuentra en el rango usual para Bogotá.

Para determinar las condiciones meteorológicas del día, la Figura 5-5 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM en el aeropuerto internacional ElDorado del día. Según los índices de estabilidad presentados en los diagramas (Lift = -1.28, CAPE = 87.32) las condiciones eran levemente inestables y según estos índices se podían esperar tormentas leves o moderadas, aunque durante el día no precipitó, como se observó en los datos de la red. En las primeras horas se presentaban bancos de niebla y la humedad relativa hasta el nivel de 500 hPa fue bastante elevada, en algunos casos alcanzando el 100%, mientras que los vientos en estas capas alcanzaron un máximo de hasta 10 nudos (5.1 m/s), principalmente provenientes del oeste - suroeste. A partir de este nivel se presenta una disminución moderada en la temperatura de rocío, con vientos de hasta 20 nudos (10.2 m/s) con dirección del noroeste hasta alcanzar velocidades de 30 nudos (15.4 m/s) y provenientes del sur en capas altas de la atmósfera. Debido a esto, no se observó un comportamiento significativo que inhibiera el proceso de dispersión. Los mapas de la Figura 5-6 y Figura 5-7 presentan la concentración del material particulado en 4 grupos horarios; madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) promedio de PM_{10} y el promedio vectorial de la velocidad y dirección del viento para esos grupos horarios. Durante la jornada, los vientos mostraron una variación significativa con lo observado durante el mes, considerando su dirección del norte con velocidades de hasta 2.5 m/s y confluyendo en zonas aledañas a las localidades

de Tunjuelito, Puente Aranda, Teusaquillo y norte de Ciudad Bolívar debido a un flujo de vientos que gira en sentido de las manecillas del reloj partiendo del sur de la ciudad. Este comportamiento fue acentuado en los grupos horarios de la madrugada y de la noche como se observa en los mapas mientras que, en horas de la mañana los vientos fueron predominantes del noroeste y durante la tarde presentaron direcciones variables con velocidades de hasta 4 m/s. En las imágenes se resalta el hecho de la confinación de concentración de material particulado en la zona de Puente Aranda, hecho que dista geográficamente del promedio de concentración de PM_{10} de la sección anterior. Asimismo se aprecia que en esta zona hay una dirección predominante en 3 de los 4 grupos, correspondiente al noroeste de donde fue conocida la emergencia ambiental ocurrida por el incendio de las llantas en la localidad de Fontibón.

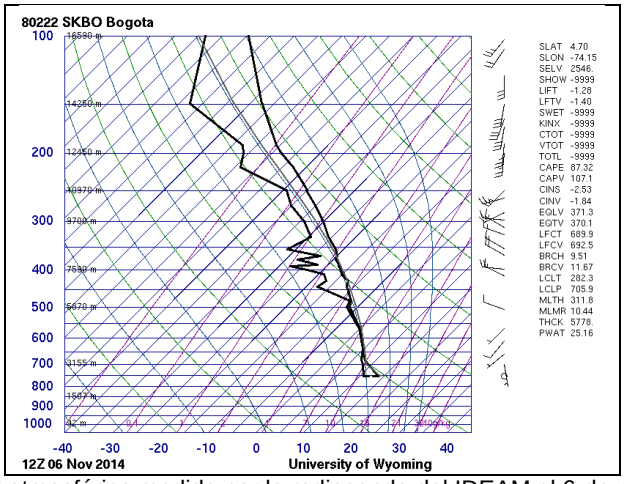


Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 6 de noviembre de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

Las rosas de contaminación por material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ se presentan agrupadas en los mapas de la Figura 5-8. Se observa que Las Ferias, Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento tienen una contribución destacable de material particulado con vientos provenientes predominantemente del oeste, dirección hacia la que se presentó la emergencia con respecto a la ubicación de estas estaciones. Los vientos que llegan a Ministerio de Ambiente tienen direcciones más variables y una de ellas corresponde al oeste lo cual está asociado con el aumento inusual de sus concentraciones durante este día. En las estaciones ubicadas al norte (Guaymaral, Usaquén y Suba) y al sur (Carvajal-Sevillana, Kennedy, Tunal y San Cristóbal), no se observaron aumentos de concentración a causa del incendio y esto se atribuye a que los vientos que arriban a estos sitios no están predominantemente asociados al lugar del incendio.

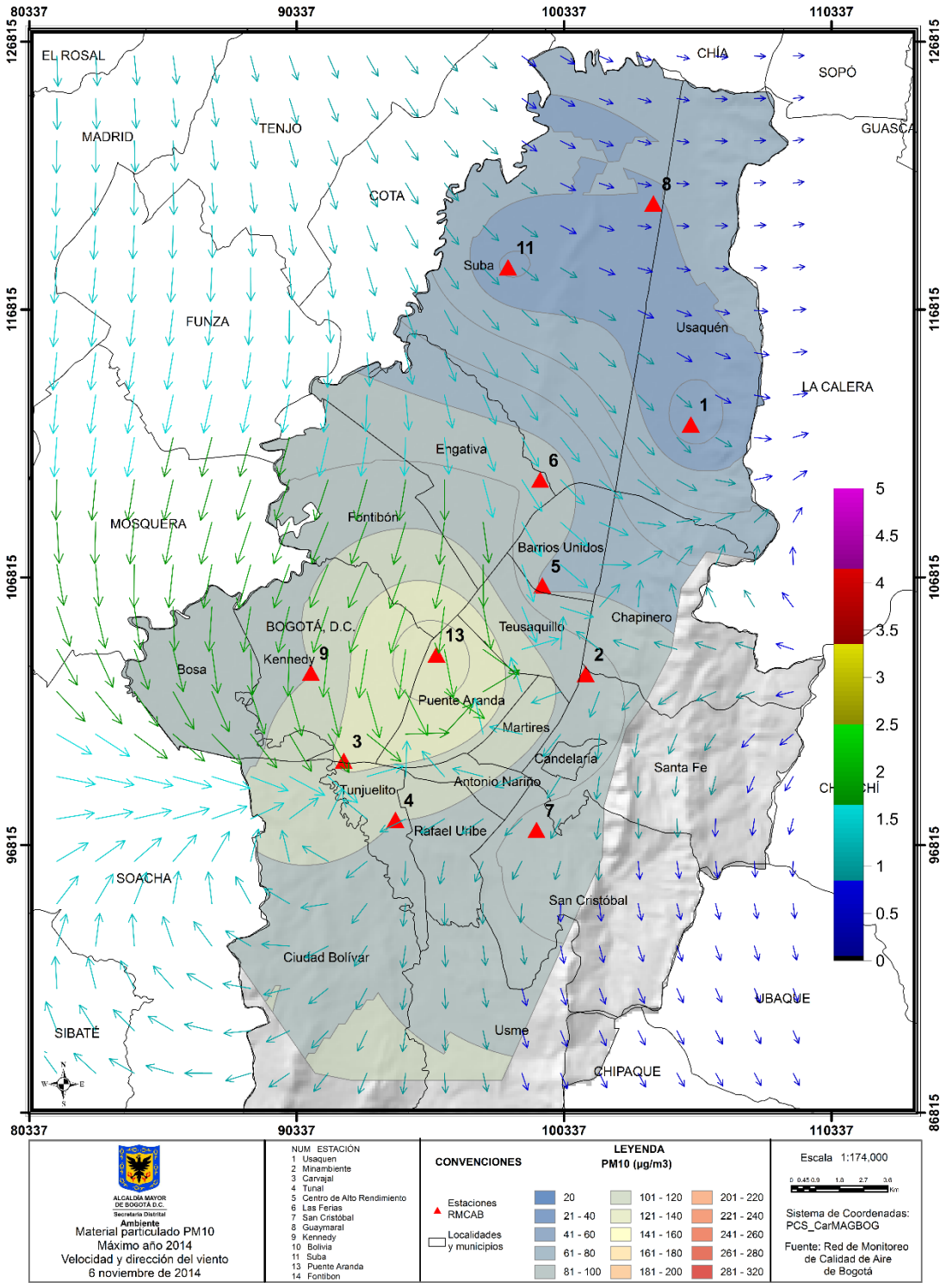


Figura 5-6 PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 6 de noviembre de 2014.

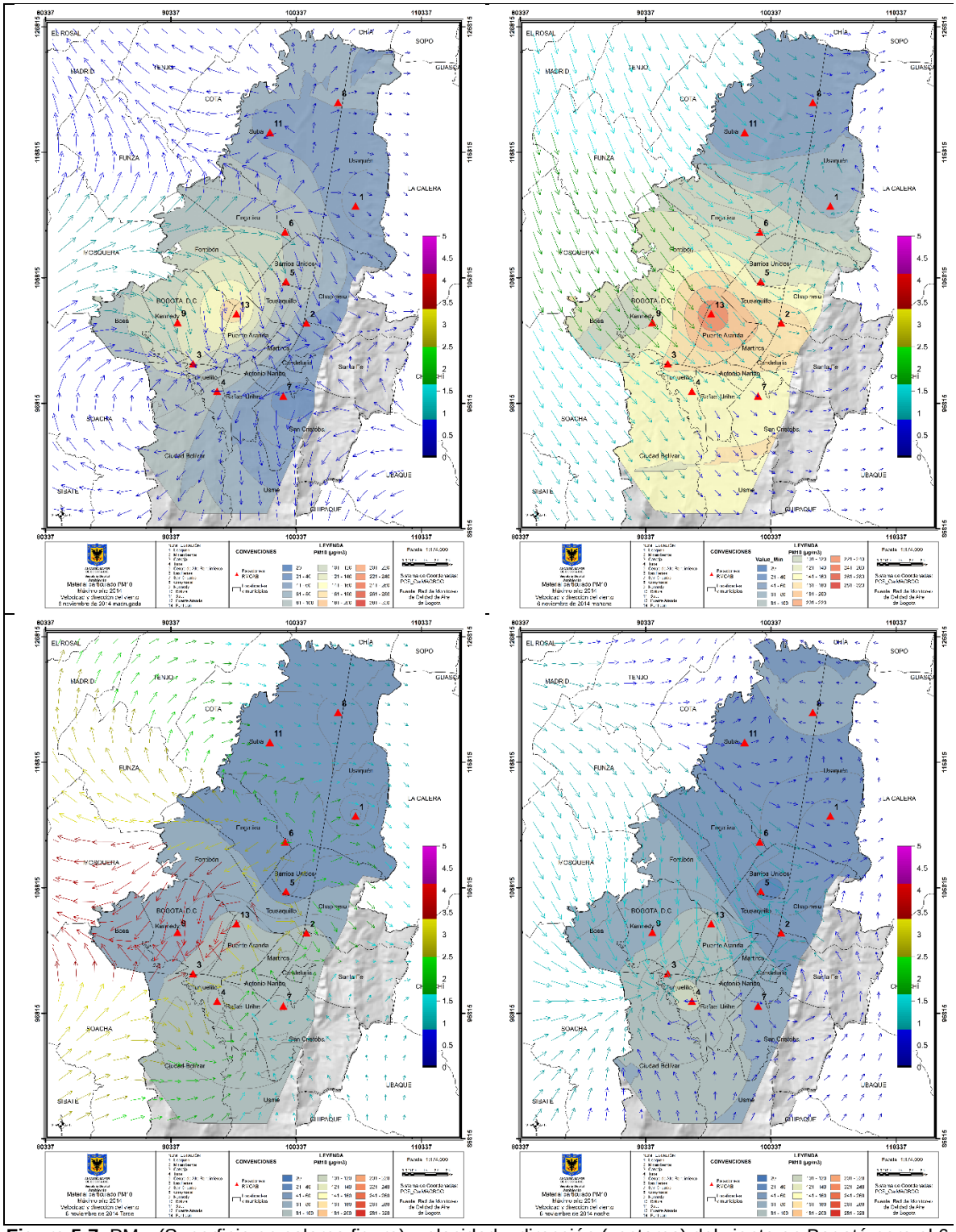


Figura 5-7. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 6 de noviembre de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

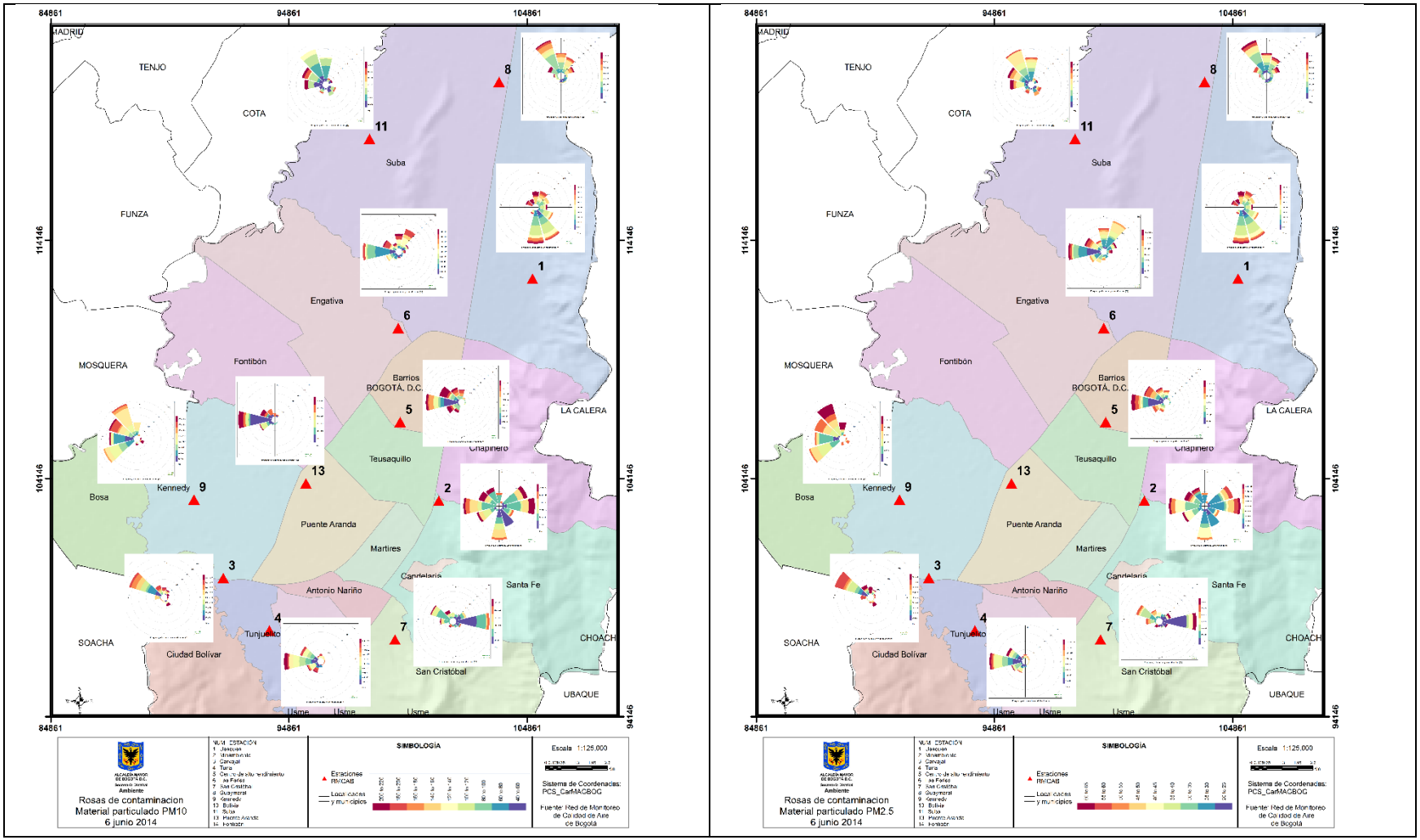


Figura 5-8. Rosas de contaminación de material particulado (a) PM_{10} y (b) $PM_{2.5}$ para el día 6 de junio de 2014.

27 de junio de 2014

5.2.2. Transporte de polvo del Sahara a Suramérica en junio de 2014

El 27 de junio de 2014 las estaciones de la RMCAB presentaron un aumento significativo en sus concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. La Tabla 5-1 presenta los valores de estos contaminantes en dicho día. Como referencia, el límite máximo permisible en un tiempo de exposición diario es 100 µg/m^3 para PM_{10} y de 50 µg/m^3 para $PM_{2.5}$ (Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), el cual fue superado por la totalidad de las estaciones de la RMCAB para PM_{10} y en Las Ferias, Kennedy, Tunal y Carvajal-Sevillana para $PM_{2.5}$, especialmente para esta última. Las máximas concentraciones reportadas fueron 243 µg/m^3 en la estación Fontibón y 77 µg/m^3 en Carvajal-Sevillana para PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente.

Tabla 5-1. Concentraciones de PM_{10} y de $PM_{2.5}$ para el 27 de junio de 2014 en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. Fuente: Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Estación	Concentración de PM_{10} (µg/m^3)	Concentración de $PM_{2.5}$ (µg/m^3)
Guaymaral	133	
Usaquén	125	46
Suba	142	
Las Ferias	101	52
Centro de Alto Rendimiento	182	47
Min. Ambiente	120	43
Fontibón	243	
Puente Aranda	199	
Kennedy	161	59
Carvajal-Sevillana	240	77
Tunal	213	52
San Cristóbal	207	44

De acuerdo a las imágenes tomadas por el satélite *Suomi NPP* de la NASA, en junio de 2014 ocurrió un transporte de material particulado del desierto del Sahara. El día 23 una corriente proveniente de África Occidental inició su recorrido por el Océano Atlántico ayudada con vientos provenientes del este. En los días posteriores, se reportó que este fenómeno causó afectaciones en la calidad del aire en áreas tan remotas como el sureste de Estados Unidos (*NASA Earth Observatory, 2014)*. Como puede observarse en la Figura 5-9, la corriente de polvo proveniente del Sahara se dirigió al norte de Suramérica el 25 de junio. Los datos de la RMCAB indican que esta pluma de contaminación llegó a Bogotá en días cercanos al 27 de junio de 2014 ocasionando niveles elevados de material particulado.

Las imágenes del satélite Terra de la NASA, instrumento MODIS, muestran que el polvo pudo haberse originado de Mauritania, Senegal y el Sahara Occidental, principalmente. De acuerdo a la NASA, se ha reportado que el polvo del Sahara puede tener efectos negativos

en la calidad del aire del continente americano. La Figura 5-10 presenta el índice de aerosoles para el 25 de junio de 2014 a partir de información tomada por el satélite Suomi NPP de la NASA (*NASA's Goddard Space Flight Center*, 2014). En la imagen puede observarse con mayor claridad que el polvo del Sahara proviene de países ubicados en el noroeste del continente africano, los cuales cruzan el Océano Atlántico para alcanzar finalmente el norte de Suramérica.

Comportamiento local

La Figura 5-11 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional ElDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 7.25, CAPE = 0.0) las condiciones eran muy estables por lo cual no se registró lluvia durante el día. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas medias, la más significativa y con un moderado gradiente de temperatura cerca de los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de material particulado durante algunas horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM_{10} en horas de la madrugada, como se observa en los mapas de la Figura 5-13, en donde fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Fontibón, sector cuyos vientos fueron predominantes del noreste, y en el sur de la ciudad donde los vientos presentaron direcciones variables. En la mañana se mantuvieron los valores elevados de concentración en las zonas antes descritas, con una particularidad que corresponde a las altas velocidades de los vientos en la zona occidental lo cual no es común en horas de la mañana (incluso en la madrugada se presentaron vientos de hasta 2.5 m/s) con direcciones del oeste y que pudieron favorecer el transporte de contaminantes desde los municipios de la sabana occidente. Por la tarde, la concentración tendió a disminuir aunque los vientos mantuvieron velocidades elevadas; no obstante a esta hora el proceso de convección y de dispersión es más significativo que en los grupos horarios anteriores. Finalmente en horas de la noche se observaron valores normales de PM_{10} con velocidades de los vientos elevadas y direcciones predominantes del este en el norte y oriente de la ciudad, del oeste al occidente y del suroeste al sur.

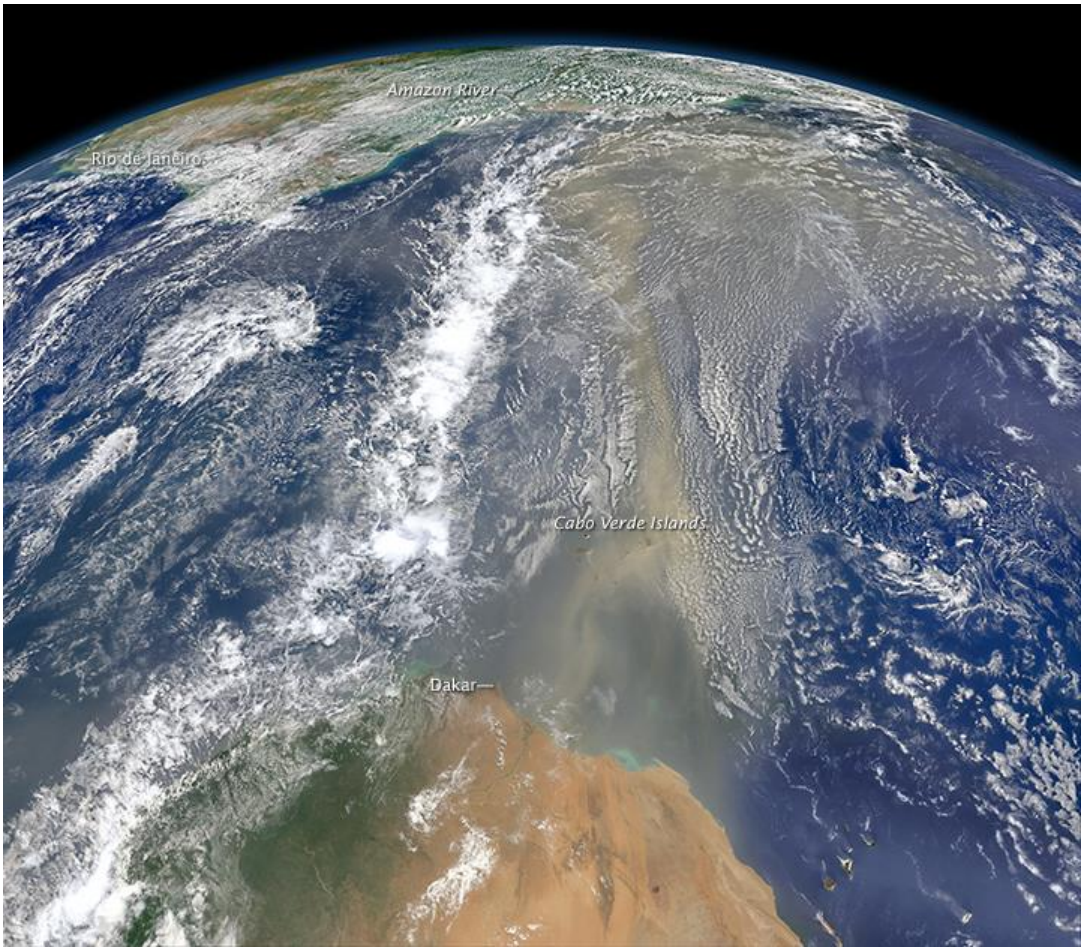


Figura 5-9. Corriente de polvo proveniente del Sahara con dirección a Suramérica. Fuente: *NASA Earth Observatory* (http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966). Imagen del 24 de junio de 2014.

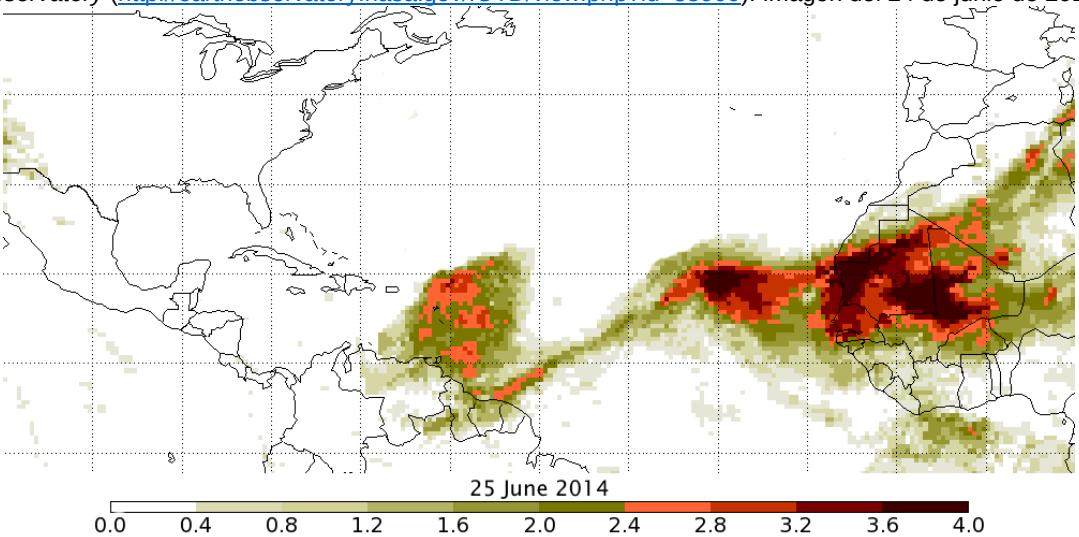


Figura 5-10. Índice de aerosoles del 25 de junio de 2014. Fuente: *NASA Ozone Mapping and Profiler Suite*. Fuente: http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust

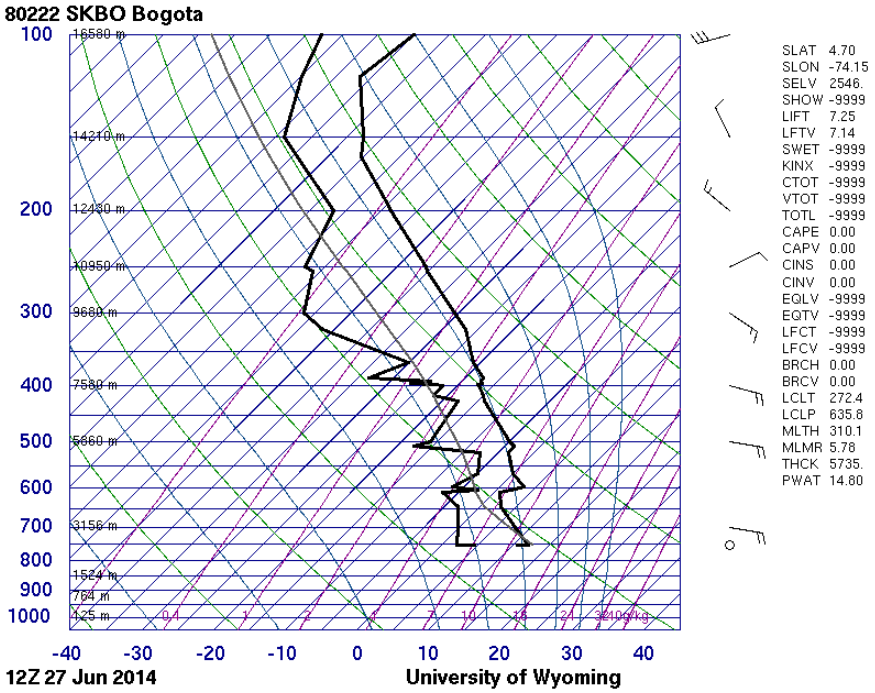


Figura 5-11. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 27 de junio de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

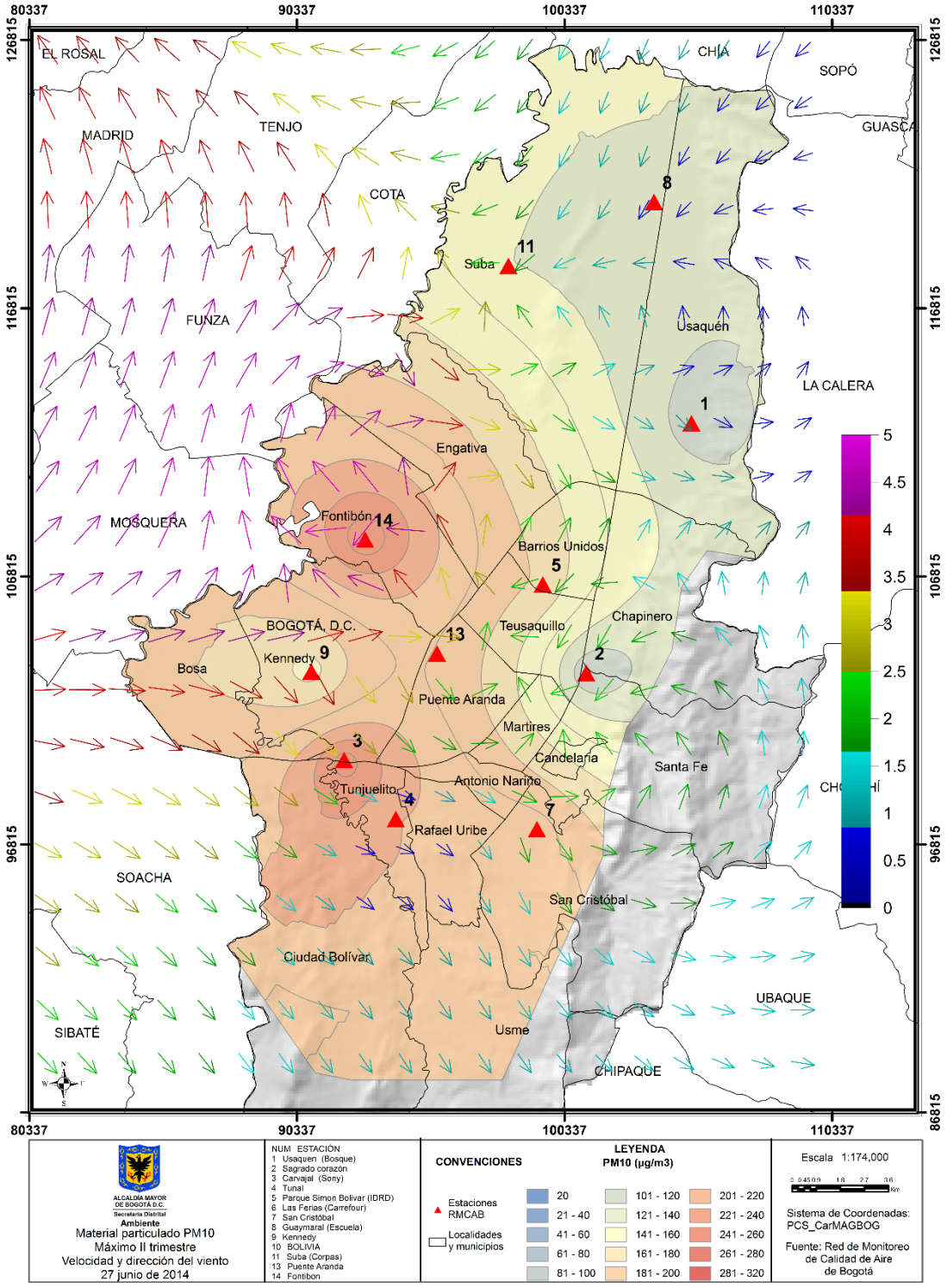


Figura 5-12 PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014.

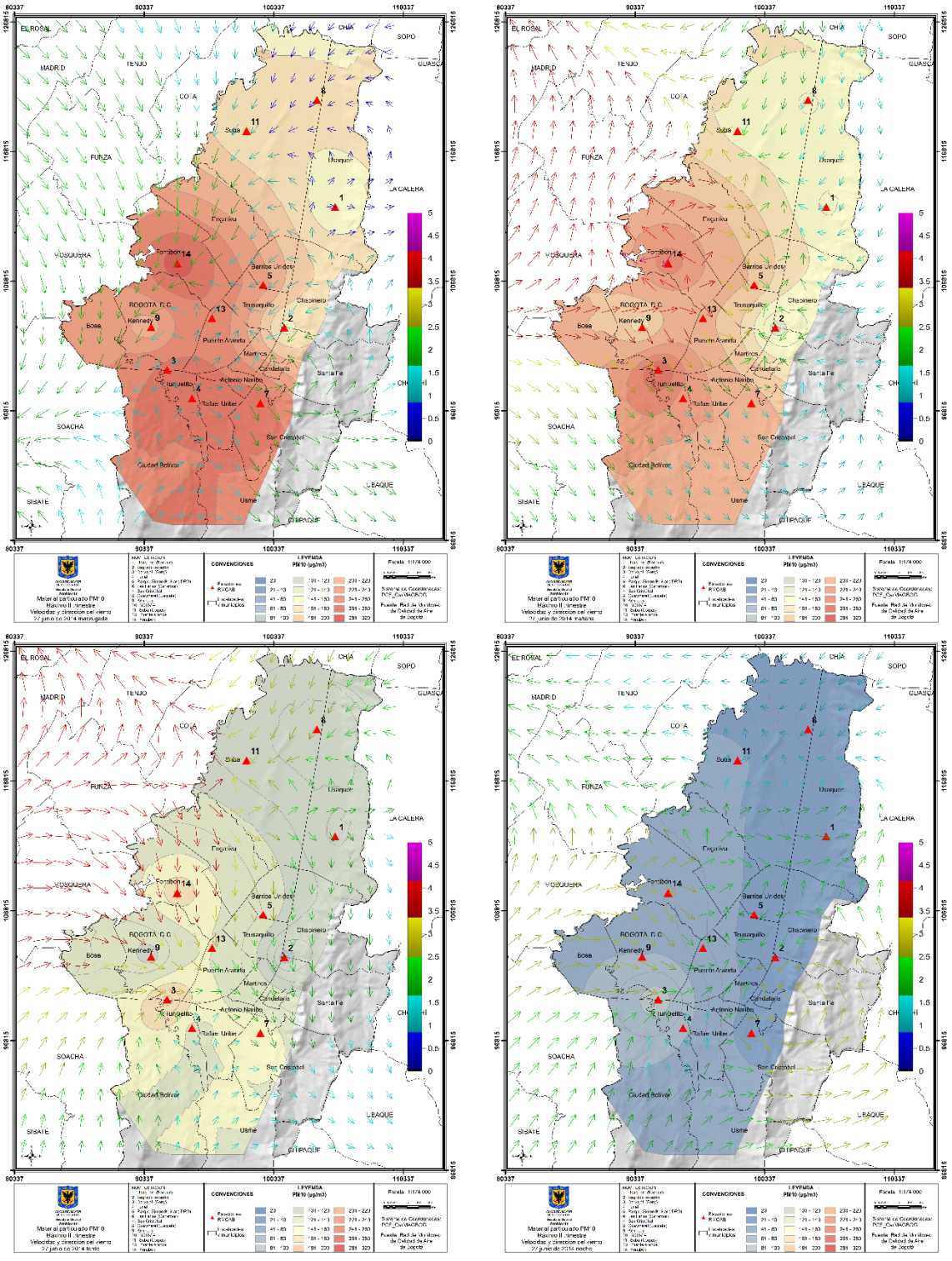


Figura 5-13. PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

Bibliografía

Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0.* King's College London.

Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

European Comission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.

Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.*

NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966

NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.* Ginebra.

R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.* Vienna, Austria. Obtenido de http://www.R-project.org/

SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).* Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/

U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).*

U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI).* Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment.*

Glosario

Aire: fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.
Aire cero: es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo. La purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.
Agentes contaminantes convencionales: se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, dióxido de nitrógeno).
Analizador: equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.
Anemómetro: instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.
Aseguramiento de la Calidad (AC): sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].
Auditoría: evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].
Bandera: registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.
Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.
Bitácora: libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.
Calibración: conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.
Cilindro de gas patrón certificado: es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.
Concentración de fondo: fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.
Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.
Condiciones normales para normas de calidad del aire: las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).
Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.

Contaminación atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.
Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
Diagrama de caja (*box-plot*): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (µg/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{\mathrm{C[ppm]} \times \mathrm{PM}}{24{,}466} \times 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:
$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
$\mathrm{C[ppm]}$= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24,466 = Volumen de una kmol en m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.
Episodio de contaminación: es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
Equipo para Calibración: es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
Estabilidad atmosférica: característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.
Estación de monitoreo: es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
Estándar de calidad del aire: valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
Excedencia: una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.
Gas de calibración: término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.
Generador de aire cero: dispositivo utilizado para generar aire cero.
Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

Índice: expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.
Isohuma: línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.
Isotaca: línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.
Isoterma: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.
Isoyeta: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.
Material particulado: término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.
Media aritmética: es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.
Media móvil: se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de *n* datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.
Método equivalente: es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.
Método de referencia: es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.
Monitoreo: en el sentido más amplio de la palabra, medición continua para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.
Nivel Normal (Nivel I): es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.
Nivel de Prevención (Nivel II): es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.
Nivel de Alerta (Nivel III): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.
Nivel de emergencia (Nivel IV): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.
Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Obstáculo: elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.
Operaciones de puesta en marcha y parada: toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.
Precisión: grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.
Promedio anual: promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.
Promedio diario: promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.
Promedio Geométrico: antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{\text{prom geom}} = 10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]} \quad \text{para } i = 1,2,3 \ldots, n$$

Donde:
$C_{\text{prom geom}}$: Promedio geométrico de concentración
$\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)$: Suma de los n logaritmos de los valores de concentración del contaminante i.
$10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]}$: Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los "n" valores de concentración del contaminante i.
Protocolo: plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.
Protocolo de comunicación: se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.
Rango crítico: véase Rango de tolerancia.
Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.
Red automática de monitoreo de calidad del aire: es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.
Repetitividad: grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].
Representatividad: grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].
Sensor: dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.
Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.

Sustancias Peligrosas: son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.
Toma-muestras: conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
Unidades: Las unidades más utilizadas son:
mg/m^3: miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: microgramos por metro cúbico.
ppm: partes por millón.
ppb: partes por billón.
Validación: confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

Anexos

A. Lectura de Gráficos de *boxplot*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *boxplot*.

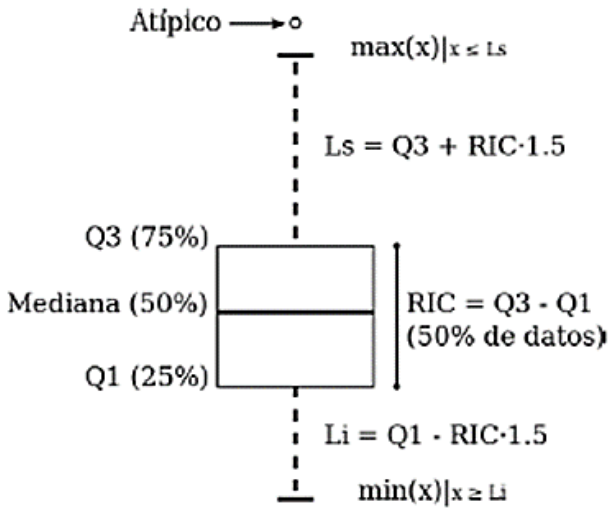


Figura 0-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu g/m^3$, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{M * P}{\overline{R} * T} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{R}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{Pa.m^3}{mol.K}$
T: temperatura absoluta [K]

C. Diagramas de caja con el ciclo diario de las concentraciones horarias de PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2.

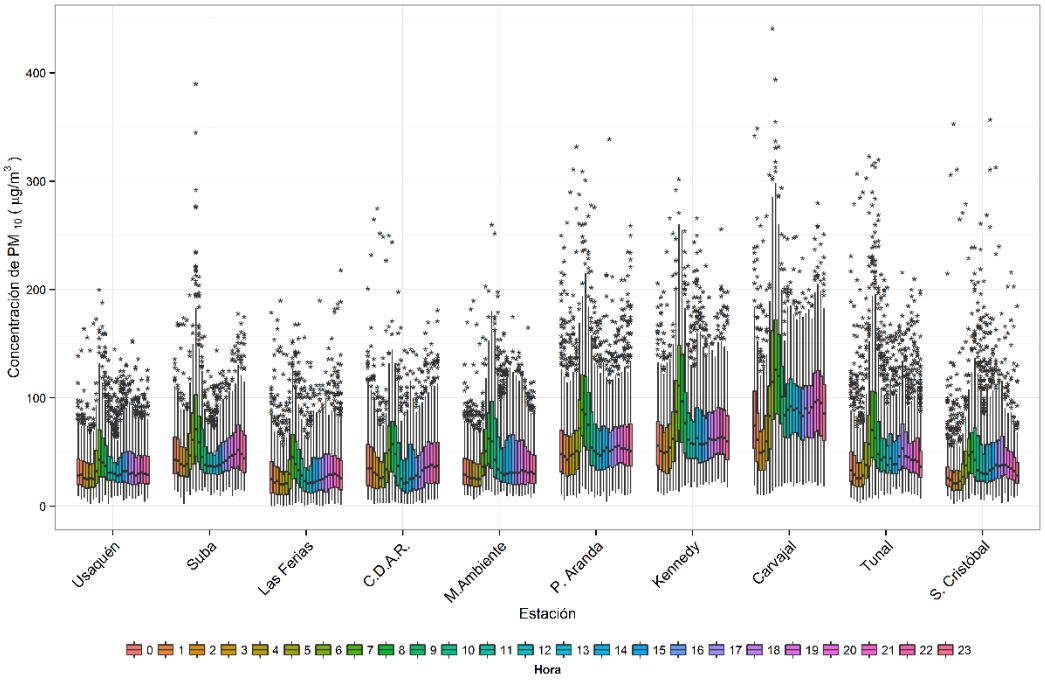


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{10} por estación durante el año 2014.

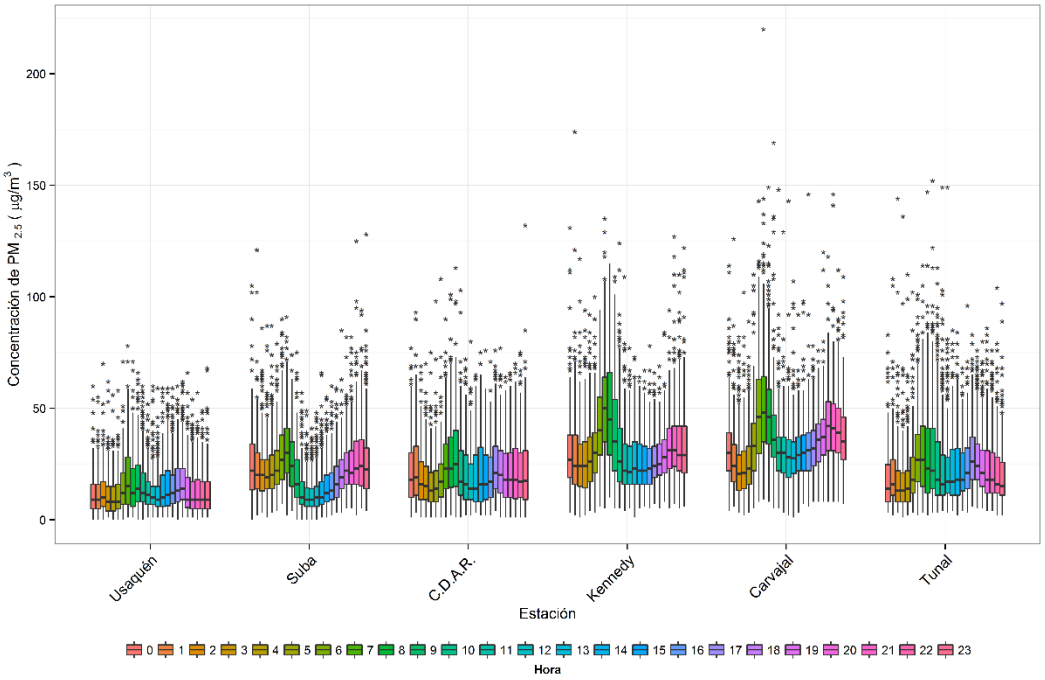


Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de $PM_{2.5}$ por estación durante el año 2014.

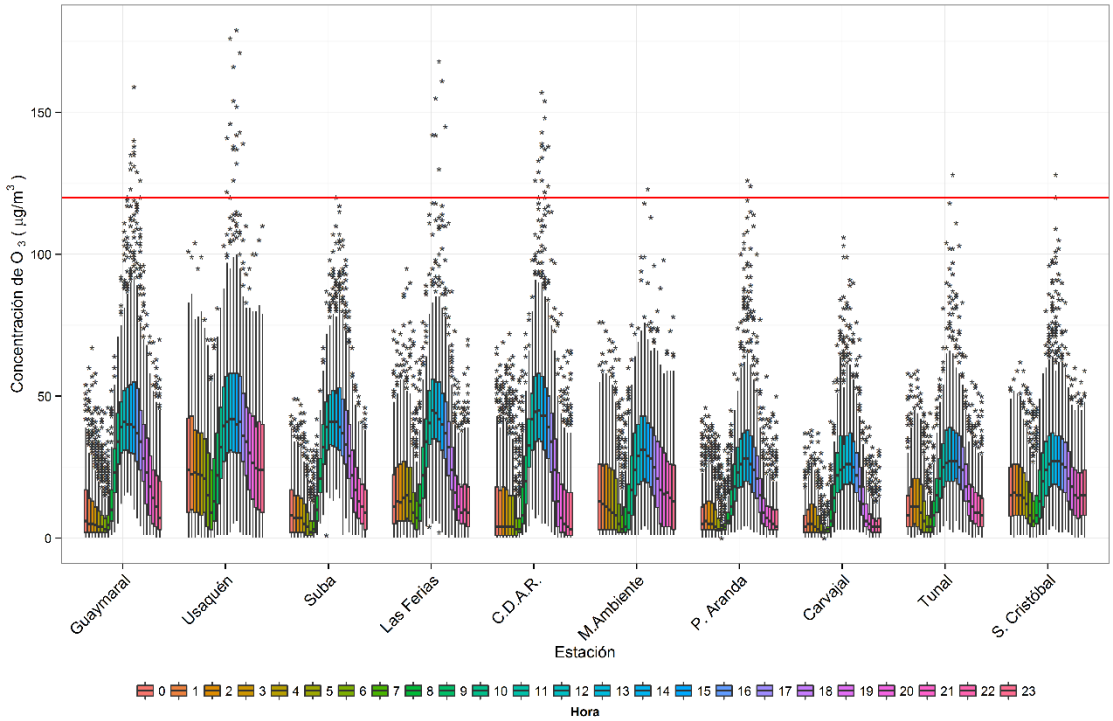


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O_3 por estación durante el año 2014.

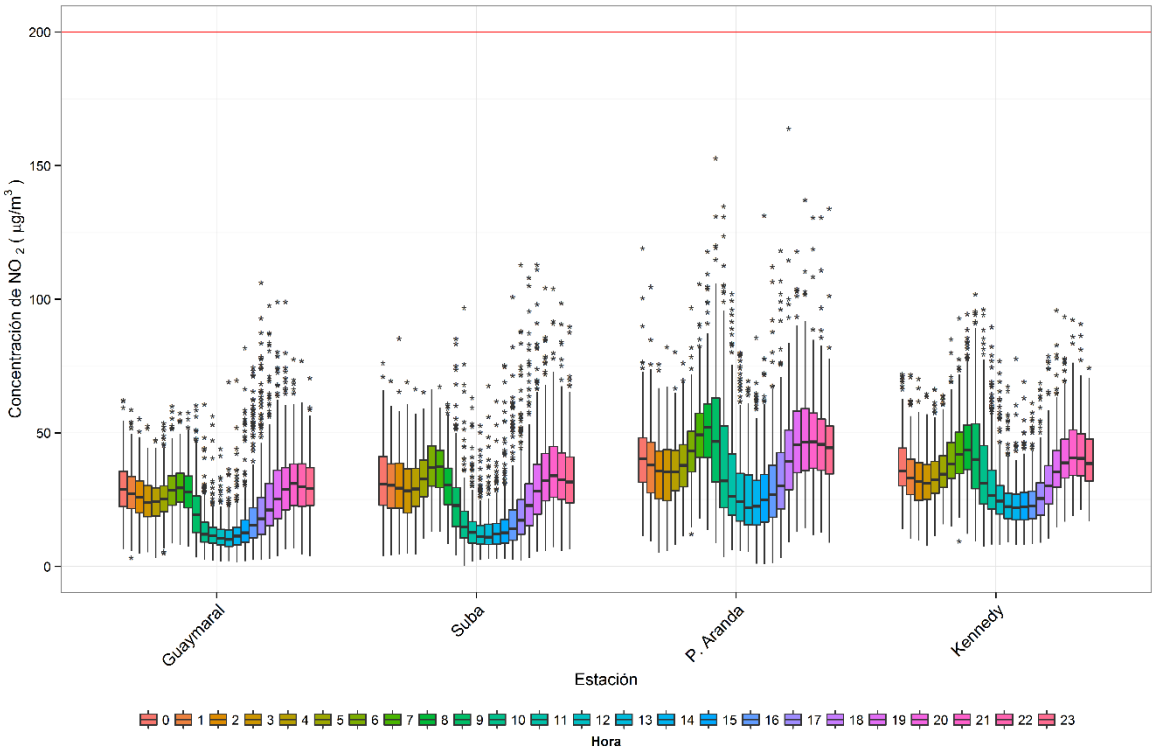


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO_2 por estación durante el año 2014.

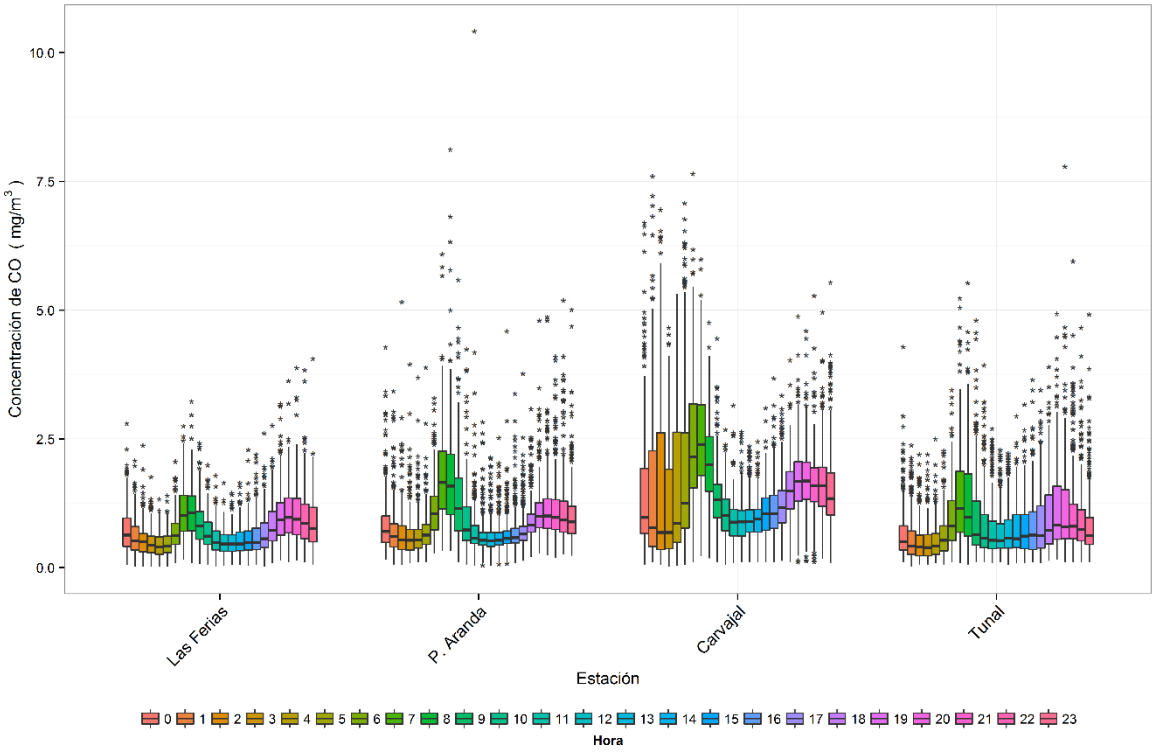


Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el año 2014.

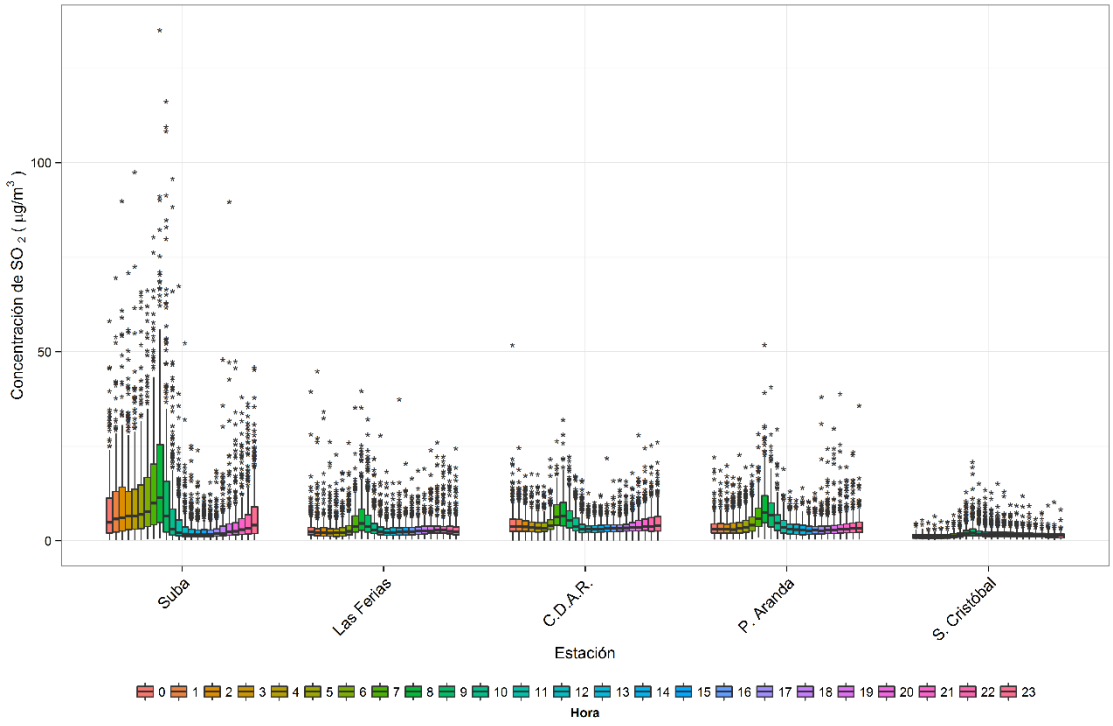


Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el año 2014.

ÚLTIMA PÁGINA
FIN DEL INFORME

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2015

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C. 2016

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS



Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Arturo Puerta Cárdenas
Subsecretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Directora de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Henry Torres Posada
Coordinador RMCAB

John Freddy Grajales
Nicolás Cuadros Rubio
Leonardo Quiñones Cantor
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Diana María Rodríguez Alaguna
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Julio de 2016, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2016.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C.

Informe Anual 2015

Julio de 2016

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo 15
Introducción 20
1. CARACTERISTICAS DE LA RED 21
1.1. Características generales 21
1.2. Normatividad vigente. 24
2. Indicadores de operación y desempeño 25
2.1. Porcentaje de captura de datos 25
2.2. Porcentaje de datos válidos 27
3. Evaluación y análisis de contaminantes 29
3.1. Material particulado – MP o PM (*Particulate Matter*) 29
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST 30
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM_{10}. 38
3.1.3. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ 53
3.1.4. Relación de concentración $PM_{2.5}/PM_{10}$ 69
3.2. Gases contaminantes 70
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O_3 72
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2 84
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO_2 97
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO 110
3.3. Índices de calidad del aire 118
3.3.1. Índice de Calidad del Aire - ICA 118
3.3.1.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}. 118
3.3.1.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$ 121
3.3.1.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). 123
3.3.2. Índice Bogotano de Calidad del Aire - IBOCA 125
3.3.2.1. IBOCA para PM_{10}. 125
3.3.2.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$ 127
3.3.2.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO). 129
3.4. Síntesis de resultados 131
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas 143
4.1. Precipitación 143

4.2. Vientos 149
4.3. Temperatura Superficial 155
4.4. Radiación solar 160
4.5. Presión Atmosférica 162
4.6. Humedad Relativa 163
Bibliografía 164
Glosario 166
Anexos 171

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2015..... 22
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos agrupados por instrumento de medición. Año 2015. 25
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos agrupados por estación de medición. Año 2015. 26
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2015. 27
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. Año 2015. 28
Figura 3-1. Concentración máxima de PST durante el año 2015. Base diaria. 31
Figura 3-2. Calendario de concentración con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el 32
Figura 3-3. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. Año 2015. 33
Figura 3-4. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los meses del año 2015..... 34
Figura 3-5. Comportamiento de la concentración de PST anual en el en el ciclo horario, ciclo semanal y ciclo horario desagregado por días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. 35
Figura 3-6. Presentación del gráfico de *cajas* para PST multianual en el año 2015. 36
Figura 3-7. Gráfico de *cajas* para PST multianual años 2011-2015..... 37
Figura 3-8. Concentración anual de PM_{10} durante el año 2015 por estación de monitoreo 39
Figura 3-9. Concentración de Material particulado (PM_{10}) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios anuales de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015 40
Figura 3-10. Máximos y excedencias de PM_{10} en base diaria para al año 2015. 42
Figura 3-11. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 $\mu g/m^3$. 44
Figura 3-12. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 45
Figura 3-13. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación San Cristobal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 46
Figura 3-14. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el año 2015. 48
Figura 3-15. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del año 2015. 49
Figura 3-16. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen captura de datos superior a 75%. 50
Figura 3-17. Ciclo diario de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB en el año 51
Figura 3-18. Presentación del gráfico de *cajas* para las concentraciones diarias de PM_{10} por estación de monitoreo en el para los años 2011 a 2015. 52

Figura 3-19. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ durante el año 2015 por estación de monitoreo. 54
Figura 3-20. Concentración material particulado ($PM_{2.5}$) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015..... 55
Figura 3-21. Máximos y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria para al año 2015. 56
Figura 3-22. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m^3)..... 59
Figura 3-23. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. 60
Figura 3-24. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ para el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración..... 61
Figura 3-25. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de días de la semana del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. 63
Figura 3-26. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. 63
Figura 3-27. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para el año 205. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza..... 64
Figura 3-28. Ciclos diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación en el año 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza. 65
Figura 3-29. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% para el año 2015..... 68
Figura 3-30. Máximos y excedencias de la norma de O_3 en base horaria por estación durante el año 2015. 73
Figura 3-31.Concentraciones máximas y excedencias de la norma de O_3 (80 µg/m^3) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el año 2015. 76
Figura 3-32. Concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Año 2015..... 77
Figura 3-33. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el año 2015. 78
Figura 3-34. Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del año y captura de datos superior a 75% para 2015. .. 79
Figura 3-35. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. Año 2015 80
Figura 3-36. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día. Año 2015..... 81
Figura 3-37. Presentación del gráfico de *cajas* de O_3 en función de las estaciones de monitoreo en el año 2015 entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas). 82
Figura 3-38. Promedios anuales de NO_2 basados en datos diarios durante el año 2015 por estación de monitoreo..... 85
Figura 3-39. Máximos y excedencias de los datos horarios de NO_2 por estación durante el año 2015..... 86

Figura 3-40. Excedencias y concentraciones máximas de NO_2 en base diaria por estación para el año 2015. 87
Figura 3-36. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3. 89
Figura 3-37. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3. 90
Figura 3-38. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3. 91
Figura 3-44. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Año 2015. 93
Figura 3-45. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los meses del año 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con captura de datos mayor a 75%. 94
Figura 3-46. Ciclos semanales de las concentraciones de NO_2 para cada uno de los monitores con captura de datos temporal igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. 95
Figura 3-47. Ciclos diarios de las concentraciones de NO_2 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 95
Figura 3-48. Presentación del gráfico de *cajas* para NO_2 por estaciones en base diaria para el periodo 2011 a 2015. 96
Figura 3-46. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con captura de datos igual o superior a 75% durante el año 2015..... 98
Figura 3-50. Máximos y número de excedencias de SO_2 con base en promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2015. 99
Figura 3-51. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación para el año 2015. 100
Figura 3-52. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3..... 101
Figura 3-53. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación Kennedy Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3. 102
Figura 3-54. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3. 103
Figura 3-55. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2015. 105
Figura 3-56. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo. 105
Figura 3-57. Ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 106

Figura 3-58. Ciclos diarios de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 107
Figura 3-59. Presentación del gráfico de *cajas* para SO_2 en base diaria por estación de monitoreo en el periodo 2011-2015 108
Figura 3-60. Presentación del Gráfico de *cajas* para SO_2 en base diaria como promedio para el periodo 2011 a 2015 108
Figura 3-61. Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2015. 110
Figura 3-62.Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2015. 112
Figura 3-63. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2015..... 113
Figura 3-64. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo. 114
Figura 3-65. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 115
Figura 3-66. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2015 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%. 115
Figura 3-67. Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo a través de los años 2011 a 2015. 116
Figura 3-68. Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base diaria como promedio 8 horas para el periodo 2011 a 2015 117
Figura 3-69. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2015 120
Figura 3-70. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por mes. Año 2015..... 120
Figura 3-71. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por días de la semana. Año 2015..... 120
Figura 3-72. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para año 2015..... 120
Figura 3-73. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2015. 122
Figura 3-74. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ en el año 2015. 122
Figura 3-75 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2015 122
Figura 3-76. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para $PM_{2.5}$ en el año 2015 122
Figura 3-77. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas. ... 124
Figura 3-78. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria. 124
Figura 3-79. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas..... 124
Figura 3-80. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para pm_{10} por estación. Año 2015 126

Figura 3-81. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm_{10} por mes. Año 2015 126
Figura 3-82. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm_{10} por días de la semana. Año 2015..... 126
Figura 3-83. IBOCA promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para año 2015. 126
Figura 3-84. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2015. 128
Figura 3-85. Proporción relativa del IBOCA por meses para $PM_{2.5}$ en el año 2015. 128
Figura 3-86. IBOCA de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2015..... 128
Figura 3-87. IBOCA promedio por estación para $PM_{2.5}$ en el año 2015..... 128
Figura 3-88. IBOCA promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas. 129
Figura 3-89. IBOCA promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base 1 hora. 129
Figura 3-90. IBOCA promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas..... 130
Figura 4-1 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 2000-2014, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB. 144
Figura 4-2. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 2000 hasta 2015. 145
Figura 4-3. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año. 146
Figura 4-4. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año. 147
Figura 4-5. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá. 148
Figura 4-6. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA..... 149
Figura 4-7. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA..... 150
Figura 4-8 Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM..... 151
Figura 4-9. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año 152
Figura 4-10. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos. 153
Figura 4-11. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá. 154
Figura 4-12. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2014, IDEAM ElDorado 1980-2010 y RMCAB 2015..... 155
Figura 4-13. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2015. 156
Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000 - 2014, IDEAM ElDorado 1980-2010 y en 2015. 157
Figura 4-15 Temperatura promedio horario de las estaciones en 2015..... 158
Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2015. 159
Figura 4-17. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015. 161
Figura 4-18. Radiación trimestral de los últimos años. 162
Figura 4-19. Radiación mensual de los últimos años. 162
Figura 4-20. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. 163

Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes. 171
Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{10} por estación durante el periodo MAM 2015. 173
Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de $PM_{2.5}$ por estación durante el periodo MAM 2015. 174
Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O_3 por estación durante el periodo MAM 2015. 174
Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO_2 por estación durante el periodo MAM 2015. 175
Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el periodo MAM 2015. 176
Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015. 176

Índice de tablas

Tabla 1-1. Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para año 2015. 23
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA..... 24
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. 24
Tabla 3-1. Resumen de la captura de datos de PST para el año 2015. 30
Tabla 3-2. Resumen de promedios históricos de PST 37
Tabla 3-3. Concentración anual de PM_{10} durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3 38
Tabla 3-4. Resumen de la captura de datos diarios de PM_{10} durante el año 2015..... 43
Tabla 3-5. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM_{10} (100 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2015 43
Tabla 3-6. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de PM_{10} 52
Tabla 3-7. Concentración anual de $PM_{2.5}$ durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m^3 53
Tabla 3-8. **.** Resumen de la captura de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2015. Base de tiempo diaria. 57
Tabla 3-9. Excedencias de la norma diaria de $PM_{2.5}$ (50 µg/m^3) por estación y por mes para el año 2015. 57
Tabla 3-10. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de $PM_{2.5}$.... 68
Tabla 3-11. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el año 2015 y que tienen captura de datos superior a 75%. 69
Tabla 3-12. . Resumen de la captura de datos horarios de O_3 por estación para el año 2015. 72
Tabla 3-13. **.** Resumen de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2015. 75
Tabla 3-14. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 µg/m^3) por estación y por mes durante el año 2015. 75
Tabla 3-15. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de O_3 en promedios móviles de 8 horas 83
Tabla 3-16. Concentración anual de NO_2 durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3 84
Tabla 3-17. **.** Resumen de la captura de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2015. 86
Tabla 3-18. **.** Resumen de la captura de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2015 88
Tabla 3-19. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de NO_2 en base diaria..... 96
Tabla 3-20. Concentraciones promedio anuales de SO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años. 97

Tabla 3-21. **.** Resumen de la captura de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para año 2015..... 99
Tabla 3-22. **.** Resumen de la captura de datos diarios de SO_2 por estación para el año 2015. 100
Tabla 3-23. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO_2 en los años 2011 a 2015. 109
Tabla 3-24. **.** Resumen de la captura de datos horarios de CO por estación para el año 2015 111
Tabla 3-25. Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el año 2015 112
Tabla 3-26. Resumen histórico de los promedios y máximos de concentración de CO en promedios móviles de 8 horas 117
Tabla 3-27. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). 118
Tabla 3-28. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 125
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), Año 2015. 132
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}). Año 2015..... 133
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$). Año 2015. 134
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios horarios de O_3., Año 2015. 135
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O_3. Año 2015..... 136
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios horarios de NO_2. Año 2015..... 137
Tabla 3-35. Consolidado de los promedios diarios de NO_2. Año 2015. 138
Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO_2. Año 2015 139
Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de SO_2. Año 2015. 140
Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO. Año 2015..... 141
Tabla 3-39. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Año 2015..... 142
Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2015. 144
Tabla 4-2. Acumulados de los años 2000 a 2015 por estación..... 145
Tabla 4-3.valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB..... 149
Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015..... 150
Tabla 4-5. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2015. 156
Tabla 4-6. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica. 157
Tabla 4-7. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB 160
Tabla 4-8 Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.... 163
Tabla 4-9. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. 163
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. 172

PAGINA DEJADA EN BLANCO INTENCIONALMENTE

Resumen ejecutivo

Para el año 2015, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) estuvo conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil; once monitorean contaminantes y variables meteorológicas y una monitorea exclusivamente variables meteorológicas (Bolivia). Estas estaciones están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten registrar continuamente las concentraciones de los siguientes contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como las variables meteorológicas: precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría de Ambiente de Bogotá son los estipulados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2015 es 92% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Comportamiento de la concentración de PST

La máxima concentración diaria de partículas suspendidas totales (PST) fue de 225 µg/m^3, del 01 de julio de 2015, sin embargo, la concentración promedio (104 µg/m^3) se mantuvo por debajo del límite máximo permisible (300 µg/m^3). Los meses de mayor concentración son febrero, marzo y abril y el más limpio fue junio. En la estación Carvajal-Sevillana se observa que los domingos y lunes presentan las menores concentraciones y los miércoles las mayores concentraciones. Las menores concentraciones para el ciclo diario promedio se presentaron en horas de la madrugada y las mayores en la mañana, entre 7:30 a.m. y 8:30 a.m. Los resultados evidencian el descenso paulatino de las concentraciones de este contaminantes en los últimos cinco (5) años, siendo el año 2011 el de mayor concentración (130µg/m^3) y el 2015 el de menor concentración (104µg/m^3).

Comportamiento de la concentración de PM_{10}

Con relación a la concentración de partículas inferiores a 10 micrómetros (PM_{10}), el 27% de las estaciones (Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana), superan el límite anual permisible. Las mayores concentraciones anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana (86 µg/m^3) y Kennedy (66 µg/m^3). Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario (100 µg/m^3), se presentaron un total de 135 excedencias las cuales tuvieron lugar en las estaciones: Puente Aranda (6), Kennedy con (29), Carvajal-Sevillana (98) y Tunal (2). Los días domingos presentan las menores concentraciones de PM_{10}. En Los menores niveles de concentración se presentan en los meses junio, julio y agosto. Febrero es el mes con mayor número de días con excedencias de la norma diaria. En general, se observa que los meses con las mayores concentraciones

de PM_{10} corresponden al inicio y final de año. En los ciclos diarios se observa que los picos de concentración de PM_{10} ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 9:00 a.m., aunque los valores más altos se manifiestan en las estaciones Carvajal-Sevillana , Kennedy y Puente Aranda y Suba, y las menores en Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén.

Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

Las mayores concentraciones promedio anuales de partículas inferiores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) se presentan en las estaciones Carvajal-Sevillana (31 µg/m^3) y Kennedy (27 µg/m^3) y superan el límite anual permisible (25 µg/m^3), comportamiento similar al obtenido para PM_{10}. Con respecto al año anterior (2014), en cuatro (4) estaciones hay disminución de la concentración promedio anual. Mientras la estación Usaquén permanece invariable; la concentración anual de Suba supera en la unidad (1 µg/m^3) el límite máximo permisible y es la única estación de la RMCAB, que presenta un incremento de este contaminante. Carvajal-Sevillana y Kennedy reportaron el mayor número de excedencias diarias (7), Tunal (4), Centro de Alto Rendimiento (1) y Ministerio de Ambiente (1). En la estación Carvajal-Sevillana se observa que los meses febrero, marzo, octubre y noviembre tuvieron las mayores concentraciones de contaminantes, en Suba se presentaron las mayores concentraciones en los meses febrero y marzo. En el ciclo anual se observa que en general, los meses junio, julio y agosto se presentaron los menores niveles de concentración, siendo junio el mes más favorable.

En el comportamiento semanal, las menores concentraciones se manifiestan los días domingo y en general los días martes a viernes, son los más contaminados. Carvajal-Sevillana presenta las mayores variabilidades diarias, mientras que, San Cristóbal y Usaquén presentan las concentraciones más estables. En todos los sitios de monitoreo a excepción de Usaquén y San Cristóbal se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m.; el aumento es más significativo en estaciones como Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal. En Carvajal-Sevillana se observa un comportamiento particular ya que el pico de máxima concentración en el ciclo diario se ubica entre 8:00 p.m. y 9:00 p.m.

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que a partir del año 2014 2015 se cuenta con disponibilidad de datos de 6 y 10 estaciones, respectivamente. Este incremento en el número de estaciones se debe a que desde octubre de 2013 se inició gradualmente la operación de monitores adicionales para este contaminante.

La baja captura de datos en 2014 y la falta de cobertura espacial antes en 2013 impiden establecer un comportamiento del $PM_{2.5}$ para todos los años analizados. Sin embargo, se observa una disminución en las concentraciones de $PM_{2.5}$ en Kennedy comparado con años anteriores, en especial el año 2014; en Carvajal-Sevillana y Tunal también se observa un descenso en los niveles de concentración, mientras que en Suba se presenta un ligero aumento.

Es importante reiterar que en los periodos 2011 a 2013 solamente existieron mediciones válidas en Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue 77µg/m^3 en el

año 2014, seguido por 75µg/m^3 en el año 2011, muy superior a lo registrado para los demás años de análisis que oscilan entre 55µg/m^3 y 66µg/m^3. En general, se observa un descenso en la concentración de este contaminante como promedio ciudad, es decir como promedio aritmético de los valores obtenidos a través de los años.

Comportamiento de la concentración de O_3

La concentración máxima horaria de ozono (O_3) reportada por la RMCAB fue 176 µg/m^3 en Usaquén el 31 de octubre de 2015 a las 3:00 p.m. En esta misma fecha a las 2:00 p.m. se presentaron máximos en las estaciones de MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana, y San Cristóbal. De otra parte, en ocho (8) de las once (11) estaciones con analizadores de ozono se presentaron excedencias a la norma horaria (120 µg/m^3), y a la norma de 8 horas (80 µg/m^3). El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue 125µg/m^3 en Usaquén el 13 de septiembre de 2015 a las 4:00 p.m. Se observa que febrero, septiembre y octubre abarcan el 68% de las excedencias anuales. En junio y julio no se presentaron excedencias. Las menores concentraciones fueron observadas en general para los meses mayo y junio, coincidiendo con los demás contaminantes. Las concentraciones más altas de ozono se presentan los días domingos y lunes.

A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur y sur occidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana y Tunal), tienden a registrar niveles bajos de ozono. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2 y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad.

En ocho (8) estaciones de las once (11) activas que registran la concentración de este contaminante se presentaron excedencias a la norma de 8 h (80 µg/m^3). Para destacar, la estación de Usaquén presentó el 75% de las excedencias de la RMCAB, seguida por Centro de Alto Rendimiento y Kennedy con 6% cada una. La estación Usaquén se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles elevados en horas de la noche.

En los periodos estudiados las concentraciones más altas se han observado en la estación Usaquén mientras que las más bajas se manifiestan en Carvajal-Sevillana y se nota un incremento apreciable en San Cristóbal y Las Ferias con relación a años anteriores. En los 5 años estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto es de 26µg/m^3 correspondiente al año 2015.

Concentración de NO_2

Se observa que las mayores concentraciones anuales de óxidos de nitrógeno (NO_2) se presentan en Carvajal-Sevillana (53µg/m^3) y Las ferias (41µg/m^3). Puente Aranda se presentó una disminución de 7µg/m^3 y en Guaymaral un leve aumento de 1µg/m^3. En el año 2015 no se registraron excedencias de la norma horaria (200 µg/m^3) de NO_2, y para un tiempo de exposición de 24 horas (150µg/m^3). De igual manera se determina el cumplimiento de la norma anual (100µg/m^3).

En Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Guaymaral, los meses con las mayores concentraciones corresponden a febrero y marzo en el primer semestre y a octubre y noviembre en el segundo semestre; las menores concentraciones de NO_2 se presentan en enero y junio.

Se observa que los domingos y lunes reportaron las concentraciones más bajas del año. En el ciclo diario, se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana (6:00 a.m. y 8:00 a.m.) y a la noche (8:00 a.m. y 10:00 a.m.). Al medio día ocurre una reducción significativa.

Comportamiento de la concentración de SO_2

Con respecto a 2014, todas las estaciones redujeron la concentración anual bióxido de azufre (SO_2). Kennedy presentó el promedio anual de SO_2 más alto de la RMCAB con un valor de 5,4µg/m^3 (frente a 7,3µg/m³ de Suba en el 2014), el cual establece un contraste con las otras tres estaciones que se encuentran en el rango comprendido entre 1,1 µg/m^3 (San Cristóbal) y 3,4 µg/m^3 (Centro de Alto Rendimiento). El límite máximo permisible anual de SO_2 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 80 µg/m^3. Este valor es notablemente superior a las concentraciones anuales registradas en la RMCAB.

Ningún máximo supero la norma para 3 horas, equivalente a 750µg/m³. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 261µg/m^3 en la estación Suba.

Los máximos monitoreados estuvieron por debajo del nivel establecido para la norma diaria (250 µg/m^3) .La máxima concentración diaria para las estaciones correspondió a 48,2 µg/m^3 el 26 de octubre de 2015 en la estación Carvajal-Sevillana y 24,4 µg/m³ el 24 de octubre de 2015 en la estación Kennedy.

En general se puede ver un comportamiento muy estable de los valores de este contaminante a través de los días de la semana, siendo los días domingo, los que presentan valores de concentración ligeramente más bajos.

Los menores niveles de concentración se observan los domingos, seguidos de los lunes. Los días comprendidos entre martes y viernes mantienen niveles similares de concentración. Los perfiles diarios muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m.

Todas las estaciones cumplen la norma diaria y anual (250µg/m³ y 80µg/m³ respectivamente). La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados (2011 a 2015) fue 98 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana el 28 de marzo de 2011. Las concentraciones de los demás años se encuentran entre 32µg/m^3 y 48µg/m^3.

Comportamiento de la concentración de CO

No se presentan excedencias de concentración de monóxido de carbono (CO) a la norma horaria (40mg/m³) en el periodo de estudio. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB (Estación Carvajal-Sevillana) para el periodo 2015 fue 7,1mg/m³.

Se observa que no se presentaron excedencias a la norma 8 horas (10mg/m³) y los máximos 8 horas del año están muy por debajo del valor límite. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio anuales fueron observadas en San Cristóbal y Usaquén, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. Los días domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menores valores de CO; seguido por los días lunes.

En general, en el ciclo horario, se observa un pico de concentración en la mañana, entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. En horas de la noche, después de las 6:00 p.m., se presenta un nuevo aumento de concentración, pero los niveles de concentración de CO son notablemente inferiores a la norma (40000 mg/m³).

Se observó una reducción de los niveles de concentración entre los años 2011 a 2014, y hay un comportamiento estable entre 2014 y 2015. En general, se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones de este contaminante, y se reduce la dispersión estadística de los datos.

Introducción

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central donde se someten a un proceso de validación final con el fin de analizar tendencias espaciales y temporales, y evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá, dados por la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Para el año 2015, la RMCAB estuvo conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil; las estaciones de monitoreo se dividen en once que monitorean contaminantes y variables meteorológicas y una que monitorea exclusivamente variables meteorológicas (Bolivia). Las estaciones de monitoreo de contaminantes están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, PST, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedios obtenidos a lo largo del año para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en la normatividad (Res 610 de 2010 del MAVDT). Este informe contempla el cálculo de numero de excedencias frente a la norma (excedencias horarias o diarias), lo cual si es comparable directamente con la norma e informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presento un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

El primer numeral del informe contiene información sobre las características generales de las estaciones de la RMCAB. En el segundo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el año 2015. El tercero corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta: i) un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de calidad del aire que se asocia a temas de salud pública; ii) una sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes; iii) En la parte final del tercer numeral el lector encontrará los resultados consolidados de los análisis de las mediciones de concentraciones de contaminantes criterio para el año 2015, que corresponden a una síntesis por medio de tablas que permiten observar en términos cuantitativos el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad. Finalmente se presenta un cuarto numeral de meteorología y calidad de aire que contiene el análisis de vientos vs. material particulado y el estudio de caso del día de máxima concentración.

1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

1.1. Características generales

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por doce (12) estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de contaminantes criterio y variables meteorológicas en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación.

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes en la ciudad. Las condiciones de la zona de influencia de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire. A fin de ilustrar de mejor forma el sitio en donde se encuentran ubicadas las estaciones, en la interpretación de los análisis de este informe es importante destacar cambios de nombres en estaciones, que se han presentado en los últimos años: Parque Simón Bolívar que ahora es Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón que ahora es Ministerio de Ambiente o MinAmbiente y Carvajal que ahora es Carvajal-Sevillana. Las coordenadas geográficas no fueron modificadas con respecto a información de documentos previos.

En el presente informe la Estación Móvil no se involucra en los análisis, dado que está dedicada a la evaluación la calidad del aire puntual en corredores viales bajo el Convenio 26 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A. Adicionalmente, la estación Fontibón tampoco reporta registros por cuanto está en proceso de traslado.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (U.S. Government Printing Office, 2014). La Tabla 1-2 describe las Técnicas de Medición de los equipos por contaminante las cuales están acordes a los métodos de referencia de la EPA o sus equivalentes.

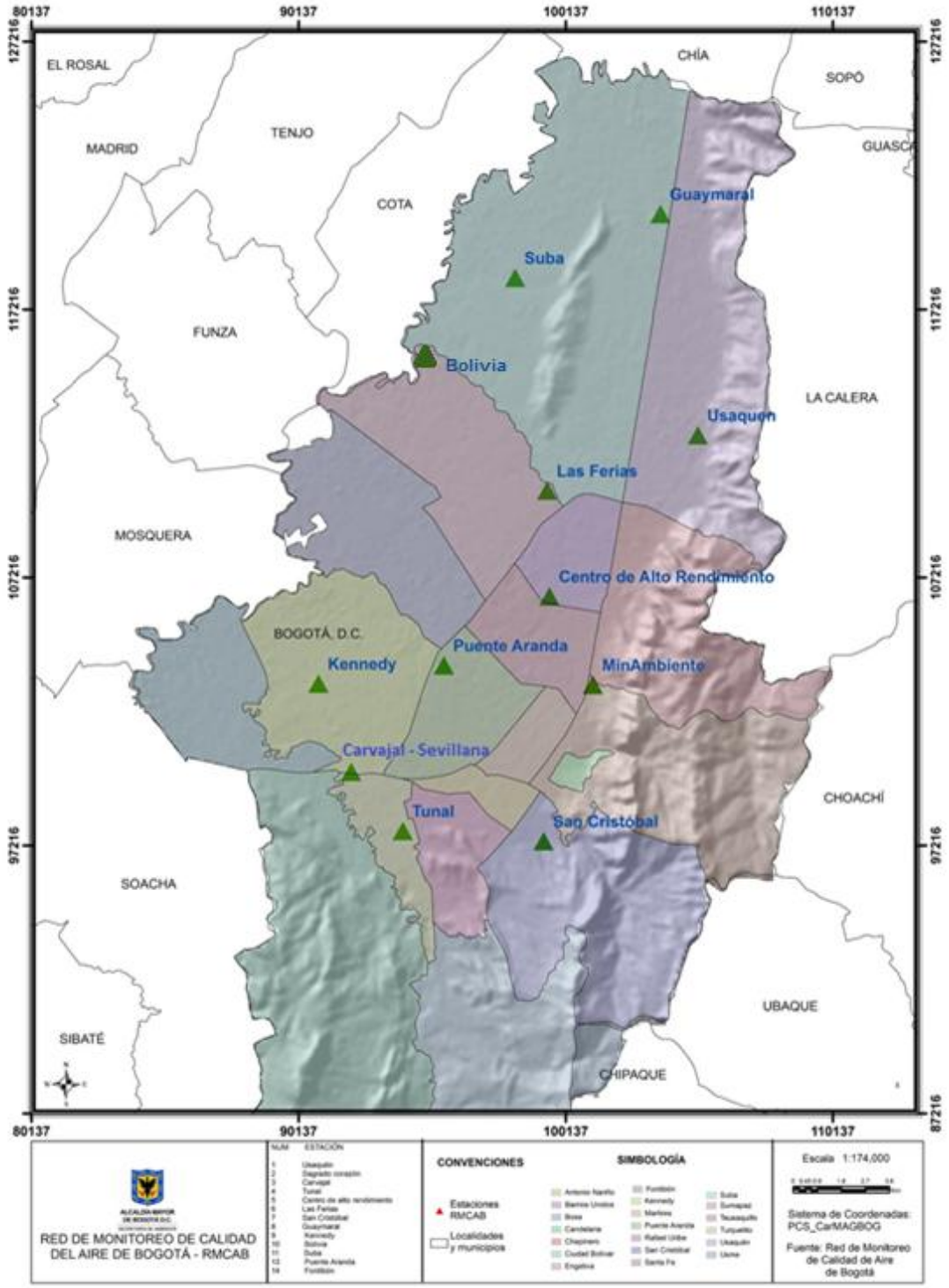


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2015

Tabla 1-1. Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para año 2015.

Característica		Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	C. de Alto Rendimiento	Min. Ambiente	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal	Móvil
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N	---
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W	---
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m	---
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal	---
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	---
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo	
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m	
	Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m	
Contaminantes	PST										x			
	PM_{10}	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	$PM_{2.5}$	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x
	O_3	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	NO_2	x				x	x		x	x	x	x		x
	CO		x			x	x		x	x	x	x	x	x
	SO_2			x		x	x		x	x	x	x	x	
Var. Meteorológicas	V. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Temperatura	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Precipitación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	R. Solar	x					x			x		x	x	x
	H. Relativa	x				x	x			x		x	x	x
	Presión Atm.	x				x				x				x

Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PST	Atenuación por Radiación Beta	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

1.2. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 1-3 presenta los niveles máximos permitidos para los contaminantes criterio.

Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu g/m^3$)	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM_{10}	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO_2	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

2. Indicadores de operación y desempeño

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos, los equipos de medición, las estaciones donde se instalan estos instrumentos y en general de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para registrar de datos. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2015. En la primera parte se determina el porcentaje de datos capturados por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo. De otra parte, en la segunda sección se determina el porcentaje de datos por instrumento y por estación de monitoreo.

2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupados por instrumentos de medición de la RMCAB para el año 2015[1], los 17 instrumentos tienen un estadístico superior al 75%. Los instrumentos meteorológicos tienen el mayor valor de datos capturados (>93%), mientras que para los instrumentos de medición de contaminantes los registros son del orden del 80%. La medición de SO_2 es el más débil de todos, causado por malfuncionamiento del analizador de la estación Tunal.

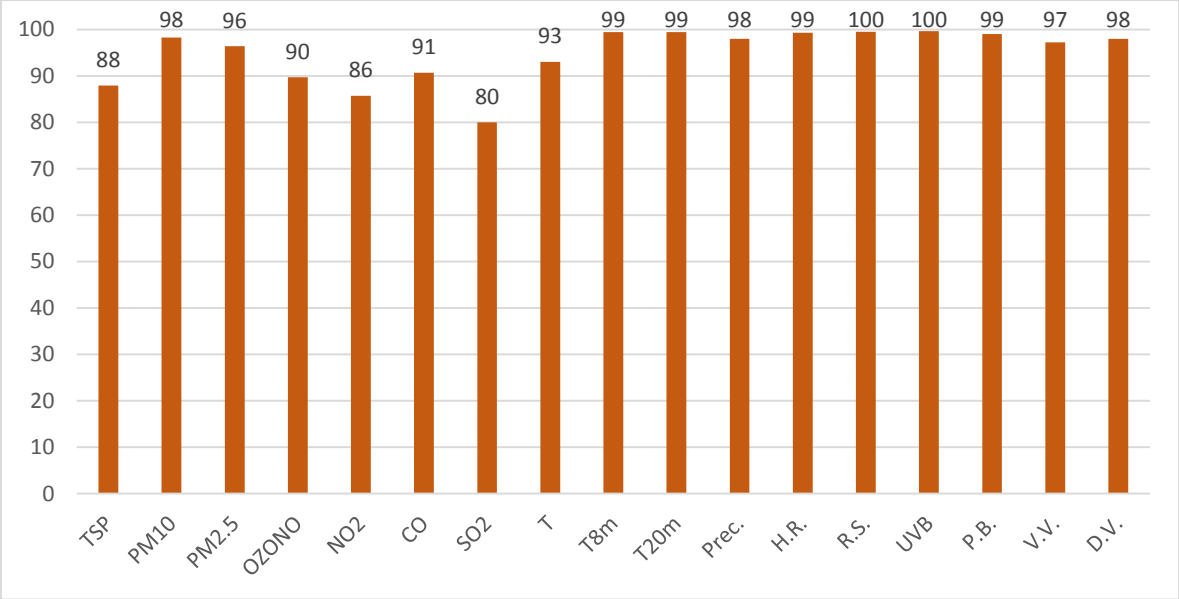


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos agrupados por instrumento de medición. Año 2015.

La pérdida de datos es superior al 10%, especialmente para 3 de los 17 tipos de instrumentos de medición en la RMCAB. Estas pérdidas se presentan generalmente por las

[1] T: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

siguientes causas: 1) fallas mayores en alguno de los monitores, 2) falla en suministro de energía, 3) incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año.

En la
Figura 2-2 se presenta el porcentaje de datos capturados de los instrumentos de medición, agrupados por estación de monitoreo. Se aprecia que las estaciones en promedio tienen captura de datos superior al 90%, con excepción de las estaciones de Suba y Usaquén con 86% y 87%, respectivamente.

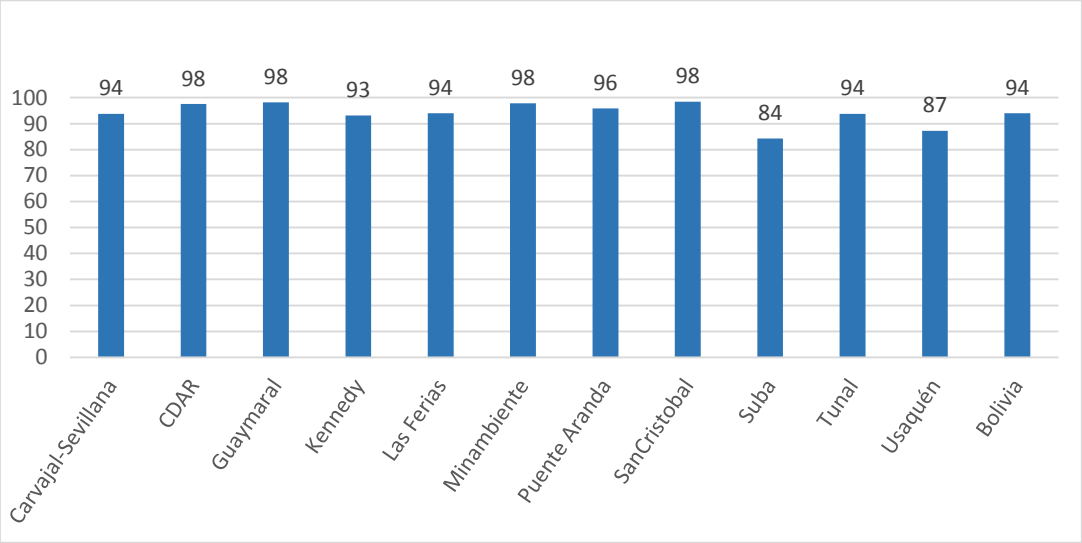


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos agrupados por estación de medición. Año 2015.

Las anteriores gráficas han sido elaboradas con los datos de la Tabla 2-11 que agrupa los registros por instrumento de medición y por estación de monitoreo de la RMCAB para el año 2015. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

Tabla 2-1. Porcentaje de datos capturados agrupados por estación de monitoreo y por instrumento de medición, año 2015.

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Carvajal-Sevillana	88	97	97	94	98	94	69	99			99					99	99	**94**
CDAR		98	99	92	95	95	95	100			100	100		100		100	100	**98**
Guaymaral		99	98	96	91			99	99	99	99	99	99		99			**98**
Kennedy		100	99	59	88	83	88	99			99	99	99		99	99	99	**93**
Las Ferias		98	89	97	92	72	91	98			98	98			98	98	98	**94**
Min Ambien		100	99	89							100					100	100	**98**
Puente Aranda		97		93	95	98	98	97			89					98	97	**96**
San Cristobal		99	96	96		98	98	99			99	99	99			99	99	**98**
Suba		97	93	75	30		73	97			97					97	97	**86**

Tunal		99	100	100	99	100	29	100			100	100	100			100	100	**94**
Usaquén		98	95	96		85		41			98					88	97	**87**
Bolivia											99					91	91	**94**
Promedio	**88**	**98**	**96**	**90**	**86**	**91**	**80**	**93**	**99**	**99**	**98**	**99**	**100**	**100**	**99**	**97**	**98**	**95**

2.2. Porcentaje de datos válidos

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2015 es 92% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La Figura 2-3 presenta el porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición. A continuación se comparan estos valores con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-1 como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. En el caso de los instrumentos meteorológicos, la reducción de datos oscila entre el 0% y 4%, mientras que para el caso de los instrumentos de medición de contaminantes material particulado PM_{10}, $PM_{2,5}$, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) el porcentaje de reducción de datos oscila entre 5% y 12%. De otra parte, en las partículas suspendidas totales (TSP) la reducción es más pronunciada hasta llegar a datos válidos del 76%, causado por problemas de ajustes de contacto de la boquilla con la cinta de muestreo, la consecuente pérdida de muestra, perdida de datos y también por fallas recurrentes en la bomba de succión del equipo.

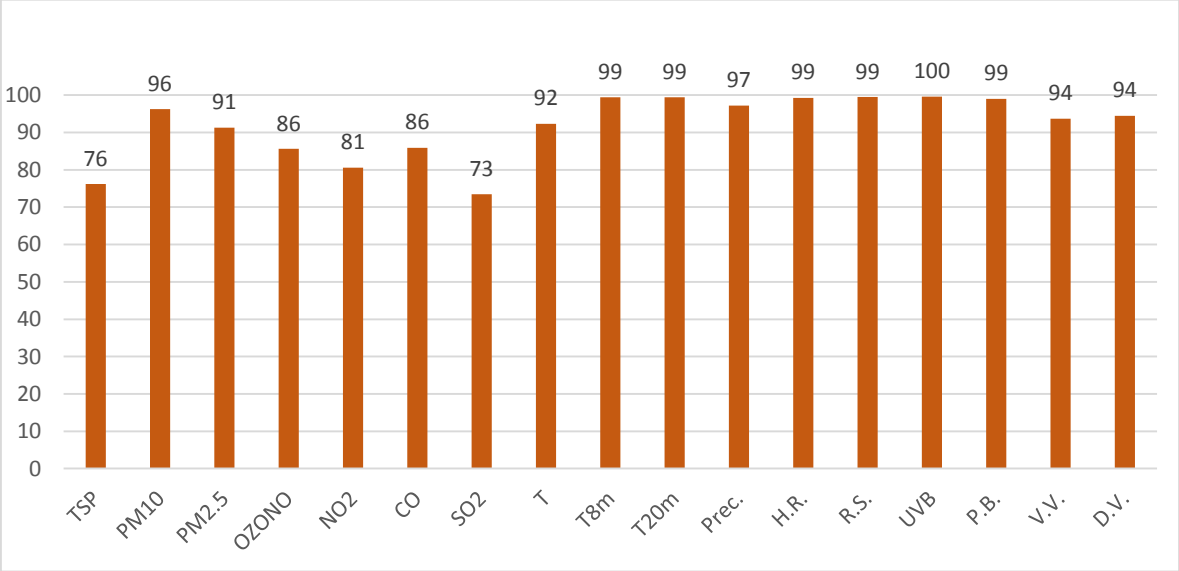


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2015.

La Figura 2-4 presenta el porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. A continuación se comparan estos registros con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-2 como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de

calidad. Con excepción de la estación Bolivia que tiene una pérdida de datos de 21%, debido a fallas en el rodamiento del sensor de velocidad y dirección del viento, las demás estaciones tienen perdida de datos entre 0 y 6%.

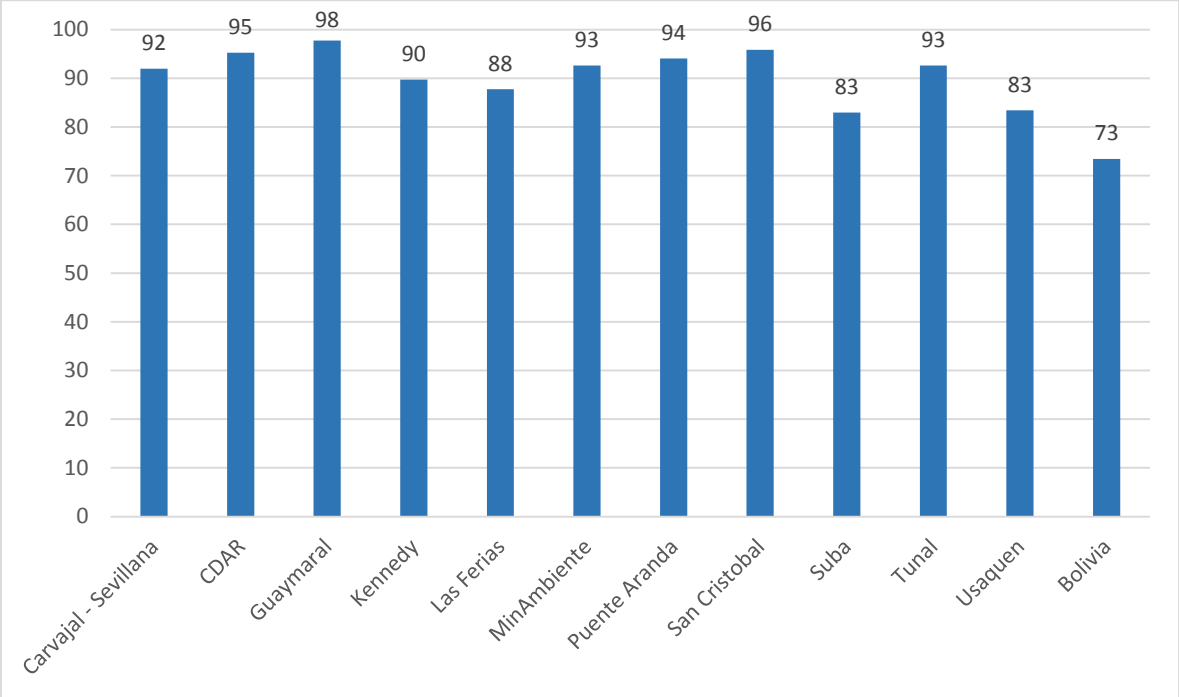


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. Año 2015.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2015 se exponen en la Tabla 2-12. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2015 es de 92%.

Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Carvajal - Sevillana	76	97	95	93	94	96	68	98			98					98	98	**92**
CDAR		96	91	89	88	87	90	100			100	100	99	100		100	100	**95**
Guaymaral		98	94	95	93			99	99	99	99	99	99		99			**98**
Kennedy		99	98	59	60	78	87	99			99	99			99	99	99	**90**
Las Ferias		92	74	94	87	64	53	98			98	98			98	98	98	**88**
MinAmbiente		100	98	59							100					100	99	**93**
Puente Aranda		95	N.D.	92	97	96	98	97			89					94	89	**94**
San Cristobal		97	90	94		95	91	99			99	99	99			91	99	**96**
Suba		90	92	73	30		72	97			97					97	97	**83**

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Tunal		99	95	98	96	97	29	100			100	100	100			100	100	**93**
Usaquen		97	86	96		75		35			97					84	97	**83**
Bolivia											90					69	61	**73**
Promedio	**76**	**96**	**91**	**86**	**81**	**86**	**73**	**92**	**99**	**99**	**97**	**99**	**99**	**100**	**99**	**94**	**94**	**92**

3. Evaluación y análisis de contaminantes

Este numeral se divide en cuatro secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, PM_{10} y el $PM_{2.5}$; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes: O_3, NO_2, SO_2 y CO, la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA) y la cuarta presenta un resumen cuantitativo para cada contaminante en los tiempos de exposición definidos en la Resolución 610 de 2010. Para esto, la RMCAB durante el año 2015 contó con 12 estaciones (incluyendo la estación móvil) que monitorearon las concentraciones de material particulado y gases contaminantes (presentados en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones o cantidad de datos debido a motivos operacionales.

3.1. Material particulado – MP o PM (*Particulate Matter*)

Resultan de interés para el distrito las partículas PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$ reguladas a nivel nacional por la Resolución 610 de 2010. El PST corresponde al total de partículas suspendidas y es indicador general de la resuspención de partículas, el PM_{10} corresponde a aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras el $PM_{2.5}$, corresponde a partículas con tamaño menor o igual a 2,5 µm.

El PM_{10} representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas (de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10 µm) como las finas (de menos de 2,5 µm, $PM_{2,5}$) que se considera contribuyen a efectos adversos en la salud observados en entornos urbanos. Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como obras de construcción, resuspensión del polvo en vías y el viento, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de material particulado de cada lugar.[2]

[2] Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Para el año 2015, la RMCAB contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal-Sevillana para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST).

El cálculo de la concentración promedio de material particulado total o partículas suspendidas totales (PST) se basa en promedios geométricos de los datos diarios de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 y al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El promedio geométrico se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{prom} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}} \quad \text{para } i = 1,2,3,\dots,n$$

Donde C_{prom} es el promedio geométrico y $\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_i}{n}$ es el promedio de los logaritmos para los n valores de concentración de la contaminante i

Comportamiento de las concentraciones anuales de PST

Con respecto a la captura de datos para el periodo de análisis en la estación Carvajal-Sevillana, se registró un porcentaje de recuperación de 75%. La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue de 225 µg/m^3, registrado el 01 de julio de 2015, sin embargo, este valor se mantuvo por debajo del límite normativo (300 µg/m^3). La tabla 3.1 presenta un resumen de estos datos.

Tabla 3-1. Resumen de la captura de datos de PST para el año 2015.

Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma 300 µg/m^3	Promedio (µg/m^3)*	Máximo (µg/m^3)*	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma[3]
272	75	0	104	225	01/07/2015	0

* Corresponde a la media geométrica de los datos diarios del año 2015

3 Mayor a 270 µg/m3 y menor o igual a 300 µg/m3

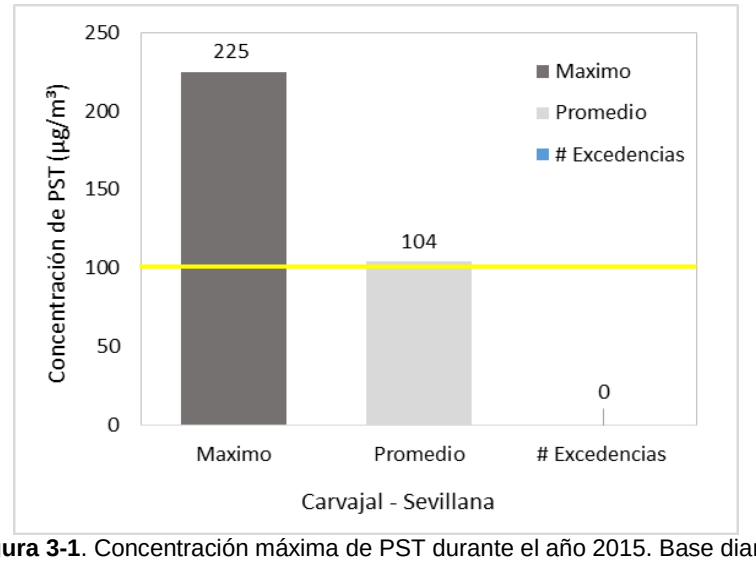


Figura 3-1. Concentración máxima de PST durante el año 2015. Base diaria.

La **Figura 3-1** presenta los datos de la **Tabla 3-1** en forma gráfica. La Figura 3-2 corresponde a un Calendario de concentración con las concentraciones diarias de PST medidas durante el año 2015. El Calendario de concentración consiste en una representación gráfica de los días de la semana señalados con colores en una escala preestablecida, donde se muestra la concentración de los contaminantes. El diagrama muestra en blanco los días con datos no disponibles o no recuperados y se puede observar que en julio 01 se presentó el día con mayor concentración de PST en la estación Carvajal-Sevillana. El Calendario de concentración también permite ver que los meses de mayor concentración de contaminantes son febrero, marzo y abril y el más limpio fue junio.

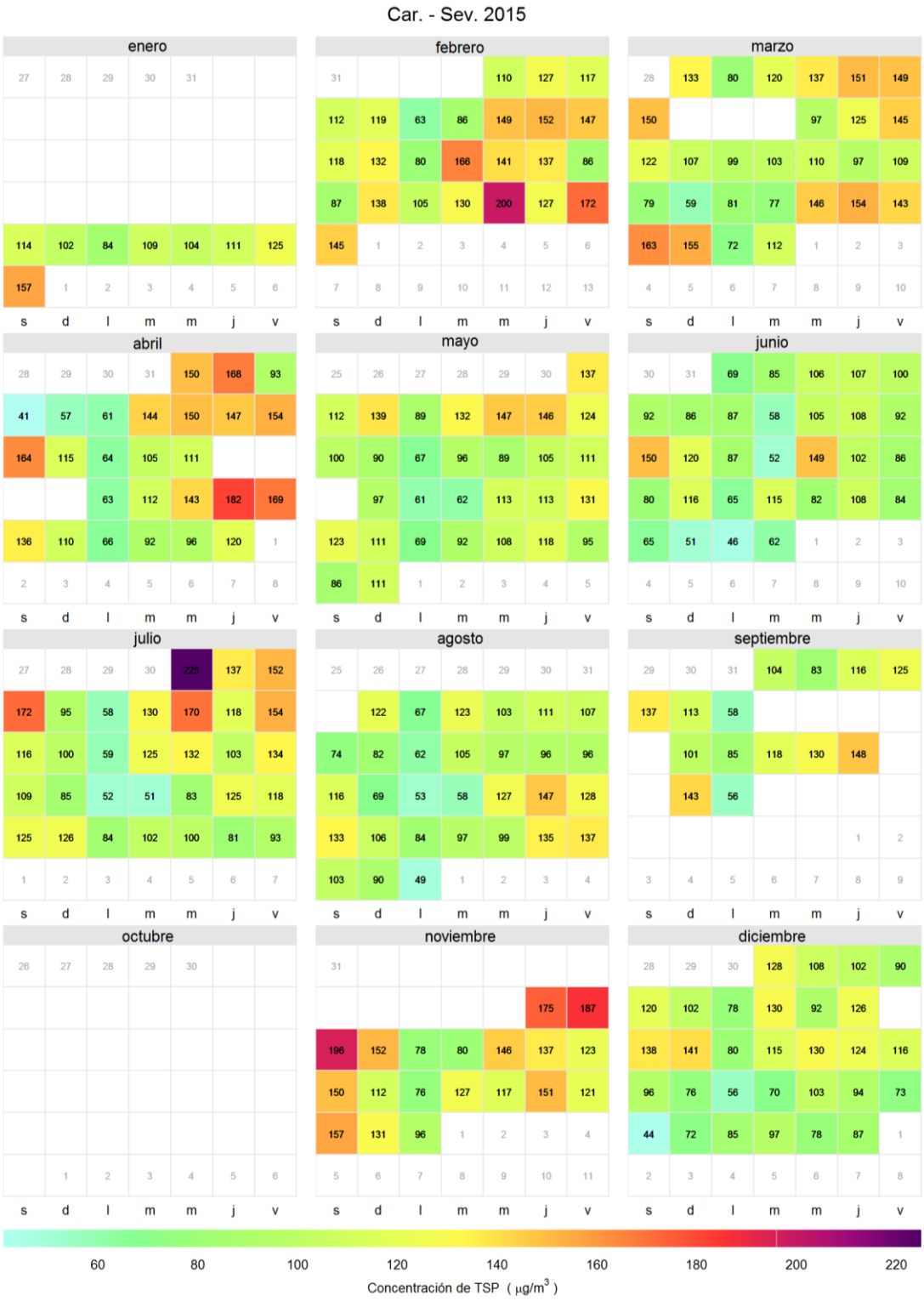


Figura 3-2. Calendario de concentración con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el
El año 2015.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PST.

La Figura 3-3 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de PST (24h) agrupado por días de la semana. En la estación Carvajal-Sevillana se observa que de los días hábiles, los lunes presentan las menores concentraciones y los miércoles las mayores, cabe tener en cuenta que los lunes festivos pueden disminuir los promedios para ese día. El domingo es el día con menores concentraciones de este contaminante, lo cual es congruente con la disminución del flujo vehicular y actividad productiva, teniendo en cuenta que se trata de una estación urbana de tráfico e industrial. Una comparación de la mediana de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma, muestra a excepción del día domingo, todos los días de la semana incumplen el valor establecido de 100µg/m³.

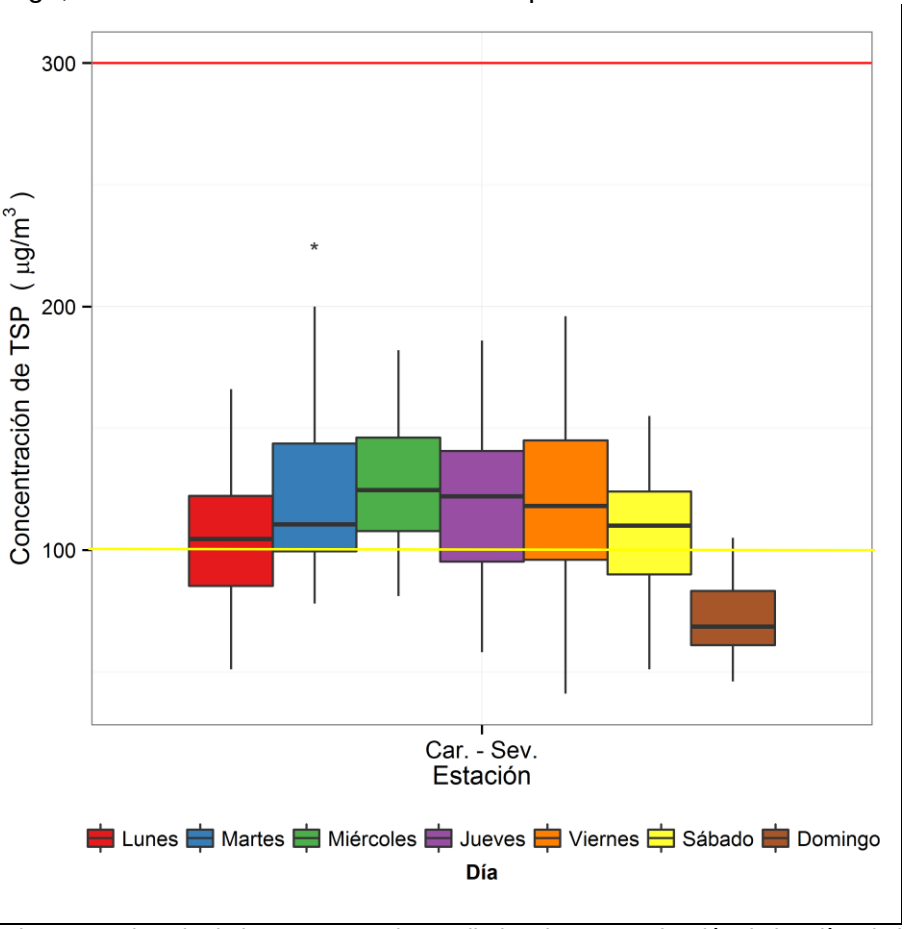


Figura 3-3. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. Año 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La distribución de las concentraciones diarias de PST en función de los meses de 2015 se observa en la Figura 3-4. Se puede observar que todos los meses del año, a excepción de junio y diciembre, exceden la norma anual (100µg/m³). Las menores concentraciones obtenidas para los meses de junio y diciembre son concordantes con el comportamiento

bimodal de la meteorología de la ciudad, donde a mediados y finales de año se presentan las condiciones más favorables para la dispersión de contaminantes atmosféricos.[4]

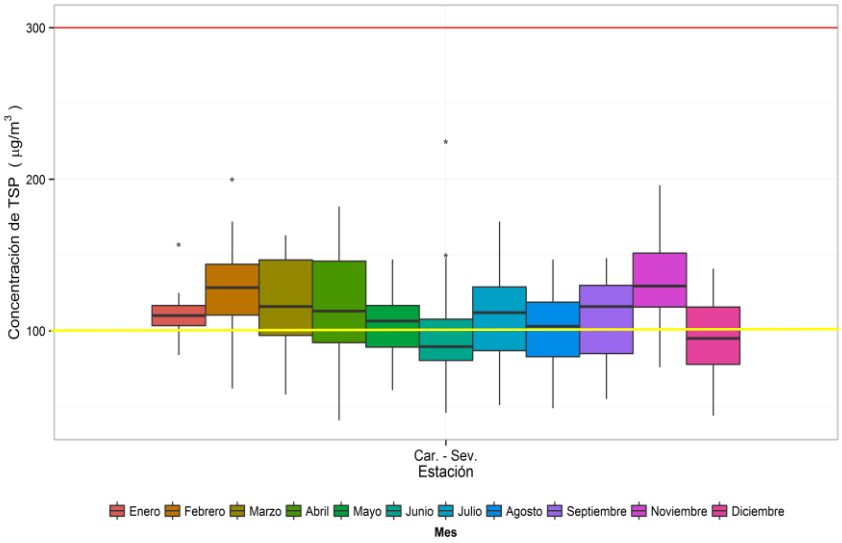


Figura 3-4. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los meses del año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PST

La Figura 3-5 presenta el ciclo diario promedio, el ciclo semanal y el ciclo semanal desagregado de las concentraciones de PST para la estación Carvajal-Sevillana en el año 2015. Las menores concentraciones para el ciclo diario promedio se presentaron en horas de la madrugada y las mayores en la hora pico de la mañana, comprendida entre 7:30 a.m. y 8:30 a.m.; en horas de la tarde la influencia de la hora pico no se hace tan evidente, esto es consistente con los patrones de circulación de la zona donde la densidad vehicular y tráfico de flota pesada es mayor en horas de la mañana, además, puede presentarse influencia de los vientos, que usualmente son más intensos en la tarde y pueden facilitan la dispersión y arrastre de contaminantes, también afecta el cambio de tendencia en la movilidad que tiende a ser en un tiempo más prolongado en ese periodo del día.El ciclo diario desagregado y semanal evidencia que domingos se presentaron los menores valores de concentración para este contaminante, lo cual es un hecho usual por la dinámica de la ciudad. Los sábados también presentan menores concentraciones frente a los días laborales. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

[4] El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, por tanto, las comparaciones frente a normas establecidas se toma solo como por motivos de gestión e intercomparación.

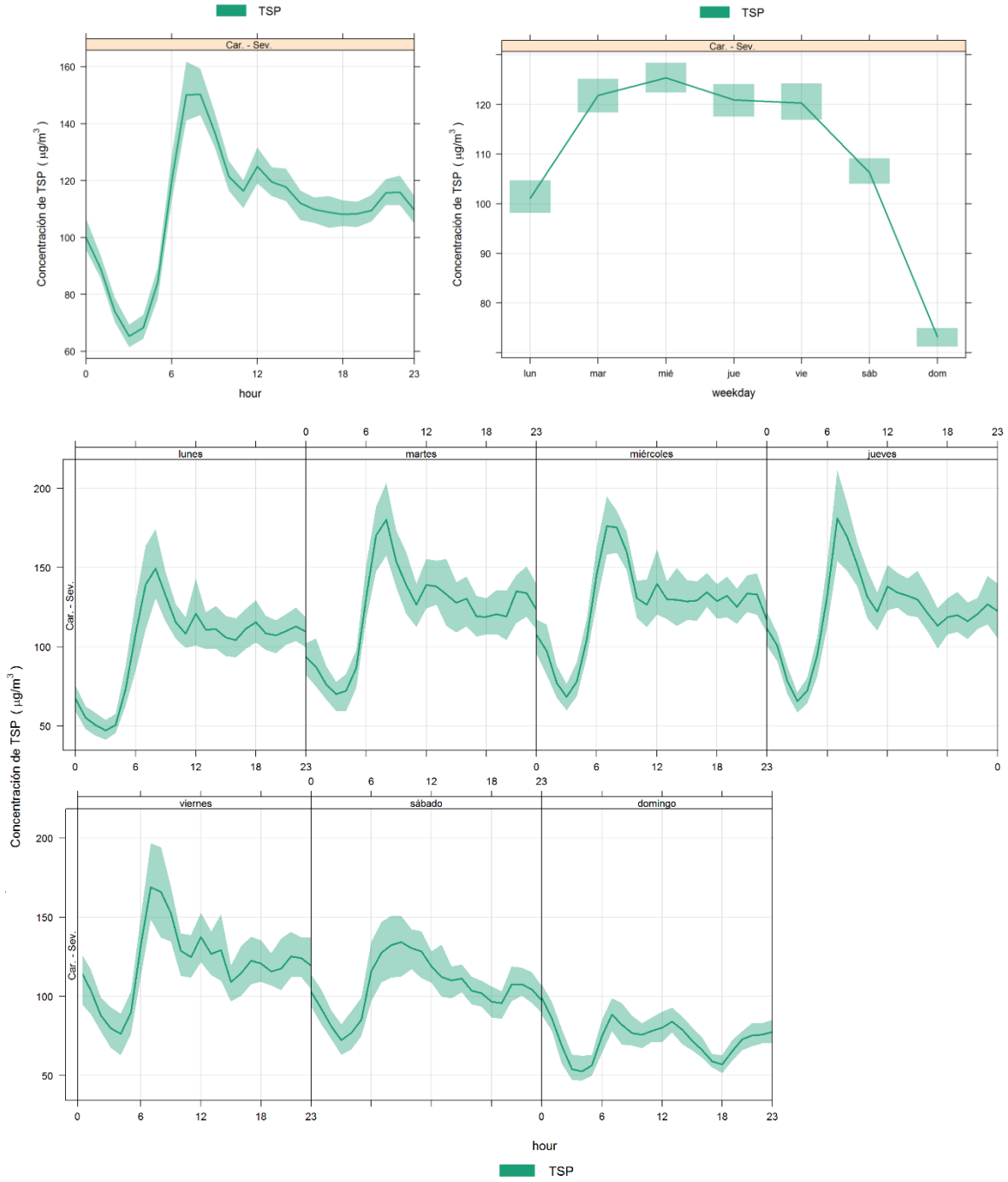


Figura 3-5. Comportamiento de la concentración de PST anual en el en el ciclo horario, ciclo semanal y ciclo horario desagregado por días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana.

Comportamiento histórico de las concentraciones de PST.

La distribución de los datos de PST para el año 2015 se presenta en la Figura 3-6. Los datos de los años 2011, 2012 y 2013 se presentan a manera de seguimiento, pues tienen una captura de datos inferior a 75%. Se toman datos con captura de datos superior al 60% por tanto no se cuenta con datos para año 2014 para el análisis. La grafica muestra en general, una reducción moderada de la concentración de PST del año 2015 frente a los 3 años anteriores, pero con incumplimiento de la norma anual establecida (100µg/m³) para los años analizados.

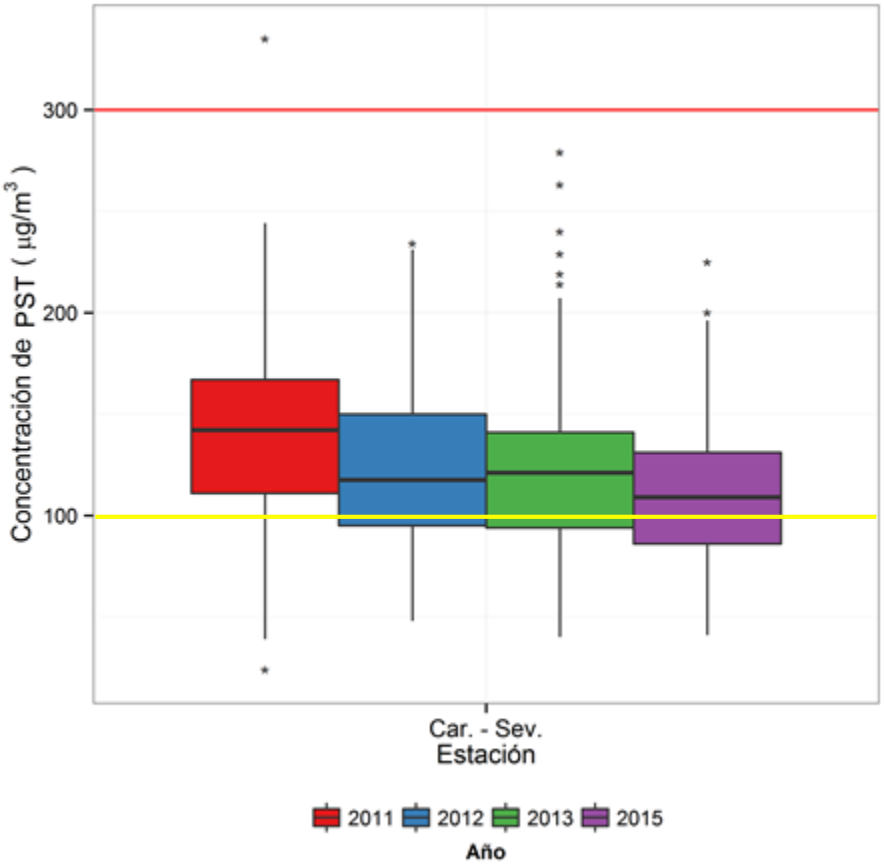


Figura 3-6. Presentación del gráfico de *cajas* para PST multianual en el año 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Las concentraciones promedio históricas de PST durante los últimos 5 años se muestran en la Tabla 3-2. Los resultados evidencian nuevamente el descenso paulatino de las concentraciones de este contaminantes siendo el año 2011 el de más concentración con 130µg/m³ y el 2015 el de menor concentración con 104µg/m³ (promedio geométrico del año).

Tabla 3-2. Resumen de promedios históricos de PST

Año	Promedio geométrico PST (µg/m³)
2011	130
2012	116
2013	115
2014	127
2015	104

En la Figura 3-7. Gráfico de *cajas* para PST multianual años 2011-2015. se puede apreciar el comportamiento de la concentración de PST en función del mes. Se observa de manera general una reducción leve en la concentración para el año 2015 frente a sus similares de 2011, 2012 y 2013, con concentraciones ligeramente más altas para los meses de enero, febrero, abril, mayo y agosto comparados con el año 2013 y los meses de julio, agosto, septiembre y octubre comparados con el año 2012. No se presentan valores atípicos para 2015, pero tomando a la mediana como medida de tendencia de los datos mensuales, se evidencia un continuo sobrepaso a la norma anual para el histórico de meses.[5]

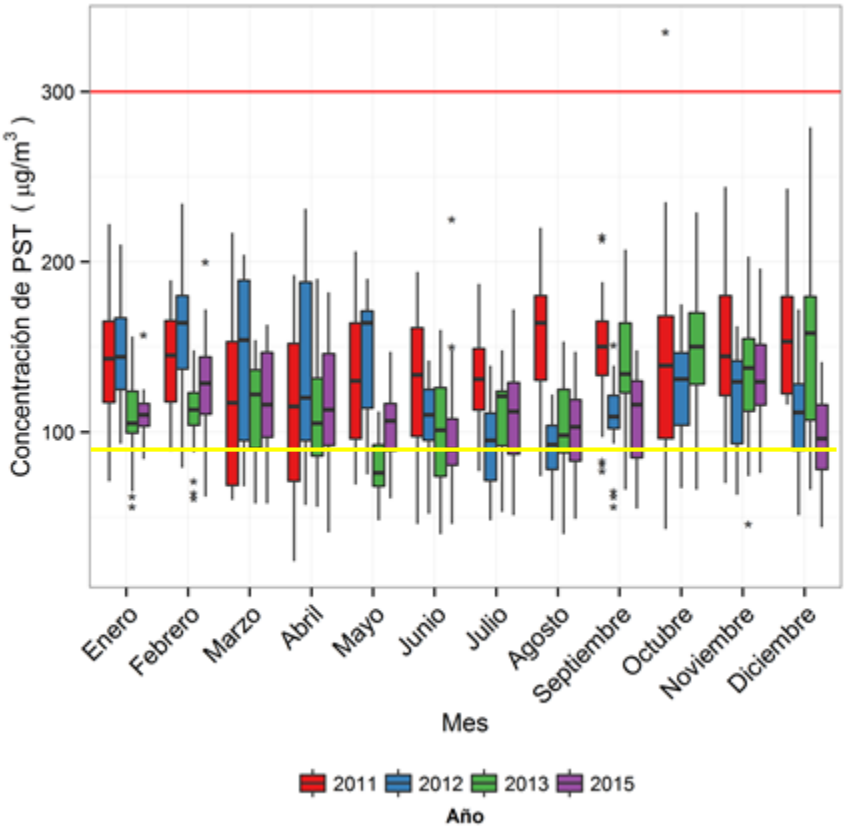


Figura 3-7. Gráfico de *cajas* para PST multianual años 2011-2015.
La línea roja representa la norma diaria y la amarilla la norma anual

[5] El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, por tanto, las comparaciones frente a normas establecidas se toma solo como indicativos e intercomparación.

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM_{10}.

La RMCAB contó en el año 2015 con 11 equipos de medición de PM_{10}, los cuales se describen en la **Tabla 1-1** y se encuentran distribuidos según la **Figura 1-1**. Se obtuvieron 3861 datos válidos diarios que corresponden a una captura de datos global del 96% entre las estaciones que registraron mediciones.

Comportamiento anual de las concentraciones de PM_{10}

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010 del MAVDT, el máximo nivel admitido de concentración para PM_{10} en un tiempo de exposición de un año es de 50 µg/m^3. La Tabla 3-3 presenta las concentraciones anuales de PM_{10} para los años 2014 y 2015, con base en valores diarios en las estaciones con captura de datos superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes para aquellos sitios de medición que tienen captura de datos suficiente en los dos años. La Figura 3-8 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en valores diarios) que monitorearon este contaminante durante 2015.

La Tabla 3-3 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de PM_{10} por estación y permite establecer que de las once estaciones, el 27% es decir tres estaciones, superan el límite anual permisible, siendo estas Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana, ubicadas en el suroccidente y en el sur de la ciudad, lo cual demuestra que esta zona representa altos niveles de contaminación en comparación con otros sectores de la ciudad. La concentración anual de Suba marca una diferencia relativamente leve (3 µg/m^3) respecto al límite máximo permisible. Las mayores concentraciones anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 87 µg/m^3 y Kennedy con 66 µg/m^3.

Tabla 3-3. Concentración anual de PM_{10} durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3

Estación	Promedio 2014 (µg/m^3)	Promedio 2015 (µg/m^3)	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m^3)
Guaymaral	N.R.	31	N.A.
Usaquén	37	30	-7
Suba	**51**	47	-4
Las Ferias	32	35	3
Centro de Alto Rendimiento	40	28	-12
Ministerio de Ambiente	43	34	-9
Puente Aranda	**62**	**53**	-9
Kennedy	**71**	**66**	-5
Carvajal-Sevillana	**91**	**87**	-4
Tunal	**53**	43	-10
San Cristóbal	41	26	-15

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En comparación con el año 2014, para el año 2015, todas las estaciones, a excepción de las Ferias, presentaron reducciones apreciables en la concentración de PM_{10}, en

concordancia con lo mostrado para PST en cuanto a reducción en la concentración de material particulado. La Figura 3-8. Concentración anual de PM10 durante el año 2015 por estación de monitoreo muestra las tendencias por estación donde se ve claramente que las estaciones del suroccidente de la ciudad (Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana) presentan concentraciones más altas que las presentadas en el centro (C.D.A.R., MinAmbiente), sur (Tunal, San Cristóbal) y nororiente de la ciudad) Suba, las Ferias).

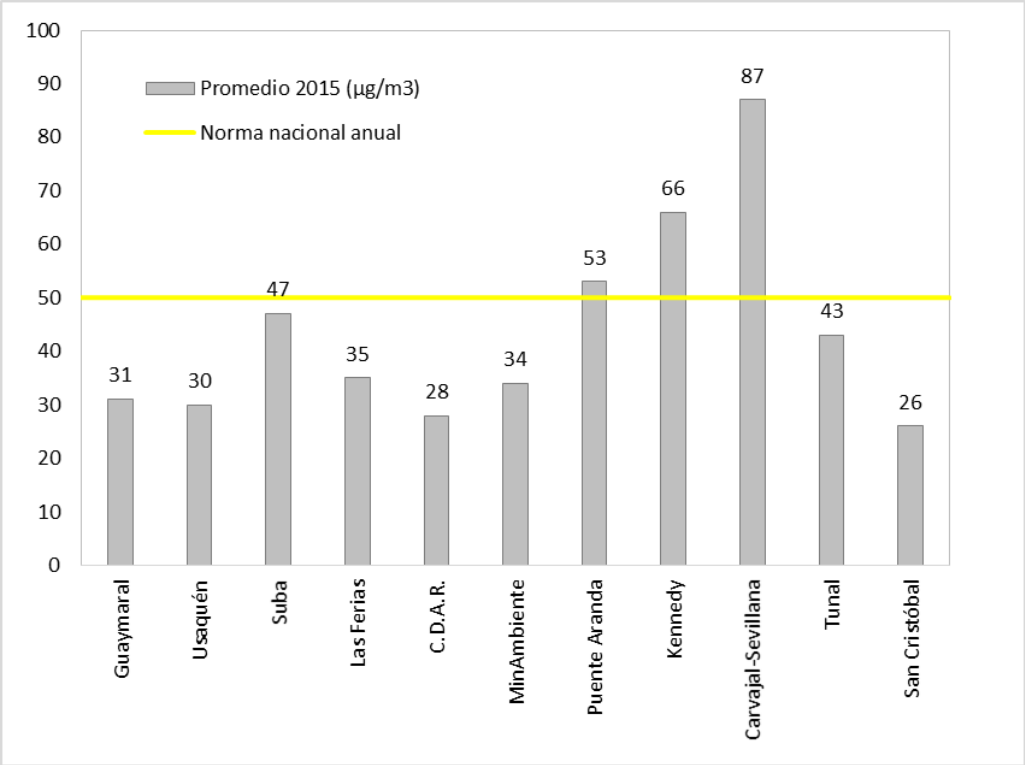


Figura 3-8. Concentración anual de PM_{10} durante el año 2015 por estación de monitoreo

La distribución espacial de la concentración de PM_{10} en la ciudad puede verse en la **Figura 3-9** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM_{10} (basado en concentraciones diarias) en las 11 estaciones durante el año 2015. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM_{10} fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. La localidad de Fontibón puede presentar valores que difieren de reportes de años como 2012 o 2013, por las bajas concentraciones presentadas durante 2015 y además, la falta de la estación de monitoreo. Los comportamientos a nivel de localidad, muestran que es importante no generalizar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales; es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis (ver numeral 3.4).

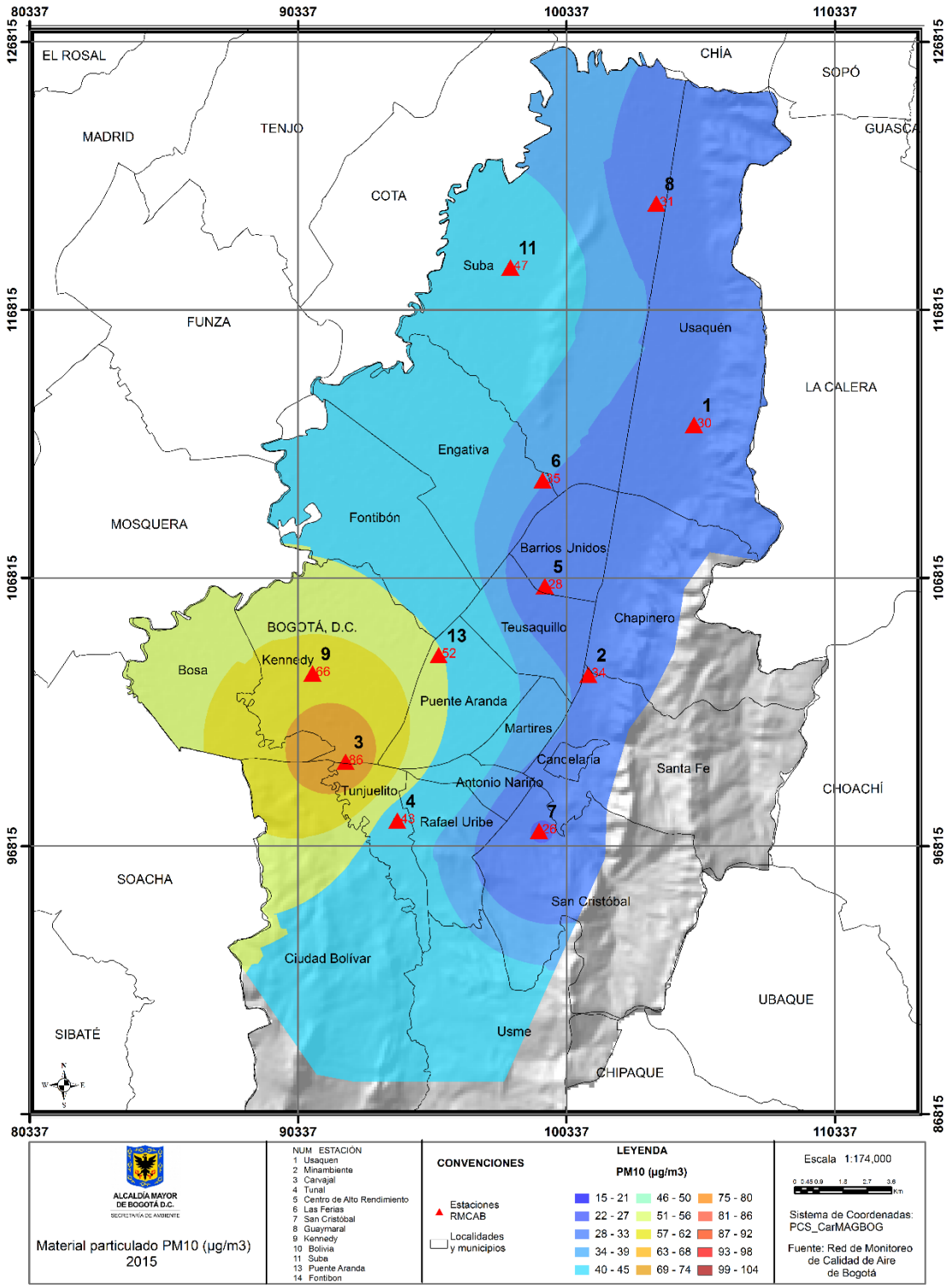


Figura 3-9. Concentración de Material particulado (PM_{10}) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios anuales de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015

Comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} (24 h)

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Cabe destacar que todas las estaciones tuvieron una captura de datos de 90% o superior. Las concentraciones máximas y número de excedencias se presentan en la Figura 3-10. La Tabla 3-4 resume los datos diarios de PM_{10}, excedencias a la norma y máximos para cada una de las estaciones de la RMCAB

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario, que es de 100 µg/m^3, se presentaron un total de 135 excedencias a este valor las cuales tuvieron lugar en las estaciones de Puente Aranda con seis (6), Kennedy con veintinueve (29), Carvajal-Sevillana con noventa y ocho (98) y Tunal con dos (2) corresponden al 2%,8%, 28% y 1% de los datos validos en cada estación para el año. Este comportamiento es consistente con los promedios anuales, donde la estación Carvajal-Sevillana presenta el mayor promedio de concentración para el año y es la que presenta más probabilidades de superar la norma de acuerdo con los resultados de datos entre el 90% y 100% de la norma.

Se observa que la mayoría de las concentraciones máximas se presentan para el mes de febrero; siendo el 18 y 24 de este mes los días con más repeticiones por estación de monitoreo. El 24/02/2015 se presentan máximos de concentración en las estaciones del sur occidente (Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana), lo cual puede indicar un evento específico en esta zona para esa fecha. También se presentan coincidencias en las estaciones Suba, Las Ferias, MinAmbiente y San Cristóbal para el 18/02/2015; Guaymaral y Usaquen presentan sus máximos en la segunda mitad del año. Lo anterior deja ver que pudieron presentarse episodios de contaminación de área en Febrero, ya que este fue uno de los meses más contaminados del periodo analizado.

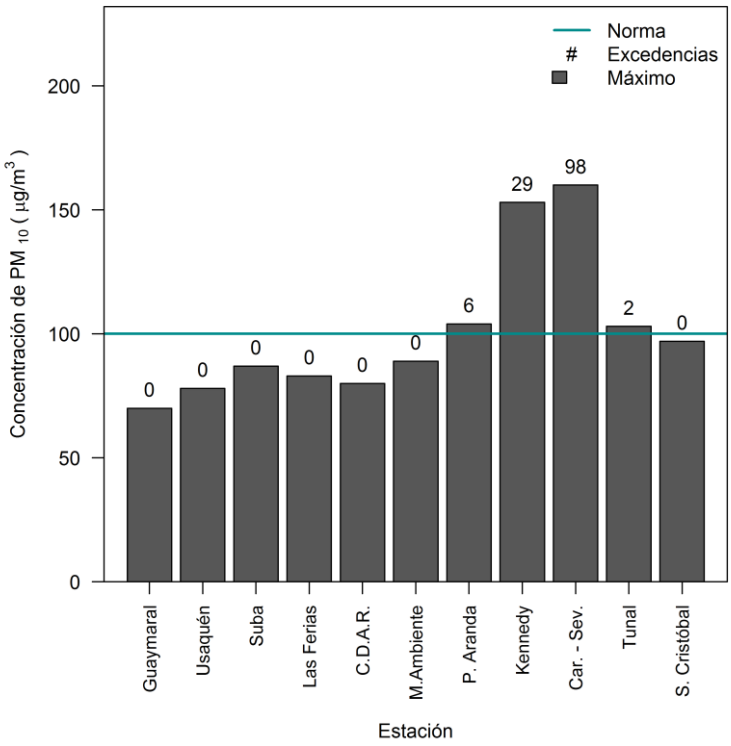


Figura 3-10. Máximos y excedencias de PM_{10} en base diaria para al año 2015.

La Tabla 3-5 muestra que para el año 2015 se presentaron 105 días de excedencia. Febrero presenta el mayor número de días de excedencias y Junio presenta la menor cantidad, lo cual puede atribuirse al cambio de la dinámica meteorológica de la ciudad por estacionalidad bimodal y también al fenómeno del niño que implico menores tasas de aireación urbana al comienzo del año y una mejora de las mismas para la mitad del año 2015. Es importante aclarar que un día de excedencia se define como aquel en el cual al menos una estación excede el respectivo límite máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-4. Resumen de la captura de datos diarios de PM_{10} durante el año 2015

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual (µg/m³)	Excedencias de la norma 100 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[6]	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	356	98	31	0	0	0	70	30/10/2015
Usaquén	347	95	30	0	0	0	78	20/11/2015
Suba	330	90	47	0	0	0	87	18/02/2015
Las Ferias	333	91	35	0	0	0	83	18/02/2015
Centro de Alto Rendimiento	355	97	28	0	0	0	80	07/02/2015
MinAmbiente	364	100	34	0	0	0	89	18/02/2015
Puente Aranda	345	95	53	6	2	9	104	24/02/2015
Kennedy	362	99	66	29	8	15	153	24/02/2015
Carvajal-Sevillana	355	97	87	98	28	52	160	24/02/2015
Tunal	362	99	43	2	1	4	103	10/02/2015
San Cristóbal	352	96	26	0	0	4	97	18/02/2015

Tabla 3-5. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM_{10} (100 µg/m³) por estación y por mes para el año 2015

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Guaymaral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usaquén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Ferias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.D.A.R.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puente Aranda	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	6
Kennedy	1	13	5	0	5	0	0	0	2	3	0	0	29
Carvajal-Sevillana	5	15	10	10	4	3	6	4	10	16	12	3	98
Tunal	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de excedencias	8	30	16	10	10	3	6	4	13	19	13	3	135
Días de excedencias	6	18	11	10	5	3	6	4	10	17	12	3	105

[6] Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³.

Calendario de contaminación por PM_{10} durante el año 2015

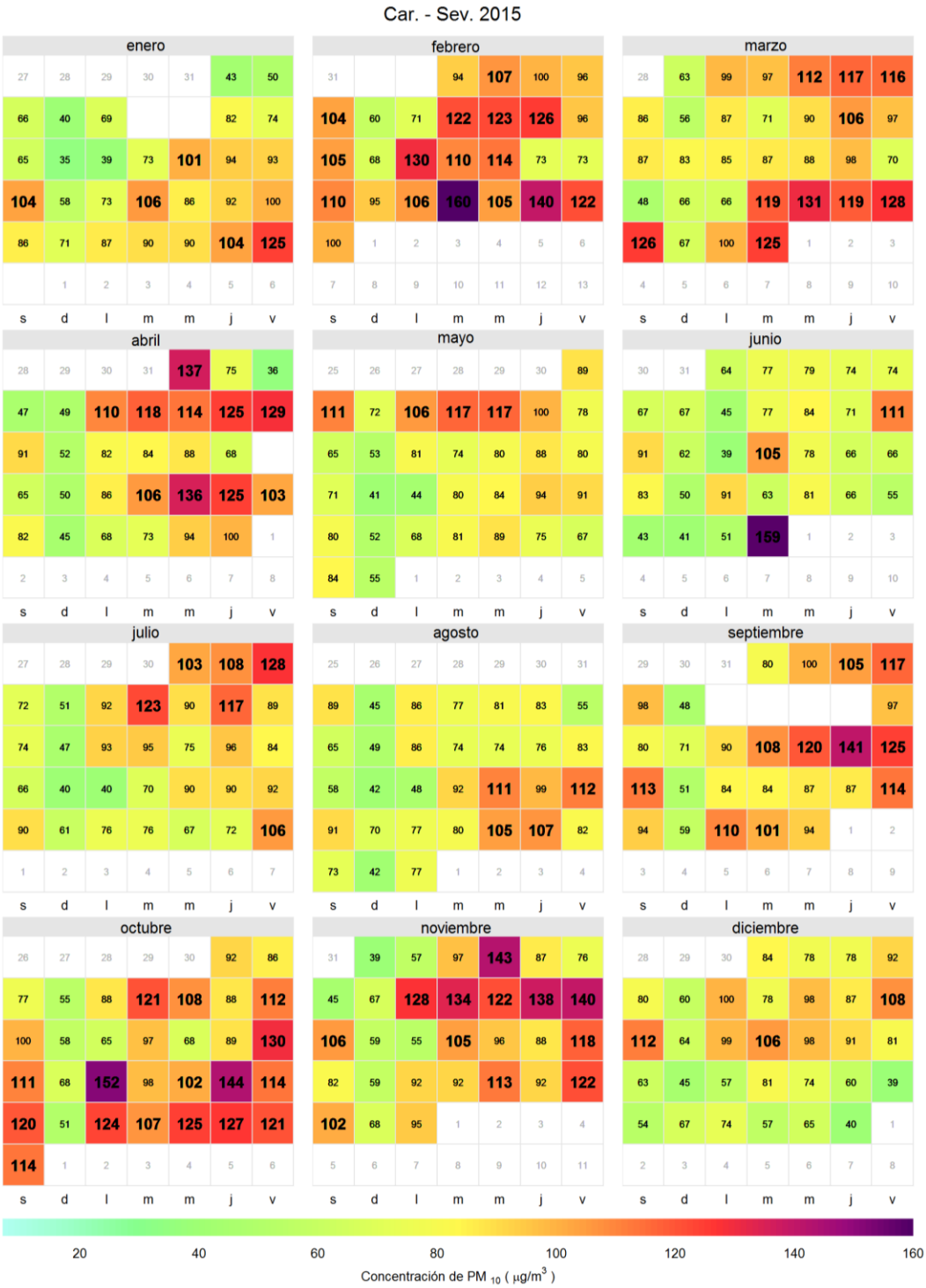


Figura 3-11. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m^3.



Figura 3-12. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

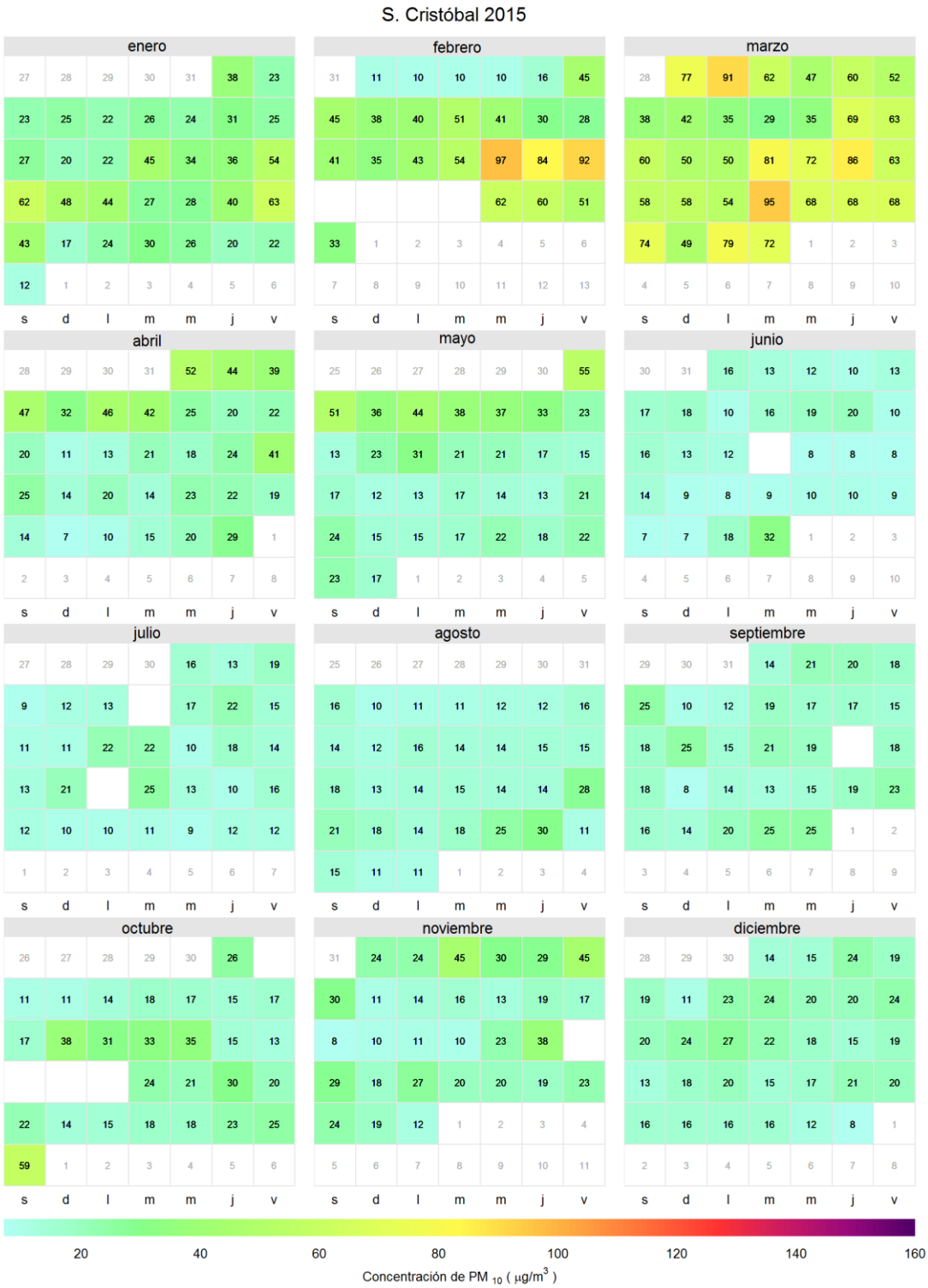


Figura 3-13. Calendario de concentración para PM_{10} durante el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

La Figura 3-11, la Figura 3-12 y la Figura 3-13 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y San Cristóbal, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. En Carvajal Sevillana se observa que las mayores concentraciones y excedencias que se presentan en febrero, en especial la última semana y en los meses de octubre y noviembre; para Suba se presentan en febrero, marzo, octubre y diciembre y para y San Cristóbal en los meses de febrero y marzo.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PM_{10}

La Figura 3-14 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de PM_{10} (24h) agrupado por días de la semana. En las estaciones analizadas se observa que los domingos presentan las menores concentraciones, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad industrial y de movilidad en ese día. Los días lunes presentan los valores más bajos de concentración, excepto en la estación Tunal y San Cristóbal; entre martes y jueves se mantienen niveles de concentración más elevados; los sábados presentan unos valores de concentración inferiores a la semana laboral, debido probablemente a que las industrias disminuyen su actividad y las fuentes móviles dominantes son las de transporte particular de pasajeros más que la de carga.

Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria, permite ver excedencias recurrentes en las estaciones de Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal.

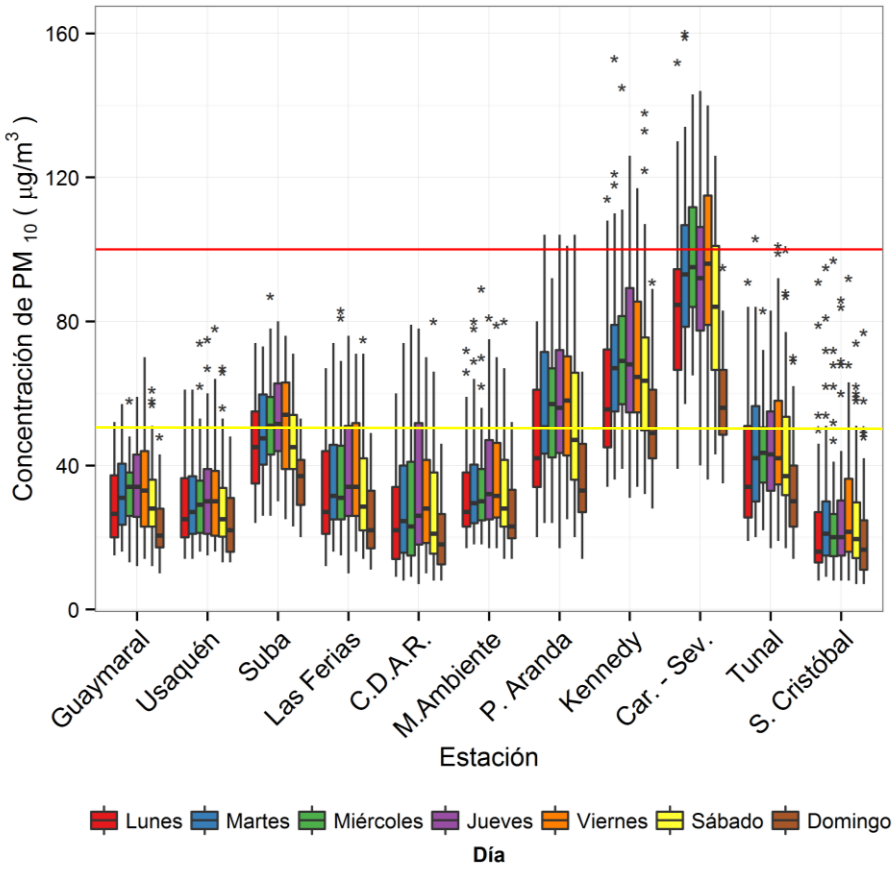


Figura 3-14. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el año 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los meses del año 2015, y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-15. En Todas las estaciones se observa que los menores niveles de concentración se presentan en los meses de junio, julio y agosto. En general, se observa que los meses con las mayores concentraciones de PM_{10} corresponden a los de inicio y final de año. Estas diferencias de comportamiento se pueden atribuir en cierto grado, al aumento de la velocidad de los vientos a mitad de año permitiendo mayor ventilación y, por tanto, menores concentraciones.

De manera similar a lo que ocurre con el análisis por día de la semana, una comparación de los valores de concentración por mes a través del año frente a la norma diaria (100µg/m³), muestra que sólo en Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana ésta es superada.

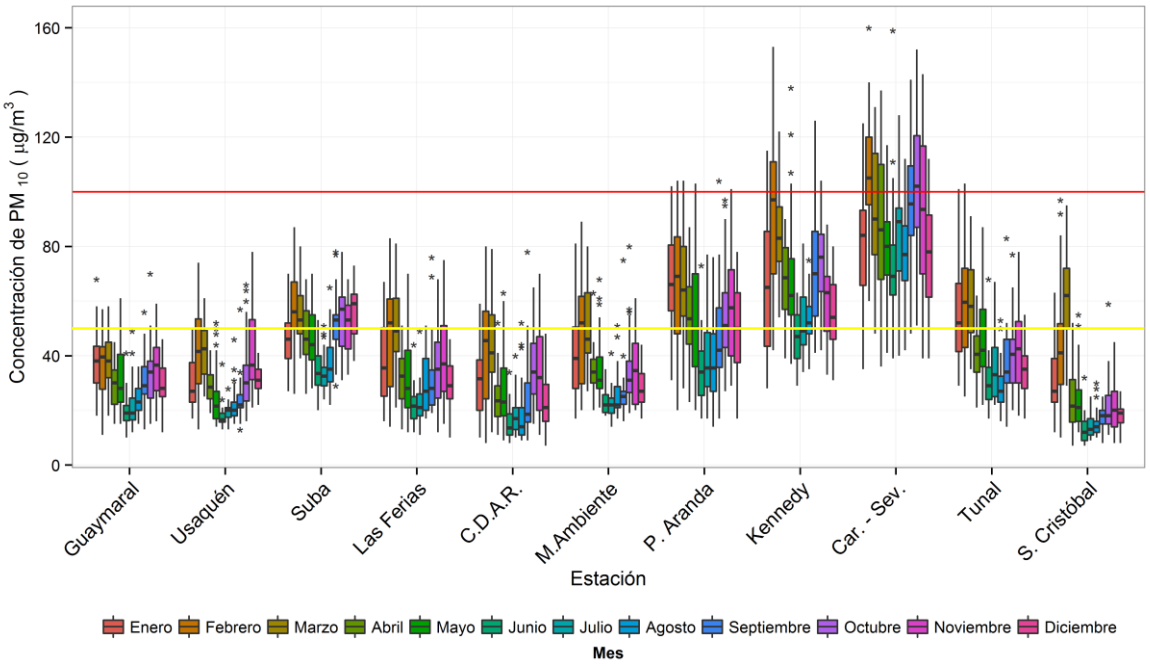


Figura 3-15. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del año 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM_{10}

La Figura 3-16 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2015. Como complemento a la Figura 3-17. Se pueden ver de manera clara los ciclos por estación y establecer que la mayor variabilidad de los datos (segmentos verdes por día), se presentan en la estación Carvajal-Sevillana y Kennedy, probablemente por ser influenciadas tanto por fuentes industriales como móviles. Así mismo, estas estaciones muestran cambios más pronunciados durante la semana en comparación con estaciones como C.D.A.R y Usaquén, que son estaciones influenciadas básicamente por fuentes móviles y la estación San Cristóbal, que es una estación de fondo. Con esto, se puede inferir que el comportamiento de los niveles de PM_{10} en función de los días de la semana puede estar asociado a las diferencias en el nivel de actividad de las fuentes de emisión y probablemente la meteorología. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

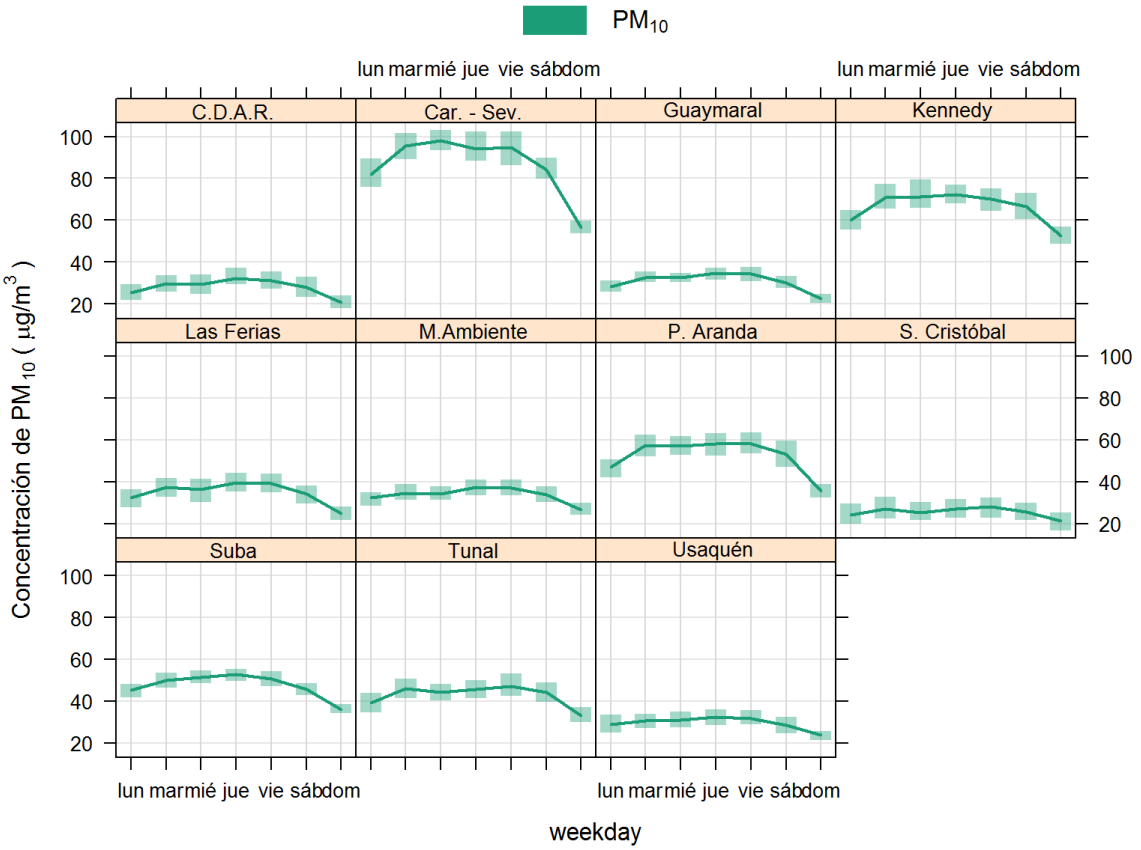


Figura 3-16. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen captura de datos superior a 75%.

Los ciclos diarios de las concentraciones de PM_{10} por estación se presentan en la Figura 3-17. Se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 9:00 a.m. con magnitudes variables, donde las mayores se encuentran en las estaciones Carvajal-Sevillana , Kennedy y Puente Aranda y Suba, y las menores en Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén. Estas tendencias son coincidentes con la denominada “hora pico” de la mañana. No para todas las estaciones se presenta un pico de concentración en horas de la tarde, esto debido probablemente a la influencia de los vientos que son más intensos en la tarde y facilitan la dispersión y arrastre de contaminantes, también afecta el cambio de tendencia en la movilidad que tiende a ser en un tiempo más prolongado en ese periodo del día. Es de destacar el comportamiento en Carvajal-Sevillana, donde después de la hora pico los niveles de contaminación se mantienen mucho más elevados que en el resto de estaciones.

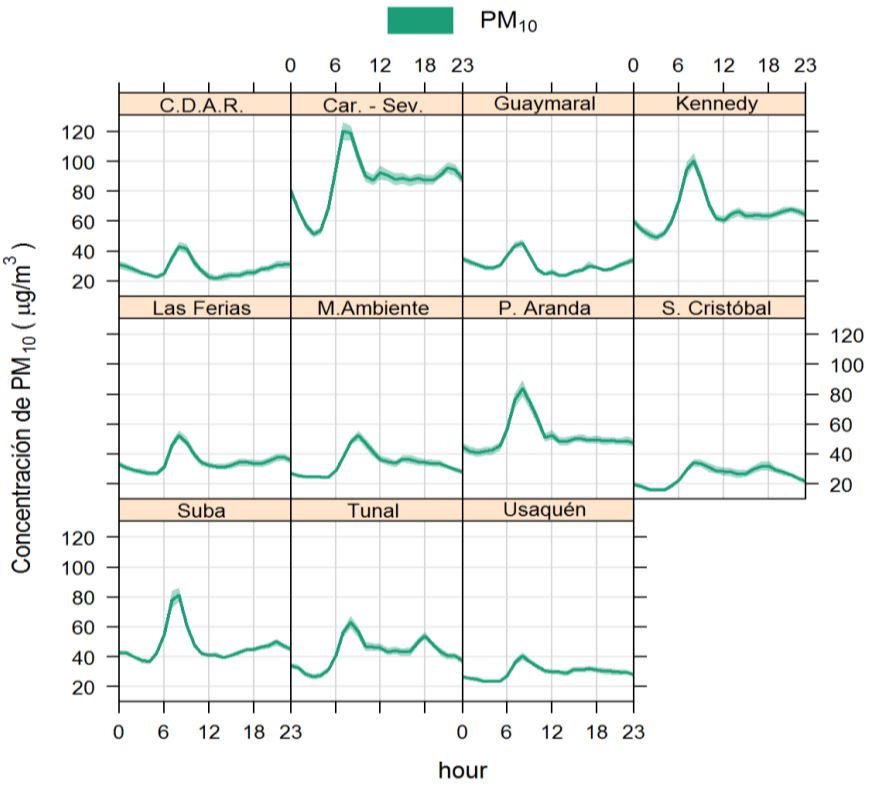


Figura 3-17. Ciclo diario de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen una captura de datos superior al 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM_{10}

La Figura 3-18 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en los periodos comprendidos por los años 2011 a 2015. En general se observa que en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, localizadas en el suroccidente de la ciudad, las concentraciones han sido más altas a través de los años. Como se ha mencionado previamente, las zonas de influencia de estas estaciones se caracterizan por alta actividad de fuentes de emisión. Se observa la paulatina disminución de las concentraciones de PM_{10} en todas las estaciones a través de los años, sin embargo, esto no es tan claro para las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, donde se observan concentraciones variables a través del tiempo.

Una comparación de los valores de concentración obtenidos para los últimos 5 años, frente a la norma existente, muestra que se presentan excedencias a la norma diaria (100µg/m³) para las estaciones ubicadas en el suroccidente, pero ninguna mediana supero el valor normativo. Se observa también que la cantidad de datos extremos en estaciones como San Cristóbal MinAmbiente y Usaquén han aumentado frente a 2014, lo que refleja el efecto de días con concentraciones elevadas, probablemente debido a fuentes móviles por la localización de las mismas y efectos meteorológicos.

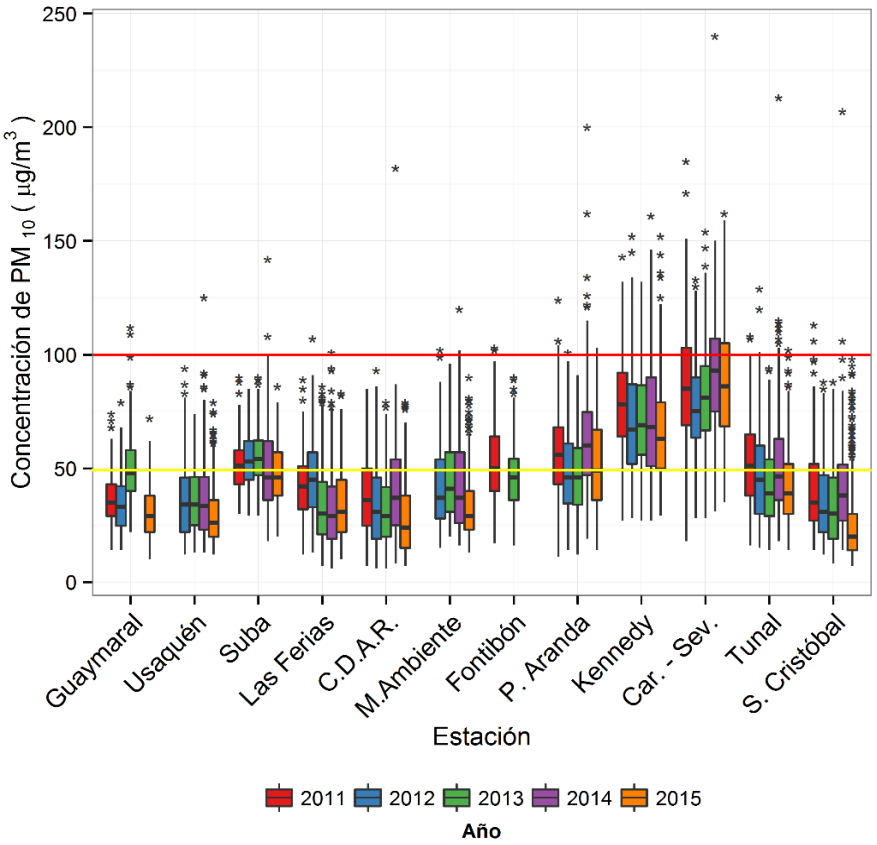


Figura 3-18. Presentación del gráfico de *cajas* para las concentraciones diarias de PM_{10} por estación de monitoreo en el para los años 2011 a 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La Tabla 3-6 contiene un resumen de los promedios y máximos históricos para el periodo 2011-2015. Se observa que el promedio de concentración a nivel ciudad (promedio 24 horas de las estaciones con captura de datos superior al 75%), ha disminuido considerablemente (exceptuando el año 2014, por diversos sucesos meteorológicos y eventos globales como arenas del Sahara, hecho analizado en el informe anual de calidad del aire de la RMCAB de dicho año) y que las estaciones que históricamente se caracteriza por presentar máximos en este periodo están ubicadas en el occidente y suroccidente de la ciudad.

Tabla 3-6. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de PM_{10}

Año	Promedio ciudad µg/m³	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	52	186	03/07/2011	Kennedy
2012	48	152	04/08/2012	Carvajal-Sevillana
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana

3.1.3. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

Durante el año 2015, diez (10) estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en la tabla 1-1. Se obtuvieron 3049 datos válidos diarios que corresponden una recolección de datos del 93% entre las estaciones que registraron mediciones.

Comportamiento anual de las concentraciones de $PM_{2.5}$

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible de concentración para $PM_{2.5}$ en un tiempo de exposición de un año es de 25 µg/m^3. La Tabla 3-7 presenta las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2014 y 2015, con base en promedios diarios en las estaciones con captura de datos superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes para el año vigente y año anterior. La Figura 3-19 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB que monitorearon este contaminante durante 2015.

La Tabla 3-7 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de $PM_{2.5}$ por estación y permite establecer que las mayores concentraciones promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 31 µg/m^3 y Kennedy con 27 µg/m^3 y superan el límite anual permisible, lo cual está en concordancia con lo obtenido para PM_{10} (ver Tabla 3-3) y comprueba que la zona suroccidental de la ciudad ésta afectada por niveles superiores de contaminación en comparación con otros sectores de la ciudad. Se destaca que de las estaciones con información disponible para 2014 y 2015, cuatro (4) presentan disminución en la concentración promedio anual reportada; la estación Usaquén permanece invariable; la concentración anual de Suba marca una diferencia (1 µg/m^3) respecto al límite máximo permisible y es la única estación de la RMCAB con datos disponibles, que presenta un incremento de este contaminante comparado con el 2014.

Tabla 3-7. Concentración anual de $PM_{2.5}$ durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m^3

Estación	Promedio 2014 (µg/m^3)	Promedio 2015 (µg/m^3)	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m^3)
Guaymaral	N.A.	14	N.A.
Usaquén	13	13	0
Suba	21	22	1
Centro de Alto Rendimiento	20	18	-2
Ministerio de Ambiente	N.A.	15	N.A.
Kennedy	**32**	**27**	-5
Carvajal-Sevillana	**35**	**31**	-4
Tunal	23	21	-2
San Cristóbal	N.A.	9	N.A.

N.A.: Datos no disponibles.

La Figura 3-19 muestra gráficamente lo reportado en la tabla anterior, se aprecia la variación que presentan concentraciones más altas que las presentadas en el centro, sur y nororiente de la ciudad.

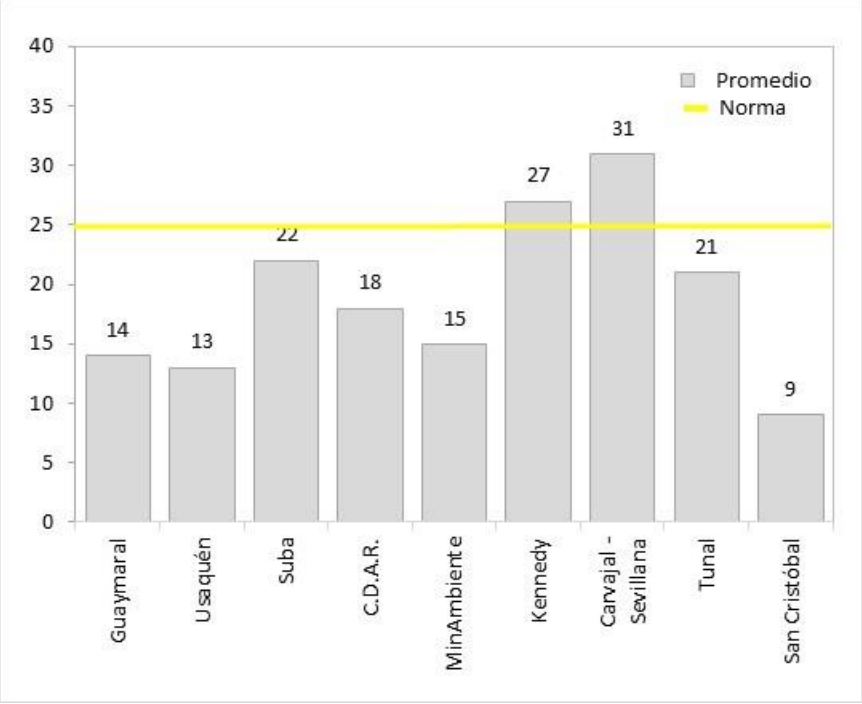


Figura 3-19. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ durante el año 2015 por estación de monitoreo.

La distribución espacial de la concentración de $PM_{2.5}$ en la ciudad puede verse en la **Figura 3-20** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ (basado en promedios diarios) en las 10 estaciones durante el año 2015. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por niveles de $PM_{2.5}$ fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. La localidad de Fontibón puede presentar valores que difieren de reportes de años como 2012 o 2013, por las bajas concentraciones presentadas durante 2015 y además, la falta de datos por traslado de la estación de monitoreo en el año 2014 y 2015. Los comportamientos a nivel de localidad, muestran que es importante no generalizar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales; es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis (ver numeral 3.4).

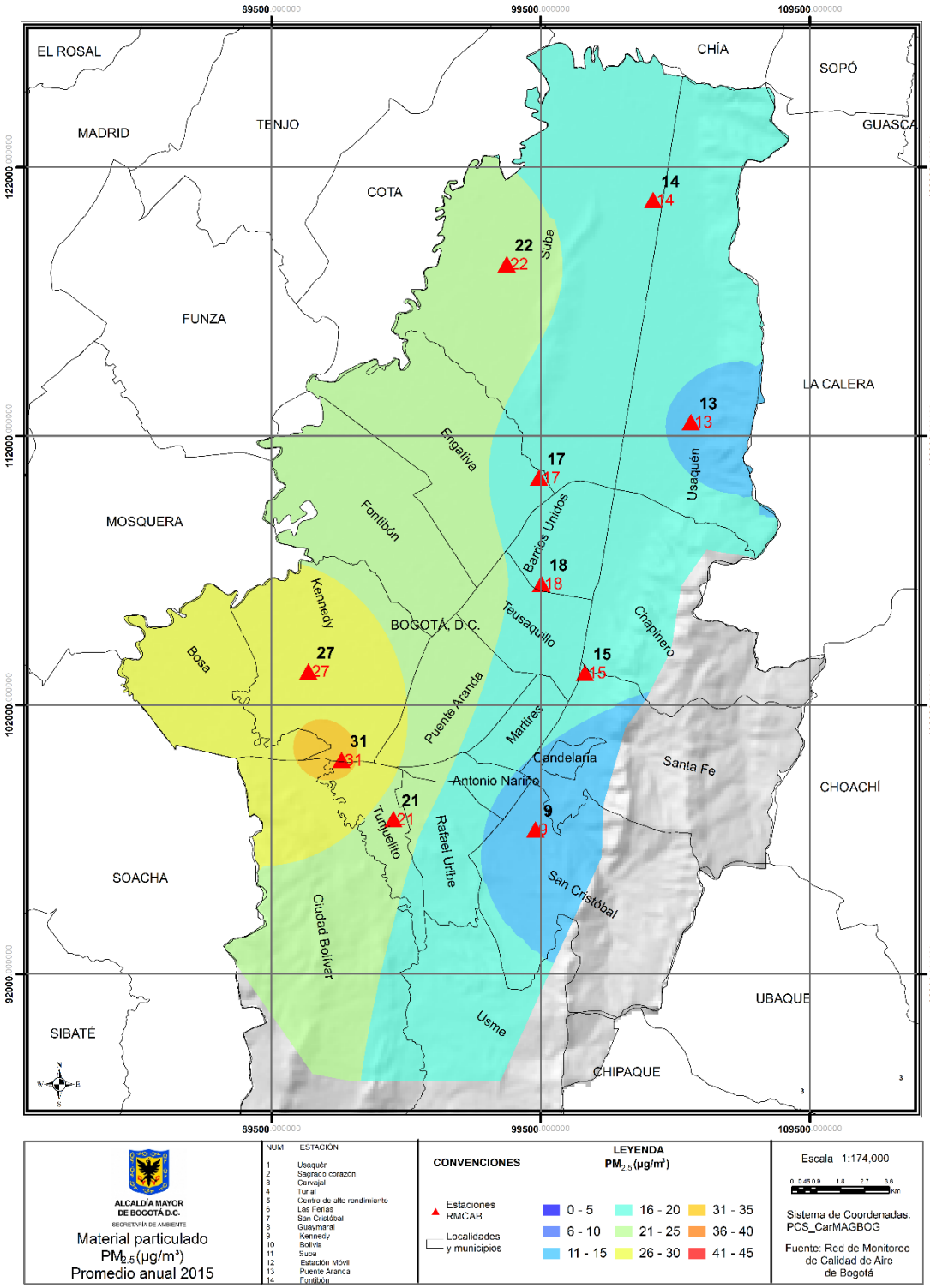


Figura 3-20. Concentración material particulado ($PM_{2.5}$) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015.

Comportamiento de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ (24h)

La Figura 3-21 y la Tabla 3-8 contienen un resumen de concentraciones máximas y número de excedencias de la norma diaria para $PM_{2.5}$ en el año 2015. Se observa que no se presentaron excedencias a la norma diaria de 50 µg/m^3, en las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba, ubicadas en el norte de la ciudad, y San Cristóbal, localizada el suroriente, en las demás estaciones, se presentaron excedencias del límite máximo permisible. Carvajal-Sevillana y Kennedy reportaron el mayor número de excedencias normativos con 7, Tunal con cuatro (4) Excedencias, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente presentaron 1 excedencia cada una. Es importante tener en cuenta la captura de datos de la estación de las Ferias que está por debajo del 75%

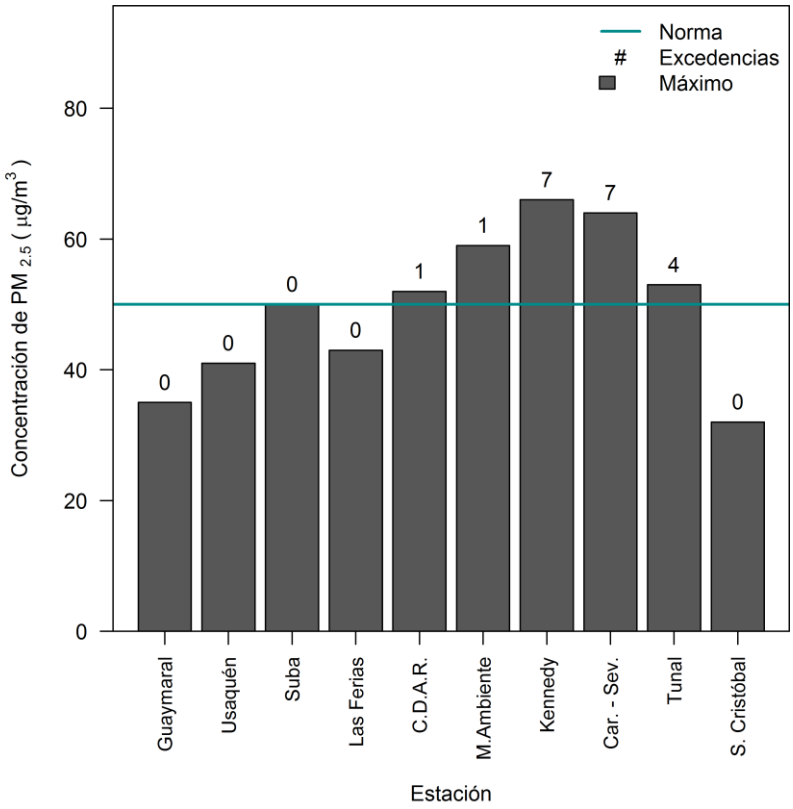


Figura 3-21. Máximos y excedencias de $PM_{2.5}$ en base diaria para al año 2015.

El máximo registro diario se presentó en la estación Kennedy con 66µg/m³, seguido muy de cerca por Carvajal-Sevillana con 64µg/m con los registros más bajos en San Cristóbal, siendo esto Consistente con lo que ocurre con el PM_{10}. Estos valores indican el contraste espacial existente en la ciudad así como la precaución de no generalizar las tendencias de calidad del aire a nivel ciudad con promedios Anuales.

Tabla 3-8. . Resumen de la captura de datos diarios de $PM_{2.5}$ para el año 2015. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias de la norma 50 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[7]	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	345	95	14	0	0	0	35	16/01/2015
Usaquén	301	82	13	0	0	0	41	19/03/2015
Suba	330	90	22	0	0	2	50	26/03/2015
Las Ferias	257	70	18	0	0	0	43	25/03/2015
Centro de Alto Rendimiento	322	88	18	1	0.31	0	52	17/09/2015
MinAmbiente	361	99	15	1	0.28	0	59	31/10/2015
Kennedy	359	98	27	7	1.95	9	66	17/09/2015
Carvajal-Sevillana	341	93	31	7	2.05	8	64	24/02/2015
Tunal	361	99	21	4	1.11	6	53	10/02/2015
San Cristóbal	329	90	9	0	0	0	32	31/10/2015

En cuanto a los máximos registrados y sus fechas de ocurrencia, se puede observar que no existe una concordancia exacta con las fechas de datos máximos registrados de PM_{10} excepto para Carvajal-Sevillana, lo que es indicio de orígenes diferentes para la fracción más gruesa de material particulado. Una revisión de los datos del IBOCA muestra que pudo presentarse un episodio de contaminación local de interés el 24/02/2015 por valores reportados en Kennedy y Carvajal-Sevillana.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo, es decir, entre 45 µg/m³ y 50 µg/m³, muestra que la estación Suba tiene tendencia a superar la norma con más frecuencia en caso de aumentos leves en la concentración de este contaminante.

La Tabla 3-9 presenta el número de excedencias de $PM_{2.5}$ por estación y por mes. Se observa la ausencia de excedencias en el mes de abril y diciembre y en especial a mitad del año 2015 (junio a agosto), coincidente con los cambios meteorológicos de la zona urbana de Bogotá.

Tabla 3-9. Excedencias de la norma diaria de $PM_{2.5}$ (50 µg/m³) por estación y por mes para el año 2015.

[7] Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Guaymaral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usaquén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Ferias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Kennedy	1	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	7
Carvajal-Sevillana	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4	1	0	7
Tunal	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de excedencias	2	5	1	0	1	0	0	0	4	6	1	0	20
Días de excedencias	2	4	1	0	1	0	0	0	2	4	1	0	15

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede verse en la **Figura 3-20** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ (basado en promedios diarios) en las estaciones durante el año 2015. Los resultados muestran que la zona occidental de Bogotá está afectada por la presencia de este contaminante, especialmente el suroccidente de la ciudad, situación similar a lo observado en PM_{10} (Ver **Tabla 3-5**).

Calendario de contaminación por $PM_{2.5}$ durante el año 2015

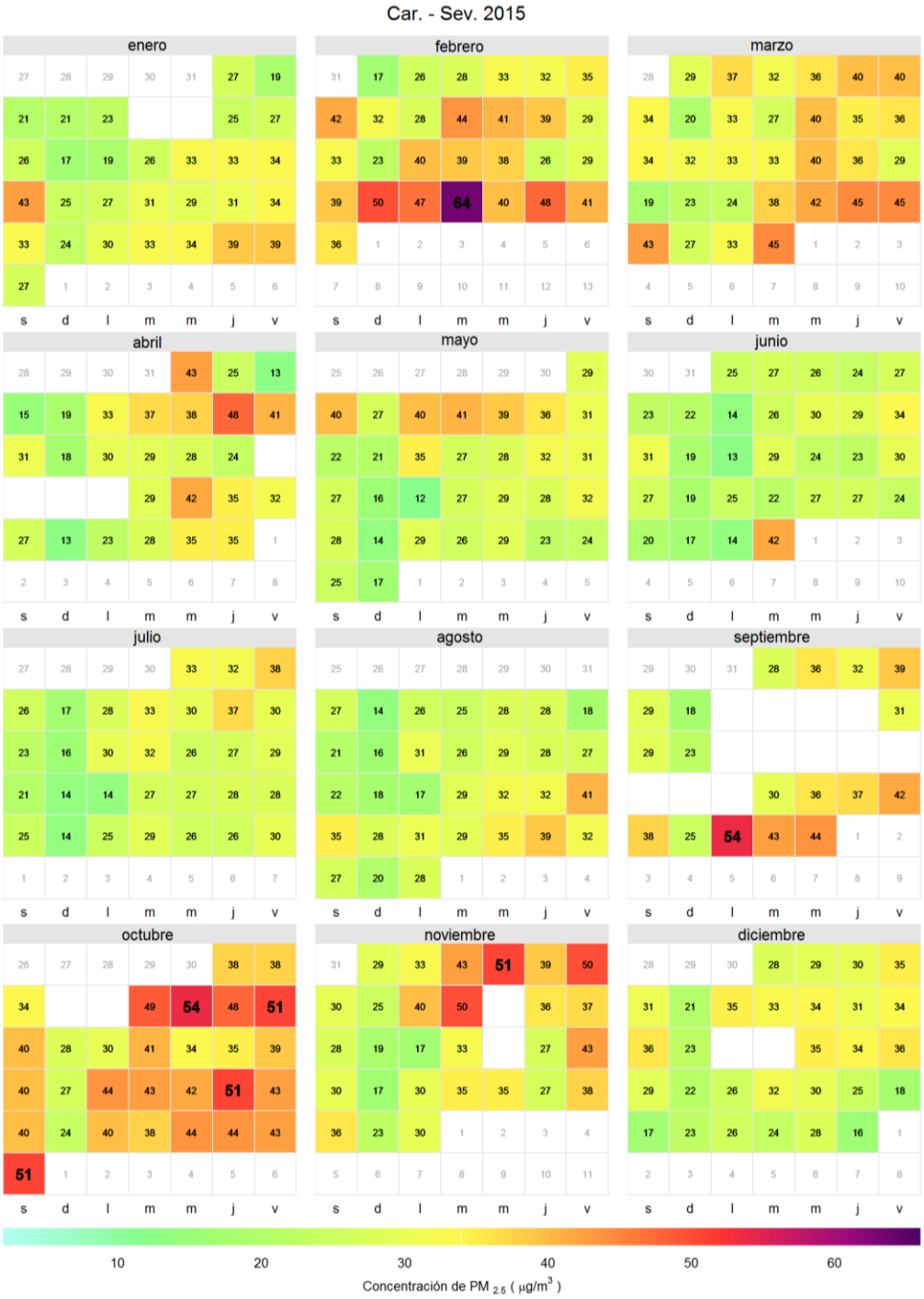


Figura 3-22. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m^3).

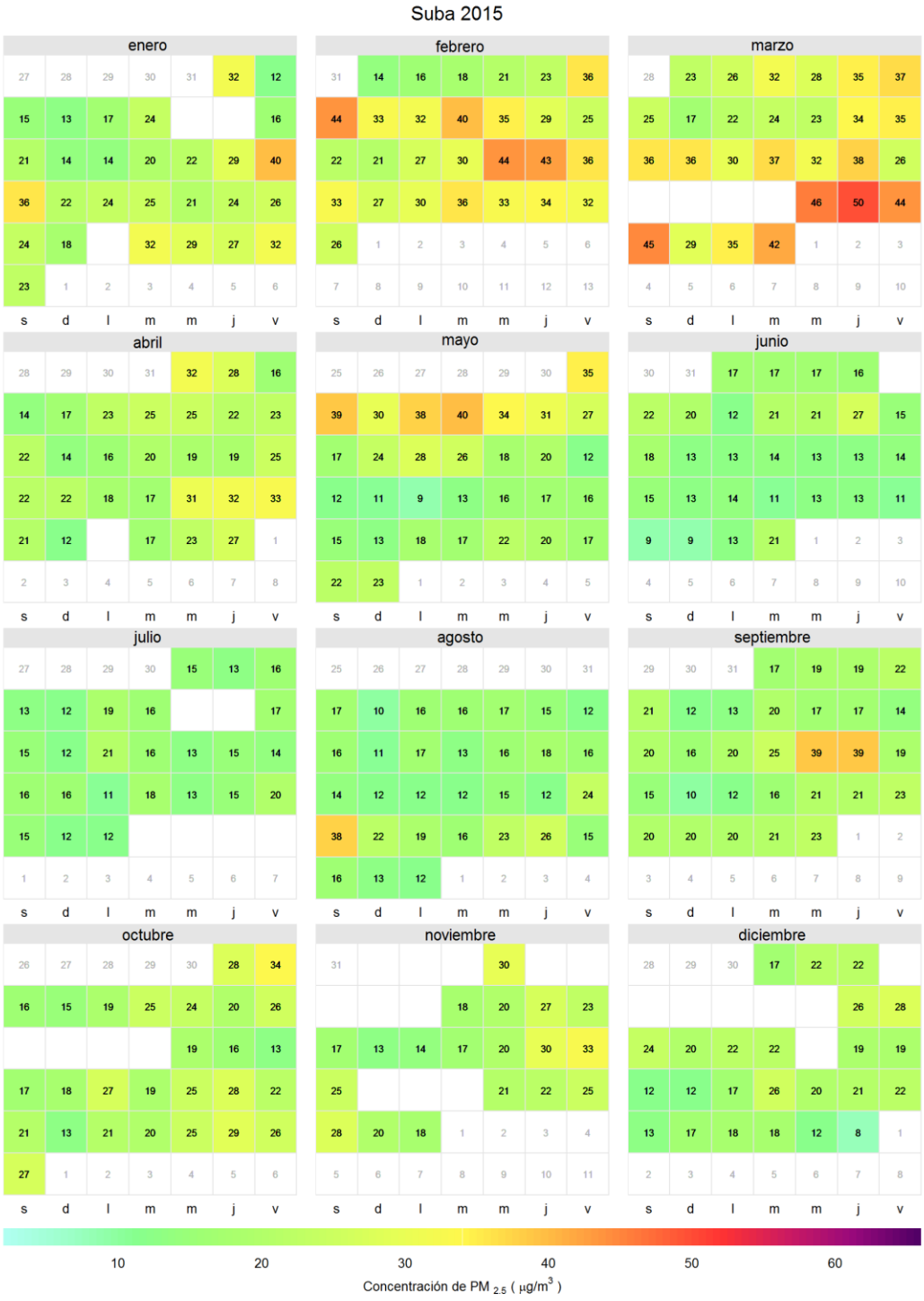


Figura 3-23. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.



Figura 3-24. Calendario de concentración para $PM_{2.5}$ para el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Las Figura 3-22, Figura 3-23 y Figura 3-24 corresponden a calendarios de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ durante el año 2015 en estaciones con concentraciones altas (Carvajal-Sevillana), concentraciones en rangos medios (Suba) y concentraciones bajas (San Cristóbal) mostrando el contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad.

Para Carvajal-Sevillana se observa que los meses de febrero, marzo, octubre y noviembre tuvieron las mayores concentraciones de contaminantes, para Suba se presentaron las mayores concentraciones en los meses de febrero y marzo y de igual manera ocurre con la estación San Cristóbal.

Comportamiento temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-25 contiene la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. En las estaciones analizadas se observa que los domingos se presentan las menores concentraciones, hecho acorde con la dinámica de la ciudad, dado que tradicionalmente este día el flujo vehicular es inferior al de otros días; se observa también que el sábado y lunes le siguen al domingo respecto a menores concentraciones. En las estaciones ubicadas en la zona central de la ciudad el sábado presenta menores valores que el lunes y en las estaciones del norte como Suba y Usaquén el lunes presenta menores valores de concentración.

Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria existente muestra que las estaciones que tradicionalmente presentan mayores concentraciones, exceden la norma (50µg/m³) con datos contenidos en el cuarto cuartil y con datos extremos.

En términos de dispersión de datos, las menores variabilidades se observaron en Usaquén y San Cristóbal mientras que las mayores en C.D.A.R. y Kennedy en especial para los lunes y sábados.

El comportamiento en función de los meses de 2015 se presenta en la Figura 3-26. Se observa que en general, para junio, julio y agosto se presentaron los menores niveles de concentración, siendo junio el mes de menores valores a excepción de Guaymaral y C.D.A.R. Febrero y marzo presentan las mayores concentraciones en todas los estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana y Usaquén. (ver numeral 4y 5).

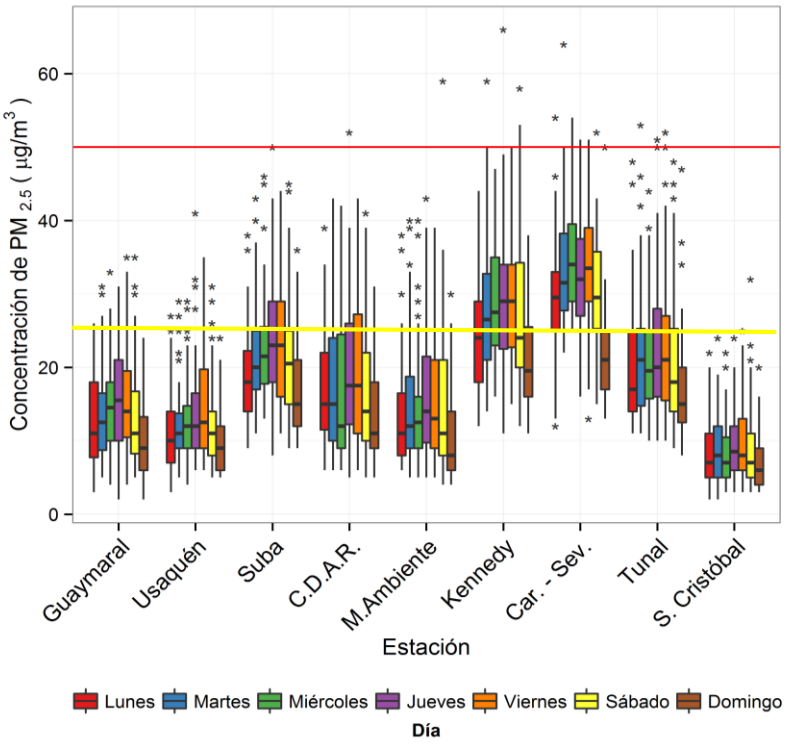


Figura 3-25. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de días de la semana del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

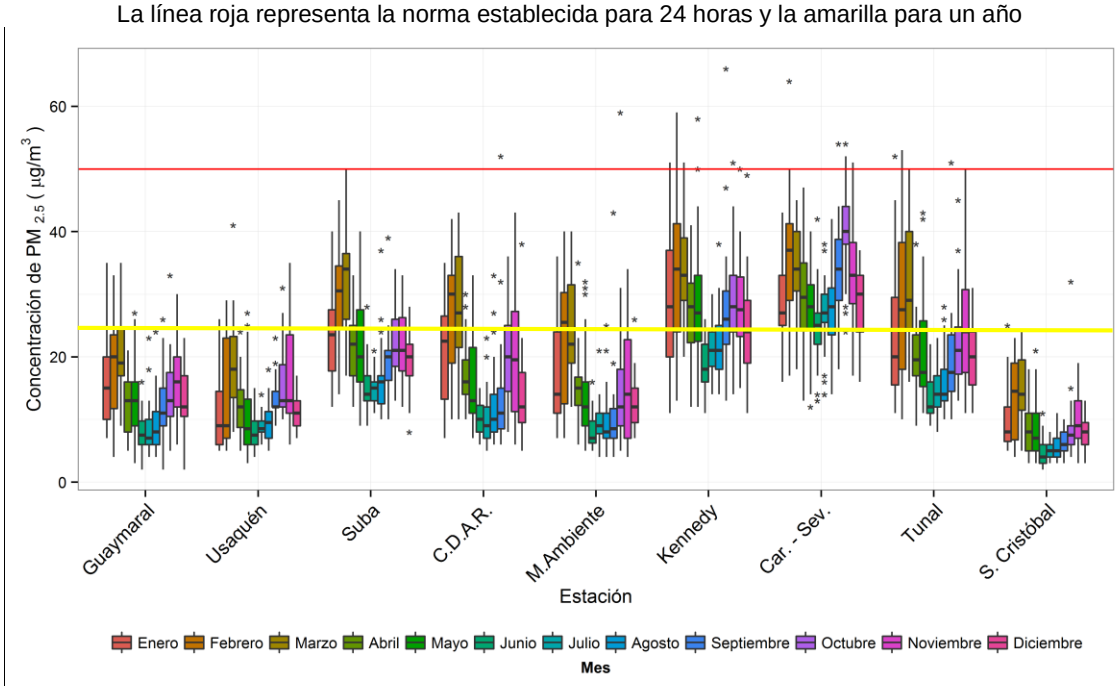


Figura 3-26. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-27 presenta el perfil semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los monitores con captura de datos superior a 75%. Para todos los monitores se registraron las menores concentraciones los días domingo y en general los días martes a viernes, son los más contaminados. Carvajal-Sevillana presentan las mayores variabilidades diarias, mientras que, San Cristóbal y Usaquén presentan las concentraciones más estables, lo cual concuerda con una influencia más marcada respecto a fuentes móviles en estas últimas frente a Carvajal-Sevillana y Kennedy que también además de fuentes móviles tienen influencia industrial. Es de resaltar que los intervalos de confianza para la mayoría de estaciones, exceptuando C.D.A.R., Kennedy y Tunal, son acotados, lo cual indica una baja dispersión de datos. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

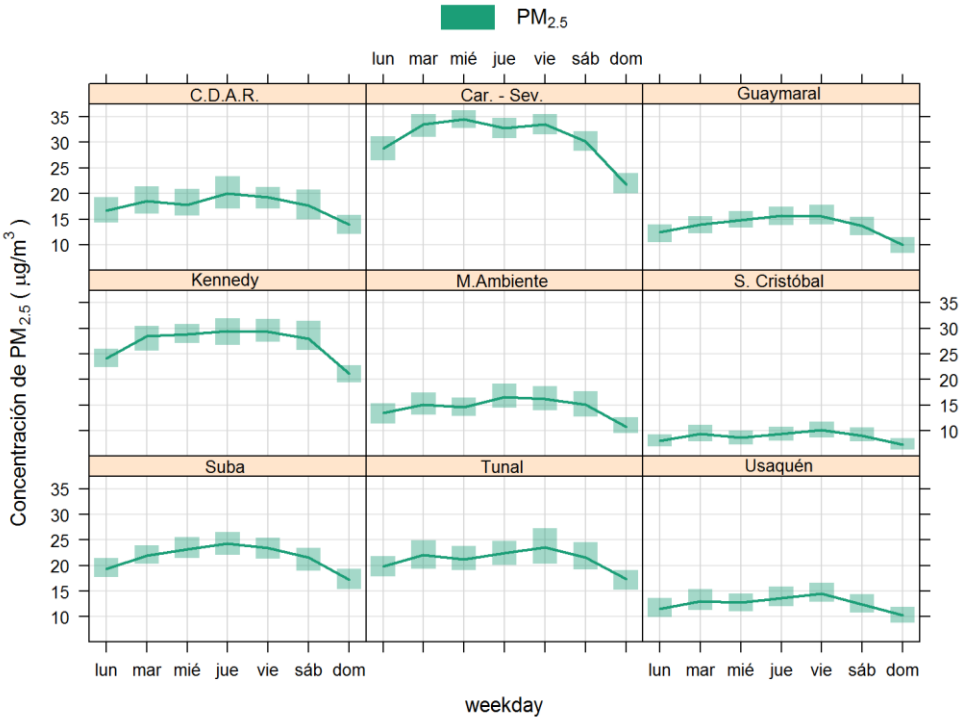


Figura 3-27. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para el año 205. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-28 presenta los ciclos diarios por estación de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$. En todos los sitios de monitoreo a excepción de Usaquén y San Cristóbal se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m.; el aumento es más significativo en estaciones como Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal. Este comportamiento se puede atribuir a la influencia de las fuentes móviles durante la hora pico. Para MinAmbiente se presenta un corrimiento del pico hacia las 9 de la mañana, probablemente por tratarse de un punto en el centro de la ciudad de llegada de empleados, lo cual hace que la medida de restricción vehicular que va hasta las 8:30a.m., pueda influir en el máximo de concentración.

En Carvajal-Sevillana se observa un comportamiento particular ya que el pico de máxima concentración en el ciclo diario se ubica entre 8:00 p.m. y 9:00 p.m., pero este no tiende a aumentar en horas de la tarde y sí en la noche, lo cual sugiere aumento de actividad de las fuentes de emisión (industriales o móviles) en su zona de influencia durante dichos momentos. En Tunal se observa un pico de magnitud relativamente menor en horas de la tarde (entre 4:00 p.m. y 6:00 p.m.), coincidiendo con el inicio de la segunda hora pico del día y para Usaquén y San Cristóbal este pico de la tarde es inexistente, probablemente por influencia meteorológica que altera el origen de contaminantes que captan los monitores; para Suba, el pico de las concentraciones se da alrededor de las 8 de la noche, lo cual puede estar asociado las dinámicas de fuentes móviles en la localidad después de la restricción vehicular. Las diferencias existentes entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

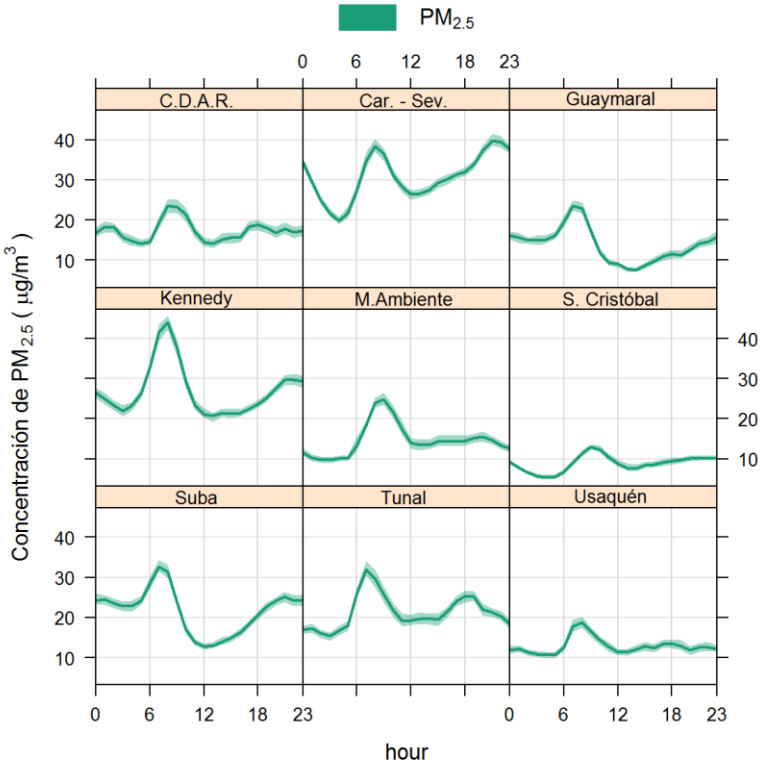
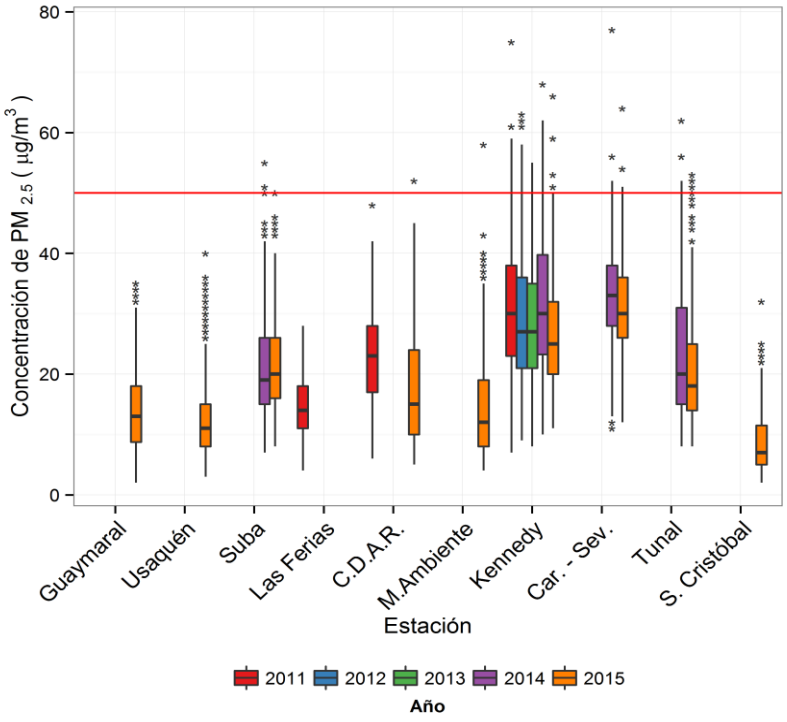
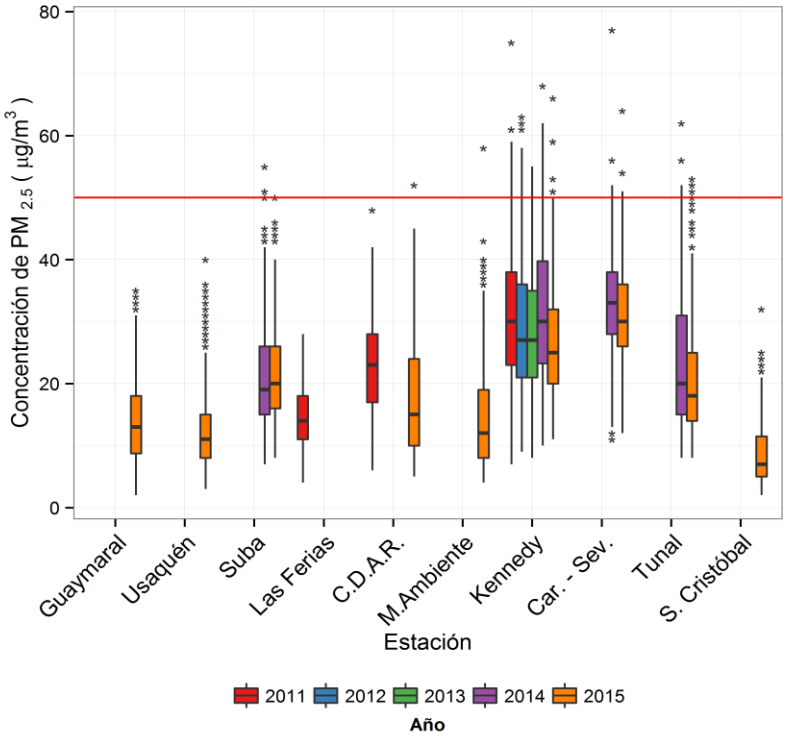


Figura 3-28. Ciclos diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación en el año 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que a partir del año 2014 2015 se cuenta con disponibilidad de datos de 6 y 10 estaciones, respectivamente. Este incremento en el número de estaciones se debe a que desde octubre de 2013 se inició gradualmente la operación de monitores adicionales para este contaminante.


Concentración de PM 2.5 (µg/m3)
80
60
40
20
0
Guaymaral
Usaquén
Suba
Las Ferias
C.D.A.R.
M.Ambiente
Kennedy
Car. - Sev.
Tunal
S. Cristóbal
Estación
2011
2012
2013
2014
2015
Año


Concentración de PM 2.5 (µg/m3)
80
60
40
20
0
Guaymaral
Usaquén
Suba
Las Ferias
C.D.A.R.
M.Ambiente
Kennedy
Car. - Sev.
Tunal
S. Cristóbal
Estación
2011
2012
2013
2014
2015
Año

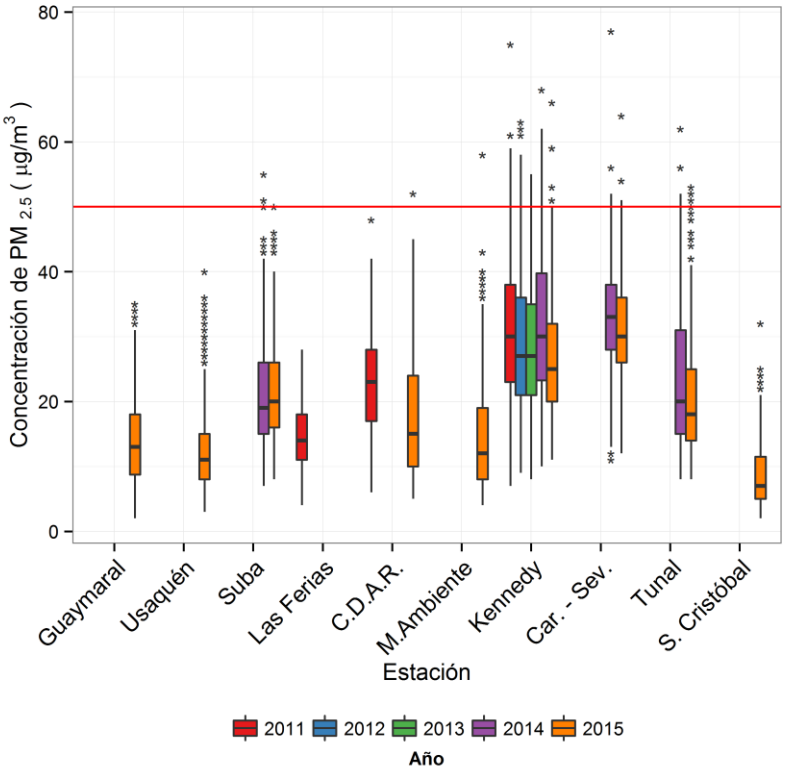


Figura 3-29 corresponde a un gráfico de *cajas* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ para el año 2015.

La baja captura de datos en 2014 y la falta de cobertura espacial antes de 2013 impiden establecer un comportamiento del contaminante para todos los años analizados. Sin embargo, se observa una disminución en las concentraciones de este contaminantes para Kennedy comparado con los años anteriores, en especial el año 2014; para Carvajal-Sevillana y Tunal también se observa un descenso en los niveles de concentración, mientras que para Suba se presenta un ligero aumento; otro aspecto interesante del año 2015 frente al año 2014 es la disminución en la dispersión de contaminantes debido probablemente al ajuste de equipos y a concentraciones más homogéneas como promedio diario. Una comparación de los valores de concentración, muestra que se supera la norma diaria (50µg/m³) de manera recurrente en Kennedy, para el cuarto rango intercuartil de Carvajal-Sevillana, por valores extremos en suba y tunal.

La Tabla 3-10 contiene un resumen histórico de promedios y máximos de $PM_{2.5}$ para los años 2011 a 2015. Es importante reiterar que en los periodos 2011 a 2013 solamente existieron mediciones válidas en Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue 77µg/m^3 en el año 2014, seguido por 75µg/m^3 en el año 2011, muy superior a lo registrado para los demás años de análisis que oscilan entre 55µg/m^3 y 66µg/m^3. La tabla también permite observar un descenso en la concentración de este contaminante como promedio ciudad, es decir como promedio aritmético de los valores obtenidos a través de los años con captura de datos adecuada.

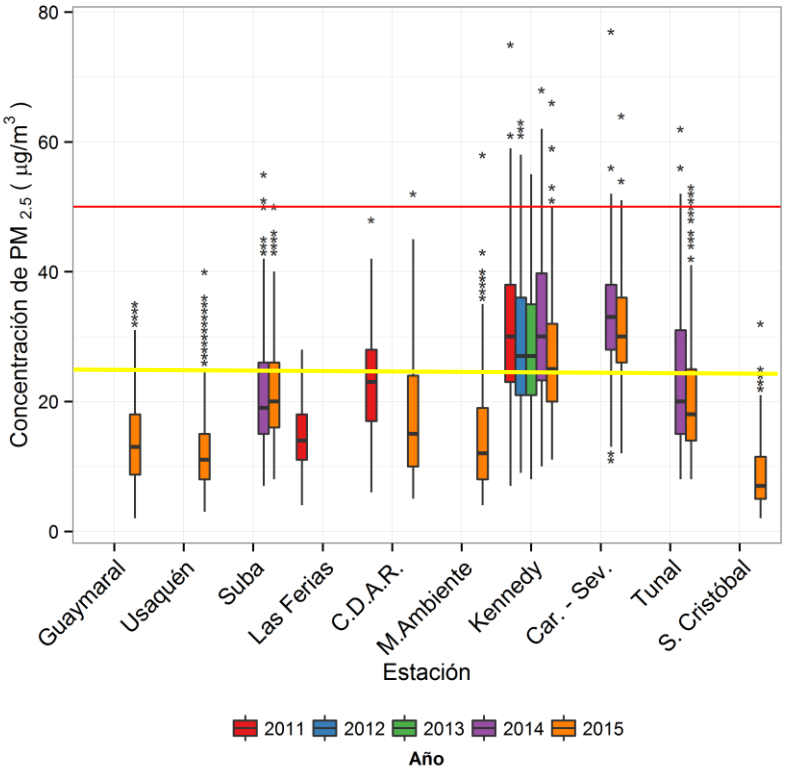


Figura 3-29. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% para el año 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Tabla 3-10. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de $PM_{2.5}$

Año	Promedio ciudad µg/m³ *	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
2011	31	75	17/03/2011	Kennedy
2012	28	63	17/02/2012	Kennedy
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy

* Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013.

3.1.4. Relación de concentración $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 3-11 muestra la relación de concentraciones promedio del año 2015 entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 75%. Nueve (9) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas fueron observadas en Centro de Alto Rendimiento, Las ferias, Tunal y Suba, lo cual indica que en el área cubierta por estas habría una mayor influencia por parte de las fuentes de combustión. Por el contrario San Cristóbal, Carvajal-Sevillana y Kennedy registraron los menores valores lo que puede ser indicativo de una mayor participación de material particulado grueso asociado a la influencia de la resuspensión de partículas.

En resumen, las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003) y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

Tabla 3-11. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el año 2015 y que tienen captura de datos superior a 75%.

Estación	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Guaymaral	14	31	0.45
Usaquén	13	30	0.43
Suba	22	47	0.47
Las Ferias	18	35	0.51
Centro de Alto Rendimiento	18	28	0.64
MinAmbiente	15	34	0.44
Puente Aranda	N.A.	53	N.A.
Kennedy	27	66	0.41
Carvajal - Sevillana	31	87	0.36
Tunal	21	43	0.49
San Cristóbal	9	26	0.35

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera. A continuación se da una breve descripción d ecada una de ellas[8,9]

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmosfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

El SO_2, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

En las secciones que se presentan a continuación, las concentraciones de los gases serán reportadas en unidades de masa por unidad de volumen. Es decir, las concentraciones de O_3, NO_2 y SO_2 se presentarán en $\mu g/m^3$ mientras que las correspondientes a CO en mg/m^3. El reporte en este sistema está acorde al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la

[8] Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

[9] DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE.UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA – Monóxido de Carbono. 2012

calidad del aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Teniendo en cuenta que en informes de años anteriores los resultados se reportaron en ppb y ppm, en el Anexo B se proporciona una tabla con los factores de conversión de unidades.

3.2.1. Comportamiento de la concentración de O_3

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el año 2015, los cuales se encuentran ubicados según se reporta en la **Tabla 1-1**.

Comportamiento de las concentraciones horarias de O_3

Durante el año 2015 se obtuvieron 84544 promedios horarios válidos de O_3 (frente a 82620 del año 2014), lo que representa un porcentaje de captura datos de 88% para toda la red; al tomar las estaciones representativas, se recuperaron 73426 datos, correspondientes al 76% del total posible. La captura de datos, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m^3 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora de ocurrencia por estación se presentan en la Tabla 3-12. La Figura 3-30 condensa la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

Tabla 3-12. . Resumen de la captura de datos horarios de O_3 por estación para el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m^3	Máximo [µg/m^3] [10]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[11]
Guaymaral	95	2	127	25/03/2015 15:00	10
Usaquén	96	33	176	31/10/2015 15:00	58
Suba	68	5	132	02/05/2015 14:00	6
Las Ferias	94	2	129	02/05/2015 14:00	3
Centro de Alto Rendimiento	89	8	162	02/05/2015 13:00	10
MinAmbiente	59	0	88	31/10/2015 14:00	0
Puente Aranda	92	1	126	24/02/2015 14:00	6
Kennedy	86	7	155	31/10/2015 14:00	11
Carvajal-Sevillana	93	0	110	31/10/2015 13:00	1
Tunal	98	0	99	08/05/2015 12:00	0
San Cristóbal	94	1	137	31/10/2015 14:00	2

En nueve (9) de las once (11) estaciones las estaciones se presentó una captura de datos superior a 75%, siendo Suba y MinAmbiente las estaciones con capturas menores debido a fallas operacionales del respectivo monitor. La concentración máxima reportada en la

[10] En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O_3, NO_2, CO y SO_2) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m^3 y µg/m^3.

[11] Mayor o igual a 108 µg/m^3 y menor o igual a 120 µg/m^3.

RMCAB fue 176 µg/m^3 en Usaquén el 31 de octubre de 2015 a las 3:00 p.m. En esta misma fecha a las 2:00 p.m. se presentaron máximos en las estaciones de MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana, y San Cristóbal, un hecho que sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel de la ciudad. El 02 de mayo de 2015 también se presentaron máximos para Suba, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento entre 1:00 y 2:00 p.m.

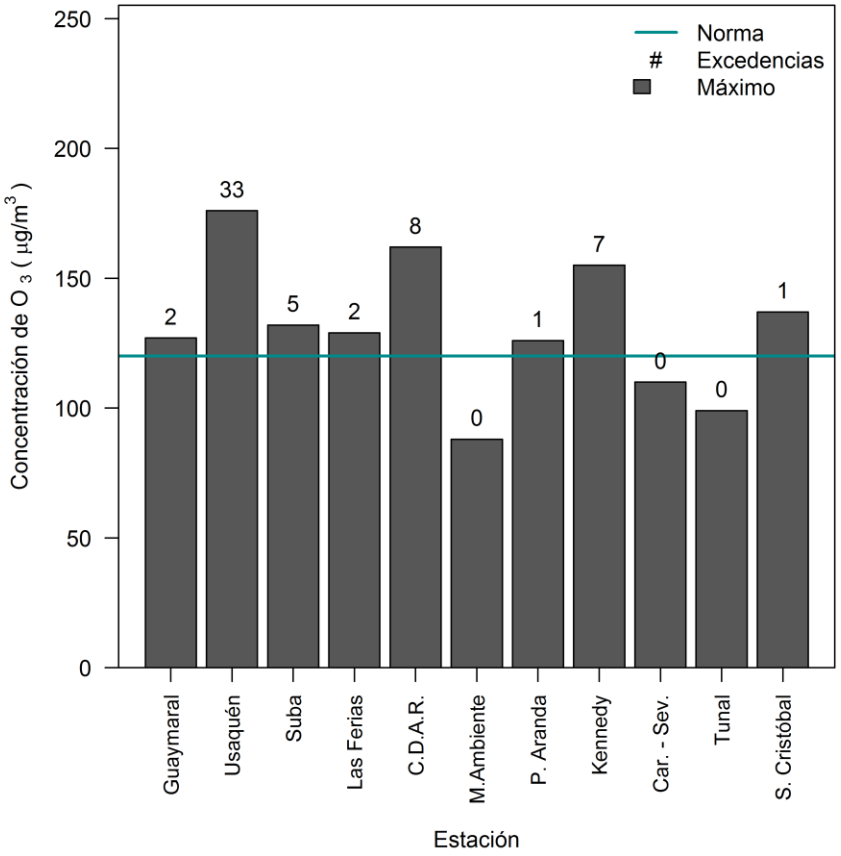


Figura 3-30. Máximos y excedencias de la norma de O_3 en base horaria por estación durante el año 2015.

De las once (11) estaciones con monitores de ozono, ocho (8) presentaron excedencias a la norma horaria. A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur y sur occidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana Tunal), tienden a registrar los menores niveles de ozono.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O_3

Los promedios móviles de ocho horas permiten suavizar las tendencias de las concentraciones horarias y determinar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 84724 datos (frente a 82146 del año 2014), promedios que representan el 88% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el año 2015, de estos, se tienen 73578 datos de las estaciones con captura de datos superior al 75%, lo cual corresponde al 76% de los datos totales posibles. El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios anuales, excedencias y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia se presenta en la Tabla 3-13. Los promedios anuales que se muestran en la tabla son para comparación mutua de las estaciones y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles ya que estos no consideran un tiempo de exposición anual.

Ocho (8) estaciones de las once (11) activas para este contaminante presentaron excedencias a la norma de 80 µg/m^3; es de destacar la estación de Usaquén que tuvo el 75% de las excedencias de la RMCAB, seguida por Centro de Alto Rendimiento y Kennedy con 6% cada una. La estación Usaquén se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles inusualmente elevados en horas de la noche.

El promedio anual más alto se presentó en Usaquén con 47µg/m^3 (por encima de los 31µg/m^3 registrados en el año 2014), el cual es seguido en magnitud por Las Ferias con 33µg/m^3 y San Cristóbal con 30µg/m^{3,} siendo un resultado atípico, pues esta estación se caracteriza por bajas concentraciones de este contamínate (20 µg/m3 para el año 2014). En contraste, los valores más bajos fueron observados en Carvajal-Sevillana, Puente Aranda, Kennedy, Tunal y Suba. Las diferencias observadas muestran que es más adecuado analizar la calidad del aire de Bogotá por sectores en lugar de calcular promedios a nivel ciudad. Se destaca el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2 y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual puede deberse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue 125µg/m^3 en Usaquén el 13 de septiembre de 2015 a las 4:00 p.m. En la misma fecha solo Las Ferias reportó sus máximos, lo cual no da evidencia de un evento adicional de altas concentraciones a nivel ciudad. Carvajal-Sevillana y Tunal, dos estaciones cercanas, presentaron máximos el 02 de mayo de 2015 a las 5:00p.m., lo cual evidencia un fenómeno local de contaminación Es importante mencionar que un promedio móvil de 8 horas incluye las concentraciones registradas entre las ocho horas previas al momento de interés con lo cual, el pico de Usaquén abarca horas con importante concentración de este contaminante.

Tabla 3-13. **.** Resumen de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio * anual (µg/m³)	Excedencias norma (8h) 80 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	96	22	20	95	18/02/2015 18:00
Usaquén	96	47	561	125	13/09/2015 16:00
Suba	68	21	31	105	04/05/2015 18:00
Las Ferias	94	33	19	94	13/09/2015 16:00
Centro de Alto Rendimiento	89	26	48	119	02/05/2015 18:00
MinAmbiente	59	22	0	72	20/10/2015 18:00
Puente Aranda	93	17	10	90	18/02/2015 18:00
Kennedy	86	22	42	115	31/10/2015 19:00
Carvajal-Sevillana	94	15	0	80	02/05/2015 17:00
Tunal	98	20	0	67	02/05/2015 17:00
San Cristóbal	94	30	21	92	26/10/2015 19:00

* Promedios con base en media 8 horas, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

La Tabla 3-14 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 µg/m³) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que febrero, septiembre y octubre abarcan el 68% de las excedencias anuales. En junio y julio no se presentaron excedencias, probablemente debido al comportamiento meteorológico de la ciudad, lo cual es coincidente con la disminución de la concentración de los contaminantes primarios. Los promedios anuales 8 horas se muestran solo a manera de intercomparación ya que no hay norma anual para este contaminante

Tabla 3-14. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 µg/m³) por estación y por mes durante el año 2015.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Guaymaral	0	10	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	20
Usaquén	11	108	33	29	44	0	0	22	134	169	11	0	561
Suba	0	0	0	0	21	0	0	0	0	9	1	0	31
Las Ferias	0	6	0	0	3	0	0	0	10	0	0	0	19
C.D.A.R.	1	16	1	0	19	0	0	0	7	4	0	0	48
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puente Aranda	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Kennedy	9	0	0	0	19	0	0	0	6	8	0	0	42
Carvajal-Sevillana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tunal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	3	0	21
Total de excedencias	21	150	38	29	112	0	0	22	165	200	15	0	752
Días de excedencias	3	11	8	2	4	0	0	2	17	19	4	0	70

La Figura 3-31 presenta el resumen en forma gráfica de máximos y excedencias del límite máximo permisible de la Resolución 610 de 2010 (80 µg/m^3) así como la comparación de los valores máximos con la guía de la Organización Mundial de la Salud de 100 µg/m^3 (Organización Mundial de la Salud, 2006) y con el límite normativo de los *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) de Estados Unidos y acogido por la US-EPA correspondiente a 75 ppb o 147 µg/m^3 (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

La comparación con el nivel recomendado por la OMS indica que cuatro (4) estaciones (Usaquén, Suba, C.D.A.R. y Kennedy) presentan excedencias frente al valor sugerido por esta entidad. Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue 125 µg/m^3, la RMCAB no presentó excedencias del límite normativo de los NAAQS. Con respecto a la normatividad europea que establece 120 µg/m^3 (European Comission - Environment, 2014), solo Usaquén presentó excedencias.

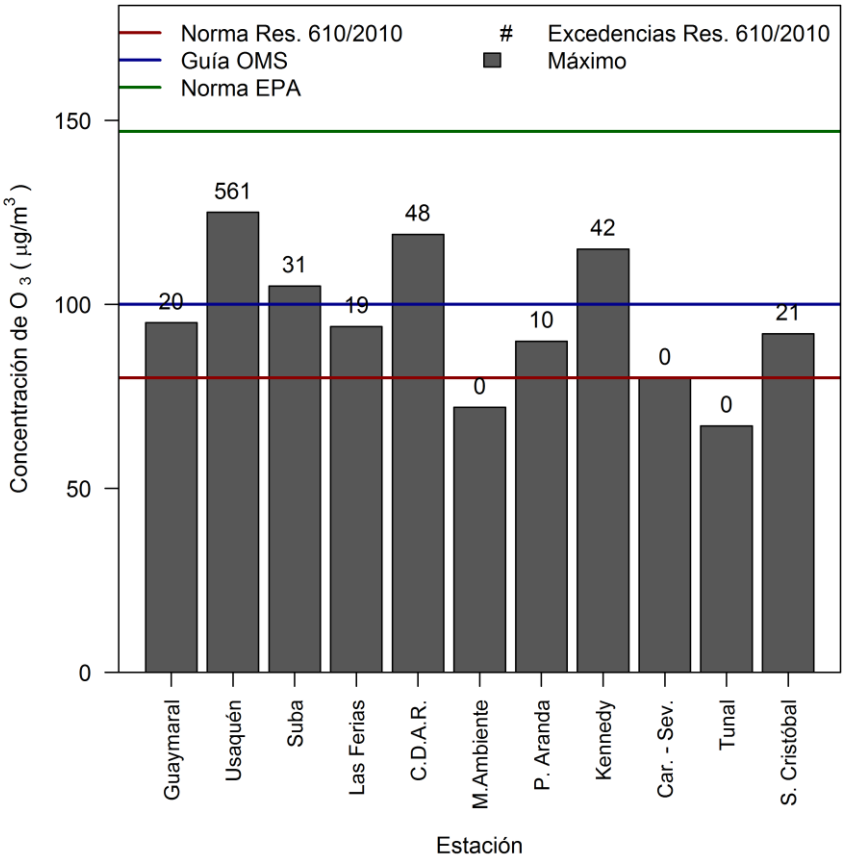


Figura 3-31.Concentraciones máximas y excedencias de la norma de O_3 (80 µg/m^3) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el año 2015.

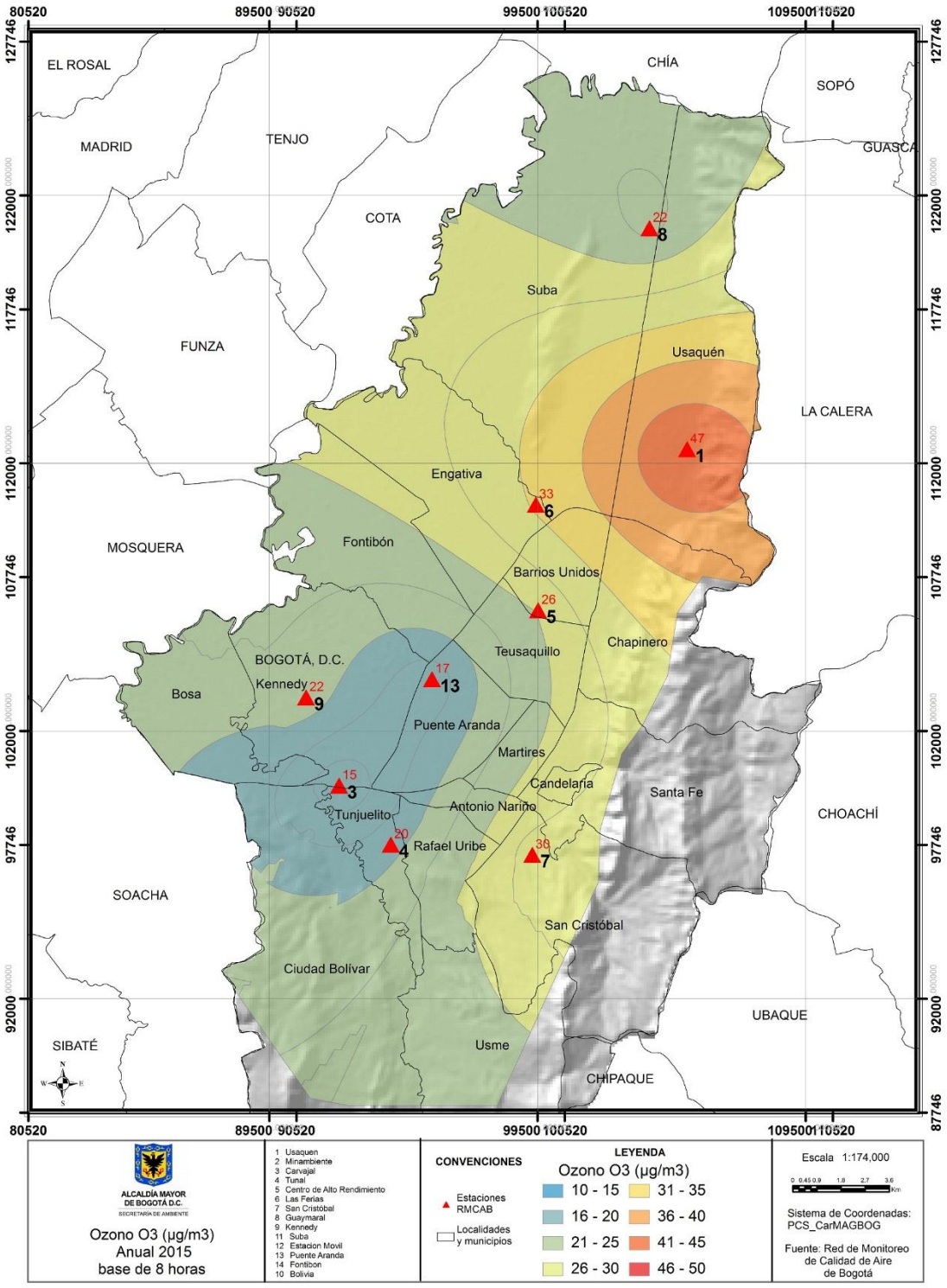


Figura 3-32. Concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Año 2015

Comportamiento temporal del O_3

La Figura 3-33 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de O_3, agrupado por días de la semana y estaciones de monitoreo (promedios móviles de 8 horas). Las distribuciones con los niveles más altos de concentración de acuerdo con la mediana como medida de tendencia central son los domingos, seguidos de los lunes. Las concentraciones de este contaminante de acuerdo a la mediana, son muy similares para todos los días laborales. Las estaciones localizadas al norte de la ciudad, especialmente Usaquén, mostraron mayor grado de dispersión y mayores valores de concentración de O_3 en comparación con aquellas localizadas al sur, aunque para este año el comportamiento en San Cristóbal difiere del 2014 al tener valores de concentración altos frente a otras estaciones como Carvajal-Sevillana y Tunal, sin embargo, se mantiene comparable a los valores registrados por C.D.A.R. Una comparación de los valores de concentración por días de la semana del año 2015 frente a la norma 8 horas (80µg/m³), muestra que todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana y Tunal, en ocasiones exceden la norma. Para la estación de Usaquén y Kennedy se presentan excedencias todos los días, para otras estaciones como Las Ferias se puede ver que en los días laborables se encuentra al límite del incumplimiento de la norma, ocurriendo esto mismo para Carvajal-Sevillana en los fines de semana.

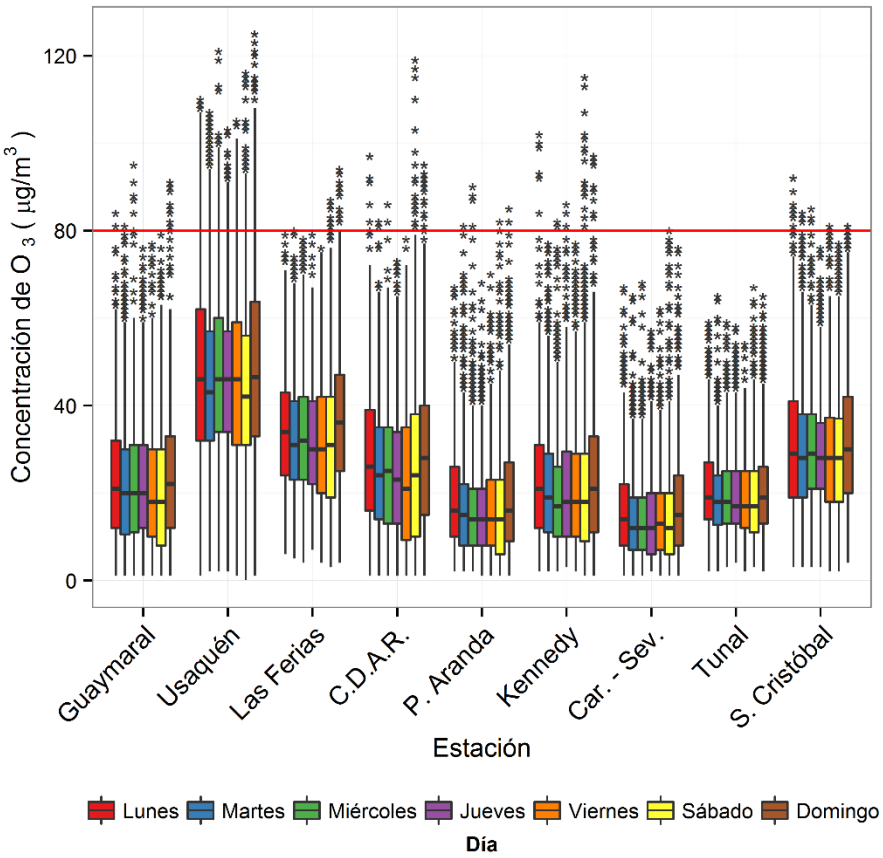


Figura 3-33. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses de 2015 se presenta en la Figura 3-34. Las menores concentraciones fueron observadas en general para el mes de mayo y junio, coincidiendo con los demás contaminantes. En Usaquén y San Cristóbal la segunda mitad del año presenta mayores valores de concentración de ozono a diferencia de las otras estaciones donde las concentraciones de los primeros meses del año y la mitad del segundo semestre son comparables. Se destaca el diagrama de caja de Usaquén del mes de agosto en el cual la magnitud de las concentraciones y el grado de dispersión es notablemente mayor en comparación con los demás meses, presentándose este mismo comportamiento pero en menor medida para las demás estaciones. Se observa también que a mayores valores de concentración por mes, la dispersión de los datos es mayor.

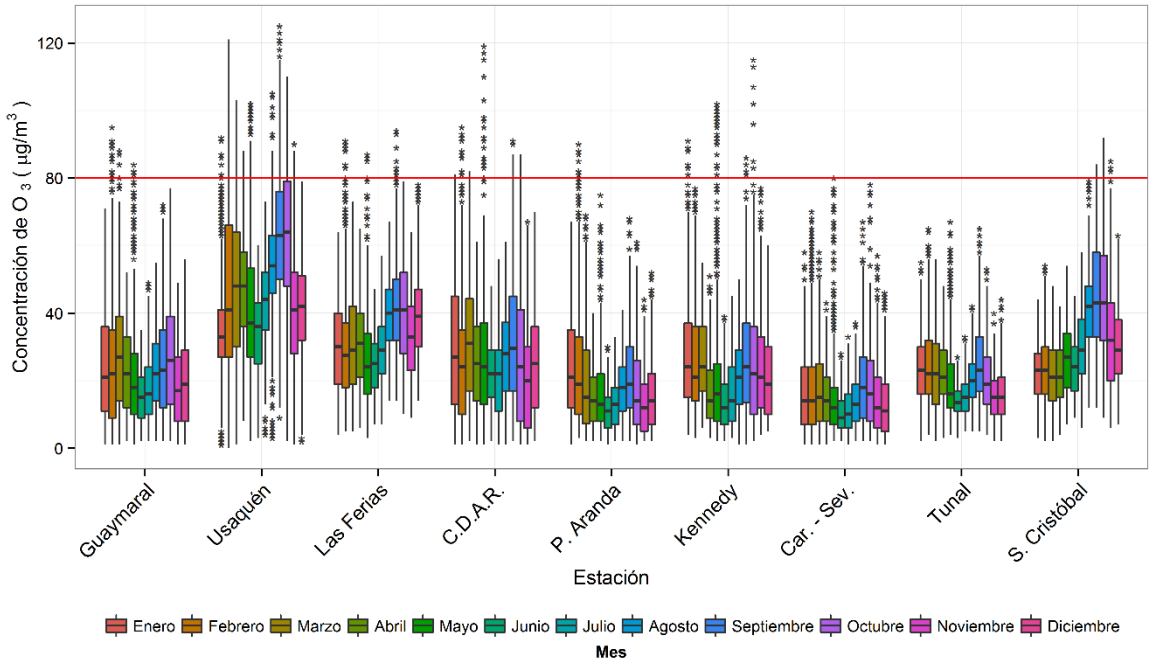


Figura 3-34. Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del año y captura de datos superior a 75% para 2015.
La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de O_3

La Figura 3-35 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Como se mencionó en la sección previa, se observa que las mayores concentraciones fueron observadas los días domingo, sin embargo se observa un comportamiento bastante homogéneo a través de la semana para la concentración de este contaminante, en especial para los días laborales. . La variabilidad de los ciclos depende de la estación a analizar, sin embargo Los ciclos más homogéneos se observaron en Tunal y San Cristóbal. En esta figura también es posible observar que las estaciones ubicadas al

norte y centro-oriente de la ciudad registran los niveles más altos de ozono. San Cristóbal representa un caso especial de alta concentración al ser históricamente una zona de baja presencia de este contaminante.

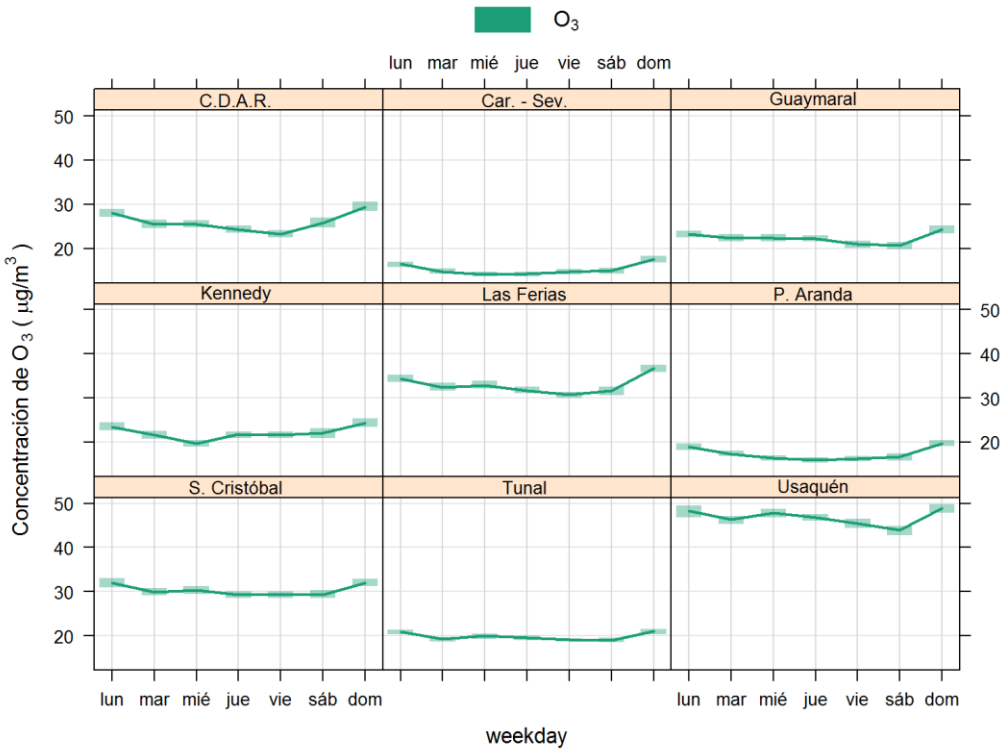


Figura 3-35. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. Año 2015

Los ciclos diarios de la Figura 3-36 muestran la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaquén, Las Ferias y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, Usaquén presenta un residual más grande que el resto de las estaciones en horas debido a las altas concentraciones del día anterior, sin embargo es un tema que requiere de una investigación más profunda.

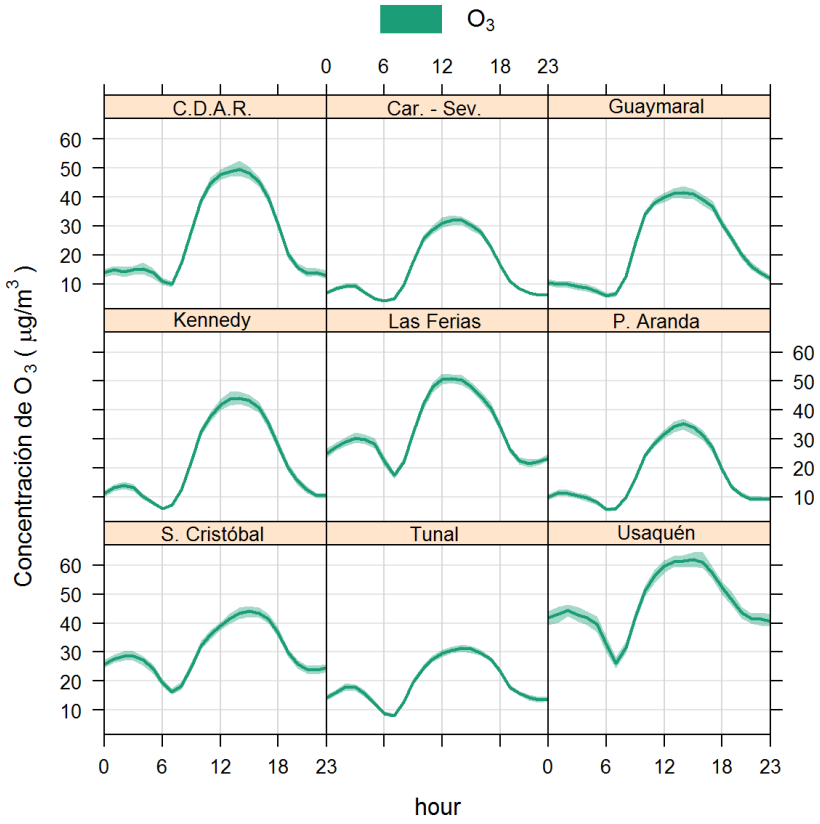


Figura 3-36. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día. Año 2015

Comportamiento histórico del O_3

La Figura 3-37 es un diagrama *cajas* que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo para los años 2011 a 2015. En los periodos estudiados las concentraciones más altas se han observado en la estación Usaquén mientras que las más bajas se han observado en Carvajal-Sevillana y se observa un incremento apreciable en San Cristóbal y Las Ferias Con respecto a años anteriores. En general se denota un aumento consistente en la concentración de ozono a través de los años de estudio, esto indica que puede existir mayor concentración de precursores secundarios y radiación solar, lo que convierte a este contaminante en asunto de interés en el futuro cercano. Entre 2011 y 2014 las concentraciones se han mantenido estables para Guaymaral, Carvajal-Sevillana, Puente Aranda y Tunal; no es posible establecer el comportamiento de estaciones como Suba y MinAmbiente por falta de captura de datos en el año 2015.

En términos de dispersión se observa que las estaciones localizadas al norte presentan mayores distribuciones, en contraste con el sur y el occidente de la ciudad, sin embargo, la dispersión ha disminuido para todas las estaciones frente a años anteriores a excepción de Carvajal-Sevillana y San Cristóbal. Una comparación de los valores de concentración por

estación a través del año frente a la norma 8 horas (80µg/m³), muestra ninguna mediana superó el valor establecido por norma y las excedencias son en general, datos extremos [12]

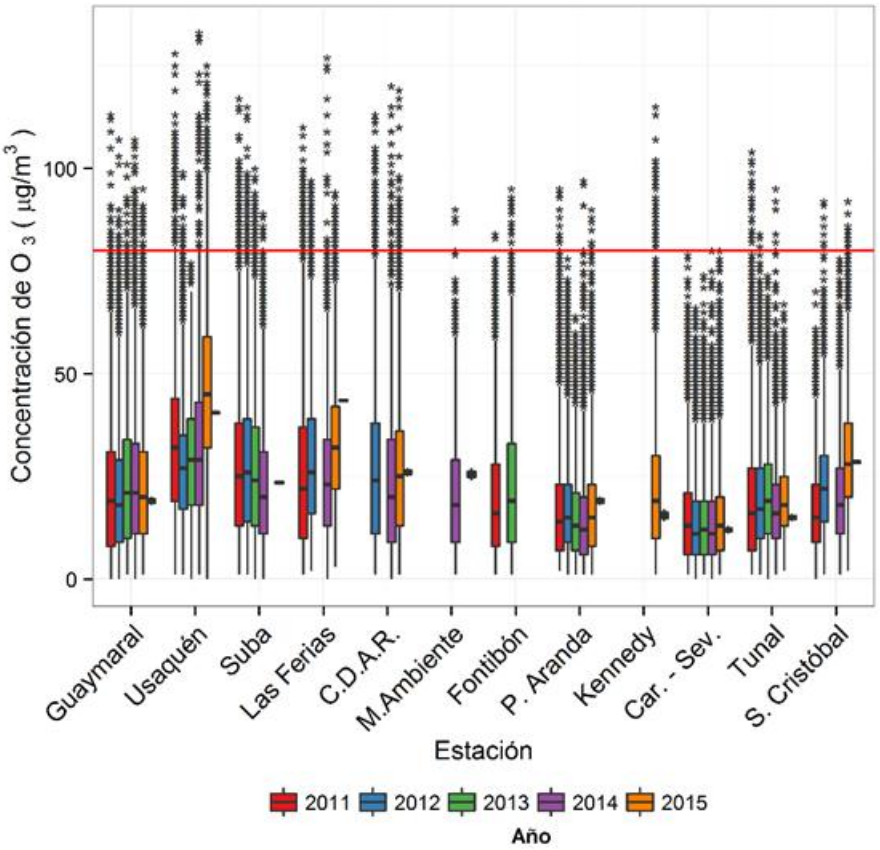


Figura 3-37. Presentación del gráfico de *cajas* de O_3 en función de las estaciones de monitoreo en el año 2015 entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).
La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

La Tabla 3-15 es un resumen histórico de las concentraciones promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas en el periodo comprendidos por los por los años 2011 a 2015. En los 5 años estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto es de 26µg/m^3 correspondiente al año 2015; el máximo correspondió a 133µg/m^3 en la estación Guaymaral para el año 2014 a las 7:00 p.m. Para todos los años, los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche donde el efecto de radiación a través del día es más notorio; se debe tener en cuenta que por ser medias móviles, se presenta un corrimiento natural de los valores máximos, frente a lo reportado en los datos horarios.

El aumento de los promedios de concentración, indican que se han aumentado las fuentes de emisión de precursores y que las excedencias a la norma pueden llegar a ser aún más

[12] Se debe tener en cuenta que no existen normas anuales de O3 y la comparación se realiza a manera de referencia entre estaciones y años

frecuentes. Los promedios se muestran a manera de comparación entre estaciones ya que no existe norma anual para este contaminante.

Tabla 3-15. Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de O_3 en promedios móviles de 8 horas

año	Promedio ciudad µg/m³ *	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
2011	22	128	25/01/2011 18:00	Usaquén
2012	23	132	16/02/2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén

* Promedios con base en media móvil 8 horas, incluye solo estaciones representativas

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO_2

En el año 2015, se contó con 8 estaciones fijas para el monitoreo de óxidos de nitrógeno, tal como se indica en la **Tabla 1-1**. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento anual de las concentraciones de NO_2

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible de concentración para NO_2 en un tiempo de exposición de un año es de 100µg/m^3. Tabla 3-16 presenta las concentraciones anuales de NO_2 para los años 2014 y 2015, con base en promedios diarios en las estaciones con captura de datos temporal superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes frente al año anterior. La Figura 3-38 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en promedios diarios) que monitorearon este contaminante durante 2015.

La Tabla 3-16 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de NO_2 por estación y permite establecer que de las ocho (8) estaciones, el 25% es decir dos estaciones, no cuentan con la captura de datos necesaria para reportar promedios anuales. Se observa que las mayores concentraciones de este contaminantes se presentan en Carvajal-Sevillana y Las ferias con 53µg/m^3 y 41µg/m^3 respectivamente y solo dos estaciones permiten calcular el cambio de los valores entre el año 2014 y 2015 por captura de datos inferior al 75%, con esto, en Puente Aranda se presentó una disminución de 7µg/m^3 y en Guaymaral un leve aumento de 1µg/m^3.

Tabla 3-16. Concentración anual de NO_2 durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m^3

Estación	Promedio 2014 (µg/m^3)	Promedio 2015 (µg/m^3)	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m^3)
Guaymaral	23	24	1
Suba	26	N.R	
Las Ferias	N.R.	41	
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	33	
Puente Aranda	39	32	-7
Kennedy	34	N.R.	
Carvajal-Sevillana	N.R.	53	
Tunal	N.R.	29	

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

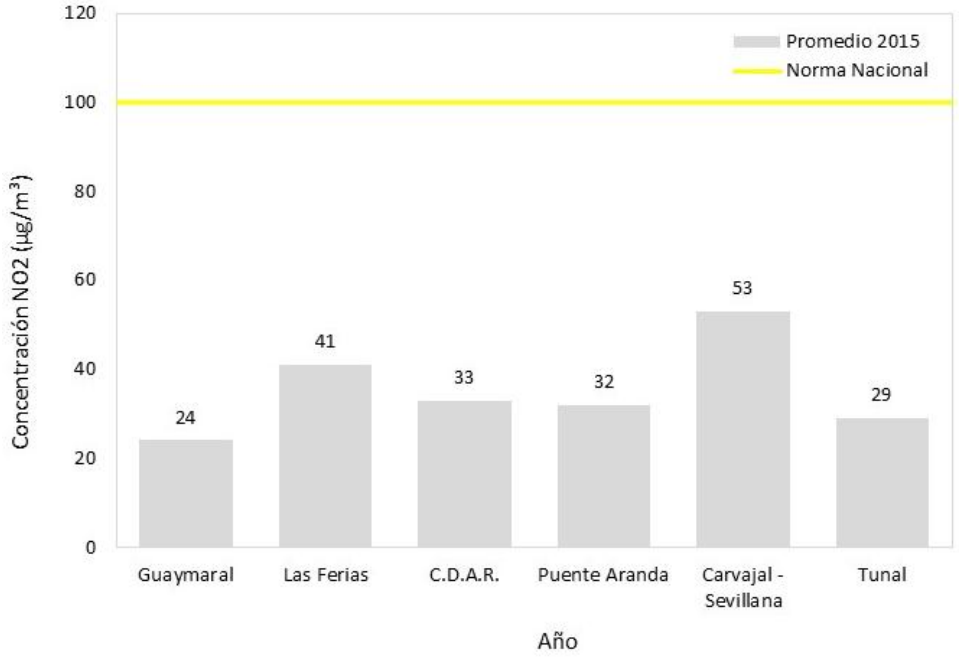


Figura 3-38. Promedios anuales de NO_2 basados en datos diarios durante el año 2015 por estación de monitoreo.

La Figura 3-38 muestra de manera gráfica el comportamiento promedio de este contaminante por estación. Se observa que a pesar de que Carvajal-Sevillana y Puente Aranda se encuentran en zona industrial, La diferencia en la concentración de NO_2 es notable, probablemente debido a que Carvajal-Sevillana está más influenciada por el componente local de fuentes móviles. Se observa también que ningún promedio supero la norma anual vigente.

Comportamiento de los promedios horarios de NO_2

Durante el periodo analizado se obtuvieron 56435 promedios horarios validos (25% más que en el año 2014 en el que se obtuvieron 45282 datos), que corresponden a una captura global de datos de 81% entre las estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con captura de datos superior al 75%, se encuentra que seis (6) de las ocho estaciones cuentan con más del 75% de los datos. La Figura 3-39 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO_2, con base de tiempo horaria. Los valores de porcentajes de captura de datos, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-17. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma horaria (200 µg/m^3), se presentan excedencias sobre el 75% de la norma para Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana.

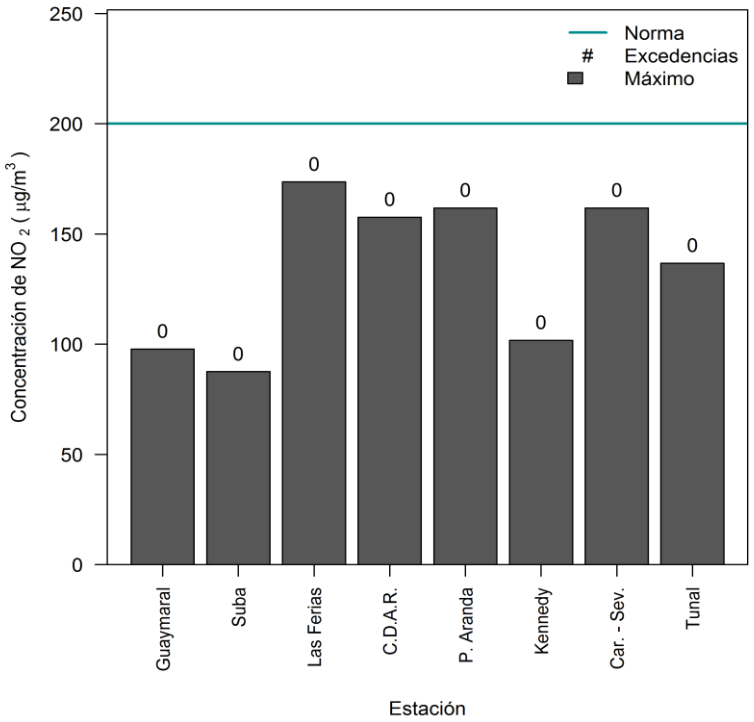


Figura 3-39. Máximos y excedencias de los datos horarios de NO_2 por estación durante el año 2015

La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en el periodo de análisis fue 174µg/m^3 el 05 de mayo de 2015 a las 09:00a.m., en la estación Las Ferias. Para esta fecha no se presentaron eventos de máxima concentración en otras estaciones, tampoco se presentaron coincidencia para otros días del año, li cual significa que no hubo episodios generalizados de altas concentraciones por este contaminante

Tabla 3-17. **.** Resumen de la captura de datos horarios de NO_2 por estación para el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[13]
Guaymaral	93	98	16/09/2015 22:00	0
Suba	30	88	30/03/2015 18:00	0
Las Ferias	87	174	05/05/2015 08:00	3
Centro de Alto Rendimiento	87	158	04/05/2015 09:00	2
Puente Aranda	97	162	29/10/2015 09:00	1
Kennedy	60	102	24/02/2015 10:00	0
Carvajal-Sevillana	94	162	24/02/2015 10:00	1
Tunal	96	137	22/10/2015 09:00	0

[13] Mayor a 150 µg/m^3 y menor o igual a 200 µg/m^3

Comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2

Se obtuvieron 2335 valores diarios de NO_2, cuya captura de datos corresponde al 93% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición. Al igual que con los datos horarios, seis (6) estaciones cuentan con capturas superiores al 75%. La Figura 3-40 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO_2, en base de tiempo diaria. En la Tabla 3-18 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios anuales 8 horas, máximos con sus fechas de ocurrencia, y cantidad de datos superiores al 50% del límite máximo permisible, por estación. De estos valores diarios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para un tiempo de exposición de 24 horas (150µg/m^3.

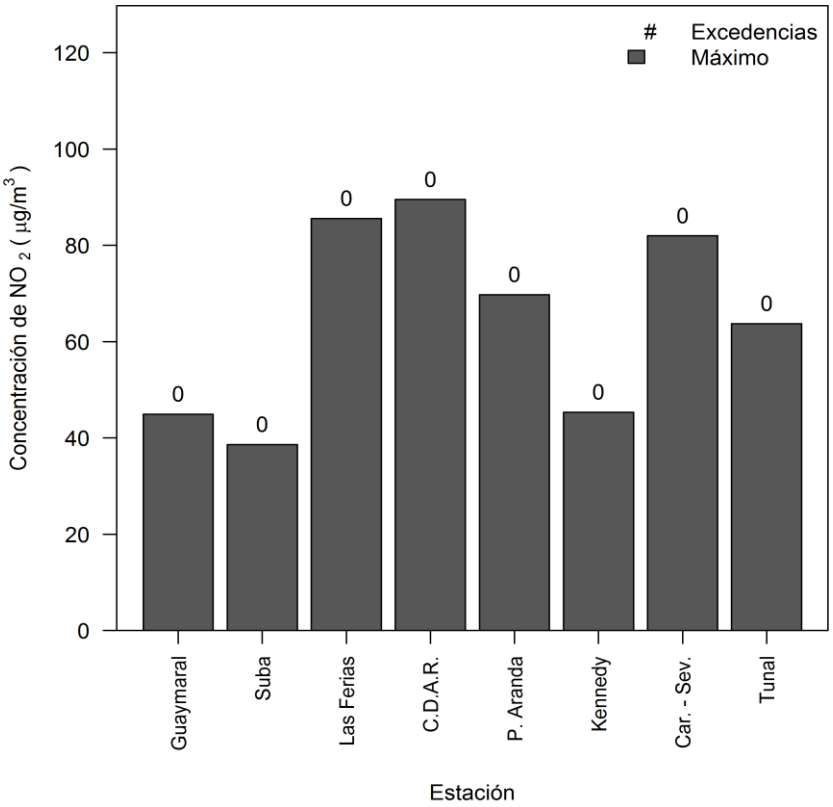


Figura 3-40. Excedencias y concentraciones máximas de NO_2 en base diaria por estación para el año 2015.

La máxima concentración diaria reportada en la RMCAB fue 90µg/m^3 en la estación Centro de Alto Rendimiento el 01 de mayo de 2015 (frente a 93µg/m^3 del año 2014 en Las Ferias y Puente Aranda), No hay coincidencia entre fechas y lugares de ocurrencia de los máximos diarios para este contaminante, por lo cual se puede inferir que no se presentaron episodios de contaminación relevantes para la salud, conforme a la normativa nacional.

Tabla 3-18. . Resumen de la captura de datos diarios de NO_2 por estación para el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio (µg/m³)	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos superior al 50% de la norma diaria [14]
Guaymaral	92	24	45	05/11/2015	0
Suba	29	22	39	19/03/2015	0
Las Ferias	86	41	86	04/05/2015	6
Centro de Alto Rendimiento	86	33	90	01/05/2015	4
Puente Aranda	97	32	70	17/01/2015	0
Kennedy	58	25	45	03/03/2015	0
Carvajal-Sevillana	95	53	82	02/05/2015	6
Tunal	96	28	64	17/04/2015	0

* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

[14] Mayores a 75 µg/m³.

Calendario de contaminación por NO_2 durante el año 2015

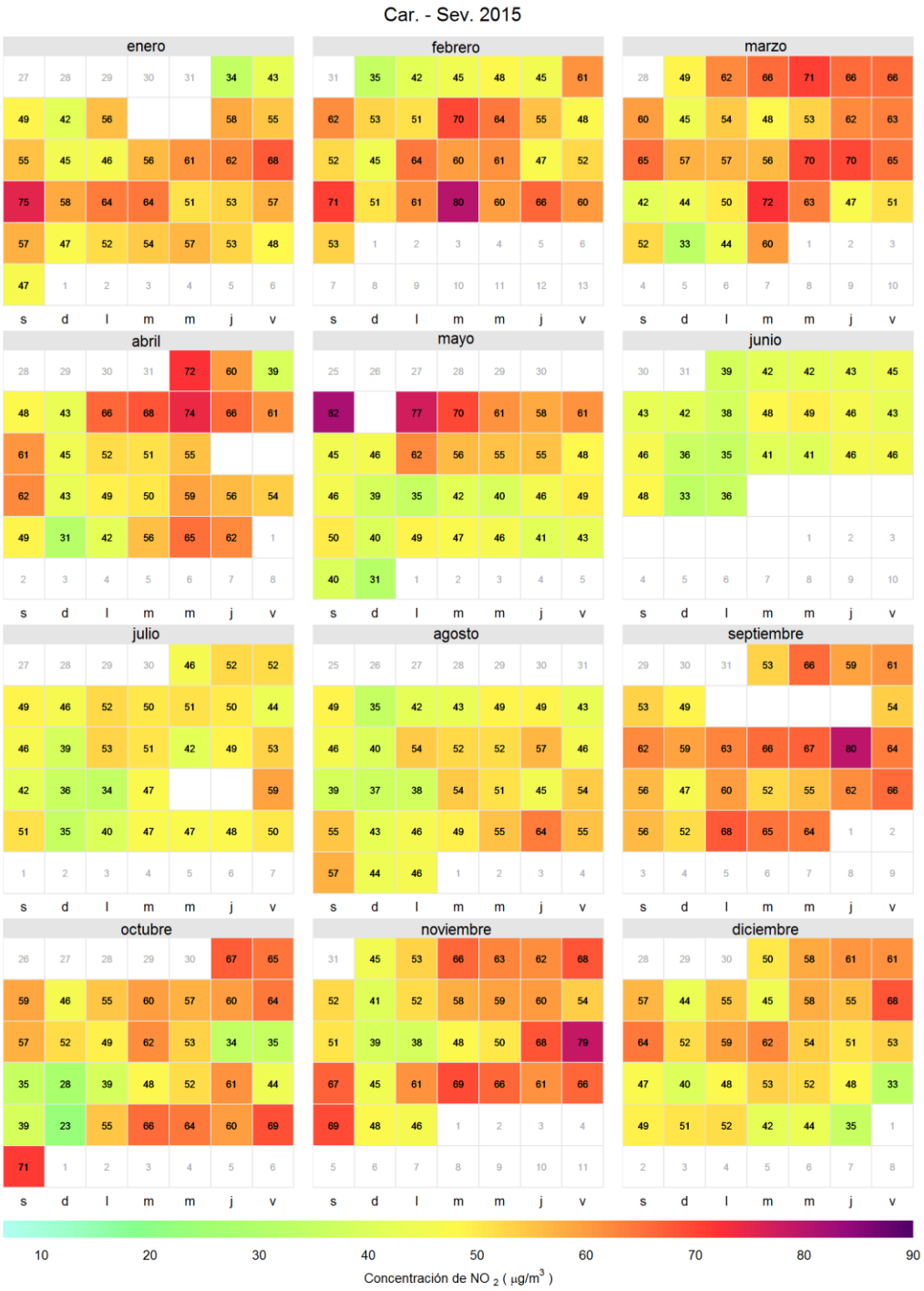


Figura 3-41. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3.

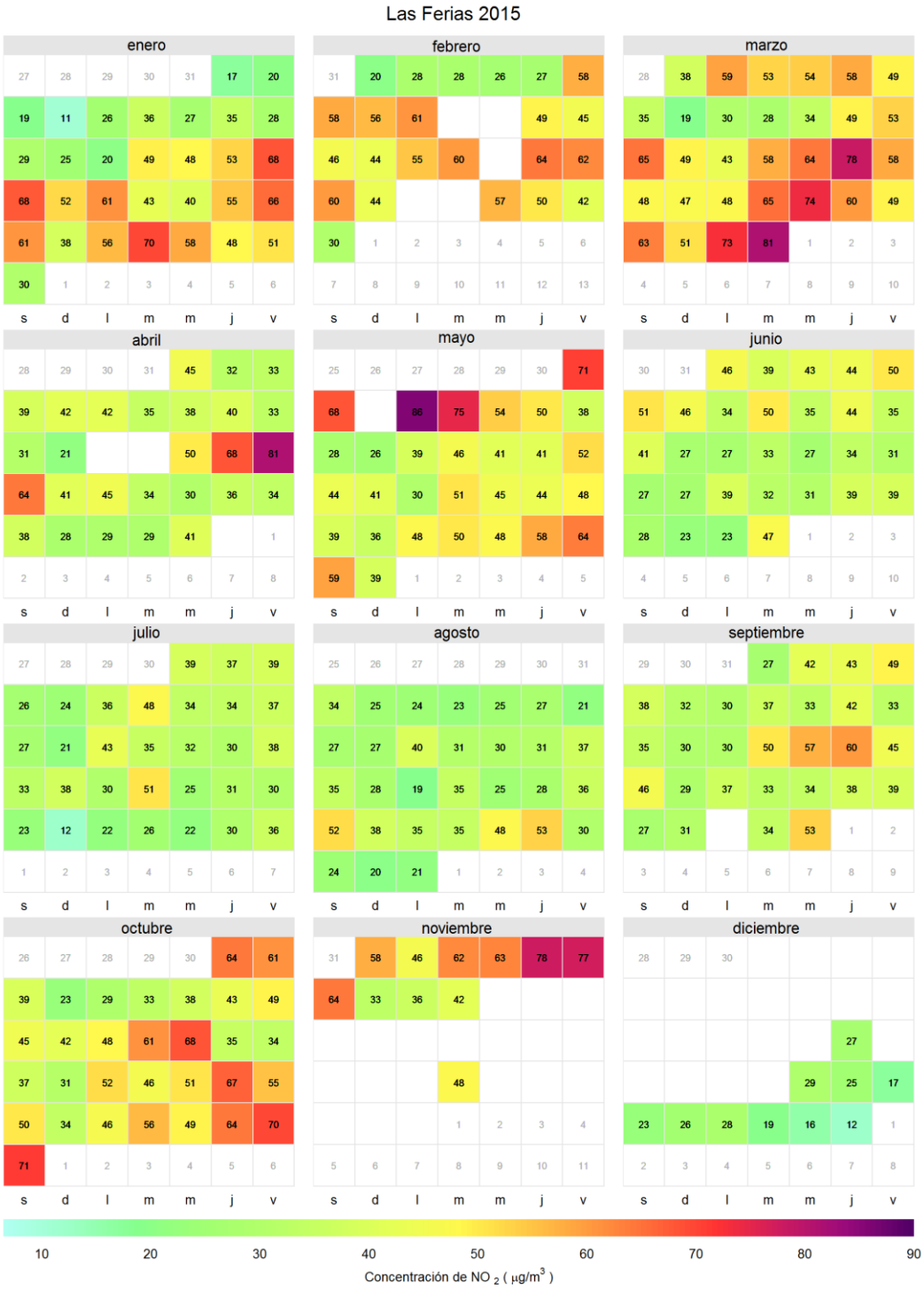
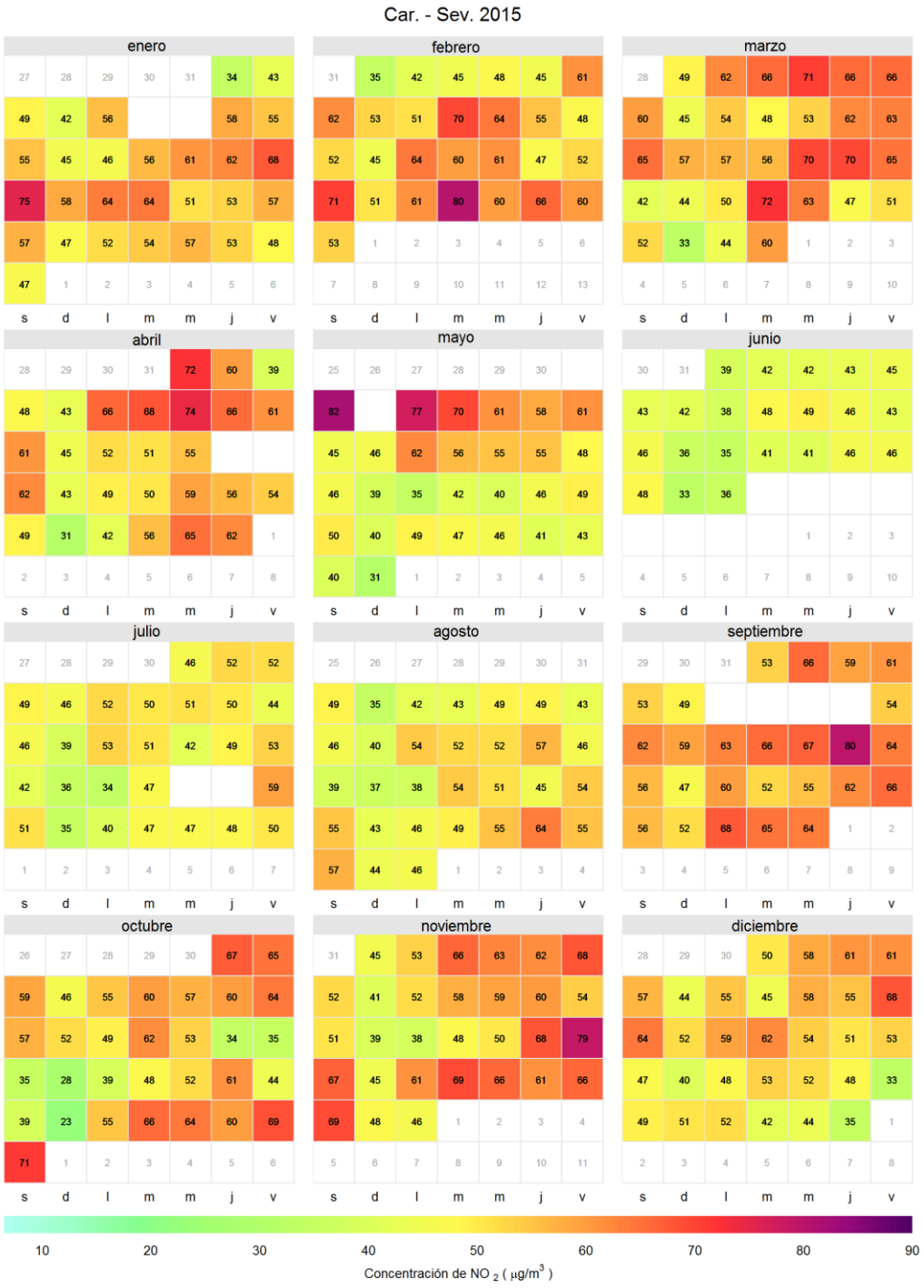


Figura 3-42. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3.



Figura 3-43. Calendario de concentración para NO_2 durante el año 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m^3.


Car. - Sev. 2015
enero
febrero
marzo
abril
mayo
junio
julio
agosto
septiembre
octubre
noviembre
diciembre
s d l m m j v
10 20 30 40 50 60 70 80 90
Concentración de NO 2 (µg/m3)

La

Figura 3-41, la

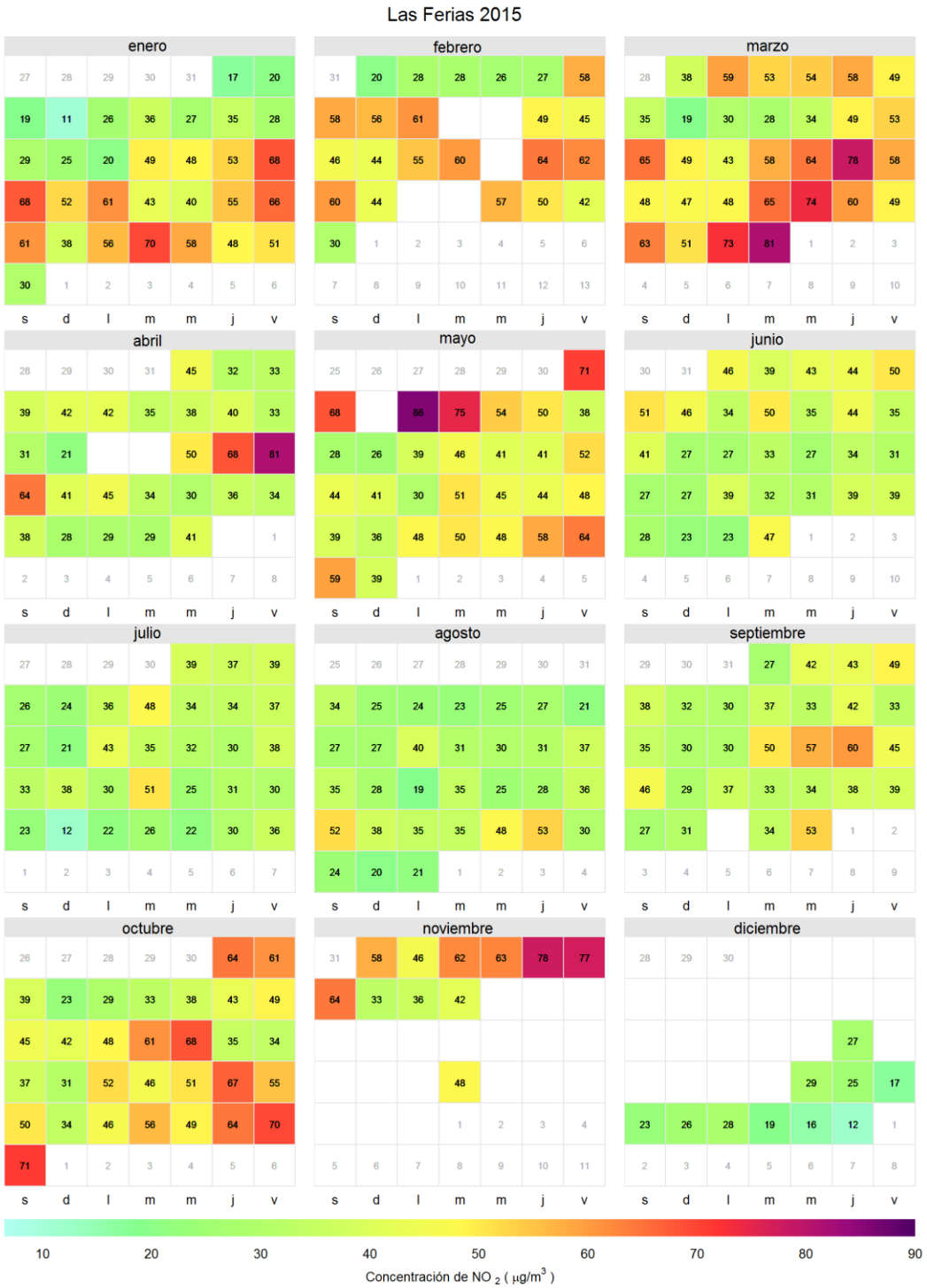


Figura 3-42 y la



Figura 3-43 corresponden a calendarios de las concentraciones diarias de NO_2 para las estaciones Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Guaymaral, que registraron, de acuerdo a promedios anuales representativos, concentraciones en rangos altos, medios y bajos, respectivamente. Se observa que para las tres estaciones, los meses con las mayores concentraciones corresponden a Febrero y marzo en el primer semestre y a Octubre y noviembre en el segundo; las menores concentraciones de NO_2 se encuentran en Junio, lo cual es coincidente con el comportamiento general de los contaminantes en la ciudad debido a la meteorología. Los calendarios de las tres estaciones permiten evidenciar el contraste espacial en Bogotá en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO_2

La Figura 3-44 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% y de los días de la semana. Se observa que los domingos reportaron las concentraciones más bajas del año, esto, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes con el comportamiento del material particulado como contaminante primario. Los días lunes siguen a los domingos en esta tendencia, posiblemente por la influencia de las bajas concentraciones (menor residual) de los domingos y la presencia de un mayor número de días festivos. Los rangos intercuartílicos tienden a ser mayores en Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento, consecuencia del nivel de actividad desarrollado en sus respectivas zonas de influencia. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma horaria (200µg/m³), la norma diaria (150µg/m³) y la norma anual (100µg/m³), muestra que ninguno de los valores registrados en las estaciones son excedidas por ninguna estación a través del año.

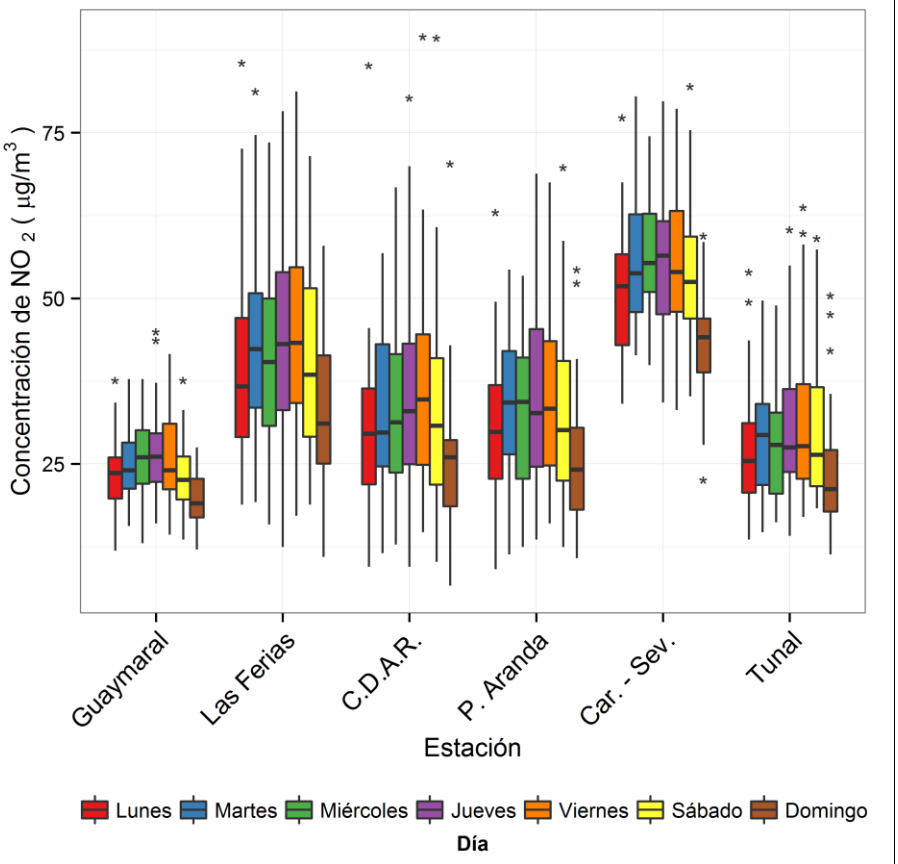


Figura 3-44. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Año 2015. La norma aplicable es de 150µg/m³

La Figura 3-45 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los meses del año 2015, y de las estaciones de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75%. Para todos los sitios se observa que los niveles se reducen en los meses de junio y julio, producto de la variabilidad anual de la velocidad de los vientos. En todas las estaciones se observa que el mes de enero igualmente presenta concentraciones bajas, lo cual se atribuye a la reducción de la actividad de la ciudad durante sus primeros días. Los meses con las concentraciones más altas son por lo general febrero y marzo (a excepción de Puente Aranda donde enero tuvo las mayores concentraciones), así como octubre y noviembre (excepto Carvajal-Sevillana en este último). En cuanto a la comparación de los valores de concentración mensual a través del año frente a la norma horaria, diaria y anual, se encuentra que ninguna estación supera estos valores limites a través del año.

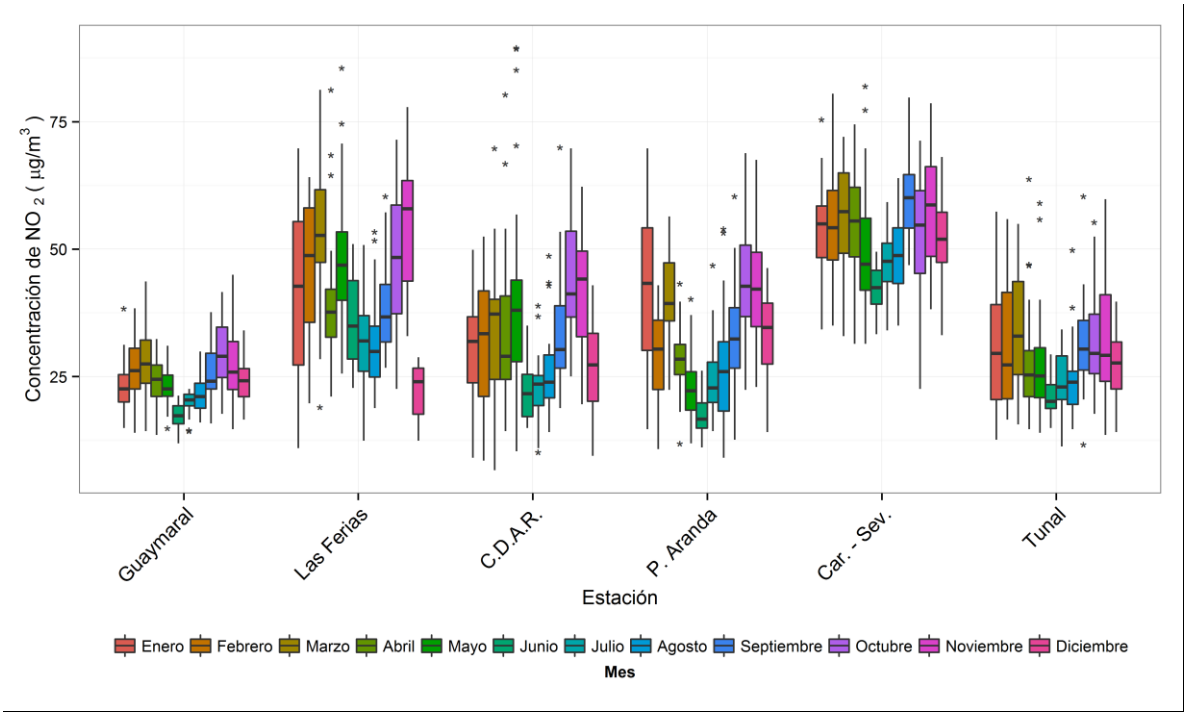


Figura 3-45. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 en función de los meses del año 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con captura de datos mayor a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO_2

Los ciclos semanales de la Figura 3-46 muestran que el domingo es el día con los menores valores de concentración a través del año. Los días laborales presentan las mayores concentraciones debido a la dinámica industrial y de movilidad de la ciudad. Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana y Las Ferias presentan los ciclos más variables y con mayores magnitudes.

La Figura 3-47 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una captura de datos superior a 75%. En todas las estaciones se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana y a la noche. Al medio día ocurre una reducción significativa, estableciendo un mínimo, el cual es producto del consumo de NO_2 y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 8:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O3.

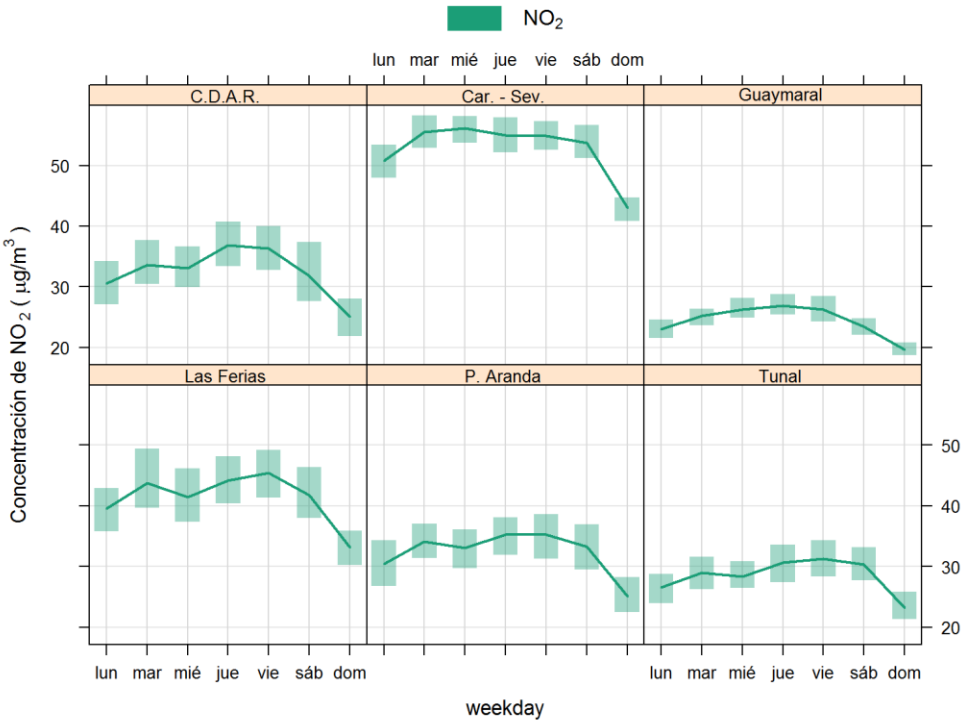


Figura 3-46. Ciclos semanales de las concentraciones de NO_2 para cada uno de los monitores con captura de datos temporal igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.

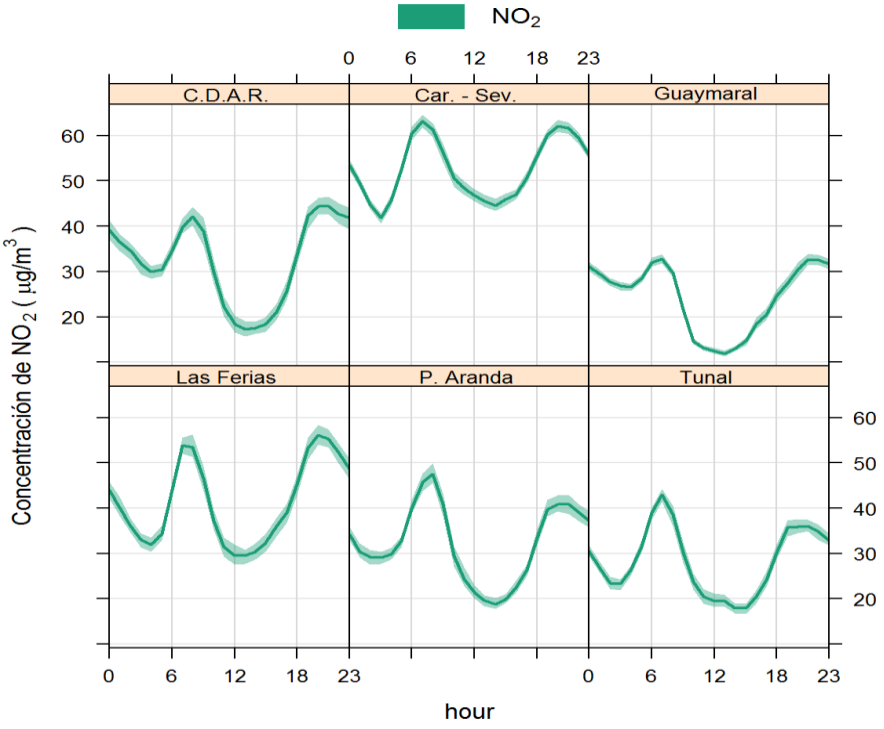


Figura 3-47. Ciclos diarios de las concentraciones de NO_2 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de NO_2.

La Figura 3-48 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO_2 calculada con las estaciones con captura de datos superior a 75% en el periodo 2011 2014. Con los datos históricos disponibles se observa una tendencia a un ligero aumento en la concentración si se compara con el periodo 2012-2013 y estable frente al año 2011. Para el año 2015 se observa una mayor dispersión de datos frente a los años anteriores.

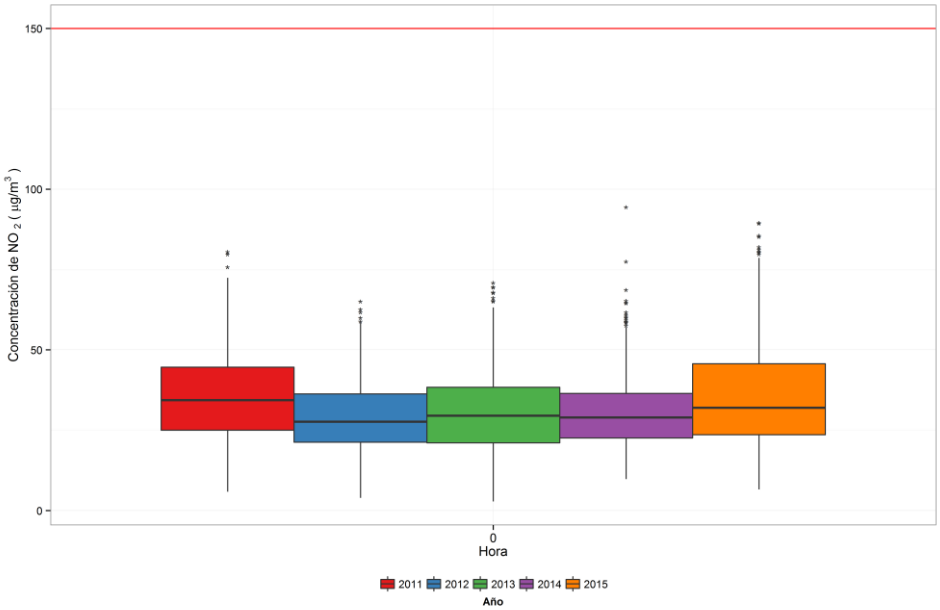


Figura 3-48. Presentación del gráfico de *cajas* para NO_2 por estaciones en base diaria para el periodo 2011 a 2015.

La Tabla 3-19 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO_2 entre 2011 y 2015. El máximo valor reportado por la RMCAB en los 5 años considerados fue 93 µg/m^3 en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda el 20 de noviembre y el 19 de diciembre de 2014. Este valor corresponde al 62% del límite máximo permisible de 150 µg/m^3 establecido en la Resolución 610 de 2010. Como se observa en la tabla, Las Ferias, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana predominan en el reporte de valores altos de este contaminante.

Tabla 3-19. Resumen de máximos históricos de concentración de NO_2 en base diaria

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	89	26/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	77	14/04/2012 y 29/02/2012	Las Ferias y Carvajal
2013	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	90	01/05/2015	Centro de Alto rendimiento

3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO_2

La RMCAB contó con ocho (8) analizadores de dióxido de azufre (SO_2) ubicados según la configuración mostrada en la **Tabla 1-1**. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones con captura de datos adecuada, permitieron calcular las concentraciones promedio anuales, diarias y móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Comportamiento de las concentraciones anuales de SO_2

La Tabla 3-20 presenta las concentraciones promedio anuales de SO_2 para 2014 y 2015 así como el respectivo cambio para los analizadores con captura de datos superior a 75%. Con respecto a 2014, todas las estaciones donde es posible hacer la comparación, redujeron sus valores de concentración anual. Solo en cuatro de las ocho estaciones fue posible realizar el análisis debido a fallas en la adquisición de los datos.

Tabla 3-20. Concentraciones promedio anuales de SO_2 con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años.

Estación	Promedio 2014 (µg/m^3)	Promedio 2015 (µg/m^3)	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m^3)
Suba	7,3	N.R.	N.R.
Las Ferias	3,4	N.R.	N.R.
Centro de Alto Rendimiento	4,4	3,4	-0,96
Puente Aranda	4,2	3,3	-0,94
Kennedy	N.R.	5,4	N.R.
Carvajal-Sevillana	N.R.	N.R.	N.R.
Tunal	N.R.	N.R.	N.R.
San Cristóbal	1,7	1,1	-0,56

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Los promedios anuales de 2015 se observan de forma gráfica en la

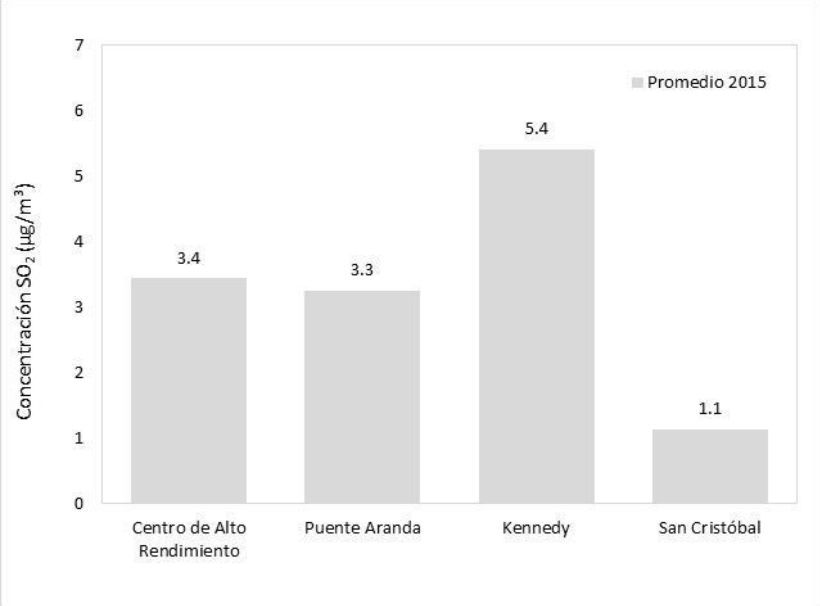


Figura 3-49. Kennedy presentó el promedio anual de SO_2 más alto de la RMCAB con un valor de 5,4µg/m³ (frente a 7,3µg/m³ de Suba en el 2014), el cual establece un contraste con las otras tres estaciones que se encuentran en el rango comprendido entre 1,1 µg/m³ (San Cristóbal) y 3,4 µg/m³ (Centro de Alto Rendimiento). Como se observará en los siguientes apartes, la estación Kennedy presenta picos importantes de este contaminante en horas de la mañana.

El límite máximo permisible anual de SO_2 de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 80 µg/m³. Este valor es notablemente superior a las concentraciones anuales registradas en la RMCAB. El valor promedio máximo de 5,4µg/m³ representa el 6% del límite normativo, indicando que tiene un bajo riesgo en términos de protección a la salud pública en comparación con, por ejemplo, PM_{10} y $PM_{2.5}$ e incluso ozono.

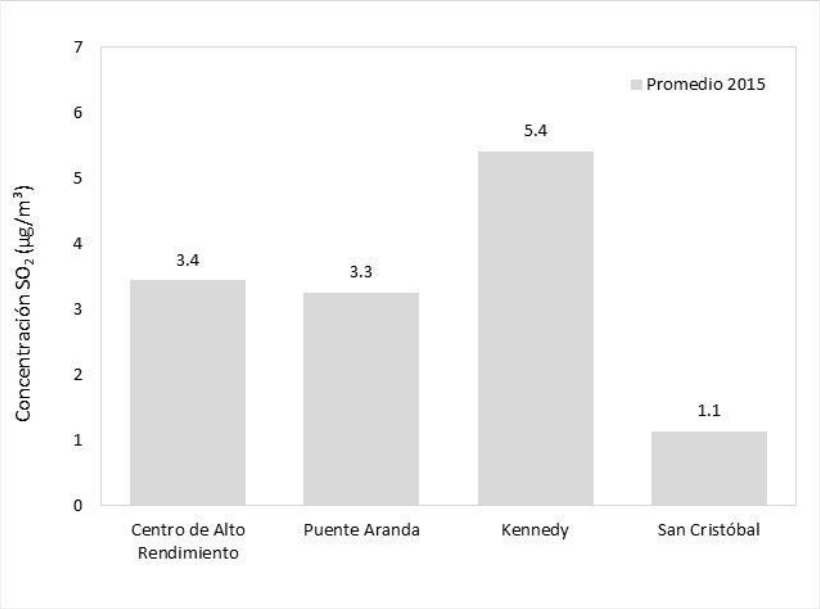


Figura 3-49. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con captura de datos igual o superior a 75% durante el año 2015.

Comportamiento de las concentraciones de SO_2. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 50557 promedios móviles 3 horas validos (5% menos que en el año 2014 que fue de 52852 datos), que corresponden a una captura de datos de 72% entre las ocho estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con capturas superiores al 75%, es decir cuatro (4) estaciones, se obtuvieron 31451 datos que corresponde al 89% del total posible.

En la Figura 3-50 se observan los máximos anuales basados en medias móviles de 3 horas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma, ningún máximo supero la norma para 3 horas, equivalente a 750µg/m³.

En la Tabla 3-21 se muestra un resumen de la captura de datos por estación en base temporal 3 horas (promedio móvil), así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 261µg/m^3 en la estación Suba. Se presentan coincidencias en la ocurrencia de máximos solo en Suba y Centro de Alto rendimiento, lo cual hace descartar un fenómeno de contaminación a nivel ciudad por causa de este contaminante. En las demás estaciones los valores de concentración oscilan entre 23,8 µg/m^3 y 96,5µg/m^3.

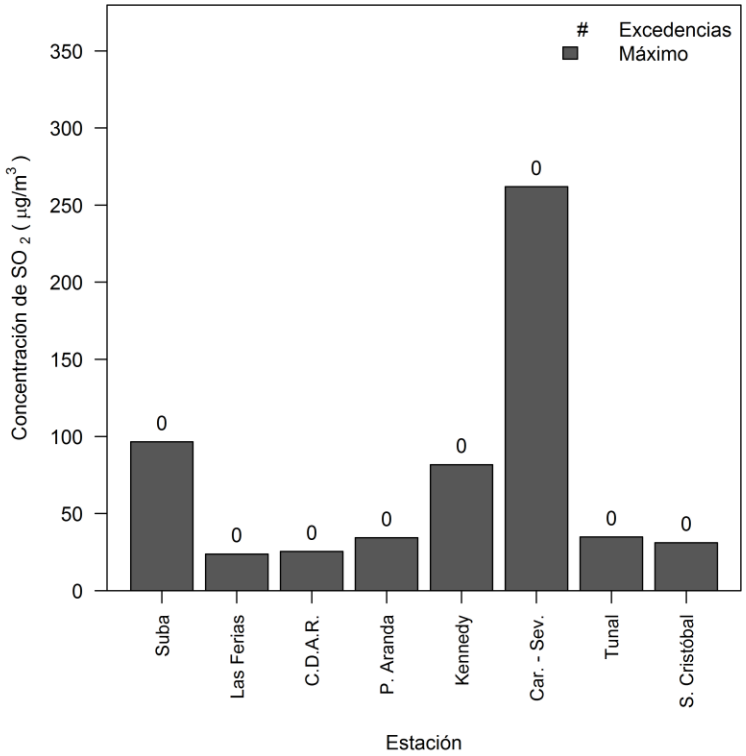


Figura 3-50. Máximos y número de excedencias de SO_2 con base en promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2015.

Tabla 3-21. **.** Resumen de la captura de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para año 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	70	96,5	18/07/2015 08:00
Las Ferias	52	23,8	05/11/2015 03:00
Centro de Alto Rendimiento	88	25,4	18/07/2015 08:00
Puente Aranda	97	34,3	24/10/2015 08:00
Kennedy	84	81,7	16/01/2015 03:00
Carvajal-Sevillana	67	261,9	26/10/2015 08:00
Tunal	29	34,8	07/02/2015 05:00
San Cristóbal	89	31,2	19/11/2015 03:00

Comportamiento las concentraciones diarias de SO_2

Se obtuvieron para todos los monitores activos, 2120 valores diarios que corresponde a una captura de datos de 73% del total posible entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año. Para las cuatro (4) estaciones con captura superior al 75%, se obtuvieron 1322 datos es decir un porcentaje de recuperación del 91% del total posible. Los máximos monitoreados estuvieron por debajo del nivel establecido por norma (250 µg/m^3)

y ningún dato superó el valor del 50% de la misma (125 µg/m^3). La Figura 3-51 y la Tabla 3-22 presentan un resumen de máximos diarios a través del año, fechas de ocurrencia y excedencias.

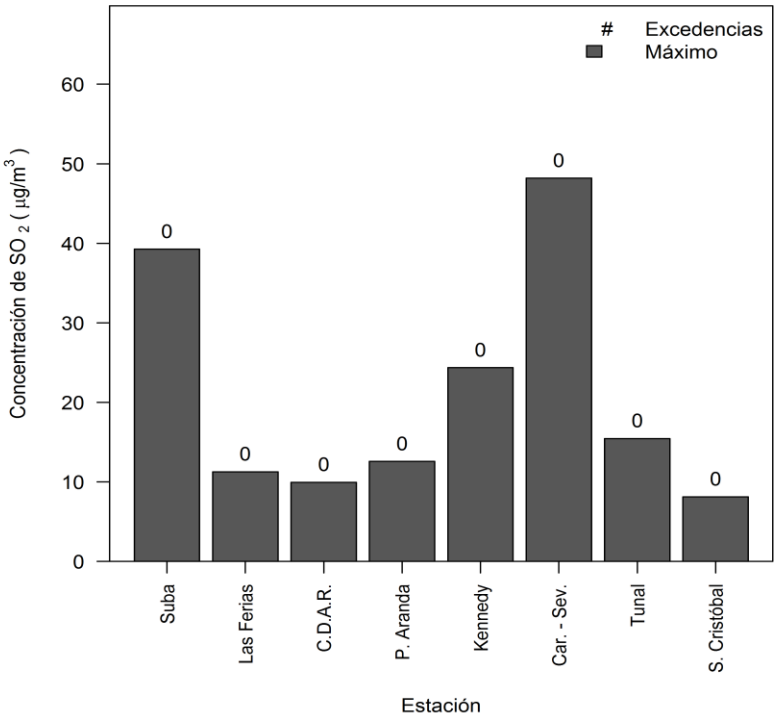


Figura 3-51. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación para el año 2015.

La máxima concentración diaria para las estaciones correspondió a 48,2µg/m^3 el 26 de octubre de 2015 en la estación Carvajal-Sevillana y de 24,4µg/m^3 el 24 de octubre de 2015 para la estación Kennedy entre las estaciones con captura de datos superior al 75%. Las tendencias observadas son concordantes con las observadas en cuanto a los promedios móviles de 3 horas y muestran que las concentraciones horarias registradas para Carvajal-Sevillana, fueron lo suficientemente altas y persistentes como para afectar la magnitud del correspondiente valor diario.

Tabla 3-22. **.** Resumen de la captura de datos diarios de SO_2 por estación para el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio anual * (µg/m^3)	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	70	8,3	39,3	11/06/2015
Las Ferias	53	3,4	11,3	05/11/2015
Centro de Alto Rendimiento	90	3,4	10,0	07/02/2015
Puente Aranda	98	3,3	12,6	24/10/2015
Kennedy	85	5,4	24,4	24/10/2015
Carvajal-Sevillana	67	11,4	48,2	26/10/2015
Tunal	28	3,2	15,5	06/02/2015
San Cristóbal	89	1,1	8,1	19/11/2015

* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

Calendario de contaminación por SO_2 durante año 2015

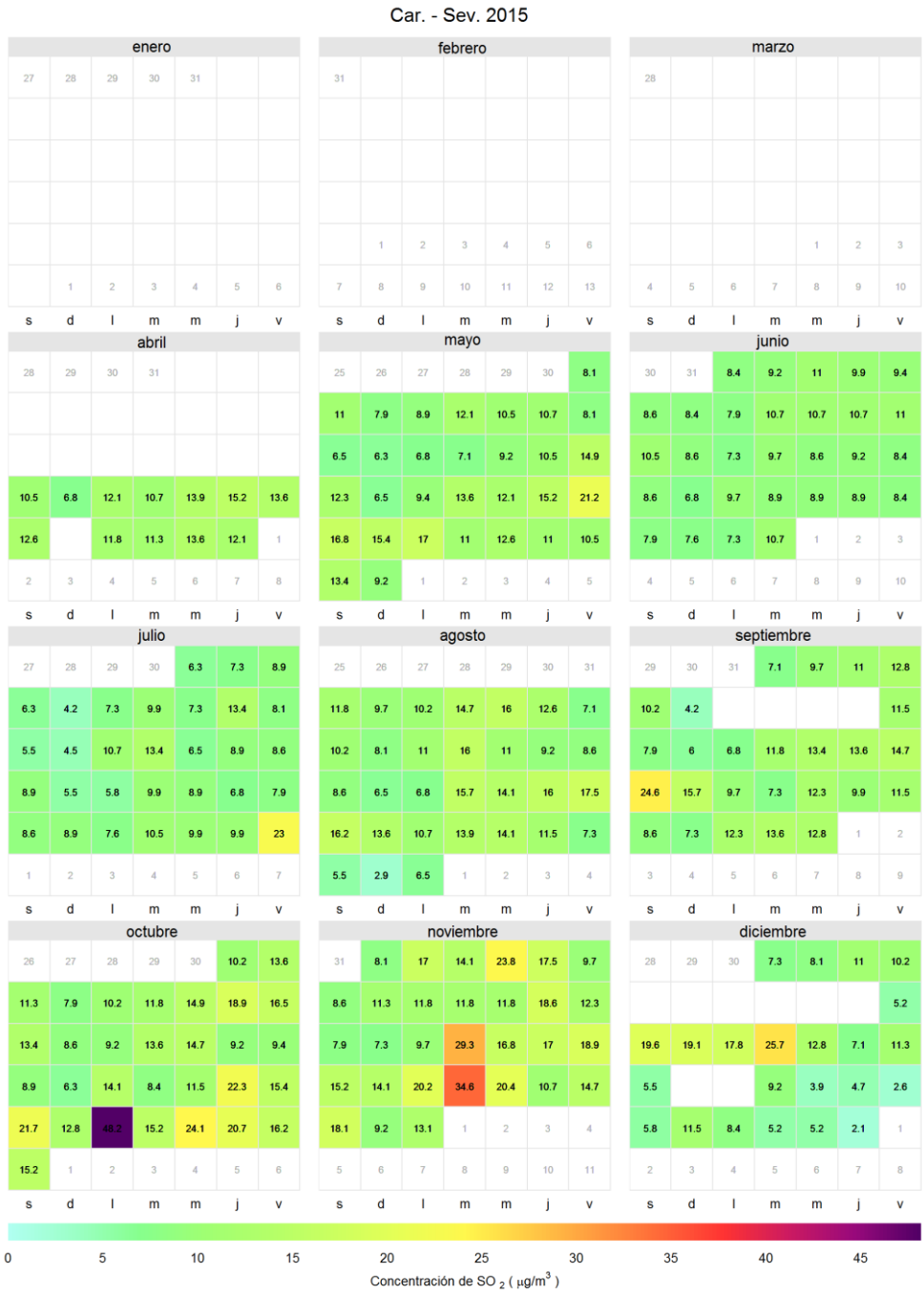


Figura 3-52. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3.

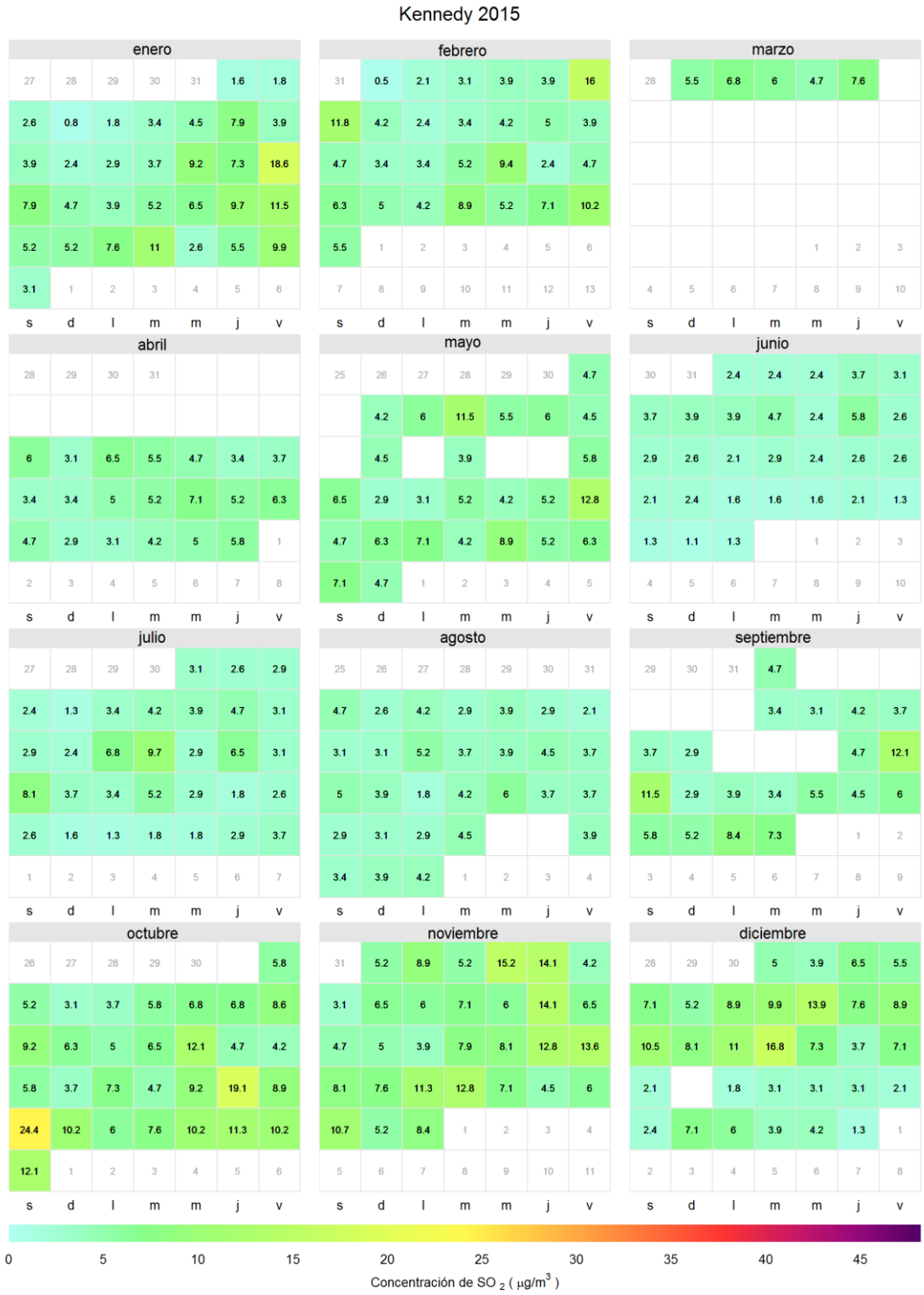


Figura 3-53. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación Kennedy Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3.

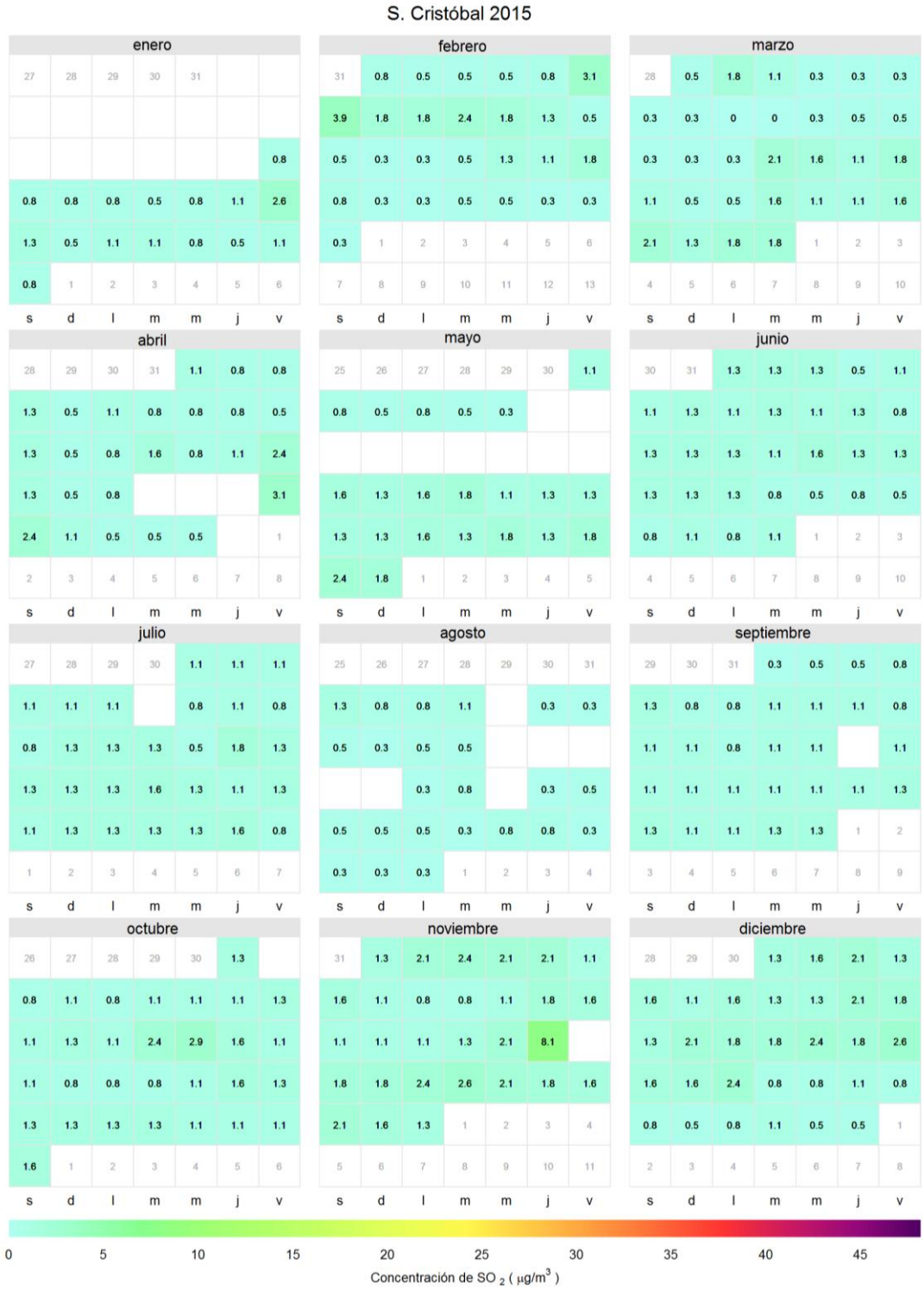


Figura 3-54. Calendario de concentración para SO_2 durante el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m^3.

La Figura 3-52, la Figura 3-53 y la Figura 3-54 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de SO_2 en los meses del año 2015 para tres estaciones de la RMCAB. La diferencias en magnitudes entre estas tres es significativa, evidenciando la alta heterogeneidad espacial en el comportamiento de este contaminante en la ciudad. Para Carvajal-Sevillana se observa la ausencia de datos para los tres primeros meses del año debido a problemas operativos y se destaca octubre y noviembre como los meses con más altos índices de contaminación; para Kennedy los meses con valores más elevados son Febrero, octubre y noviembre; San Cristóbal presenta un comportamiento más homogéneo durante todo el año, caracterizado por bajas concentraciones de SO_2.

Comportamiento temporal de las concentraciones de SO_2

La Figura 3-55 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de SO_2 (24h) agrupado por días de la semana y estación de monitoreo con captura de datos superior a 75%. En general se puede ver un comportamiento muy estable de los valores de este contaminante a través de los días de la semana, siendo los días domingo, los que presentan valores de concentración ligeramente más bajos.

En comparación con las demás estaciones, Kennedy mantiene notablemente los mayores valores de concentración y las mayores dispersiones de los datos durante todos los días de la semana, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario sucede en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria y anual (250µg/m³ y 80µg/m³), muestra que ningún valor supera la norma.

La Figura 3-56 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias en función de los meses de año 2015 por estación de monitoreo. El comportamiento del SO_2 por estación no es homogéneo y difiere de los otros contaminantes; pues se observa que, por ejemplo, para la estación Centro de Alto Rendimiento, los meses de menor concentración son abril y septiembre, teniendo en cuenta que tradicionalmente para otros contaminantes es junio o julio el mes de menor concentración; en cambio para Puente Aranda, los meses menos contaminados corresponden a mayo, junio y julio; Para Kennedy los meses de menores valores corresponden a junio, julio y agosto y para San Cristóbal las tendencias impiden establecer con claridad variaciones presentadas durante el año 2015.

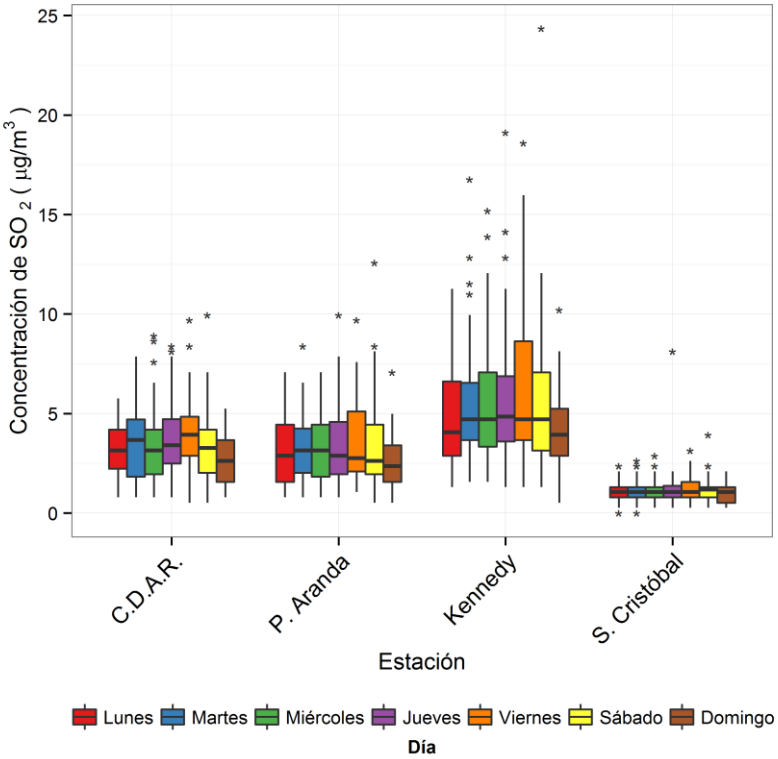


Figura 3-55. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2015.

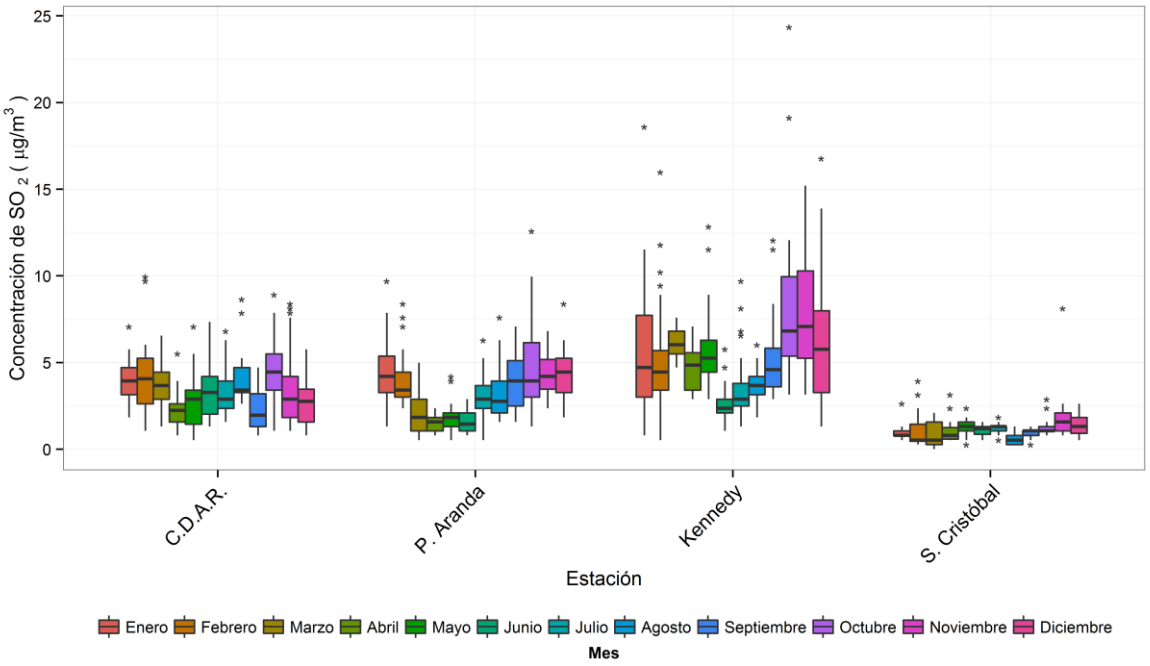


Figura 3-56. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO_2

La Figura 3-57 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo que tienen una captura de datos superior a 75% en el año 2015. En general las variaciones de concentración en el contaminante por día de la semana, son bajas; conforme a las observaciones dadas en el aparte anterior, los menores niveles de concentración se observan los domingos, seguidos de los lunes. Los días comprendidos entre martes y viernes mantienen niveles similares de concentración. Kennedy establece una diferencia plausible con respecto a las demás estaciones al mantener concentraciones e intervalos de confianza en niveles relativamente más altos. El ciclo semanal de la estación San Cristóbal no permite evidenciar cambios sustanciales a través de la semana.

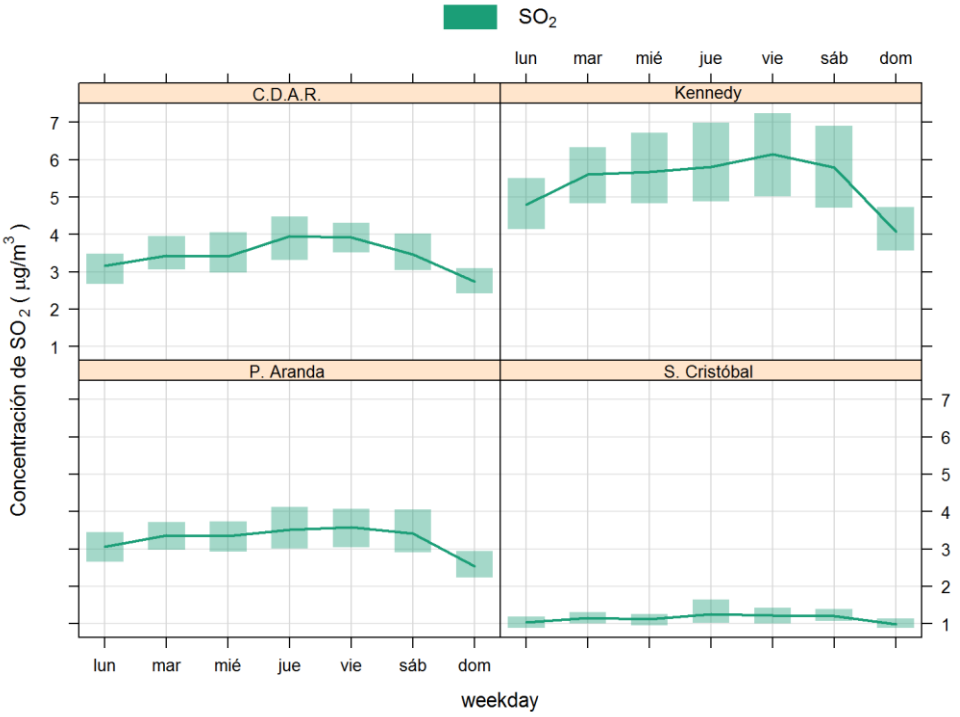


Figura 3-57. Ciclos semanales de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los perfiles diarios de la Figura 3-58 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en la presencia de niveles altos de este contaminante. En Kennedy se observa un pico de concentración pronunciado y posteriormente un descenso significativo de magnitudes en horas del mediodía y de la tarde, las cuales son inferiores incluso a las observadas en horas de la madrugada y de la noche, este perfil es similar al correspondiente a $PM_{2.5}$, un hecho que indica que este tamaño de material particulado tiene una asociación particular con las fuentes de combustión; San Cristóbal muestra bajos valores de concentración aún en horas pico, lo que puede significar una baja influencia de fuentes móviles en su área de cobertura, teniendo en cuenta la similitud de comportamiento del SO_2 pon el $PM_{2.5}$.

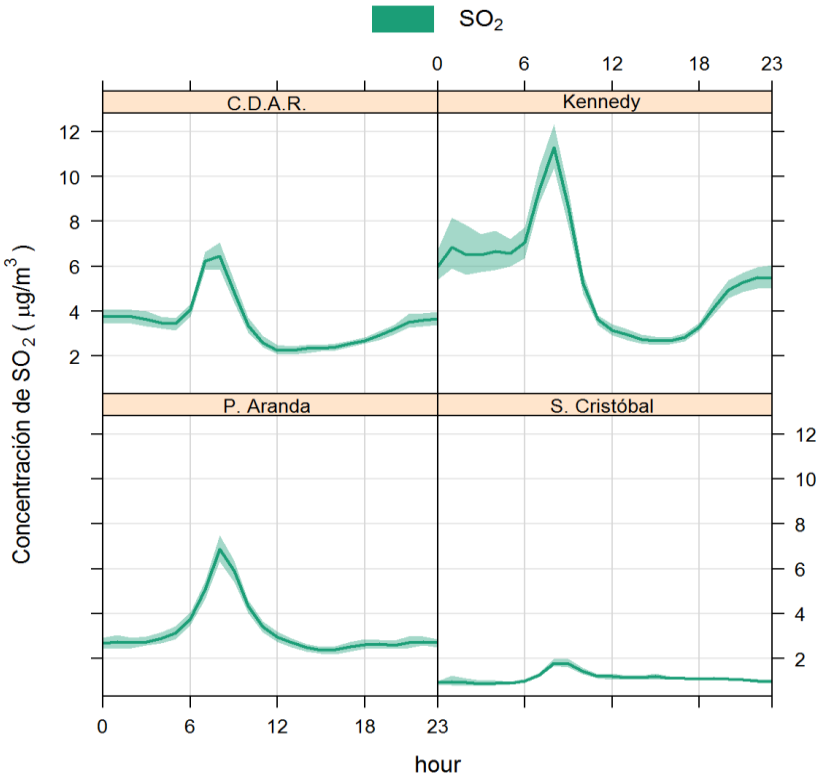


Figura 3-58. Ciclos diarios de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de SO_2

La Figura 3-59 presenta la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 en el periodo 2011 a 2015 en función de las estaciones de monitoreo. Debido a la falta de captura de datos de algunas estaciones, no es posible establecer una tendencia general para el contaminante, sin embargo, se puede ver para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y San Cristóbal, un leve descenso en los valores de concentración frente a los años anteriores disponibles.

Puente Aranda es la única estación con datos representativo a través del periodo de interés y es la que permite observar de manera más clara la tendencia al descenso en este contaminante, también se observa una disminución en la dispersión de los datos, lo que indica unos niveles más homogéneos de concentración a través del año, tal como se conservaba en las gráficas de ciclos semanales del contaminante.

Una comparación de los valores de concentración por estación a través del año frente a la norma diaria a y anual (250µg/m³ y 80µg/m³), muestra que todas las estaciones cumplen la norma.

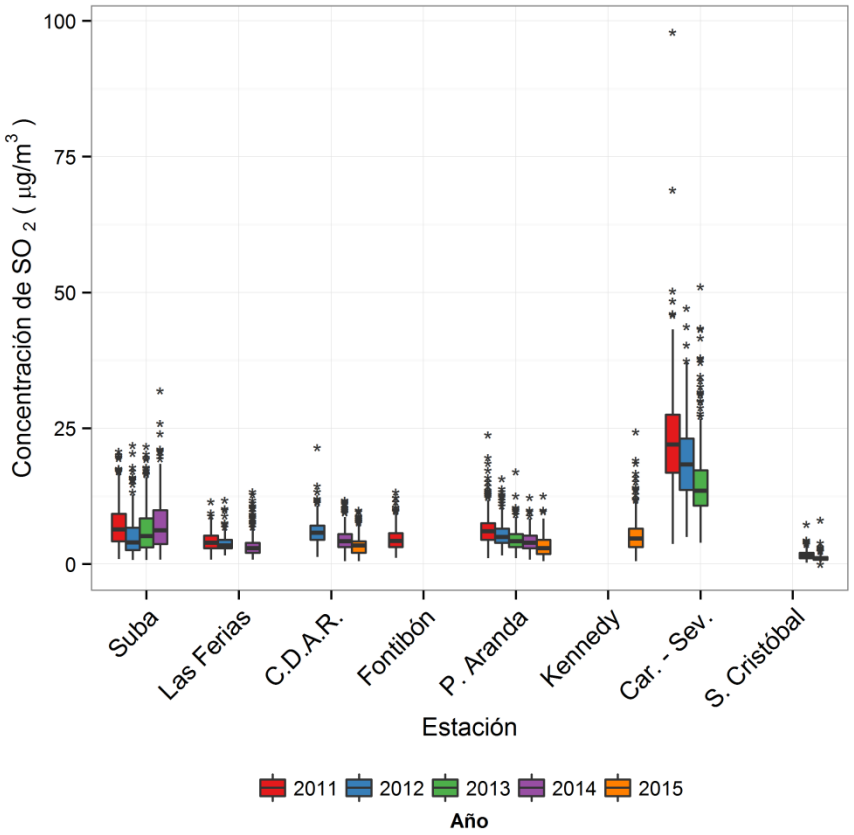


Figura 3-59. Presentación del gráfico de *cajas* para SO_2 en base diaria por estación de monitoreo en el periodo 2011-2015

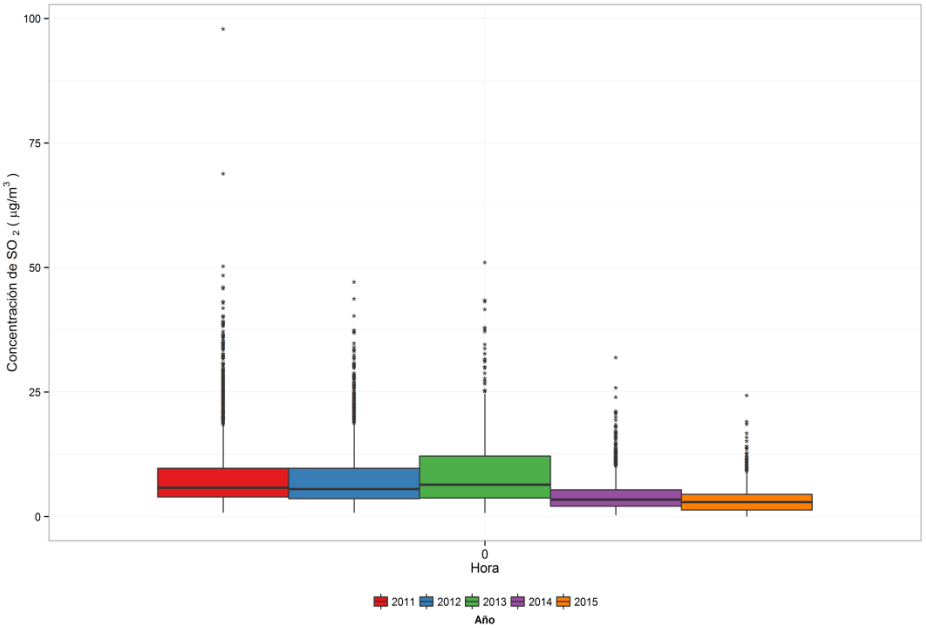


Figura 3-60. Presentación del Gráfico de *cajas* para SO_2 en base diaria como promedio para el periodo 2011 a 2015

La Figura 3-60 muestra el diagrama de cajas para el SO_2 como promedio diario para toda la ciudad con las estaciones representativas por cada año de interés. Aquí se observa la tendencia a la disminución en las concentraciones de este contaminante a nivel ciudad y la disminución en la dispersión de los datos. Debe tenerse cuidado en el análisis de este consolidado, teniendo en cuenta que al igual que con otros contaminantes, la ciudad presenta heterogeneidad en el comportamiento de los valores de inmisión.

La Tabla 3-23 es el resumen de los máximos reportados entre los años 2011 a 2015. La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados fue 98µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana el 28 de marzo de 2011. Las concentraciones de los demás años se encuentran entre 32µg/m^3 y 48µg/m^3. Al no excederse el limite normativo inferior (norma anual) por ningún valor extremo, se infiere que el SO_2 representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.

Tabla 3-23. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO_2 en los años 2011 a 2015.

Año	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	98,0	25/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	47,1	05/06/2012	Carvajal-Sevillana
2013	51,1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana
2014	32,2	13/12/2014	Kennedy
2015	48,2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana

3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el año 2015 se contó con promedios horarios y móviles de 8 horas de monóxido de carbono (CO) para nueve (9) estaciones, como se indica en la **Tabla 1-1**. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Durante el periodo analizado se obtuvieron 60.200 promedios horarios validos (34% más que en el año 2014 que correspondió 44.851 datos, fruto de la mejora en la captura de datos), que corresponden a una captura de datos temporal global de 86% entre el total de estaciones con mediciones. De las ocho (8) estaciones con datos registrados, siete (7) tuvieron una captura superior al 75%. La Figura 3-61 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para CO, en base de tiempo horaria. Se observa que no se presentan excedencias a la norma horaria (40mg/m³) en el periodo de estudio.

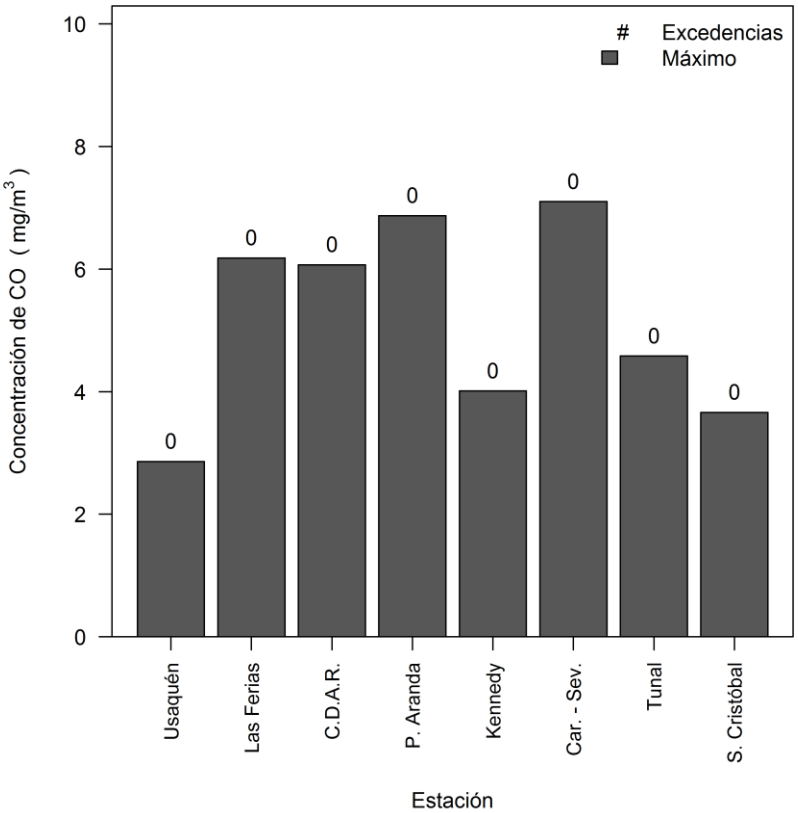


Figura 3-61. Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2015.

En la Tabla 3-24 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio anual, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Se contó con siete (7) estaciones con datos representativos, que son útiles para el cálculo de promedio ciudad. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, asociadas a captura de datos en zonas con predominancia de fuentes móviles e industriales. Las menores concentraciones promedio fueron observadas en Usaquén y San Cristóbal.

Tabla 3-24. **.** Resumen de la captura de datos horarios de CO por estación para el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio anual * (mg/m^3)	Máximo (mg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	75	0,5	2,9	10/08/2015 07:00
Las Ferias	64	0,7	6,2	20/11/2015 19:00
Centro de Alto Rendimiento	87	0,8	6,1	20/11/2015 21:00
Puente Aranda	96	0,9	6,9	19/07/2015 07:00
Kennedy	78	0,8	4,0	28/01/2015 07:00
Carvajal-Sevillana	96	1,4	7,1	26/10/2015 13:00
Tunal	96	0,8	4,6	12/09/2015 07:00
San Cristóbal	95	0,6	3,7	23/01/2015 09:00

* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

El 20 de noviembre de 2015 entre 7:00 las y 9:00 p.m. las estaciones las estaciones Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas sugiriendo un episodio de alta concentración en el centro de la ciudad de la ciudad. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB para el periodo 2015 fue de 7,1mg/m^3. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de una hora es 40mg/m^3, durante el año analizado no se presentaron excedencias. Se destaca que todos los datos horarios se registraron por debajo del 50% del límite (20 mg/m^3).

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el año 2015 se calcularon 60.153 promedios móviles de 8 horas de CO (35% más que en el año 2014, que correspondió a 44.560 datos), equivalentes al 86% de los datos posibles a capturar en el año, entre las estaciones que reportaron mediciones. Se cuenta con 54.539 datos de las estaciones con captura de datos superior a 75%, lo que equivale al 89% de los datos posibles a capturar.

La Figura 3-62 muestra los valores máximos y número de excedencias del límite máximo permisible en forma gráfica. Se observa que no se presentaron excedencias a la norma 8 horas (10mg/m^3) y los máximos 8 horas del año están muy por debajo de este valor.

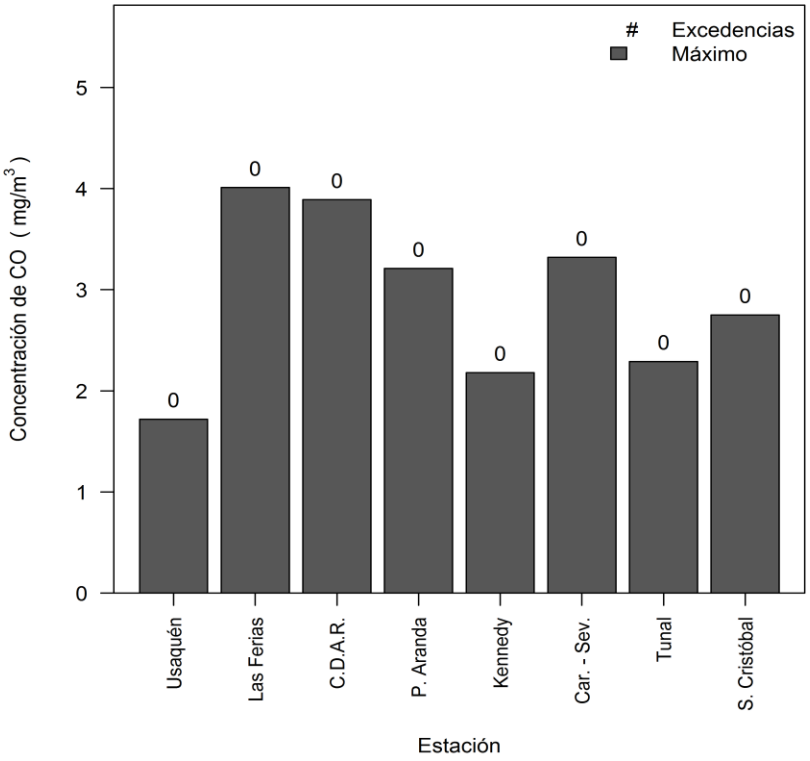


Figura 3-62.Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2015.

La Tabla 3-25 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio anuales fueron observadas en San Cristóbal y Usaquén, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. El máximo promedio móvil de 8 horas de CO reportado en la RMCAB durante el periodo analizado fue 4,0mg/m^3 en Las ferias el 20 de noviembre de 2015 a las 8:00 p.m. No se presentaron concentraciones elevadas en fechas y horas coincidentes, por lo cual se descartan máximos generalizados por zona o a nivel ciudad.

Tabla 3-25. Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio anual * (mg/m^3)	Máximo (mg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	75	0.5	1.7	17/01/2015 01:00
Las Ferias	64	0.7	4.0	20/11/2015 20:00
Centro de Alto Rendimiento	87	0.8	3.9	20/11/2015 02:00
Puente Aranda	96	0.9	3.2	21/11/2015 00:00
Kennedy	77	0.8	2.2	12/09/2015 11:00
Carvajal-Sevillana	96	1.4	3.3	10/02/2015 10:00
Tunal	96	0.8	2.3	23/01/2015 11:00
San Cristóbal	95	0.6	2.8	23/01/2015 14:00

Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-63 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de CO, agrupado por días de la semana y estaciones de monitoreo (promedios móviles de 8 horas). Los domingos se caracterizaron por presentar las concentraciones más bajas del año, probablemente por la reducción de la actividad vehicular; para el resto de días dados los bajos valores, estos tienden a mantenerse estables. La estación Carvajal-Sevillana presenta los valores más altos registrados en la RMCAB, sin embargo, Centro de Alto rendimiento presenta la mayor variabilidad y gran número de datos extremos. La estación San Cristóbal tiene un número importante de datos extremos a pesar de registrar concentraciones notoriamente más bajas que en Carvajal-Sevillana. Una comparación con la norma de 10mg/m³ para 8 horas, muestra que ninguna estación aún con sus datos más extremos a través del año la supera.

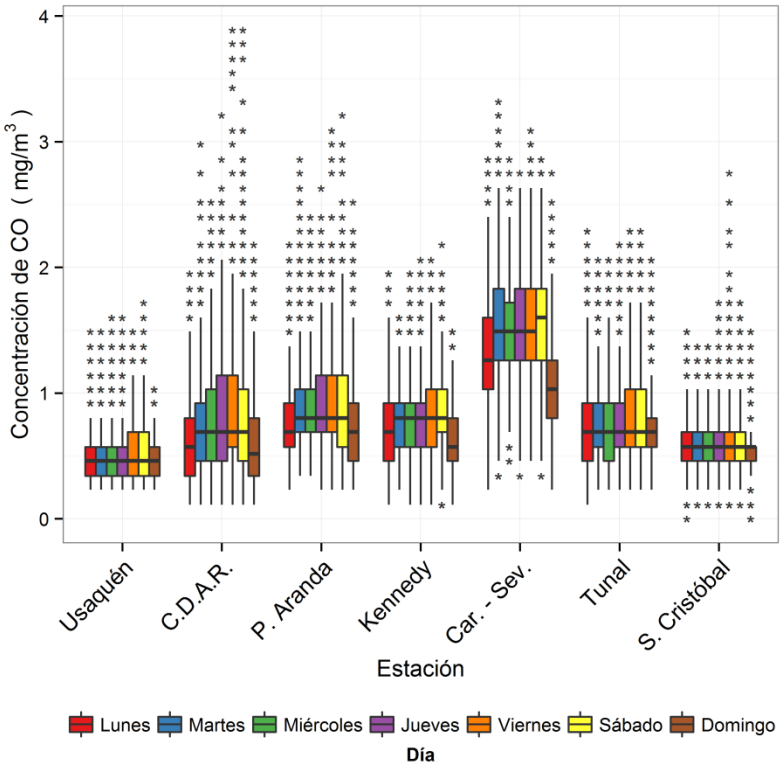


Figura 3-63. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2015.

La Figura 3-64 muestra los datos de concentración en función de los meses del año 2015. Las menores concentraciones fueron observadas en los meses de mayo, junio, julio y agosto, consecuencia de la variabilidad en la velocidad de los vientos; adicional a estos meses, en Centro de Alto rendimiento, Puente Aranda y Kennedy se observaron bajas concentraciones en febrero probablemente por efectos meteorológicos. Una comparación con la norma de 10mg/m³ para 8 horas, muestra que ninguna estación con sus datos más extremos la supera.

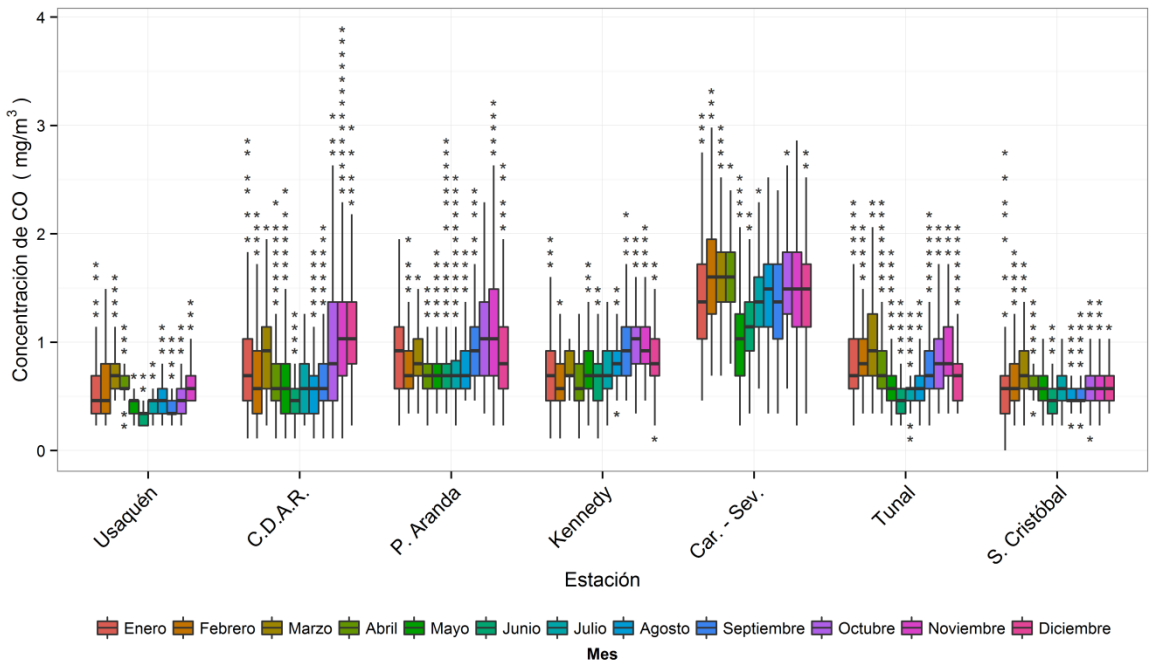


Figura 3-64. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de CO

La Figura 3-65 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con captura de datos igual o superior a 75%. El ciclo más heterogéneo y las concentraciones más altas se observaron en la estación Carvajal-Sevillana estableciendo una diferencia significativa con respecto a los correspondientes a las demás estaciones. Los días domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menores valores de CO; los días lunes le siguen a los domingos, siendo los días martes a vienes más estables en términos de concentraciones.

La Figura 3-66 presenta el comportamiento en función de las horas del día. En general se observa un pico de concentración en la mañana, lo cual está acorde con el comportamiento del flujo vehicular de la ciudad que tiende a ser mayor entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. En horas de la noche, después de las 6:00 p.m., se presenta un nuevo aumento de concentración que coincide con la denominada “hora pico” de la tarde, sin embargo los niveles de concentración de CO son notablemente inferiores.

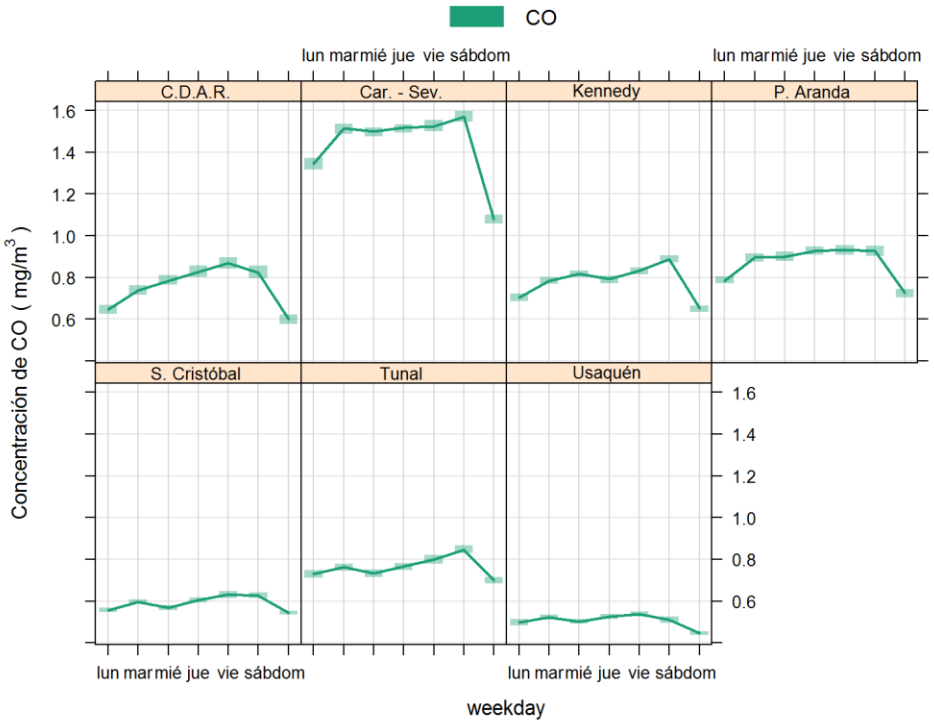


Figura 3-65. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

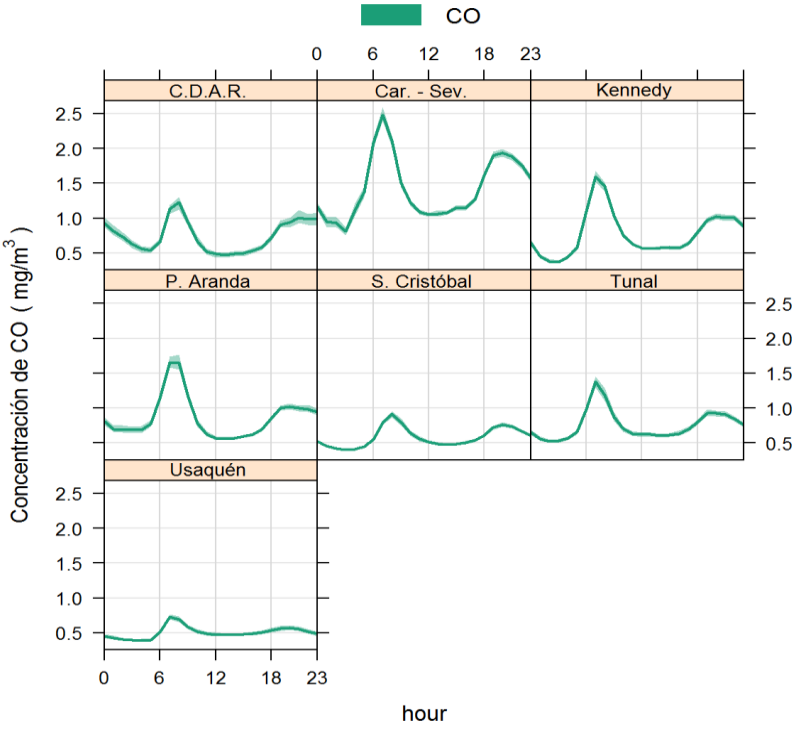


Figura 3-66. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2015 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de las concentraciones de monóxido de carbono.

En la Figura 3-67 se encuentra la tendencia histórica de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas en las estaciones de la RMCAB para el periodo 2011 a 2015. Con una diferencia importante, las mayores concentraciones se han observado en la estación Carvajal-Sevillana, seguida de Puente Aranda y Kennedy lo cual sugiere una mayor influencia de las fuentes móviles. Para estas estaciones se observó una reducción de los niveles de concentración en los años 2011 a 2014 un comportamiento estable entre 2014 y 2015. La falta de captura de datos de todas las estaciones impide una visualización adecuada de las tendencias, sin embargo, la Figura 3-68 muestra el diagrama de cajas para el CO como promedio de la media móvil 8 horas para toda la ciudad con las estaciones representativas por cada año de interés. Aquí se observa la tendencia a la disminución en las concentraciones de este contaminante a nivel ciudad y la disminución en la dispersión de los datos. Una comparación con la norma más restrictiva (10mg/m³ para 8 horas), muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

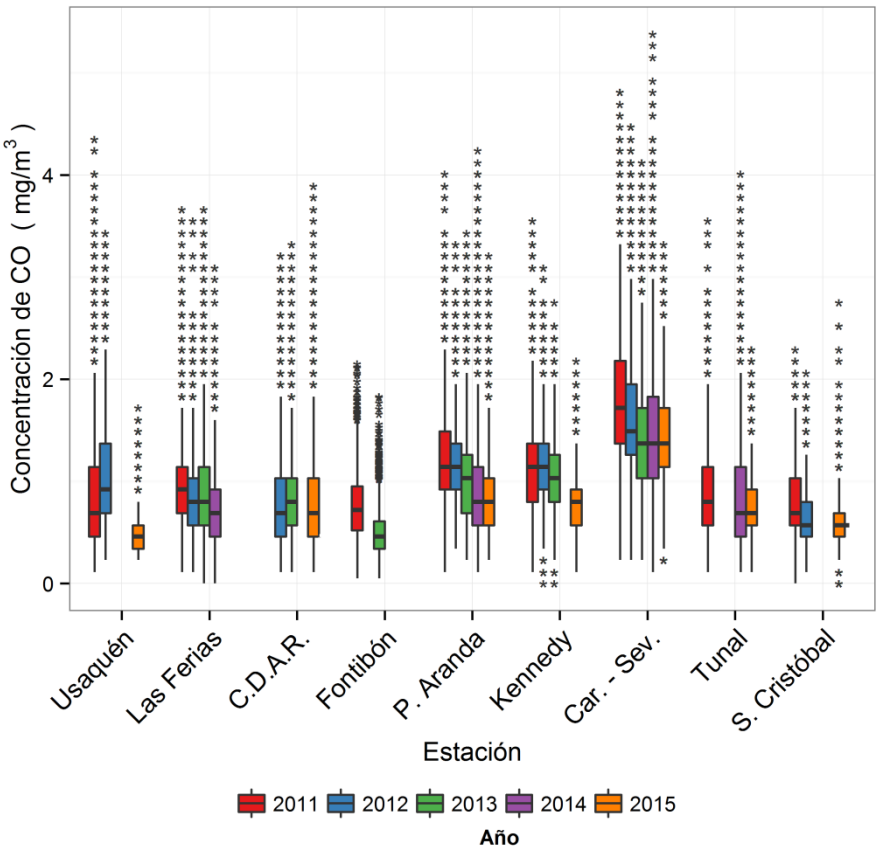


Figura 3-67. Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo a través de los años 2011 a 2015.

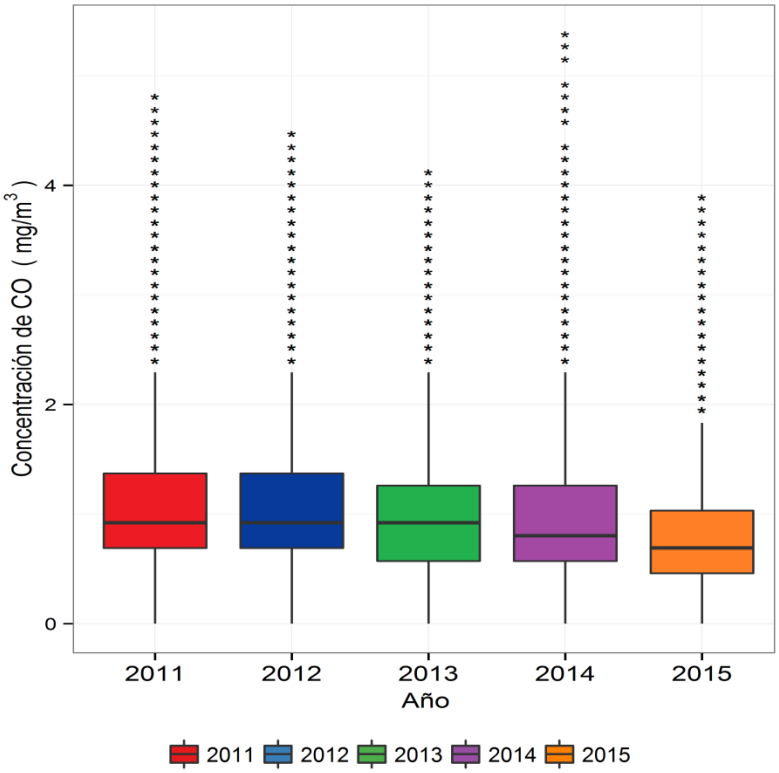


Figura 3-68. Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base diaria como promedio 8 horas para el periodo 2011 a 2015

El resumen de máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas en el para los años 2011 a 2015 se presenta en la Tabla 3-26. La máxima concentración de monóxido de carbono en los años estudiados fue de 5,4mg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana el 10 de octubre de 2014. Un análisis de los máximos obtenidos muestra lo expresado por la gráfica anterior y es un descenso general en las concentraciones de este contaminante. Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es 10 mg/m^3, se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3.

Tabla 3-26. Resumen histórico de los promedios y máximos de concentración de CO en promedios móviles de 8 horas

Año	Máximo mg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	5,2	05/03/2011 02:00	Centro de Alto Rendimiento
2012	4,5	11/05/2012 05:00	Carvajal-Sevillana
2013	4,1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	5,4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	4,0	20/11/2015 20:00	Las Ferias

3.3. Índices de calidad del aire

3.3.1. Índice de Calidad del Aire - ICA

Esta sección presenta el Índice de Calidad del Aire (ICA) para seis contaminantes criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)", versión 2012, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-27.

Tabla 3-27. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h µg/m³	$PM_{2.5}$ 24h µg/m³	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O_3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora.
(4) Los números entre paréntesis se asocian a valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países.

3.3.1.1. Índice de calidad del aire para PM_{10}.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM_{10} puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-69 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Las diferencias en la proporción del ICA entre los sitios de monitoreo muestra la alta variabilidad en las características de sus zonas de influencia. Con excepción de San Cristóbal, en las estaciones localizadas en el sur y suroccidente de la ciudad predomina la categoría "moderada" para PM_{10} presentándose incluso, la categoría "dañina para la salud en grupos sensibles" para Carvajal-Sevillana, esto debido a los máximos presentados el 24/02/2015 y 30/06/2015 producto de fenómenos de contaminación localizados, tal como se describió en el apartado para PM_{10}. La zona que representan estas estaciones está sujeta a alta actividad de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada. En las demás estaciones se observa la predominancia de la categoría "buena", entre las que se destacan Guaymaral y Usaquén, ubicadas al norte de la ciudad.

La Figura 3-70 muestra la discriminación del ICA de PM_{10} en función de los meses del año 2015. Los meses con la mejor calidad del aire en términos de ICA para PM_{10} fueron mayo, junio y julio, coincidente con lo presentado conforme a valores de concentración de PM_{10} y acorde con las dinámicas meteorológicas de la ciudad en esos meses. Los meses de Enero y Diciembre, también muestran proporciones altas de tiempo donde la calidad del aire es "Buena", esto probablemente debido a la influencia de la dinámica de la ciudad en estos meses donde las vacaciones de fin de año influyen positivamente en las concentraciones de contaminantes.

La Figura 3-71 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Como se pudo observar e los análisis cajas para este contamínate, de lunes a viernes se presentan las condiciones menos favorables de concentración y por ende mayores valores de ICA moderado.

La Figura 3-72 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM_{10} durante el año 2015. La categoría "Buena" se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría con excepción de Kennedy y Carvajal-Sevillana. El mayor valor promedio de ICA correspondió a 66 en la estación de Carvajal-Sevillana (68 para el año 2014), mientras que el menor fue observado en San Cristóbal con un valor de 23.

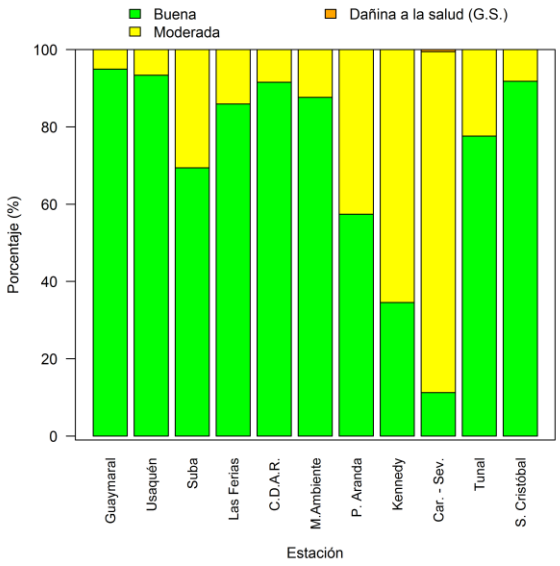


Figura 3-69. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2015

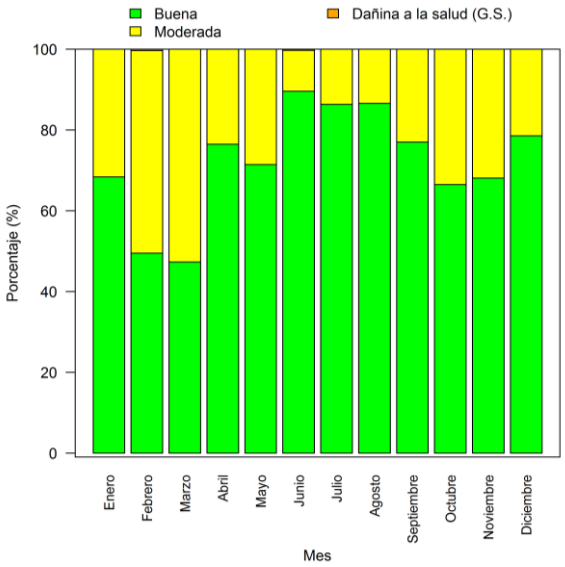


Figura 3-70. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por mes. Año 2015

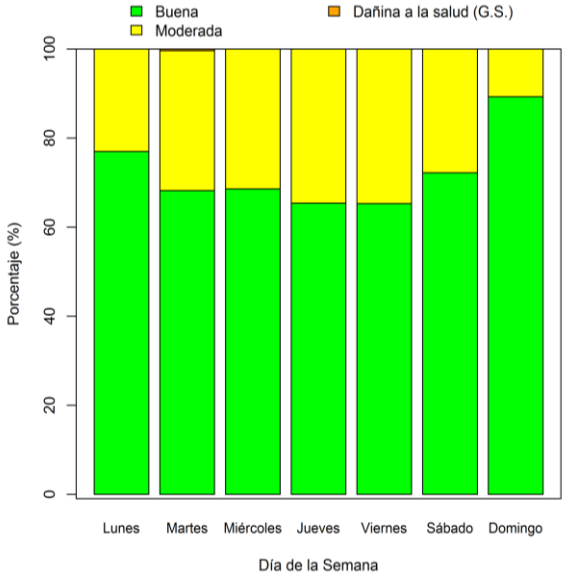


Figura 3-71. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por días de la semana. Año 2015

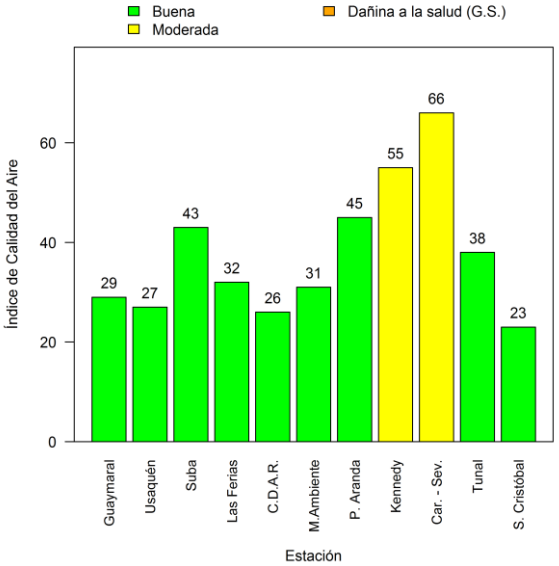


Figura 3-72. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para año 2015.

3.3.1.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 μm ($PM_{2.5}$) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La **Figura 3-73** muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. De acuerdo con el índice, la calidad del aire este contaminante mostró tres categorías: "buena", "moderada", "dañina a la salud para grupos sensibles, las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. En concordancia con el análisis realizado para PM_{10}, las estaciones con la calidad del aire más crítica al sur y suroccidente fueron Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal las cuales, donde es mayor la afectación por fuentes fijas, móviles y de área. Hacia el centro y norte de la ciudad también se evidencia un porcentaje de tiempo considerable en calidad moderada de aire en estaciones como Centro de Alto rendimiento, Las Ferias, en menor grado MinAmbiente. La estación de suba presenta resultados muy similares a los de Tunal, lo cual indica la influencia considerable de fuentes móviles, en especial aquellas que funcionan con diésel.

Al tratarse de promedios móviles de 24 horas, los efectos de concentraciones altas determinados por la categoría "dañina para la salud en grupos sensibles" en los valores del ICA, impactan al día siguiente teniéndose una exposición aguada fuerte el 12% del tiempo para para Carvajal-Sevillana, 8% para Kennedy y 6% Tunal; cabe mencionar que se presentó un ICA "Dañino para la Salud" el 17/09/2015 para la estación Kennedy, concordante con el máximo presentado para 24 horas. Las estaciones con una mejor calidad del aire en términos de $PM_{2.5}$ fueron Usaquén, San Cristóbal y Guaymaral en las cuales participaron primordialmente las categorías "buena" y "moderada" con mayor proporción de la primera. En Suba, Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente se observó también una participación leve de la categoría "dañina a la salud para grupos sensibles" (con participación del 2%, 2% y 1% respectivamente), pero mayor proporción de una calidad del aire "moderada".

La Figura 3-74 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses del año 2015. Se observa que los meses de junio, julio y agosto tienen una mayor participación de la categoría "Buena". Las razones son similares a las dadas para los valores ICA de PM_{10}, Debe prestarse especial atención a la calidad del aire en los meses de febrero y marzo, donde el mayor porcentaje de tiempo se tuvo como resultado un ICA con condición "moderado" y las mayores proporciones de ICA "Dañino para la salud en grupos sensibles". En septiembre se puede observar el único ICA "Dañino para la salud", correspondiente a la estación Kennedy, tal como se describió en el párrafo anterior.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-75 muestra la participación de las categorías "buena", "moderada" y "dañina a la salud para grupos sensibles" en todos los días. Los domingos y lunes son los días con menor proporción de este ICA y los días laborales se muestran como los más afectados con la aparición mayoritaria del índice "Moderado", en especial los jueves y viernes.

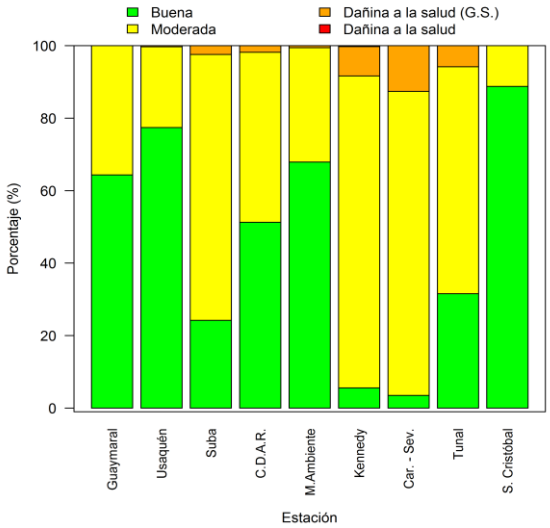


Figura 3-73. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2015.

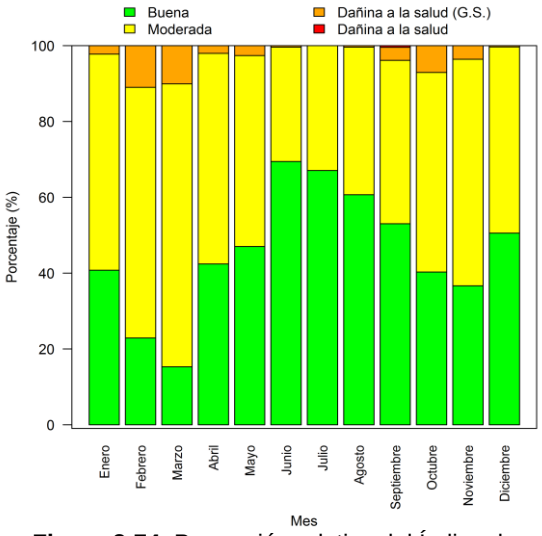


Figura 3-74. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para $PM_{2.5}$ en el año 2015.

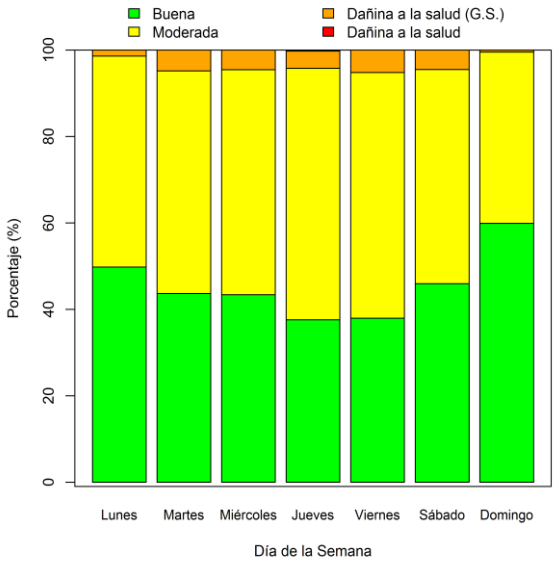


Figura 3-75 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2015

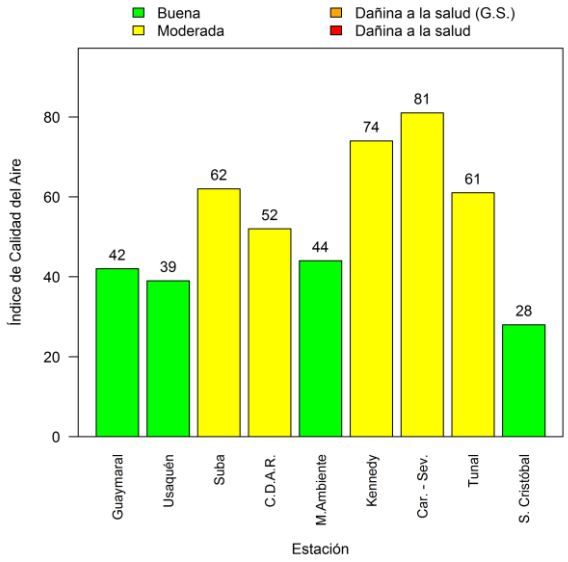


Figura 3-76. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para $PM_{2.5}$ en el año 2015

Los valores de ICA promedio para el año 2015 de la Figura 3-76 muestran que cuatro del as nueve estaciones analizadas (Guaymaral, Usaquén MinAmbiente y San Cristóbal) se mantuvieron dentro de la categoría “Buena”, por debajo de las 50 unidades de ICA; las restantes cinco (5) presentaron valores promedio por encima de las 50 unidades, lo que las clasifica en la categoría “moderada”. El valor promedio de ICA más alto fue 81 (frente a 85 del año 2014) en la estación Carvajal-Sevillana y de 74 (frente a 83 del año 2014) para la estación Kennedy. A manera de contraste, en Usaquén y San Cristóbal se observaron las

magnitudes más bajas con valores de 39 y 28, respectivamente (frente a 41 de Usaquén en 2014).

En comparación con los resultados obtenidos para PM_{10}, se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de $PM_{2.5}$ en el año 2015 indican una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como a la ocurrencia de episodios de alta contaminación. Los datos ICA, así como los valores de concentración y el análisis realizado a través de este informe, permiten concluir que el material particulado $PM_{2.5}$ se constituye en una contaminante de alto interés desde el punto de vista ambiental y de salud, dados sus valores de concentración elevados y el impacto que tiene sobre población sensible o vulnerable.

3.3.1.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

Las Figura 3-77, Figura 3-78 y la Figura 3-79 presentan los índices de calidad del aire promedio por estación para año 2015 en los contaminantes O_3, SO_2 y CO en tiempos de exposición de 8 horas, 24 horas y 8 horas, respectivamente. No se presentan resultados para el dióxido de nitrógeno teniendo en cuenta que en este contaminante solamente se consideran valores de ICA superiores a 200, correspondientes a una concentración de 650 ppb o 1222 µg/m^3 en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de NO_2 medida por la RMCAB en el año 2015 fue 90 µg/m^3 en la estación Centro de Alto Rendimiento, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

La categoría “Moderada” se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría “Buena” en el año de análisis. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO_2 teniendo en cuenta su bajo índice ICA.

El máximo valor de ICA para ozono fue 20 en la estación Usaquén y es seguido por Las Ferias con 14 unidades. Estos resultados son concordantes con los análisis llevados a cabo en apartados anteriores, teniendo en cuenta que las concentraciones más altas fueron observadas en el norte de la ciudad y los valores más bajos en el suroccidente, en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda. En general todas las estaciones se mantuvieron en promedio en la categoría “Buena”.

Los índices de calidad del aire para el dióxido de azufre muestran un valor máximo de 3 en la estación Kennedy, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría “Buena” y “Moderada”. Este valor es seguido por 2 en Puente Aranda y Centro de Alto rendimiento, por lo cual este contaminante no representa un riesgo para la salud en Bogotá.

En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 14 en la estación Carvajal-Sevillana. Como se ha mencionado previamente, en la zona de influencia de esta estación predomina alta actividad relacionada con la emisión de fuentes industriales y móviles cuyos procesos de combustión favorecen la emisión de monóxido de carbono. Este valor de ICA es seguido por 9 en Puente Aranda y en último lugar se tiene Usaquén

con 5 unidades, demostrando un contraste en las tendencias de la calidad del aire en la ciudad. Todos los promedios móviles de 8 horas del año se enmarcaron en la categoría "Buena".

En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

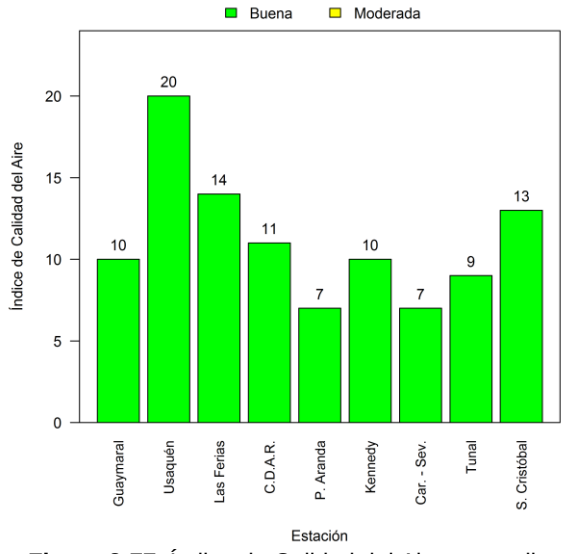


Figura 3-77. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas.

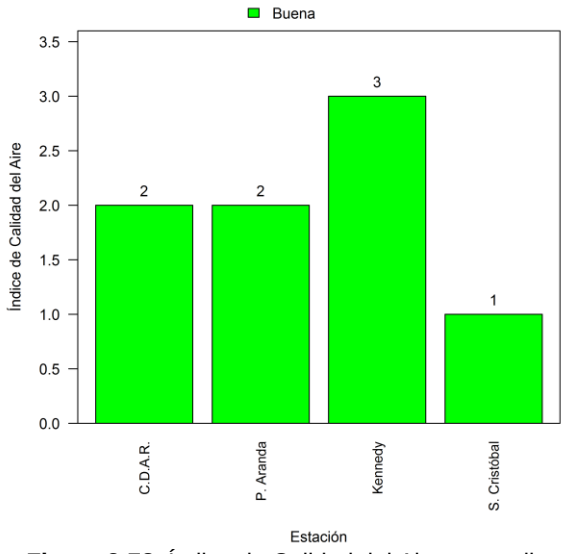


Figura 3-78. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base diaria.

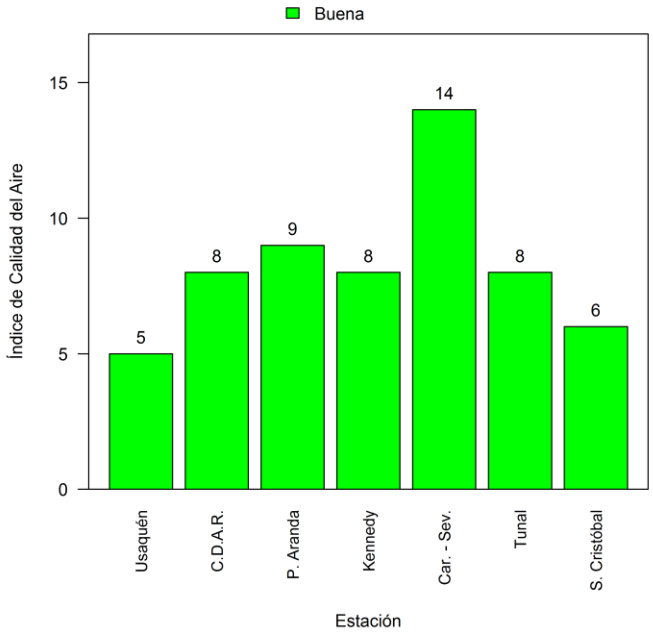


Figura 3-79. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

3.3.2. Índice Bogotano de Calidad del Aire - IBOCA

Esta sección presenta el índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud. El IBOCA es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –", Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 3-28 Muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA

Tabla 3-28. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

3.3.2.1. IBOCA para PM_{10}.

La Figura 3-80 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de 24 horas de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. El comportamiento es muy similar al establecido para el ICA debido a los rangos de

corte empleados, pero da una pauta para la actuación y respuesta de ciudad desde la categoría “regular”, de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2410 de 2015. Se aprecian lo máximos del 24/02/2015 y 30/06/2015 que generan una categoría de calidad del aire regular debido a este contaminante. Predominan las categorías “favorable” y “moderada” para todas las estaciones, para las cuales pueden seguirse las recomendaciones del IBOCA publicadas en la página web de la RMCAB, en relación a los cuidados en salud y a la disminución voluntaria de emisión de contaminantes.

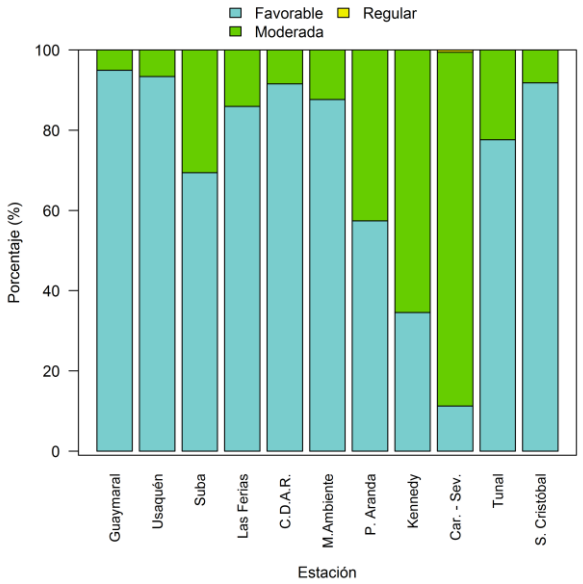


Figura 3-80. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para pm_{10} por estación. Año 2015

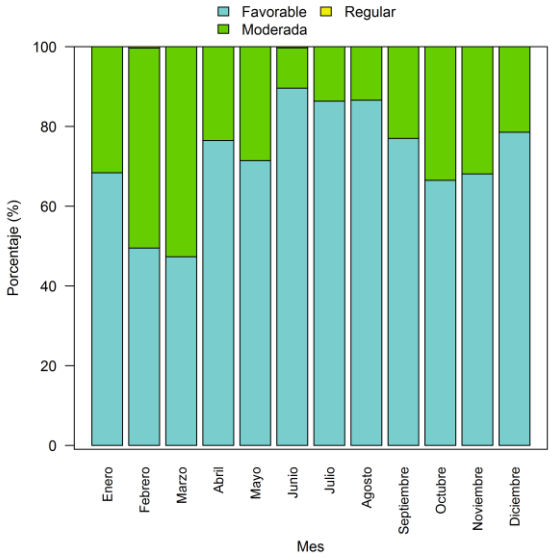


Figura 3-81. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm_{10} por mes. Año 2015

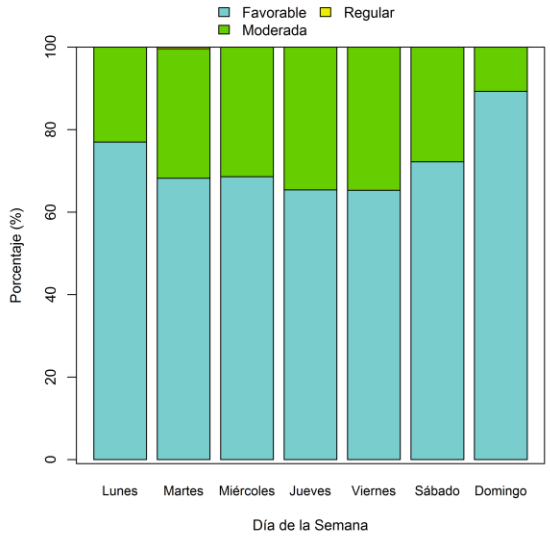


Figura 3-82. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm_{10} por días de la semana. Año 2015

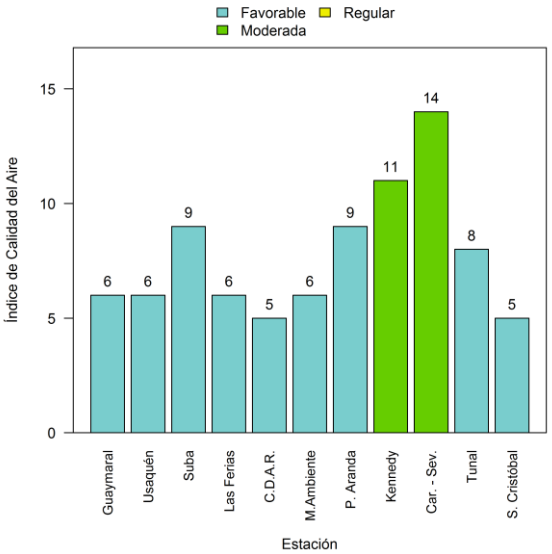


Figura 3-83. IBOCA promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB para año 2015.

La Figura 3-81 muestra la discriminación del IBOCA de PM_{10} en función de los meses del año 2015. El comportamiento es similar al presentado con el ICA, donde los meses de mitad de año son los que presentan condiciones más favorables. Este comportamiento se repite con el IBOCA por día de la semana (La Figura 3-82) y el IBOCA promedio para PM_{10} durante el año 2015 (Figura 3-83). Para esta última figura, la categoría "Favorable" se define cuando el IBOCA se encuentra entre 0 y 10 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría, con excepción de Kennedy y Carvajal-Sevillana. El mayor valor promedio de IBOCA correspondió a 14 en la estación de Carvajal-Sevillana, mientras que el menor fue observado en San Cristóbal con un valor de 5. En ningún caso, a excepción del máximo presentado en Carvajal-Sevillana, la ciudad estuvo en alerta amarilla por PM_{10}.

3.3.2.2. Índice de calidad del aire para $PM_{2.5}$

La Figura 3-84 muestra la proporción del IBOCA para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. De acuerdo con el IBOCA, este contaminante mostró cuatro categorías: "favorable", "moderada", "regular" y "mala", las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. Se observa que en las estaciones del suroccidente la categoría "regular" es frecuente, presentándose el 15% del tiempo en Kennedy y el 25% del tiempo en Carvajal; esto indica que la zona de influencia de las estaciones pudo estar en alerta amarilla, lo cual deberá validarse en futuras ocasiones de acuerdo a la mesa técnica definida en la Resolución 2410 de 2015. Otras estaciones que estuvieron al menos el 5% del tiempo o menos en categoría "regular" son Tunal, Las ferias, Subas, Centro de Alto rendimiento y MinAmbiente. En cuanto a la categoría "mala", que correspondería a una alerta naranja de calidad del aire si ha sido validada por la mesa técnica, se evidenció en Kennedy los días 24/02/2015, 02/05/2015 y 17/09/2015 (correspondiente al máximo presentado por la RMCAB), para Carvajal el día 24/02/2015 y para MinAmbiente el 31/10/2015. La categoría mala del 24/02/2015 coincide en Kennedy y Carvajal, lo cual pudo corresponder a un episodio local de contaminación.

La Figura 3-85 corresponde a la desagregación del IBOCA diario en función de los meses del año 2015. Se observa que los meses de junio, julio y agosto tienen una mayor participación de la categoría "favorable". Sin embargo, para este contaminante la categoría "moderada" predomina a lo largo del año. Se pueden observar los episodios de contaminación con categoría "mala" o alerta naranja para calidad del aire en los meses de febrero, septiembre y octubre.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-86 se observa que los domingos y los lunes son los días con mayor proporción del IBOCA en la categoría "favorable", y los días laborales son los más afectados con una aparición importante de la categoría "regular", en especial los viernes, con una proporción de tiempo del 5%. Es interesante notar que la categoría "dañina para la salud en grupos sensibles" del ICA, que se veía en baja proporción, ahora es reemplazada por la categoría "Regular" del IBOCA, la cual se ve aumentada, indicando que la calidad del aire conforme a este nuevo indicador merece mayor atención respecto a $PM_{2.5}$, ya que las proporciones de tiempo a través de la semana en las que las personas se ven sometidas o condiciones adversas es superior.

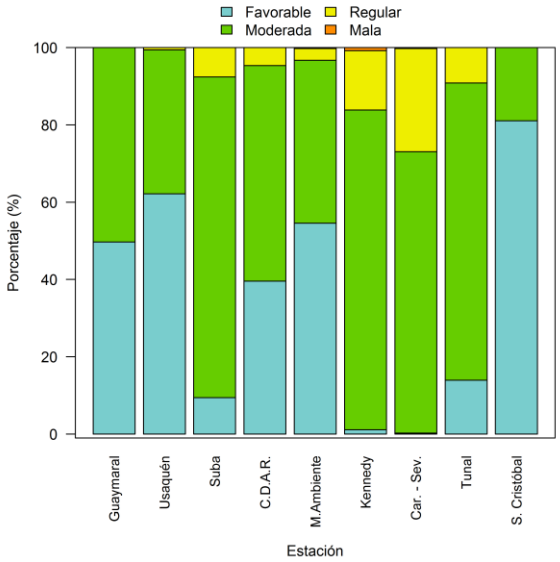


Figura 3-84. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$ por estación para el año 2015.

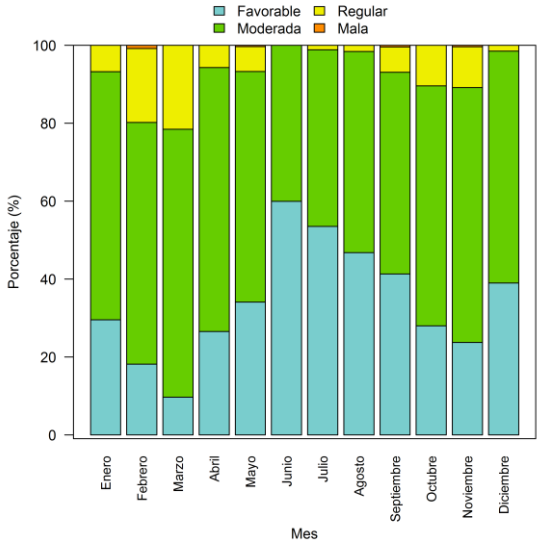


Figura 3-85. Proporción relativa del IBOCA por meses para $PM_{2.5}$ en el año 2015.

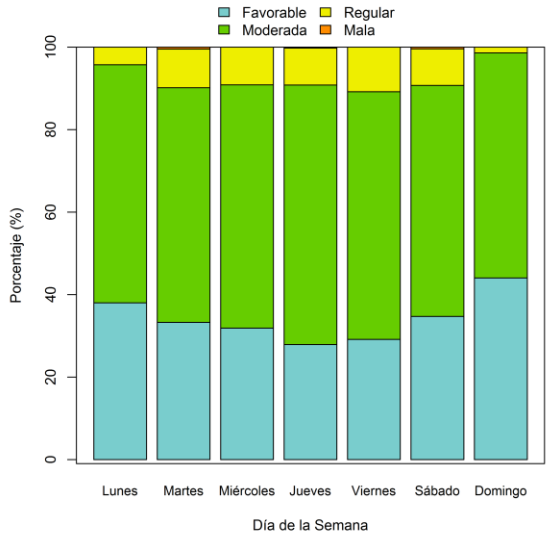


Figura 3-86. IBOCA de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el año 2015

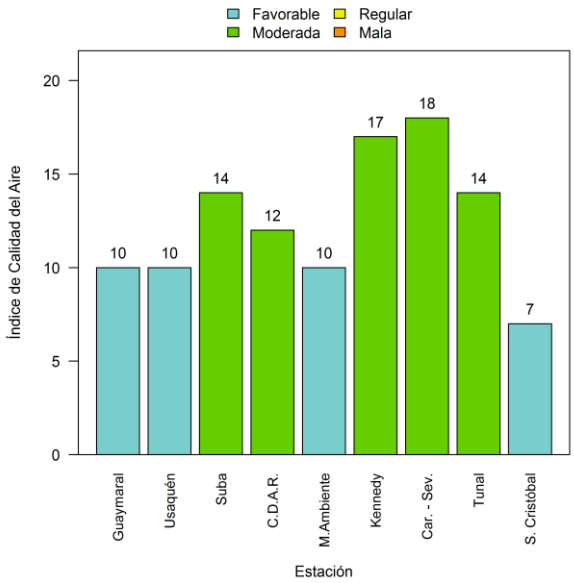


Figura 3-87. IBOCA promedio por estación para $PM_{2.5}$ en el año 2015

Los valores de IBOCA promedio para el año 2015 de la Figura 3-87 muestran que, con cuatro (4) de las nueve estaciones representativas se mantienen en categoría “favorable” y cinco (5) en “moderada” con un valor máximo de 18 para Carvajal-Sevillana, lo cual indica que en promedio todas las estaciones se encuentran lejos de la categoría “regular” o alerta amarilla.

3.3.2.3. Índice de calidad del aire para ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO).

Las Figura 3-88, Figura 3-89 y la Figura 3-90 presentan los IBOCA promedio por estación para año 2015 con base en los contaminantes O_3, SO_2 y CO en tiempos de exposición de 8 horas, 1 hora y 8 horas respectivamente. En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Siendo así, el mayor factor de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el año 2015 en Bogotá es el $PM_{2.5}$, lo cual hace necesario enfocar la atención y los esfuerzos distritales en controlar las fuentes de emisión que emiten partículas de menor tamaño, tales como las fuentes de combustión.

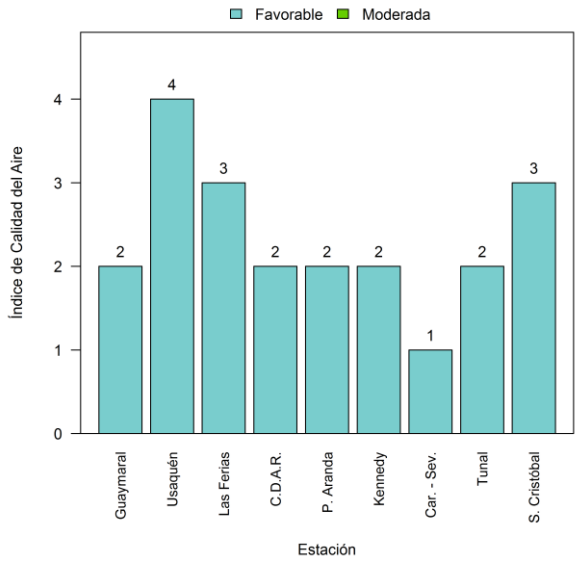


Figura 3-88. IBOCA promedio para ozono (O_3). Base de 8 horas.

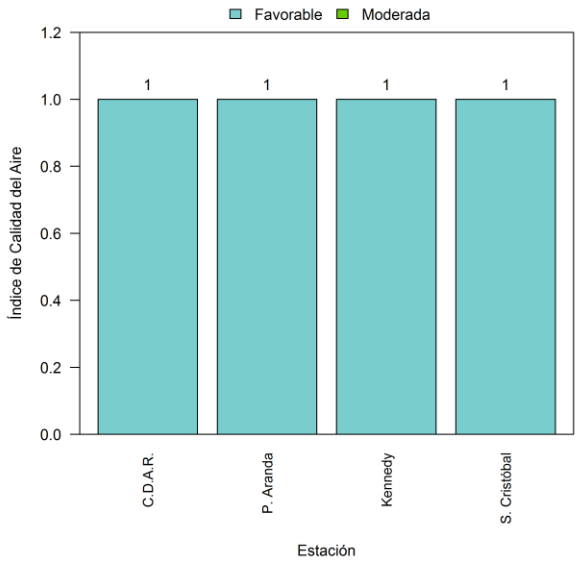


Figura 3-89. IBOCA promedio para dióxido de azufre (SO_2). Base 1 hora.

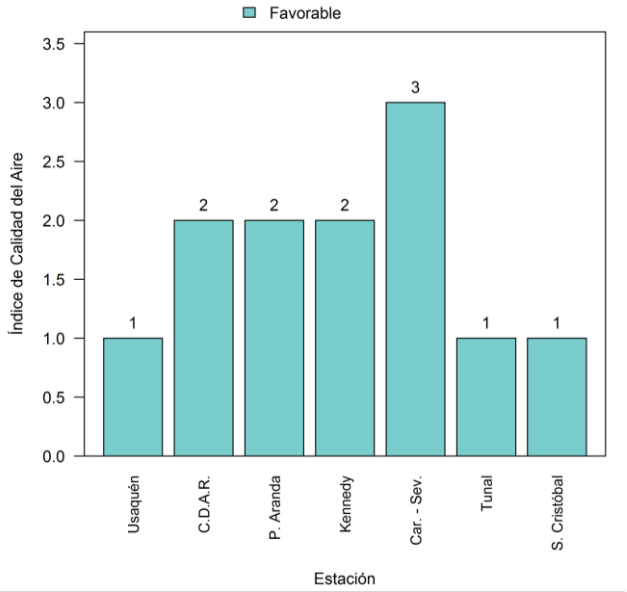


Figura 3-90. IBOCA promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

3.4. Síntesis de resultados

Esta sección contiene una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para cada caso se presenta el comportamiento de los promedios en las bases temporales estudiadas para el año 2015.

Para cada tabla, se observa en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios o datos obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de captura de datos, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. La quinta columna informa el número de promedios que excedieron el límite normativo y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 75% y van hasta el 100% del valor de la norma, lo cual resulta importante en la medida que permite establecer las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a sobrepasar la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 50% y el 75%, En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor del límite máximo permisible, lo que da un indicativo de la susceptibilidad presentar excedencias. La última columna presenta los valores de los promedios anuales los cuales, en algunos casos son indicativos al no estar regulados en la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), Año 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PST										
[Norma: 300 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	272	75	0	0	0	25	225	0.75	104

* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Promedio geométrico para PST

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM_{10}). Año 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{10} [Norma: 100 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Guaymaral	356	98	0	0	0	24	70	0.7	31
	Usaquén	347	95	0	0	1	28	78	0.78	30
	Subtotal	***703***	***97***	***0***	***0***	***1***	***52***	***74***	***0.7***	***31***
Noroccidente	Suba	330	90	0	0	6	123	87	0.87	47
	Las Ferias	333	91	0	0	3	59	83	0.83	35
	Subtotal	***663***	***91***	***0***	***0***	***9***	***182***	***85***	***0.9***	***41***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	355	97	0	0	4	41	80	0.8	28
	MinAmbiente	364	100	0	0	6	53	89	0.89	34
	Subtotal	***719***	***99***	***0***	***0***	***10***	***94***	***85***	***0.8***	***31***
Suroccidente	Puente Aranda	345	95	6	1.74	46	112	104	1.04	53
	Kennedy	362	99	29	8.01	79	161	153	1.53	66
	Carvajal-Sevillana	355	97	98	27.61	134	91	160	1.6	87
	Subtotal	***1062***	***97***	***133***	***12***	***259***	***364***	***139***	***1.4***	***69***
Sur	Tunal	362	99	2	0.55	18	84	103	1.03	43
	San Cristóbal	352	96	0	0	9	28	97	0.97	26
	Subtotal	***714***	***98***	***2***	***0***	***27***	***112***	***100***	***1.0***	***35***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anuales de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$). Año 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de $PM_{2.5}$										
[Norma diaria: 50 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. datos entre el 50% y el 75% de la norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Guaymaral	344	94	0	0	0	23	35	0.7	14
	Usaquén	309	85	0	0	1	18	40	0.8	13
	Subtotal	***653***	***90***	***0***	***0***	***1***	***41***	***38***	***0.8***	***14***
Noroccidente	Suba	328	90	0	0	17	70	50	1	22
	Las Ferias	258	71	0	0	10	37	43	0.86	17
	Subtotal	***586***	***81***	***0***	***0***	***27***	***107***	***47***	***0.9***	***20***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	321	88	1	0.31	12	58	52	1.04	18
	MinAmbiente	361	99	1	0.28	8	38	58	1.16	15
	Subtotal	***682***	***94***	***2***	***0***	***20***	***96***	***55***	***1.1***	***17***
Suroccidente	Kennedy	359	98	6	1.67	42	129	66	1.32	27
	Carvajal-Sevillana	341	93	7	2.05	69	181	64	1.28	31
	Subtotal	***700***	***96***	***13***	***2***	***111***	***310***	***65***	***1.3***	***29***
Sur	Tunal	359	98	4	1.11	24	57	53	1.06	21
	San Cristóbal	327	90	0	0	0	1	32	0.64	9
	Subtotal	***686***	***94***	***4***	***1***	***24***	***58***	***43***	***0.9***	***15***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anuales de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios horarios de O_3., Año 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de O_3										
[Norma: 120 µg/m³]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Guaymaral	8350	95	2	0.02	42	237	127	1.06	22
	Usaquén	8436	96	33	0.39	348	1881	176	1.47	47
	Subtotal	***16786***	***96***	***35***	***0***	***390***	***2118***	***152***	***1.3***	***35***
Noroccidente	Suba	5972	68	5	0.08	22	112	132	1.1	21
	Las Ferias	8204	94	2	0.02	27	590	129	1.07	33
	Subtotal	***14176***	***81***	***7***	***0***	***49***	***702***	***131***	***1.1***	***27***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7783	89	8	0.1	60	426	162	1.35	26
	MinAmbiente	5146	59	0	0	0	32	88	0.73	22
	Subtotal	***12929***	***74***	***8***	***0***	***60***	***458***	***125***	***1.0***	***24***
Suroccidente	Puente Aranda	8101	92	1	0.01	25	119	126	1.05	17
	Kennedy	7543	86	7	0.09	51	260	155	1.29	22
	Carvajal-Sevillana	8157	93	0	0	10	96	110	0.92	15
	Subtotal	***23801***	***90***	***8***	***0***	***86***	***475***	***130***	***1.1***	***18***
Sur	Tunal	8599	98	0	0	3	56	99	0.82	20
	San Cristóbal	8253	94	1	0.01	20	456	137	1.14	30
	Subtotal	***16852***	***96***	***1***	***0***	***23***	***512***	***118***	***1.0***	***25***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O_3. Año 2015.

[Norma: 80 µg/m³]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Guaymaral	8380	96	20	0.24	141	807	95	1.19	22
	Usaquén	8438	96	561	6.65	1398	3004	125	1.56	47
	Subtotal	***16818***	***96***	***581***	***3***	***1539***	***3811***	***110***	***1.4***	***35***
Noroccidente	Suba	5949	68	31	0.52	36	471	105	1.31	21
	Las Ferias	8226	94	19	0.23	318	2066	94	1.18	33
	Subtotal	***14175***	***81***	***50***	***0***	***354***	***2537***	***100***	***1.2***	***27***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7783	89	48	0.62	205	1224	119	1.49	26
	MinAmbiente	5197	59	0	0	11	319	72	0.9	22
	Subtotal	***12980***	***74***	***48***	***0***	***216***	***1543***	***96***	***1.2***	***24***
Suroccidente	Puente Aranda	8106	93	10	0.12	68	346	90	1.12	17
	Kennedy	7536	86	42	0.56	150	675	115	1.44	22
	Carvajal-Sevillana	8250	94	0	0	43	229	80	1	15
	Subtotal	***23892***	***91***	***52***	***0***	***261***	***1250***	***95***	***1.2***	***18***
Sur	Tunal	8596	98	0	0	10	314	67	0.84	20
	San Cristóbal	8263	94	21	0.25	306	1480	92	1.15	30
	Subtotal	***16859***	***96***	***21***	***0***	***316***	***1794***	***80***	***1.0***	***25***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios horarios de NO_2. Año 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de NO_2										
[Norma: 200 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Guaymaral	8124	93	0	0	0	0	98	0.49	24
	Subtotal	***8124***	***93***	***0***	***0***	***0***	***0***	***98***	***0.5***	***24***
Noroccidente	Suba	2599	30	0	0	0	0	87.5	0.44	22
	Las Ferias	7617	87	0	0	3	83	173.57	0.87	41
	Subtotal	***10216***	***59***	***0***	***0***	***3***	***83***	***131***	***0.7***	***32***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7659	87	0	0	2	76	158	0.79	33
	Subtotal	***7659***	***87***	***0***	***0***	***2***	***76***	***158***	***0.8***	***33***
Suroccidente	Puente Aranda	8468	97	0	0	1	34	162	0.81	32
	Kennedy	5251	60	0	0	0	1	102	0.51	26
	Carvajal-Sevillana	8269	94	0	0	1	41	162	0.81	53
	Subtotal	***21988***	***84***	***0***	***0***	***2***	***76***	***142***	***0.7***	***37***
Sur	Tunal	8448	96	0	0	0	19	137	0.68	28
	Subtotal	***8448***	***96***	***0***	***0***	***0***	***19***	***137***	***0.7***	***28***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-35. Consolidado de los promedios diarios de NO_2. Año 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de NO_2										
[Norma: 150 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio anual (µg/m3)***
Norte	Guaymaral	335	92	0	0	0	0	45	0.3	24
	Subtotal	***335***	***92***	***0***	***0***	***0***	***0***	***45***	***0.3***	***24***
Noroccidente	Suba	107	29	0	0	0	0	38.61	0.26	22
	Las Ferias	315	86	0	0	0	6	85.56	0.57	41
	Subtotal	***422***	***58***	***0***	***0***	***0***	***6***	***62***	***0.4***	***32***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	315	86	0	0	0	4	90	0.6	33
	Subtotal	***315***	***86***	***0***	***0***	***0***	***4***	***90***	***0.6***	***33***
Suroccidente	Puente Aranda	353	97	0	0	0	0	70	0.47	32
	Kennedy	213	58	0	0	0	0	45	0.3	25
	Carvajal-Sevillana	345	95	0	0	0	6	82	0.55	53
	Subtotal	***911***	***83***	***0***	***0***	***0***	***6***	***66***	***0.4***	***37***
Sur	Tunal	352	96	0	0	0	0	64	0.42	28
	Subtotal	***352***	***96***	***0***	***0***	***0***	***0***	***64***	***0.4***	***28***

* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO_2. Año 2015

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO_2										
[Norma: 750 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Noroccidente	Suba	6171	70	0	0	0	0	96.5	0.13	8.4
	Las Ferias	4595	52	0	0	0	0	23.8	0.03	3.4
	Subtotal	***10766***	***61***	***0***	***0***	***0***	***0***	***60.2***	***0.08***	***5.9***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7731	88	0	0	0	0	25.4	0.03	3.5
	Subtotal	***7731***	***88***	***0***	***0***	***0***	***0***	***25.4***	***0.03***	***3.5***
Suroccidente	Puente Aranda	8516	97	0	0	0	0	34.3	0.05	3.3
	Kennedy	7398	84	0	0	0	0	81.7	0.11	5.5
	Carvajal-Sevillana	5845	67	0	0	0	0	261.9	0.35	11.3
	Subtotal	***21759***	***83***	***0***	***0***	***0***	***0***	***126.0***	***0.17***	***6.7***
Sur	Tunal	2505	29	0	0	0	0	34.83	0.05	3.2
	San Cristóbal	7806	89	0	0	0	0	31.16	0.04	1.1
	Subtotal	***10311***	***59***	***0***	***0***	***0***	***0***	***33***	***0.0***	***2.2***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de SO_2. Año 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de SO_2										
[Norma diaria: 250 µg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**Máximo [µg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Noroccidente	Suba	257	70	0	0	0	0	39.3	0.16	8.3
	Las Ferias	192	53	0	0	0	0	11.3	0.05	3.4
	Subtotal	***449***	***62***	***0***	***0***	***0***	***0***	***25.3***	***0.11***	***5.9***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	330	90	0	0	0	0	10.0	0.04	3.4
	Subtotal	***330***	***90***	***0***	***0***	***0***	***0***	***10.0***	***0.04***	***3.4***
Suroccidente	Puente Aranda	357	98	0	0	0	0	12.6	0.05	3.3
	Kennedy	309	85	0	0	0	0	24.4	0.1	5.4
	Carvajal-Sevillana	245	67	0	0	0	0	48.2	0.19	11.4
	Subtotal	***911***	***83***	***0***	***0***	***0***	***0***	***28.4***	***0.11***	***6.7***
Sur	Tunal	104	28	0	0	0	0	15.45	0.06	3.2
	San Cristóbal	326	89	0	0	0	0	8.12	0.03	1.1
	Subtotal	***430***	***59***	***0***	***0***	***0***	***0***	***12***	***0.0***	***2.2***

* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO. Año 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de CO										
[Norma: 40 mg/m³; Resolución 610 de 2010]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Usaquén	6568	75	0	0	0	0	2.9	0.07	0.5
	Subtotal	***6568***	***75***	***0***	***0***	***0***	***0***	***2.9***	***0.07***	***0.5***
Noroccidente	Las ferias	5600	64	0	0	0	0	6.2	0.15	0.7
	Subtotal	***5600***	***64***	***0***	***0***	***0***	***0***	***6.2***	***0.15***	***0.7***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7617	87	0	0	0	0	6.1	0.15	0.8
	Subtotal	***7617***	***87***	***0***	***0***	***0***	***0***	***6.1***	***0.15***	***0.8***
Suroccidente	Puente Aranda	8442	96	0	0	0	0	6.9	0.17	0.9
	Kennedy	6800	78	0	0	0	0	4.0	0.1	0.8
	Carvajal-Sevillana	8398	96	0	0	0	0	7.1	0.18	1.4
	Subtotal	***23640***	***90***	***0***	***0***	***0***	***0***	***6.0***	***0.15***	***1.0***
Sur	Tunal	8414	96	0	0	0	0	4.6	0.11	0.8
	San Cristóbal	8361	95	0	0	0	0	3.7	0.09	0.6
	Subtotal	***16775***	***96***	***0***	***0***	***0***	***0***	***4.1***	***0.10***	***0.7***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-39. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Año 2015.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m³]										
Zona	**Nombre de la Estación**	**No de promedios**	**Captura de datos (%)**	**No de datos que exceden la norma**	**% de datos que exceden la norma**	**No. de datos entre el 50% y el 75% norma**	**No. datos entre el 75% y el 100% de la norma**	**Máximo [mg/m³]**	**Max/Norma**	**Promedio Anual (µg/m³)***
Norte	Usaquén	6558	75	0	0	0	0	1.72	0.2	0.5
	Subtotal	***6558***	***75***	***0***	***0***	***0***	***0***	***1.7***	***0.17***	***0.5***
Noroccidente	Las ferias	5614	64	0	0	0	0	4.01	0.4	0.7
	Subtotal	***5614***	***64***	***0***	***0***	***0***	***0***	***4.0***	***0.40***	***0.7***
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7589	87	0	0	0	0	3.89	0.4	0.8
	Subtotal	***7589***	***87***	***0***	***0***	***0***	***0***	***3.9***	***0.39***	***0.8***
Suroccidente	Puente Aranda	8446	96	0	0	0	0	3.21	0.3	0.9
	Kennedy	6781	77	0	0	0	0	2.18	0.2	0.8
	Carvajal-Sevillana	8406	96	0	0	0	0	3.32	0.3	1.4
	Subtotal	***23633***	***90***	***0***	***0***	***0***	***0***	***2.9***	***0.29***	***1.0***
Sur	Tunal	8430	96	0	0	0	0	2.29	0.2	0.8
	San Cristóbal	8329	95	0	0	0	0	2.75	0.3	0.6
	Subtotal	***16759***	***96***	***0***	***0***	***0***	***0***	***2.5***	***0.26***	***0.7***

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas durante 2015. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar global y humedad relativa.

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A partir del trimestre FMA (febrero marzo abril) de 2015 fue declarado el evento El Niño cuyo índice de oceánico del niño (ONI por sus siglas en inglés) alcanzó su máximo valor en el trimestre NDE (noviembre diciembre enero) (2015 -2016) con un umbral de 2.3 (Para mayor información consulte en el National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), Esto significa que durante el trimestre, la lluvia y otras variables meteorológicas presentaron una variación significativa comparada con la climatología local, manifestándose una reducción considerable de los acumulados de lluvia y aumentos significativos de la temperatura máxima en el periodo.

4.1. Precipitación

La Figura 4-1 presenta el acumulado promedio mensual de la red en el periodo 1998 – 2014, el promedio mensual de las estación del aeropuerto ElDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB, en 2015. Acorde con lo esperado dada la variabilidad climática de la época, se presentó un deficit de lluvia significativo, particularmente en el mes de diciembre donde el acumulado alcanzó en promedio 2 mm, alcanzando una anomalía de -62 mm según lo esperado en el mes. Considerando el promedio histórico de la red, los meses de enero, marzo y junio fueron los únicos que presentaron lluvias por encima de lo esperado. Acorde a la información de la Tabla 4-1, la estación de San Cristóbal reportó el máximo valor del año, 131 mm en el mes de junio el cuál tradicionalmente corresponde a la segunda temporada de menos lluvias del año; por su parte la estacion de Las Ferias en diciembre mostró tiempo seco, alcanzando escasos 0.5 mm acumulados. Es importante resaltar que los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2015.

Estación	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15
Carvajal - Sevillana	22.8	16.6	66.9	58.6	14.2	74.6	36.0	18.5	27.8	50.2	62.4	1.7
Centro de Alto Rendimiento	64.7	73.6	135.8	38.8	12.9	40.6	35.0	23.5	22.6	58.6	99.4	2.9
Guaymaral	63.3	52.3	78.6	52.0	27.4	46.0	43.0	31.6	39.5	23.8	72.5	3.8
Kennedy	32.9	17.0	70.2	53.3	15.5	65.7	55.4	19.0	41.2	26.0	54.0	3.0
Las Ferias	73.6	29.3	154.0	54.9	20.3	31.1	26.3	14.0	29.2	29.9	116.4	0.5
MinAmbiente	31.2	46.9	111.2	41.8	17.7	56.4	29.8	18.9	36.2	58.9	107.9	1.8
Puente Aranda	23.1	18.1	79.2	48.6	31.0	40.9	NA	NA	19.4	45.0	81.2	2.3
San Cristóbal	19.2	34.4	102.8	39.6	21.4	130.9	42.4	38.0	41.6	57.8	43.3	2.5
Suba	28.3	18.3	102.2	109.2	16.5	25.8	1.4	21.2	15.7	42.6	64.4	0.7
Tunal	17.0	14.1	75.3	67.5	17.2	113.4	43.0	24.6	39.6	47.6	49.0	1.2
Usaquén	50.2	44.5	98.0	18.5	31.6	36.6	28.5	13.5	39.1	57.0	41.8	1.9
Promedio	38.8	33.2	97.7	53.0	20.5	60.2	34.1	22.3	32.0	45.2	72.0	2.0

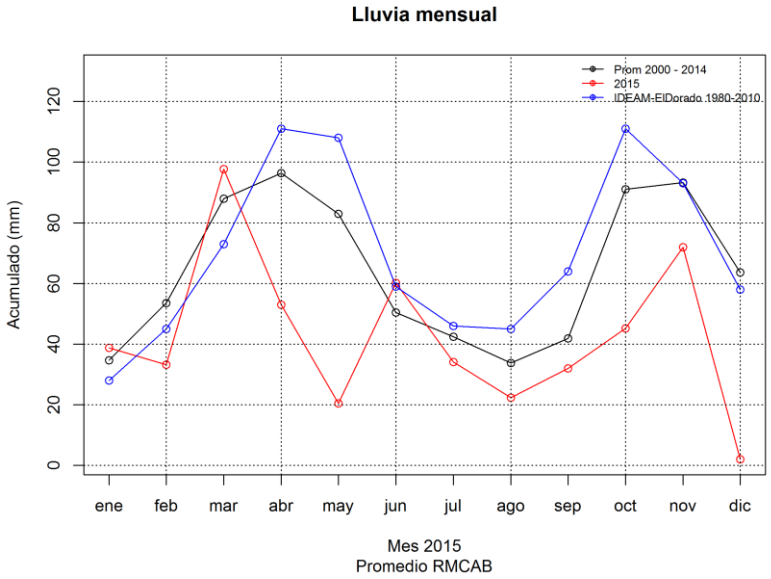


Figura 4-1 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 2000-2014, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.

Es notable la tendencia negativa en la precipitación en los trimestres SON y MAM de 2015 (Figura 4-2). Mientras que en periodos análogos se alcanzaron valores de hasta 333 y 383 mm respectivamente en 2011 (presente evento La Niña), durante el año 2015 se reportaron valores de 149 y de 171 mm respectivamente. No obstante, los trimestres DEF y JJA mostraron una ligera tendencia al aumento con acumulados cercanos a los promedios. La estación de Centro de Alto Rendimiento presentó el mayor acumulado anual de la ciudad, obteniendo 608 mm mientras que por el contrario, la estación se Suba alcanzó a registrar 446 mm. Esta información se puede observar detalladamente en la Tabla 4-2, en donde se resalta que el acumulado promedio de 2015, 507 mm, ha sido el más bajo desde el año 2000

En la Figura 4-3, se presenta la lluvia en escala horaria y mensual, de manera que el eje de las abscisas presenta los meses de 2015, en el eje de las ordenadas la hora y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el último año; es evidente la ausencia de precipitación en la mayoría de estaciones, concentrándose las más significativas el primer trimestre del año en las horas de la tarde, entre las 17:00 y 18:00 horas. Sorprende la ausencia de segunda temporada de lluvias en estaciones como Kennedy, Tunal y San Cristóbal donde los acumulados fueron mínimos en ese periodo.

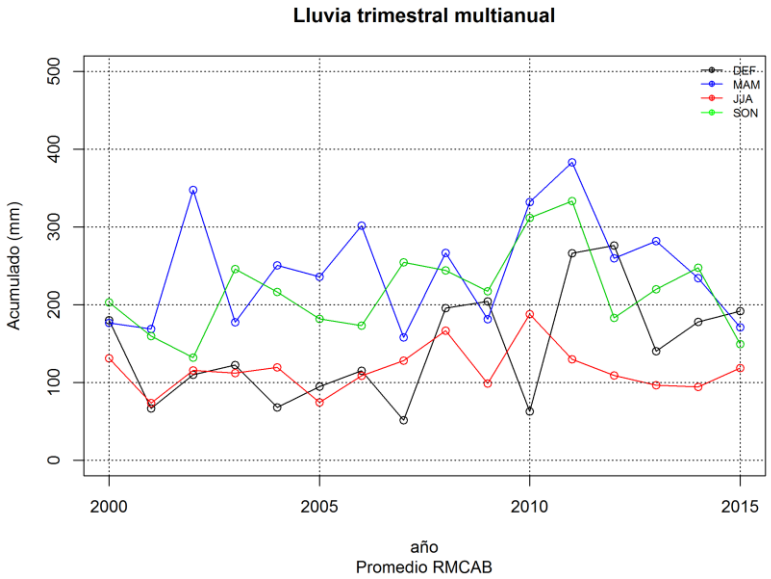


Figura 4-2. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 2000 hasta 2015.

Tabla 4-2. Acumulados de los años 2000 a 2015 por estación.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cade Energía	754	525	812	551												
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703							
Central de Mezclas	402	345														
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980					
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392		
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559
Olaya	1138															
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396
San Cristóbal													938	865	1076	574
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510
Univ. Nacional	863	542														
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461
USME							702	553	718							
Vitelma							1087	803	839	652	922					
Promedio	768	498	711	540	648	669	747	646	838	668	1016	1098	761	768	827	507

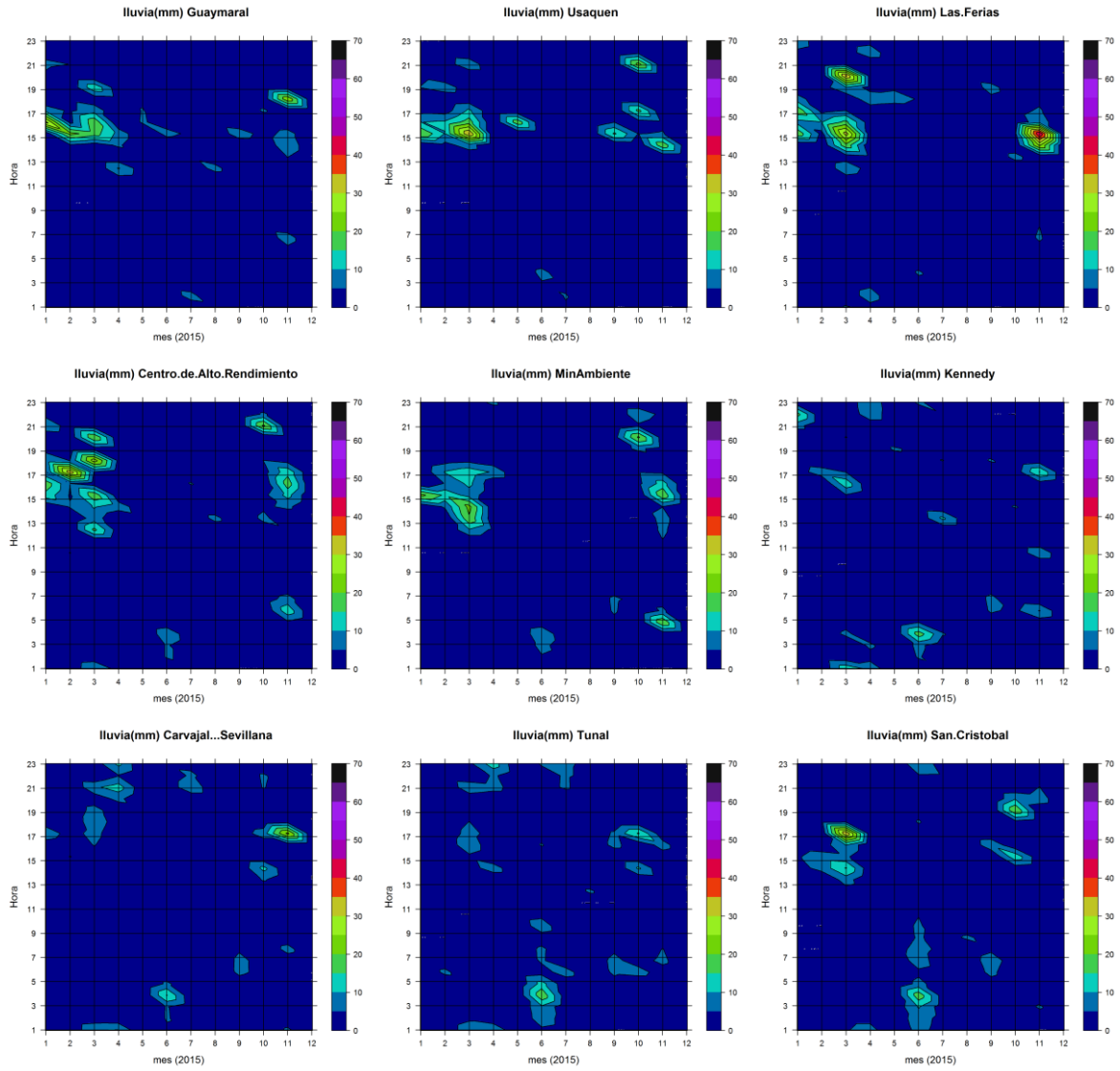


Figura 4-3. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.

Con respecto al número de días que llueve en Bogotá, a partir del mes de agosto se nota una disminución importante de los días de lluvia, aunque llama la atención que el valor del promedio de precipitación no cayó tan significativamente hasta el mes de diciembre, lo que expresa aguaceros importantes pero escasos durante esos meses (Figura 4-4). El volumen promedio de lluvia por día se encuentra generalmente por debajo de lo esperado salvo en los meses de septiembre y noviembre donde fue muy cercano a lo normal.

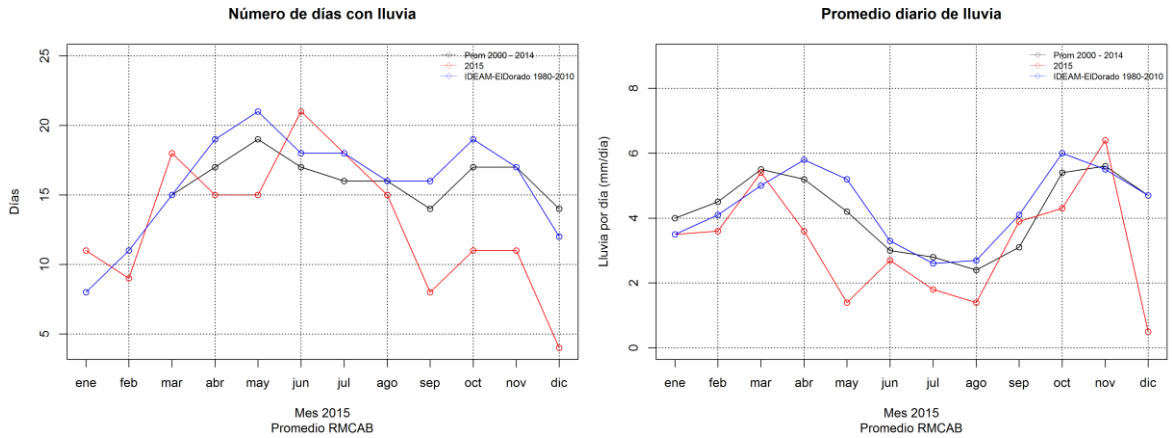


Figura 4-4. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.

Los mapas de la Figura 4-5 muestran la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación anual y las anomalías de lluvia sobre esta superficie. Como se ha mencionado durante el año predominó el deficit de lluvia y se presentó con mayor intensidad en las localidades de Kennedy y Puente Aranda, zonas en dode las anomalías de precipitación (diferencia entre 2015 y el promedio 2000-2014) reportaron una diferencia de hasta 414 mm,en la zona norte, mientras que hacia el occidente la diferencia no fue tan significativa. El comportamiento espacial de la lluvia fue relativamente normal, alcanzando los mayores acumulados en Teusaquillo, Barrios Unidos y en general hacia los cerros orientales tendiendo a disminuir hacia el occidente particularmente en la estación de Carvajal - Sevillana en la localidad de Tunjuelito y Kennedy.

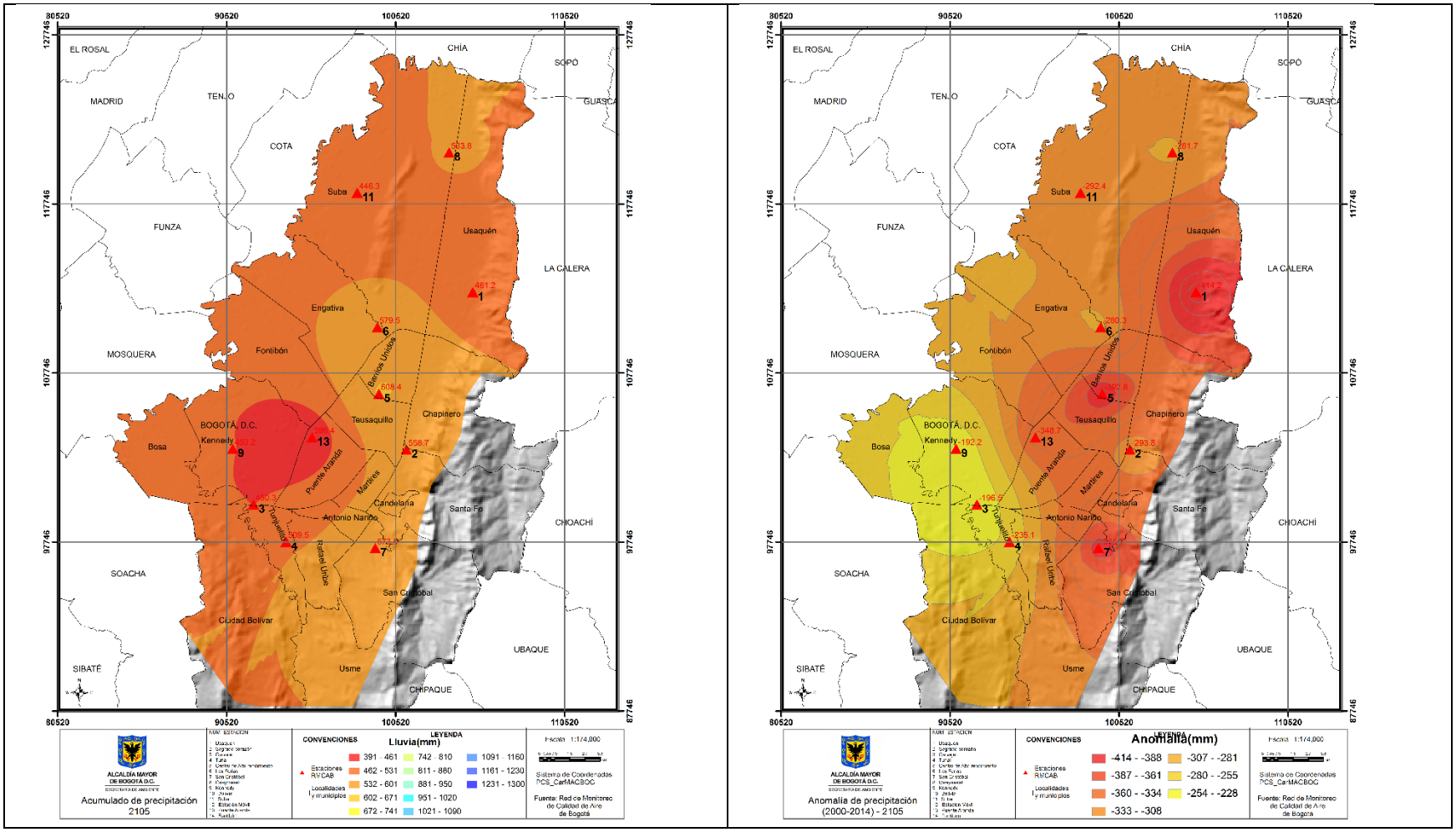


Figura 4-5. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá.

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

4.2. Vientos

La Tabla 4-3 presenta los valores promedio de velocidad y predominancia de la dirección de los vientos durante el año en grupos horarios y diarios. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de las tardes, particularmente en las estaciones de Kennedy (4.1 m/s), Puente Aranda (3.9 m/s) y Carvajal (3.6 m/s). Por el contrario, San Cristóbal y Guaymaral registraron promedios del viento de menor valor, 1.7 y 1.9 m/s en la tarde respectivamente, con promedios diarios de 1.2 y 1.1 m/s alcanzando valores máximos de 2.5 y 2.6 m/s.

Tabla 4-3.valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.

Estación	Velocidad del viento						Dirección del viento				
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Max prom	Predominancia	madrugada	mañana	tarde	noche
Carvajal - Sevillana	1.7	2.7	3.6	2.4	2.6	4.4	180	135	180	180	180
Centro de Alto Rendimiento	0.9	1.6	2.3	1.2	1.5	3.2	90	315	90	135	90
Guaymaral	0.5	1.2	1.9	0.7	1.1	2.6	90	0	90	90	90
Kennedy	1.7	2.8	4.1	2.5	2.8	5.1	135	135	135	135	135
Las Ferias	1.5	2	2.5	1.8	2	3.7	90	45	90	135	90
Min Ambiente	1.1	1.8	2.6	1.5	1.8	4.2	90	135	90	90	90
Puente Aranda	1	2.4	3.9	2	2.3	5.2	135	315	135	135	180
San Cristóbal	0.9	1.2	1.7	1.1	1.2	2.5	90	90	90	90	90
Suba	0.9	2.3	3	1.2	1.9	4.1	45	45	0	90	45
Tunal	0.7	1.3	1.9	1	1.2	2.5	180	180	180	180	180
Usaquén	1.1	1.6	2.4	1.7	1.7	3.6	180	135	180	180	135

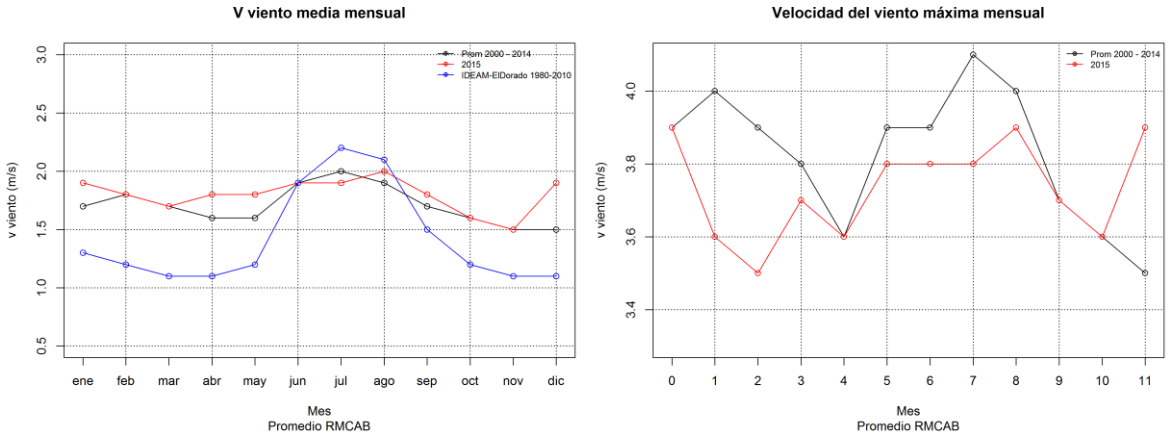


Figura 4-6. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

La velocidad del viento media mensual presentó un comportamiento cercano a lo esperado históricamente; en el año 2015 los meses de enero, abril, mayo, agosto y septiembre estuvieron ligeramente por encima de lo normal mientras que en el mes de diciembre se notó una diferencia más significativa, alcanzando en promedio ciudad 1.9 m/s. Los vientos máximos mostraron una condición similar, donde en los meses de enero y diciembre se observaron los valores máximos alcanzando 3.9 m/s y una diferencia en el último mes de 0.4 m/s con respecto a lo esperado históricamente. Durante el resto de los meses los datos mostraron valores inferiores o similares al promedio multianual (Figura 4-6). La Tabla 4-4 presenta los promedios anuales para cada una de las estaciones de la RMCAB desde 2000

hasta 2015; estaciones como Carvajal, Kennedy y MinAmbiente obtuvieron valores por encima de los promedios e igualaron los máximos obtenidos en los últimos años.

La Figura 4-7 presenta el comportamiento multianual de los promedios trimestrales; Salvo por el trimestre JJA, el cual mostró un incremento con respecto al año anterior, los trimestres DEF, MAM, y SON tendieron a mantenerse similares respecto a los últimos años. Desde el punto de vista horario las madrugadas, mañanas y noches mostraron un ligero aumento mientras que las tardes tendieron a disminuir ligeramente en el promedio del valor de la velocidad del viento.

Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cade Energía	0.7	0.9	0.7	0.8												
Carvajal - Sevilla	0.9	1.3	1.2	2.1				1.8	1.9	2.4	2.1	2.1	2.4	2.4	2.4	2.6
Cazuca	1.9	2.1	2.3		2.8	2.4	2.5	2.6	1.7							
Central de Mezclas	2															
Centro de Alto Rendimiento					0.8	1.9		1.1	1.4	1.7	1.5	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
Chico lago (Sto Tomas)	0.4	0.4	0.4													
Fontibón	2.4	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9	3.4	2.7	3	2.8	2.9	3	3		
Guaymaral			0.6					1.1	1.2	1.3		0.9	1	1	1.1	1.1
Kennedy							1.5	1.5	2.3	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	2.6	2.8
Las Ferias	1.7	1.7	1.6			1.5	1.4	1.4	1.9	2.1	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8	2
Min Ambiente	0.4	0.5	0.5							1.2				1.8	1.8	1.8
Olaya	1.8															
Puente Aranda	1.9	2.4	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.9	2.7	2.7	2.2	2.1	2.1	2.3
San Cristóbal											1.1	1.7	1.8	2.2	1.8	1.2
Suba	1.4	1.4	1.3		1.6		1.3	1.5	0.5	0.9	1	1.8	2	2	1.9	1.9
Tul								2.1	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1	1.2
Univ. Nacional	0.5	0.6														
Usaquén	1.2	1.1	1	1.2		1.6	2.4	1.8	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.6	1.4	1.7
USME							2.6	2.7	3.5							
Vitelma							1.6	1.5	1.7							
Promedio	1.3	1.4	1.3	1.9	2.1	2.2	2.1	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.7	1.8

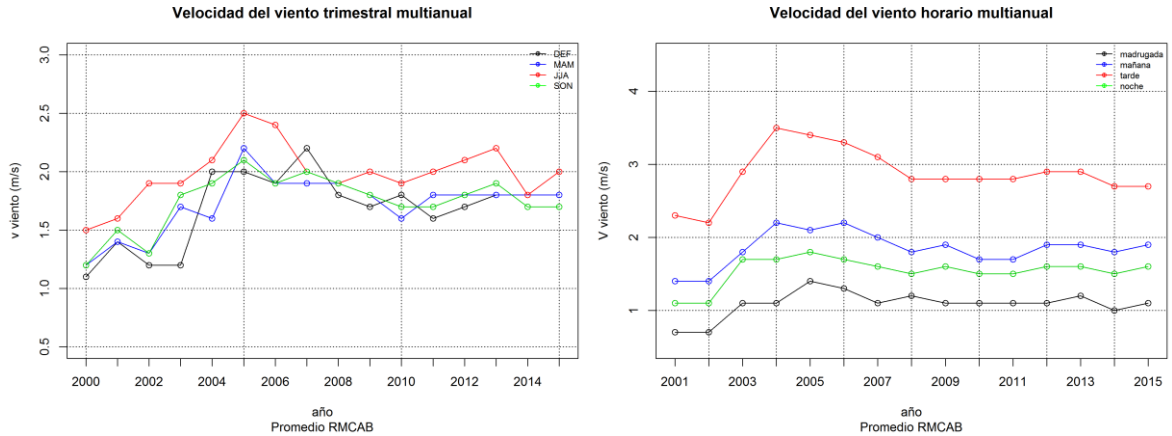


Figura 4-7. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.

La Figura 4-9 presenta las condiciones de viento en 2015 para cada estación, discriminado por mes y por hora; como referencia se presenta el comportamiento climatológico de la

estación del aeropuerto ElDorado (Figura 4-8), en donde se observa la cresta de velocidad del viento luego de mitad de año, particularmente en horas de las tardes; la estación de Kennedy presentó los mayores promedios de velocidad del viento durante las tardes de mediados del año. Este comportamiento fue similar en la mayoría de las estaciones del sur; Puente Aranda alcanzó el máximo valor a la misma hora en el mes de septiembre mientras que Suba presentó dos picos, en el mes de junio y agosto. Estaciones como Las Ferias, Guaymaral, Centro de alto Rendimiento y Tunal no tuvieron gradientes de viento significativos durante el año.

Las rosas de vientos anuales de las estaciones de la RMCAB mostraron una predominancia del este, noreste y sureste, a saber: hacia el norte y oriente es común observar vientos predominantes del este y del norte - noreste como lo muestran las estaciones de Suba Usaquén y Las Ferias, salvo en la estación de Usaquén la cual presentó predominancia del sureste; por su parte Centro de Alto rendimiento presentó frecuencias con una amplia variabilidad en sus direcciones predominando el este y oeste (casos que normalmente son condicionados por la presencia o no de lluvia); hacia el occidente son predominantes vientos del sureste y del este a medida que se acercan al sureste geográfico de la ciudad (Figura 4-10 (a)). Asimismo, la Figura 4-10 (b) presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que, hacia el occidente de la ciudad, los vientos tienden a estar la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del noreste donde hasta el 40% de los datos en el año se presentaron en calma. Esta condición obedece a la orografía de la ciudad, la cual a su vez facilita la dispersión en algunas zonas de los contaminantes y también genera corrientes de vientos ascendentes que apoyan la formación de lluvias locales.

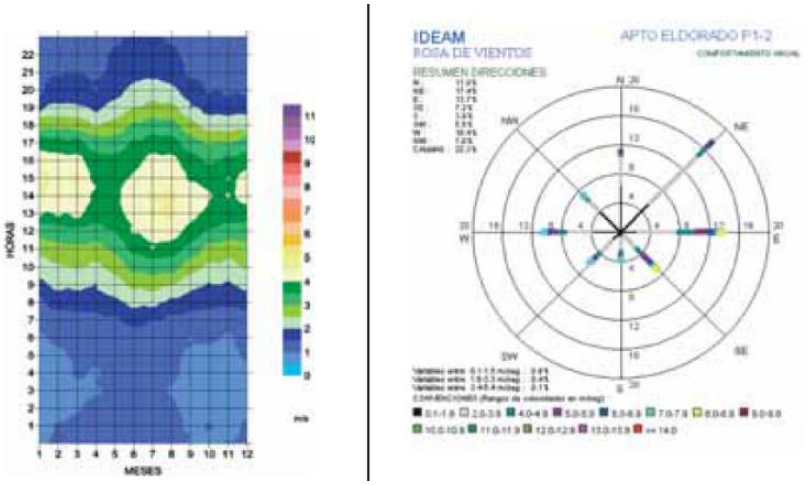


Figura 4-8 Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM

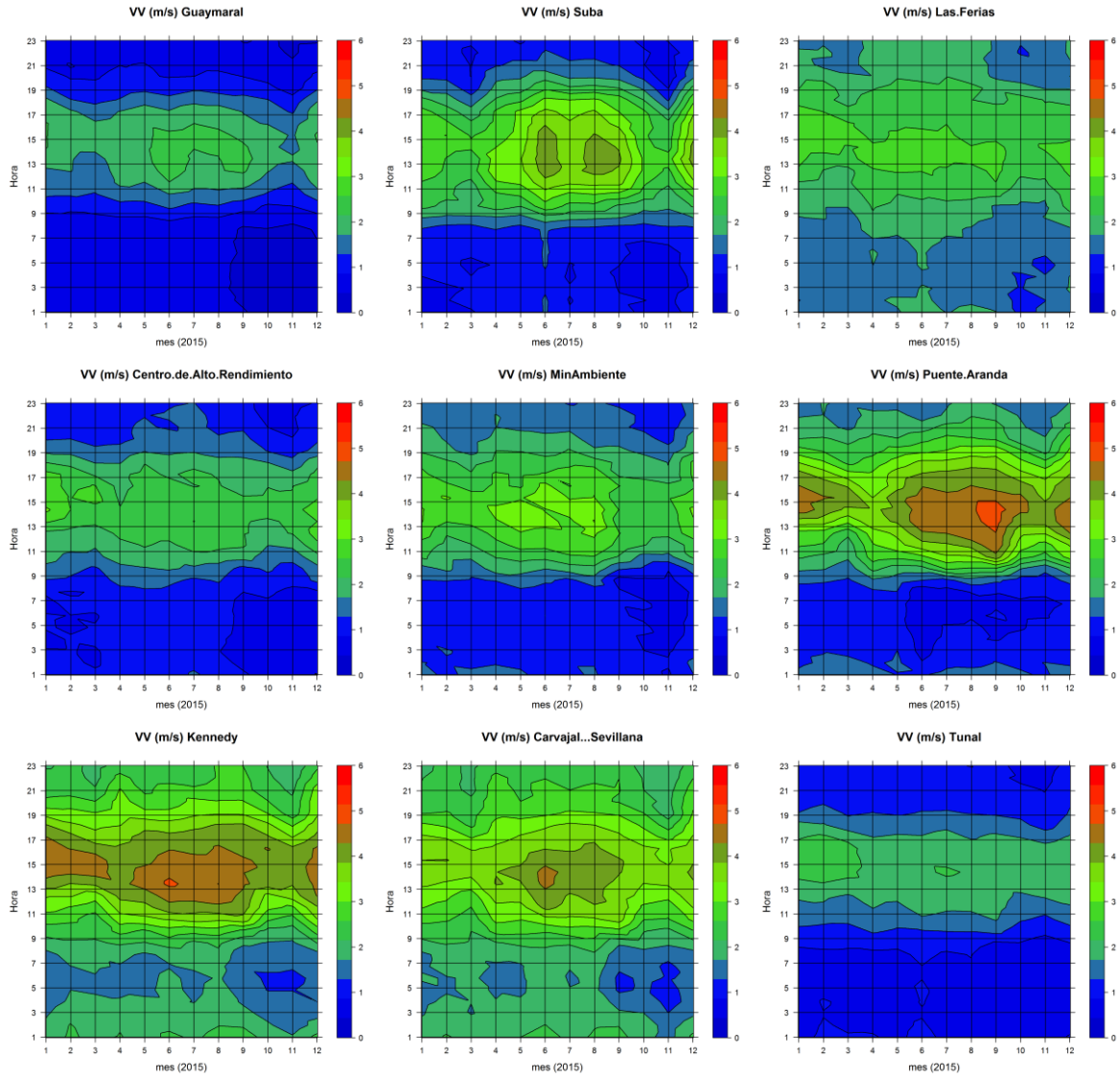


Figura 4-9. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año

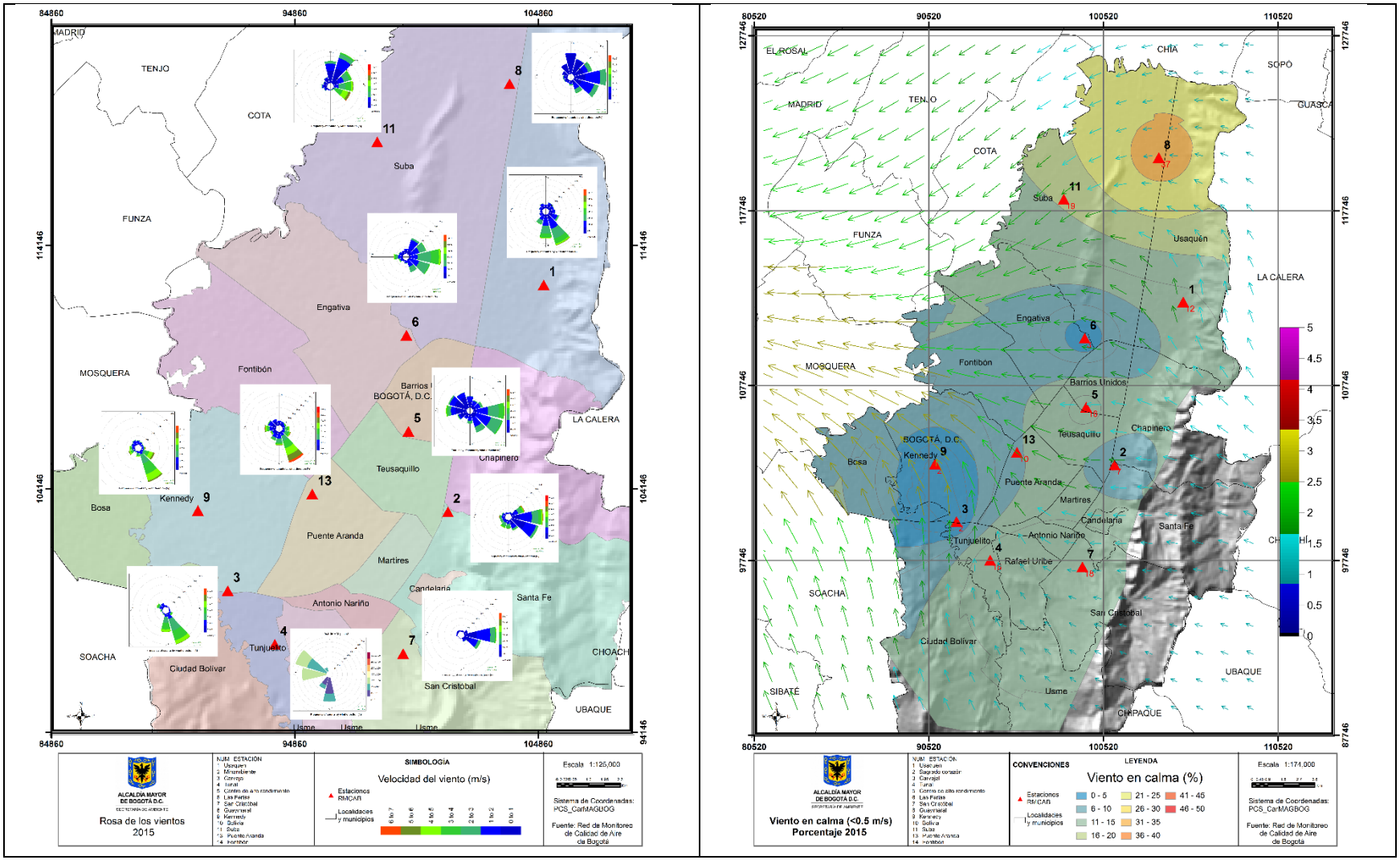


Figura 4-10. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

El mapa de la Figura 4-11 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento en 2015. Asimismo, se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos interpolados a partir de los datos de velocidad y dirección del viento de cada estación. Según lo descrito anteriormente, se puede observar que la tendencia de la velocidad del viento espacialmente tiente a presentar velocidades bajas al nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del este y sureste en gran parte de la zona oriental de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Kennedy (predominantemente sur – sureste), alcanzando velocidades de hasta 2.8 m/s promedio diario.

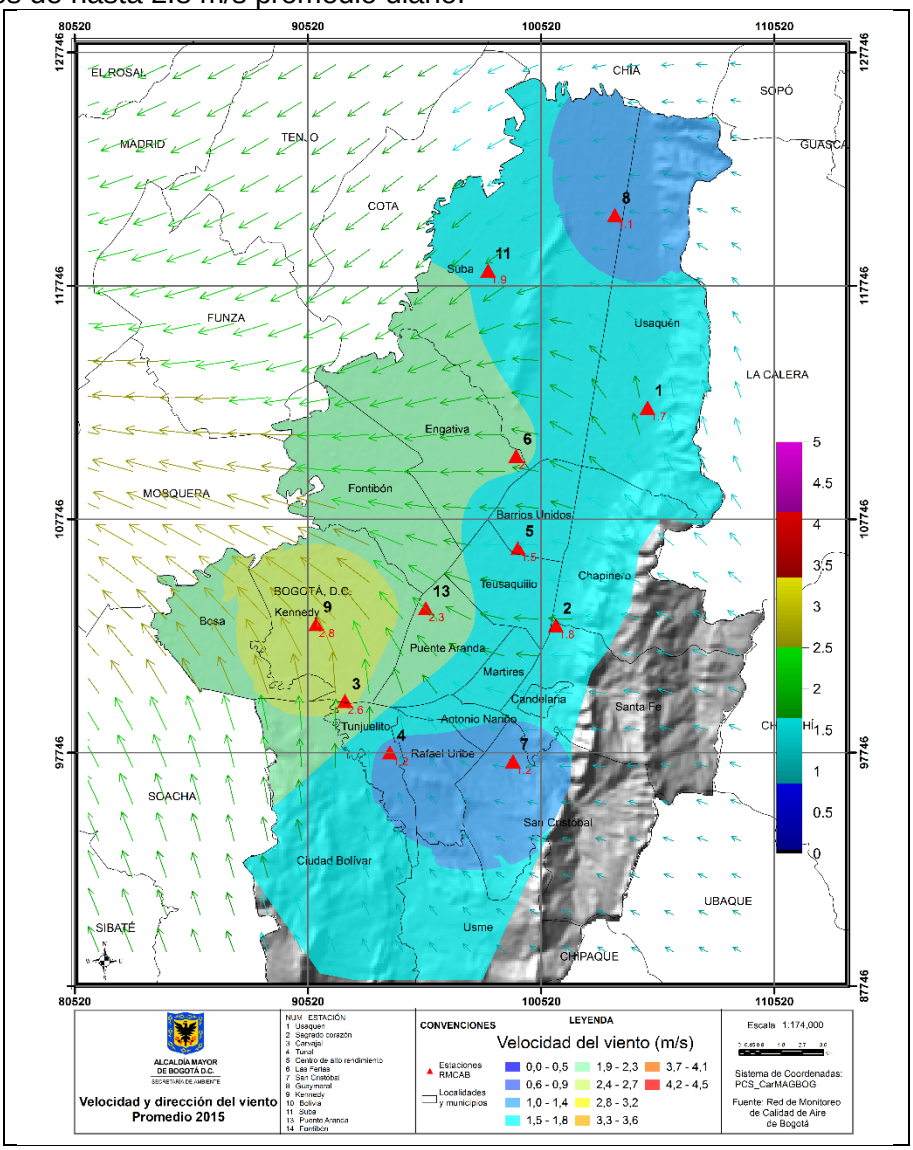


Figura 4-11. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá.

4.3. Temperatura Superficial

La temperatura del aire en la superficie de la ciudad mostró valores superiores a los esperados según la historia de la red. Durante el periodo se observaron valores con diferencias de hasta 0.9 °C en el mes de diciembre y de 0.8 °C en los meses de abril, mayo, agosto y septiembre. Similarmente los valores promedio fueron mayores a lo reportado climatológicamente por la estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM, como se puede apreciar en la Figura 4-12, la cual muestra el valor medio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente, los valores de la estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y su comparación con el promedio de temperatura mensual.

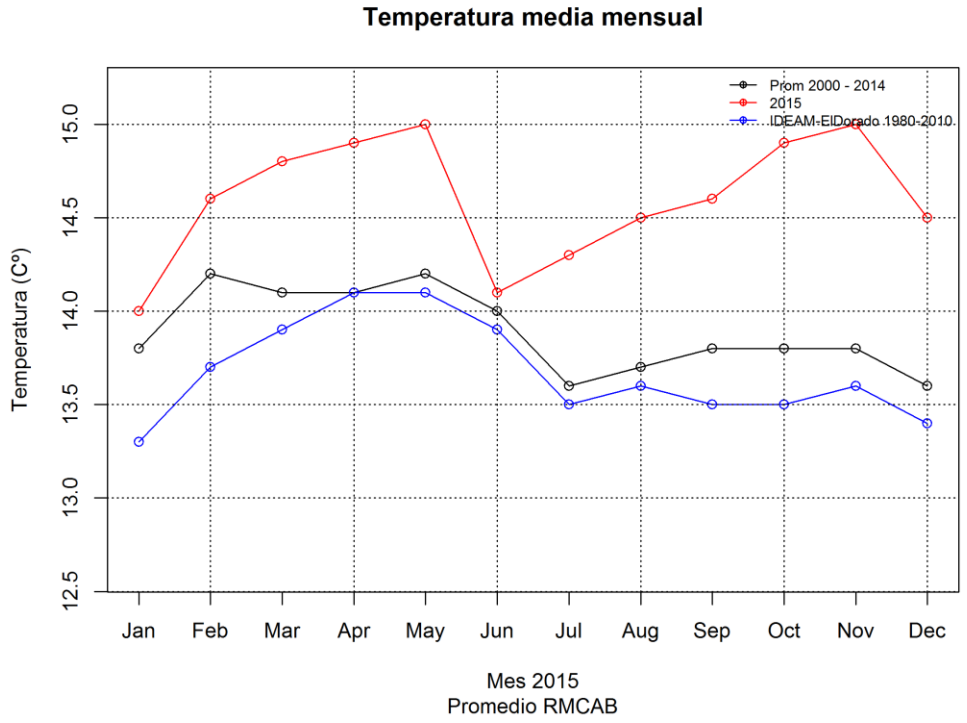


Figura 4-12. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2014, IDEAM ElDorado 1980-2010 y RMCAB 2015.

La Figura 4-13, muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 2000-2015. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2005 y 2010 mientras que la menor temperatura fue en 2000 - 2008. En la figura se aprecia que en 2015 los grupos de trimestres DEF- JJA y MAM - SON fueron similares entre si y distaron un grupo del otro con cerca de 0.7 ºC

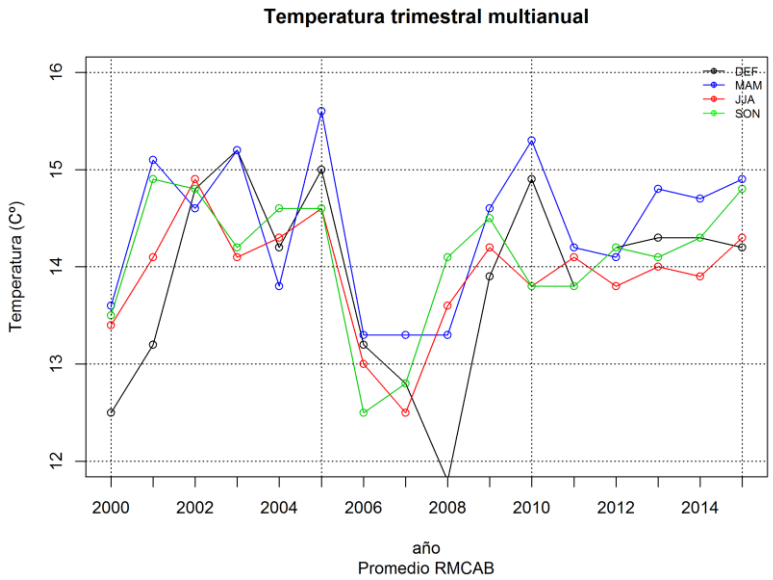


Figura 4-13. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2015.

La Tabla 4-5 muestra la tempeatura superficial promedio anual distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-5. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2015.

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Carvajal - Sevillana							12.2	11.2	14.1	15.4	15.5	15	15.2	15.5	15.5	15.8
Cazuca							12.3	11.7	13							
Centro de Alto Rendimiento									13.9	14.7	14.8	14.5	14.6	14.8	14.8	15.2
Fontibón	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.2	14.1	13.9	14.1	14.7	14.5	13.6	13.8	14.1		
Guaymaral									13.9	14.4	14.8	14.3	14.3	14.6	14.6	14.8
Kennedy									13.6	14.8	14.8	14.4	14.5	14.8	14.9	15.3
Las Ferias	15.6	16	16			15.9			13.3	14	14.2	13.7	13.9	14.2	14.2	14.4
Puente Aranda	14.1	14.5	14.6	14.7	14.5	14.8	14.6	14.6	14	14.6	14.6	14	13.8	13.7	14	14.4
San Cristóbal											13.5	13.7	13	13.1	13	13.4
Suba	10.6						12.6	13.2	13.7	12.9			14	14.3	14.3	14.6
Tunal										14.6		13.2	13.4	13	13.1	13.5
Usaquén									11.9	14.5	15.1	14.4	14.4	14.8	14.7	
USME							11.8	12.5	13.4							
Vitelma								11.7	11.5		12.9					
Promedio	13.5	14.8	14.9	14.4	14.2	14.9	12.9	12.7	13.4	14.5	14.5	14.1	14.1	14.3	14.3	14.6

Adicionalmente la Tabla 4-6 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. En ella se observa que la estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11.2°C seguido de Suba con 11.0°C mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 6.5 °C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Las temperaturas máximas tendieron a ser mayores comparadas con el promedio histórico de la red, particularmente en el mes de octubre donde se alcanzó un tope de 20.4°C; Los

meses de enero y de junio por el contrario presentaron valores menores a lo esperado. Por su parte las temperaturas mìnimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio alcanzando los mayores valores en los meses de abril y noviembre (Figura 4-14).

Tabla 4-6. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	20.3	12.2	8.1
Centro de Alto Rendimiento	20.9	10.4	10.5
Guaymaral	21	9.8	11.2
Kennedy	19.2	12.2	7.1
Las Ferias	19.2	10.9	8.3
Puente Aranda	18.1	11.6	6.5
San Cristóbal	17.6	10.1	7.5
Suba	21	9.9	11
Tunal	20.3	12.2	8.1

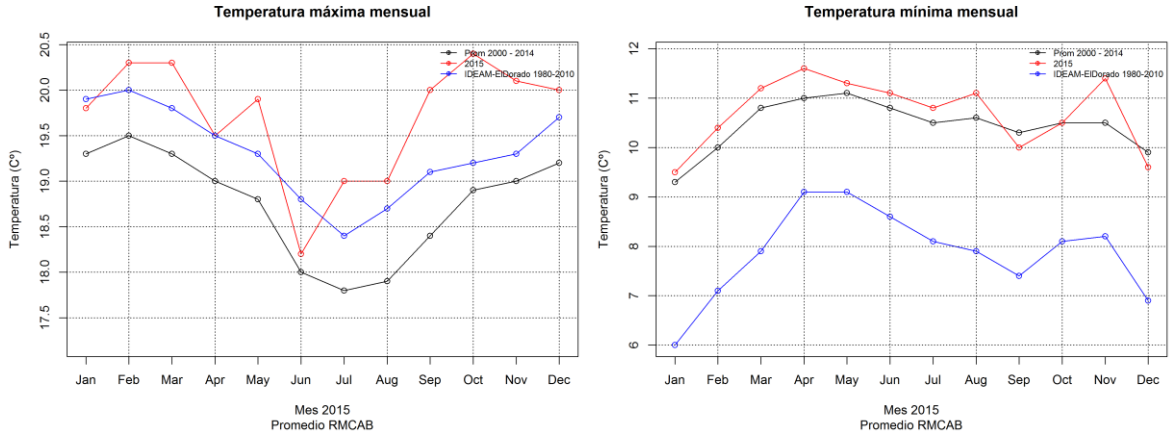


Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000 - 2014, IDEAM ElDorado 1980-2010 y en 2015.

De acuerdo a la Figura 4-15 se observa que las temperaturas máximas y mínimas influyen en el comportamiento promedio de algunas estaciones que no se caracterizan por tener los valores máximos promedio; es decir, estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y fríos en las madrugadas, a diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal que mantienen condiciones menos calurosas durante los días y más cálidas hacia las noches. En la mayoría de las estaciones de la red en horas del mediodía de los meses del primer y último trimestre presentaron un aumento de la temperatura importante. La hora de la temperatura máxima tendió a mantenerse entre la 1:00 p.m y 3:00 p.m y las mínimas tendieron a permanecer entre las 5 y 7 am.

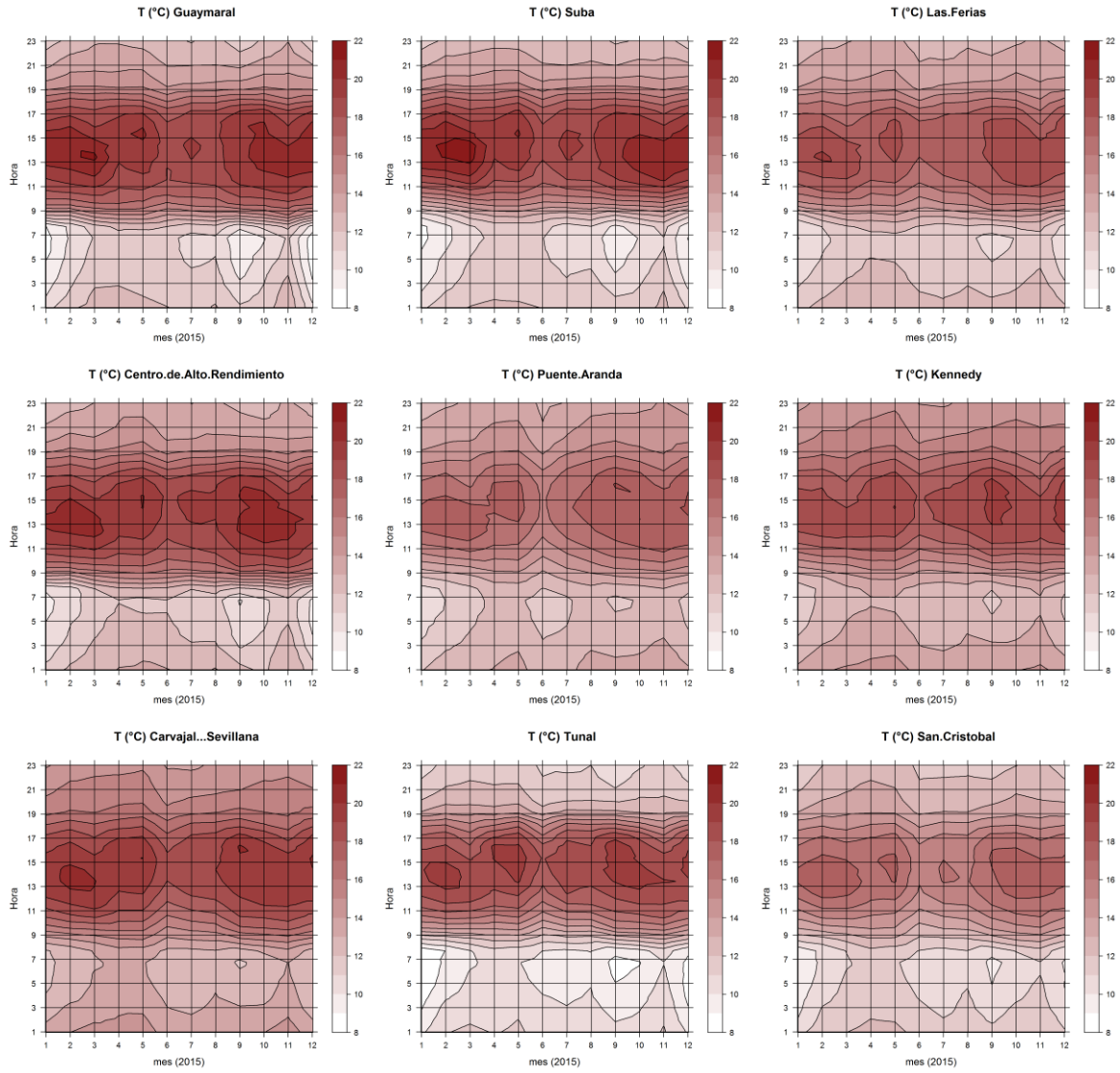


Figura 4-15 Temperatura promedio horario de las estaciones en 2015

La ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura en el año sobre esta superficie se presenta en el mapa de la Figura 4-16. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital, muy cerca de los promedios más altos de la variable justo al sur de la localidad de Kennedy, donde la diferencia alcanzó los 2.1 °C en una distancia no mayor a 2.9 Km. Hacia el nororiente, los valores rondaron entre los 14.1ºC y 14.6ºC de manera relativamente homogénea, aunque se resaltan los 15.1ºC en la zona circundante de Barrios unidos y Teusaquillo.

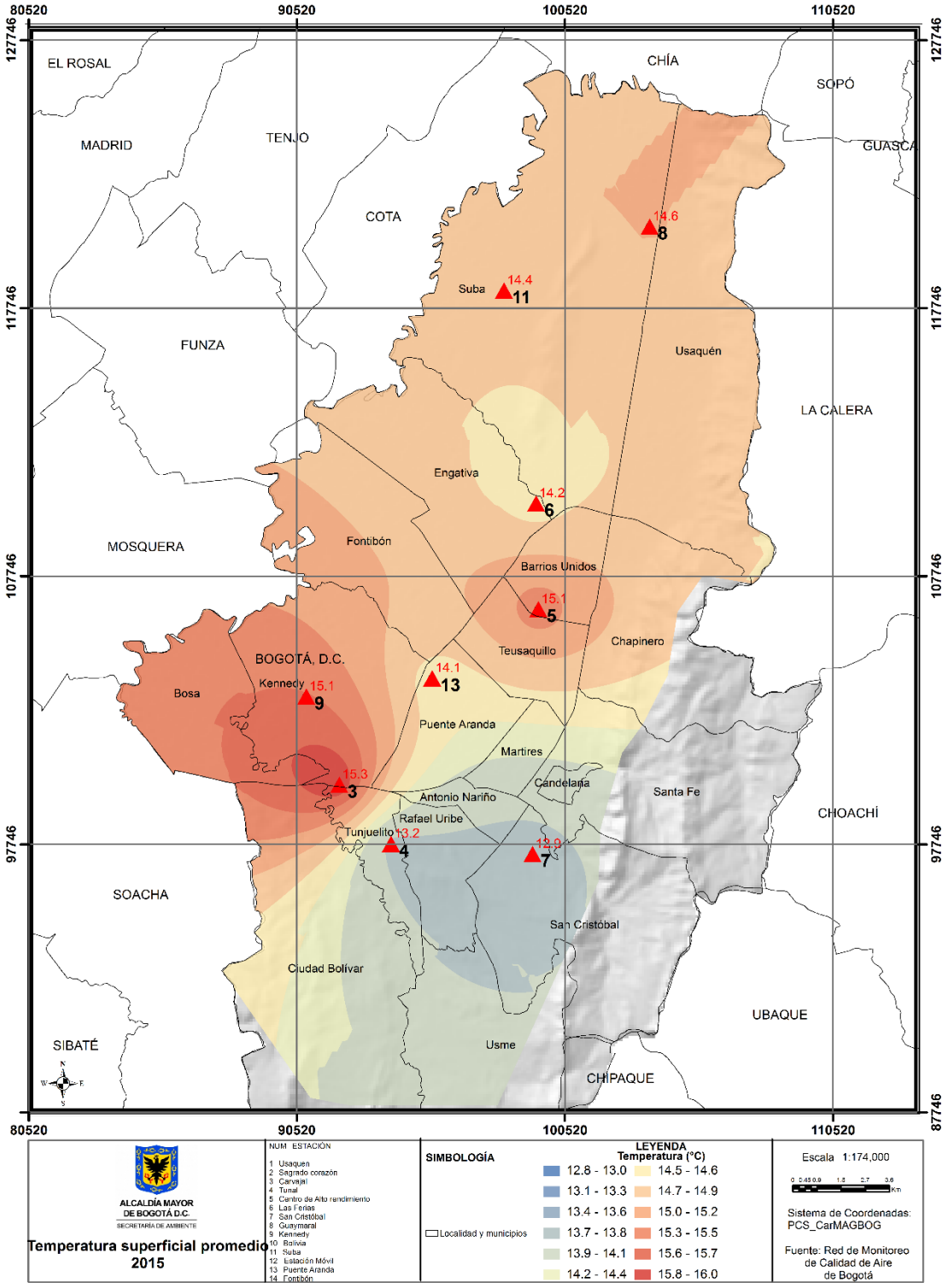


Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2015.

4.4. Radiación solar

En el trimestre, la estación San Cristóbal se consolidó como la de mayor acumulado anual, con 5111 W/m^2 significativamente por encima a Tunal donde el promedio fue de 3785 W/m^2. De la misma forma, el mes de septiembre San Cristóbal alcanzó 6087 W/m^2 en contraste con la estación de Tunal en junio donde se observó el menor promedio, 3444 W/m2. (Tabla 4-7).

Tabla 4-7. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB

Estación	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (W/m2)
Centro de Alto Rendimiento	4743	4306	3844	3845	4033	4072	4226	4090	4382	4178	3925	4366	4167
Guaymaral	4823	4710	4230	3806	3772	3513	3878	3627	4602	3909	3675	4323	4072
Kennedy	4647	4374	4207	4105	3792	3637	3977	4061	4832	4086	3725	4404	4154
San Cristóbal	5611	5549	4631	5261	4727	4087	5119	4843	6087	5320	4673	5426	5111
Tunal	4217	4146	3623	3465	3648	3444	3904	3701	4220	3604	3507	3938	3785
promedio	4808	4617	4107	4096	3994	3751	4221	4064	4825	4219	3901	4492	4258

La Figura 4-17 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora, entre las 6 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Concordante con la Tabla 4-7, San Cristóbal presenta los mayores acumulados a lo largo del año, con valores máximos que inician entre las 11a.m y las 12m, en el mes de enero y de febrero. Estaciones como Guaymaral, Tunal y Centro de Alto Rendimiento presentaron sus mayores acumulados iniciando el año y en el mes de septiembre, en horas cercanas al medio día.

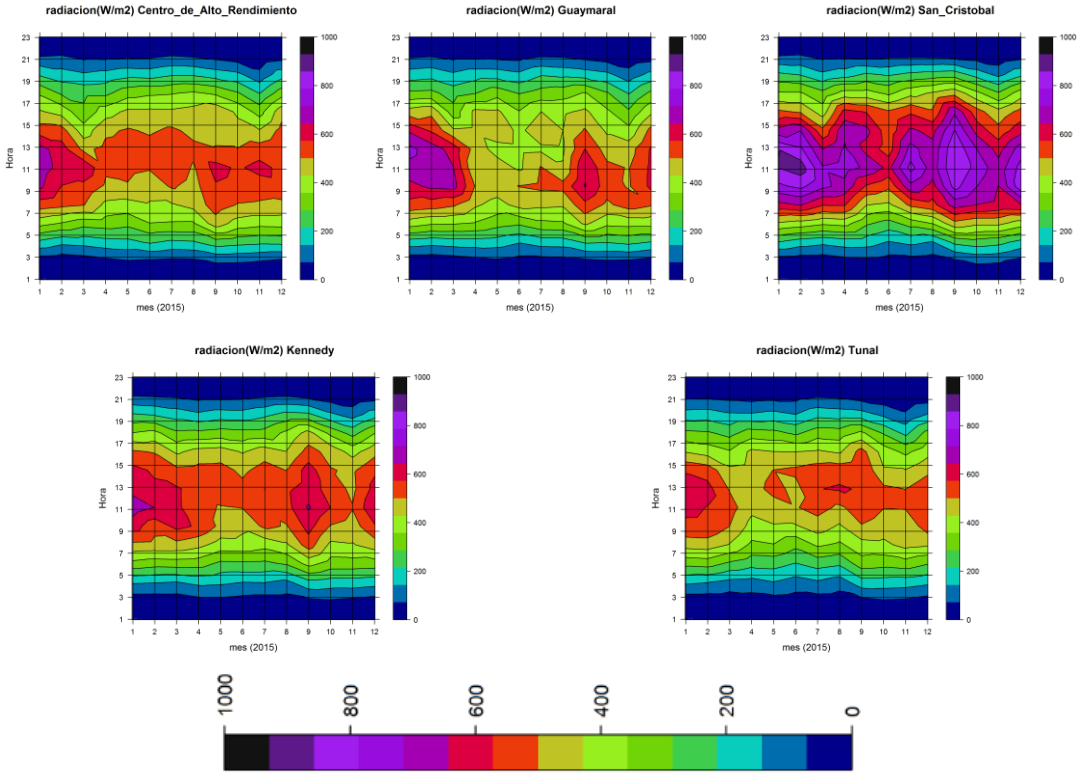


Figura 4-17. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015.

La Figura 4-18 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2010 hasta 2015. Los trimestres DEF, SON y MAM tendieron a incrementar sus valores en el último año, distinto a JJA el cual disminuyó ligeramente con respecto al año inmediatamente anterior. En el último año, salvo por junio, los acumulados mensuales de radiación fueron superiores al promedio de la red en especial en el mes de enero siendo el mayor de todo el periodo. (Figura 4-19).

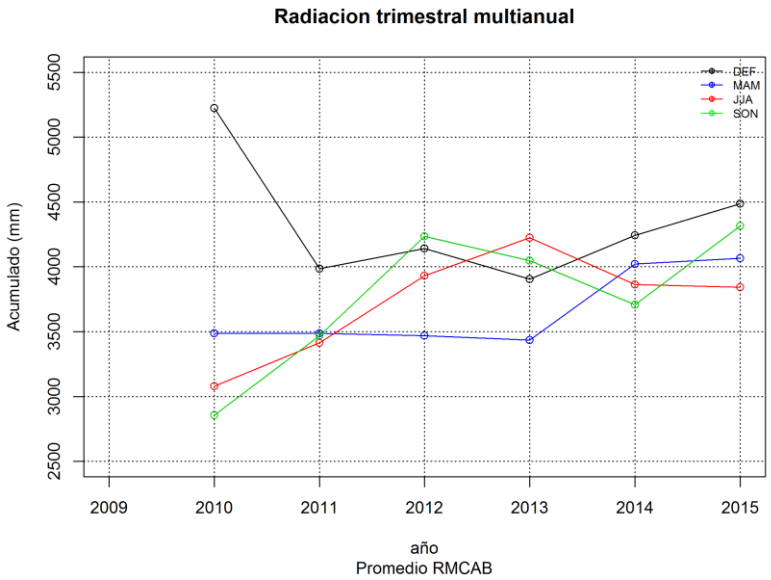


Figura 4-18. Radiación trimestral de los últimos años.

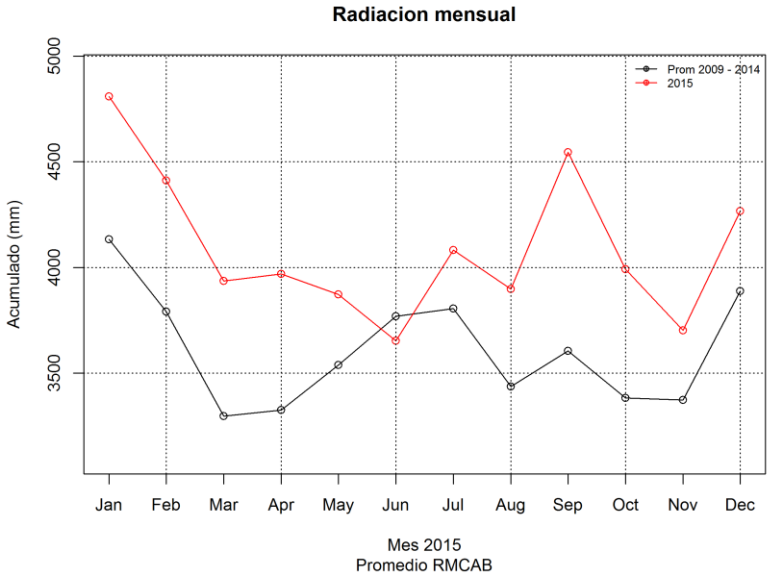


Figura 4-19. Radiación mensual de los últimos años.

4.5. Presión Atmosférica

Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general, depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad). La monomodalidad característica en la ciudad de Bogotá predominó durante el último año, aunque los valores obtenidos fueron significativamente menores a lo registrado en el promedio del periodo 2009 - 2014 (Figura

4-20). En la Tabla 4-8 se presentan los datos promedios mensuales de presión por estación en el último año.

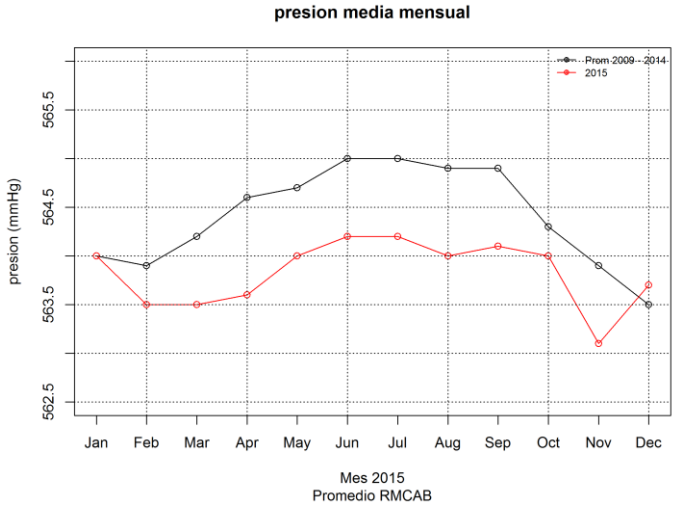


Figura 4-20. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-8 Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.

Estación	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (HPa)
Guaymaral	563.9	563.9	563.9	564	564.4	564.6	564.7	564.5	564.5	564.4	563.5	564.1	564.2
Kennedy	563.6	563.6	563.6	563.7	564.1	564.3	564.3	564.1	564.2	564.1	563.2	563.7	563.9
Las_Ferias	564.4	564.4	564.4	564.5	564.9	565.1	565.1	564.9	564.9	564.8	564	564.6	564.7
promedio	564	563.5	563.5	563.6	564	564.2	564.2	564	564.1	564	563.1	563.7	563.8

4.6. Humedad Relativa

En la Tabla 4-9 se presentan los promedios mensuales de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-9. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (HPa)
C.D.A. R	64.1	66.8	68.8	66.1	64.8	66.1	64.8	62.5	60.9	64.9	68.9	62.3	65.1
Guaymaral	65.0	66.6	68.3	67.2	66.1	68.3	66.6	66.7	64.2	64.8	68.1	63.7	66.3
Kennedy	61.5	63.7	66.5	62.8	61.8	64.1	62.1	60.6	56.8	61.0	66.8	57.4	62.1
Las Ferias	59.6	61.4	64.3	62.4	60.7	62.5	60.8	59.7	57.0	59.1	64.5	57.4	60.8
San Cristobal	55.7	57.0	59.8	58.2	57.6	62.0	60.3	59.0	54.4	55.0	60.0	54.5	57.8
Tunal	59.7	60.8	64.1	62.4	61.1	65.4	62.1	61.1	57.3	59.7	64.4	58.3	61.4
mean	60.9	62.7	65.3	63.2	62.0	64.7	62.8	61.6	58.4	60.8	65.5	58.9	62.2

Bibliografía

Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0.* King's College London.

Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

European Comission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.

Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.*

NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966

NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.* Ginebra.

R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.* Vienna, Austria. Obtenido de http://www.R-project.org/

SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).* Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/

U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).*

U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI).* Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment.*

Glosario

Aire: fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

Aire cero: es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo. La purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.

Agentes contaminantes convencionales: se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, dióxido de nitrógeno).

Analizador: equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.

Anemómetro: instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.

Aseguramiento de la Calidad (AC): sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].

Auditoría: evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].

Bandera: registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

Bitácora: libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.

Calibración: conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Cilindro de gas patrón certificado: es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.

Concentración de fondo: fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.

Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones normales para normas de calidad del aire: las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.
Contaminación atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.
Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
Diagrama de caja (*box-plot*): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (µg/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{\mathrm{C[ppm]} \times \mathrm{PM}}{24{,}466} \times 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:
$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
$\mathrm{C[ppm]}$= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24,466 = Volumen de una kmol en m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.
Episodio de contaminación: es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
Equipo para Calibración: es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
Estabilidad atmosférica: característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.
Estación de monitoreo: es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
Estándar de calidad del aire: valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
Excedencia: una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.
Gas de calibración: término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.
Generador de aire cero: dispositivo utilizado para generar aire cero.
Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos

situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.
Índice: expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.
Isohuma: línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.
Isotaca: línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.
Isoterma: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.
Isoyeta: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.
Material particulado: término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.
Media aritmética: es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.
Media móvil: se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de *n* datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.
Método equivalente: es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.
Método de referencia: es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.
Monitoreo: en el sentido más amplio de la palabra, medición continua para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.
Nivel Normal (Nivel I): es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.
Nivel de Prevención (Nivel II): es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.
Nivel de Alerta (Nivel III): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.
Nivel de emergencia (Nivel IV): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.
Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire,

establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Obstáculo: elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio anual: promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.

Promedio diario: promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.

Promedio Geométrico: antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{\text{prom geom}} = 10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]} \quad \text{para } i = 1,2,3\ldots,n$$

Donde:

$C_{\text{prom geom}}$: Promedio geométrico de concentración

$\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)$: Suma de los n logaritmos de los valores de concentración del contaminante i.

$10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\log(C_i)}{n}\right]}$: Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los "n" valores de concentración del contaminante i.

Protocolo: plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetitividad: grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Captura de datos: grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.
Sustancias Peligrosas: son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.
Toma-muestras: conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
Unidades: Las unidades más utilizadas son:
mg/m^3: miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: microgramos por metro cúbico.
ppm: partes por millón.
ppb: partes por billón.
Validación: confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

Anexos

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

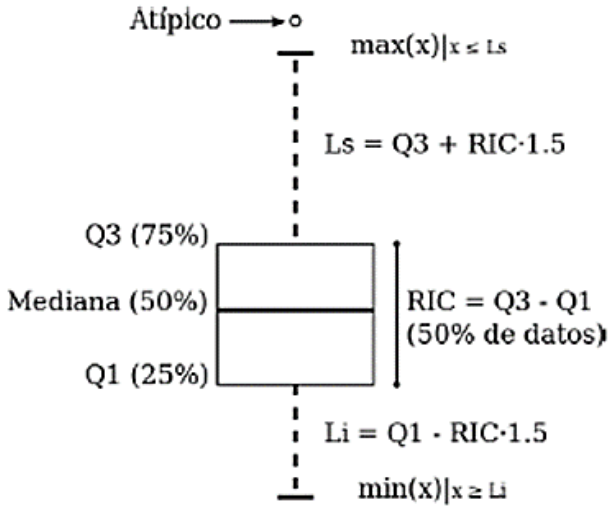


Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y µg/m^3, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y µg/m^3) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{\mathrm{M} * \mathrm{P}}{\overline{\mathrm{R}} * \mathrm{T}} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{\mathrm{R}}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{\mathrm{Pa.m^3}}{\mathrm{mol.K}}$
T: temperatura absoluta [K]

C. Diagramas de caja con el ciclo diario de las concentraciones horarias de PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2.

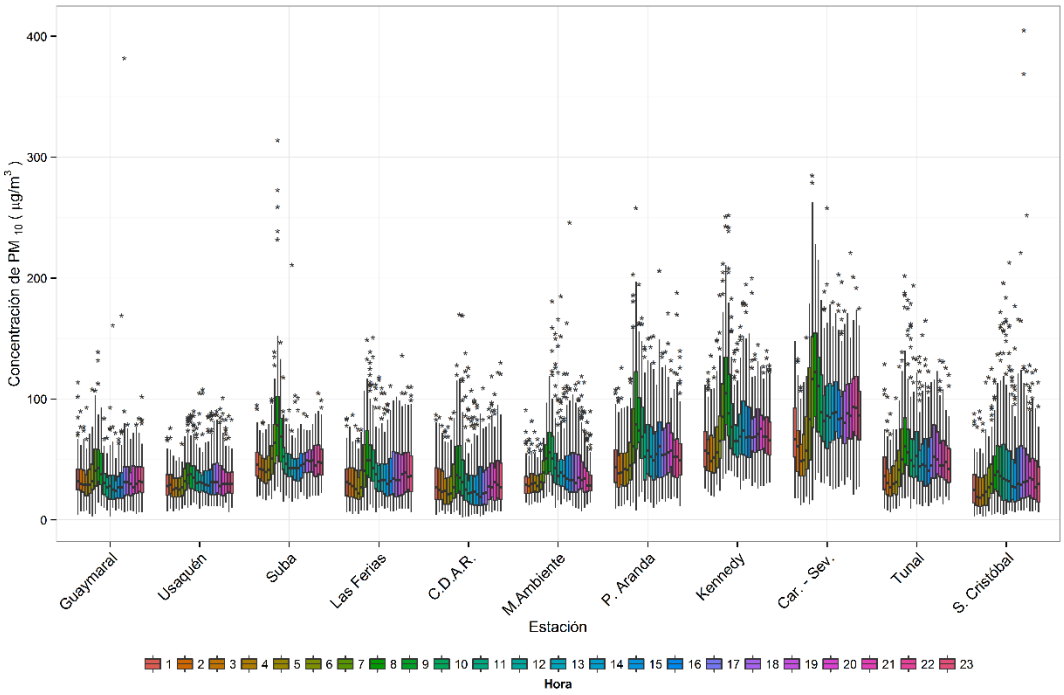
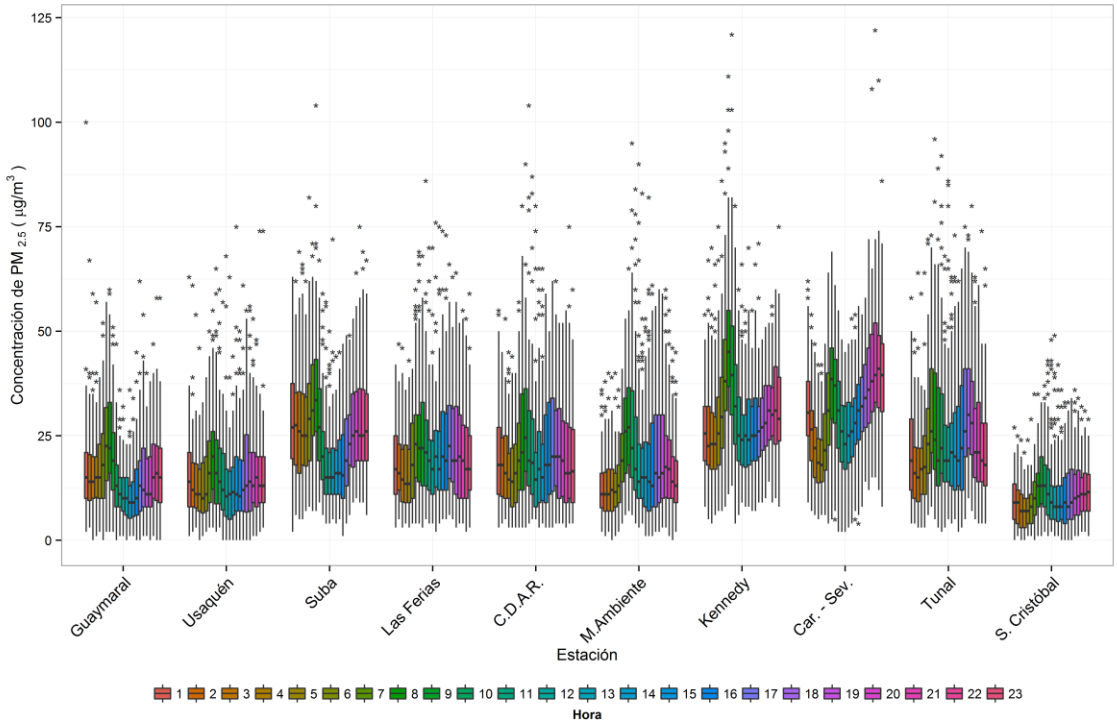


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{10} por estación durante el periodo MAM 2015.



BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de $PM_{2.5}$ por estación durante el periodo MAM 2015.

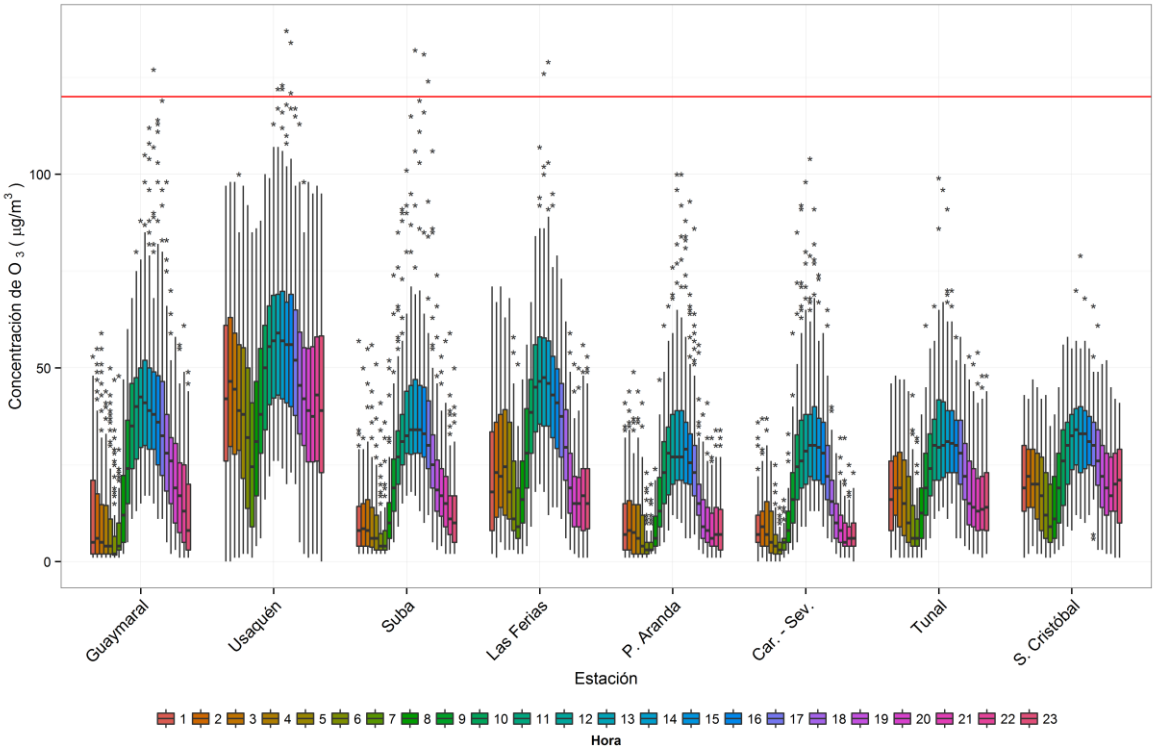


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O_3 por estación durante el periodo MAM 2015.

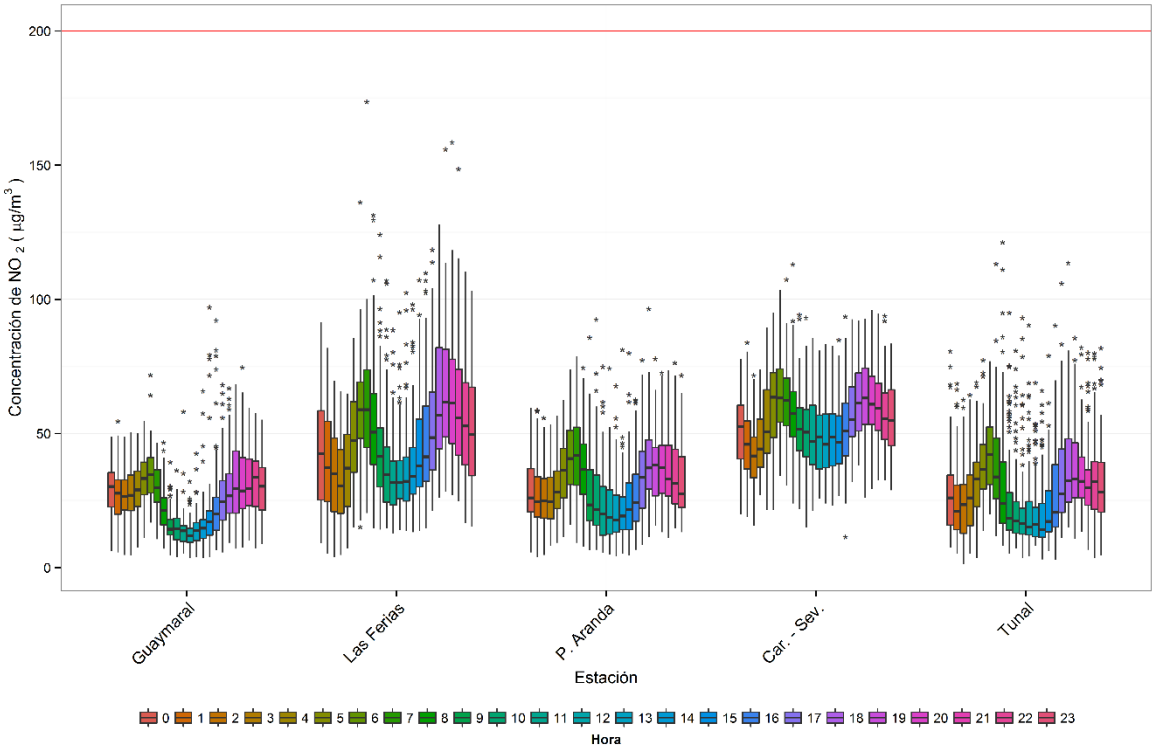


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO_2 por estación durante el periodo MAM 2015.

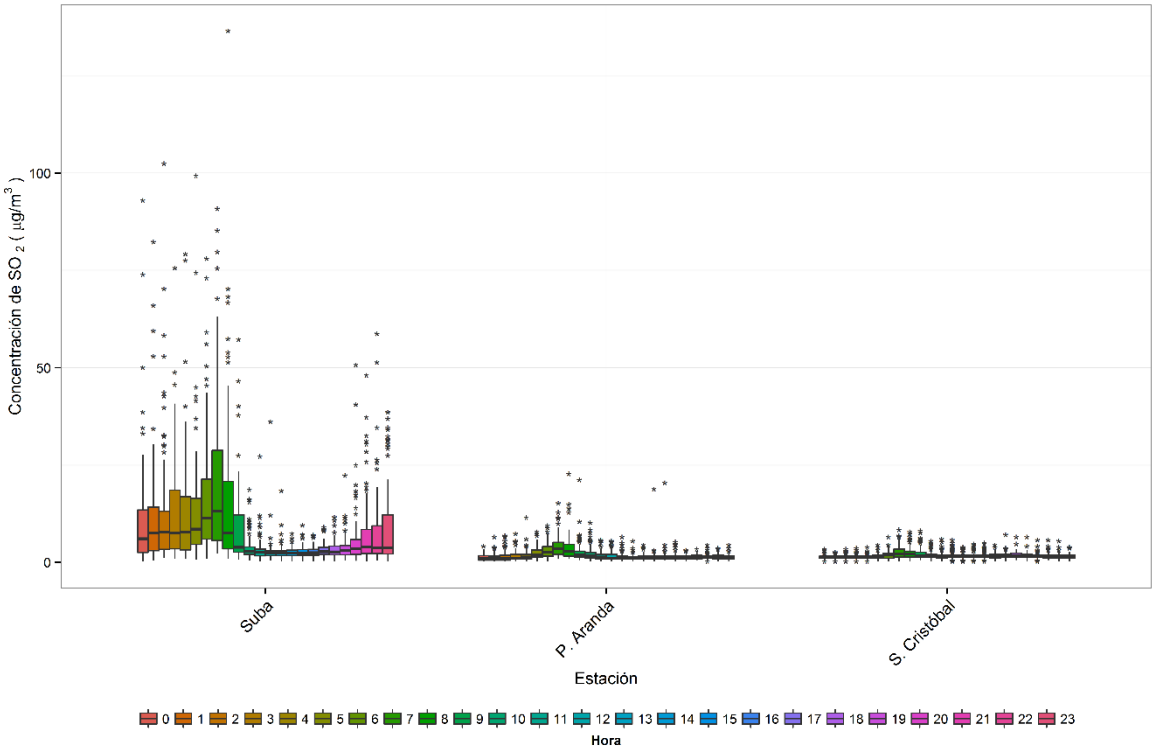


Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el periodo MAM 2015.

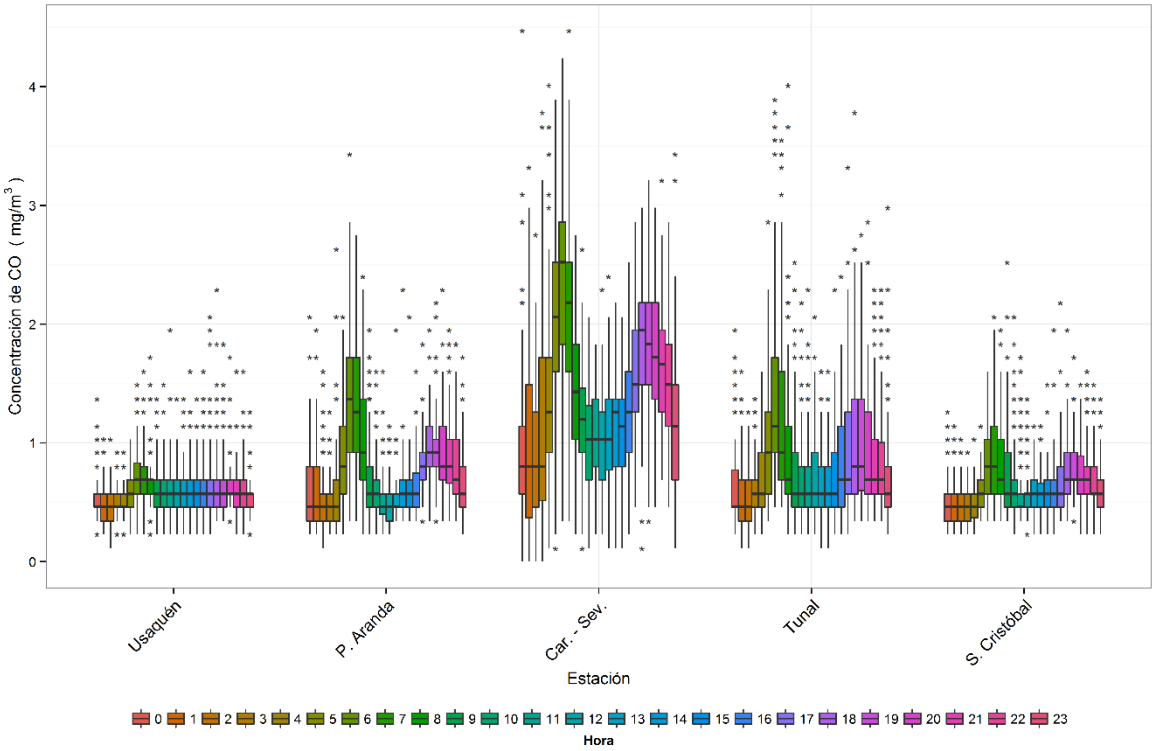


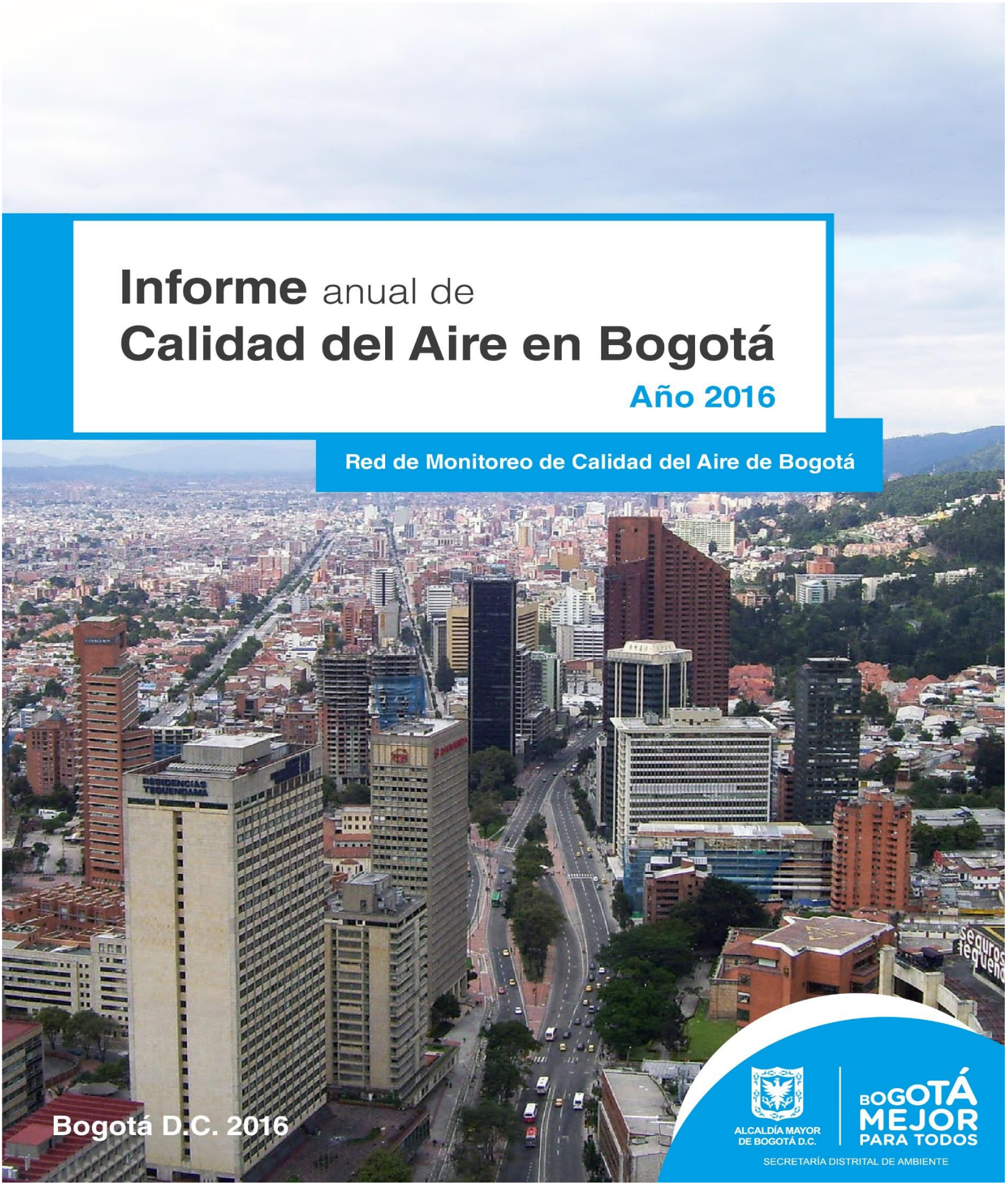
Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015.

ÚLTIMA PÁGINA
FIN DEL INFORME

Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá

Año 2016

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá



Bogotá D.C. 2016

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2016

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C 2017

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Arturo Puerta Cárdenas
Subsecretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Director de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Edgar Alberto Rojas
Coordinador General SATAB-SIMCAB RMCAB

Diana Alexandra Ramírez Cardona
Coordinadora Técnica RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
John Freddy Grajales
Jhonatan Ramírez Gamboa
Yessica Natalia Ramírez Yara
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Marco Antonio Sánchez
Grupo de Operación de la RMCAB

Angie Magelli Gomez Gomez
Línea de aire, ruido y radiación electromagnética
Área de Vigilancia en Salud Pública – Secretaria Distrital de Salud de Bogotá

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Septiembre de 2017, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.
Año 2016.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 13
2 RESUMEN EJECUTIVO 14
3 CARACTERISTICAS DE LA RED 17
4 OBJETIVOS 20
4.1 OBJETIVO GENERAL 20
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 20
4.3 NORMATIVIDAD 20
5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 21
5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 22
5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS 23
6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS) 26
6.1 MATERIAL PARTICULADO 26
6.1.1 PM_{10} 26
6.1.2 $PM_{2.5}$ 37
6.2 GASES 50
6.2.1 OZONO 50
6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO 65
6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE 75
6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO 84
7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA 96
8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA 100
9 METEOROLOGÍA 103
9.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y SINÓPTICAS DEL PERIODO 103
9.2 PRECIPITACIÓN 105
9.2.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN 105
9.2.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN 106
9.2.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN 107
9.2.4 NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN 110
9.3 TEMPERATURA 112
9.3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA 116
9.4 DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO 117

9.4.1 VARIACIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO 118
9.5 RADIACIÓN SOLAR..... 124
9.5.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR 124
9.6 HUMEDAD RELATIVA 125
9.6.1 VARIACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL 125
9.7 PRESIÓN 125
9.7.1 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ANUAL..... 125
9.7.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA 126
10 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD 128
10.1 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LOS EFECTOS EN SALUD POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ..... 128
10.2 ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD..... 128
10.2.1 PROBLEMÁTICA EN BOGOTÁ..... 130
10.3 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA..... 132
10.3.1 MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA 132
10.3.2 MORBILIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA..... 135
10.4 VIGILANCIA AMBIENTAL 147
10.4.1 ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PM10 SEGÚN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD –OMS 147
10.4.2 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE..... 148
10.5 VIGILANCIA SANITARIA..... 149
BIBLIOGRAFÍA..... 152
GLOSARIO..... 154
ANEXOS..... 159

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2016..... 18
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2016. 22
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación. 23
Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2016 24
Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2016. 25
Figura 6-1. Concentración anual de PM_{10} por estación para el año 2016..... 27
Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 29
Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3) 32
Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016..... 32
Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por día de la semana para cada estación durante el año 2016 33
Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} ciclo mensual para el año 2016 por estación 34
Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 34
Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM10 en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2016..... 35
Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por hora del día para cada estación durante el año 2016..... 36
Figura 6-10. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM10 por estación para los años 2012 a 2016..... 37
Figura 6-11. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para el año 2016 38
Figura 6-12. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 40
Figura 6-13. Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3) 42
Figura 6-14 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016..... 43
Figura 6-15. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana para cada estación durante el año 2016 44
Figura 6-16. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2016 por estación 45
Figura 6-17. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 45
Figura 6-18. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ciclo horario por estación durante el año 2016..... 46
Figura 6-19. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por hora del día para cada estación durante el año 2016..... 47
Figura 6-20. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2012 a 2016..... 48
Figura 6-21 Comportamiento de las concentraciones anuales de O3 para el año 2016... 51

Figura 6-22 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O3 con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 52
Figura 6-23. Comportamiento de las concentraciones de O_3 ciclo semanal durante el año 2016 por estación 53
Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo semanal para cada estación durante el año 2016 54
Figura 6-25. Comportamiento mensual de la concentración de O_3 para el año 2016 por estación 55
Figura 6-26. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo mensual para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 56
Figura 6-27. Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 por estación y comparación con norma (120 µg/m^3) 58
Figura 6-28. Comportamiento de las concentraciones de O_3 en ciclo horario por estación durante el año 2016 59
Figura 6-29. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo horario para cada estación durante el año 2016 60
Figura 6-30. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8H) por estación y comparación con norma (80 µg/m^3) 62
Figura 6-31. Diagrama de *cajas* de O_3 en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2012 y 2016 (con base en promedios móviles de 8H) 64
Figura 6-32. Promedios anuales de NO_2 para el año 2016 65
Figura 6-33 Comportamiento diario de la concentración de NO_2 por estación para el año 2016.Comparado con la norma diaria 150 µg/m^3 67
Figura 6-34. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 ciclo semanal durante el año 2016 por estación 68
Figura 6-35. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por día de la semana para cada estación durante el año 2016 68
Figura 6-36. Comportamiento mensual de la concentración de NO2 para el año 2016 por estación 69
Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 70
Figura 6-38. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 y comparación con norma nacional 1h 72
Figura 6-39. Comportamiento horario de las concentraciones de NO2 por estación durante el año 2016 73
Figura 6-40. Diagramas de caja de las concentraciones de NO2 por hora del día para cada estación durante el año 2016 73
Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por estación para los años 2012 a 2016 74
Figura 6-42 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO2 para el año 2016 75
Figura 6-43. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 durante el año 2016 por estación 77
Figura 6-44 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo. 78
Figura 6-45. Comportamiento mensual de la concentración de SO_2 para el año 2016 por estación 79

Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 79
Figura 6-47Comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 en el 2016 por estación 81
Figura 6-48. Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 por estación durante el año 2016 82
Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por estación para los años 2012 a 2016 83
Figura 6-50 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8H) para el año 2016 84
Figura 6-51. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2016 85
Figura 6-52. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2016 85
Figura 6-53. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2016 por estación 86
Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo 87
Figura 6-55. Concentraciones horarias de CO en el año 2016 89
Figura 6-56. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2016 90
Figura 6-57. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016 90
Figura 6-58. Concentraciones 8 horas de CO en el 2016 por estación 93
Figura 6-59. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016 93
Figura 6-60 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2012 a 2016 95
Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2016 98
Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2016 98
Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O_3 por estación. Año 2016 99
Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO_2 por estación. Año 2016 99
Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO_2 por estación. Año 2016 99
Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{10} por estación. Año 2016 102
Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2016 102
Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O_3 por estación. Año 2016 102
Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2016 102
Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para SO_2 por estación. Año 2016 103

Figura 9-1 Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA,2017 104
Figura 9-2. Variación temporal de la precipitación en Bogotá. 106
Figura 9-3. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2015 y el promedio mensual 2016. 107
Figura 9-4 Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2016. 109
Figura 9-5 Número de días con lluvia 111
Figura 9-6Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2016 113
Figura 9-7. Promedio de temperatura mensual multianual 114
Figura 9-8. Climograma de Bogotá en 2016 115
Figura 9-9 Temperatura máximas y mínimas 116
Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB- 2016 .. 117
Figura 9-11. Velocidad del viento promedio Bogotá 119
Figura 9-12. Rosa de vientos promedio anual por estación. 121
Figura 9-13. Mapa Velocidad del Viento RMCAB - 2016 122
Figura 9-14. Distribución espacial de las Rosas de Viento consolidadas por estación 2016 123
Figura 9-15. Comportamiento multianual de la presión atmosférica 127
Figura 10-1 Distribución de la morbilidad por IRA en Bogotá D.C, según servicio que presta la atención del caso, año 2016. (Fuente: Base Sivigila distrital-Vigilancia IRA a semana epidemiológica 52 de 2016) 131
Figura 10-2 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2016 Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire material particulado SDA 2016 Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND 2016* (*PRELIMINARES) 133
Figura 10-3 Caracterización Mortalidad por IRA en Bogotá D.C. 2016. (Fuente: Análisis de Mortalidades por Infección Respiratoria Aguda. Bogotá 2016) 133
Figura 10-4 Concentración promedio PM2.5, precipitación acumulada y promedio temperatura Bogotá año 2016. (Fuente: Temperatura, Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016) 134
Figura 10-5 Comportamiento de la notificación en salas ERA Versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado PM2.5 por semana epidemiológica en Bogotá año 2016.Fuente: Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016. Base SIVIGILA evento 995 información Preliminar 135
Figura 10-6 Frecuencia de casos de sibilancias en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016) 138
Figura 10-7 Frecuencia de casos de tos en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016) 139
Figura 10-8 Frecuencia de casos de mocos y nariz tapada en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016 140
Figura 10-9 Frecuencia de casos de ausentismo escolar por sintomatología respiratoria en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016) 141
Figura 10-10 Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2016 (Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en

datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.) 147
Figura 10-11 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares) 148
Figura 10-12 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares) 148
Figura 10-13 Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2016.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016) 150
Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes. 159
Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Guaymaral 161
Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Puente Aranda 162
Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Tunal 163
Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Centro de Alto Rendimiento 164
Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Carvajal-Sevillana 165
Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Guaymaral 166
Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Kennedy 167
Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Las Ferias 168
Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Min. Ambiente 169
Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM2.5 San Cristóbal 170
Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Suba 171
Figura 0-13 Calendario de Concentraciones Diarias de SO2 Centro de Alto Rendimiento 172
Figura 0-14 Figura 0-15 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 Kennedy 173
Figura 0-16 Figura 0-17 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 Puente Aranda 174
Figura 0-18 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 San Cristóbal 175
Figura 0-19 Calendario de Concentraciones Diarias de PM2.5 Usaquén 176
Figura 0-20 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Centro de Alto Rendimiento 177
Figura 0-21 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Carvajal-Sevillana 178
Figura 0-22 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Guaymaral 179
Figura 0-23 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Kennedy 180
Figura 0-24 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Las Ferias 181
Figura 0-25 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Min. Ambiente 182
Figura 0-26 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Puente Aranda 183
Figura 0-27Calendario de Concentraciones Diarias de PM10 San Cristóbal 184
Figura 0-28 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Suba 185
Figura 0-29 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Tunal 186
Figura 0-30 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Usaquén 187

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA..... 17
Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2016 19
Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. 21
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación. 23
Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro 25
Tabla 6-1. Promedios anuales de PM_{10} para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 27
Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{10} durante el año 2016..... 30
Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM_{10} para los años 2012 a 2016 36
Tabla 6-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 38
Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de $PM_{2.5}$ durante el año 2016..... 41
Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de $PM_{2.5}$ para los años 2012 a 2016 47
Tabla 6-7. Relación concentraciones PM2.5/PM10 por estación 49
Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O_3 durante el año 2016..... 57
Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O_3 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 60
Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O_3 durante el año 2016..... 61
Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O_3 para los años 2012 a 2016 63
Tabla 6-12. Promedios anuales de NO_2 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 66
Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO_2 durante el año 2016..... 66
Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO_2 durante el año 2016..... 70
Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO_2 para los años 2012 a 2016 74
Tabla 6-16. Promedios anuales de SO_2 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 76
Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO_2 durante el año 2016..... 76
Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO_2 durante el año 2016..... 80
Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO_2 para los años 2012 a 201682

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2016..... 88
Tabla 6-21Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración 91
Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2016..... 92
Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2012 a 2016 94
Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010) 97
Tabla 8-1Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 100
Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2016 104
Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación desde 2000 hasta 2016. 105
Tabla 9-3. Precipitación RMCAB 2000 - 2016..... 106
Tabla 9-4 Acumulados mensuales de precipitación de las estaciones de la RMCAB y total anual 2016..... 108
Tabla 9-5. Número de días con precipitación RMCAB 2016 110
Tabla 9-6. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2016 112
Tabla 9-7. Temperatura RMCAB 2000 - 2016..... 113
Tabla 9-8 Temperaturas máximas y mínimas 115
Tabla 9-9. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2016 118
Tabla 9-10. Promedio multianual de la velocidad del viento..... 119
Tabla 9-11. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB - 2016 124
Tabla 9-12. Promedio mensual y anual de la humedad relativa en la ciudad 125
Tabla 9-13. Variación multianual de la presión Atmosférica en la ciudad de Bogotá..... 125
Tabla 9-14. Presión atmosférica mensual multianual de las estaciones de la RMCAB-2016 126
Tabla 10-1 Caracterización sociodemográfica distribución por estrato y sexo, unidades centinela Bogotá 2016. 136
Tabla 10-2 Prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Bogotá 2016 137
Tabla 10-3 Razón de prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. 141
Tabla 10-4 Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años. 143
Tabla 10-5 Análisis multivariado de sibilancias en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años. 144
Tabla 10-6 Comportamiento de la presencia de tos en el último año respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años. 145
Tabla 10-7 Análisis multivariado de tos en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años..... 146
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y µg/m^3) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. 160

1 INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares la ciudad, posteriormente a través del sistema de adquisición de datos esta es enviada a una estación central donde es sometida a un proceso de validación final, y se evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá, dados por la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).
Finalmente, se elaboran informes de análisis espaciales y temporales de la información capturada, así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación

Para el año 2016 la RMCAB estaba conformada por trece (13) estaciones de monitoreo de las cuales doce (12) son fijas y una (1) es móvil. Están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedio diarios y anuales obtenidos para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en Resolución 610 de 2010 del MAVDT, contempla el cálculo de numero de excedencias frente a la norma (excedencias horarias o diarias), lo cual informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presento un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

2 RESUMEN EJECUTIVO

Para el año 2016 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) estuvo conformada por trece (13) estaciones, doce (12) monitorean contaminantes y variables meteorológicas, y la (1) estación Bolivia exclusivamente variables meteorológicas.
Estas estaciones están ubicadas estratégicamente para tener la mayor cobertura de toda la ciudad, y continuamente registraron las concentraciones de los siguientes contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como las variables meteorológicas: Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica que regulan el transporte de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá.

Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría Distrital de Ambiente son los estipulados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010.

El porcentaje de datos validos de la RMCAB para el año 2016 en promedio fue de 89%, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Comportamiento de la concentración de PM_{10}

En relación a la concentración de partículas inferiores a 10 micrómetros (PM_{10}) para un tiempo de exposición anual, las mayores concentraciones correspondieron a las estaciones de Suba, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el occidente de la ciudad. La mayor concentración anual de PM_{10} se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con 76 µg/m^3, mientras que la menor concentración se presentó en la estación de San Cristóbal, con 27 µg/m^3, por lo que el suroccidente es la zona que presenta niveles más altos de concentración para 2016.

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m^3 para un tiempo de exposición diario. El mayor número de excedencias diarias se presentó en la estación Carvajal-Sevillana 48, seguida de Kennedy con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Minambiente y San Cristóbal que no presentaron excedencias sobre la norma diaria.

Al analizar el comportamiento horario para PM_{10}, se concluye que la concentración aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana para todas las estaciones y disminuye en forma progresiva, hacia las horas de medio día para luego en la tarde tener un aumento de menor proporción hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. También se hace evidente que las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan las concentraciones más altas a lo largo del día, con valores entre 90 y 110 µg/m^3.

Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

En relación a la concentración de partículas inferiores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) la mayor concentración para un tiempo de exposición anual se presentó en la estación de Kennedy, con un valor de (30 µg/m^3), la siguiente estación con mayor promedio anual fue Tunal, con 23 µg/m^3, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con 11 µg/m^3. Esto concuerda con los resultados obtenidos para PM_{10}, ya que las mayores concentraciones se presentaron al suroccidente de la ciudad.

Al analizar el comportamiento horario de $PM_{2.5}$ se observa que las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana que corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular, disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. Las altas concentraciones de la hora pico de la mañana está asociado a menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento) características de las primeras horas de la mañana.

Comportamiento de la concentración de O_3

La localidad de Usaquén, parte de las localidades de Suba, Barrios Unidos y Chapinero tienen el rango más alto de concentración (entre 30 y 39 µg/m^3). Por otro lado, las localidades de Kennedy y Puente Aranda, parte de Antonio Nariño y Tunjuelito, se encuentran en el rango más bajo de contaminación por O_3, con concentraciones entre 17 y 21 µg/m^3.

Comportamiento de la concentración de SO_2

Al analizar los resultados del comportamiento para SO_2 se concluye que ninguna de las estaciones sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de 4.8 µg/m^3 y se presentó en la estación Kennedy, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con 1.9 µg/m^3.
En cuanto a los ciclos horarios para el SO_2 las concentraciones más altas se presentan de 7 a 9 de la mañana, lo que sugiere que las fuentes móviles tiene influencia en los altos niveles presentados, posteriormente un descenso gradual de la concentración hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las horas de la tarde, incluso inferiores a las observadas en horas de la madrugada, este perfil es similar al de $PM_{2.5}$, lo que indica su relación con fuentes de combustión, los niveles de la madrugada posiblemente estén asociados al tráfico de vehículos de transporte en la mañana

Comportamiento de la concentración de NO_2

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2 para el año 2016 se puede observar que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes

con el comportamiento del material particulado como contaminante primario.

Para los ciclos horarios se observa que hay dos picos de concentración durante el día, uno a las 7 de la mañana y otro a las 7 de la noche, registrando concentraciones entre 40 a 45 µg/m^3, y dos valles de concentraciones bajas, a las 3 de la mañana y las 2 de la tarde, con concentraciones entre 20 y 25 µg/m^3 ,el cual es se puede asociar al consumo de NO_2 y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 7:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O_3.

Comportamiento de la concentración de CO

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2016, indica que para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Las Ferias y Kennedy las mayores concentraciones horarias se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que Tunal Y Carvajal presentaron concentraciones más altas al inicio del año

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO para el año 2016 indican que las mayores concentraciones se presentan los días martes y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento es similar al de material particulado, y se relaciona con la influencia de las emisiones de las fuentes de combustión, que predominan en los días hábiles de la semana.

3 CARACTERISTICAS DE LA RED

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por trece (13) estaciones de las cuales doce (12) son fijas y una (1) estación es móvil,
Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web: http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire o directamente el enlace http://201.245.192.252:81.

La Tabla 3-1 presenta las técnicas de medición de los equipos de la RMCAB y los métodos de referencia EPA, en la Tabla 3-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 3-1 Corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

En el presente informe la Estación Móvil no se involucra en los análisis, dado que está dedicada a la evaluación la calidad del aire puntual en corredores viales bajo el Convenio 176 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

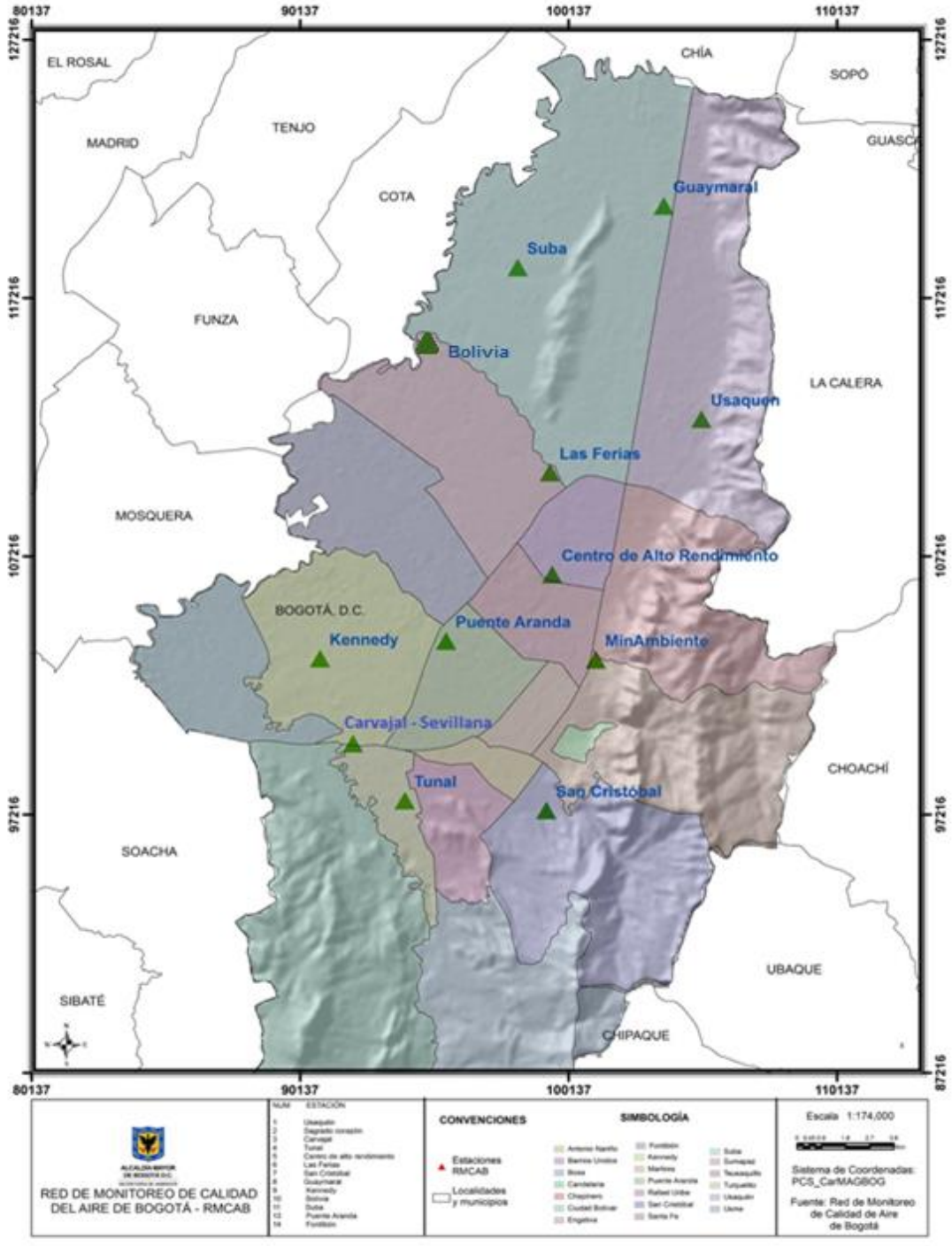


Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2016

Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2016

Característica		Guaymaral (Escuela de Ingeniería)	Usaquén (Bosque)	Suba (Corpas)	Bolivia	Las Ferias (Carrefour Calle 80)	C. de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolivar / IDRD)	Min. Ambiente (Sagrado Corazón)	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	Tráfico	Tráfico	Tráfico	---	Tráfico	Fondo	Tráfico	Industrial	Tráfico	Tráfico Industrial	Tráfico	Fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m
	Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m
Contaminantes	PST										X		
	PM_{10}	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	$PM_{2.5}$	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	O_3	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
	NO_2	X				X	X		X			X	
	CO					X	X		X	X	X	X	X
	SO_2			X		X	X		X	X	X	X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X					X			X		X	X
	H. Relativa	X				X	X			X		X	X
	Presión Atm.	X				X				X			

Nota:
Se realizó una actualización en la clasificación de las estaciones, considerando el entorno de cada una y determinando la influencia que sobre ellas tiene los diferentes tipos de fuentes emisoras.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas

4.3 NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. Tabla 4-1 presenta los niveles máximos permitidos para los contaminantes criterios.

Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m^3)	Tiempo de exposición	Cálculo
	100	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición, y en general de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para el registro de datos.
En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2016. Se determina el porcentaje de datos capturados y validos por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación.

5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2016, 16 parámetros tienen un estadístico superior al 75%, y un parámetro está por debajo del umbral. Los parámetros meteorológicos presentan los mayores porcentajes de captura de datos >94%, mientras que para los parámetros relacionados con contaminación los registros están por el orden del 80%, exceptuando el NO_2 que presenta un porcentaje de captura de datos del 68%.

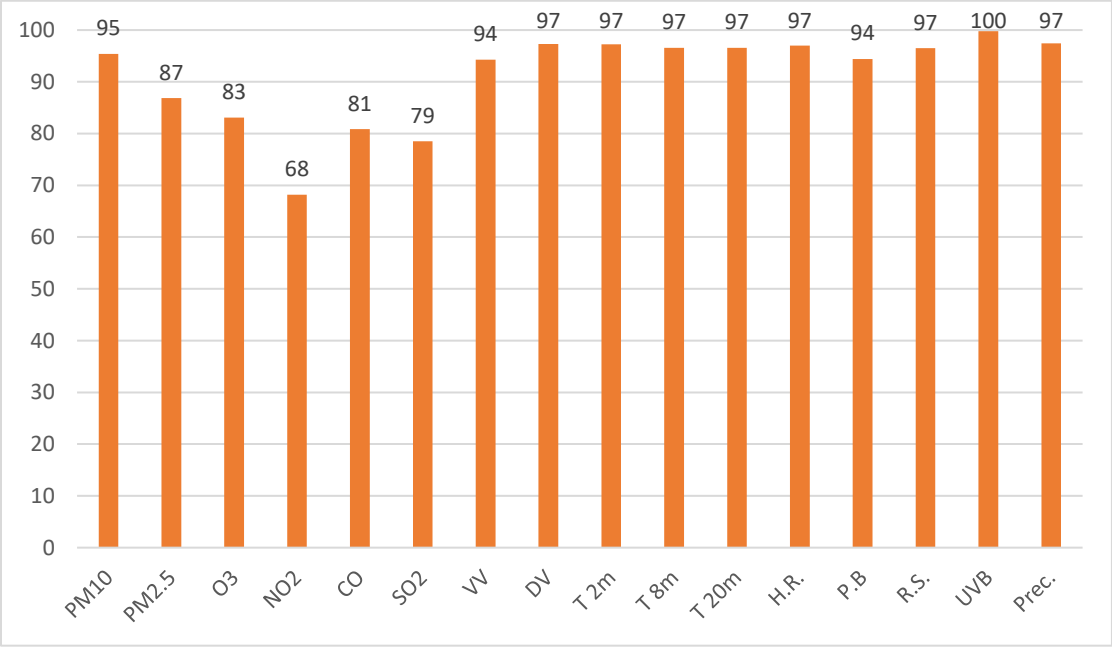


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2016.

La pérdida de datos es superior al 10% en 5 de los 17 parámetros medidos en la RMCAB. Estas pérdidas de datos se presentan generalmente por fallas mayores en los equipos de medición, fallas en el suministro de energía, incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año y fallas de comunicación por daños en los puertos.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de estaciones es superior al 90%, exceptuando las estaciones de Kennedy, las Ferias y Carvajal. La estación Carvajal presenta el porcentaje más bajo de captura de datos con un promedio de 70% de los datos capturados. Esto se atribuye a la falla mayor en los equipos de medición de gases de la estación.

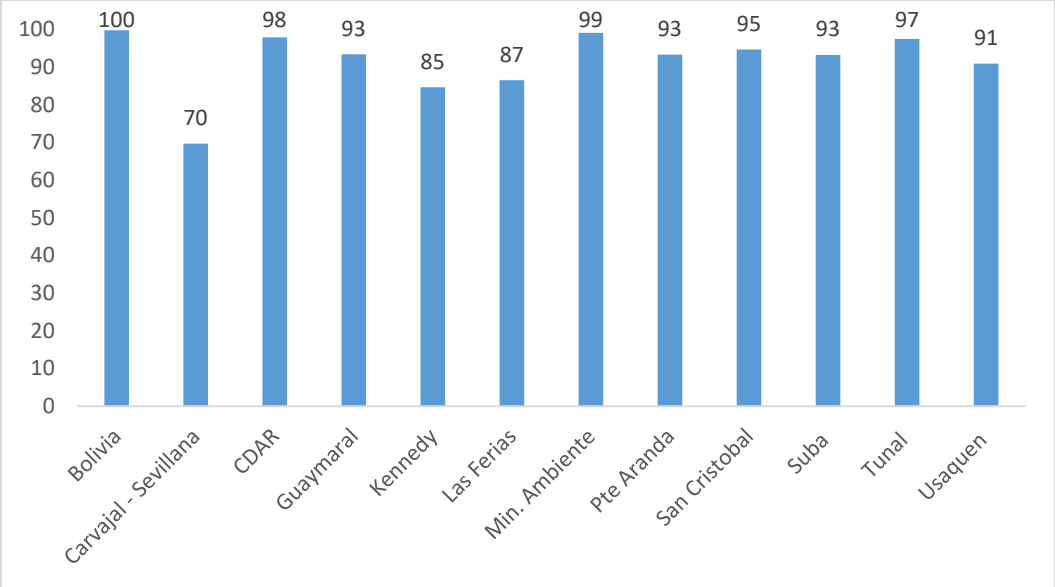


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se dispone del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación.

Estación	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	UVB	Prec.	Prom
Bolivia							100	100								100	100
Carvajal	91	63	35	34	39	39	93	93	93							93	70
CDAR	94	99	89	99	99	96	100	100	100			100			100	100	98
Guaymaral	91	87	96	71			97	97	97	97	97	97	97	97	0	97	93
Kennedy	91	92	93	13	90	89	90	90	90			90	90	90	0	90	85
Las Ferias	96	95	42	68	73		96	96	96			96	96			96	87
Min. Ambiente	100	97	98	0			100	100								100	99
Pte Aranda	100	48	99	99	88	100	100	100	100							100	93
San Cristóbal	99	87	84		0	82	99	99	99			99		99	0	99	95
Suba	100	93	89			65	100	100	100							100	93
Tunal	92	98	93	93	97		100	100	100			100		100	0	100	97
Usaquén	97	97	97				62	95								97	91
Promedio	95	87	83	68	81	79	94	97	97	97	97	97	94	97	100	97	91

5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación busca determinar si los datos resultantes del monitoreo son confiables, representativos y de calidad. El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2016 fue de 89% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validados por instrumento. El parámetro con el mayor porcentaje de datos inválidos es SO_2, asociado a fallas mayores en la comunicación.

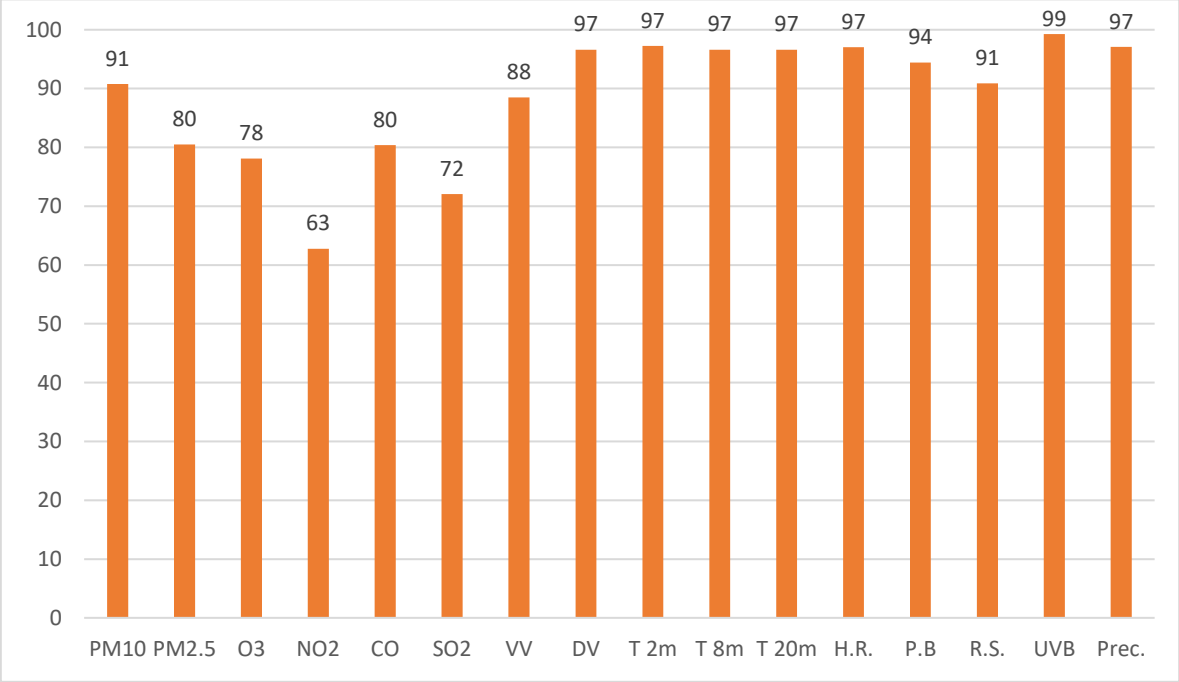


Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2016

.

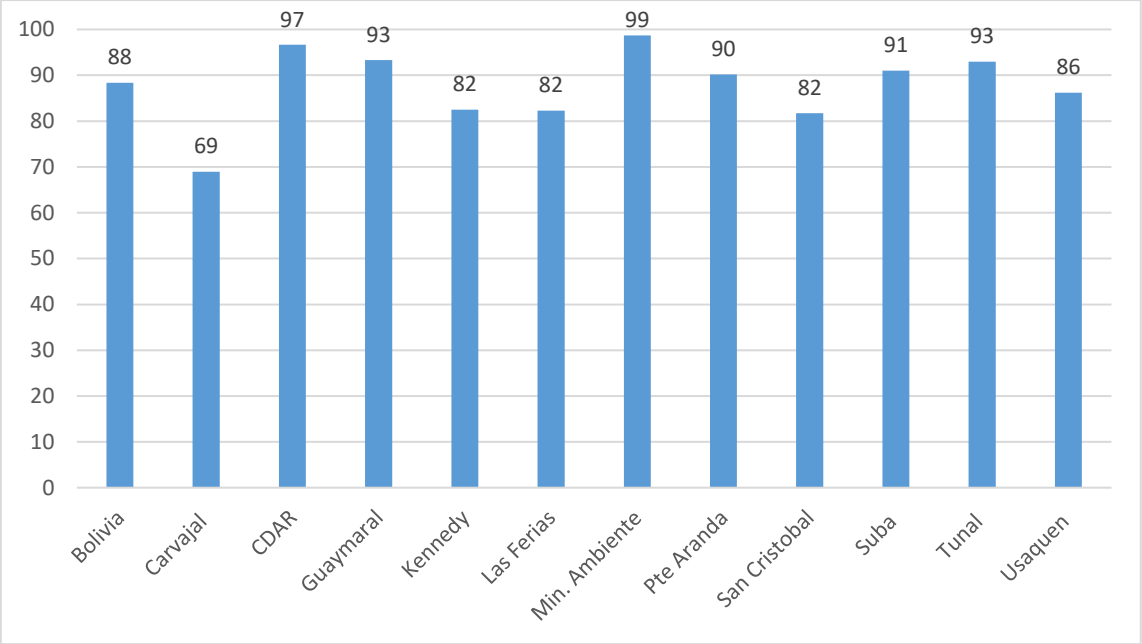


Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2016.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y por estación de medición del año 2016 se exponen en la Tabla 5-1. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2016 es de 89%.

Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	UVB	Prec.	Prom
Bolivia							100	66								100	88
Carvajal	91	63	35	29	39	39	92	93	93							93	69
CDAR	87	93	89	99	98	96	100	100	100			100				100	97
Guaymaral	91	86	96	71			97	97	97	97	97	97	97	97	0	97	93
Kennedy	86	87	84	12	89	89	86	86	90			90	90	90	0	90	82
Las Ferias	93	87	37	39	72		96	96	96			96	96			96	82
Min. Ambiente	98	97	98				100	100								100	99
Pte. Aranda	97	22	93	99	92	100	100	100	100							100	90
San Cristóbal	89	67	66		0	44	56	99	99			99		99	0	99	82
Suba	82	93	89			65	100	100	100							100	91
Tunal	88	96	77	90	93		100	100	100			100		77	0	100	93
Usaquén	95	94	96				47	92								93	86
Promedio	91	80	78	63	80	72	88	97	97	97	97	97	94	91	99	97	89

6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

Este capítulo incluye reportes gráficos para el análisis de las concentraciones de los contaminantes, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas, según corresponda y la evaluación con los límites máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional. El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos

Las variaciones espaciales de las mediciones de concentraciones de ciertos contaminantes, se representan mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estos están sujetos a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria.

6.1 MATERIAL PARTICULADO

6.1.1 PM_{10}

El PM_{10} representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, algunas de las fuentes de emisión de estas partículas pueden ser móviles y fijas procedente de procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

La RMCAB contó con 11 equipos de medición de PM10 para el año de 2016, y todos ellos reportaron datos con una representatividad mayor al 75%, obteniendo un total de 3662 datos registrados por las estaciones de monitoreo.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

En la Figura 6-1 e observan los promedios anuales de PM_{10} por estación de monitoreo. En 4 de las 11 estaciones de la RMCAB que registraron datos para el 2016 se sobrepasó el valor máximo permisible anual para PM_{10} (50 µg/m^3), las cuales corresponden a Suba, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el norte y suroccidente de la ciudad. La mayor concentración anual de PM_{10} se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con 76 µg/m^3, mientras que la menor concentración se presentó en la estación de San Cristóbal, con 27 µg/m^3. Esto indica que la zona que reporto mayor contaminación por PM_{10} fue el suroccidente de la ciudad, ya que las estaciones ubicadas en la zona presentaron las concentraciones anuales más altas.

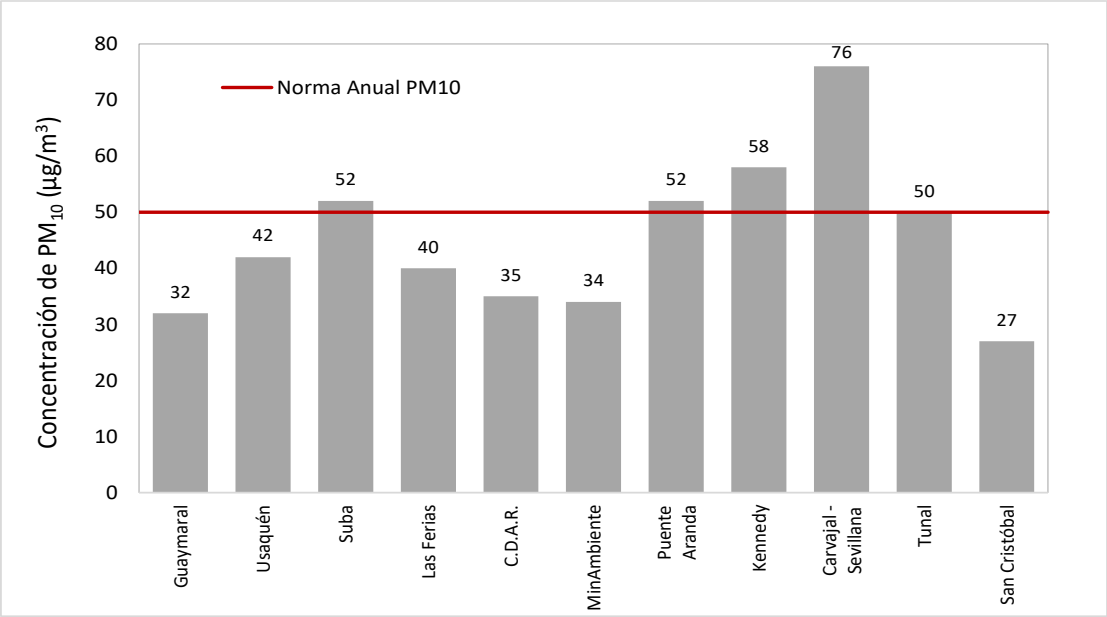


Figura 6-1. Concentración anual de PM_{10} por estación para el año 2016

En la Tabla 6-1 se observa la comparación de los promedios anuales de PM_{10} del año 2016 por estación con respecto a los promedios del año 2015. Se observa que en las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal se presentaron aumentos en la concentración en relación al año anterior, y en la estación MinAmbiente se mantuvo el mismo valor del año anterior; en las estaciones restantes disminuyó el valor de la concentración en relación al 2015.
El mayor incremento se presentó en la zona norte en la estación Usaquén, con 12 µg/m^3 sobre el promedio del año anterior, y la mayor disminución ocurrió al suroccidente de la ciudad en la estación Carvajal-Sevillana, con una reducción de 11 µg/m^3 sobre el promedio del 2015.

Tabla 6-1. Promedios anuales de PM_{10} **µg/m^3 p**ara los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM_{10} 2015	Promedio PM_{10} 2016	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	31	32	↑
Usaquén	30	42	↑
Suba	47	52	↑
Las Ferias	35	40	↑
Centro de Alto Rendimiento	28	35	↑
Ministerio de Ambiente	34	34	=
Puente Aranda	53	52	↓
Kennedy	66	58	↓
Carvajal-Sevillana	87	76	↓
Tunal	43	50	↑
San Cristóbal	26	27	↑

La distribución espacial de la concentración de PM_{10}, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-2, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75%. En este mapa se puede observar que la mayor parte de las localidades de Kennedy y Bosa tienen el rango más alto de concentración (entre 57 y 76 $\mu g/m^3$), y le siguen en magnitud parte de las localidades de Tunjuelito, Ciudad Bolivar y Puente Aranda, con concentraciones entre 47 y 52 $\mu g/m^3$. Por otro lado, las localidades de Santa Fe, Chapinero, Barrios Unidos, y parte de Usaquén se encuentran en el rango más bajo de contaminación, con concentraciones entre 26 y 42 $\mu g/m^3$.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

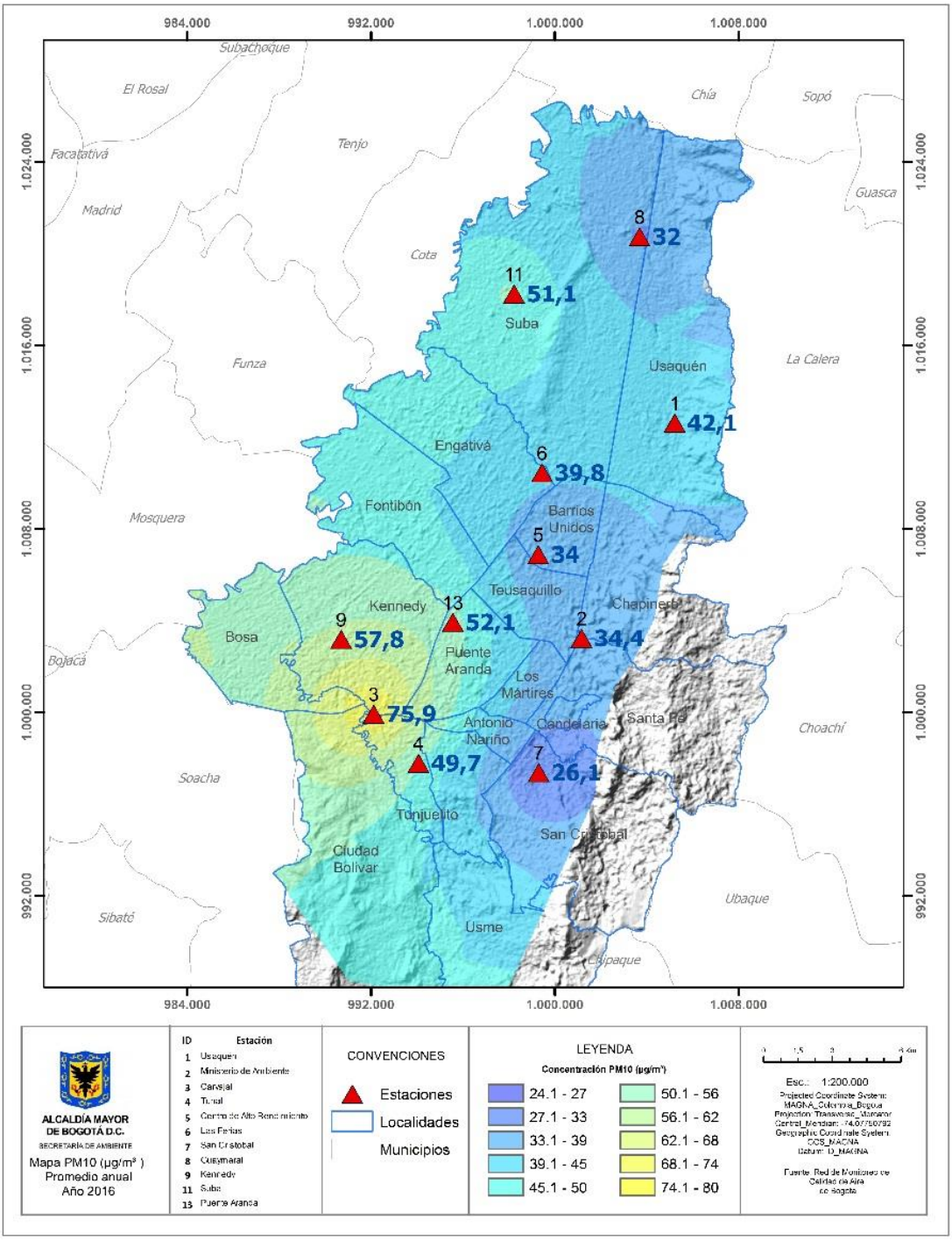


Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año de 2016 las 11 estaciones que reportaron datos de PM_{10} tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de MinAmbiente y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, como se observa en la Tabla 5-2

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de PM_{10} para un tiempo de exposición diario, que es de 100 µg/m^3, se presentaron un total de 85 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en la estación Carvajal-Sevillana (48), seguida de Kennedy con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Minambiente y San Cristóbal no presentaron excedencias sobre la norma diaria. Esta situación coincide con la cantidad de datos entre el 100 y 90%, la cual indica que para el 2016 la zona sur-occidental presentó el mayor número de excedencias, el resto de la ciudad tuvo niveles por debajo la norma.

Las concentraciones máximas diarias para el 2016 se presentaron en su mayoría en el mes de enero, en las zonas suroccidente y norte de la ciudad; los mayores valores se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana (138 µg/m^3 el 20 de enero) y Tunal (126 µg/m^3 el 30 de enero). Las demás excedencias ocurrieron en los meses de febrero y marzo, lo cual indica que los mayores niveles de contaminación por PM_{10} se presentaron en el primer trimestre del 2016. Ver Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{10} durante el año 2016

Estación	No. de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual PM_{10} (µg/m^3)	Excedencias de la norma anual 100 µg/m^3	% excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[1]	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	331	90	32	0	0.0	0	75	05/03/2016
Usaquén	342	93	42	4	1.2	5	116	21/01/2016
Suba	293	80	52	2	0.7	4	105	15/01/2016
Las Ferias	346	95	40	1	0.3	2	104	21/01/2016
Centro de Alto Rendimiento	337	92	35	0	0.0	0	86	24/11/2016
MinAmbiente	356	97	34	0	0.0	1	94	03/02/2016
Puente Aranda	355	97	52	7	2.0	14	126	24/11/2016
Kennedy	317	87	58	12	3.8	7	114	03/02/2016
Carvajal-Sevillana	330	90	76	48	14.6	29	138	20/01/2016

[1]Mayor a 90 µg/m^{3}y menor o igual a 100 µg/m^3

Estación	No. de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Excedencias de la norma anual 100 $\mu g/m^3$	% excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[1]	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo
Tunal	325	89	50	11	3.4	11	126	30/01/2016
San Cristóbal	327	89	27	0	0.0	0	90	17/01/2016

El comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} por día durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria (100 $\mu g/m^3$) se encuentra en la Figura 6-3, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones diarias se presentaron en los primeros meses del año, y las más bajas en la mitad del año. Además, la estación Carvajal-Sevillana presentó las concentraciones más altas durante el año, lo cual concuerda con el alto número de excedencias en el 2016.

Aunque la representatividad temporal de los datos en todas las estaciones fue mayor al 80%, los períodos en que hubo menor registro de datos fueron en el mes de abril para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, y en el mes de septiembre en la estación de Suba.

El comportamiento semanal de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2016 se muestra en la Figura 6-4 y en la Figura 6-5, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes, a excepción de las estaciones Las Ferias, Usaquén y Puente Aranda, en las que se presentaron mayores concentraciones los martes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos y los sábados. Esto posiblemente se debe a la dinámica de la ciudad, ya que el tráfico vehicular se reduce el fin de semana, en especial el tránsito de transporte de carga, y por la reducción de la actividad industrial, que es predominante en los días entre semana.

En relación a la norma diaria, las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal, Puente Aranda y Kennedy, tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los 100 $\mu g/m^3$. En la estación Carvajal-Sevillana las excedencias aplican para todos los días de la semana, mientras que en las demás estaciones predominan las excedencias en los días martes y jueves. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

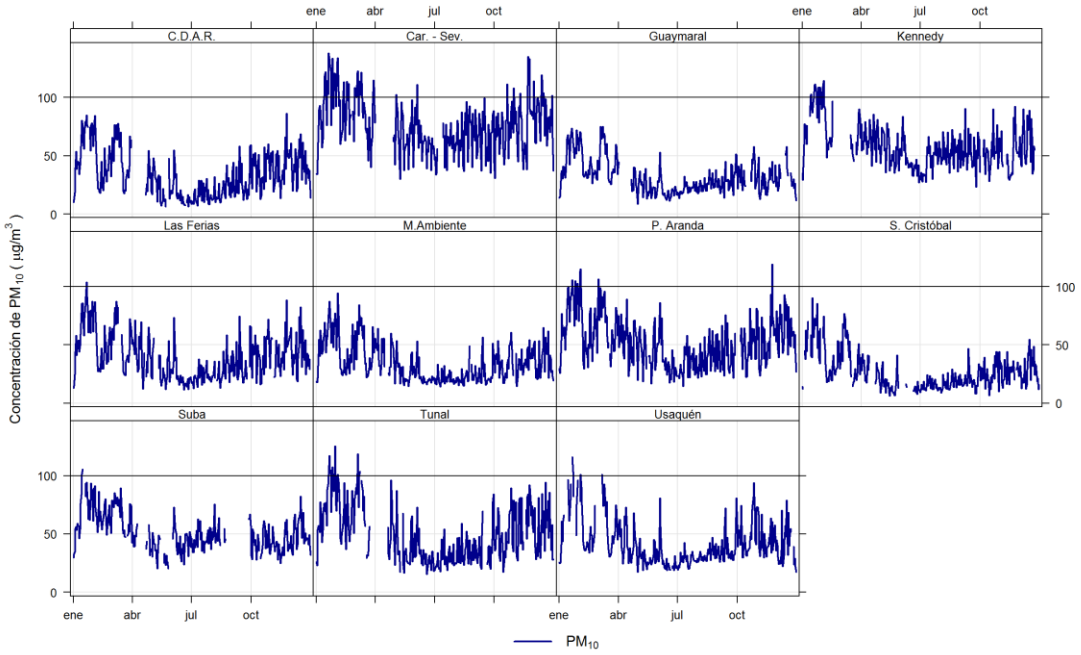


Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3)

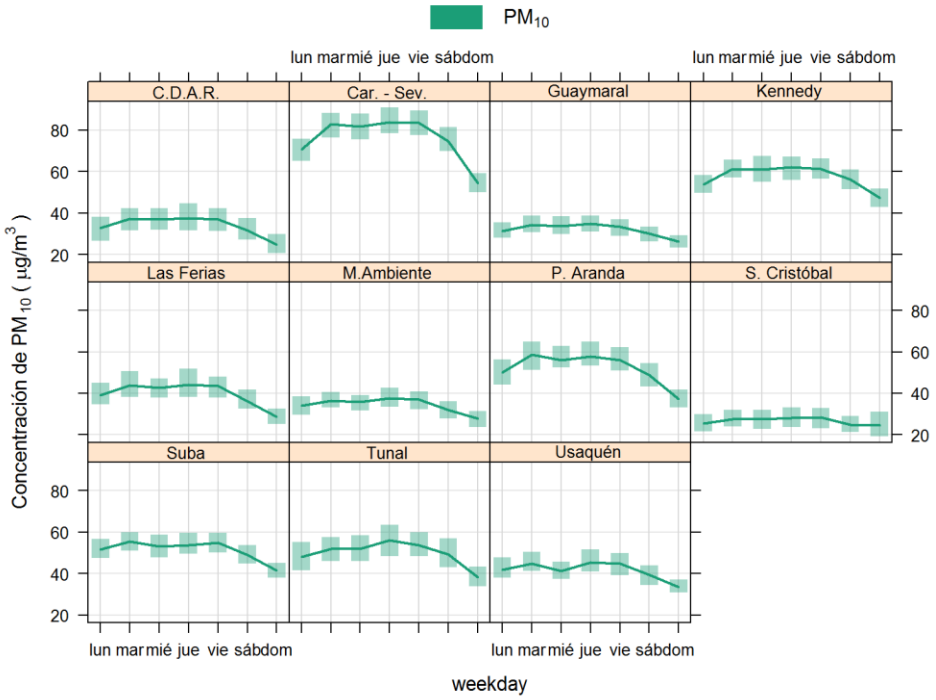


Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

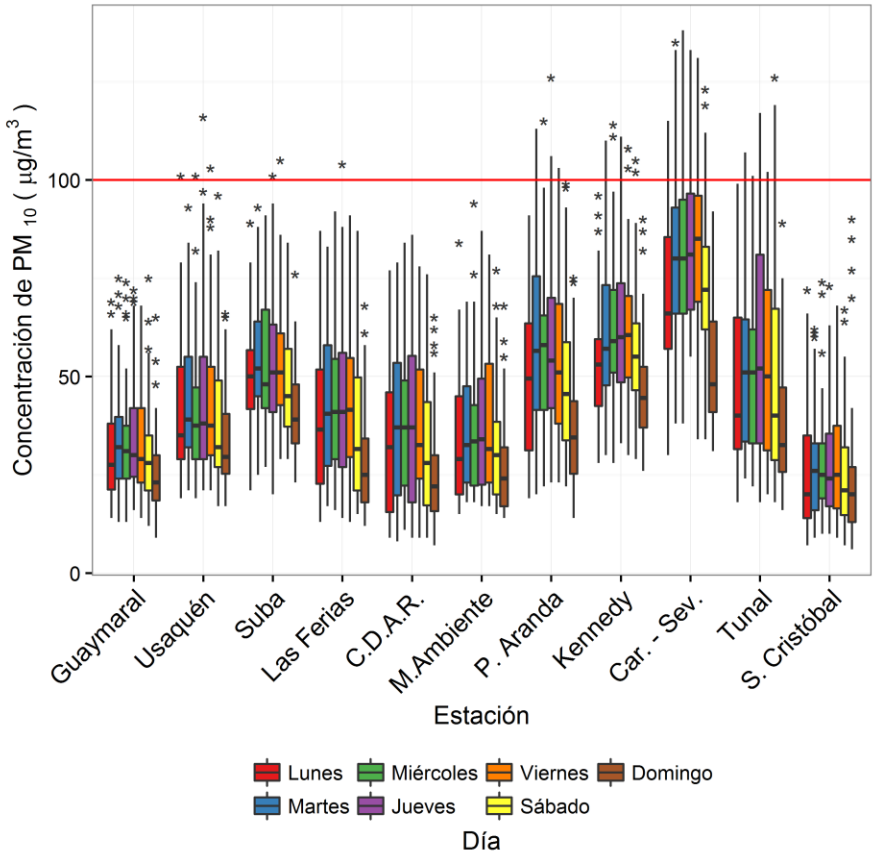


Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de PM_{10} para el año 2016 se representan en la Figura 6-6 y en la Figura 6-7, en las que se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones en la primera mitad del año hasta el mes de junio, y luego un aumento gradual hasta el período Octubre – Diciembre. Además, se evidencia que las concentraciones más altas del año se presentaron en los meses de enero y marzo y las más bajas en junio y julio. Esto posiblemente se deba a la influencia de los vientos que se presentan a mitad de año que contribuyen a la dispersión de los contaminantes, además del inicio de la temporada de vacaciones, donde se presenta reducción de la flota vehicular que circula dentro de la ciudad.
Las altas concentraciones en los primeros meses del año se vieron influenciadas por los incendios forestales sobre los cerros orientales a inicios del mes de febrero, especialmente en las estaciones ubicadas sobre la zona oriental de la ciudad.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-7, se observa que para la estación Carvajal-Sevillana en los meses de enero, febrero y marzo las concentraciones tuvieron la tendencia a superar la norma diaria de PM_{10}, y en menor proporción las concentraciones diarias registradas en la estación Puente Aranda, Kennedy, Tunal y Usaquén se presentaron valores que sobrepasaron la norma para el mes de enero.

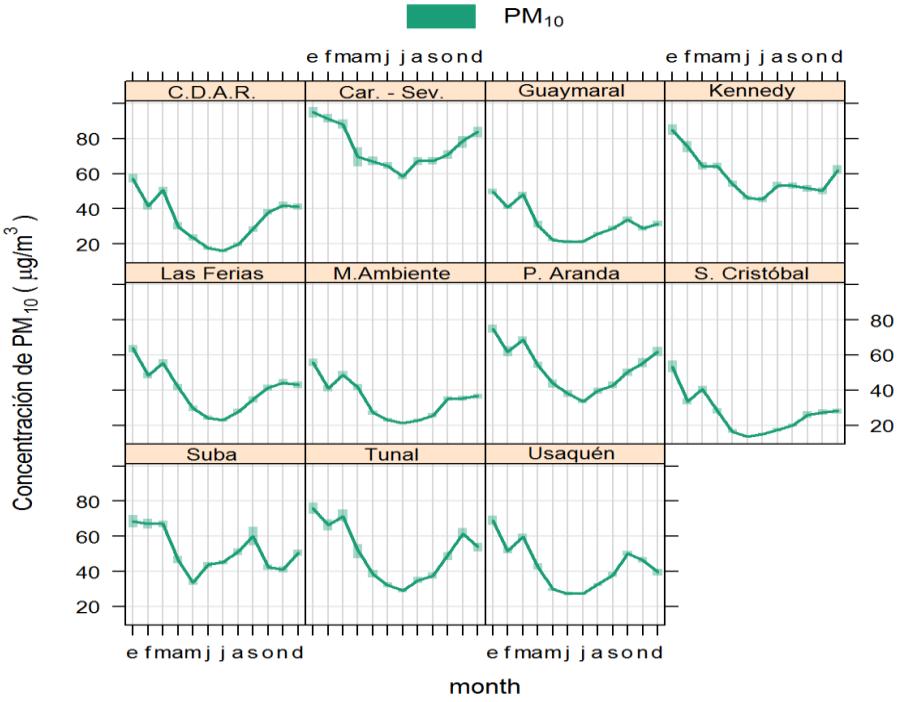


Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} ciclo mensual para el año 2016 por estación

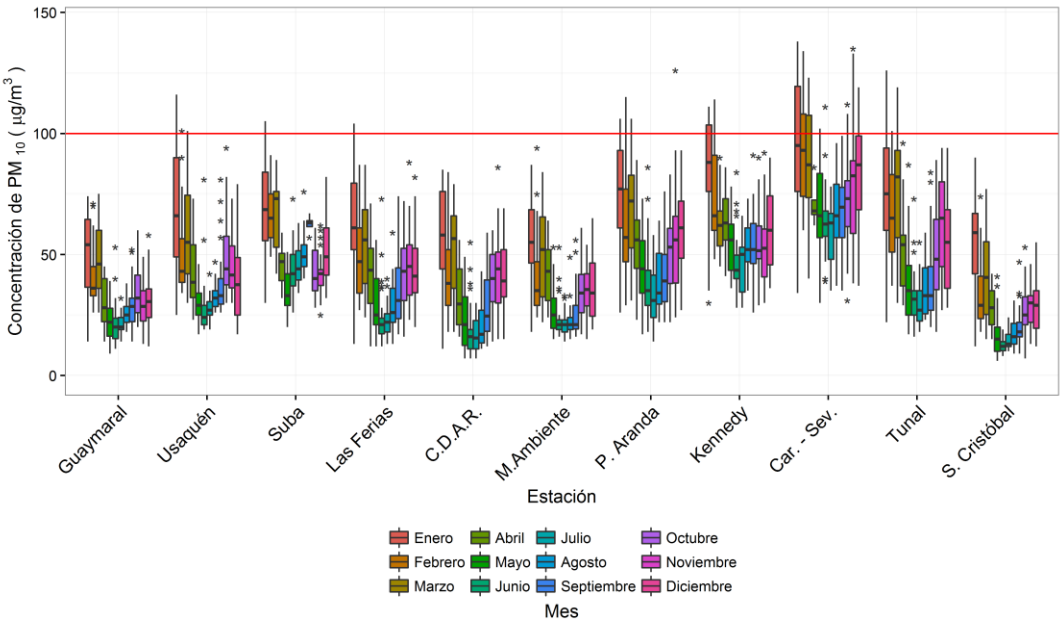


Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-8 se observa el perfil horario de las concentraciones durante el día, la cual aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana para todas las estaciones, disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. También se hace evidente que las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan las concentraciones más altas a lo largo del día, con valores entre 90 y 110 µg/m^3, mientras que la estación San Cristóbal tiene la tendencia de las concentraciones más bajas, que se mantienen bajo 40 µg/m^3.

En la Figura 6-9 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de PM_{10} en el año 2016, se observa que la mayor variación de datos se presentó en las estaciones Suba y Tunal, en las que se presentaron los registros horarios más altos, aunque dentro de los valores de los diagramas de caja las mayores concentraciones persisten en la estación Carvajal-Sevillana. Por otro lado, en la estación MinAmbiente se presentó la menor variación de las concentraciones por hora, lo que indica que a lo largo del año el comportamiento de las concentraciones horarias no tuvo grandes variaciones.

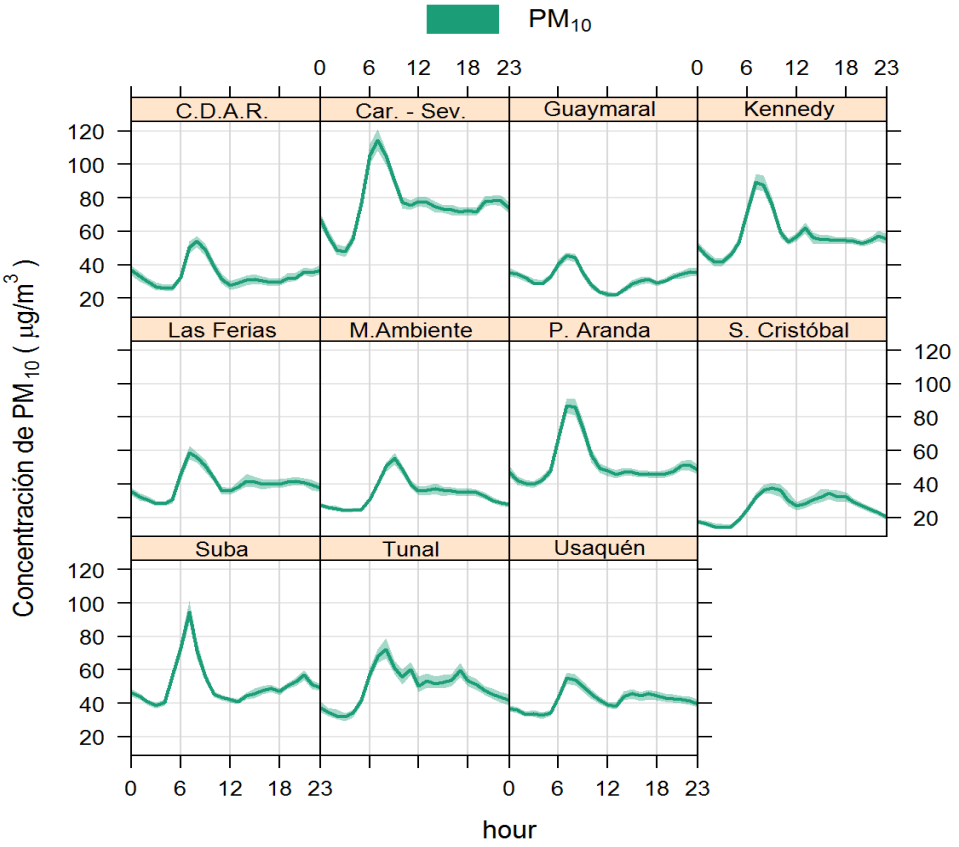


Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

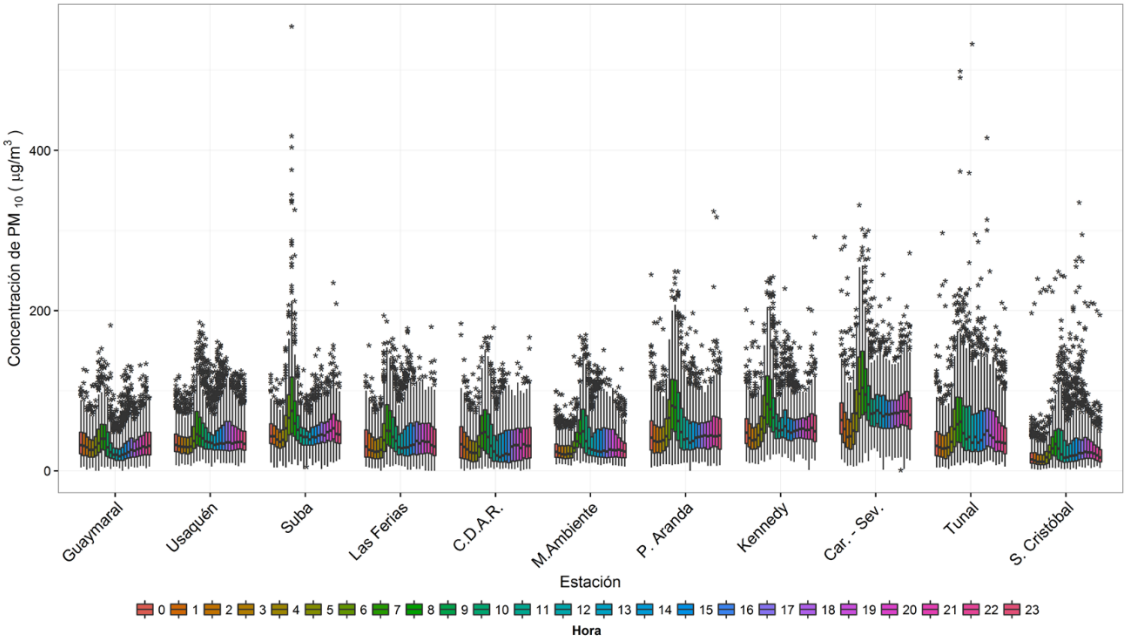


Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTÓRICO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 presenta un resumen de los promedios de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de PM_{10} para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 1 µg/m^3 con respecto al año anterior, pero disminuyó en mayor proporción con respecto a las concentraciones presentadas en los años 2012 al 2014. El valor máximo de PM_{10} es el más bajo que se ha presentado en los últimos cinco años.

Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM_{10} para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad µg/m^3	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	48	152	04/08/2012	Carvajal-Sevillana
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana
2016	45	138	20/01/2016	Carvajal-Sevillana

En los últimos cinco años se observa que, para todas las estaciones, a excepción de Fontibón y Guaymaral, hay datos representativos para el análisis de información. Según la Figura 6-10 en las estaciones del suroccidente (Carvajal-Sevillana, Puente Aranda y Kennedy) las concentraciones diarias tienden a sobrepasar la norma diaria en mayor medida con relación a las demás estaciones; en estas estaciones también se han presentado los valores más altos, junto con la estación Tunal, aunque en el 2016 se presentaron menos valores extremos que en los años anteriores.

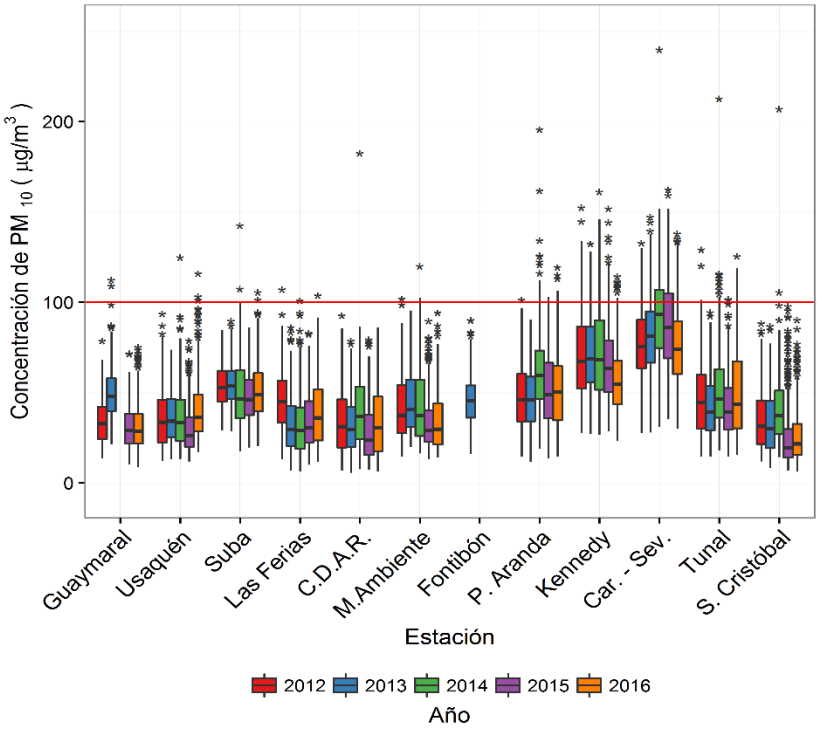


Figura 6-10. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por estación para los años 2012 a 2016

6.1.2 $PM_{2.5}$

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es inferior a 2.5 µm, las fuentes de estas partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales.

Para el año 2016, ocho (8) estaciones reportaron datos de $PM_{2.5}$ con una representatividad temporal mayor al 75%.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-11 presenta el comportamiento anual por estación y su comparación con la norma anual nacional de $PM_{2.5}$. Se puede observar que solo la estación de Kennedy sobrepasó el valor de 25 µg/m^3, con un valor de concentración de 30 µg/m^3, la siguiente estación con mayor promedio anual fue Tunal, con 23 µg/m^3, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con 10 µg/m^3. Esto concuerda con los resultados obtenidos para PM_{10}, ya que las mayores concentraciones se presentaron al suroccidente de la ciudad.

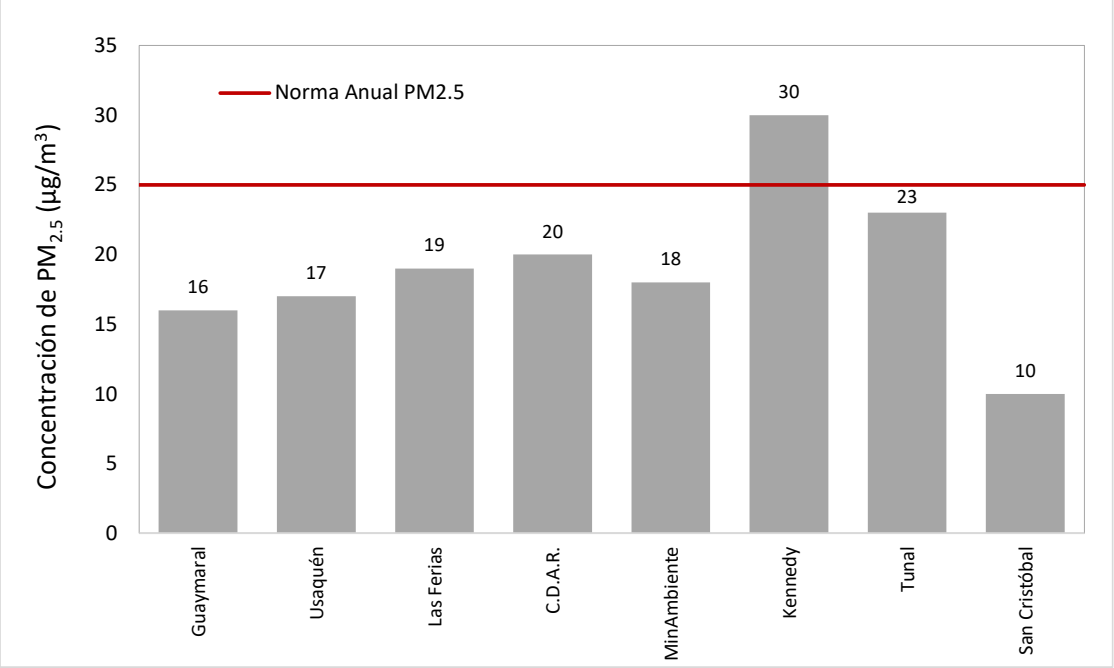


Figura 6-11. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para el año 2016

La comparación de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-4. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015. El mayor incremento se presentó en la estación Usaquén, con un incremento de 4 µg/m^3. En las estaciones de Suba, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio $PM_{2.5}$ 2015 (µg/m^3)	Promedio $PM_{2.5}$ 2016 (µg/m^3)	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	14	16	↑
Usaquén	13	17	↑
Suba	22	N.R.	N.A.
Las Ferias	N.A.	19	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	18	20	↑
MinAmbiente	15	18	↑
Puente Aranda	N.R.	N.R.	N.A.
Kennedy	27	30	↑
Carvajal-Sevillana	31	N.R.	N.A.
Tunal	21	23	↑
San Cristóbal	9	10	↑

La distribución espacial de la concentración de $PM_{2.5}$, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-12. Se elaboró un mapa mediante el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana). En este mapa se puede observar que la mayor parte de la localidad de Kennedy, parte de Bosa y Ciudad Bolívar tienen el rango más alto de concentración (entre 31 y 35 µg/m^3), y le siguen en magnitud parte de las localidades de Fontibón, Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Puente Aranda, con concentraciones entre 26 y 30 µg/m^3. Por otro lado, las localidades de San Cristóbal, parte de Santa Fe y Candelaria, se encuentran en el rango más bajo de contaminación, con concentraciones entre 11 y 15 µg/m^3.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización del comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

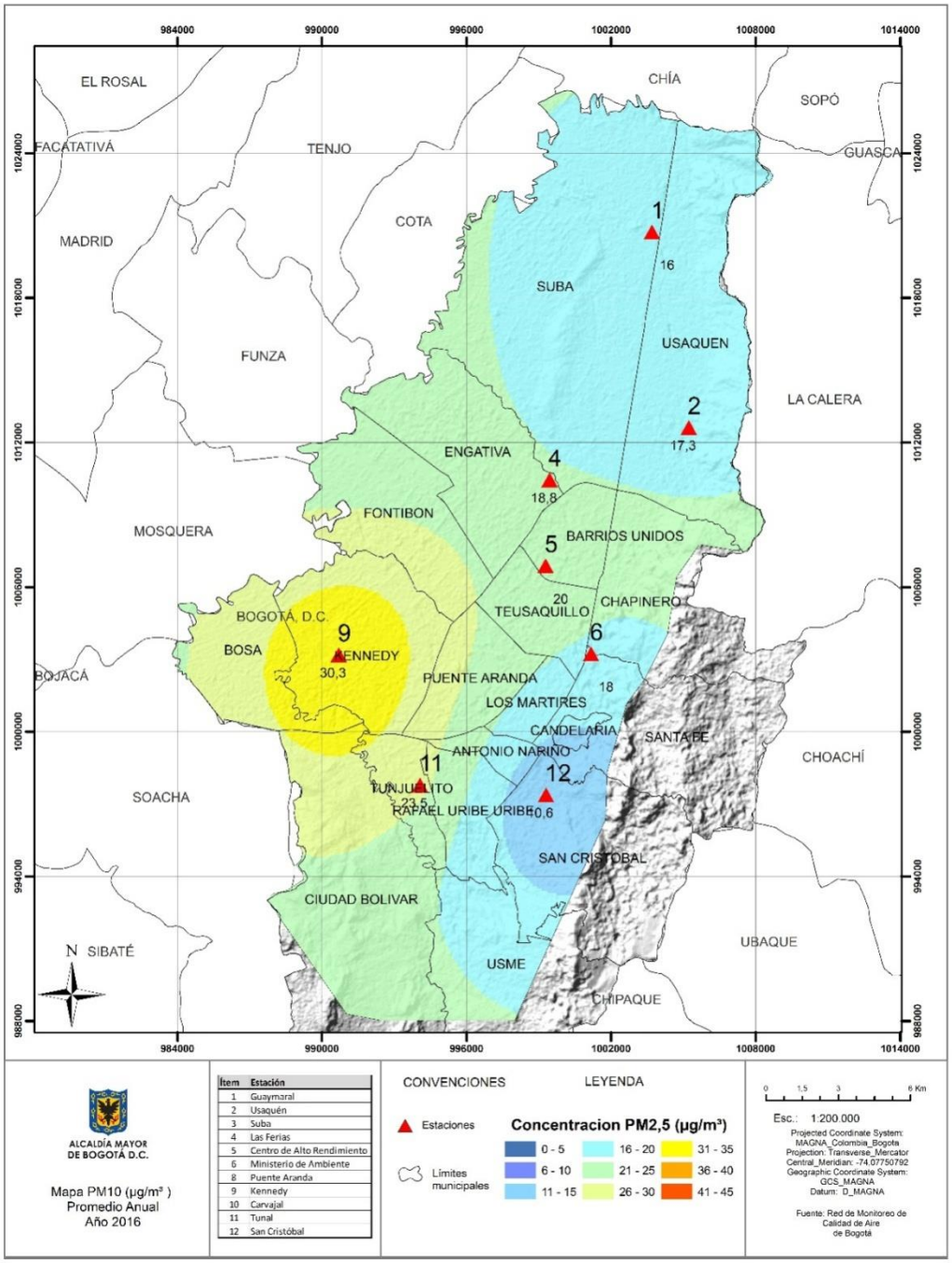


Figura 6-12. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTOS DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 50 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año de 2016 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 97% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-5.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición diario (50 µg/m^3), se presentaron un total de 51 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en la estación Kennedy, con 15 excedencias, seguida de Carvajal-Sevillana con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Las Ferias, Puente Aranda y San Cristóbal no presentaron excedencias sobre la norma diaria. La estación Tunal posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el 2016 se presentaron en su mayoría en el mes de febrero, principalmente en el centro y suroccidente de la ciudad. El 3 de febrero se presentó el mayor número de máximos, incluyendo las estaciones Suba, Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana y San Cristóbal. Los valores máximos más altos se presentaron en MinAmbiente, con 69 µg/m^3 y en Carvajal-Sevillana con 65 µg/m^3, el día 3 de febrero.

Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de $PM_{2.5}$ durante el año 2016

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias de la norma 50 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[2]	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	312	85	16	0	0.0	0	44	11/03/2016
Usaquén	341	93	17	5	1.5	6	59	11/03/2016
Suba*	240	66	22	2	0.8	5	51	03/02/2016
Las Ferias	310	85	19	0	0.0	3	47	21/01/2016
Centro de Alto Rendimiento	360	98	20	2	0.6	9	53	03/02/2016
MinAmbiente	356	97	18	4	1.1	6	69	03/02/2016

[2] Mayor a 45 µg/m^{3}y menor o igual a 50 µg/m^3

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias de la norma 50 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma^2	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo
Puente Aranda*	80	22	23	0	0.0	0	44	24/11/2016
Kennedy	323	88	30	15	4.6	10	59	03/02/2016
Carvajal-Sevillana *	231	63	30	12	5.2	9	65	03/02/2016
Tunal	357	98	23	11	3.1	12	61	25/12/2016
San Cristóbal	295	81	10	0	0.0	0	41	03/02/2016

***Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas.**

El comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria (50 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-13, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones diarias se presentaron en los primeros meses del año, y para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente, Kennedy y Tunal también hubo altas concentraciones a final de año, mientras que las más bajas se presentaron en la mitad del año.

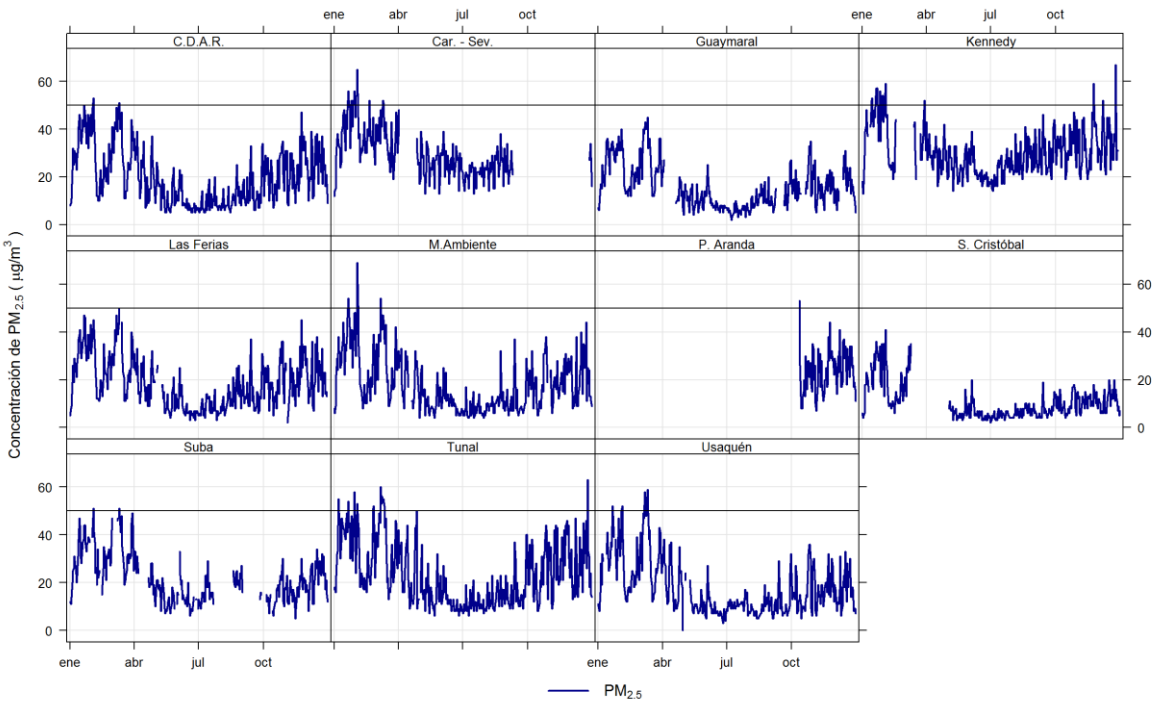


Figura 6-13. Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3)

El comportamiento semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-14 y en la Figura

6-15, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, lo cual esta posiblemente asociado a las variaciones de la actividad industrial, y a la reducción del tráfico vehicular los fines de semana.

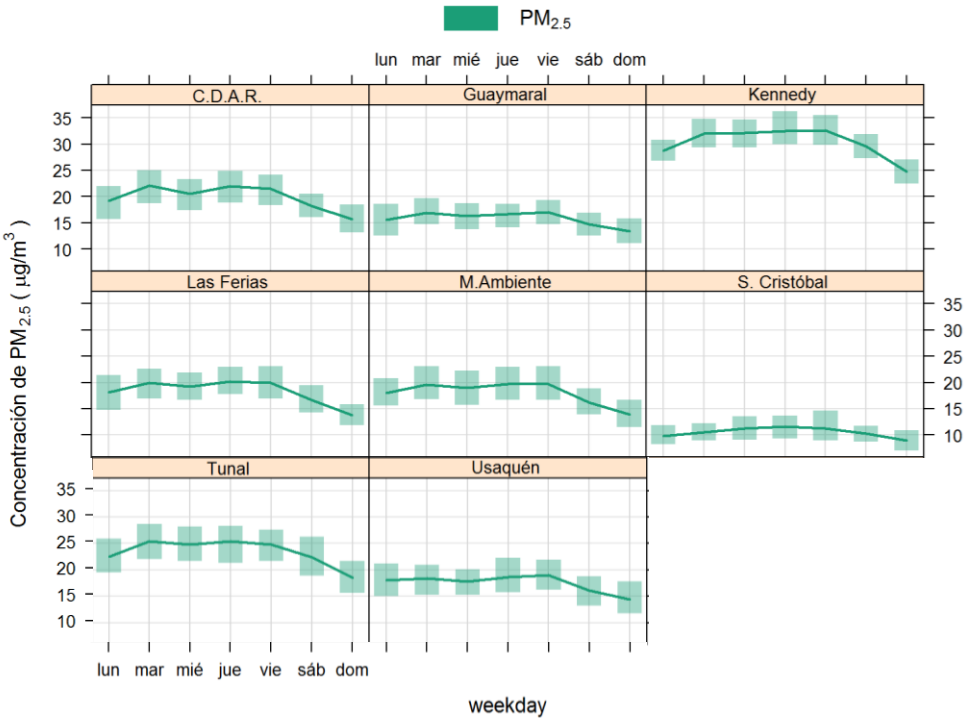


Figura 6-14 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

La Figura 6-15 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana, donde se observa que las estaciones de Kennedy y Tunal tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los 50 µg/m^3 en los días hábiles de la semana. Para las estaciones MinAmbiente y Usaquén se presentaron algunos valores extremos sobre la norma.

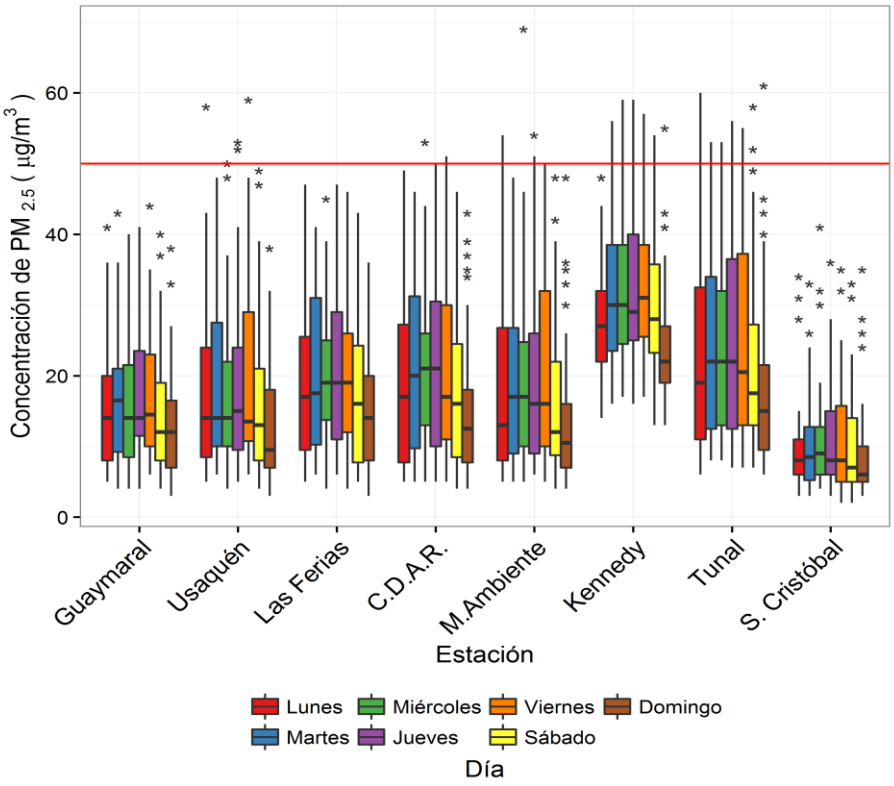


Figura 6-15. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2016 se representan en la Figura 6-16 y en la Figura 6-17, en las que se observa que el año inicia con concentraciones altas en los tres primeros meses, luego hay una tendencia a la reducción de las concentraciones hasta la primera mitad del año, luego un aumento gradual hasta el mes de octubre, en el cual empieza un periodo estable hasta diciembre.

Lo anterior posiblemente puede tener influencia de los vientos que se presentan a mitad de año que contribuyen a la dispersión de los contaminantes, y a la reducción en la flota vehicular que circula dentro de la ciudad a causa de la temporada de vacaciones escolares. Las altas concentraciones en los primeros meses del año se asocian principalmente a los incendios forestales que se presentaron en los cerros orientales a inicios del mes de febrero.

La Figura 6-17 presenta los diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo, donde se puede observar que las estaciones Kennedy, Tunal, MinAmbiente y Usaquén en los meses de enero, febrero y marzo tuvieron la tendencia a superar la norma diaria de $PM_{2.5,}$

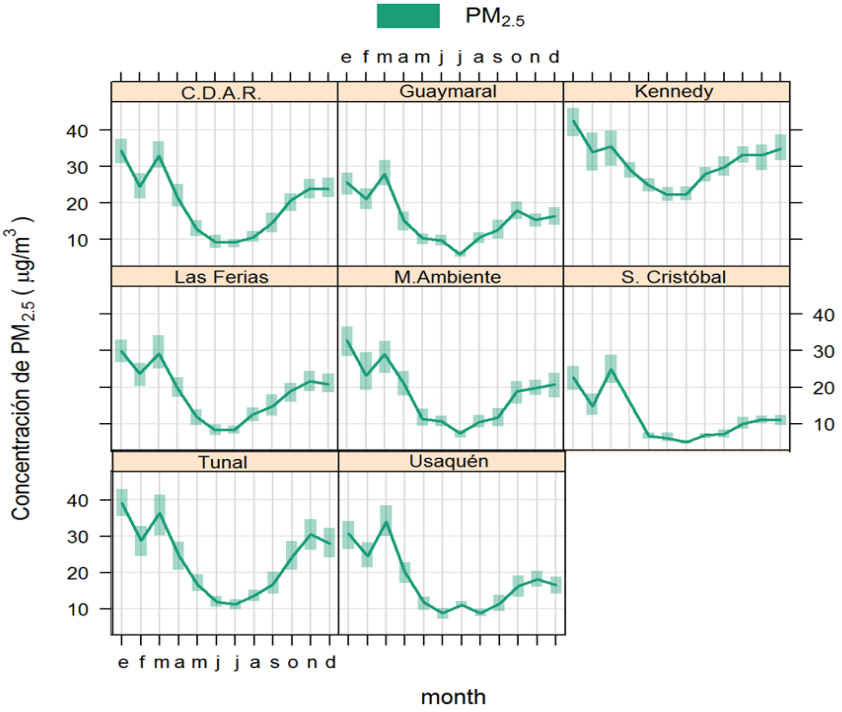


Figura 6-16. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2016 por estación

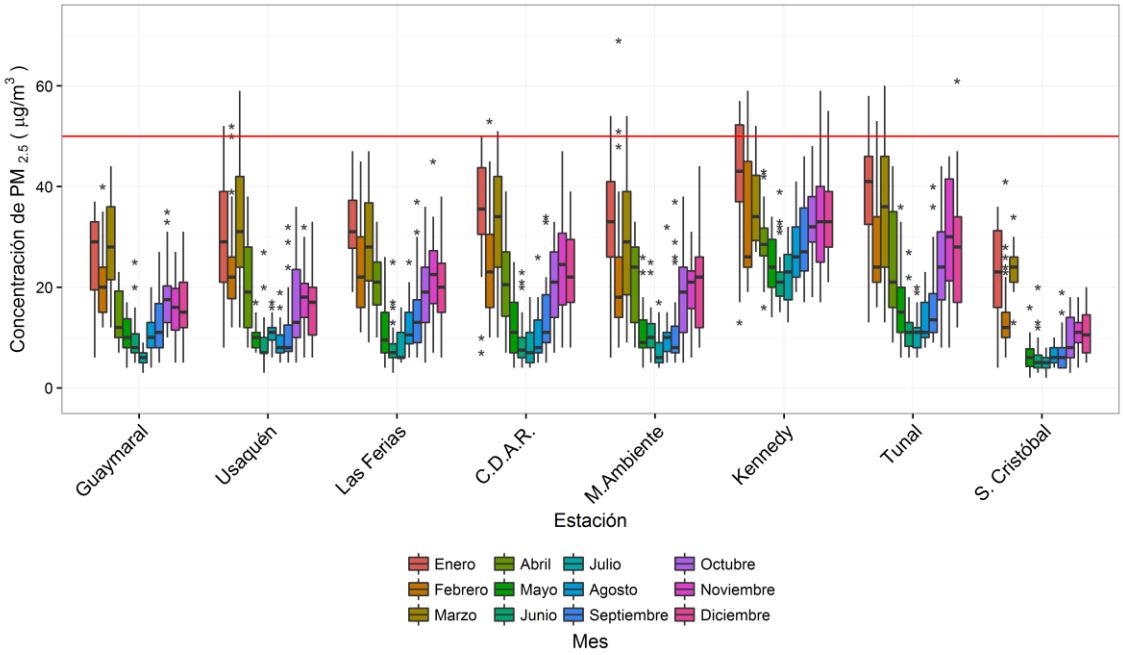


Figura 6-17. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-18 se presenta el comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación durante el año 2016. Al analizar dicho comportamiento, se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén los valores aumentan entre las 7 y las 8 de la mañana, lo cual corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular, después disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presentan las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana.
Las concentraciones de la hora pico de la mañana son mayores que las de la noche, lo que posiblemente está asociado a un menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento), características de las primeras horas de la mañana.

Las estaciones Las Ferias, San Cristóbal y Tunal tuvieron dinámicas diferentes, con pocas variaciones en el día o aumento de las concentraciones en horas de la tarde. Esto posiblemente se deba a fenómenos locales de transporte de contaminación e influencia de fenómenos meteorológicos. También se evidencia que la estación Kennedy presenta las concentraciones más altas, con valores altos cercanos a 50 µg/m^3, mientras que la estación San Cristóbal tiene la tendencia a presentar concentraciones más bajas, que se mantienen bajo 15 µg/m^3.

En la Figura 6-19 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal, siendo esta primera la que presenta los valores más altos y mayor número de valores extremos.

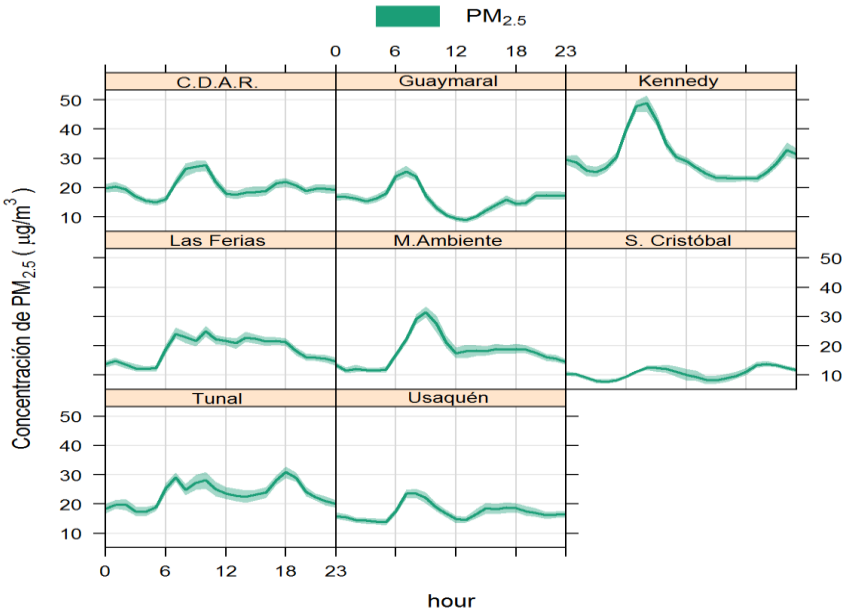


Figura 6-18. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ciclo horario por estación durante el año 2016

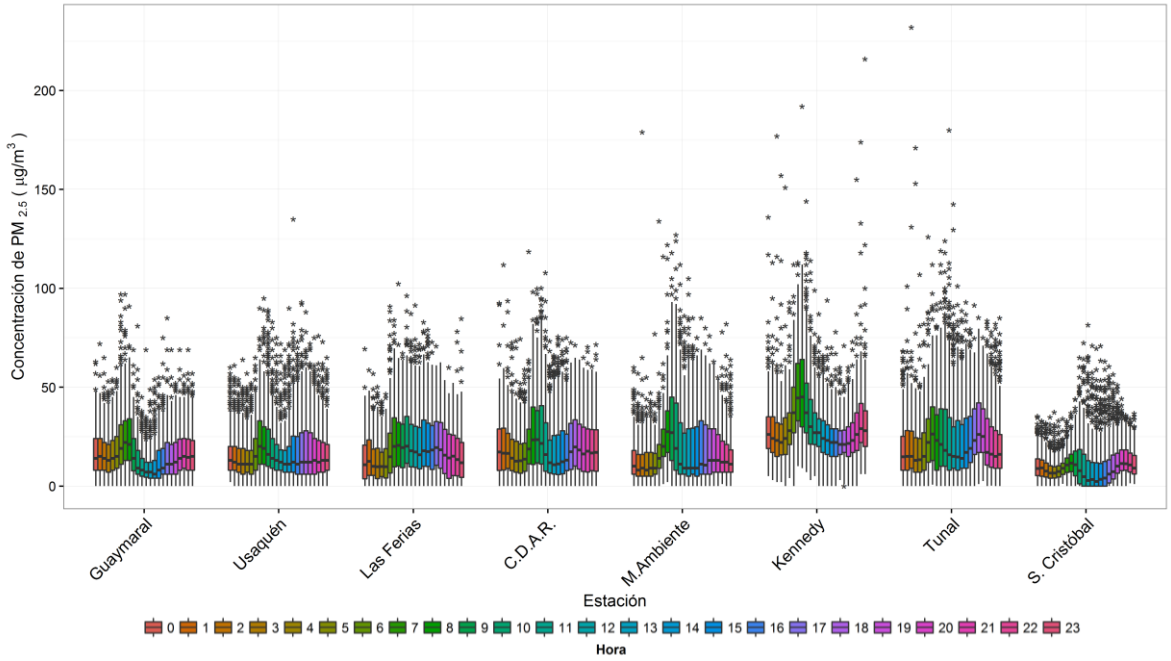


Figura 6-19. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-6 contiene un resumen de la concentración promedio de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 se mantuvo igual al promedio calculado en el 2015, y disminuyó con respecto a las concentraciones presentadas en los años 2012 al 2014. El valor máximo de $PM_{2.5}$ para el 2016 es 69 µg/m^3, y se presentó en la estación MinAmbiente, en contraste a los años anteriores en donde el valor más alto se presentaba en la zona suroccidental de la ciudad, lo cual evidencia la influencia del incendio forestal sobre la contaminación por $PM_{2.5}$ en el oriente de la ciudad.

Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de $PM_{2.5}$ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad µg/m^3	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
2012	28	63	17/02/2012	Kennedy
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy
2016	19	69	03/02/2016	MinAmbiente

La Figura 6-20 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2012 a 2016, donde en las estaciones Kennedy, Carvajal-Sevillana, y Tunal las concentraciones diarias tienden a sobrepasar la norma diaria en mayor medida, en comparación a las demás estaciones.

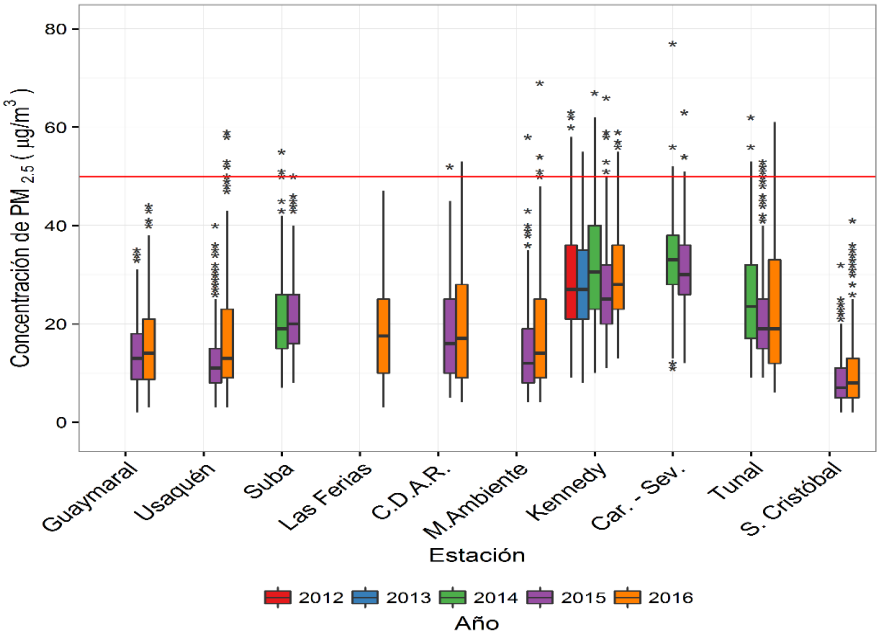


Figura 6-20. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2012 a 2016

RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 6-7 muestra la relación de concentraciones promedio del año 2016 entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 75%. Ocho (8) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas se presentaron en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente y Kennedy, lo que indica que en estas zonas hubo una mayor influencia de fuentes de combustión que emiten material particulado fino. Las fracciones más bajas se presentaron en San Cristóbal y Usaquén, lo que significa que hubo una mayor influencia de emisiones de partículas gruesas, asociadas a cenizas o material resuspendido.

En resumen, las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas (Baker y Scheff, 2007; Real y Sartelet, 2011; Sun, Lin, y Wang, 2003) y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

Tabla 6-7. Relación concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$ por estación

Estación	$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	PM_{10} (µg/m^3)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Guaymaral	16	32	0.50
Usaquén	17	42	0.40
Suba	N.R.	52	N.A.
Las Ferias	19	40	0.48
Centro de Alto Rendimiento	20	35	0.57
MinAmbiente	18	34	0.53
Puente Aranda	N.R.	52	N.A.
Kennedy	30	58	0.52
Carvajal - Sevillana	N.R.	76	N.A.
Tunal	23	50	0.46
San Cristóbal	10	27	0.37

6.2 GASES

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera. A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas.

6.2.1 OZONO

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el ozono estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por lo tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar. [3] [4].

Para el año 2016, ocho (8) estaciones reportaron datos de O_3 con una representatividad temporal mayor al 75%, además, se obtuvieron 59598 datos válidos 8 horas de concentración, que corresponden al 84% total de los datos capturados.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-1 muestra los promedios anuales de O_3 por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, esto con el fin de tener una comparación de las estaciones y no contrastarlo con los límites máximos permisibles, ya que estos no consideran un tiempo de exposición anual.

El mayor valor se presentó en la estación Usaquén, con 38 µg/m^3 (por debajo del presentado en 2015- 47µg/m^3), y el valor más bajo se presentó en la estación Puente Aranda, con 15 µg/m^3. La estación Usaquén se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles inusualmente elevados en horas de la noche.

[3] Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

[4] DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE.UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA – Monóxido de Carbono. 2012

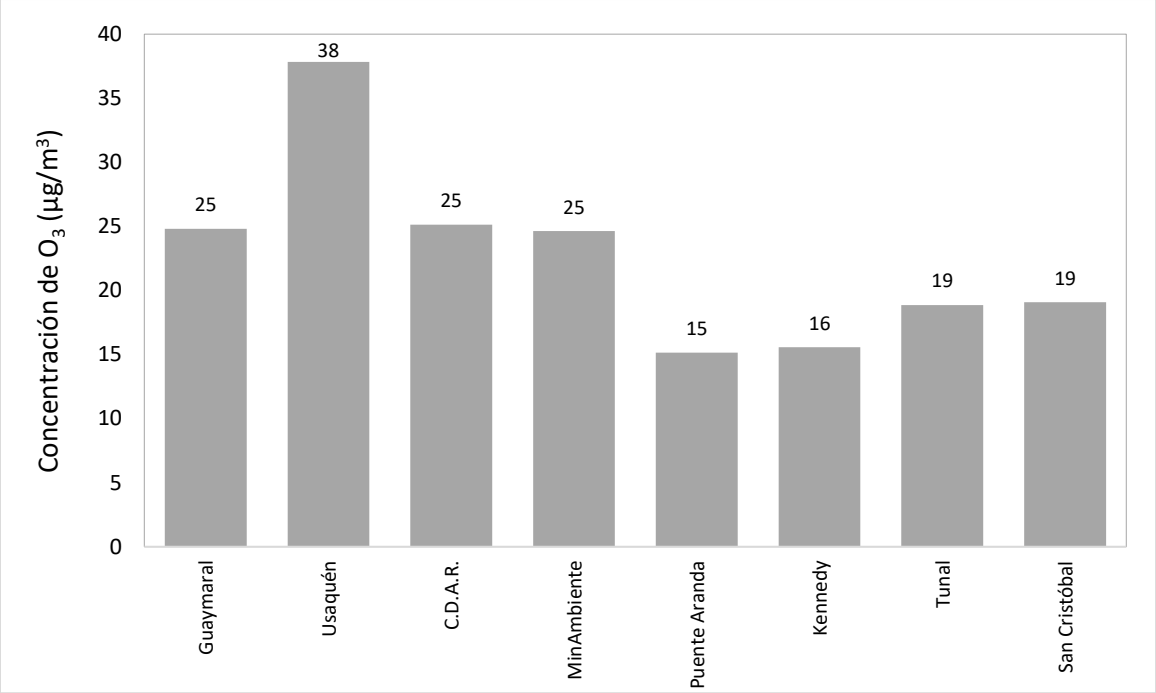


Figura 6-21 Comportamiento de las concentraciones anuales de O_3 para el año 2016

Las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual puede deberse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Cabe destacar el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios

La distribución espacial de la concentración de O_3 en la ciudad puede verse en la Figura 6-22, donde a través de una interpolación por el método de Krigging se generó un mapa teniendo en cuenta los valores por estación con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de las estaciones Suba, Las Ferias y Carvajal-Sevillana). En este mapa se puede observar que la localidad de Usaquén, parte de las localidades de Suba, Barrios Unidos y Chapinero tienen el rango más alto de concentración (entre 30 y 39 µg/m^3). Por otro lado, las localidades de Kennedy y Puente Aranda, parte de Antonio Nariño y Tunjuelito, se encuentran en el rango más bajo de contaminación por O_3, con concentraciones entre 15 y 21 µg/m^3.

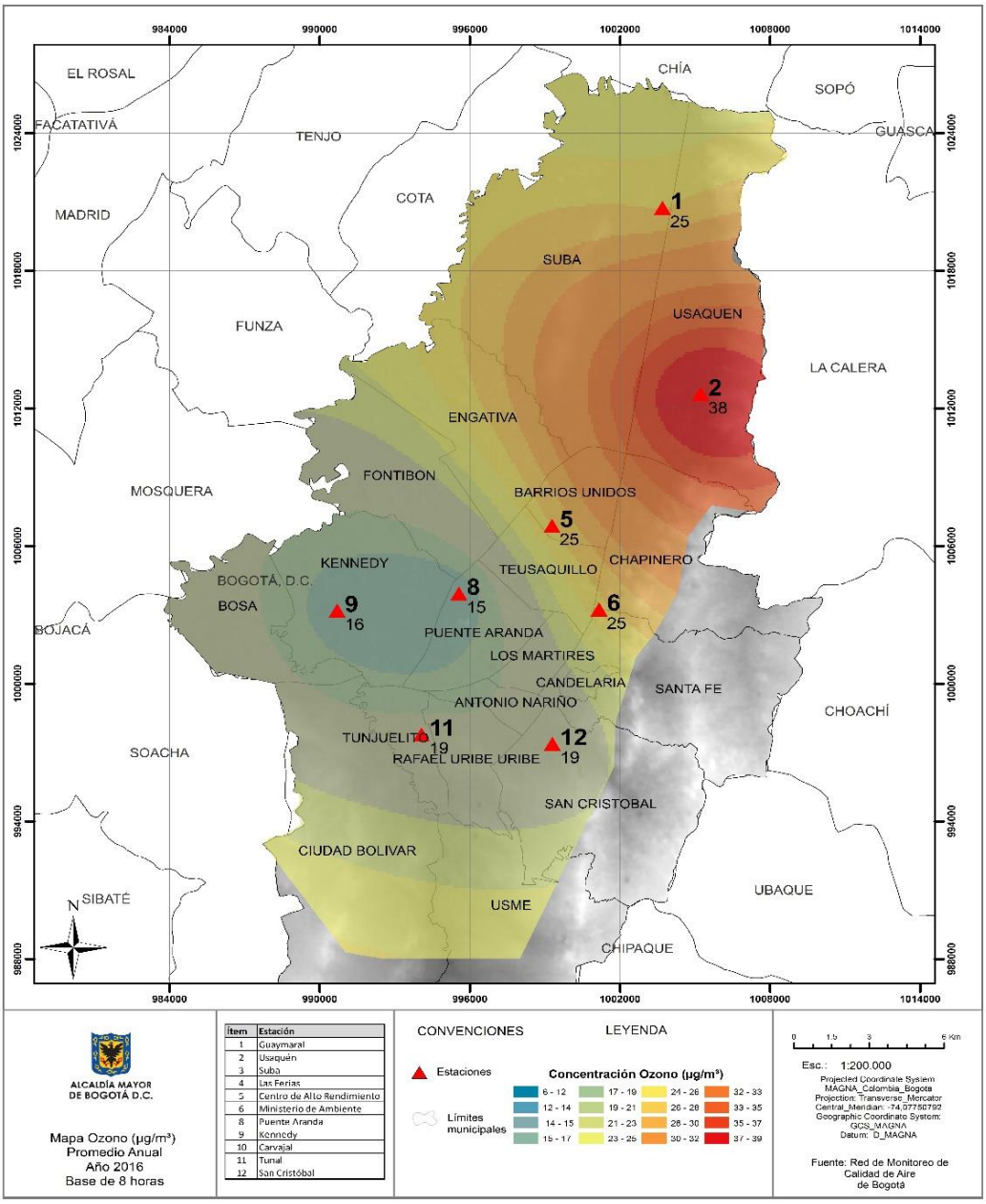


Figura 6-22 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O3 con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento semanal de las concentraciones de O_3 en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-23, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los domingos; y las menores concentraciones ocurren en los jueves y viernes. Este comportamiento es inverso al que posee el material particulado, debido a que las concentraciones de ozono aumentan en los días de mayor radiación solar y en los días más despejados, cuando hay menor contaminación por Material Particulado.

En la Figura 6-24 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana, con respecto a la norma horaria. Se observa que las concentraciones registradas tienen varios datos extremos que sobrepasan la norma horaria, siendo la estación de Usaquén la que tiene los valores extremos más altos, en contraste con la estación Tunal que no registró ningún dato sobre la norma horaria.

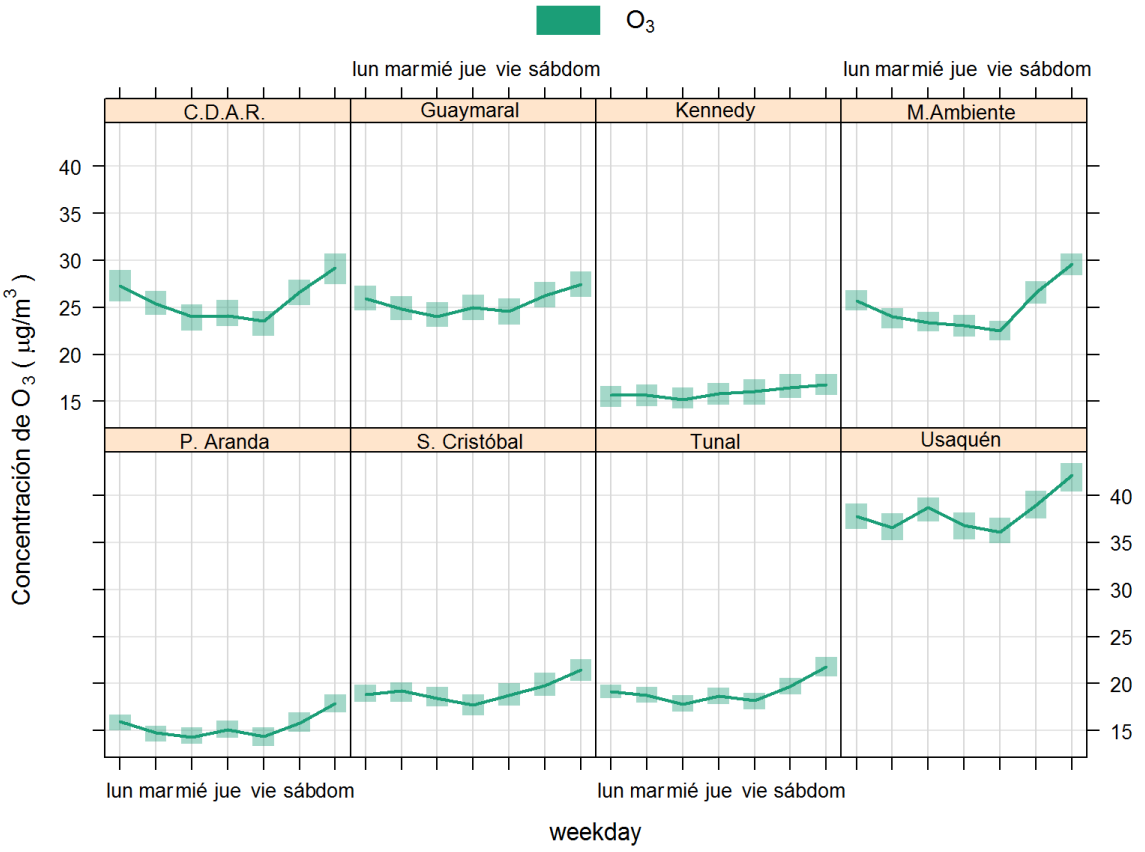


Figura 6-23. Comportamiento de las concentraciones de O_3 ciclo semanal durante el año 2016 por estación

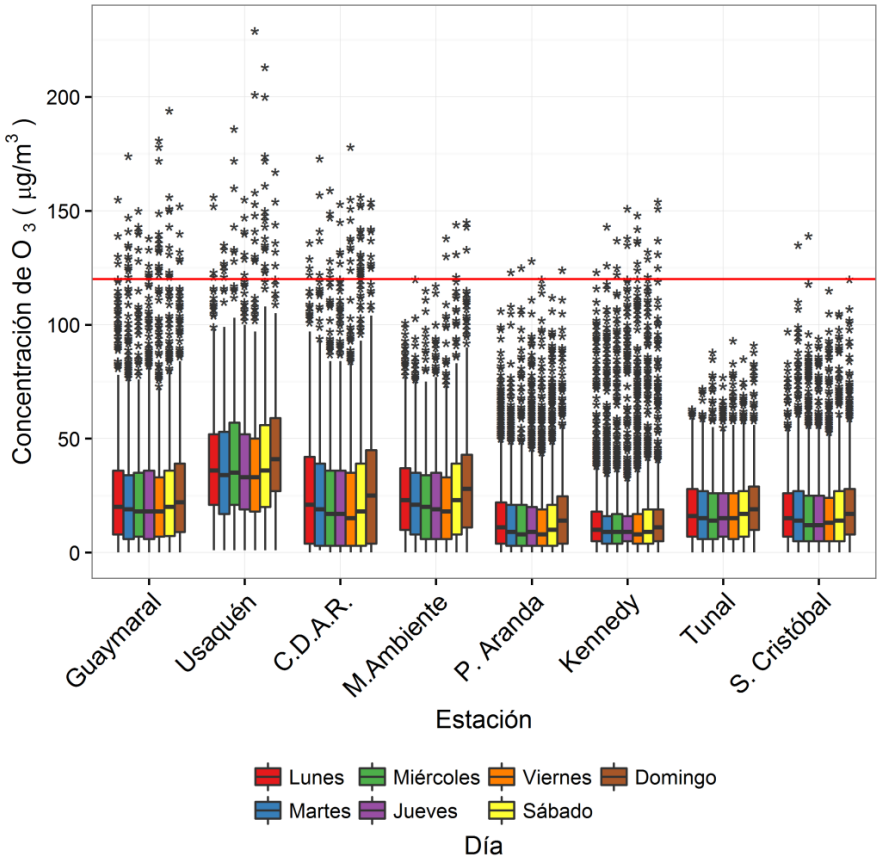


Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 Ciclo semanal para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de O_3 para el año 2016 se representan en la Figura 6-25, en la que se observa que el año inicia con concentraciones altas en los tres primeros meses, luego hay una tendencia a la reducción de las concentraciones en la primera mitad del año hasta el abril y mayo, cuando hay concentraciones más bajas, luego hay un aumento gradual hasta los meses de septiembre y octubre, y un nuevo descenso hasta diciembre. Además se evidencia que las concentraciones más altas del año se presentaron en los meses de Enero y Marzo, y en septiembre para las estaciones Tunal y Usaquén. Esa situación se da debido a las altas temperaturas que se presentaron en esos meses, las cuales se relacionaron a altos niveles de radiación solar.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-26, se observa que para la estación Usaquén presenta el mayor número de datos extremos que superan la norma, especialmente en los períodos de Enero - Marzo y Agosto - Octubre, mientras que la estación Tunal no reporta datos sobre la norma horaria, y tiene baja dispersión de datos la mayoría de los meses del año.

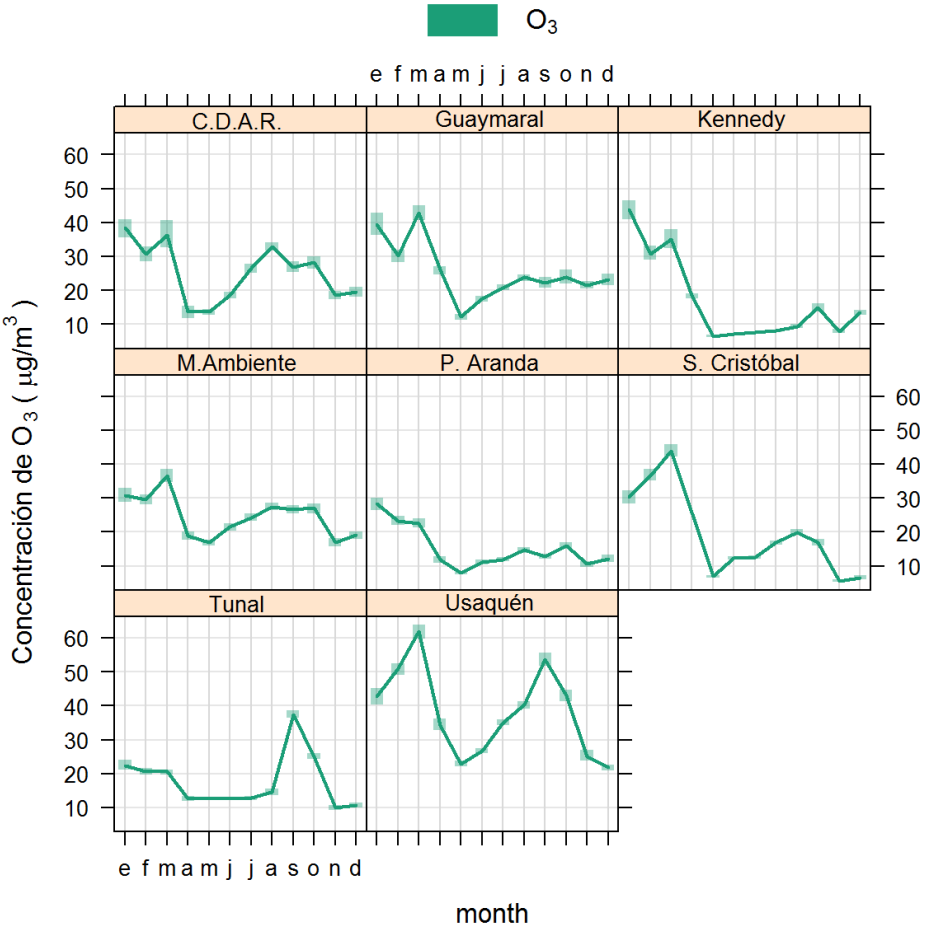


Figura 6-25. Comportamiento mensual de la concentración de O_3 para el año 2016 por estación

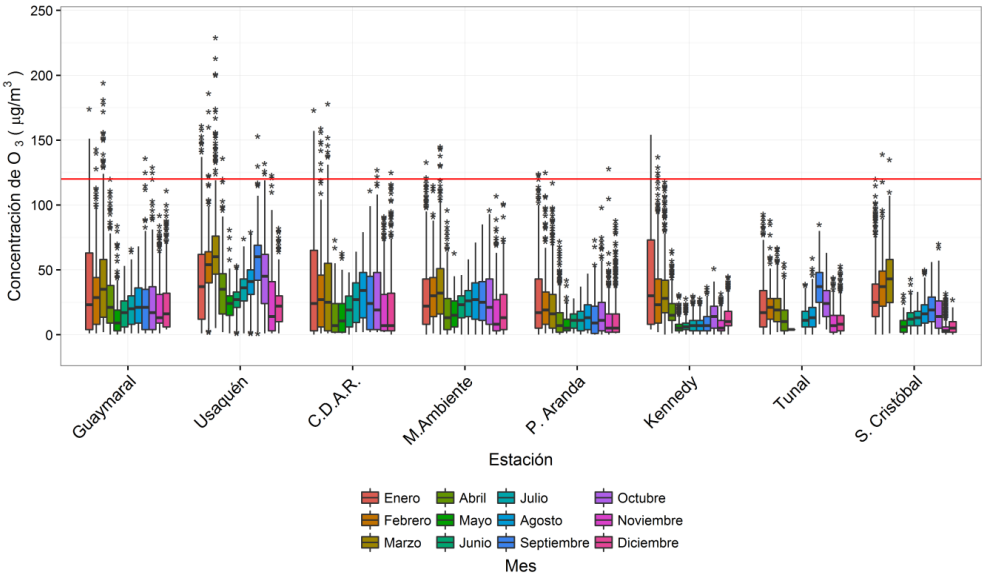


Figura 6-26. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 Ciclo mensual para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIOS POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O_3 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 120 µg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 11 estaciones que reportaron datos de O_3, 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Guaymaral y Usaquén las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 96%, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-8.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de O_3 para un tiempo de exposición horario, (120 µg/m^3), se presentaron un total de 303 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en las estaciones Guaymaral y Suba, con 63 excedencias, seguida de Usaquén y Centro de Alto Rendimiento con 60 excedencias, en contraste, la estación Tunal no presentó excedencias sobre la norma horaria. La estación Suba posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de O_3 para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de marzo, principalmente en el norte y centro de la ciudad. El 11 de marzo se presentó el mayor número de máximos, incluyendo las estaciones Usaquén, Suba y Centro de Alto Rendimiento. El valor máximo más alto se presentó en Suba, con 229 µg/m^3 el 11 de marzo, seguido de Suba con 217 µg/m^{3}el 11 de marzo.

Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O_3 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 1 h 120 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma[5]	Máximo (µg/m^3)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	96	25	63	0.75	44	194	12/03/2016 14:00
Usaquén	96	38	60	0.71	32	229	11/03/2016 14:00
Suba*	66	29	63	1.09	47	217	11/03/2016 14:00
Las Ferias*	37	23	14	0.43	15	147	26/01/2016 14:00
Centro de Alto Rendimiento	89	25	60	0.77	40	178	11/03/2016 13:00
MinAmbiente	93	25	9	0.11	18	145	13/03/2016 15:00
Puente Aranda	94	15	5	0.06	6	128	17/11/2016 13:00
Kennedy	84	16	24	0.32	33	154	17/01/2016 14:00
Carvajal-Sevillana*	35	19	2	0.06	6	137	31/01/2016 12:00
Tunal	77	19	0	0	0	93	29/01/2016 14:00
San Cristóbal	80	19	3	0.03	5	139	03/02/2016 14:00

*** Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento de las concentraciones horarias de O_3 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (120 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-27, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones horarias se presentaron en los cuatro primeros meses del año, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de julio, en la estación Suba no hubo registro de datos entre agosto y octubre, y en la estación Ferias no hubo registro de datos entre marzo y julio. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Tunal hubo periodos cortos en el primer semestre del año en que no hubo captura de datos, sin embargo, con los registros del resto del año se obtuvo la representatividad temporal necesaria para la realización de los análisis.

[5] Mayor o igual a 108 µg/m^3 y menor o igual a 120 µg/m^3.

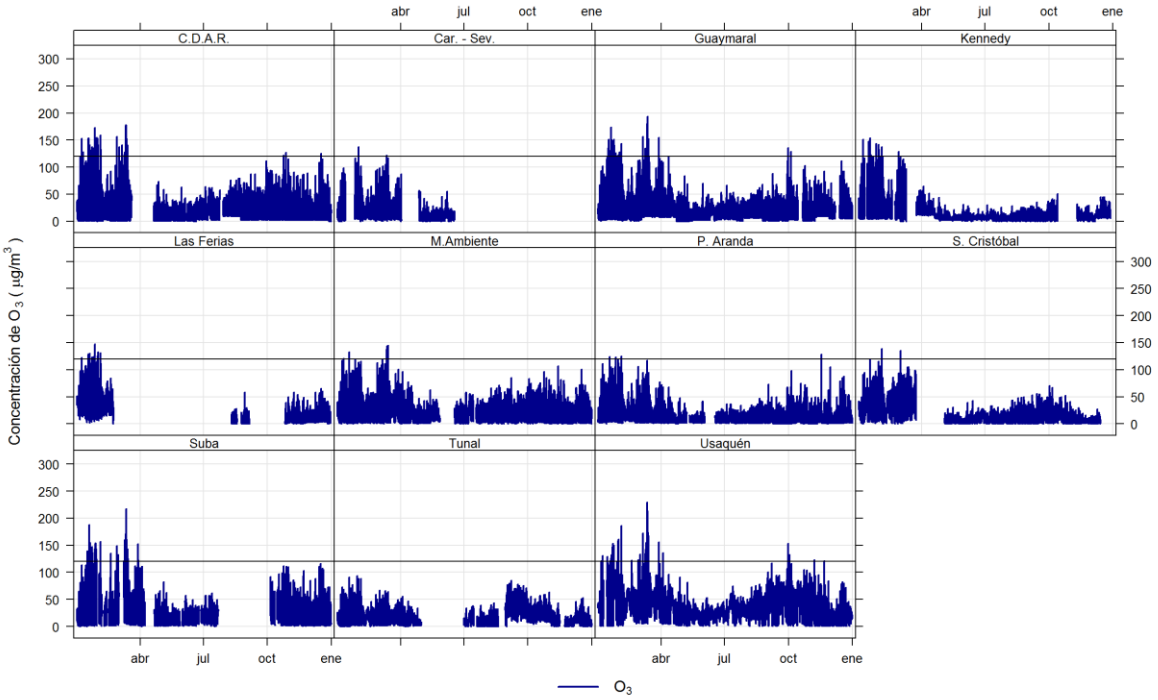


Figura 6-27. Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 por estación y comparación con norma (120 µg/m^3)

En la Figura 6-28 se observa el ciclo horario. En general se observa que las mayores concentraciones se presentan entre la 1 y 3 de la tarde, y hay un descenso hasta las horas de la noche, para presentar un ligero aumento a las 3 de la mañana, siendo más notable este comportamiento en la estación de Usaquén. Esta estación es la que tiene la tendencia a presentar las concentraciones más altas, llegando a registrar hasta 55 µg/m^3 en horas de la tarde. Las estaciones Kennedy, Tunal y San Cristóbal presentan las concentraciones más bajas, por debajo de 30 µg/m^3.

En la Figura 6-29 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de O_3 en el año 2016, se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Guaymaral, las cuales, junto con Usaquén y Centro de Alto Rendimiento, presentan el mayor número de valores extremos que sobrepasan la norma horaria.

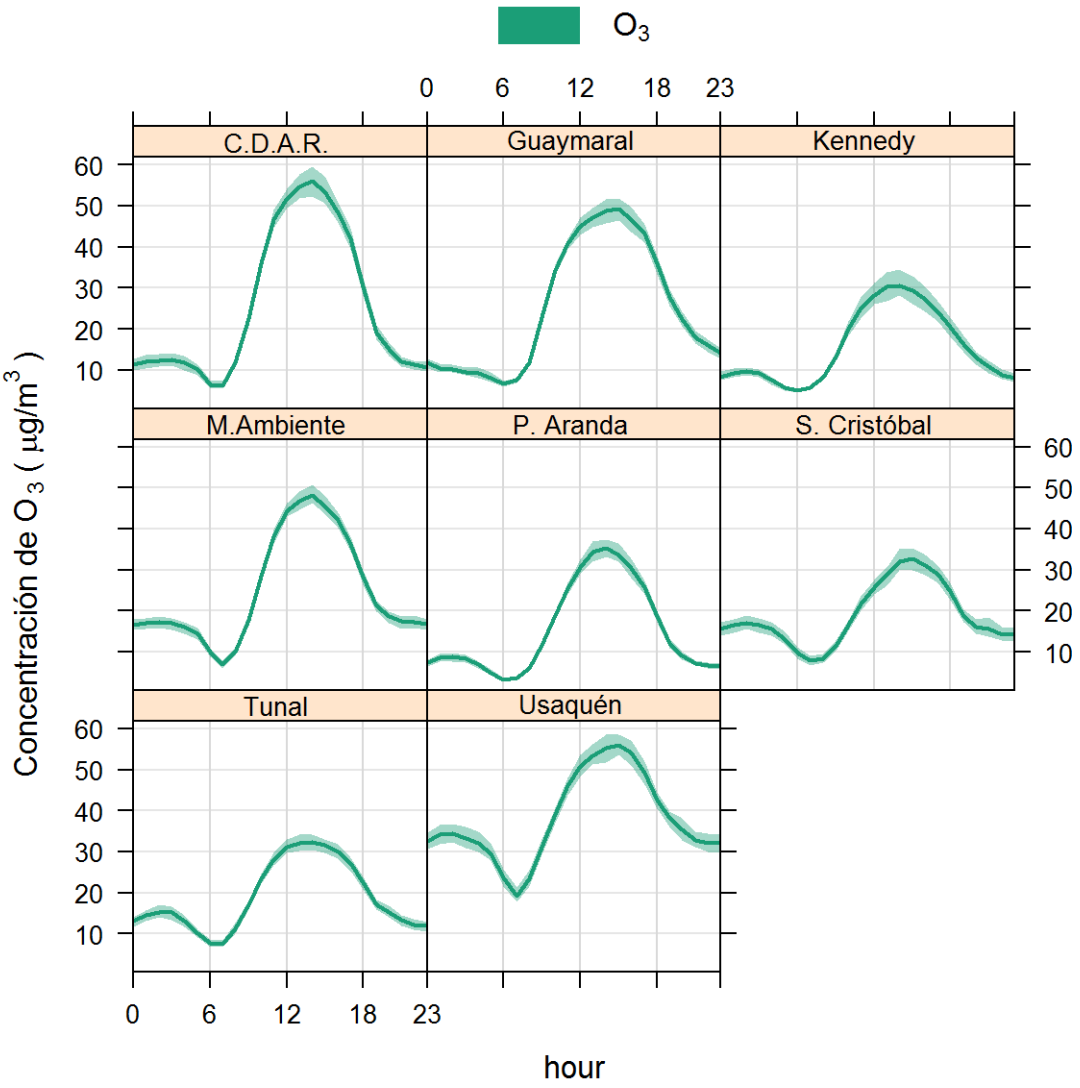


Figura 6-28. Comportamiento de las concentraciones de O_3 en ciclo horario por estación durante el año 2016

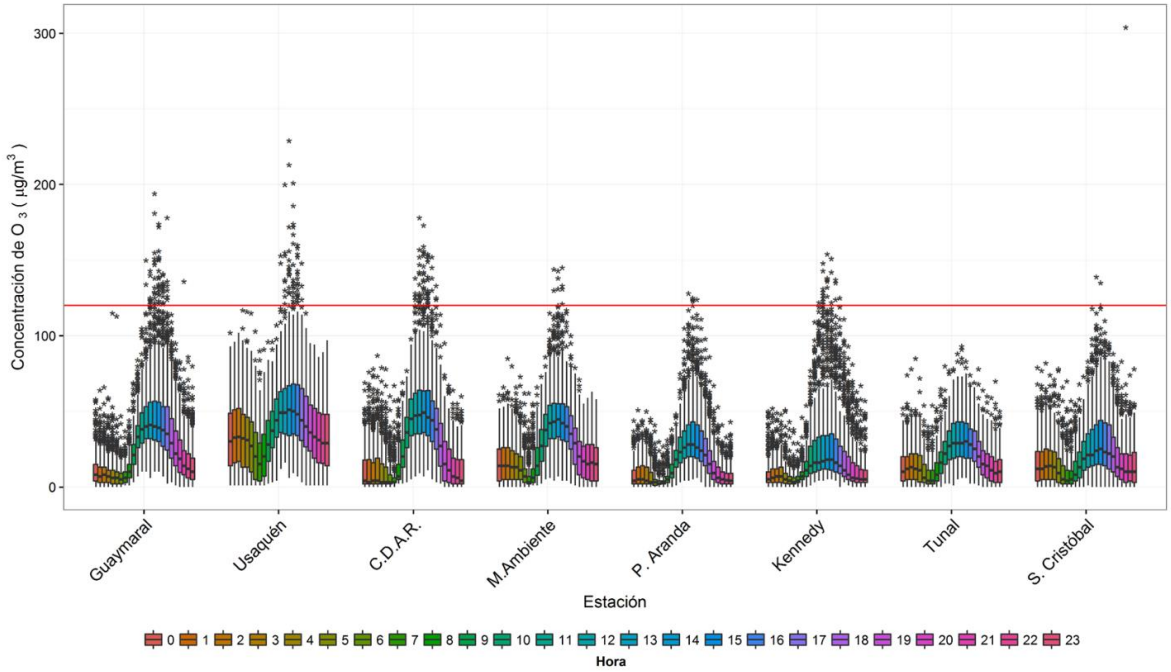


Figura 6-29. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo horario para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO MEDIAS MÓVILES DE 8H POR ESTACIÓN

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de O_3 por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-9. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones disminuyeron con respecto a las reportadas en el 2015, a excepción de la estación Guaymaral, que presentó un aumento de 3 µg/m^3 sobre el valor del 2015. La mayor disminución de concentración se presentó en la estación San Cristóbal, con una reducción de 11 µg/m^3. En las estaciones de Suba, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O_3 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio O_3 2015 (8h) (µg/m^3)	Promedio O_3 2016 (8h) (µg/m^3)	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	22	25	↑
Usaquén	47	38	↓
Centro de Alto Rendimiento	26	25	↓
Ministerio de Ambiente	N.A.	25	N.A.
Puente Aranda	17	15	↓
Kennedy	22	16	↓

Estación	Promedio O_3 2015 (8h) ($\mu g/m^3$)	Promedio O_3 2016 (8h) ($\mu g/m^3$)	Cambio de 2015 a 2016
Tunal	20	19	↓
San Cristóbal	30	19	↓

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 80 $\mu g/m^3$. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de O_3 registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 11 estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de O_3, 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Guaymaral y Usaquén las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 96%, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-10.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de O_3 para un tiempo de exposición de 8 horas, (80 $\mu g/m^3$), se presentaron un total de 1064 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en las estaciones Guaymaral y Suba, con 246 y 216 excedencias respectivamente, en contraste, la estación Tunal no presentó excedencias sobre la norma 8 horas. La estación Usaquén posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas 8 horas de O_3 para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de enero, El 12 de marzo se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Guaymaral, Usaquén y MinAmbiente, seguido de Suba con un máximo de 139 $\mu g/m^3$ el 11 de marzo.

Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O_3 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu g/m^3$)	Excedencias norma (8h) 80 $\mu g/m^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	96	25	185	2.2	85	128	12/03/2016 17:00
Usaquén	96	38	246	2.9	254	143	12/03/2016 17:00
Suba*	65	29	216	3.8	104	139	11/03/2016 17:00
Las Ferias*	37	23	57	1.8	44	103	30/01/2016 18:00
Centro de Alto Rendimiento	89	25	153	2.0	81	121	30/01/2016 18:00
MinAmbiente	93	25	28	0.3	33	104	12/03/2016 18:00
Puente Aranda	94	15	11	0.1	15	95	17/01/2016 19:00
Kennedy	84	16	134	1.8	47	125	17/01/2016 19:00
Carvajal-Sevillana*	35	19	16	0.5	28	92	31/01/2016 17:00

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma (8h) 80 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Tunal	77	19	0	0.0	0	68	29/01/2016 18:00
San Cristóbal	80	19	18	0.3	39	89	22/03/2016 20:00

*** Promedios con base en media 8 horas, incluye estaciones no representativas con fines indicativosy revisión.**

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma (80 µg/m^3) se presentan en la Figura 6-30, en la cual se puede observar que para todas las estaciones las mayores concentraciones se presentaron en los cuatro primeros meses del año, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año.

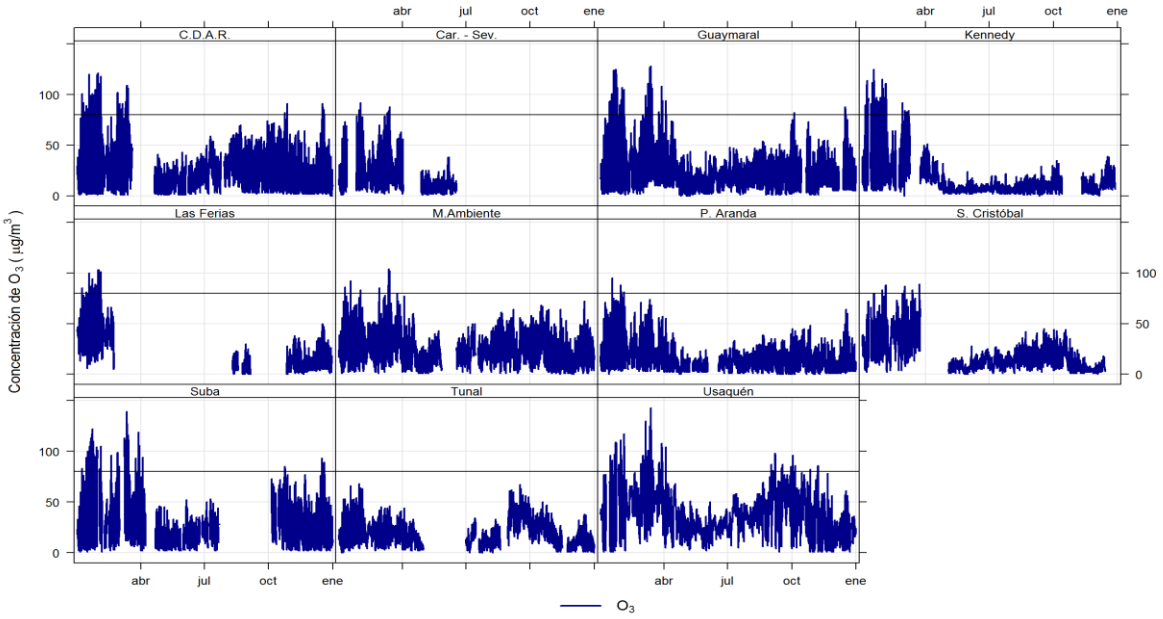


Figura 6-30. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8H) por estación y comparación con norma (80 µg/m^3)

COMPORTAMIENTO HISTORICO

Un resumen histórico de las concentraciones promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas para los periodos comprendidos por los años 2012-2016 se presentan en la Tabla 6-11.

Para el periodo de estudio, el promedio ciudad del año 2016 disminuyó 3 µg/m^3 en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de O_3 para el 2016 es 18 µg/m^3 mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Usaquén, donde también se presentaron valores máximos en 2015 y 2013.

Para todos los años, los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche donde el efecto de radiación a través del día es más notorio; se debe tener en cuenta que por ser medias móviles, se presenta un desplazamiento natural de los valores máximos, frente a lo reportado en los datos horarios.

El aumento de los promedios de concentración, indican que se han aumentado las fuentes de emisión de precursores y que las excedencias a la norma pueden llegar a ser aún más frecuentes. Los promedios se muestran a manera de comparación entre estaciones ya que no existe norma anual para este contaminante.

Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O_3 para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad (datos 8h) µg/m³	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
2012	23	132	16/02/2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén
2016	23	143	12/03/2016 17:00	Usaquén

La Figura 6-31 presentan los diagramas de caja de todas las estaciones, donde históricamente se puede observar que las estaciones que han presentado los valores más altos de O_3 son Usaquén y Guaymaral.

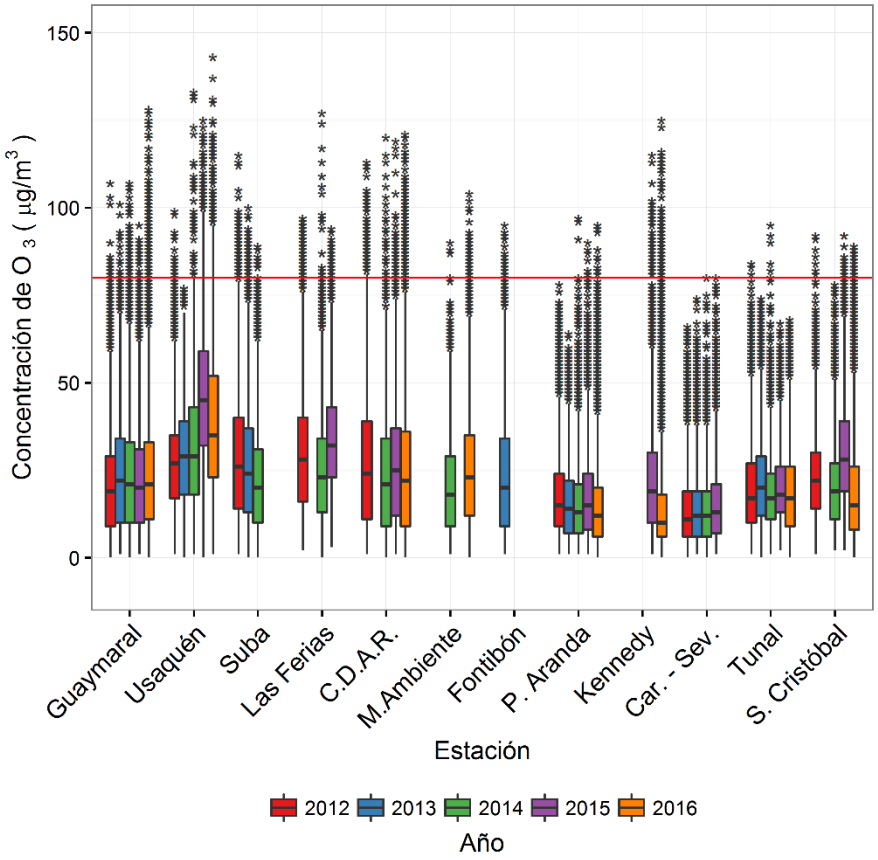


Figura 6-31. Diagrama de *cajas* de O_3 en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2012 y 2016 (con base en promedios móviles de 8H)

6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias

Para el año 2016, tres (3) estaciones reportaron datos de NO_2 con una representatividad temporal mayor al 75%.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-32 presenta el comportamiento anual de las tres (3) estaciones que reportaron datos de NO_2 con una representatividad temporal mayor al 75% y su comparación con la norma anual nacional (100 µg/m^3). Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el valor de 100 µg/m^3, todas las estaciones presentaron comportamientos anuales con un orden de magnitud similar.

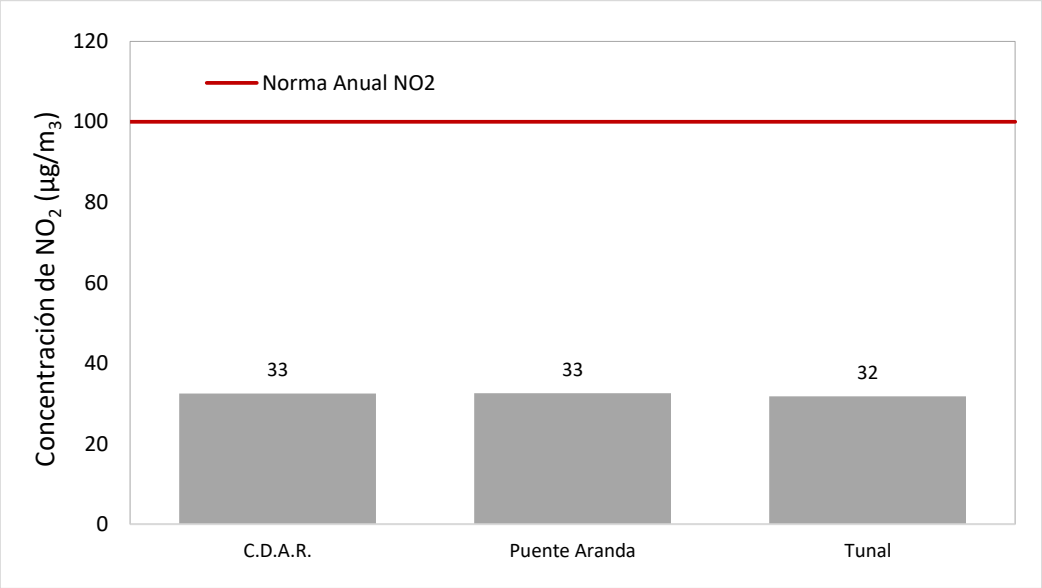


Figura 6-32. Promedios anuales de NO_2 para el año 2016

La comparación de las concentraciones anuales de NO_2 por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Figura 6-12. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015 en Puente Aranda y Tunal, mientras que en el Centro de Alto Rendimiento hubo una disminución de 1 µg/m^3 con respecto al año anterior. En las estaciones de Guaymaral, Las Ferias, Kennedy y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-12. Promedios anuales de NO_2 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio NO_2 2015 ($\mu g/m^3$)	Promedio NO_2 2016 ($\mu g/m^3$)	Cambio de 2015 a 2016 ($\mu g/m^3$)
Guaymaral	24	N.R.	N.A.
Suba	N.R.	N.R.	N.A.
Las Ferias	41	N.R.	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	33	32	↓
Puente Aranda	32	33	↑
Kennedy	N.R.	N.R.	N.A.
Carvajal - Sevillana	53	N.R.	N.A.
Tunal	29	32	↑

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 150 $\mu g/m^3$. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de NO_2 para un tiempo de exposición diario, (150 $\mu g/m^3$), solo se presentó una excedencia sobre la norma en la estación Tunal. Esta estación además posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de NO_2 para el 2016 se presentaron en los meses de Abril y Octubre, principalmente en el norte y centro de la ciudad. El 06 de Octubre se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Tunal, con 158 $\mu g/m^3$ el 29 de Septiembre, seguido de Las Ferias con 117$\mu g/m^3$ el 06 de Octubre (Ver Tabla 6-13)

Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO_2 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu g/m^3$)	Excedencias norma 150 $\mu g/m^3$	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Guaymaral*	69	22	0	44	01/04/2016	0
Las Ferias*	39	48	0	117	06/10/2016	1

Centro de Alto Rendimiento	99	33	0	71	04/04/2016	0
Puente Aranda	99	33	0	65	06/10/2016	0
Kennedy*	11	21	0	30	02/02/2016	0
Carvajal-Sevillana *	28	55	0	77	10/03/2016	0
Tunal	89	32	1	158	29/09/2016	2

***Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento de las concentraciones 24 horas de NO_2 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma (150 µg/m^3) se presentan en la Figura 6-33 en la cual se puede observar que los niveles se reducen en los meses de junio y julio, producto de la variabilidad anual de la velocidad de los vientos. También se puede observar la baja representatividad de 4 de las 7 estaciones que miden este contaminante.

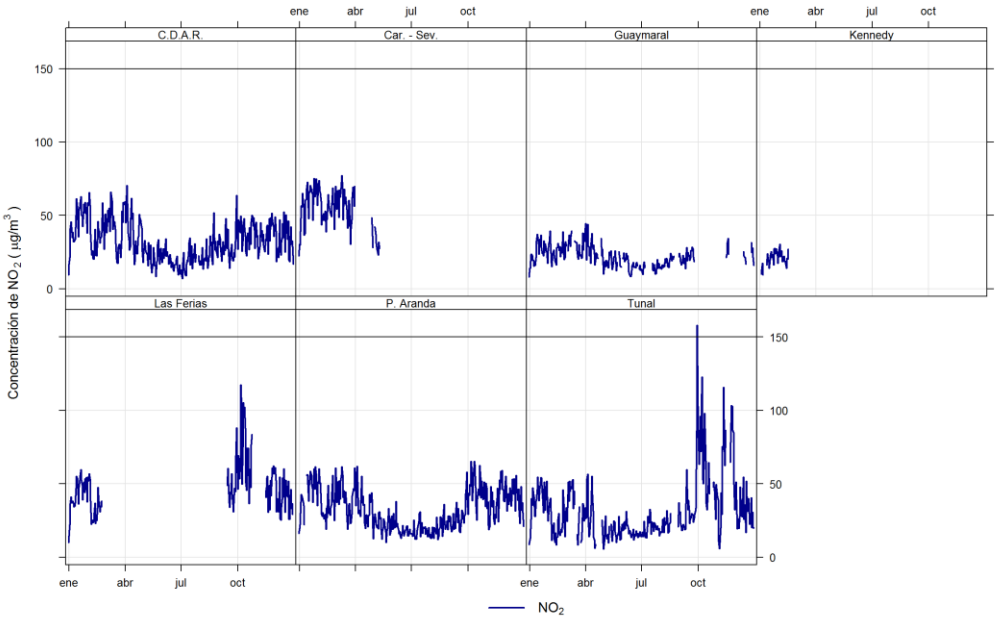


Figura 6-33 Comportamiento diario de la concentración de NO_2 por estación para el año 2016.Comparado con la norma diaria (150 µg/m^3)

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2 en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-34 y en la Figura 6-35, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes con el comportamiento del material particulado como contaminante primario. En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-35, solo una valore registrado en la estación Tunal presenta excedencias respecto a la norma diaria.

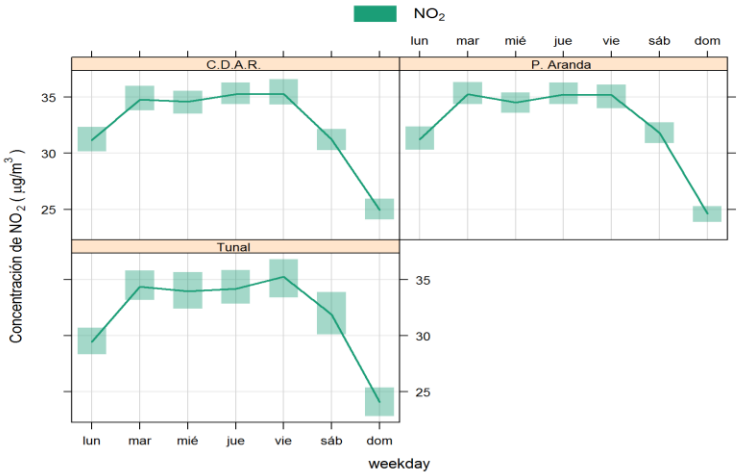


Figura 6-34. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 ciclo semanal durante el año 2016 por estación

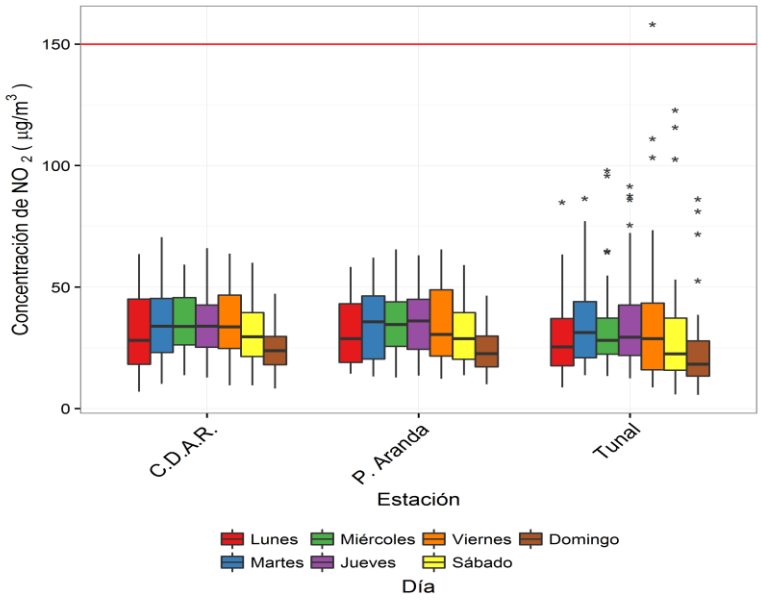


Figura 6-35. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de NO_2 para el año 2016 se representan en la Figura 6-36 y en la Figura 6-37, Se observa que para las tres estaciones, los meses con las mayores concentraciones corresponden a febrero y marzo en el primer semestre y a octubre y noviembre en el segundo; las menores concentraciones de NO_2 se encuentran en Junio, lo cual es coincidente con el comportamiento general de los contaminantes en la ciudad debido a la meteorología.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-37, se observa que ninguna estación tiene la tendencia a sobrepasar la norma diaria de acuerdo a la distribución de la mayoría de datos, solo en la estación Tunal se presentó un valor extremo de concentración, asociado posiblemente a fenómenos locales.

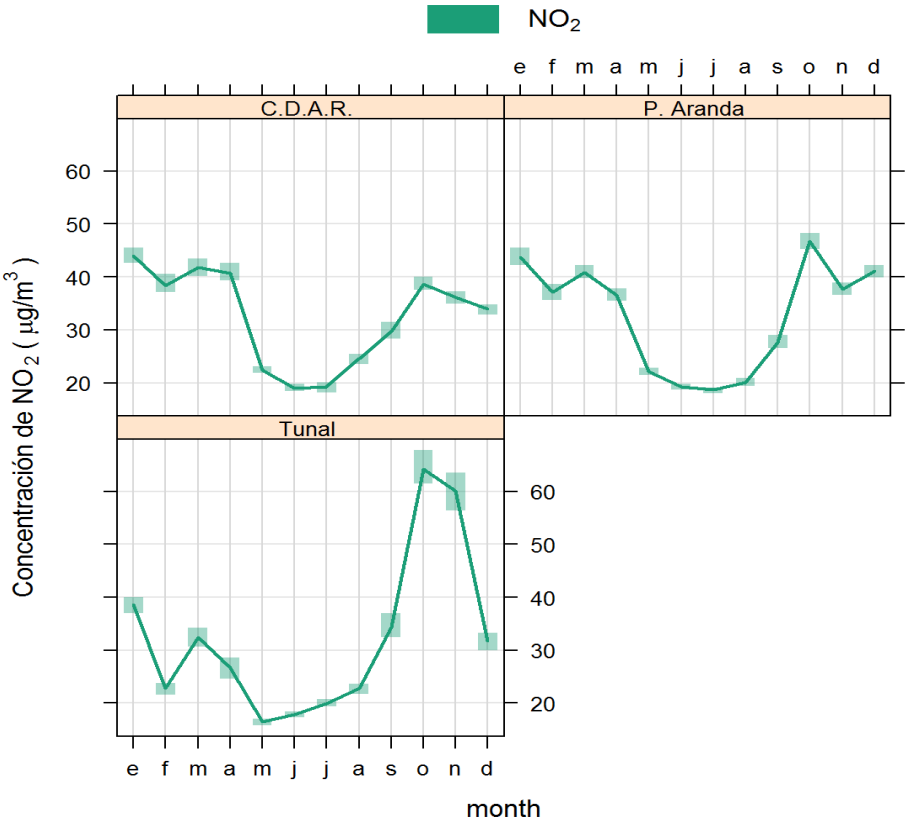


Figura 6-36. Comportamiento mensual de la concentración de NO2 para el año 2016 por estación

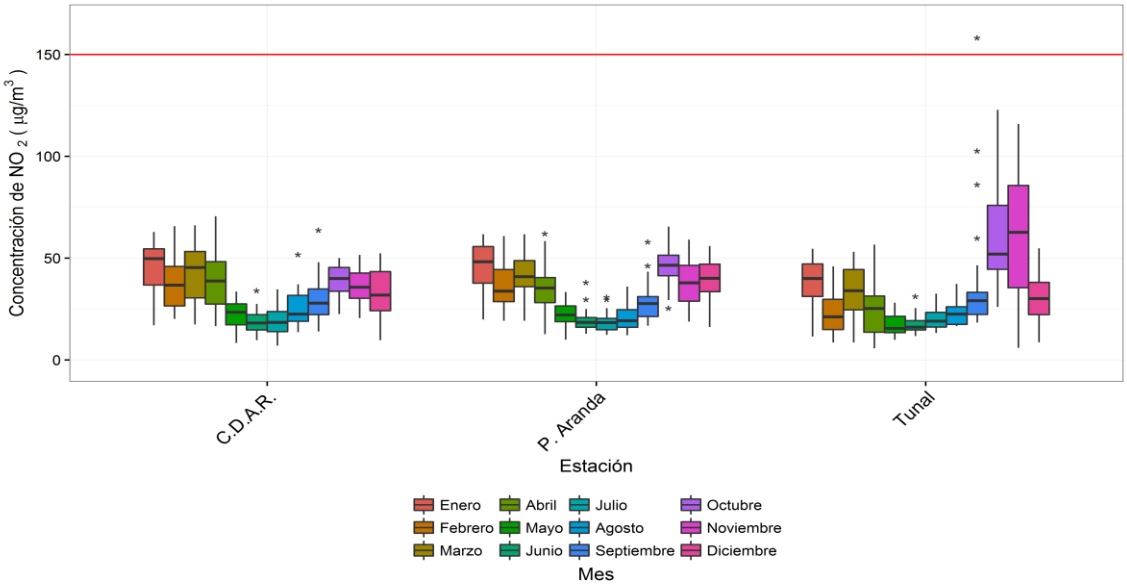


Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTOS HORARIOS POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 200 µg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de NO_2 para un tiempo de exposición horario, (200 µg/m^3), se presentaron un total de 19 excedencias sobre la norma, todas ellas registradas en la estación Tunal. Esta estación posee el mayor número de datos entre el 75 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder el valor máximo permitido.

Las concentraciones máximas de NO_2 para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de enero. El valor máximo más alto se presentó en Tunal, con 289 µg/m^3 el 30 de septiembre, seguido de Las Ferias con 195 µg/m^3 el 14 de Octubre.

Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO_2 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 200 µg/m^3	Máximo (µg/m^3)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Guaymaral*	71	22	0	101	01/04/2016 18:00	0
Las Ferias*	39	47	0	195	14/10/2016 10:00	21

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 200 µg/m^3	Máximo (µg/m^3)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Centro de Alto Rendimiento*	99	32	0	151	10/03/2016 10:00	1
Puente Aranda	99	33	0	159	28/01/2016 10:00	3
Kennedy*	12	20	0	84	02/02/2016 09:00	0
Carvajal-Sevillana *	29	54	0	154	15/01/2016 09:00	3
Tunal	90	32	19	289	30/09/2016 20:00	40

***Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (200 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-38, en la cual se observa que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año. Se visualiza también que en los meses de octubre a diciembre hubo varias excedencias en la estación Tunal, lo que concuerda con el comportamiento de $PM_{2.5}$, por lo que la causa se puede asociar a la influencia de la flota vehicular que pasa por las vías cercanas a la estación.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de junio, en la estación Guaymaral no hubo registro de datos entre Octubre y parte del mes de Diciembre, en la estación Kennedy no hubo registro de datos desde Marzo, y en la estación Las Ferias no hubo registro de datos entre Marzo y Septiembre

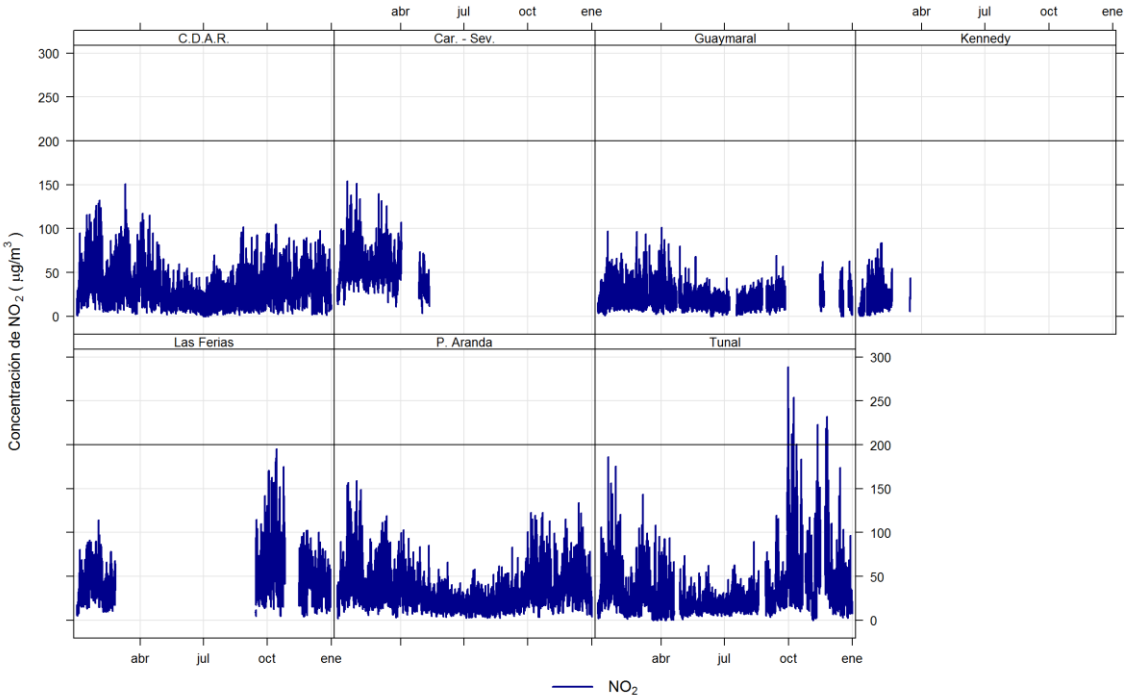


Figura 6-38. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 y comparación con norma nacional 1h

En la Figura 6-39 se muestra la tendencia de las concentraciones horarias de NO_2 durante el día. Se observa que hay dos picos de concentración durante el día, uno a las 7 de la mañana y otro a las 7 de la noche, registrando concentraciones entre 40 a 45 µg/m^3, y dos valles de concentraciones bajas, a las 3 de la mañana y las 2 de la tarde, con concentraciones entre 20 y 25 µg/m^3 ,el cual es producto del consumo de NO_2 y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 7:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O_3.

En la Figura 6-40 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de NO_2 en el año 2016, se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Tunal, la cual además presenta el mayor número de valores extremos que sobrepasan la norma horaria.

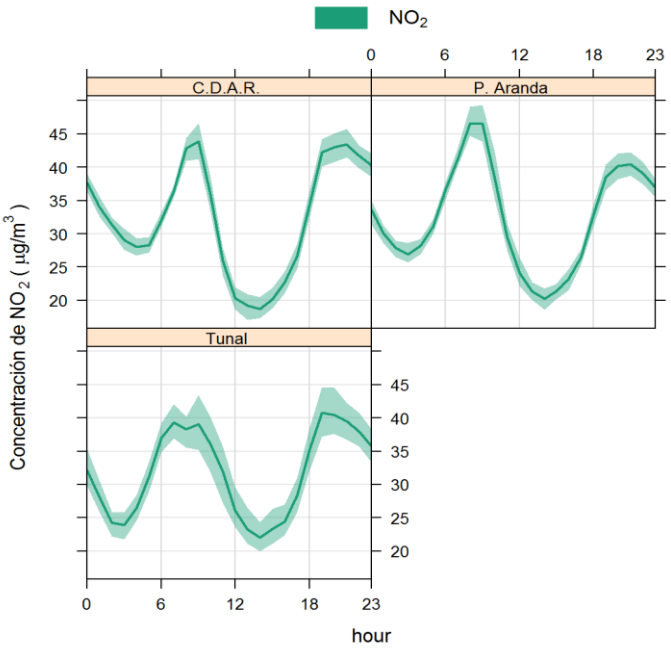


Figura 6-39. Comportamiento horario de las concentraciones de NO2 por estación durante el año 2016

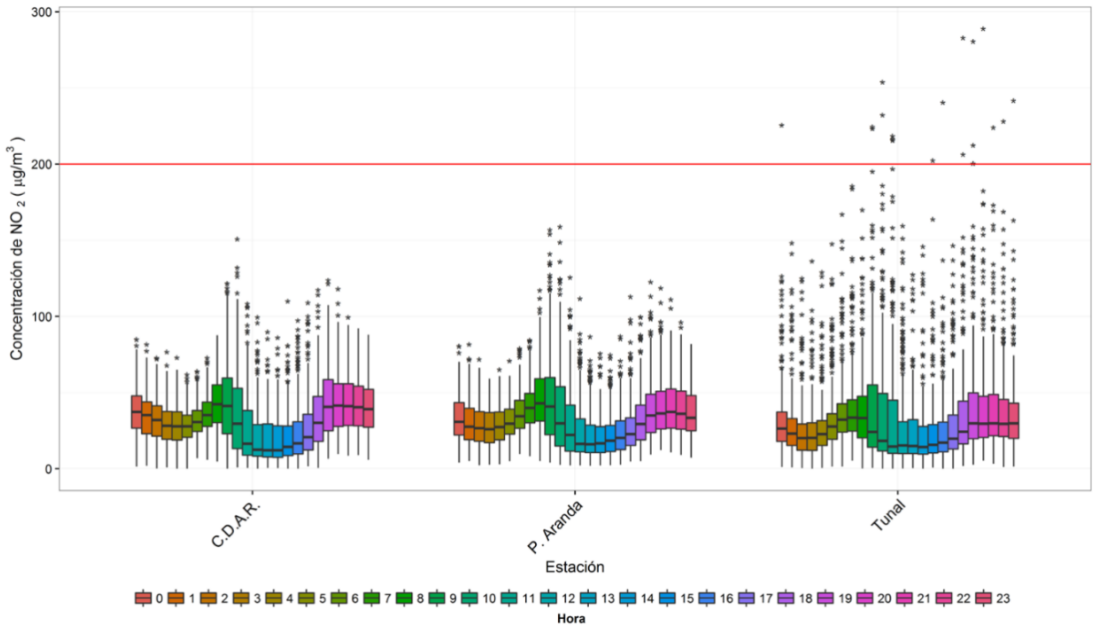


Figura 6-40. Diagramas de caja de las concentraciones de NO2 por hora del día para cada estación durante el año 2016

La Tabla 6-15 contiene un resumen de los promedios de concentración de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de NO_2 para el período 2012 – 2016.
El promedio ciudad del año 2016 disminuyó 3 µg/m^3 en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de NO_2 para el 2016 es el más alto que se ha presentado en los últimos cinco años, es 68 µg/m^3 mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Tunal, aunque en los años anteriores el valor máximo se ha presentado en el centro y suroccidente de la ciudad.

Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO_2 para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad NO_2 µg/m^3	Máximo NO_2 µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	29	77	14/04/2012 y 29/02/2012	Las Ferias y Carvajal
2013	30	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	31	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	35	90	01/05/2015	Centro de Alto Rendimiento
2016	32	158	29/06/2016	Tunal

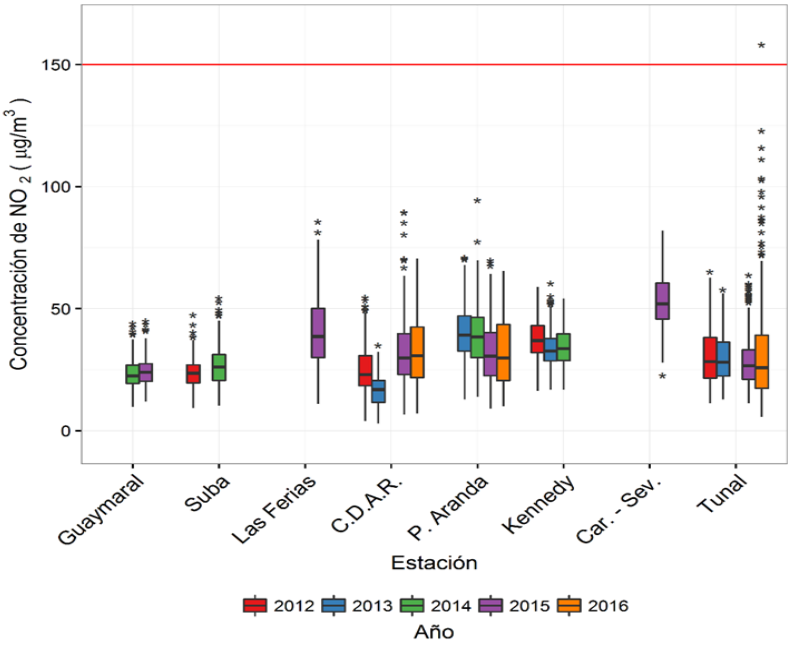


Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por estación para los años 2012 a 2016

6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

Contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios

Para el año 2016, cuatro (4) estaciones reportaron datos de SO_2 con una representatividad temporal mayor al 75%, de las seis (6) estaciones que monitorearon el contaminante.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-42 muestra los promedios anuales por estación y su comparación con la norma anual nacional de SO_2 (80 µg/m^3). Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de 4.8 µg/m^3 y se presentó en la estación Kennedy, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con 1.9 µg/m^3.

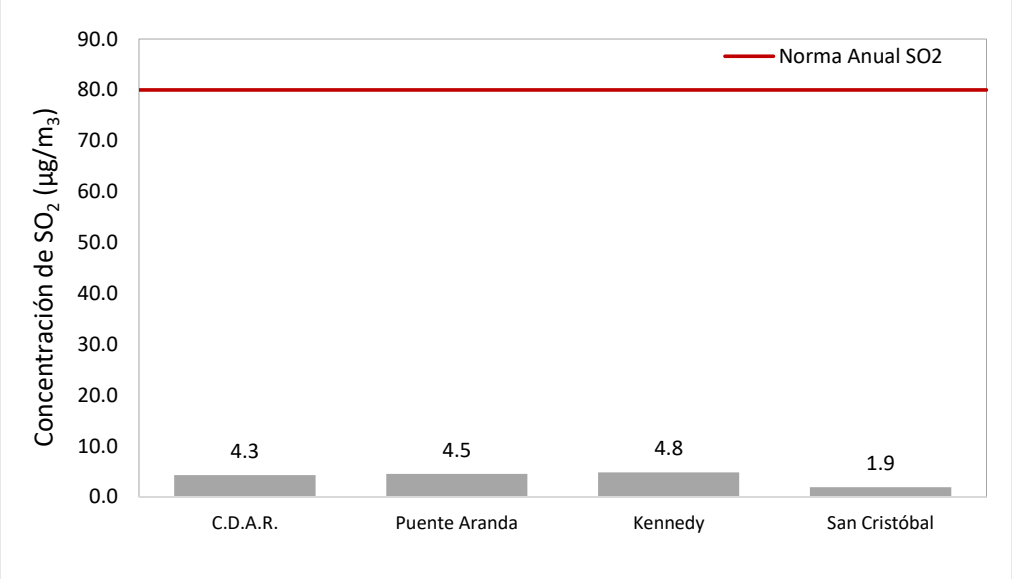


Figura 6-42 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO2 para el año 2016

La comparación de las concentraciones anuales de SO_2 por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-16. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015 en Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y San Cristóbal, mientras que en Kennedy hubo una disminución de 6 µg/m^3 con respecto al año anterior.

Tabla 6-16. Promedios anuales de SO_2 para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio 2015 (µg/m³)	Promedio 2016 (µg/m³)	Cambio de 2015 a 2016
Centro de Alto Rendimiento	3.4	4.3	↑
Puente Aranda	3.3	4.5	↑
Kennedy	5.4	4.8	↓
San Cristóbal	1.1	1.9	↑

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 se evalúa con base en las excedencias de límite máximo permisible que corresponde a 250 µg/m³. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea representativo.

Para el año de 2016, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 78%, siendo la estación Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos, con un 100% del total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-17. Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de SO_2 para un tiempo de exposición diario, (250 µg/m³), no se presentaron excedencias sobre la norma en ninguna estación, y tampoco se presentaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO_2 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma diaria 250 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Suba*	41	5.1	0	24.7	07/01/2016	0
Centro de Alto Rendimiento	96	4.3	0	13.1	25/01/2016	0
Puente Aranda	100	4.5	0	11.5	21/01/2016	0
Kennedy	89	4.8	0	14.9	27/05/2016	0
Carvajal-Sevillana*	39	14.2	0	40.9	27/05/2016	0
San Cristóbal	78	1.9	0	4.5	29/04/2016	0

*** Estas se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-43 y en la Figura

6-44, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los viernes; y las menores concentraciones ocurren los domingos. Este comportamiento se pude relacionar con la disminución del tráfico de vehículos pesados en los fines de semana.

En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-44, ninguna estación muestra una distribución alta de valores sobre la norma diaria, ya que las concentraciones registradas son bastante bajas en comparación al valor máximo permisible. La estación Kennedy mantiene la mayor dispersión de datos durante los días de la semana, posiblemente asociado a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario ocurre en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer diferenciación clara en el comportamiento del año frente a la norma diaria y anual, ninguno de sus valores supera la norma.

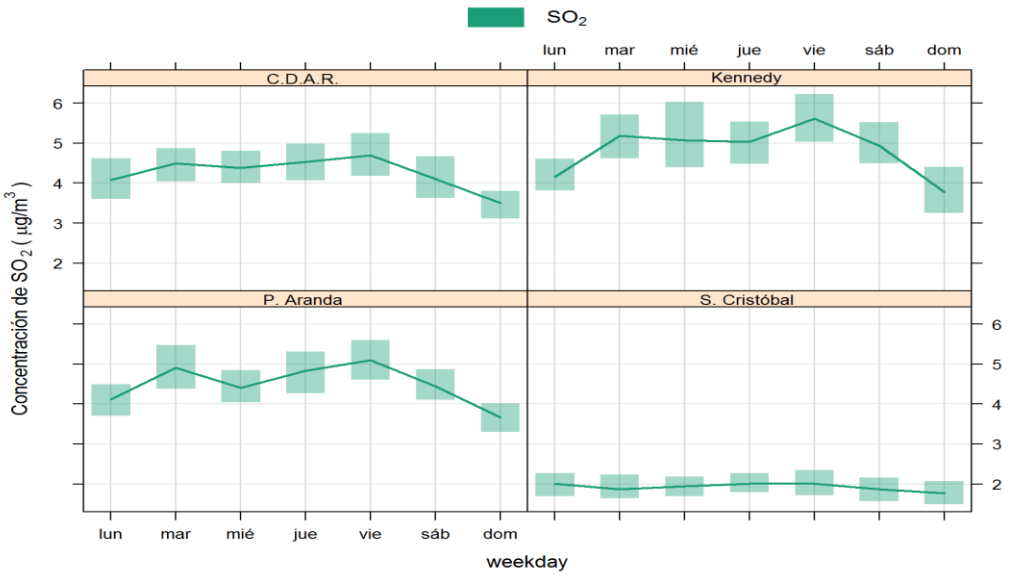


Figura 6-43. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 durante el año 2016 por estación

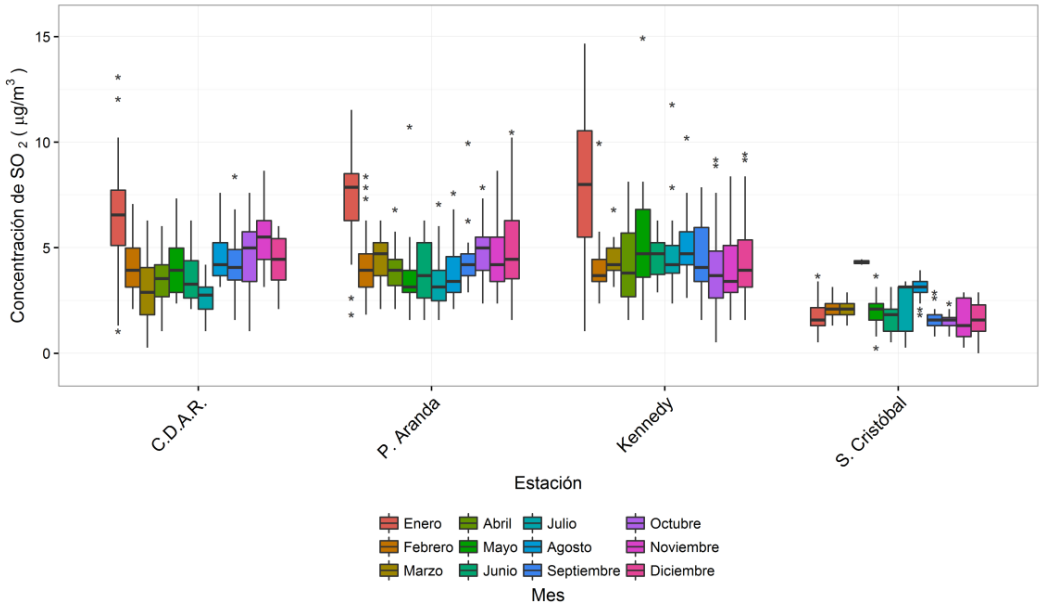


Figura 6-44 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo.

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de SO_2 para el año 2016 se representan en la Figura 6-45 y en la Figura 6-46, en las que se observa que las estaciones no tienen un comportamiento homogéneo y difieren de los otros contaminantes, por ejemplo: Centro de Alto Rendimiento tuvo cuatro picos de concentración, los mayores valores se presentaron en Enero y Noviembre; Kennedy tuvo tres picos de concentración, con los valores más altos en Enero; Puente Aranda con cuatro picos de concentración, y valores más altos en los meses de Enero y Octubre, y San Cristóbal con dos picos de concentración, en Abril y Agosto. Estos comportamientos posiblemente puedan estar influenciados por las fuentes de combustión en zonas y períodos diferentes del año, y los cambios en la meteorología cada mes.

Es notable que en el mes de enero los valores de concentración fueron bastante altos en comparación a los valores de los meses restantes, a excepción de San Cristóbal, que tuvo una menor variación de las concentraciones en el año.

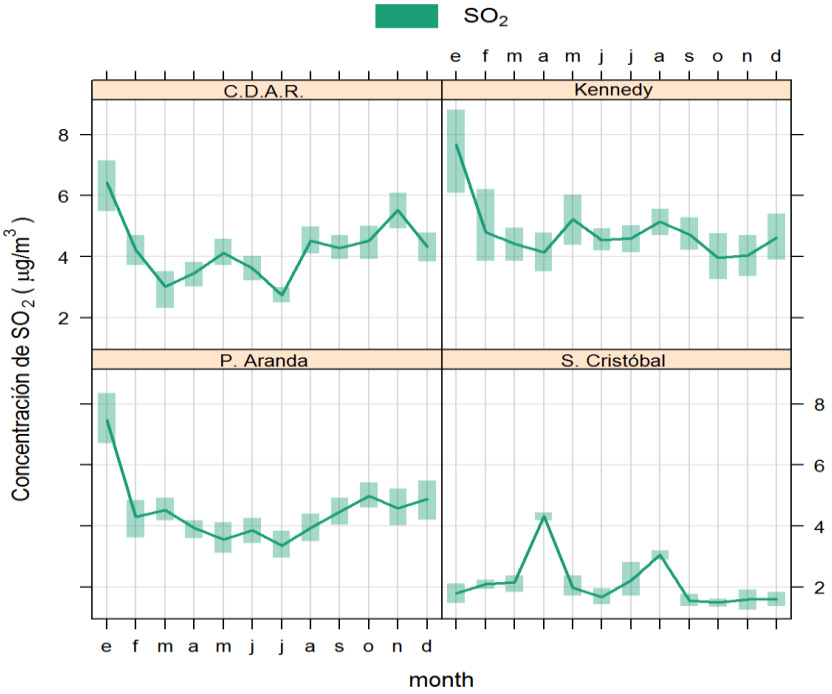


Figura 6-45. Comportamiento mensual de la concentración de SO_2 para el año 2016 por estación

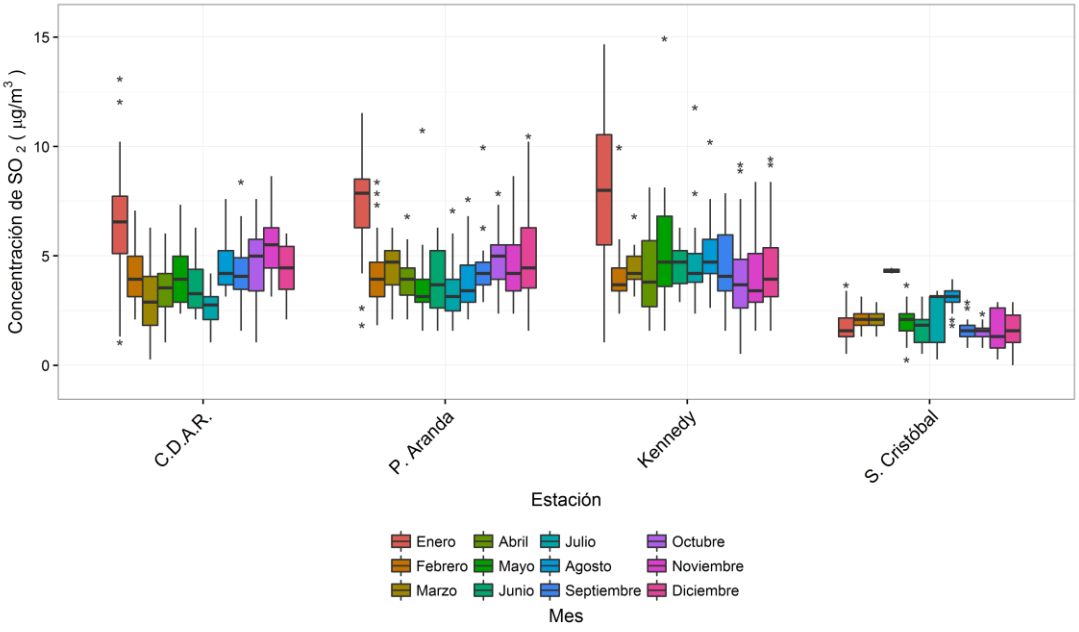


Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (3H)

El comportamiento de las concentraciones 3 horas de SO_2 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 750 µg/m^3. Los datos 3 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 3 horas de los datos horarios de SO_2 registrados por los equipos, los cuales se comparan posteriormente con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 6 estaciones que reportaron datos de SO_2, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 77%, siendo la estación de Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos con 99%, en relación al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-18.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de SO_2 para un tiempo de exposición 3 horas, (750 µg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma, ni se registraron datos entre el 75 y 100% de la norma para ninguna estación.
El valor más alto de concentración se presentó en Carvajal-Sevillana, con 121.5 µg/m^3 el 10 de mayo, seguido de Suba con 74.6 µg/m^3 el 17 de Enero.

Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO_2 durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 3h 750 µg/m^3	Máximo (µg/m^3)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
Suba*	43	5.1	0	74.6	17/01/2016 08:00	0
Centro de Alto Rendimiento	95	4.3	0	50.8	25/01/2016 04:00	0
Puente Aranda	99	4.5	0	36.9	17/01/2016 10:00	0
Kennedy	88	4.9	0	46.6	20/01/2016 10:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	14.2	0	121.5	10/05/2016 12:00	0
San Cristóbal	77	1.9	0	8.9	21/01/2016 12:00	0

*** Estas estaciones se considera indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 durante el 2016 se encuentra en Figura 6-47, en la cual se observa que la estación Carvajal-Sevillana presenta los valores más altos a mitad del año, donde tradicionalmente para otros contaminantes es Junio o Julio el mes de menor concentración.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de junio y en la estación Suba no hubo registro de datos entre los períodos de Marzo-Junio y Agosto-Octubre. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda se observa una buena continuidad en los datos, por lo que la representatividad temporal es alta en las dos estaciones y para San Cristóbal las tendencias impiden establecer con claridad variaciones durante el año.

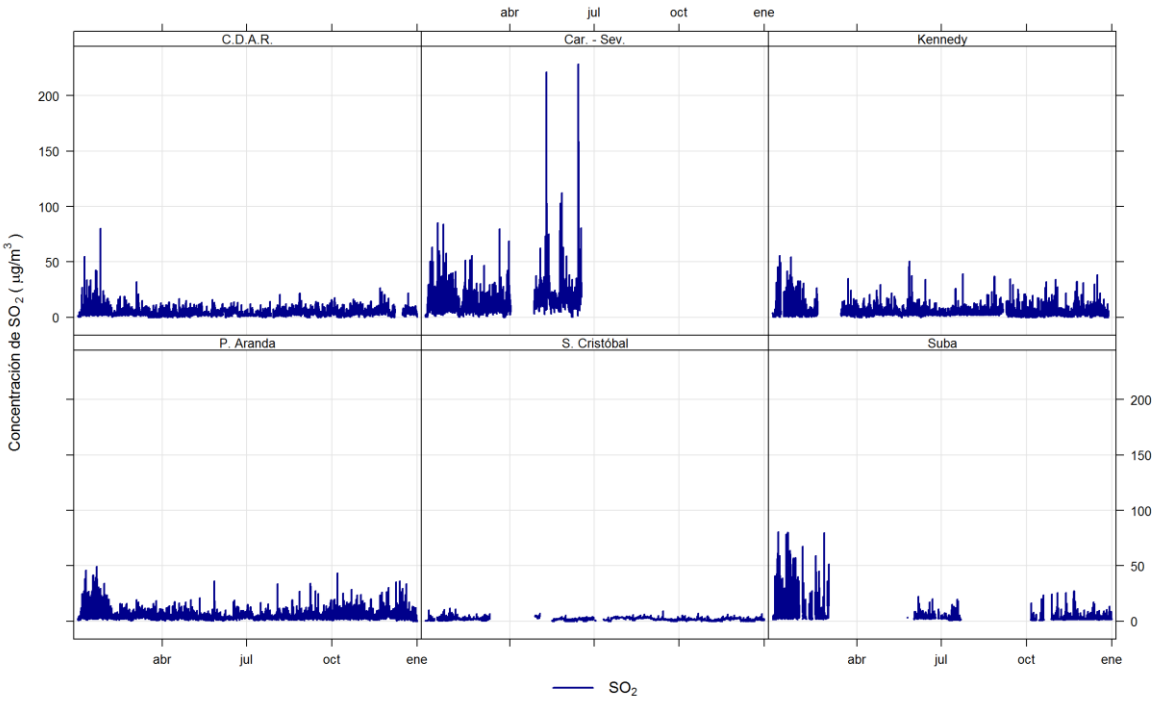


Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 en el 2016 por estación

En la Figura 6-48 se muestra el comportamiento de las concentraciones en ciclo horario para el SO_2. Las concentraciones más altas se presentan de 7 a 9 de la mañana, lo que sugiere que las fuentes móviles tienen influencia en los altos niveles presentados, posteriormente un descenso gradual de la concentración hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las horas de la tarde, incluso inferiores a las observadas en horas de la madrugada. Este perfil es similar al de $PM_{2.5}$, lo que indica su relación con fuentes de combustión, los niveles de la madrugada posiblemente estén asociados al tráfico de vehículos de transporte en la mañana.

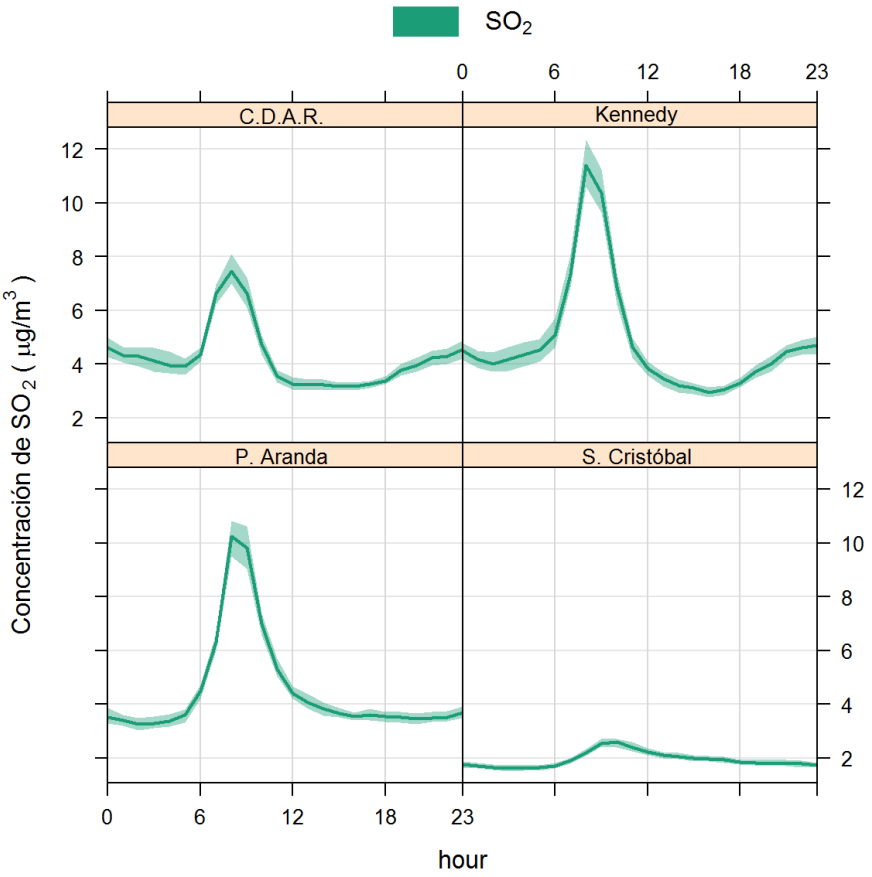


Figura 6-48. Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 por estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-19 contiene un resumen de los promedios de concentración diarios de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de SO_2 para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 0.6 µg/m^3 en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de SO_2 para el 2016 disminuyó 7.4 µg/m^3 con respecto al valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, donde se han presentado valores máximos por tres años desde el 2012.

Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO_2 para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad SO_2 µg/m^3	Máximo µg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	7.4	47.1	05/06/2012	Carvajal-Sevillana
2013	8.6	51.1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana

Año	Promedio ciudad SO_2 $\mu g/m^3$	Máximo $\mu g/m^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2014	4.2	32.2	13/12/2014	Kennedy
2015	3.3	48.2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana
2016	3.9	40.8	27/05/2016	Carvajal-Sevillana

En los últimos cinco años se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda hay mayor cantidad de datos representativos para el análisis de información, según la Figura 6-50, la estación Carvajal-Sevillana ha presentado los valores más altos en relación a las demás estaciones, y es la estación que más ha presentado dispersión de datos.

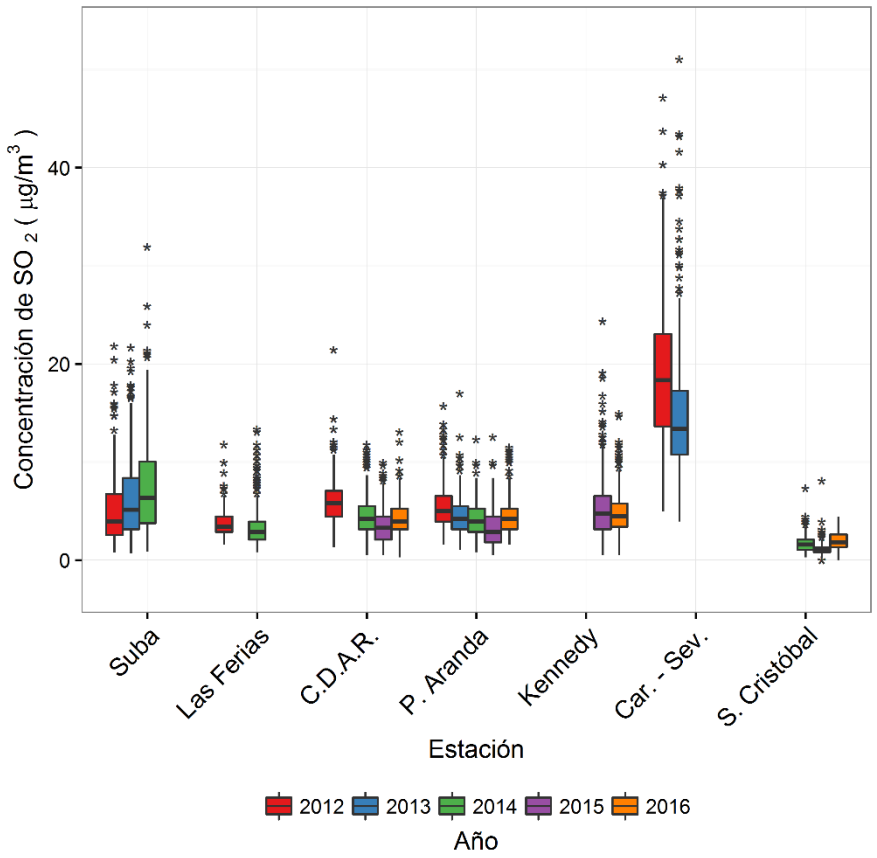


Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por estación para los años 2012 a 2016

6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

Para el año 2016, cuatro (4 estaciones reportaron datos de CO con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante.

COMPORTAMIENTO ANUAL

La Figura 6-50 muestra los promedios anuales de CO por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas. No se realiza comparación con la norma nacional debido a que no se define un nivel máximo anual para monóxido de carbono. El mayor valor se presentó en la estación Puente Aranda, con 1.02 mg/m^3, y el valor más bajo se presentó en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Tunal, con 0.89 mg/m^3.

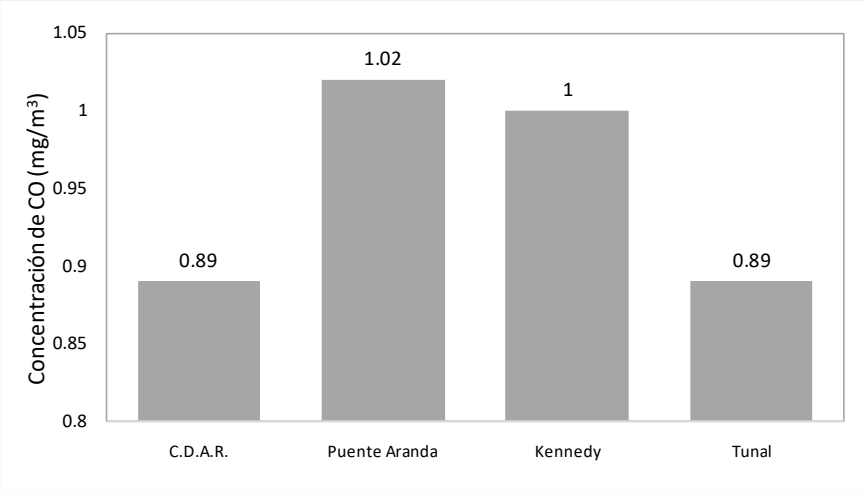


Figura 6-50 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8H) para el año 2016

COMPORTAMIENTO DIARIO

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-51, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento es similar al de material particulado, y se relaciona con la influencia de las emisiones de las fuentes de combustión, que predominan en los días hábiles de la semana.

En la Figura 6-52 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana. Se observa que las concentraciones registradas tienen el mismo comportamiento de dispersión de datos, aunque la estación de Kennedy tiene los valores extremos más altos de concentración, debido a que esta estación es más notable la influencia de las fuentes de combustión.

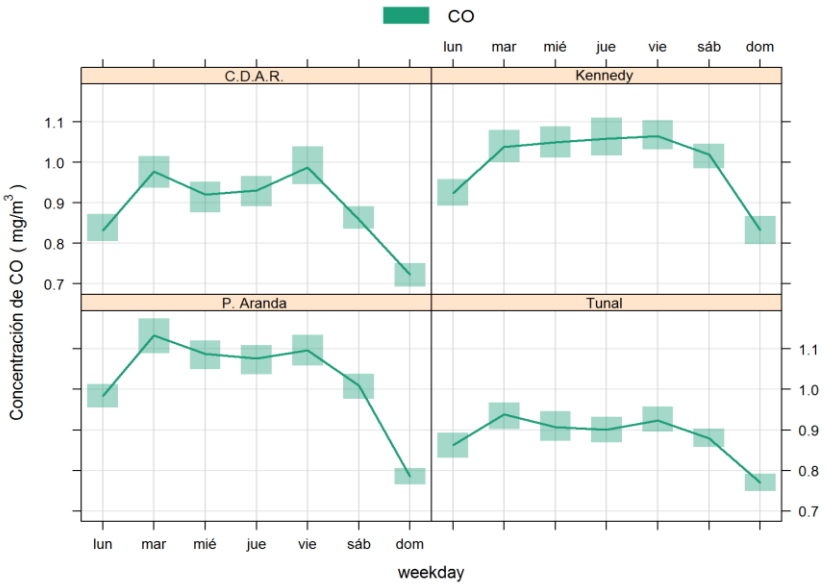


Figura 6-51. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2016

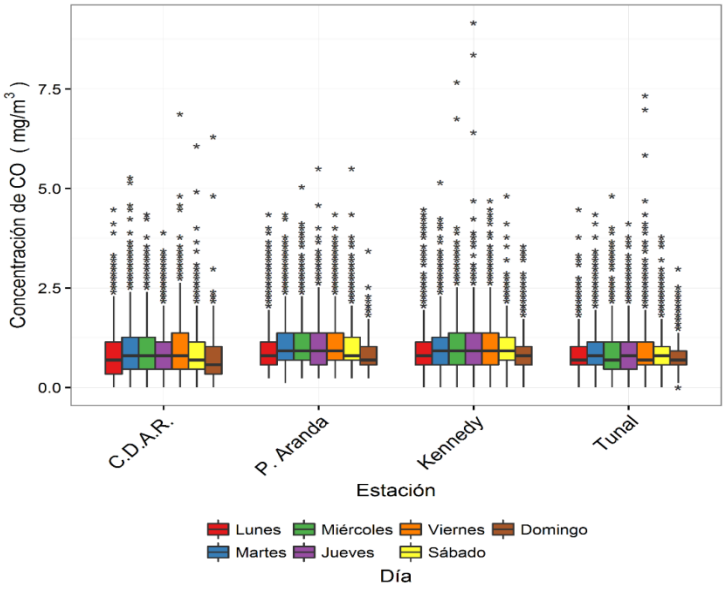


Figura 6-52. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones horarias de CO para el año 2016 se representan en la Figura 6-53, las menores concentraciones fueron observadas en los meses de mayo, junio y julio, consecuencia de la variabilidad en la velocidad del viento, Para e mes de abril se presenta los mayores valores para la estación de Kennedy, Puente Aranda y Tunal. Aunque ninguno supera la norma.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-54, se observa que para la estación Kennedy hay mayor número de datos extremos, y presentan los valores más altos en comparación con las otras tres estaciones. En los diagramas de caja de las cuatro estaciones no se observan altas variaciones de la distribución de la mayoría de los datos registrados, obteniendo valores menores a 2.5 mg/m^3.

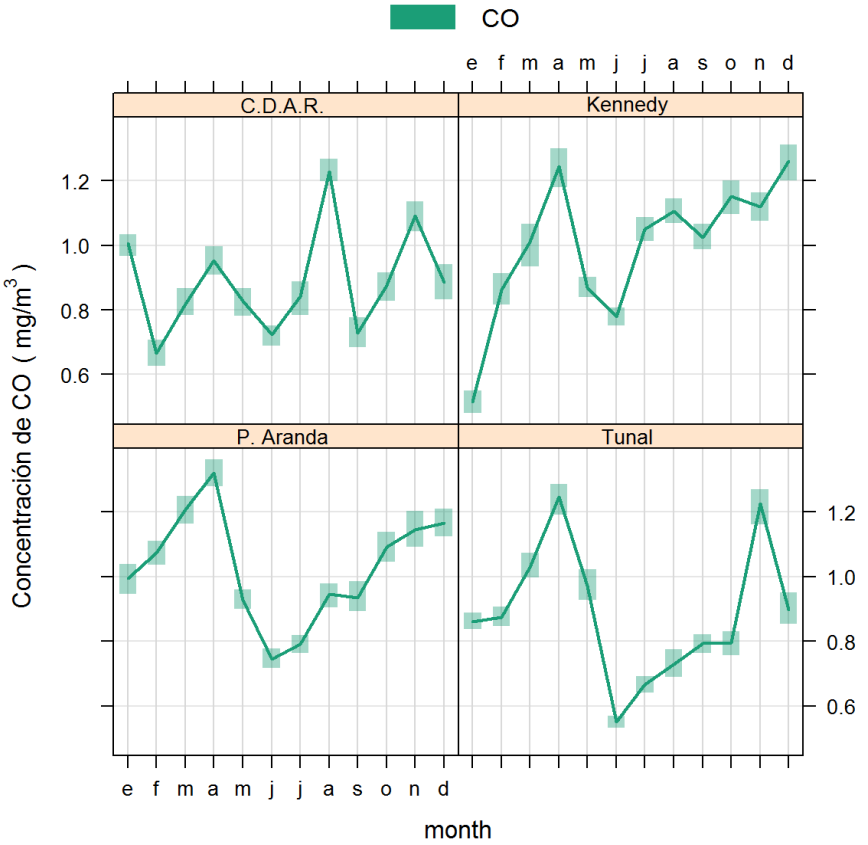


Figura 6-53. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2016 por estación

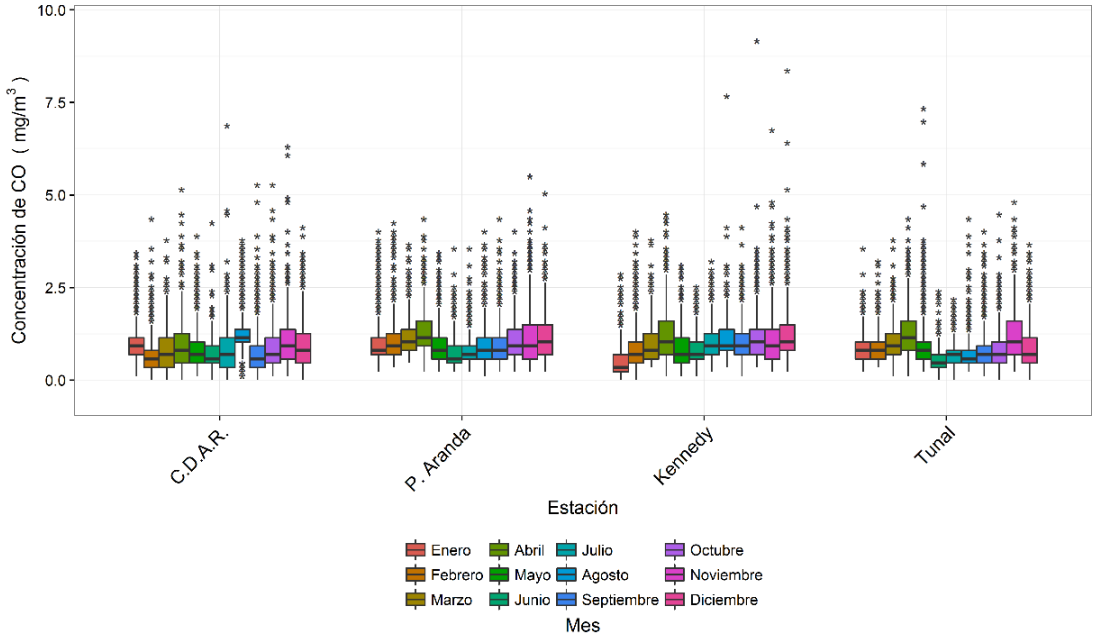


Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 40 mg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 7 estaciones que reportaron datos de CO, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 92% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Figura 6-20.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición horario, (40 mg/m^3), no se presentó ninguna excedencia sobre la norma. Tampoco se encontraron datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual ninguna estación presenta la probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de CO para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de noviembre, en el centro y suroccidente de la ciudad. El valor máximo más alto se presentó en Kennedy, con 9.2 mg/m^3 el 13 de Octubre, seguido de Tunal con 7.3 mg/m^{3}el 13 de Mayo.

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (mg/m^3)	Excedencias norma horaria 40 mg/m^3	Máximo (mg/m^3)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
Las Ferias*	72	0.8	0	5.0	26/11/2016 22:00	0
Centro de Alto Rendimiento	98	0.9	0	6.9	29/07/2016 14:00	0
Puente Aranda	92	1.0	0	5.5	24/11/2016 08:00	0
Kennedy	89	1.0	0	9.2	13/10/2016 13:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	1.2	0	6.3	20/01/2016 07:00	0
Tunal	93	0.9	0	7.3	13/05/2016 23:00	0
San Cristóbal*	18	0.8	0	2.9	02/02/2016 10:00	0

*** Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (40 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-55, en la cual se observa que para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Las Ferias y Kennedy las mayores concentraciones horarias se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que Tunal Y Carvajal presentaron concentraciones más altas al inicio del año.

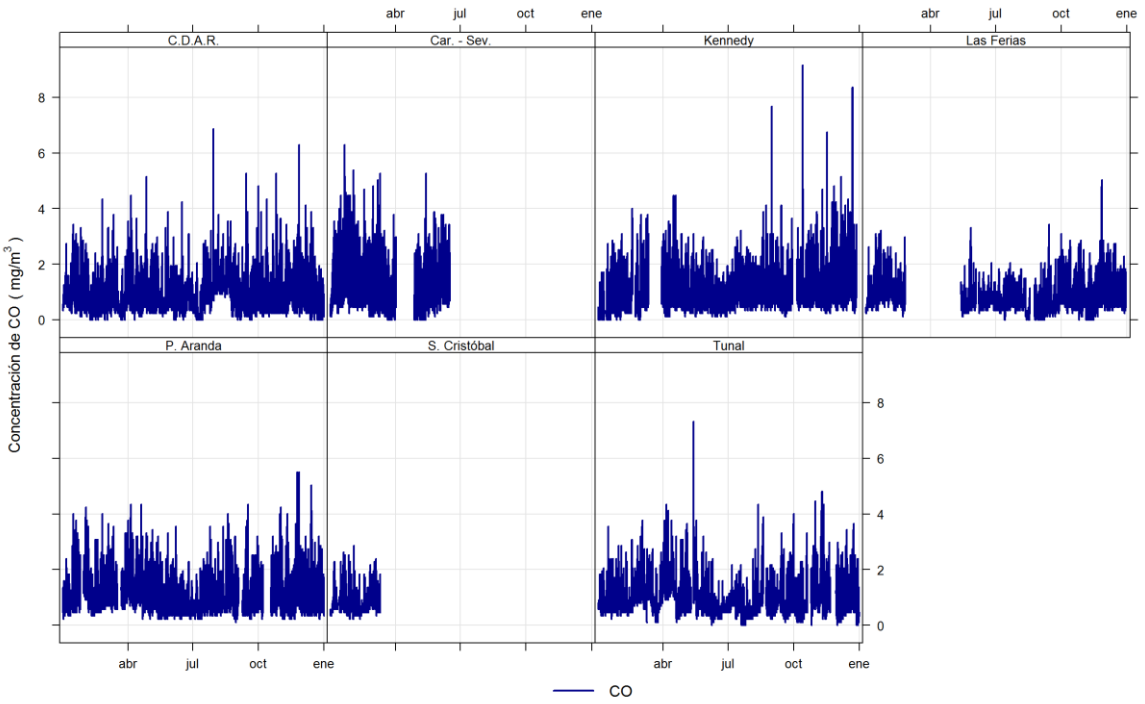


Figura 6-55. Concentraciones horarias de CO en el año 2016

En la Figura 6-56 se observa la tendencia de las concentraciones horarias de CO durante el día. En general se observa que las concentraciones más altas se presentan a las 7 de la mañana, y hay otro aumento de concentración en menor magnitud a las 7 de la noche. Las estaciones de Kennedy y Puente Aranda presentan las concentraciones más altas, llegando a registrar 2 mg/m^3 en horas de la mañana, y 1.3 mg/m^3 en horas de la noche.

En la Figura 6-57 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de CO en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal para las horas de la tarde, aunque ninguno de los valores extremos registrados superó la norma horaria.

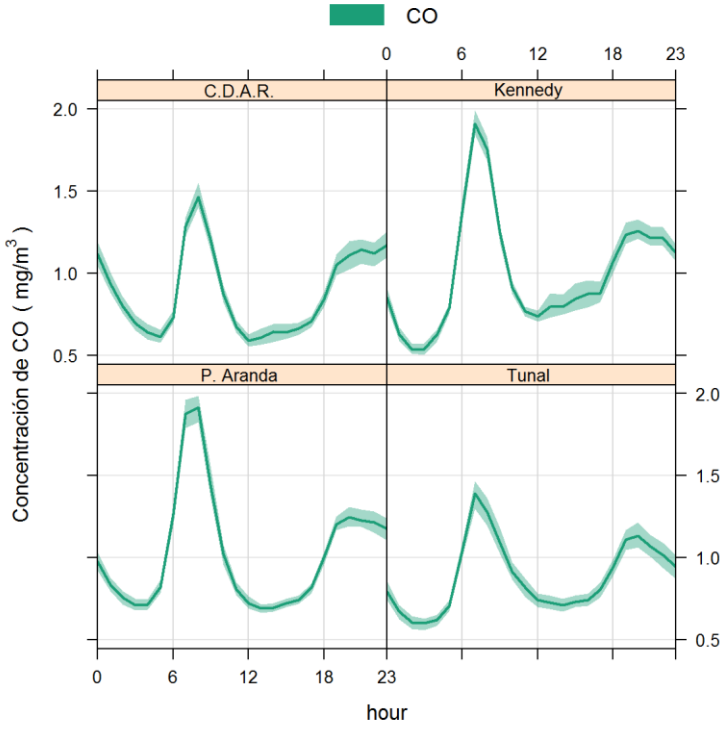


Figura 6-56. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2016

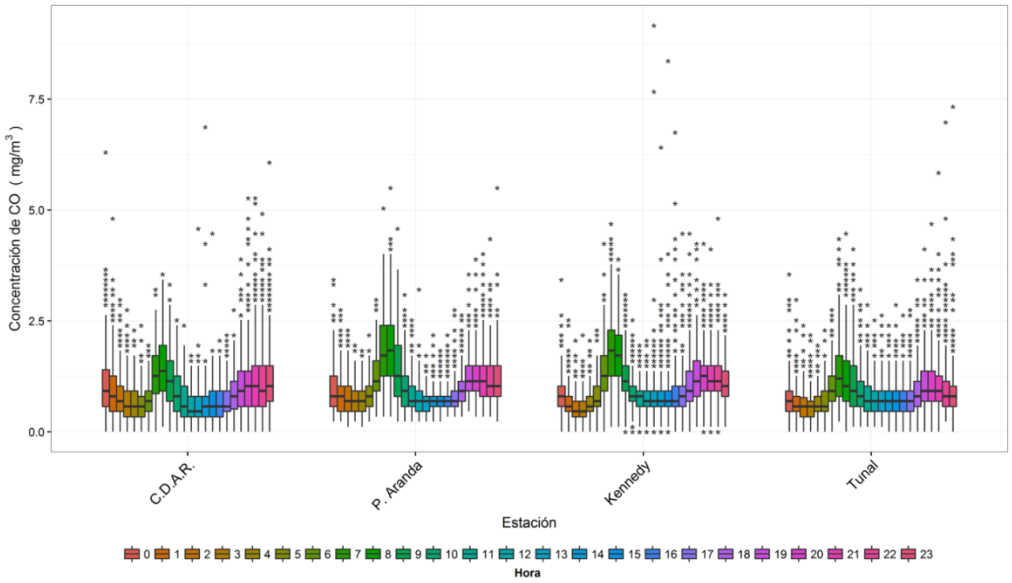


Figura 6-57. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HORARIO (8H)

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de CO por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-21. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones de CO aumentaron en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy y Tunal con respecto a las reportadas en el 2015. El mayor aumento de concentración se presentó en la estación Kennedy, con un incremento de 2 mg/m^3. En las estaciones de San Cristóbal, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-21Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio CO 2015 (mg/m^3)	Promedio CO 2016 (mg/m^3)	Cambio de 2015 a 2016 (mg/m^3)
Usaquén	0.5	N.A	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	0.8	0.9	↑
Puente Aranda	0.9	1.0	↑
Kennedy	0.8	1.0	↑
Carvajal - Sevillana	1.4	N.R.	N.A.
Tunal	0.8	0.9	↑
San Cristóbal	0.6	N.R.	N.A.

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 10 mg/m^3. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de CO registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 7 estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de CO, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Tunal las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 93% respectivamente, según el total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-22.
Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición de 8 horas, (10 mg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma para ninguna estación, y tampoco se reportaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Las concentraciones máximas de 8 horas de CO para el 2016 se presentaron en mayor proporción en el mes de Noviembre, en el centro y suroccidente de la ciudad. El 27 de

noviembre se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Usaquén, con 4.5 mg/m^3 el 14 de marzo, seguido de Centro de Alto Rendimiento con 4.4 mg/m^3 el 27 de Noviembre.

Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 8h 10 mg/m^3	Máximo (mg/m^3)	Fecha / Hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
Las Ferias*	71	0.8	0	3.9	27/11/2016 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	98	0.9	0	4.4	27/11/2016 02:00	0
Puente Aranda	92	1.0	0	3.6	27/11/2016 01:00	0
Kennedy	89	1.0	0	3.8	18/04/2016 21:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	1.2	0	3.3	14/05/2016 00:00	0
Tunal	93	0.9	0	4.5	14/05/2016 00:00	0
San Cristóbal*	18	0.8	0	1.7	04/03/2016 13:00	0

*** Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%**

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma 8 horas (10 mg/m^3) se encuentra en la Figura 6-58, en la cual se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda las mayores concentraciones 8 horas se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que en las estaciones Tunal y Kennedy las concentraciones fueron más altas en la primera mitad del año.

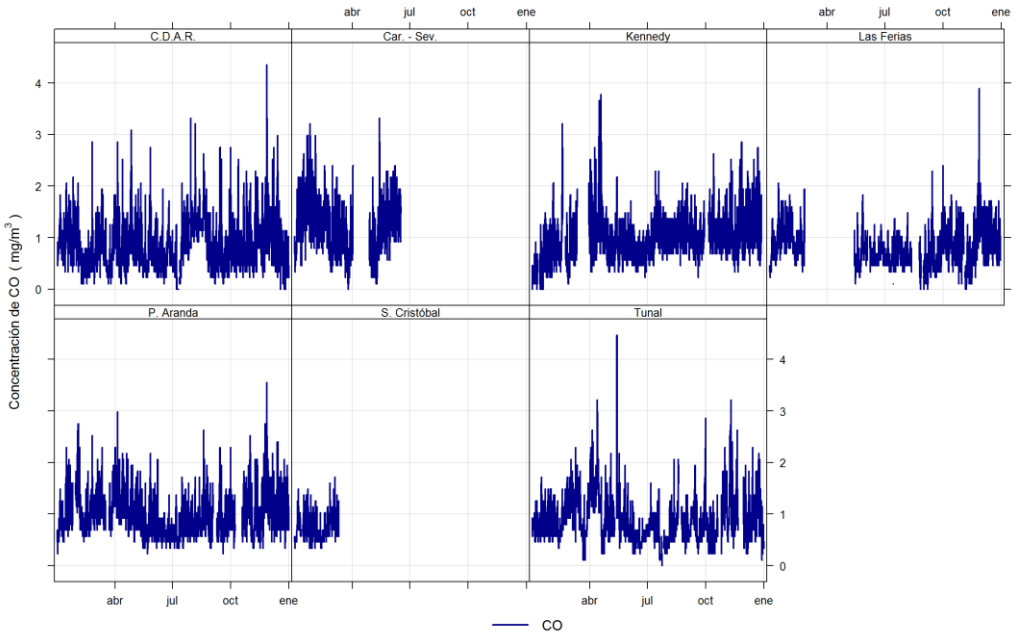


Figura 6-58. Concentraciones 8 horas de CO en el 2016 por estación

En la Figura 6-60 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones 8 horas de CO en el año 2016; se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal, y ésta última junto con la estación Centro de Alto Rendimiento presenta los valores extremos más altos, sobre los 4 mg/m^3, sin embargo ninguno de ellos sobrepasó el valor de la norma 8 horas de 10 mg/m^3.

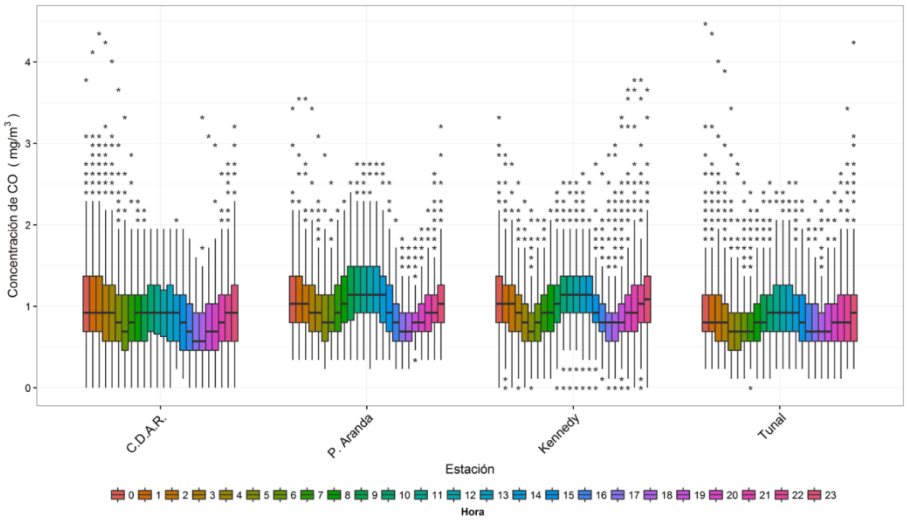


Figura 6-59. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-23 contiene un resumen de los promedios de concentración 8 horas de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de CO para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 0.3 mg/m^3 en relación al promedio calculado en el 2015, y es el segundo valor más alto después del promedio presentado en el 2014. El valor máximo de CO para el 2016 es 0.5 mg/m^3 mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Tunal, en la zona sur de la ciudad, aunque en años anteriores la concentración máxima se había presentado al suroccidente y centro de la ciudad.

Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad CO (mg/m^3)	Máximo (mg/m^3)	Fecha/Hora de ocurrencia del máximo	Estación
2012	0.91	4.5	11/05/2012 05:00	Carvajal-Sevillana
2013	0.84	4.1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	0.98	5.4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	0.82	4	20/11/2015 20:00	Las Ferias
2016	0.95	4.5	14/05/2016 00:00	Tunal

En la Figura 6-60 se representa mediante diagrama de cajas la distribución de las concentraciones 8 horas de CO por año. Se observa que las estaciones Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Centro de Alto Rendimiento tienen el mayor valor de datos en el período 2012-2016, en estas estaciones se observa que hasta el 2015 había una tendencia a la disminución de las concentraciones, y que el promedio del año 2016 aumentó con respecto a años anteriores. La estación Carvajal Sevillana es la que históricamente ha presentado los valores más altos, sin embargo, en 2016 la representatividad temporal de los datos no es suficiente para el cálculo del promedio anual y su correspondiente comparación con años anteriores.
Una comparación con la norma más restrictiva (10mg/m³ para 8 horas), muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

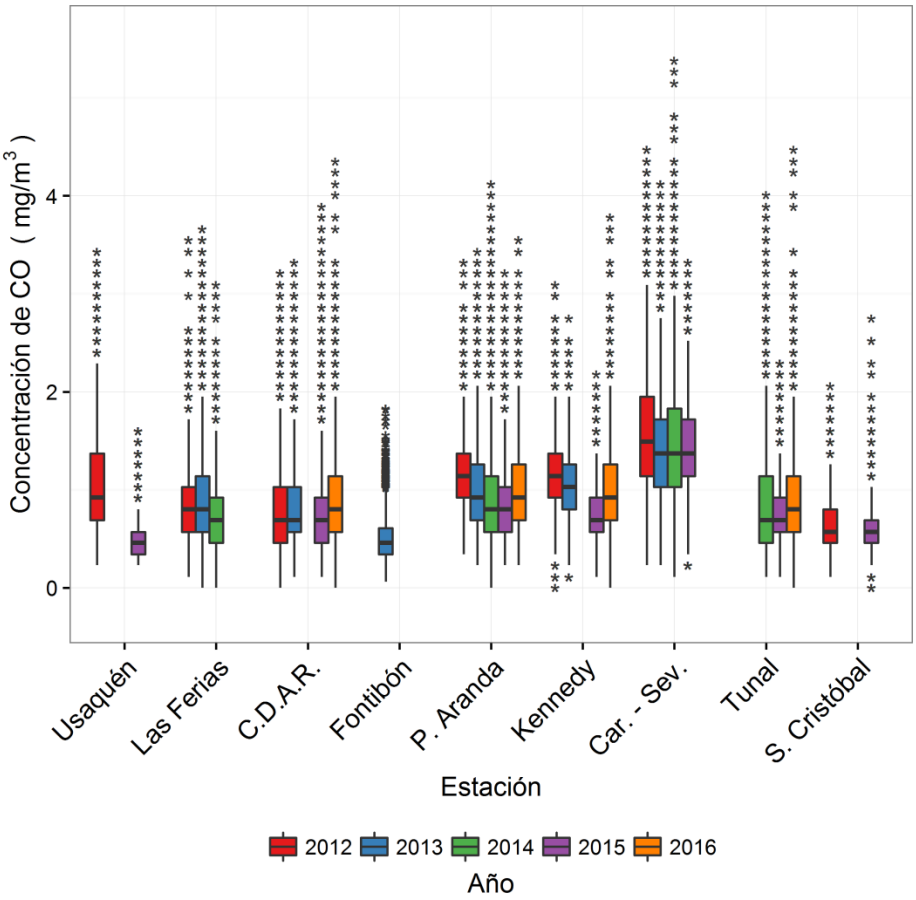


Figura 6-60 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2012 a 2016

7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA

Esta sección corresponde al Índice de Calidad del Aire-ICA para los contaminantes criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2). El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.
La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países

El Índice de Calidad del Aire (ICA) fue calculado para los contaminantes criterios PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO y SO_2, el NO_2 no se incluyó en el cálculo del ICA del 2016 debido a que la máxima concentración horaria reportada fue de 289 µg/m3 (0.153 ppm), y el indicador se mide desde concentraciones mayores a 0.65 ppm, por lo cual no alcanza el límite mínimo para el cálculo del ICA para este contaminante. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta solamente las estaciones que contaron con un 75% de representatividad temporal en el número de datos registrados.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)”, versión 2012, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010)

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h $\mu g/m^3$	$PM_{2.5}$ 24h $\mu g/m^3$	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O_3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora.
(4) Los números entre paréntesis se asocian a valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

En la Figura 6-62 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para PM_{10}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 85% de los días del año. En las demás estaciones, más del 50% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Buena”, siendo la estación San Cristóbal la que tuvo el mayor porcentaje en esta categoría, con 92% de los días del año.

En la Figura 6-63 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación San Cristóbal es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Buena”, al igual que en el ICA de PM_{10}, con 85% de los días del año, aunque en esta estación el 3 de febrero el ICA estuvo en la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”. Las estaciones MinAmbiente y Kennedy tuvieron ICA en la categoría “Dañina a la salud”, los días 3 de febrero y 25 de diciembre respectivamente. El día 3 de febrero ocurrió el incendio forestal en los cerros orientales, por lo cual la calidad del aire en el sector oriental de la ciudad se vio afectada en los primeros días de febrero. Kennedy además fue la estación que tuvo el porcentaje más alto de días con ICA en categoría “Moderada”, con 82%, y la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”, con 17% de los días del año.

En la Figura 6-64 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para O_3, calculado a partir de las medias móviles 8 horas. Solo las estaciones Guaymaral, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Kennedy se presentaron valores de ICA en la categoría “Moderada”, pero con porcentajes muy bajos con respecto al total del año (0.18, 0.17, 0.09 y 0.04% respectivamente). El resto del tiempo para estas estaciones y para las demás estaciones el ICA se encontró en la categoría “Buena”.

En las FigurasFigura 6-65 y Figura 6-66 se muestran las proporciones relativas de las categorías del ICA para CO y SO_2, calculados a partir de las medias móviles 8 y 24 horas respectivamente. Ya que los límites desde los cuales el ICA se ubica en categoría “Moderada”, es desde 51 unidades, y las concentraciones que se registran son bastante bajas, se define que la calidad en todos los registros estuvo en la categoría “Buena”.

PM10

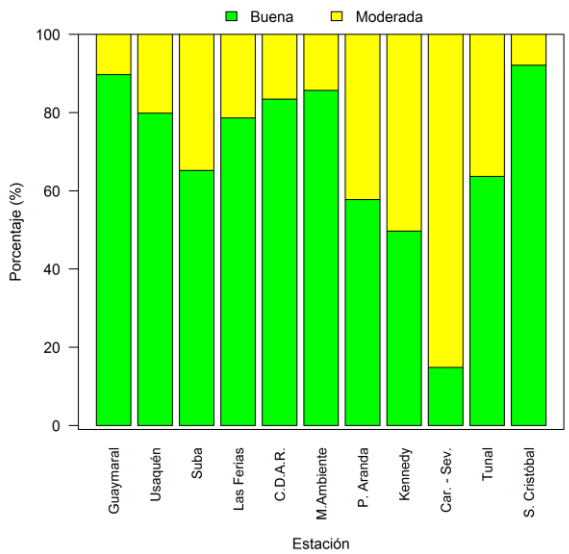


Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2016

PM2.5

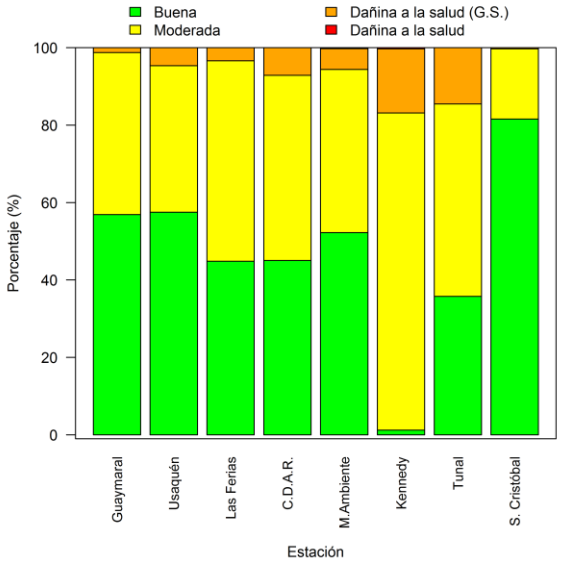


Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2016

Ozono

Monóxido de carbono

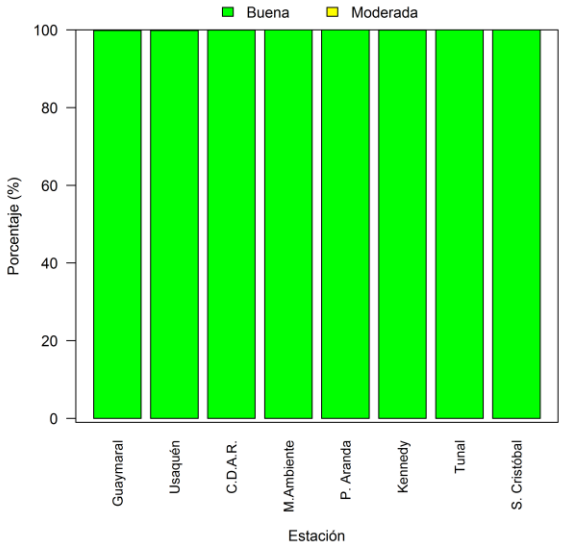


Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O_3 por estación. Año 2016

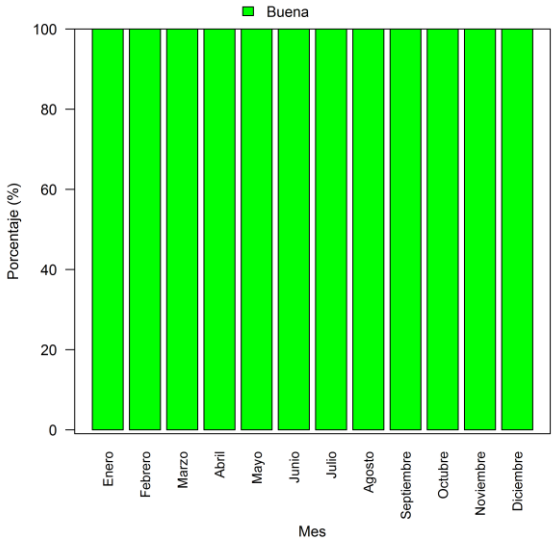


Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO_2 por estación. Año 2016

SO2

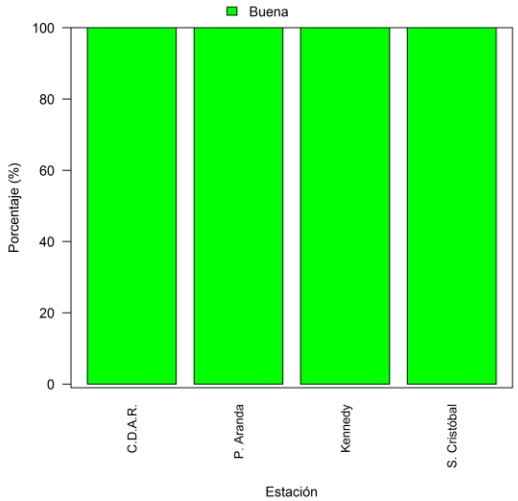


Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO_2 por estación. Año 2016

8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –“, Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además, cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-1 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-1Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

En la Figura 8-1 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM_{10}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-

Sevillana es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 85% de los días del año. En las demás estaciones, más del 50% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Favorable”, siendo la estación San Cristóbal la que tuvo el mayor porcentaje en esta categoría, con 92% de los días del año. En general, el comportamiento del IBOCA fue equivalente a las categorías calculadas para el ICA, y da una indicación de las acciones que se pueden llevar a cabo en cada categoría del indicador.

En la Figura 8-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. La estación San Cristóbal mostró el mayor porcentaje de calidad del aire “Favorable”, con 72% de los datos calculados, y tuvo un 1% de datos que se ubicaron en la categoría “Regular”. En contraste, en la estación Kennedy no se presentó ningún valor en la categoría “Favorable”, y presentó la mayor proporción de datos en la categoría “Moderada”, con un 72%, además un 2% de los datos se ubicó en la categoría “Mala”. Las estaciones Usaquén, MinAmbiente y Tunal también presentaron valores en la categoría “Mala” (1, 0.3 y 1.1% respectivamente), aunque las dos primeras estaciones registraron más del 40% de los datos en la categoría “Favorable”. En este caso el IBOCA es más restrictivo, y hay mayor porcentaje de datos en las categorías altas en comparación con el ICA, aunque la proporción de los datos en la categoría “Mala” sigue siendo bastante baja en comparación con las demás categorías.

En la Figura 8-3 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para O_3, calculado a partir de las medias móviles 8 horas. Solamente en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy y Usaquén se presentaron datos en la categoría “Moderada”, pero en porcentajes menores a 0.2 del total de datos. El resto del tiempo en estas estaciones, y en el resto de estaciones predominó la categoría “Favorable”.

En las Figura 8-4 y Figura 8-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del IBOCA para CO y SO_2, calculados a partir de las medias móviles 8 y 24 horas respectivamente. Ya que los límites desde los cuales el IBOCA se ubica en categoría “Moderada”, es desde 10.1 unidades, y las concentraciones que se registran son bastante bajas a lo largo del año, se define que la calidad en todos los registros estuvo en la categoría “Buena”.

PM10

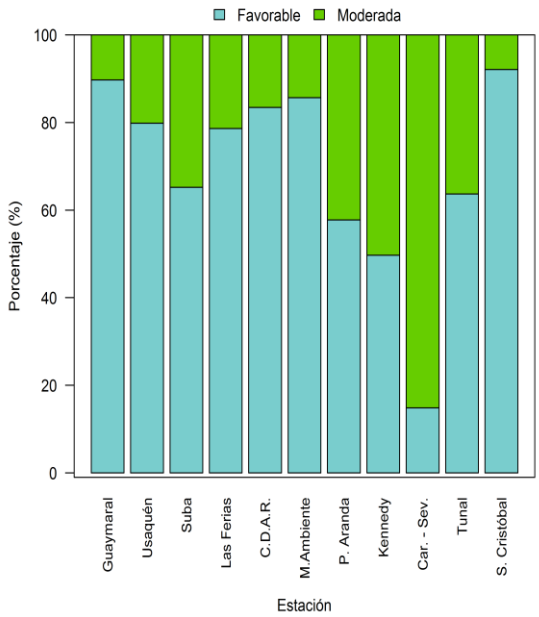


Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{10} por estación. Año 2016

PM2.5

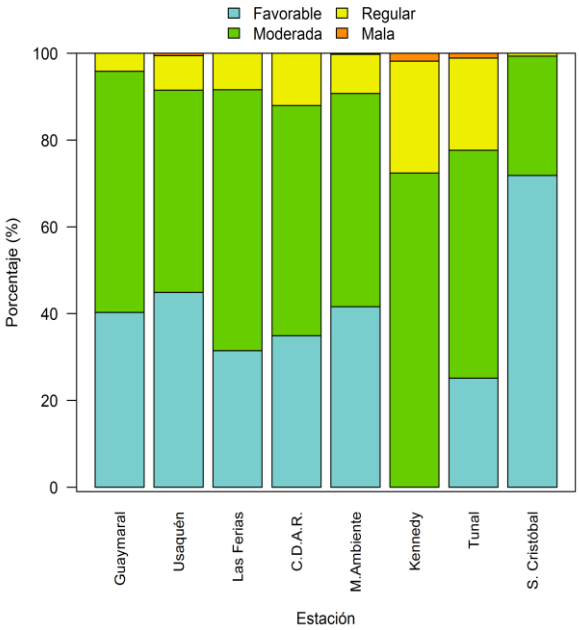


Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2016

Ozono

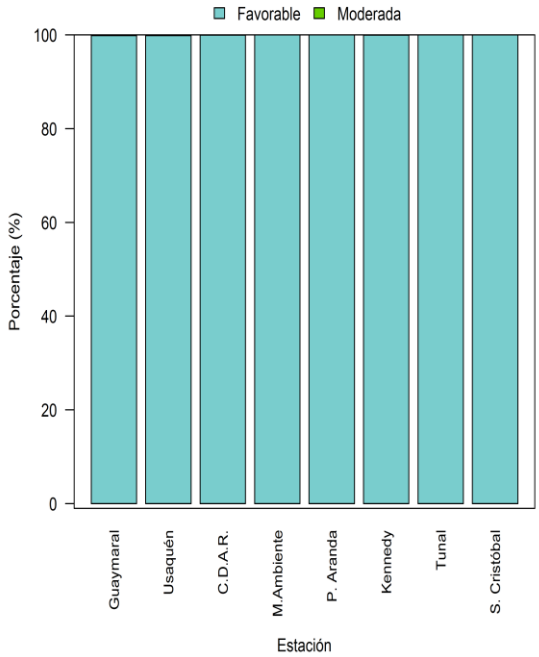


Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O_3 por estación. Año 2016

Monóxido de carbono

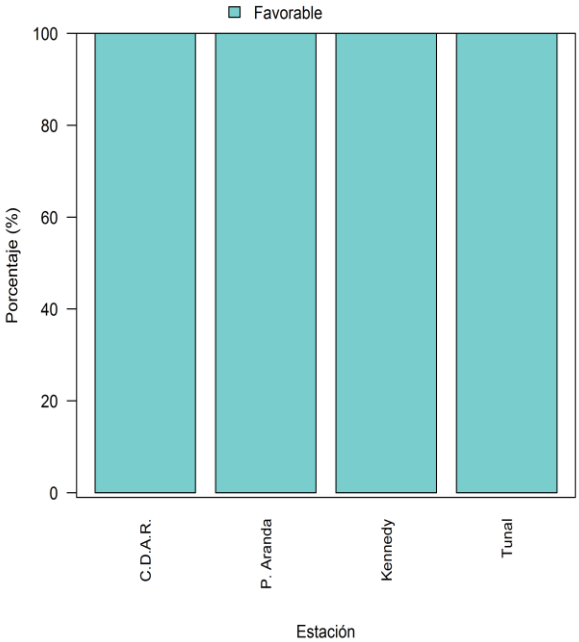


Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2016

Dióxido de azufre

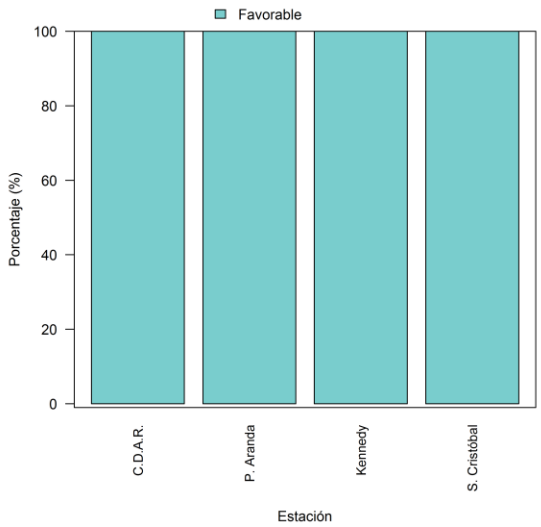


Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para SO_2 por estación. Año 2016

9 METEOROLOGÍA

EL presente capítulo describe la variación espacial y temporal de las condiciones atmosféricas de la ciudad de Bogotá y su relación con los contaminantes, durante el periodo 2016. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar global y humedad relativa.

Las variaciones espaciales de las variables meteorológicas se representan mediante mapas de alta resolución, producto de la interpolación y extrapolación espacial de sus registros puntuales, a través de la implementación del método geoestadístico de Kriging ordinario.
Al momento de interpretar los resultados asociados se debe tener en cuenta que el método está sujeto a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria.
Cabe anotar que estadísticamente los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

9.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y SINÓPTICAS DEL PERIODO

De acuerdo con el Índice ONI (Oceanic Niño Index), el año 2015 y principios de 2016 fueron influenciados por el ENSO (El Niño Southern Oscilation). Ver Tabla 9-1 (color rojo representa la ocurrencia de El Niño y el azul la ocurrencia de La Niña) y Figura 7-1. Los datos de cada casilla, representan trimestres. El primer trimestre de izquierda a derecha: DJF (December, January, February)

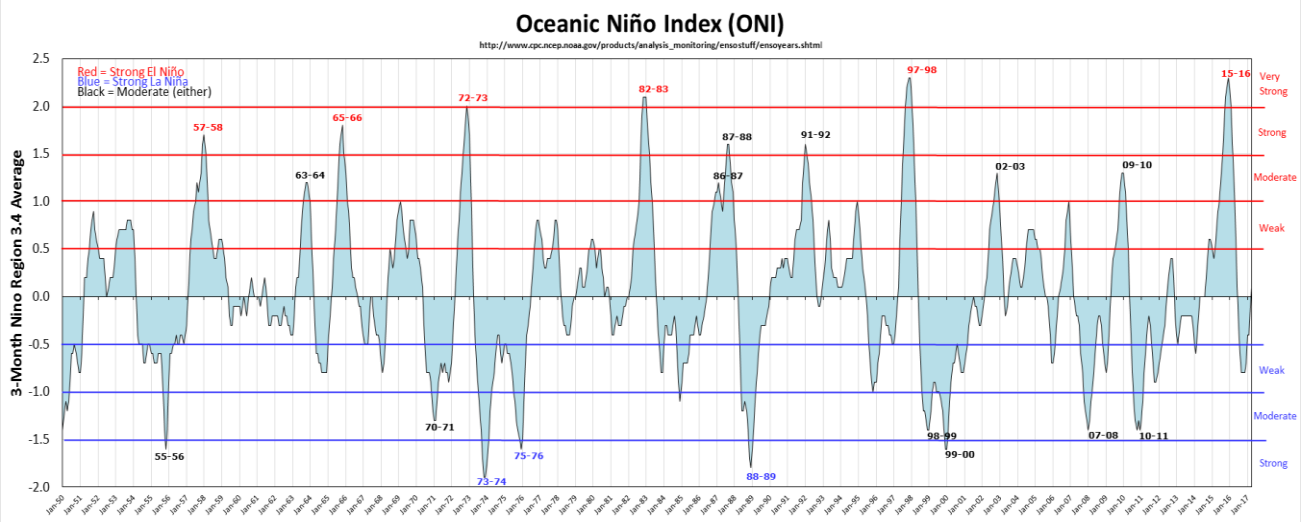


Figura 9-1 Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA,2017

Como es sabido, el ENSO en su fase cálida (El Niño), se caracteriza por déficit en la precipitación e incrementos sustanciales en la temperatura en esta región del país. Contrariamente en su fase fría (La Niña), se esperan abundantes lluvias y en consecuencia disminución en la temperatura superficial. El año 2016 calificado como Niña débil, trajo consigo lluvias relativamente bajas en la ciudad. Sin embargo, frente a 2015, presentó un comportamiento atípico en la temperatura superficial media anual de la ciudad. Por segunda vez en la historia de la RMCAB, se registró el valor más alto de temperatura, como se detallará más adelante.

Cabe anotar que los medios a nivel global reportaron al periodo 2016, como el más caliente de la historia.

Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2016[6]

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7

[6] Fuente: (NOAA,2017) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

9.2 PRECIPITACIÓN

9.2.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN

La Tabla 9-2 resume la historia de la precipitación registrada anualmente por la RMCAB. De estos se resalta que en promedio para el 2016 la ciudad recibe mayores precipitaciones en vecindades de la estación de Guaymaral y las Ferias.

Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación (mm) desde 2000 hasta 2016.

ESTACION	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Prom
Cade Energía	754	525	812	551														661
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450	541	627
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703									472
Central de Mezclas	402	345																
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608	803	952
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980							853
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392				528
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534	964	804
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453	723	634
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580	925	845
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559	795	814
Olaya	1138																	
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396	836	729
San Cristóbal													938	865	1076	574	786	848
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446	362	694
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510		719
Univ. Nacional	863	542																
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461	333	816
USME							702	553	718									658
Vitelma							1087	803	839	652	922							861
Promedio	**768**	**498**	**711**	**540**	**648**	**669**	**747**	**646**	**838**	**668**	**1016**	**1098**	**761**	**768**	**827**	**506**	**707**	730

	Estaciones que con bajos valores de precipitación
	Estaciones que con valores medios de precipitación
	Estaciones que con altos valores de precipitación

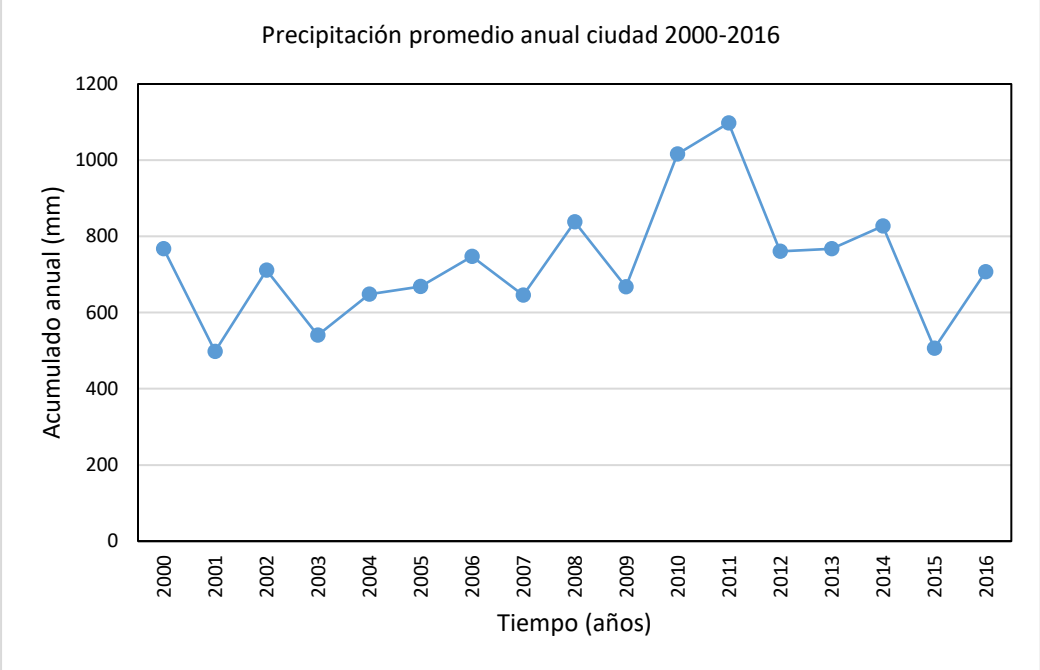


Figura 9-2. Variación temporal de la precipitación en Bogotá.

9.2.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

La Tabla 9-3 y la Figura 9-3 presenta la historia de la precipitación mensual de la ciudad desde 2000 hasta 2016. Se observa la estacionalidad de lluvia en Bogotá y su bimodalidad en los meses de marzo, abril, mayo (MAM) y septiembre, octubre, noviembre (SON).

Los meses enero, febrero, junio y julio de 2016, presentaron anomalías negativas de 22.8 mm, 41.8 mm, 28 mm y 5.7 mm, respectivamente, atípicamente el mes de octubre de 2016, presento una anomalía negativa de 5.6 mm. La anomalía negativa de diciembre fue muy baja lo que marca un comportamiento normal del mes de diciembre de 2016, respecto a la media histórica. Lo ocurrido en los meses de enero a junio, confirma la influencia parcial de El Niño en 2016, como se ilustró en la Tabla 9-1.

Por otra parte, se observan las anomalías positivas 9.8 mm, 44.9 mm y 2.7 mm, en los meses de marzo, abril y mayo, respectivamente en el primer periodo de lluvias, y en los meses de agosto y septiembre 17.4 mm y 28.9 mm. La anomalía positiva registrada en noviembre fue realmente atípica; por demás representa el valor mensual de precipitación más alto reportado en toda la historia de la RMCAB.

Tabla 9-3. Precipitación RMCAB 2000 - 2016

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5
2015	39	32	96	59	17	52	31	19	31	44	59	1
Promedio	**33,0**	**62,6**	**76,0**	**91,2**	**74,2**	**48,3**	**36,6**	**27,4**	**39,9**	**90,8**	**91,6**	**62,3**
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0
Anomalías	-28,2	-41,8	9,8	44,9	2,7	-28,0	-5,7	17,4	28,9	-5,6	98,0	-3,3

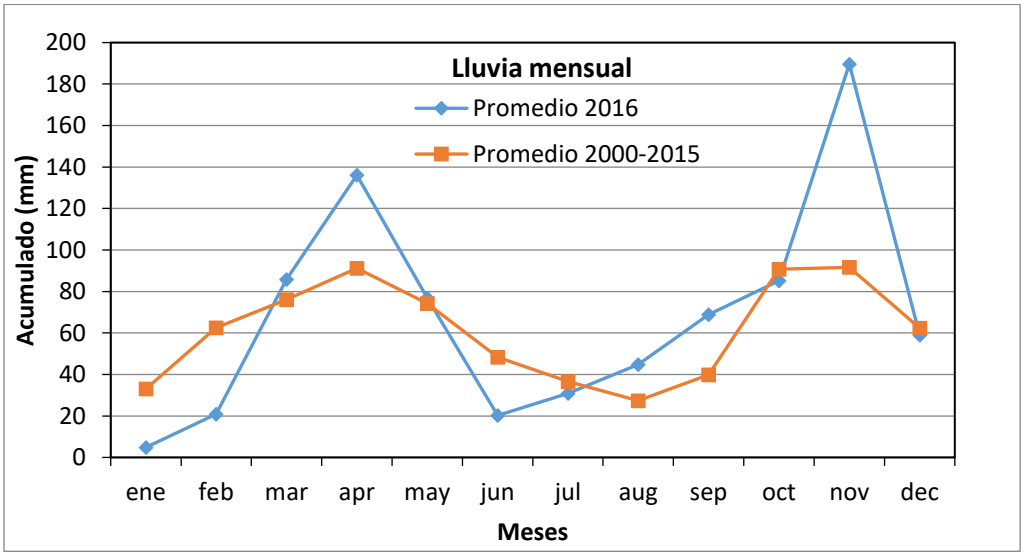


Figura 9-3. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2015 y el promedio mensual 2016.

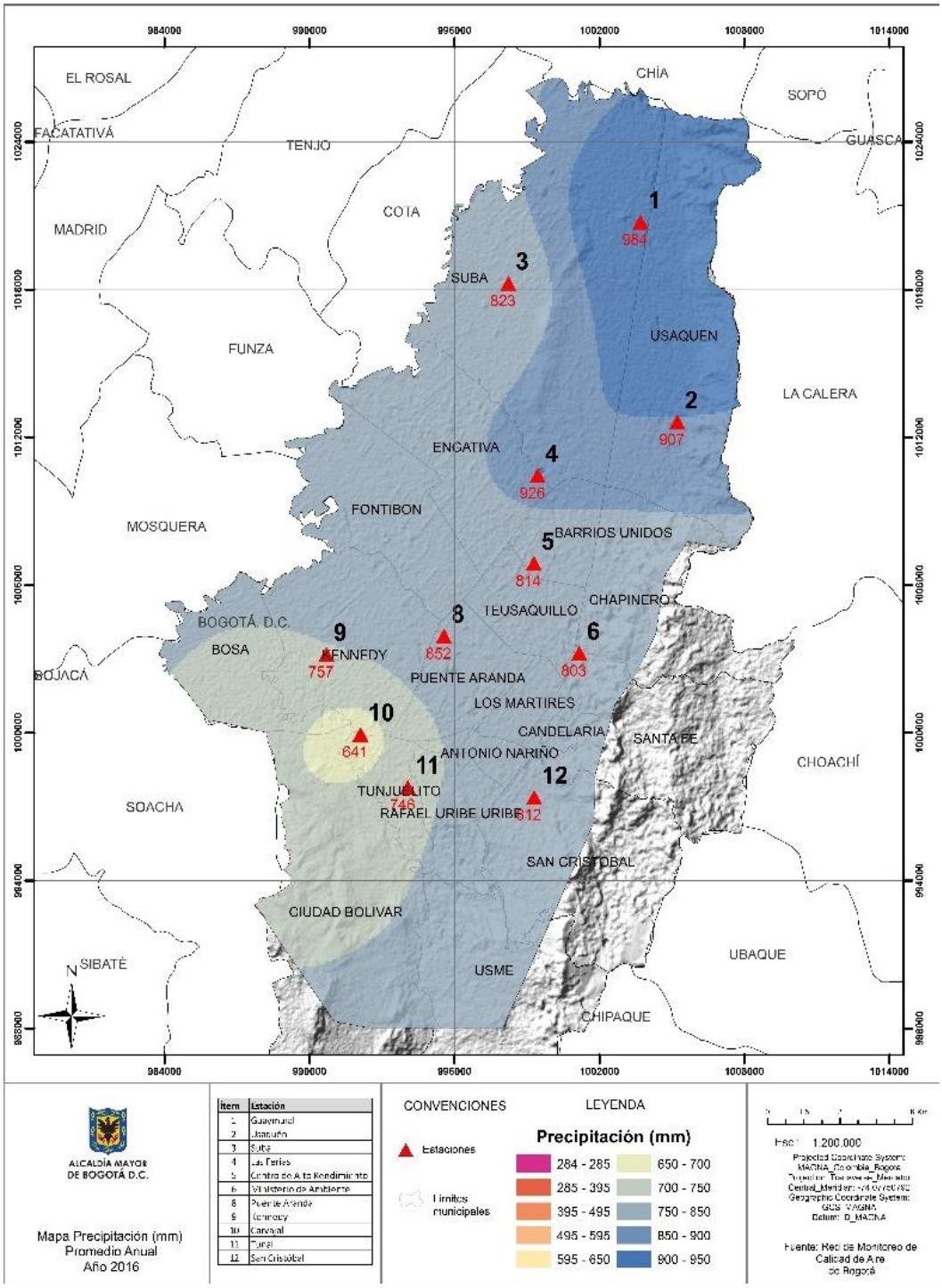
9.2.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

A continuación, se resume la distribución temporal y espacial de la precipitación en Bogotá en 2016, donde los valores más altos de precipitación ocurrieron hacia el noroccidente; los más bajos se reportaron hacia el suroccidente como históricamente ha ocurrido. La estación de Las Ferias registro el mayor valor de precipitación del año en noviembre de 2016 (295.3 mm) Ver Tabla 9-4.

Tabla 9-4 Acumulados mensuales de precipitación de las estaciones de la RMCAB y total anual 2016

ESTACIÓN	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Acumulado (mm)
Carvajal - Sevillana	1,7	4,3	32,9	0	92,5	27,4	42,1	45,5	58	46,3	140,3	49,8	540,8
Centro de Alto Rendimiento	3,1	11,6	92,5	213,3	59	28,2	44,9	39,8	90,4	102,6	82,7	34,5	802,6
Guaymaral	25,7	13,1	146,4	110,9	155,3	23,2	36,8	49,8	74,5	95,1	179,4	54,2	964,4
Kennedy	3,3	0,6	7,9	134,9	64,9	26,7	42,3	51,8	63,2	40,7	203,5	83,6	723,4
Las Ferias	9,6	11,1	60,6	140,1	63	23,8	38,1	37,7	78,3	94,5	295,3	72,5	924,6
MinAmbiente	2,1	33,7	91,4	140	46,7	19,2	26,2	45,3	69,5	60,1	180,3	80,5	795,0
Puente Aranda	4,1	13,4	80,3	138	72	29,6	32,8	49,7	76	116,5	158,4	64,7	835,5
San Cristóbal	2,6	16,4	99,4	127,6	62,3	33,1	20,2	56,9	60	78,5	185,9	43,5	786,4
Suba	2,4	17,2	84,5	128,2	78,8	35,4	22,9	31,4	63,9	85,1	188	63,8	801,6
Tunal	2,4	3,9	61,3	205,5	96,9	32,7	41,8	48,3	65	61,4	132,1	55,9	807,2
Usaquén	9,6	40,3	69,8	83,8	86,7	20,2	26	40,2	53,9	132,8	282,7	43,1	889,1
Promedio	6,1	15,1	75,2	129,3	79,8	27,2	34,0	45,1	68,4	83,1	184,4	58,7	806,4
Desviación estándar	7,1	12,1	36,2	56,9	29,3	5,3	8,8	7,3	10,6	29,0	61,7	15,9	111,6

Las estaciones que acumularon los mayores valores de precipitación fueron Guaymaral (964,4 mm), Las Ferias (924,6) y Usaquén (889,1mm). En contraste, las que reportaron totales anuales más bajos, Carvajal-Sevillana (540,8 mm), seguida por Kennedy (723,4 mm). La distribución espacial de la precipitación para 2016, se puede apreciar en la Figura 9-4. El mes más seco fue enero, con un promedio ciudad de 6.1 mm y Carvajal-Sevillana la estación que reporto el valor acumulado mensual más bajo.



Ítem	Estación
1	Guaymaral
2	Usaquén
3	Suba
4	Las Ferias
5	Centro de Alto Rendimiento
6	Ministerio de Ambiente
8	Puente Aranda
9	Kennedy
10	Carvajal
11	Tunal
12	San Cristóbal

Figura 9-4 Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2016.

9.2.4 NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN

En la ciudad de Bogotá, se registraron en promedio 169 días con precipitación. Las estaciones con mayor número de días, Guaymaral (237 días) y Centro del Alto Rendimiento (C.D.A.R) (212 días) Ver Figura 9-5.

Las de menor número de días Carvajal (147 días) y Kennedy (156 días). Los meses que reportaron mayores días promedio con precipitación, noviembre (23 días) y Abril (18 días); el mes de menos días de promedio de precipitación, enero (4 días) Ver Tabla 9-5.

Tabla 9-5. Número de días con precipitación RMCAB 2016

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	Acum (días)
Carvajal - Sevillana	2	6	7	0	15	16	18	16	18	16	22	11	147
Centro de Alto Rendimiento	10	7	20	20	17	16	16	20	20	22	27	17	212
Guaymaral	9	7	21	21	24	20	21	23	25	19	28	19	237
Kennedy	3	2	6	21	13	15	13	16	16	14	23	14	156
Las Ferias	3	5	13	20	13	14	15	13	19	18	22	12	167
MinAmbiente	3	7	16	18	15	14	16	19	16	17	21	13	175
Puente Aranda	4	8	19	18	19	17	14	17	18	16	21	12	183
San Cristóbal	5	7	17	15	15	23	13	21	18	15	21	13	183
Suba	2	6	16	17	18	11	17	16	18	17	22	12	172
Tunal	3	8	16	18	16	1							
Usaquén	4	5	7	12	15	18	11	19	15	18	23	13	160
Promedio	**4**	**11**	**14**	**19**	**15**	**14**	**13**	**18**	**18**	**17**	**23**	**11**	**169**
Anomalías	-4	-1	1	2	-3	-2	-2	4	6	2	6	-1	

Del primer semestre de 2016, enero, febrero, mayo, junio, presentaron anomalías negativas en el número de días con lluvia, respecto al promedio de la ciudad, de 4 días 1 día, 3 días y 2 días, respectivamente. Del segundo semestre solo diciembre dejo de llover por 1 día.

Por otra parte, se observan las anomalías positivas en marzo (1 día), y abril (2 días). Es decir, su comportamiento se asemejo al valor medio histórico. Se observa influencia de La Niña en el segundo semestre con anomalías positivas en el mes de agosto (4 días), septiembre (6 días), octubre (2 días) y noviembre (6 días).

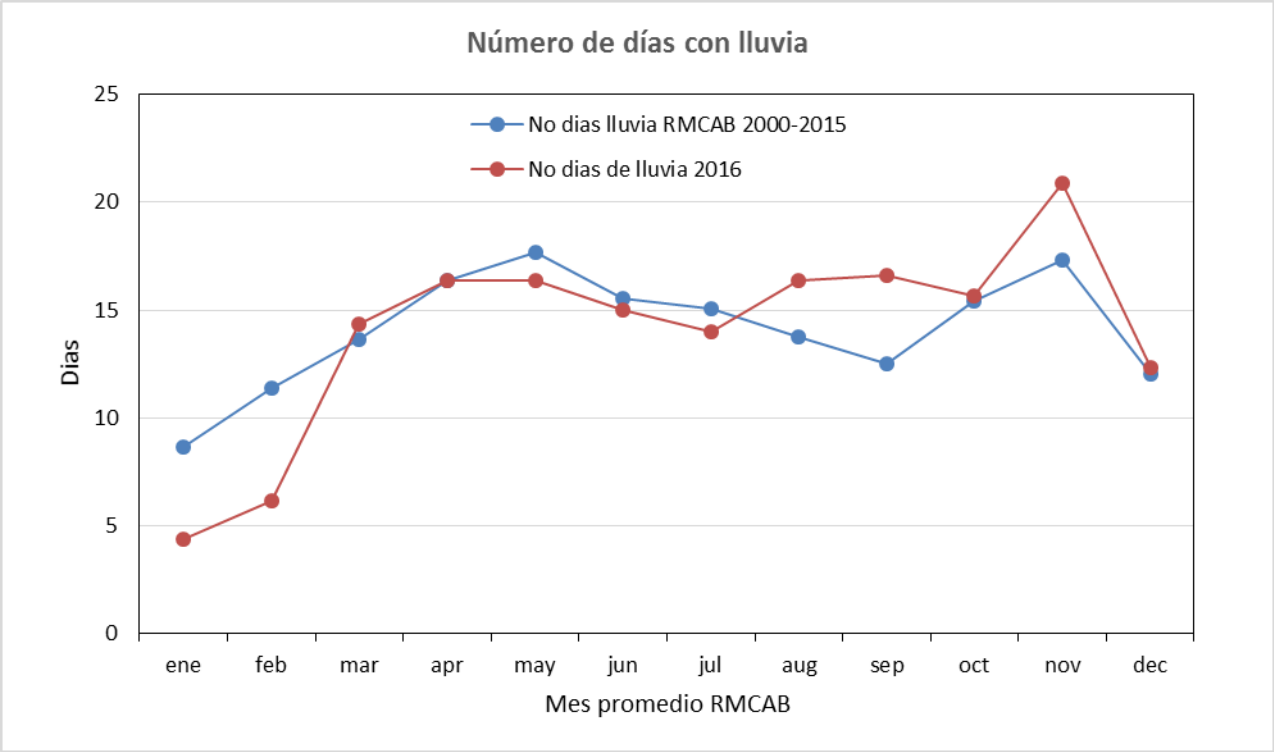


Figura 9-5 Número de días con lluvia

9.3 TEMPERATURA

La temperatura media anual del aire en la ciudad de Bogotá para el año 2016 fue de 15°C±0.65°C, valor superior a la reportada en 2015 (14,6°C±0,8°C).

En la Tabla 9-6 y la Figura 9-6, se presenta el comportamiento histórico de la temperatura para el periodo 2000-2016 por estación, donde se puede observar que la media multianual ha variado entre 13.9°C y 14.6°C.

Tabla 9-6. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2016

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carvajal - Sevillana							12,2	11,2	14,1	15,4	15,5	15	15,2	15,5	15,5	15,8	16
Cazuca							12,3	11,7	13								
Centro de Alto Rendimiento									13,9	14,7	14,8	14,5	14,6	14,8	14,8	15,2	15,4
Fontibón	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,2	14,1	13,9	14,1	14,7	14,5	13,6	13,8	14,1			
Guaymaral									13,9	14,4	14,8	14,3	14,3	14,6	14,6	14,8	15,1
Kennedy									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5	14,8	14,9	15,3	15,3
Las Ferias	15,6	16	16			15,9			13,3	14	14,2	13,7	13,9	14,2	14,2	14,4	14,7
Puente Aranda	14,1	14,5	14,6	14,7	14,5	14,8	14,6	14,6	14	14,6	14,6	14	13,8	13,7	14	14,4	15
San Cristóbal											13,5	13,7	13	13,1	13	13,4	13,7
Suba	10,6						12,6	13,2	13,7	12,9			14	14,3	14,3	14,6	15
Tunal										14,6		13,2	13,4	13	13,1	13,5	14,4
Usaquén									11,9	14,5	15,1	14,4	14,4	14,8	14,7		
USME							11,8	12,5	13,4								
Vitelma								11,7	11,5		12,9						
Promedio	**13,5**	**14,8**	**14,9**	**14,5**	**14,2**	**15,0**	**12,9**	**12,7**	**13,4**	**14,5**	**14,5**	**14,1**	**14,1**	**14,3**	**14,3**	**14,6**	**15,0**

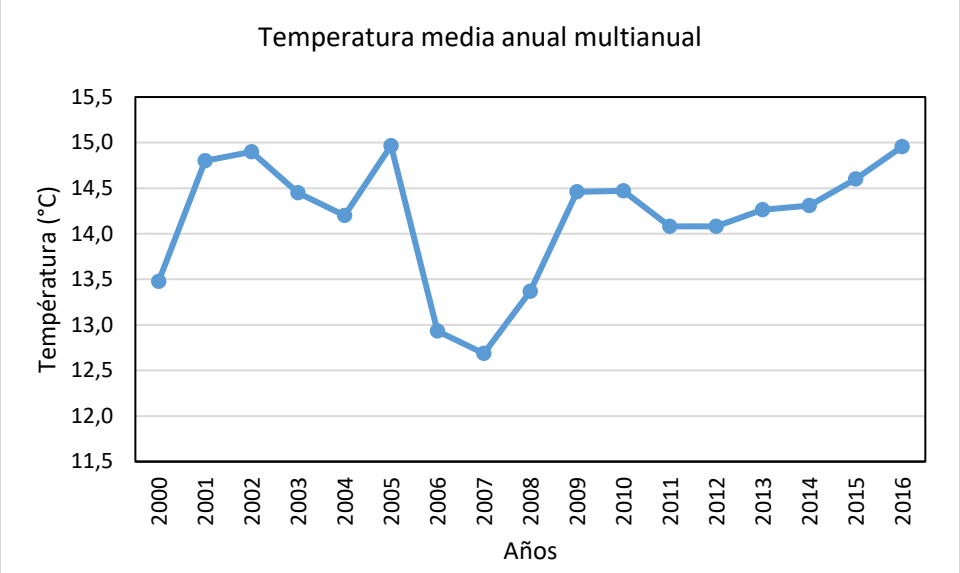


Figura 9-6Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2016

La Figura 9-7 y la Tabla 9-7, presenta la evolución de la temperatura media mensual para las estaciones de la RMCAB y su comparación con el promedio de temperatura mensual, durante el periodo se observa que los valores medios mensuales superaron ampliamente la media multianual.

Marzo de 2016 alcanzó un valor medio considerablemente alto respecto del histórico (16.1°C), con una anomalía positiva de 1,5°C.

Tabla 9-7. Temperatura RMCAB 2000 - 2016

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	13,4
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	14,3
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	14,8
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	14,7
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	14,1
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	15,1
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	13,5
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	13,5
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	13,6
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	14,4
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	14,7
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	14,1
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	14,1
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	14,3
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	14,2
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	14,6
Promedio	**14,0**	**14,2**	**14,6**	**14,5**	**14,5**	**14,1**	**13,9**	**14,0**	**14,1**	**14,3**	**14,3**	**14,1**	**14,2**

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	15,0
Anomalía	1,4	1,7	1,5	0,8	0,6	0,2	0,5	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	

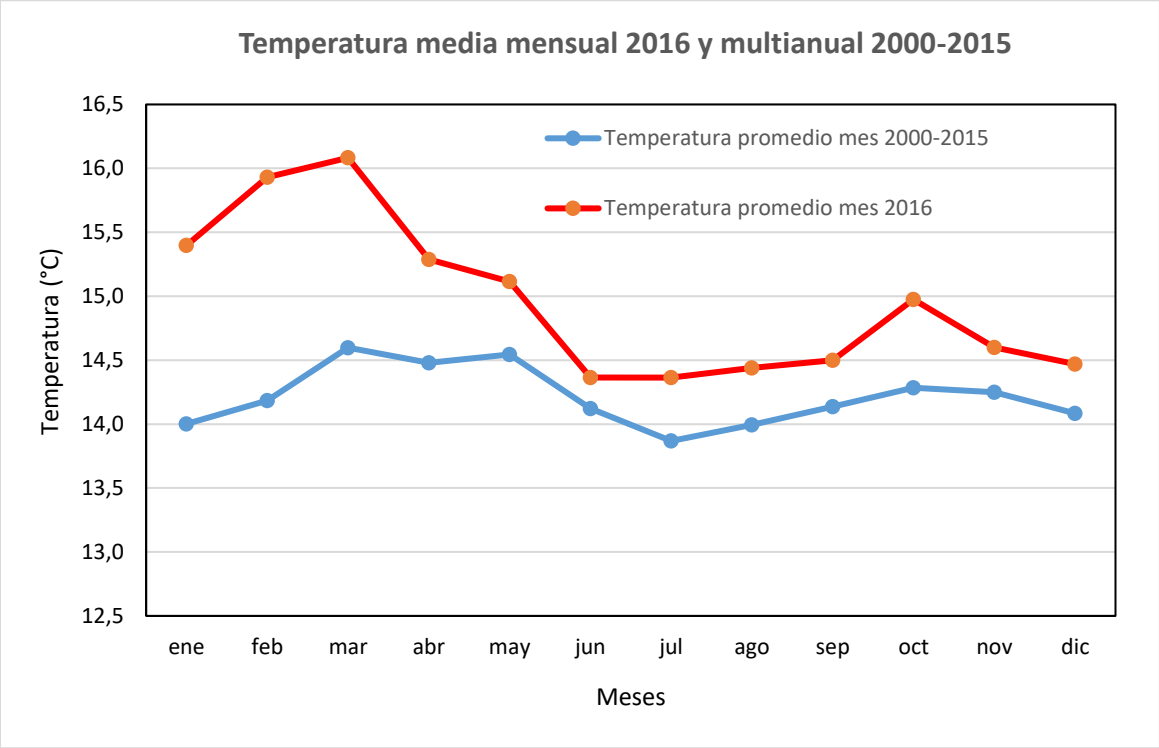


Figura 9-7. Promedio de temperatura mensual multianual

A continuación, se presenta el climograma de la ciudad de Bogotá para 2016. Además de mostrarnos los meses con déficit y oferta de agua, deja entrever como evidentemente las precipitaciones redujeron ostensiblemente las temperaturas superficiales en Bogotá, a partir de marzo hasta el mes de junio donde se mantuvieron relativamente constantes hasta el mes de octubre, cuando se presentó un ligero incremento, pero nada comparable con lo ocurrido entre febrero y marzo.

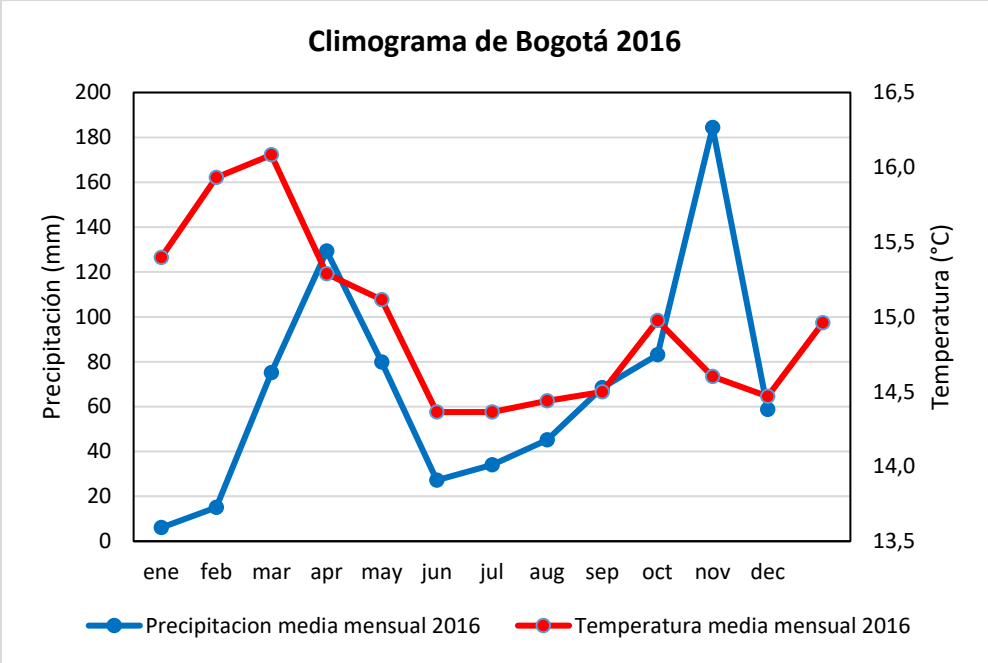


Figura 9-8. Climograma de Bogotá en 2016

Una probable explicación a los altos niveles de temperatura en el inicio del año, puede atribuirse a que la intensidad del El Niño se hizo más fuerte hacia finales de 2015 y principio de 2016, como se puede observar en la Tabla 9-1, Figura 9-7 y Figura 9-8.

Las temperaturas mínimas realmente estuvieron muy por encima de lo observado en periodos y condiciones semejantes. Esto podría explicar por qué realmente no se presentaron heladas en enero de 2016, las cuales son frecuentes en Bogotá debido a la perdida de calor del suelo bogotano y en consecuencia enfriamiento de la atmósfera en bajos niveles. Los valores mínimos diarios de temperatura no descendieron de 8°C en los meses de enero y febrero. En episodios de heladas las temperaturas superficiales mínimas registran valores por debajo de 0°C.

Tabla 9-8 Temperaturas máximas y mínimas

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	18,5	13,7	4,8
Centro de Alto Rendimiento	18,1	12,5	5,6
Guaymaral	18,4	12,4	6
Kennedy	18,1	13,4	4,7
Las Ferias	17,2	12,1	5,1
Puente Aranda	17,1	12,8	4,3
San Cristóbal	16,5	11,4	5,1
Suba	17,9	12,1	5,8
Tunal	16,9	11,3	5,6

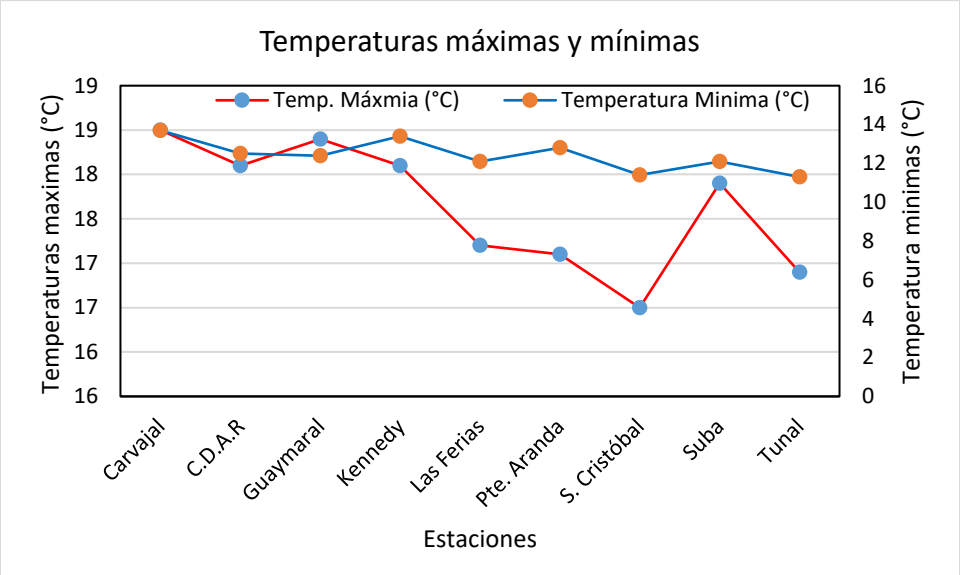


Figura 9-9 Temperatura máximas y mínimas

Cuando ocurren bajas temperaturas, es muy probable la ocurrencia de episodios de contaminación debido a fuertes inversiones de temperatura y consecuente descenso de la capa limite, que probablemente se traducen en incremento de las concentraciones de los contaminantes, toda vez que dicha inversión se constituyen en un techo que impide el ascenso y la mezcla de los mismos.

9.3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

La distribución espacial de la temperatura superficial media de la ciudad de Bogotá, se puede observar en la Figura 9-10. En este mapa, se percibe que en general toda la ciudad presenta altos niveles de temperatura superficial. No obstante, los valores más bajos se encuentran hacia el sur oriente, donde la vegetación de los cerros orientales, puede estar contribuyendo con la regulación térmica de la ciudad. Se hace muy perceptible el cambio en las condiciones de temperatura promedio en la ciudad, dejando entrever la sensibilidad de Bogotá a los eventos El Niño.

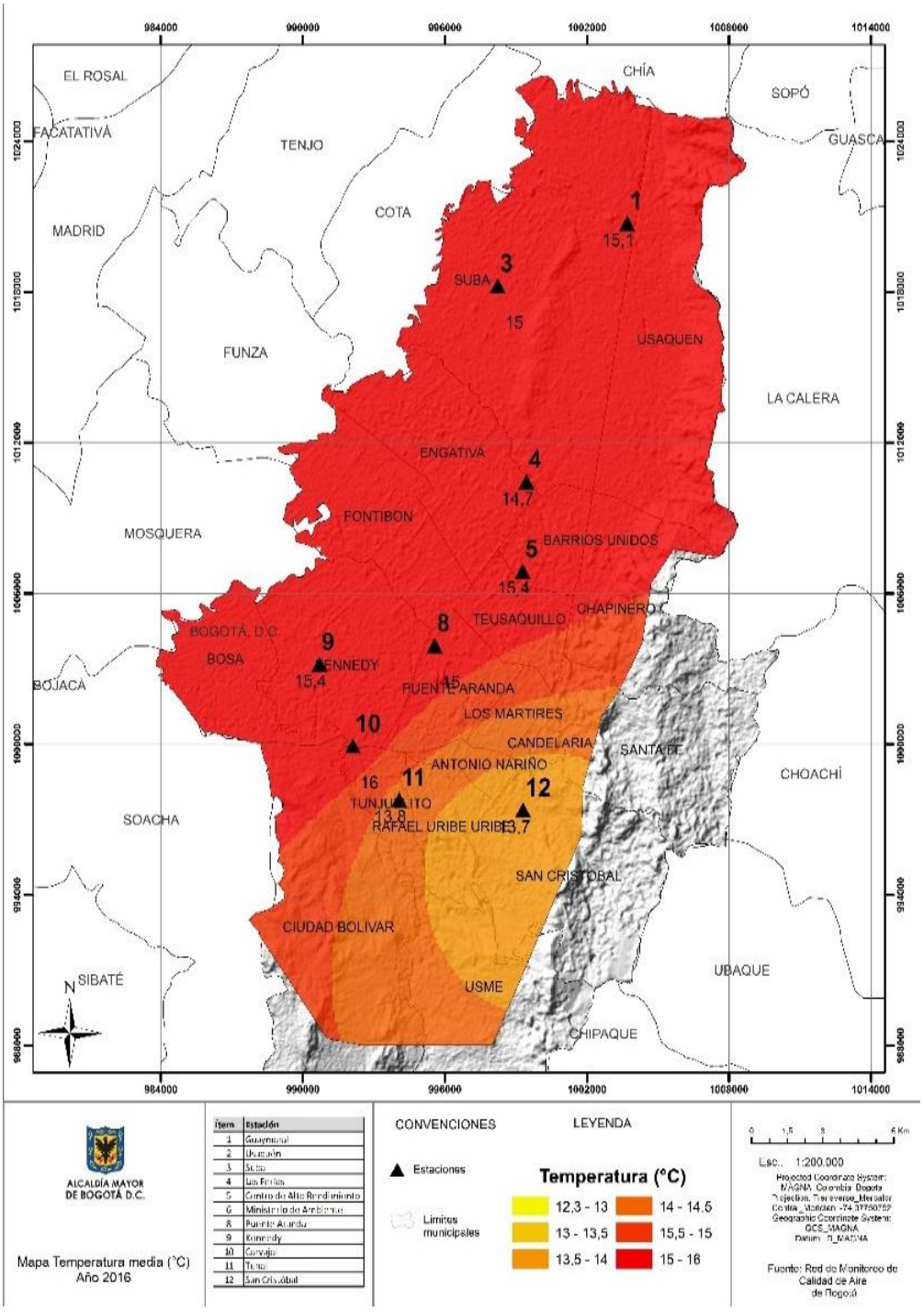


Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB- 2016

9.4 DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB, el promedio anual de los vientos varía entre 1.3 m/s y 2.2 m/s. La zona o sector de la ciudad donde en promedio dominan los vientos más fuertes son Kennedy, Fontibón y Puente Aranda; los más débiles en Guaymaral, MinAmbiente y Tunal. Para más información ver Tabla 9-9.

Tabla 9-9. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2016

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Prom
Cade Energía	0,7	0,9	0,7	0,8														0,8
Carvajal - Sevilla	0,9	1,3	1,2	2,1				1,8	1,9	2,4	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,6	2,0	2,0
Cazuca	1,9	2,1	2,3		2,8	2,4	2,5	2,6	1,7									2,3
Central de Mezclas	2,0																	2,0
Centro de Alto Rendimiento					0,8	1,9		1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,2	1,4
Chico lago (Sto Tomas)	0,4	0,4	0,4															0,4
Fontibón	2,4	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	3,4	2,7	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0				2,9
Guaymaral			0,6					1,1	1,2	1,3		0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	1,0
Kennedy							1,5	1,5	2,3	2,7	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,8	2,4	2,3
Las Ferias	1,7	1,7	1,6			1,5	1,4	1,4	1,9	2,1	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,7	1,7
Min Ambiente	0,4	0,5	0,5							1,2				1,8	1,8	1,8	1,5	1,2
Olaya	1,8																	1,8
Puente Aranda	1,9	2,4	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	2,1	2,1	2,3	2,1	2,5
San Cristóbal											1,1	1,7	1,8	2,2	1,8	1,2	1,7	1,6
Suba	1,4	1,4	1,3		1,6		1,3	1,5	0,5	0,9	1,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	1,4	1,5
Tunal								2,1	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3
Univ. Nacional	0,5	0,6																0,6
Usaquén	1,2	1,1	1,0	1,2		1,6	2,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,4
USME							2,6	2,7	3,5									2,9
Vitelma							1,6	1,5	1,7									1,6
Promedio	**1.3**	**1.4**	**1.3**	**1.9**	**2.1**	**2.2**	**2.1**	**2**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.9**	**1.9**	**1.7**	**1.8**	**1,6**	1,7

9.4.1 VARIACIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con la Tabla 9-10, la velocidad media del viento entre enero y marzo es de 1,7 m/s, en abril y mayo se presentan los valores más bajos del primer semestre (1,6 m/s). En el segundo semestre ocurren los vientos más fuertes entre julio y agosto, debilitándose nuevamente hacia noviembre y diciembre.
La variación de la velocidad media del viento de la ciudad, calculada con la información de la RMCAB desde 2000-2015, no revela cambios significativos respecto al periodo 2016. No obstante, se puede concluir que los vientos fueron más débiles en 2016, con relación al promedio. Como se observa en el la Tabla 9-10 y Figura 9-11, no se presentaron anomalías positivas, por contrario, fueron negativas, aunque su diferencia no fue significativa.

Tabla 9-10. Promedio multianual de la velocidad del viento

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio (m/s)
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	1,5
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	1,8
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	1,8
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	1,8
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,8
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	1,7
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,8
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	1,8
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,8
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8
Promedio	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**1,6**	**1,6**	**1,9**	**2,0**	**2,0**	**1,8**	**1,6**	**1,5**	**1,5**	**1,7**
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,6
Anomalías	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	

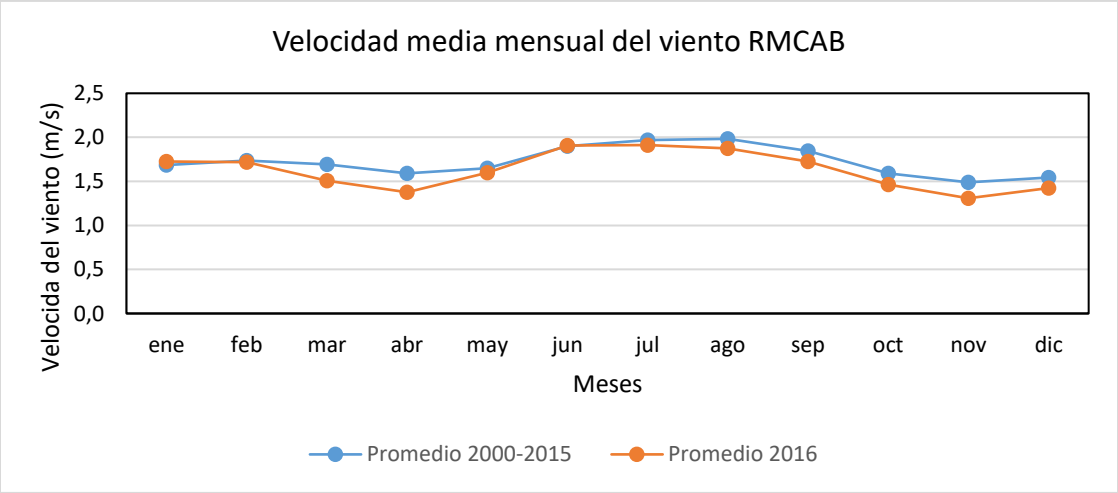


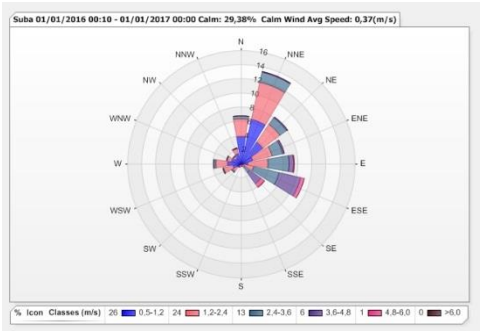
Figura 9-11. Velocidad del viento promedio Bogotá

A continuación, se resume el comportamiento de la dirección predominante del viento por estación. En la Figura 9-12 se encuentran las rosas de viento de las diferentes estaciones que registraron las direcciones predominantes en el año 2016, la Figura 9-14 describe la forma en que los vientos se distribuyeron espacialmente durante este periodo en la ciudad.

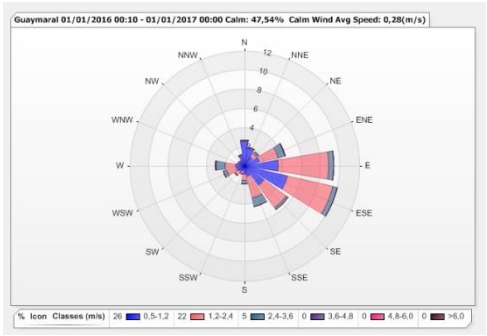
En general predominan los vientos del sureste (SE) y del noreste (NE). Dependiendo del periodo del año puede haber mayor influencia de uno con respecto al otro, por ejemplo en

los meses de enero y febrero se tiene mayor influencia de los vientos alisios del NE a causa de la posición relativa de la ZCIT (Zona de confluencia intertropical), por el contrario en los meses de julio y agosto predomina la componente del SE de los vientos alisios.

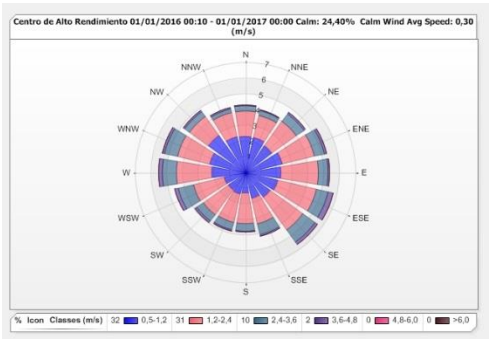
Particularmente la estación del Centro de Alto Rendimiento, reveló un sector de la ciudad donde se presentó confluencia de vientos de todas las direcciones, una especie de sumidero de la ciudad.



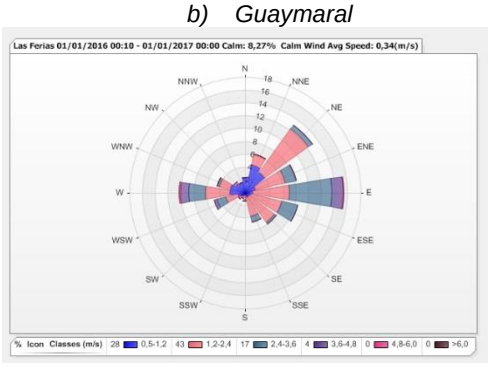
a) Suba



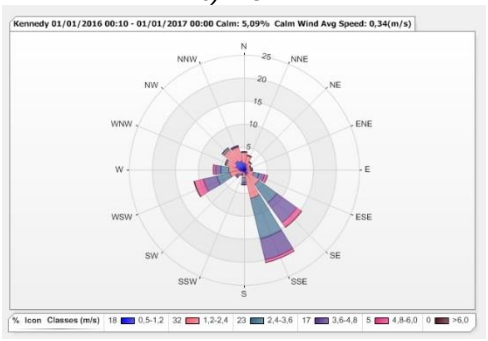
b) Guaymaral



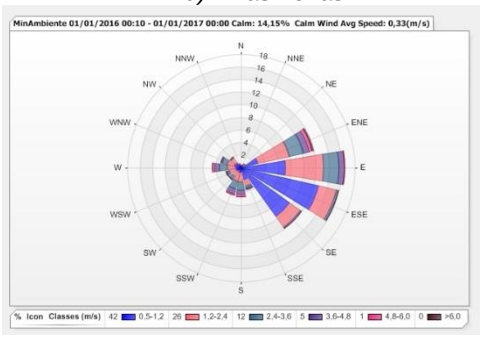
c) C.D.A.R



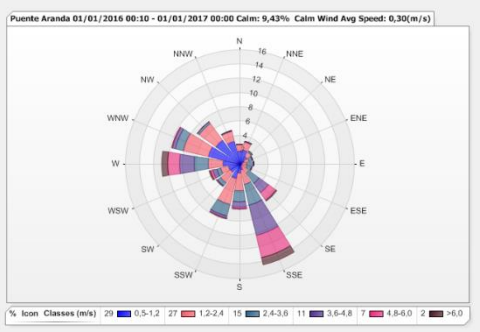
d) Las Ferias



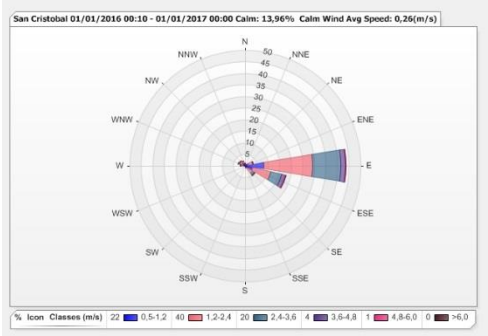
e) Kennedy



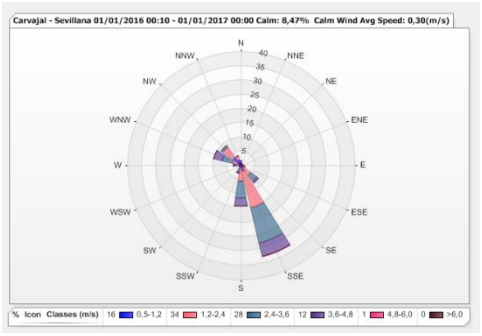
f) MinAmbiente



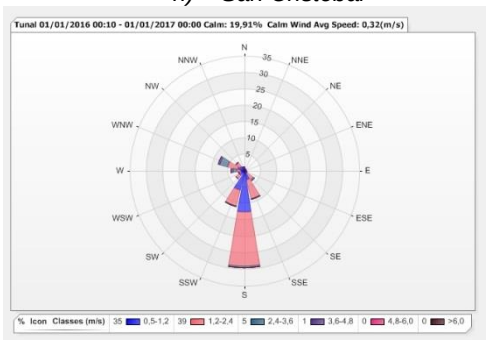
g) Puente Aranda



h) San Cristóbal



i) Carvajal



j) Tunal

Figura 9-12. Rosa de vientos promedio anual por estación.

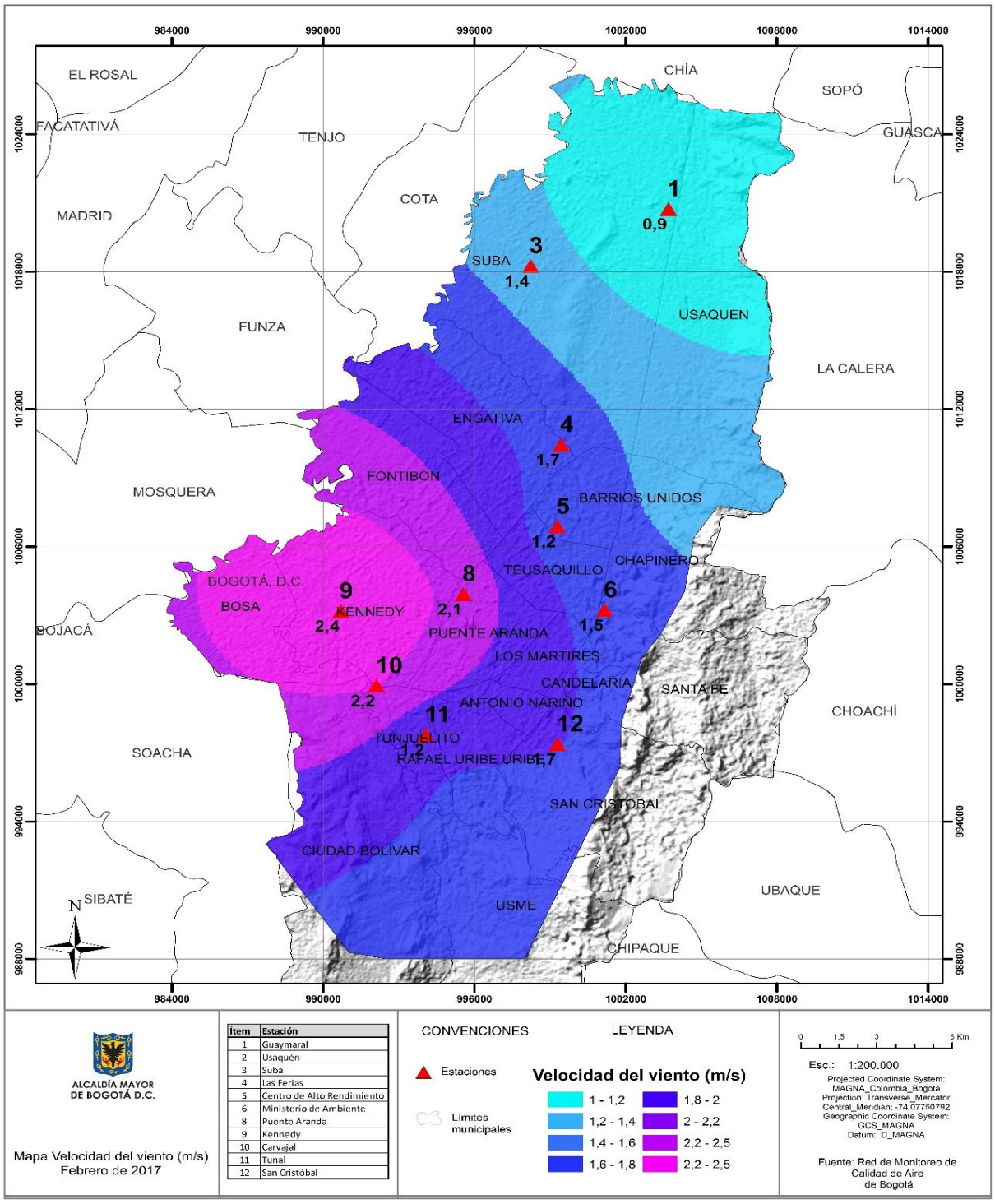


Figura 9-13. Mapa Velocidad del Viento RMCAB - 2016

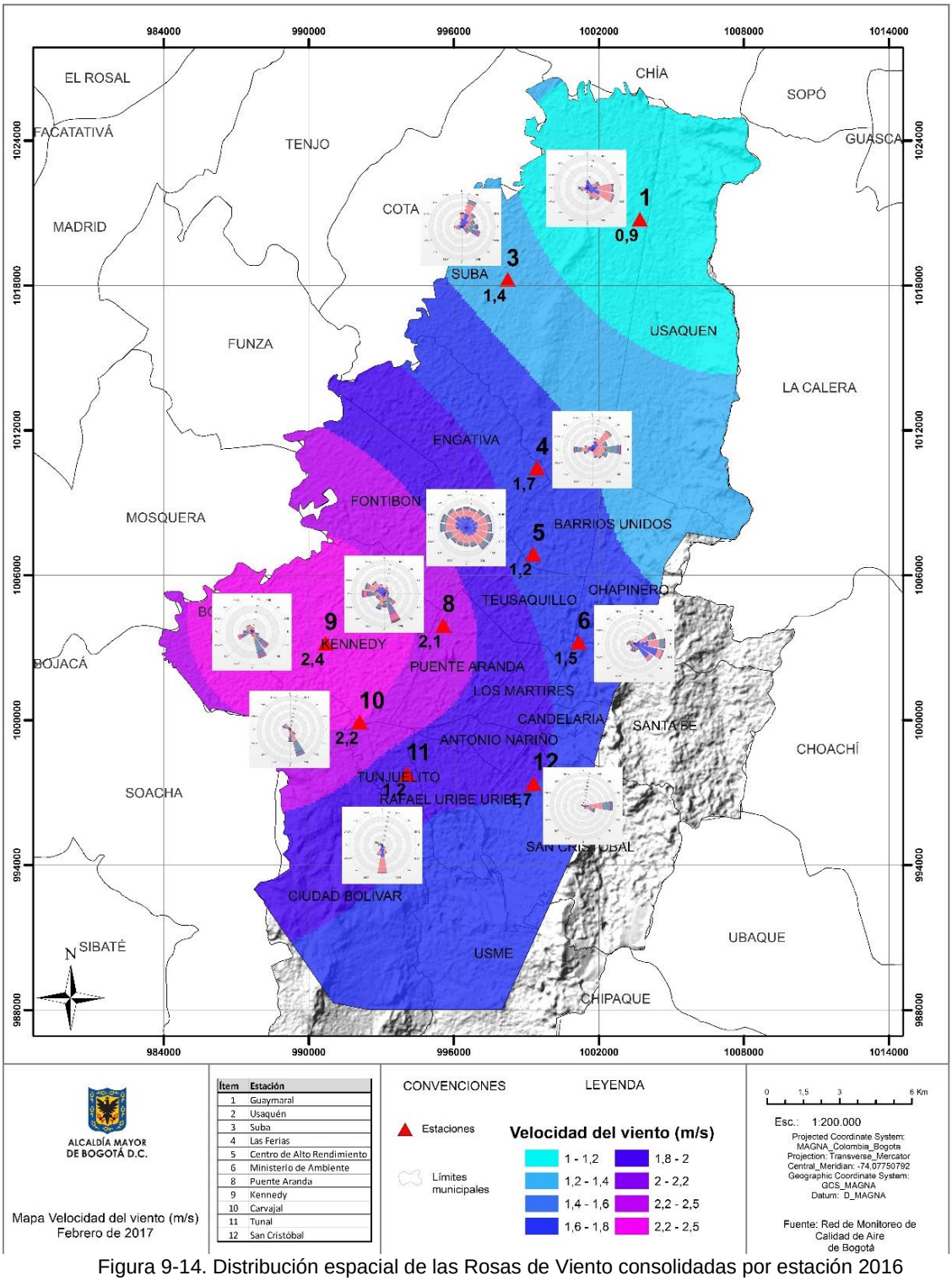


Figura 9-14. Distribución espacial de las Rosas de Viento consolidadas por estación 2016

9.5 RADIACIÓN SOLAR

9.5.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

En la Tabla 9-11 se observa los valores promedio mensual y anual de radiación solar medidos en las diferentes estaciones de la RMCAB. Es notable el incremento en la cantidad de radiación solar recibida en 2016, comparada con 2015. En promedio se recibieron 3178 W/m^2, más que en 2015. Lo datos de la RMCAB, muestran que en promedio los meses que más energía recibieron fueron febrero (12150 W/m2) y septiembre (11792 W/m2); los de menor valor fueron octubre (4917 W/m2) y diciembre (5065 W/m^2).
En 2016, ningún mes presentó valores inferiores de radiación respecto a los reportados en 2015, esto puede explicar los altos valores de temperatura registrados en 2016, pese a estar influenciados parcialmente por La Niña, durante el segundo semestre de 2016.

La estación donde se registró la mayor cantidad de radiación en promedio mensual, fue San Cristóbal (14342 W/m^2); esto ocurrió en febrero como se anotó anteriormente.

Tabla 9-11. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB - 2016

Estación	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Promedio (W/m^2)
Centro de Alto Rendimiento	7175	12925	5957	10259	4072	9238	5695	5591	10904	5127	9725	5180	**7654**
Guaymaral	6581	12102	7141	12241	4519	10177	6021	5816	11728	4425	9928	4882	**7963**
Kennedy	5820	9320	2855	7326	3314	8208	4799	5318	10775	5280	9772	4061	**6404**
San Cristóbal	7020	14342	7291	12909	4904	11260	4926	6847	13760	6630	12082	6135	**9009**
Tunal	6330	12059	6031	10556	3828	4149	N.R	N.R	N.R	3123	3123	N.R	**6150**
Promedio 2016	**6585**	**12150**	**5855**	**10658**	**4127**	**8606**	**5360**	**5893**	**11792**	**4917**	**8926**	**5065**	**7436**
Promedio 2015	**4808**	**4617**	**4107**	**4096**	**3994**	**3751**	**4221**	**4064**	**4825**	**4219**	**3901**	**4492**	**4258**
Diferencia	1777,2	7532,6	1748	6562,2	133,4	4855,4	1139	1829	6966,8	698	5025	572,5	3178

9.6 HUMEDAD RELATIVA

9.6.1 VARIACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL

En la Tabla 9-12 se presenta la variación mensual de la humedad relativa. En correspondencia con el ONI, se muestra que en EF hubo una disminución considerable de humedad en la ciudad; en MAM incrementó la humedad con valores ligeramente superiores a 2015. En el trimestre JJA nuevamente decae asociado a su estacionalidad.

El trimestre SON registró valores significativamente superiores de humedad, comparados con el primer bimestre de 2106 y con el mismo trimestre de 2015, alcanzando valores de HR mayores del 6% comparado con 2015.

Tabla 9-12. Promedio mensual y anual de la humedad relativa en la ciudad

Estación	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	**Promedio (%)**
Centro de Alto Rendimiento	66,9	63,9	67,5	71,4	68,6	64,6	64,1	63,0	65,4	68,9	73,4	69,6	**67,3**
Guaymaral	64,9	64,2	67,3	70,7	70,7	67,8	67,0	66,6	68,0	70,4	72,5	68,8	**68,2**
Kennedy	62,9	58,8	61,1	68,2	66,4	61,6	62,3	60,6	62,4	65,4	70,7	67,0	**64,0**
Las Ferias	60,5	59,1	61,4	66,8	64,3	60,7	60,2	59,7	61,2	63,4	68,9	64,1	**62,5**
San Cristóbal22	53,6	54,2	56,5	62,4	60,5	59,1	59,2	58,1	58,2	59,1	64,5	59,3	**58,7**
Promedio 2016	**61,7**	**60,0**	**62,8**	**67,9**	**66,1**	**62,8**	**62,6**	**61,6**	**63,0**	**65,4**	**70,0**	**65,8**	**64,1**
Promedio 2015	**60,9**	**62,7**	**65,3**	**63,2**	**62,0**	**64,7**	**62,8**	**61,6**	**58,4**	**60,8**	**65,5**	**58,0**	**62,2**
Diferencia	**0,2**	**-3,0**	**-2,8**	**4,5**	**3,9**	**-1,8**	**-0,2**	**0,0**	**4,6**	**4,6**	**4,5**	**6,9**	**1,9**

9.7 PRESIÓN

9.7.1 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ANUAL

El promedio anual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá, se encuentra alrededor de los 564 mmHg o 753 hPa. Como se observa en la Tabla 9-13, su variación es muy baja.

Tabla 9-13. Variación multianual de la presión Atmosférica en la ciudad de Bogotá

Año	**ene**	**feb**	**mar**	**abr**	**may**	**jun**	**jul**	**ago**	**sep**	**oct**	**nov**	**dic**	**Promedio mmHg**
2009	564	564	564	564	565	565	565	564	565	564	564	564	564
2010	564	564	564	565	565	565	565	565	564	564	564	563	564
2011	563	564	564	564	564	565	564	565	565	564	564	563	564
2012	564	563	564	564	564	565	564	565	565	564	564	563	564
2013	564	564	564	564	565	565	565	564	564	564	563	564	564
2014	564	563	564	564	564	564	565	565	564	564	564	564	564
2015	564	564	564	564	564	565	565	564	565	564	564	564	564
2016	564	564	565	564	565	565	565	565	565	564	563	564	564
Promedio	564	564	564	564	565	565	565	565	565	564	564	564	564

9.7.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El promedio mensual de la presión atmosférica tiene una mayor variabilidad. Como es natural, los meses con menores presiones corresponden con los periodos lluviosos de la ciudad y viceversa. A partir de enero se muestra un descenso que alcanza su mínimo en febrero, correlativamente con el inicio de primer periodo de lluvias de la ciudad. Luego, incrementa paulatinamente hasta lograr su máximo en junio, correspondiéndose con la disminución en los niveles de precipitación. De este modo, comienza un ligero descenso hasta el mes de septiembre, y de aquí con un decaimiento importante en la presión hasta el mes de noviembre dándole cabida al segundo periodo de lluvia de la ciudad, hasta que se incrementa nuevamente en diciembre para iniciar el ciclo Ver Figura 9-15.

Si se compara el promedio mensual desde 2009 - 2015, contra el promedio mensual de 2016, este último muestra un patrón considerablemente atípico. La presión ascendió abruptamente desde enero, alcanzando su valor medio más extremo en febrero (593,7 mmHg), generando fuerte subsidencia que confirma la intensidad de El Niño en los meses de enero hasta finales de marzo de 2016. Atípicamente, con respecto al promedio de 2009-20016, se mantuvo muy por debajo y estable desde el mes de marzo hasta finalizar el periodo. La estación de las Ferias, fue la que registro el mayor valor de presión en 2016 (653 mmHg); valor que resulta ser realmente alto con respecto al promedio de la ciudad. Los más bajos, ocurrieron hacia el sur de la ciudad, en la estación de Kennedy. Tabla 9-14 y Figura 9-15.

Tabla 9-14. Presión atmosférica mensual multianual de las estaciones de la RMCAB-2016

Estación	ene-	feb-	mar-	abr-	may-	jun-1	jul-1	ago-	sep-	oct-	nov-	dic-	Promedio mmHg
Guaymaral	564,1	564,0	564,6	564,3	564,9	565,2	564,7	564,7	564,7	563,5	563,5	563,5	564,3
Kennedy	564,0	564,1	564,4	564,0	564,8	564,8	564,4	564,4	564,4	563,5	563,1	563,5	564,1
Las_Ferias	564,8	653,0	564,9	564,6	565,5	565,5	565,2	565,2	565,2	564,1	563,8	563,9	572,1
promedio	564,3	593,7	564,6	564,3	565,1	565,2	564,8	564,8	564,8	563,7	563,5	563,6	566,9

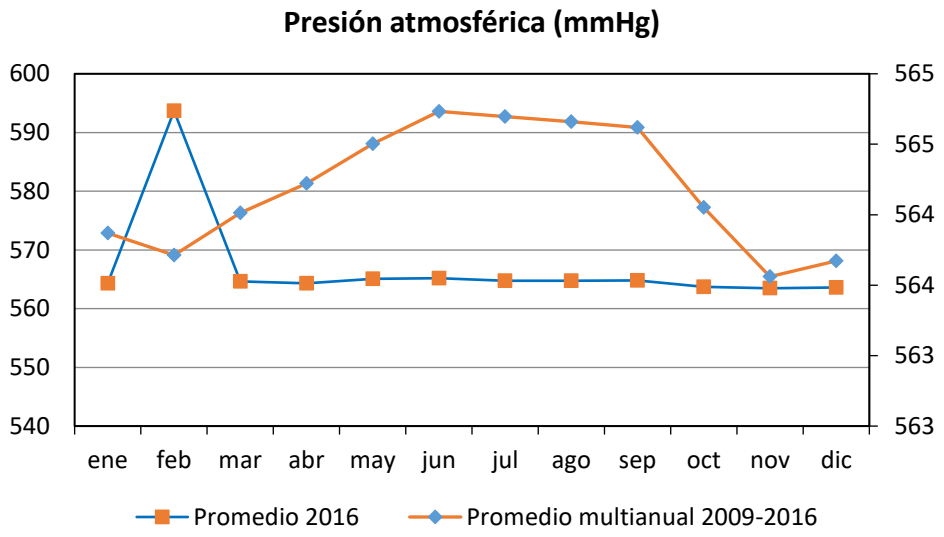


Figura 9-15. Comportamiento multianual de la presión atmosférica

10 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

10.1 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LOS EFECTOS EN SALUD POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ

Para realizar vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire, la Secretaría Distrital de Salud tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- **Vigilancia Epidemiológica:** Vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- **Vigilancia Sanitaria:** Contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a contaminación del aire.
- **Vigilancia Ambiental:** Contempla el monitoreo contaminación del aire a nivel extramural por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad.

Subredes Integradas de Servicios de Salud y Localidades donde realiza cobertura.

NORTE	SUR	CENTRO ORIENTE	SUR OCCIDENTE
• Usaquén • Chapinero • Barrios Unidos • Teusaquillo • Suba • Engativá	• Usme • Ciudad Bolívar • Tunjuelito	• La Candelaria • Santa Fe • Los Mártires • San Cristóbal • Rafael Uribe Uribe • Antonio Nariño	• Fontibón • Kennedy • Puente Aranda • Bosa

Fuente: Secretaría Distrital de Salud. 2016

10.2 ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en países desarrollados o en los países en desarrollo. La OMS estima que en el año 2012, el 72% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior, se debieron a cardiopatía isquémica y accidente cerebro vascular, 14% se relacionaron con neuropatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores y 14% a cáncer de pulmón. Algunas muertes pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo; por ejemplo, consumo de tabaco y contaminación del ambiente pueden provocar cáncer de pulmón.

a. Efectos en la salud por PM_{10} y $PM_{2.5}$

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y el aumento de la mortalidad o morbilidad. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la mortalidad conexa también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios.

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen orientaciones generales relativas a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM_{10}) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) es posible reducir en 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Varios son los eventos de salud de las poblaciones que se han asociado con la contaminación del aire, entre ellos se destacan las enfermedades del sistema respiratorio como el asma, la EPOC y las infecciones, pero también se han estudiado efectos sobre el sistema cardiovascular, el cáncer de órganos blanco diferentes al pulmón, resultados adversos en la gestación o alteraciones en el desarrollo de los niños (Laumbach, 2010). Varios aspectos relacionados con los cambios morfológicos y funcionales de las personas mayores pueden contribuir a aumentar su vulnerabilidad al exponerse a los contaminantes del aire.

Enfermedades respiratorias en niños: La principal vía de ingreso de los contaminantes atmosféricos al organismo es la vía respiratoria, por lo que es lógico que las patologías que más se han asociado con estos sean las respiratorias. Diversos estudios han demostrado asociación entre la exposición a material particulado (medido como PM_{10}, $PM_{2,5}$) y gases contaminantes del aire, con un aumento de la frecuencia de la morbilidad y la mortalidad por enfermedades respiratorias como el asma (Barnett, 2005) Síndrome Broncoobstructivo (SBO), bronquiolitis (Mieke *et al.,* 2008), (Curtis *et al.,* 2006) y las infecciones respiratorias en niños (Alvis y De La Hoz 2008).Existe evidencia de que la contaminación del aire está asociada con enfermedad respiratoria, en especial en niños menores de 14 años y que de éste grupo poblacional el más susceptible es el de los menores de 5 años (Gauderman. 2006).

Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Personas Mayores: Estudios realizados en Asia y Norteamérica han demostrado que en las personas mayores la exposición a niveles bajos o moderados de contaminantes del aire aumentan la frecuencia de morbilidad respiratoria tipo asma, bronquitis y EPOC, esta asociación se ha demostrado tanto para PM_{10}, como para $PM_{2,5}$. También se ha demostrado una asociación entre el aumento de la concentración de los contaminantes criterio y una mayor frecuencia de eventos cardiovasculares en la personas mayores(Villeneuve *et al*., 2003), algunos estudios señalan al $PM_{2,5}$ como el factor que presenta una mayor fuerza de asociación con estos efectos (Julio *et al*., 2009), los estudios midieron los efectos a través de sistemas de registro de consulta a urgencias o ingresos hospitalarios y se midió la mortalidad a través de los registros de hechos vitales.

b. Efectos en la salud por monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono, exposición a dióxidos de azufre

Los estudios han mostrado que, en la población de niños, los contaminantes ambientales incluyendo el ozono, (0_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) contribuyen a la ocurrencia de síntomas respiratorios, cambios en la función pulmonar, aumento en las infecciones respiratorias e incremento en las consultas de urgencia, hospitalizaciones y mortalidad. Así mismo se ha evidenciado el efecto de la contaminación del aire en el ausentismo escolar medido este como impacto del efecto adverso de la contaminación del aire (Guilliland 2001).

Se ha valorado el efecto de diversas formas, en algunos casos han evaluado la frecuencia de síntomas respiratorios y su relación con los niveles de los contaminantes más comunes (PM_{10} o $PM_{2.5}$, O_3, CO, SO_2, NO_2), la frecuencia de patologías específicas como el asma o la bronquiolitis (Miek*et al.,* 2008) a través de los sistemas de registro de los servicios de urgencias, hospitalización o consulta externa asociando el aumento de estos eventos con una mayor concentración de los contaminantes mencionados; de hecho, se afirma que puede empeorar la sintomatología relacionada con asma incluso con niveles de PM_{10}, CO, O_3, NO_2, SO_2 por debajo de las normas EPA de EEUU (Van Hee *et al*., 2010). Estos hallazgos se han demostrado tanto para la contaminación intramural como para la extramural (Alvis y De La Hoz 2008).

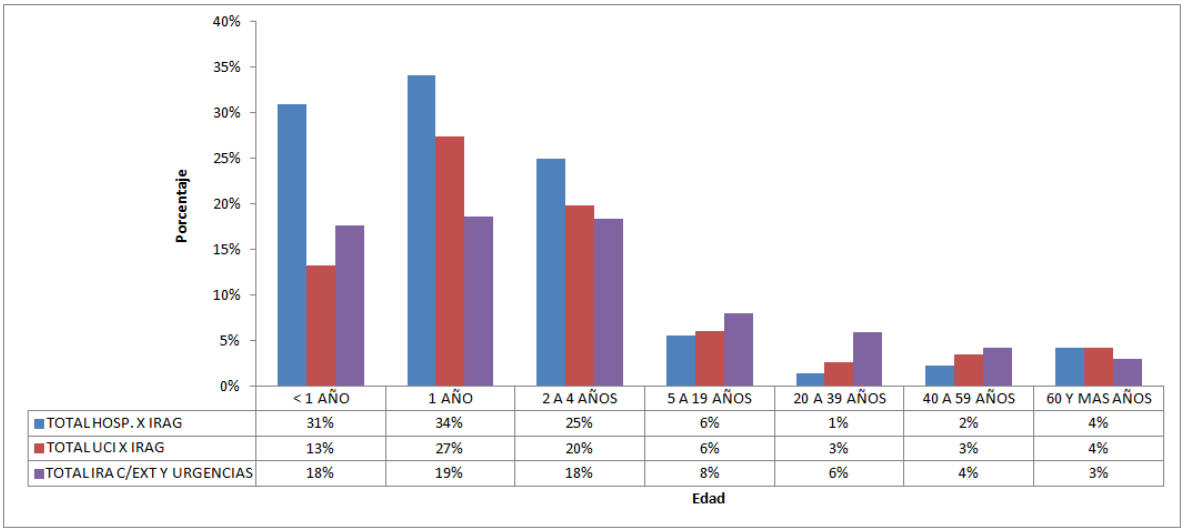
Investigaciones realizadas en Europa, Norte y Centro América sobre la asociación entre el resultado final del embarazo y la contaminación del aire con CO, SO_2, Formaldehido, PM_{10}, NO_2, han estudiado diversos efectos como el aumento de la frecuencia de partos pretérmino, el retardo en el crecimiento intrauterino, el bajo peso al nacer, mortalidad de los recién nacidos, síndrome de muerte súbita, y malformaciones congénitas cardiacas (Brauer *et al*., 2008). También se ha estudiado el efecto de la exposición materna a contaminantes del aire en relación con el riesgo de desarrollar asma en el primer año de vida de los niños, encontrándose un riesgo incrementado de presentar esta patología (Salam *et al*., 2005). Aunque no hay uniformidad en los hallazgos se considera justificado vigilar los eventos que han demostrado una consistencia en la asociación y que son susceptibles de ser vigilados a nivel nacional como el bajo peso al nacer.

Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Personas Mayores: Estudios han demostrado que en las personas mayores la exposición a niveles bajos o moderados de contaminantes del aire aumentan la frecuencia de morbilidad respiratoria tipo asma, bronquitis y EPOC; esta asociación se ha demostrado para O_3, SO_2 y NO_2, aunque los resultados para este último no han sido consistentes (Sun*et al*., 2007) (Curtis *et al*., 2006). La medida de frecuencia de la enfermedad usada en estos estudios fue la incidencia de asma y bronquitis y la tasa de ingresos hospitalarios para la EPOC.

10.2.1 PROBLEMÁTICA EN BOGOTÁ

En Bogotá, la enfermedad respiratoria es el principal problema de salud pública que afecta a la población infantil de la ciudad.

Durante el año 2016, se atendieron en la ciudad 1.593.747 personas que consultaron por afecciones relacionadas con la infección respiratoria en 811 Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), presentando un incremento de casos del 1%(16.124) respecto del año 2015; de éstas, el 33%(518.362) eran menores de cinco años, el 17%(278.164) de 5 a 19 años, el 26%(409.138) de 20 a 39 años, el 15%(239.160) de 40 a 59 años y el 9%(148.923) mayores de 60 años.



	< 1 AÑO	1 AÑO	2 A 4 AÑOS	5 A 19 AÑOS	20 A 39 AÑOS	40 A 59 AÑOS	60 Y MAS AÑOS
TOTAL HOSP. X IRAG	31%	34%	25%	6%	1%	2%	4%
TOTAL UCI X IRAG	13%	27%	20%	6%	3%	3%	4%
TOTAL IRA C/EXT Y URGENCIAS	18%	19%	18%	8%	6%	4%	3%

Figura 10-1 Distribución de la morbilidad por IRA en Bogotá D.C, según servicio que presta la atención del caso, año 2016. (Fuente: Base Sivigila distrital-Vigilancia IRA a semana epidemiológica 52 de 2016)

El 95% (1.515.508) de los casos se atendió en los servicios de consulta externa y urgencias de 811 instituciones prestadoras de salud notificadoras; el 4,5%(72.968) requirieron hospitalización por cuenta de la agudización del cuadro clínico y menos del 0,5%(5.271) requirieron Unidad de Cuidado Intensivo (UCI) principalmente los menores de cinco años en un 67%(3.528) de los casos; del total de hospitalizados, el 66%(48.421) fueron menores de cinco años, 10%(7.621) de 5 a 19 años, 6%(4.067) de 20 a 39 años, 5%(3.766) de 40 a 59 años y el 12%(9.093) mayores de 60 años.

Es importante precisar que los casos relacionados correspondieron a los diagnósticos CIE 10 (Clasificación Internacional de Enfermedades), que van del código J00 a J22 (*Infecciones aguda de las vías respiratorias superiores: J00-J06; Influenza y neumonía: J10-J18; Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores: J20-J22*), los cuales fueron reportados a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (Sivigila), durante los años 2010 a 2016, por lugar de atención de los casos (localidad que notifica), atendiendo a lo establecido en el Protocolo Nacional de Vigilancia[7].

[7] *Vigilancia de morbilidad por IRA: "La vigilancia de la morbilidad por IRA se realizará en todas las instituciones de salud de todos los niveles de atención; corresponde a la notificación semanal, colectiva por grupos de edad de casos de IRA en los servicios de consulta externa y urgencias, hospitalización general, hospitalización en UCI del total de casos atendidos*

La Secretaría Distrital de Salud, realizó un estudio entre el 2008 y 2011, para conocer la incidencia de los síntomas respiratorios y su asociación con la exposición a la contaminación del aire, en cinco localidades de Bogotá. Los resultados del mismo, evidenciaron que los síntomas respiratorios asociados a las vías respiratorias inferiores, como la tos y las sibilancias, tuvieron una mayor relación con la exposición a niveles elevados de material en partículas en el ambiente intramural. Se presentó 15% más de casos de tos y más del doble de casos de sibilancias (RR=2,29; IC95% 1,78-3,00) en el grupo más expuesto en comparación con el menos expuesto. Este efecto se vio potenciado por la exposición a factores de contaminación intramuros, como el humo de segunda mano y la presencia de fábricas en el interior de las viviendas. Algunos factores asociados a las características socioeconómicas y a ciertos hábitos (lecho compartido y el antecedente de bajo peso al nacer), también tuvieron relación con una mayor incidencia de síntomas respiratorios. Además, si bien varias fuentes de exposición a la contaminación extramuros situadas a menos de 100 metros de la vivienda, como la circulación de tráfico pesado (buses, busetas y camiones), no tuvieron un impacto sobre la incidencia de los síntomas respiratorios de manera aislada, el efecto agregado de la exposición a material en partículas en el ambiente intramural se asoció con un incremento de los síntomas. Estos hallazgos concuerdan con lo que se conoce sobre los efectos de la contaminación por material en partículas y los síntomas respiratorios.

Los resultados anteriores han permitido plantear y formular recomendaciones de política pública para la reducción del impacto negativo de la contaminación del aire en la población infantil de Bogotá, las cuales deberán ir encaminadas al fortalecimiento de la vigilancia ambiental y los sistemas de alerta temprana en salud; educación sanitaria de padres y cuidadores; mejoramiento de vías; reducción de la inequidad y de la segregación socio-espacial; uso de combustibles limpios, estrategias para la reducción del consumo de tabaco en los hogares y planificación del ordenamiento territorial en la ciudad.

10.3 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA
10.3.1 MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA

En relación al comportamiento de la mortalidad por enfermedad respiratoria en menores de 5 años, para el año 2016 se presentaron 78 casos; el 22% de los casos de mortalidad infantil se concentró en la localidad de Ciudad Bolívar, seguida por Suba y Usme con el 12% cada una y en tercer lugar las localidades de Bosa y Engativá con el 9% cada una; precisando que frente a la distribución geográfica, el 22% de los casos de mortalidad infantil se concentran en 43 UPZetas en el Distrito Capital. Respecto a la presencia de estos casos en relación con los niveles de contaminación del aire, se evidencia que 17 casos se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición de contaminación del aire por PM10 en Bogotá como se muestra en la Figura 10-2

por todas las causas, y el número de muertes por IRA del total de muertes por todas las causas". en: http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion Vigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/PRO%20Infeccion%20Respiratoria%20Aguda%20IRA.pdf

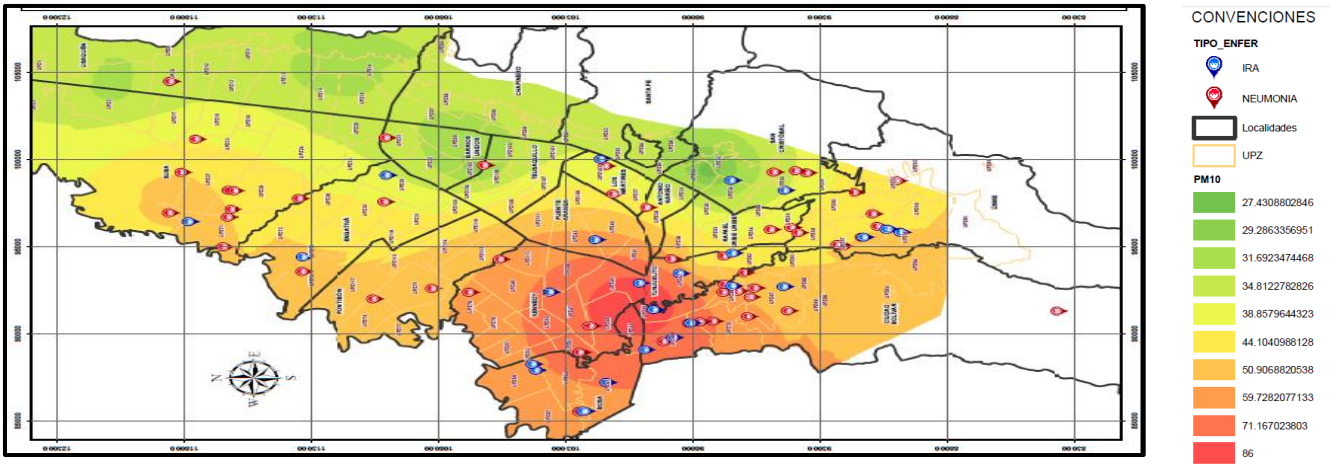


Figura 10-2 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2016
Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire material particulado SDA 2016 -Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND 2016* (*PRELIMINARES)

Como vemos en la Figura 10-3, se observan algunos de los resultados de la caracterización de las mortalidades por IRA en Bogotá en el año 2016, con los respectivos factores de riesgos identificados durante la vigilancia epidemiológica.



Figura 10-3 Caracterización Mortalidad por IRA en Bogotá D.C. 2016. (Fuente: Análisis de Mortalidades por Infección Respiratoria Aguda. Bogotá 2016)

Ahora bien, observando la Figura 10-4 donde consideramos los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, durante el 2016 se evidencia que los meses de Enero a Marzo se presentan picos en las concentraciones de $PM_{2.5}$ especialmente en las SE2 a la SE13 los cuales exceden los niveles establecidos en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS que corresponde a 25 $\mu g/m^3$ para las 24

horas, se resalta también que el pico máximo se da entre las SE10 y SE12 y el segundo pico con aumento paulatino se presenta entre la SE33 a la SE49, alcanzando el pico máximo entre las SE43 y SE44. Posteriormente en período comprendido entre la SE14 y SE31 se observan concentraciones entre los 11-16 µg/m^3, dicho descenso se puede presentar por el considerable aumento de la precipitación que se dio en las SE10, este comportamiento da entrada al mes de abril que normalmente es el mes más húmedo de la primera temporada lluviosa del año y se replica nuevamente en la SE43 y SE44, donde la precipitación muestra un aumento considerable. Finalmente, la temperatura promedio para el año 2016 presentó un comportamiento estable a lo largo del año y se mantuvo entre los 15°C y no superó los 17°C.

Como vemos entonces en el año 2016 durante el primer trimestre del año se presentaron concentraciones altas de $PM_{2.5}$ en las diferentes estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, si evaluamos las proporción de excedencia diarias con respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS, se encuentra que para el 2016 se tiene un 32% de registros que exceden; lo cual puede redundar en el estado de salud de la población Bogotana especialmente en niños menores de 5 años dado que en la investigación *"Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá"*, mostró que un aumento en la concentración de 10 µg/m^3 en las concentraciones de material particulado PM_{10} puede producir un aumento de al menos el 8% en el número de consultas por enfermedad respiratoria aguda en niños menores de 14 años. (Pedro Iván Solarte MD, 2002)

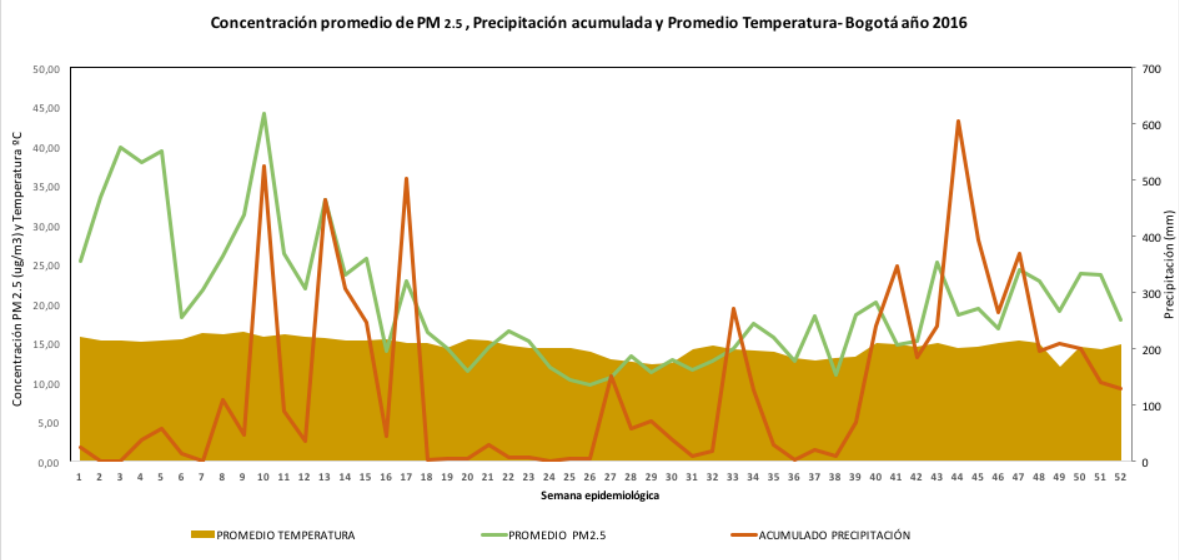
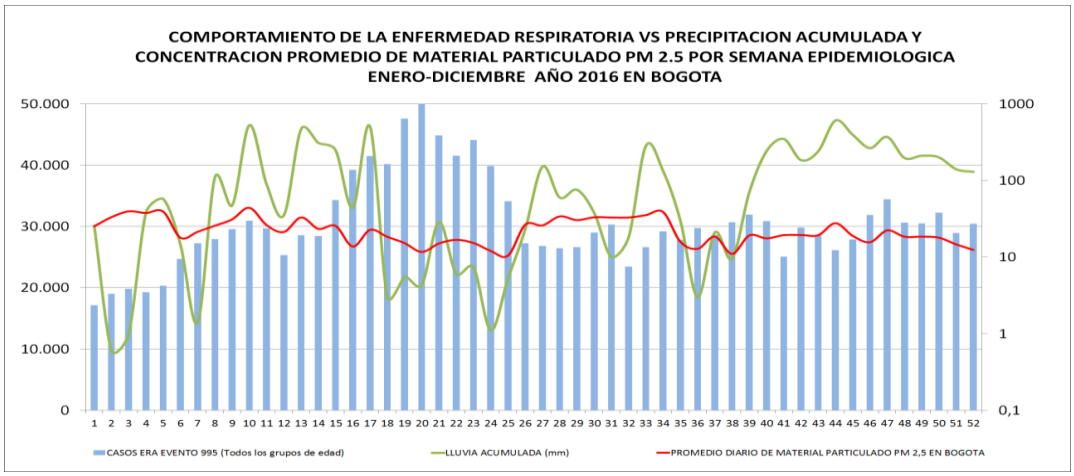


Figura 10-4 Concentración promedio PM2.5, precipitación acumulada y promedio temperatura Bogotá año 2016. (Fuente: Temperatura, Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016)

10.3.2 MORBILIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA

a. Morbilidad Atendida

Para el año 2016, se reportaron un total de 1.593.747 casos de enfermedad respiratoria aguda en todos los grupos de edad reportados por el sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA, en donde el 52% se presentaron en el primer semestre del año. Adicionalmente, durante el año 2016 se notificaron 52.170 casos atendidos de Enfermedad Respiratoria Aguda en menores de 5 años en las 118 salas ERA en el Distrito Capital, donde se tratan sintomatologías como: bronquilitis, bronquitis, laringotraqueitis, neumonía y síndrome broncobstrucivo crónico - SBOR de los cuales se evidencia un aumento del 5,4% con respecto al año 2015 (n=49492) y del 9,6% con respecto al año 2014 (n=47581). Los meses con mayor número de casos atendidos fueron Mayo (n=8316), seguido de Marzo (n=6724) y Abril (n=6616), meses en los que se registra el primer pico respiratorio del año, coincidiendo con el incremento en la precipitación de lluvias para el mes de marzo, de acuerdo a la información obtenida en la Secretaría de ambiente a través del monitoreo de la calidad del aire para los periodos comparados. Respecto a las localidades de mayor notificación en el año 2016, corresponden a Chapinero (n=24.016), seguido por Suba (n=5149) y Usaquén (n=3957), dado que presentan el mayor número de salas ERA operando en la ciudad. La localidad de Candelaria durante el año 2016 no atendió casos y la localidad de Sumapaz reportó 3 casos, Los Mártires 20 casos y Antonio Nariño 75 casos. Es importante aclarar que estos casos son notificados de acuerdo a la localidad del punto de atención y no por localidad de residencia del niño y niña, así como el nivel de atención y ubicación de las UPGD en áreas determinadas de la cuidad. Es así que el 57% de los casos se atendió en el primer semestre del año; sin embargo en el segundo semestre se presentó la mayor ocurrencia de lluvia (4.417 mm de lluvia acumulada) y la mayor concentración promedio de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ (24 ug/m3) en el primer semestre como se evidencia en la Figura 10-5.



5:

Figura 10-5 Comportamiento de la notificación en salas ERA Versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado PM2.5 por semana epidemiológica en Bogotá año 2016.Fuente: Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016. Base SIVIGILA evento 995 información Preliminar

b. Morbilidad Sentida

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material partículado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y adulto mayor de 60 años; esta vigilancia centinela se realiza por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire. En el año 2016 se analizó una muestra de 4.614 menores de 5 años, los cuales fueron discriminados de acuerdo a la exposición a contaminación del aire de las unidades centinela (jardines infantiles) del área urbana de Bogotá, correspondiente al 50.3% (n=2323) de mayor exposición y menor exposición 2.291 (49,7%). La mayor parte de la población pertenecía al estrato 2 (47,44%; n= 2189), seguido del estrato 3 (32,2%; n= 1477) y el estrato 1 (16,8%; n=777), de acuerdo al sexo del menor el 47,9%(n=2211) corresponden al género femenino y el 52,1%(n=2403) al género masculino y por último la media de edad de los menores corresponde a 38 meses variando en un rango de 1 a 59 meses. Las características demográficas se presentan en la Tabla 10-1

Tabla 10-1 Caracterización sociodemográfica distribución por estrato y sexo, unidades centinela Bogotá 2016.

ESTRATO	SEXO			EDAD EN MESES
	FEMENINO	MASCULINO	Total	Media - Desviación estándar
1	378 (48,5%)	401 (51,5%)	777	
2	1061 (48,5%)	1128 (51,5%)	2189	
3	694 (47,0%)	783 (53,0%)	1477	
4	72 (45,6%)	86 (54,4%)	158	
5	5 (62,5%)	3 (37,5%)	8	
6	1 (33,3%)	2 (66,7%)	3	
Total	2211 (47,9%)	2403 (52,1%)	4614	

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Desde el año 2013 se comenzó a realizar la vigilancia epidemiológica y ambiental de contaminación del aire en todas las localidades de Bogotá, mediante el desarrollo de un diseño epidemiológico transversal, por medio del cual se estudia la presencia de síntomas respiratorios y sus posibles factores asociados a través de la aplicación de una encuesta de prevalencia basada en el cuestionario ISAAC (*The International Study Asthma and Allergies in Childhood*). Cabe resaltar que entre los efectos en salud a largo plazo por contaminación del aire se contempla el incremento de la sintomatología respiratoria, la disminución de la función pulmonar y el descenso de la esperanza de vida en relación con la enfermedad cardiorrespiratoria crónica y el cáncer de pulmón. (Alvarez-Sala, 2011). Por otra parte según un estudio realizado en el área urbana de Ulaanbaatar-Mongolia la contaminación atmosférica en invierno causó la exacerbación de la sintomatología respiratoria y el empeoramiento del estado de salud de los individuos con insuficiencia respiratoria que han vivido por más de 40 años en el distrito Ger. (Y. Ishihara, 2016). Los síntomas respiratorios más relacionados a los contaminantes del aire intra y extradomiciliario son las sibilancias y la tos seca, que se asocian al diagnóstico de asma bronquial; el asma es una afección de las vías respiratorias caracterizada por la inflamación crónica de la vía aérea causando su estrechamiento y produciendo mayores

cantidades de mucosa de lo normal, lo cual dificulta la respiración, causando la aparición de diferentes síntomas como las sibilancias reconocidas como un silbido en el pecho, que la mayoría de las veces se acompaña de dificultad para respirar. En la Tabla 10-2 se presenta la prevalencia de los síntomas respiratorios analizados.

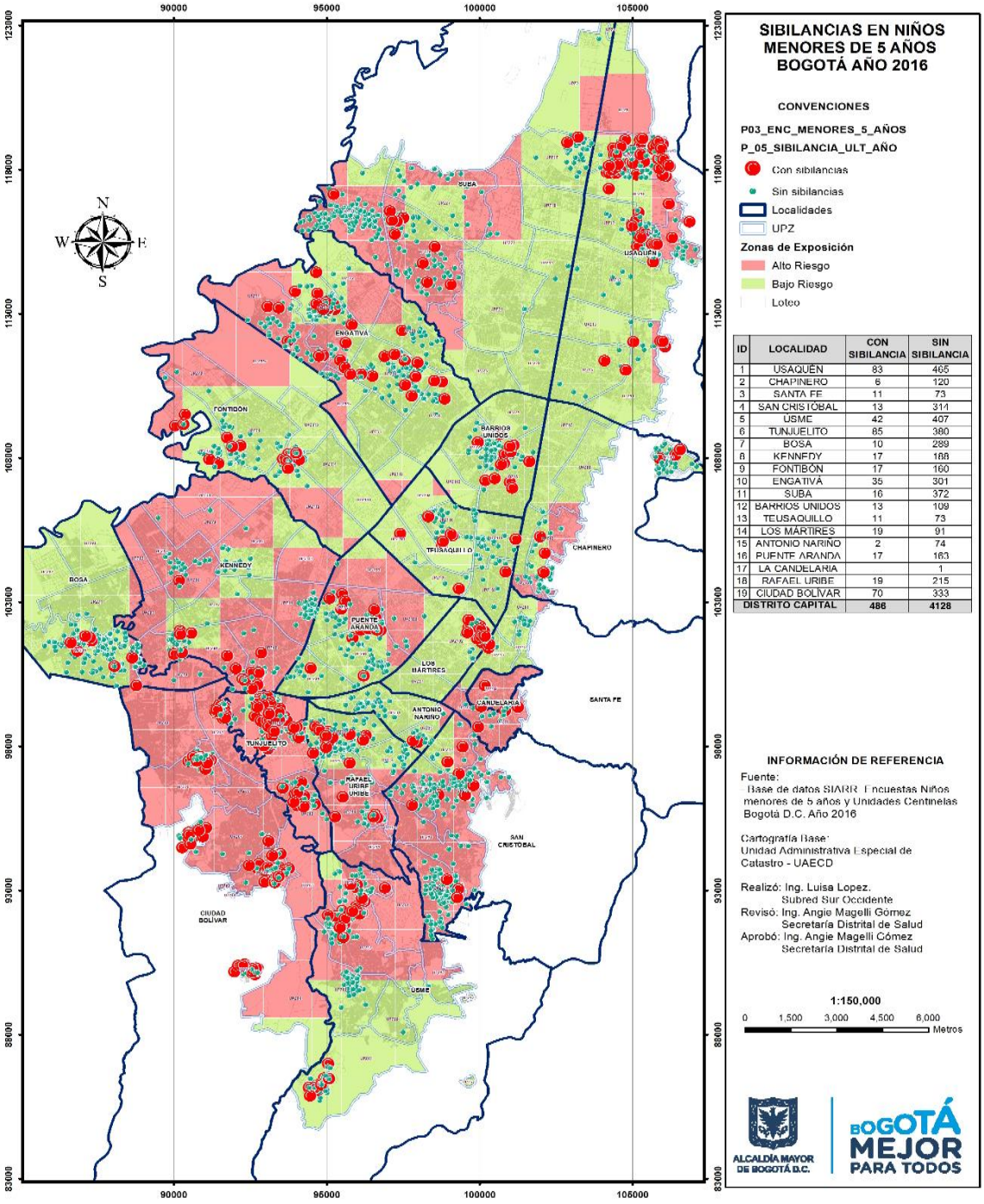
Tabla 10-2 Prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Bogotá 2016

SINTOMA	Tipo de exposición		Total	
	Mayor	Menor		
	N (%)	N (%)	Número de Casos	(%)
MOCOS/NARIZ TAPADA ULTIMO AÑO	692 (15%)	562 (12,2%)	1254	27,2
SIBILANCIAS ALGUNA VEZ	693 (15%)	597 (12,9%)	1290	28,0
SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO	270 (5,9%)	216 (4,7%)	486	10,5
AUSENTISMO ESCOLAR	648 (14%)	547 (11,9%)	1195	25,9
TOS EN EL ULTIMO AÑO DIFERENTE A LA TOS POR GRIPE	506 (11%)	347 (7,5%)	853	18,5
TOS DURANTE EL EJERCICIO	324 (7%)	289 (6,3%)	613	13,3
TOS POR RISA/LLANTO	240 (5,2%)	203 (4,4%)	443	9,6
DESPIERTA POR TOS EN EL ULTIMO MES	381 (8,3%)	289 (6,3%)	670	14,5
Total	2323 (50,3%)	2291 (49,7%)	4614	100,0

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Para el año 2016 la prevalencia de sibilancias en el último año fue de 10,5% (n=4614), siendo las localidades de Tunjuelito con 18,3 % (n=465), Los Mártires con 17,3%(n=110) y Ciudad Bolívar con 17,4% (n=403) las que presentaron las prevalencias más altas. Por otro lado la prevalencia de tos diferente a la tos por gripe fue del 18,5% (n=4611), siendo las localidades con las más altas prevalencias Fontibón con 53,1% (n=177), Usaquén con 42,7% (n=548) y Kennedy con 36,1% (n=205) y por último la prevalencia de mocos/nariz tapada acompañado por lagrimeo y rasquiña en los ojos en el último año fue de 27,2% (n=4613), siendo las localidades de Puente Aranda con 69,4% (n=180), Kennedy con 64,4% (n=205) y Engativá con 42,9% (n=336) las que obtuvieron las prevalencias más altas.

En relación a la historia de exposición a tóxicos se observa que el 22,7% (n=4614) de los menores conviven con alguna persona que fuma y el 8,0% (n=4614) lo realiza en presencia del niño(a). La frecuencia de casos de sibilancias en el último año se relaciona con las exposiciones ambientales a contaminación atmosférica e intramural por exposición a agentes químicos como humo de segunda mano, material particulado, combustibles sólidos y biológicos tales como ácaros y moho, esto se presenta en unas condiciones sociodemográficas específicas que establece la vulnerabilidad de la población habitante de las localidades de Bogotá. En los mapas correspondientes a la Figura 10-6, Figura 10-7, Figura 10-8 y Figura 10-9, se muestra dicha relación.



ID	LOCALIDAD	CON SIBILANCIA	SIN SIBILANCIA
1	USAQUÉN	83	465
2	CHAPINERO	6	120
3	SANTA FE	11	73
4	SAN CRISTÓBAL	13	314
5	USME	42	407
6	TUNJUELITO	85	380
7	BOSA	10	289
8	KENNEDY	17	188
9	FONTIBÓN	17	160
10	ENGATIVÁ	35	301
11	SUBA	16	372
12	BARRIOS UNIDOS	13	109
13	TEUSAQUILLO	11	73
14	LOS MÁRTIRES	19	91
15	ANTONIO NARIÑO	2	74
16	PUENTE ARANDA	17	163
17	LA CANDELARIA		1
18	RAFAEL URIBE	19	215
19	CIUDAD BOLÍVAR	70	333
	DISTRITO CAPITAL	486	4128

Figura 10-6 Frecuencia de casos de sibilancias en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

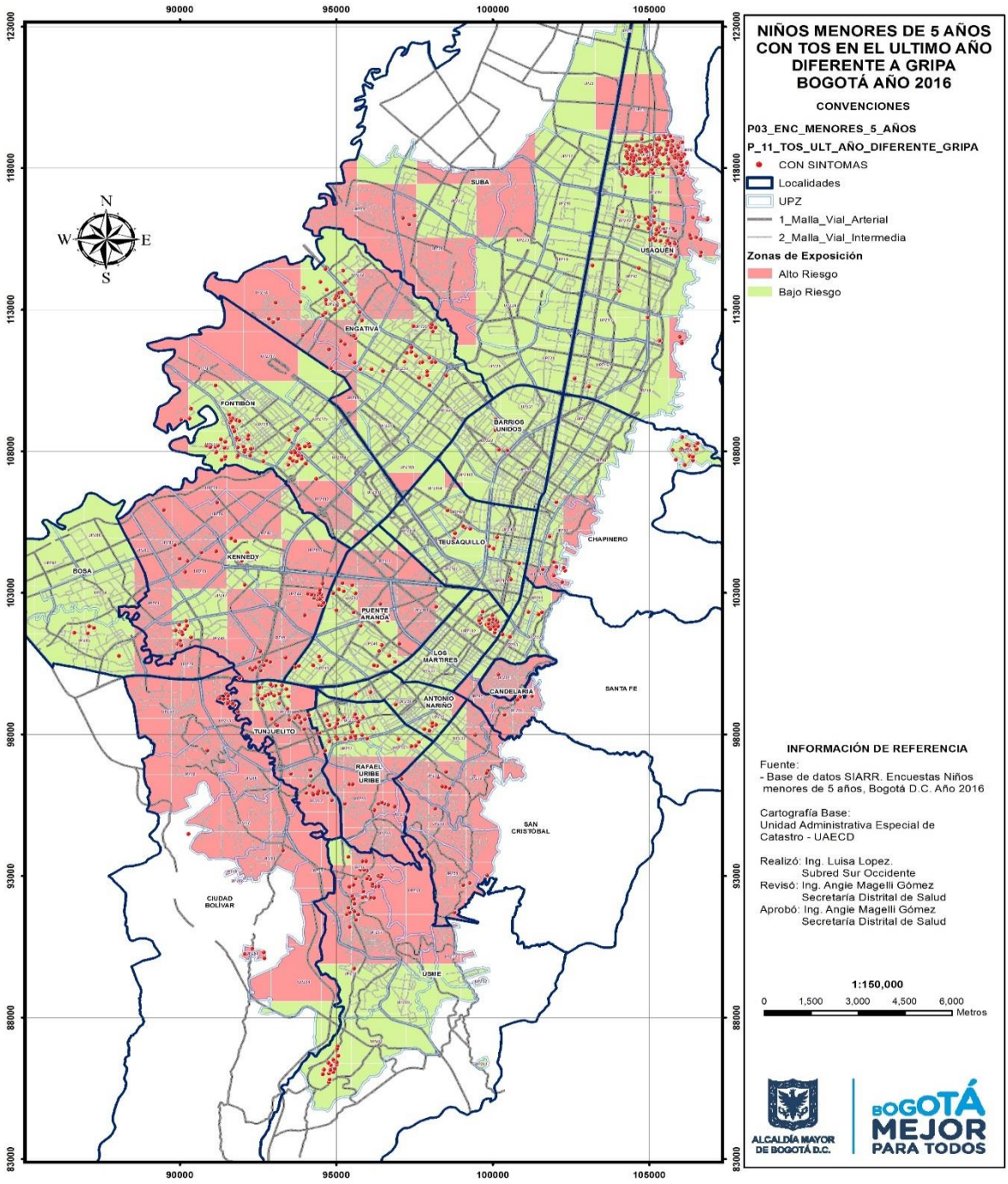


Figura 10-7 Frecuencia de casos de tos en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

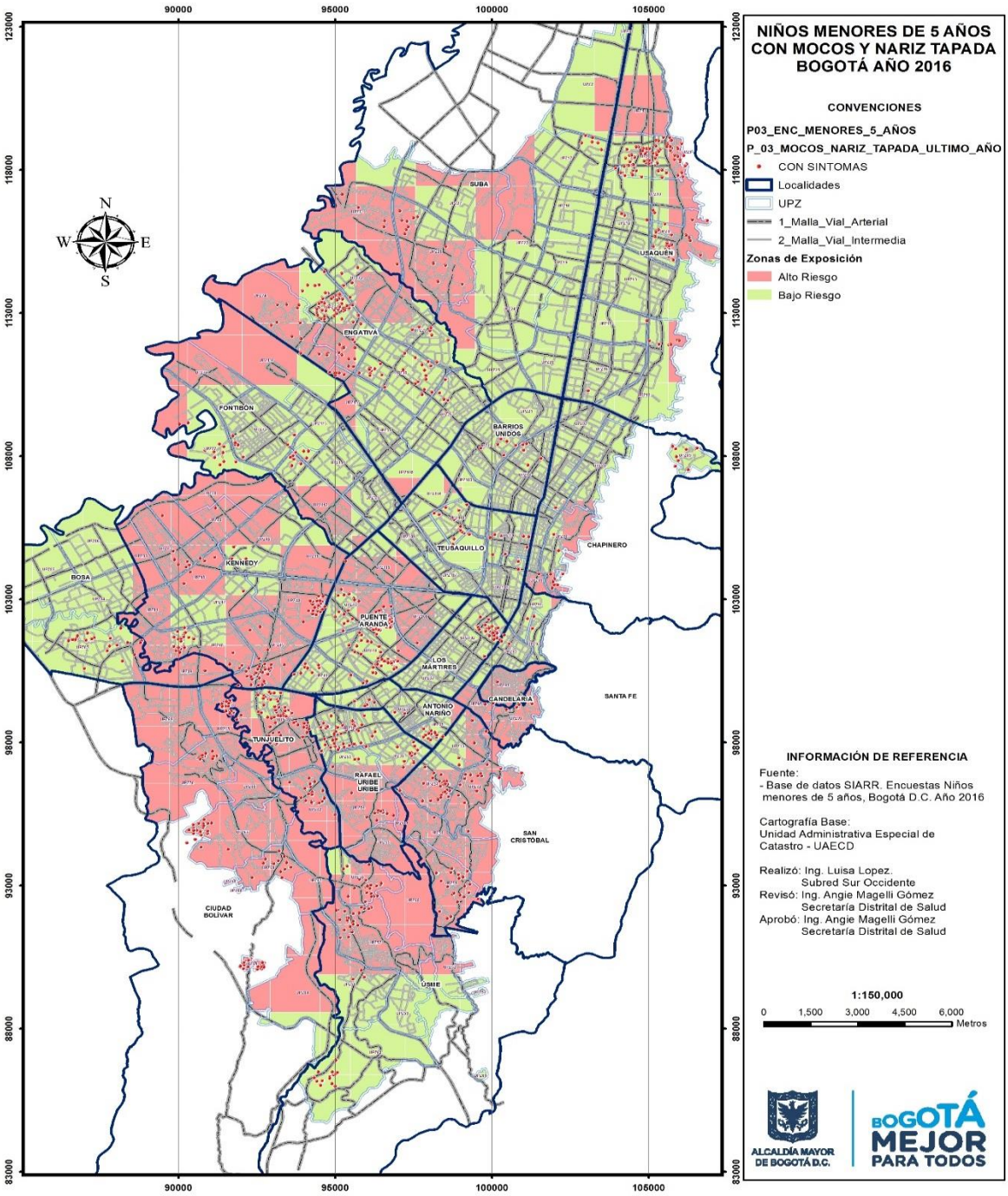


Figura 10-8 Frecuencia de casos de mocos y nariz tapada en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

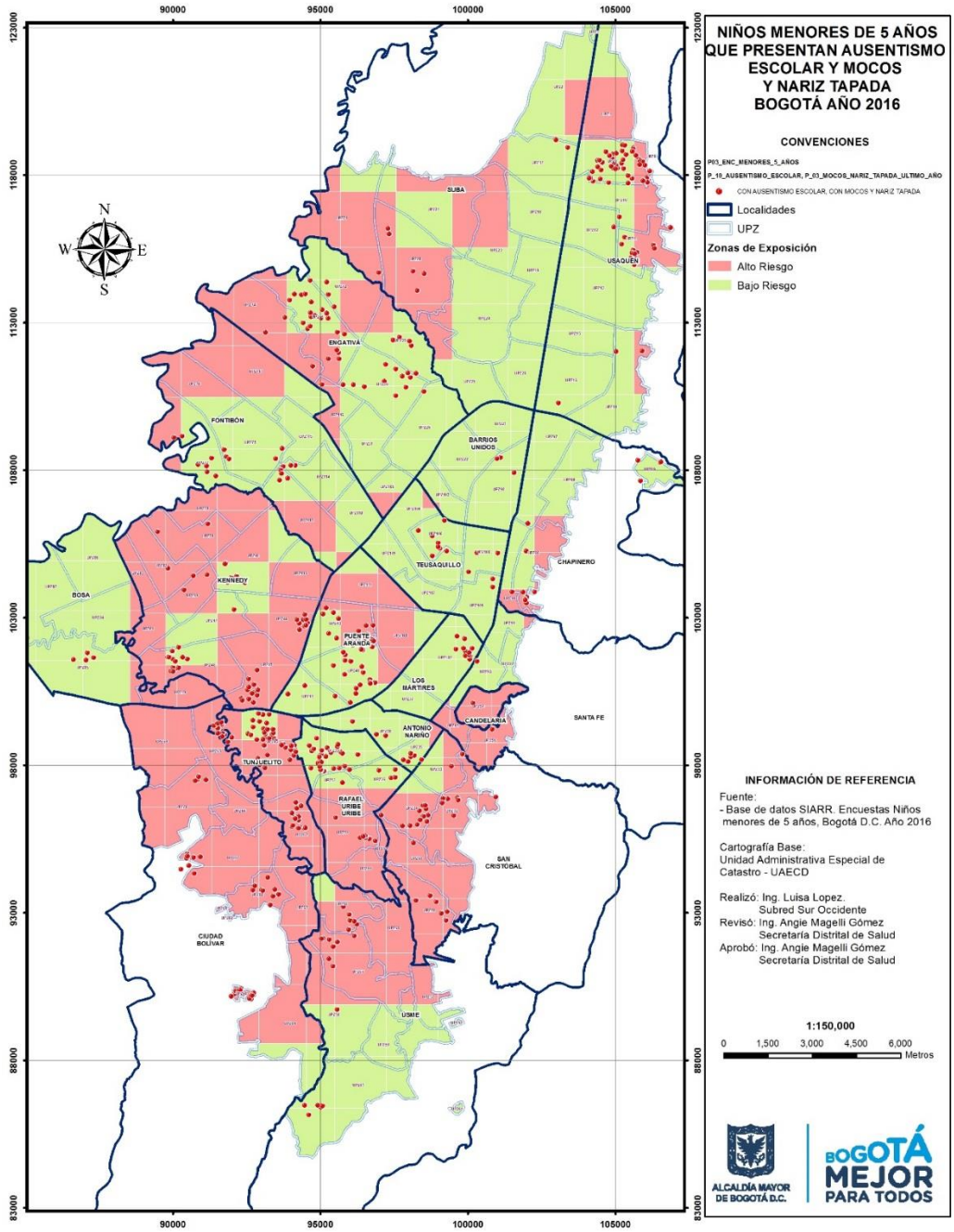


Figura 10-9 Frecuencia de casos de ausentismo escolar por sintomatología respiratoria en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

Tabla 10-3 Razón de prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.

SINTOMAS	Exposición	RP (IC 95%)	p

	Mayor	Menor	Total		
	692	562	1254	1,214	
	29,80%	24,50%	27,20%	(1,104 1,335)	
	693	597	1290	1,145	
	29,80%	26,10%	28,00%	(1,043 1,256)	
	270	216	486	1,233	
	11,60%	9,40%	10,50%	(1,041 1,460)	
	648	547	1195	1,169	
	27,90%	23,90%	25,90%	(1,060 1,290)	
	506	347	853	1,44	
	21,80%	15,10%	18,50%	(1,272 1,630)	
	324	289	613	1,109	
	14,00%	12,70%	13,40%	(0,957 1,285)	
	240	203	443	1,166	
	10,30%	8,90%	9,60%	(0,976 1,393)	
	381	289	670	1,3	
	16,40%	12,60%	14,50%	(1,129 1,498)	

*Estas diferencias son significativas desde el punto de vista estadístico.
Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

En la Tabla 10-3 se observa una asociación estadísticamente significativa entre la unidad centinela de mayor exposición y la aparición de sintomatología respiratoria como mocos y nariz tapada, sibilancias alguna vez, sibilancias en el último año, ausentismo escolar, tos en el último año diferente a gripe y despertar por tos en el último mes, por ejemplo en el caso de los menores que estudian en un colegio o jardín ubicado en una zona de mayor exposición a contaminación del aire se incrementa en un 21,4% la prevalencia de mocos/nariz tapada acompañado por lagrimeo y rasquiña en los ojos en el último año, sibilancias alguna vez en un 14,5%, sibilancias en el último año en un 23,3%, tos en el último año en un 44% y por último ausentismo escolar en un 16,9%, esto se da con respecto a los menores que estudian en una zona de menor exposición a la contaminación del aire. A continuación se analizarán los síntomas sibilancias y tos en el último año y los factores posiblemente asociados a estos.

a) Sibilancias en el último año

Tabla 10-4 Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.

PREVALENCIA DE SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO			
	SI	**NO**	
	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	**Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)**	
Alguien que convive con el menor fuma	118 (11,3%)	928 (88,7%)	1,093 (0,899-1,330)*
Humo de segunda mano	50 (13,6%)	319 (86,4%)	1,319 (1,004-1,733)*
Tabaquismo embarazo	25 (24,3%)	78 (75,7%)	2,372 (1,668-3,372)*
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	133 (15,2%)	743 (84,8%)	1,605 (1,333-1,931)*
Madre fumo durante los dos primeros años de vida del menor	38 (20,2%)	150 (79,8%)	1,996 (1,483-2,687)*
Exposición a sustancias tóxicas	52 (16,1%)	270 (83,9%)	1,597 (1,226-2,080)*
SOCIODEMOGRAFICO			
Sexo Masculino	261 (10,9%)	2142 (89,1%)	1,067 (0,902-1,263)
Bajo Peso al nacer	88 (13,8%)	550 (86,2%)	1,384 (1,116-1,717)*
No lactancia materna exclusiva	43 (11,7%)	326 (88,3%)	1,118 (0,833-1,501)
Déficit cualitativo de vivienda	37 (14,9%)	211 (85,1%)	1,451 (1,064-1,978)*
INTRADOMICILIARIO			
Colecho	230 (12,1%)	1665 (87,9%)	1,145 (0,952-1,377)
Humedad en la vivienda	97 (15,7%)	521 (84,3%)	1,612 (1,312-1,980)*
Animales domésticos en la vivienda	195 (12,5%)	1362 (87,5%)	1,314 (1,108-1,559)*
Fabrica en la vivienda	87 (14,9%)	497 (85,1%)	1,505 (1,213-1,866)*
Secado de ropa Intradomiciliario	214 (11,5%)	1644 (88,5%)	1,167 (0,985-1,382)*
Exposición a tráfico pesado	203 (12,8%)	1385 (87,2%)	1,367 (1,153-1,620)*
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	140 (16,3%)	719 (83,7%)	1,769 (1,475-2,121)*

*Estas diferencias son significativas a nivel estadístico. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética SDS.2016

En la Tabla 10-4 se publica una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de sibilancias en el último año en los menores de cinco años y algunos factores sociodemográficos (Bajo peso al nacer, déficit cualitativo de vivienda), intradomiciliarios (humedad en la vivienda, tenencia de mascotas, fábricas o negocios en la vivienda, secado de ropa intradomiciliario, tráfico pesado a menos de 100 metros de la vivienda y malla vial deteriorada o edificaciones en construcción) y de exposición a tóxicos (Tabaquismo en los hogares, tabaquismo pasivo y tabaquismo en mujeres embarazadas). Para analizar la

asociación de cada uno de los factores evaluados con relación a las sibilancias en el último año se realizó un análisis multivariado usando la regresión logística binaria, los resultados se muestran en la Tabla 10-5.

Tabla 10-5 Análisis multivariado de sibilancias en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.

SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO		
VARIABLE	**COEFICIENTE BETA**	**OR (IC95%)**
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	0,533	1,705 (1,369-2,122)
Tabaquismo embarazo	0,781	2,184 (1,339-3,564)
Humedad en la vivienda	0,347	1,415 (1,104-1,814)
Exposición a tráfico pesado	0,283	1,327 (1,092-1,612)
Colecho	0,317	1,373 (1,064-1,772)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	0,264	1,302 (1,031-1,644)
Exposición a sustancias tóxicas	0,330	1,391 (1,009-1,917)

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Según la organización mundial de la salud (OMS) cada año mueren más de tres millones de menores de cinco años por causas y afecciones relacionadas con el medio ambiente.
De acuerdo a la Tabla 5 no se observó una asociación estadísticamente significativa entre la contaminación atmosférica y la presencia de sibilancias en los menores de cinco años, sin embargo los niños que habitan a menos de 100 metros de vías con tráfico pesado poseen 32,7% veces más probabilidad de presentar sibilancias en el último año, siendo el tráfico vehicular uno de los principales causantes de la contaminación del aire en la ciudad, cabe señalar que de acuerdo a un estudio realizado en Londres la prevalencia de sibilancias, eccema y de asma no se asoció con los niveles de contaminación del aire (Helen E. Wood, 2015), por lo tanto los resultados pueden resultar consistentes. Otros factores a nivel intradomiciliario que resultaron asociados con la aparición de sibilancias son habitar a menos de 100 metros de edificios o vías en construcción, humedad en la vivienda y el colecho. En cuanto a la exposición a tóxicos se observa una asociación estadísticamente significativa entre el tabaquismo durante el embarazo y la presencia de sibilancias en los menores.

b) Tos en la noche aparte de la tos por infecciones respiratorias como gripe, bronquitis o neumonías

La exacerbación de sintomatología respiratoria como la tos, hace parte de los efectos en salud a corto plazo por exposición a contaminación atmosférica, no obstante este síntoma puede estar asociado a otros factores intramurales o sociodemográficos. En la Tabla 5, se muestra que estudiar en una unidad centinela de mayor exposición incrementa la prevalencia de tos en el último año diferente a la tos por gripe en un 44% en los menores de cinco años, sin embargo es necesario analizar otros factores que pueden estar asociados con la aparición de sintomatología respiratoria en los menores de cinco años, estos resultados se observan en la Tabla 6.

Tabla 10-6 Comportamiento de la presencia de tos en el último año respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.

PREVALENCIA DE TOS EN EL ULTIMO AÑO			
	SI	**NO**	
	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	**Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)**	
Alguien que convive con el menor fuma	198 (19,0%)	846 (81,0%)	1,033 (0,895-1,192)
Humo de segunda mano	79 (21,5%)	289 (78,5%)	1,177 (0,958-1,445)
Tabaquismo embarazo	25 (24,3%)	78 (75,7%)	1,321 (0,934-1,869)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	216 (24,7%)	660 (75,3%)	1,443 (1,260-1,653)*
Madre fumo durante los dos primeros años de vida del menor	53 (28,2%)	135 (71,8%)	1,558 (1,230-1,974)*
Exposición a sustancias tóxicas	91 (28,3%)	230 (71,7%)	1,596 (1,326-1,921)*
SOCIODEMOGRAFICO			
Sexo Masculino	456 (19,0%)	1946 (81,0%)	1,070 (0,921-1,241)
Bajo Peso al nacer	138 (21,6%)	500 (78,4%)	1,200 (1,021-1,411)*
No lactancia materna exclusiva	85 (23,0%)	284 (77,0%)	1,271 (1,044-1,548)*
Déficit cualitativo de vivienda	49 (19,8%)	198 (80,2%)	1,077 (0,832-1,394)
INTRADOMICILIARIO			
Colecho	368 (19,4%)	1526 (80,6%)	1,067 (0,930-1,224)
Humedad en la vivienda	152 (24,6%)	466 (75,4%)	1.401 (1,201-1,633)*
Animales domésticos en la vivienda	273 (17,5%)	1283 (82,5%)	0,923 (0,810-1,052)
Fabrica en la vivienda	150 (25,7%)	433 (74,3%)	1,638 (1,265-1,719)*
Secado de ropa Intradomiciliario	421 (22,7%)	1436 (77,3%)	1,445 (1,281-1,631)*
Exposición a tráfico pesado	391 (24,6%)	1196 (75,4%)	1,613 (1,430-1,819)*
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	223 (26,0%)	635 (74,0%)	1,548 (1,355-1,769)*

*Estas diferencias son significativas a nivel estadístico. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de tos en el último año en los menores de cinco años y algunos factores sociodemográficos (Bajo peso al nacer, no lactancia materna exclusiva), intradomiciliarios (humedad en la vivienda, fábricas o negocios en la vivienda, secado de ropa intradomiciliario, tráfico pesado a menos de 100 metros de la vivienda y malla vial deteriorada o edificaciones en construcción) y de exposición a tóxicos (Madre en contacto con fumadores durante el embarazo, Madre fumó durante los dos primeros años de vida del menor y Exposición a sustancias tóxicas).

Para analizar la asociación de cada uno de los factores evaluados con relación a la tos en el último año se realizó un análisis multivariado usando la regresión logística binaria.

Tabla 10-7 Análisis multivariado de tos en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.

TOS EN LA NOCHE EN EL ULTIMO AÑO		
VARIABLE	**COEFICIENTE BETA**	**OR (IC95%)**
Alto nivel exposición material particulado	0,369	1,446 (1,240-1,686)
Edad del menor	-0,006	0,994 (0,988-0,999)
Humedad en la vivienda	0,256	1,292 (1,051-1,589)
Exposición a tráfico pesado	0,528	1,696 (1,453-1,978)
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	0,440	1,552 (1,295-1,860)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	0,320	1,377 (1,146-1,654)
Exposición a sustancias tóxicas	0,428	1,535 (1,180-1,995)

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Al realizar el análisis de los factores asociados, las sibilancias no mostraron una asociación estadísticamente significativa con la alta exposición a contaminación del aire en la unidad centinela, sin embargo para el síntoma tos se observa que los menores que estudian en un jardín o colegio de mayor exposición a contaminación del aire tienen 44,6% más probabilidad de presentar tos diferente a infecciones respiratorias en el último año con respecto a los menores que estudian en una zona de menor exposición. Otros factores relacionados con la contaminación del aire extramural y que se encuentran asociados a tos en la noche son la exposición a tráfico pesado y edificaciones en construcción, vías en construcción o vías no pavimentadas. En cuanto a la contaminación intramuros se observó una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de tos y la presencia de humedad en la vivienda, siendo este un problema común en los hogares de las distintas localidades de Bogotá. Por último la exposición a tóxicos como el cigarrillo continúa siendo un factor asociado a la presencia de tos en los menores de cinco años, siendo esto un hecho preocupante ya que el tabaquismo pasivo en mujeres embarazadas es causa de insuficiencia ponderal del recién nacido y en los lactantes provoca muerte súbita, además de acuerdo a cifras de la OMS en el año 2004, los niños representaron el 28% de las defunciones atribuibles al humo de tabaco ajeno.

10.4 VIGILANCIA AMBIENTAL

10.4.1 ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PM10 SEGÚN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD –OMS

Para el año 2016 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá reporto un total de 3432 datos válidos de material particulado PM_{10}. Los datos fueron reportados por 11 estaciones las cuales fueron: Guaymaral, Suba, Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Min Ambiente, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal - Sevillana, Tunal y San Cristóbal.

Las estaciones que registraron las mayores excedencias teniendo como referencia la guía Organización Mundial de la Salud, la cual sugiere concentraciones de 50 µg/m^3; fueron Kennedy 6% (n=207) y Carvajal con un 5,9% (n=203), y Puente Aranda con un 4,7% (n=161) con respecto al total de datos diarios.

Adicionalmente, en el Distrito se reportaron un total de 1105 excedencias de los promedios diarios respecto a la guía OMS de 50 µg/m3 representando un 32% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 10-10.

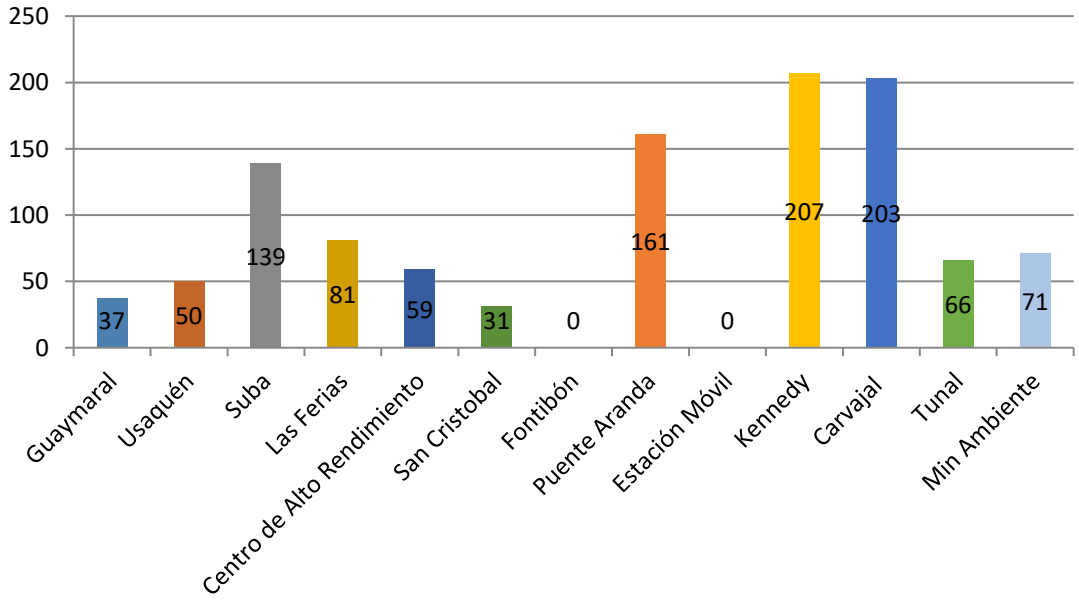


Figura 10-10 Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2016
(Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.)

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas se observa en las Figura 10-11y Figura 10-12la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en Bogotá, en donde de forma histórica se presentan dos picos de excedencias, el primero en los meses de febrero y marzo y el segundo en los meses de

octubre y noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. Es así que, en los 365 días del año, entre el 2011 y el 2016 en promedio el 37% de los días excede la recomendación dada por la OMS de 50 ug/m^3.

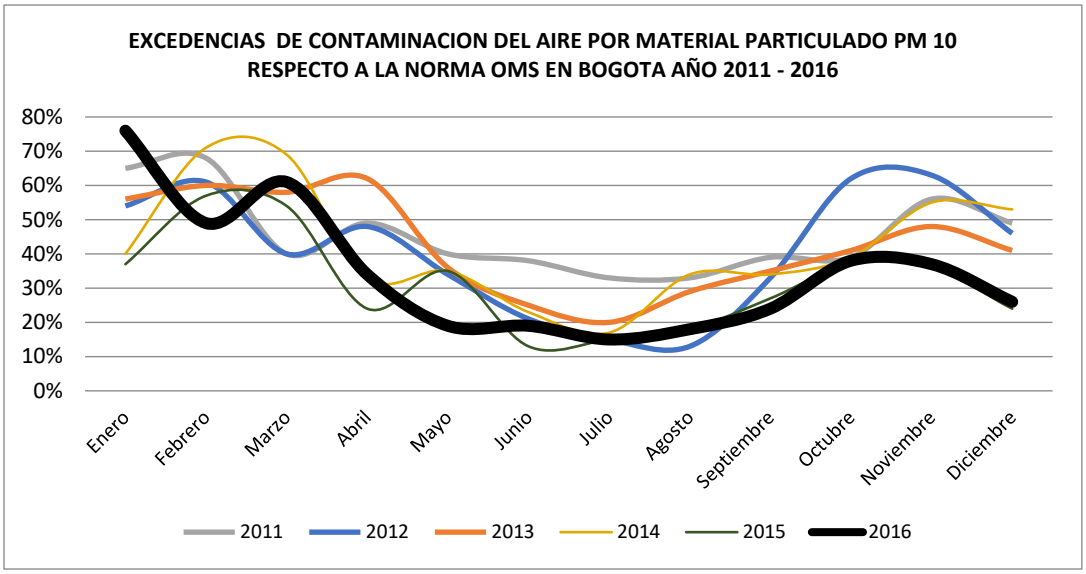


Figura 10-11 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)

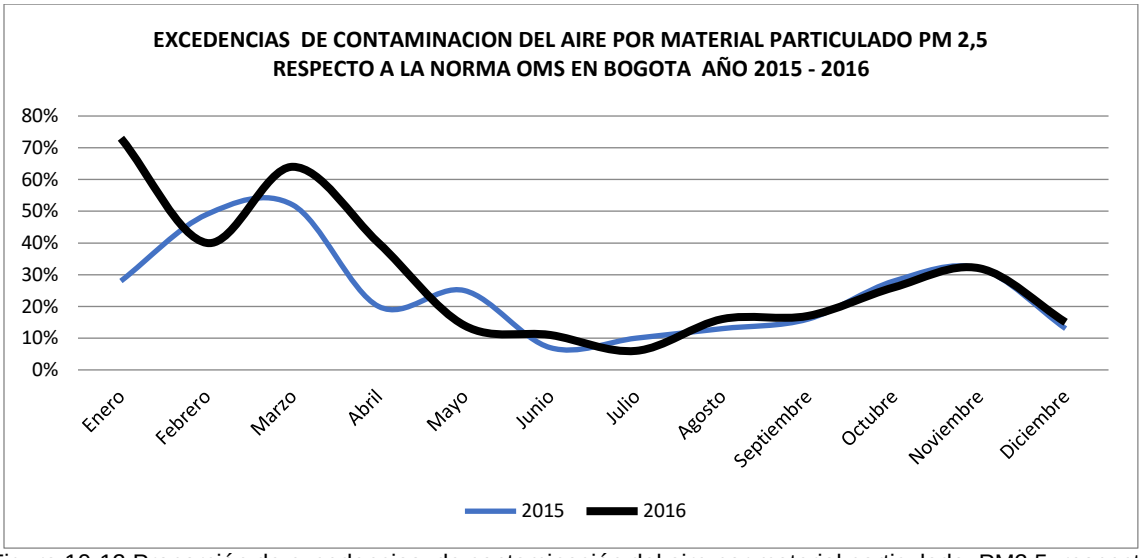


Figura 10-12 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)

10.4.2 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE

Para la evaluación del riesgo en salud que se deriva de los altos niveles de contaminantes criterio, no solamente se deben tener en cuenta las concentraciones, ya que éstas afectan de una manera desigual a la población expuesta. Por tanto, ciertos grupos vulnerables son más propensos a sufrir los efectos negativos de la contaminación del aire. Estos grupos vulnerables son los niños menores de 14 años, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con patología respiratoria y cardiovascular. Por lo anterior la Secretaría Distrital de Ambiente y el Secretario de Salud emiten la Resolución Conjunta 2410 de 2015 "por medio de la cual se establece el índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA- para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones"; adicionalmente y como complemento al IBOCA, mediante Resolución 595 de 2015 "se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire".

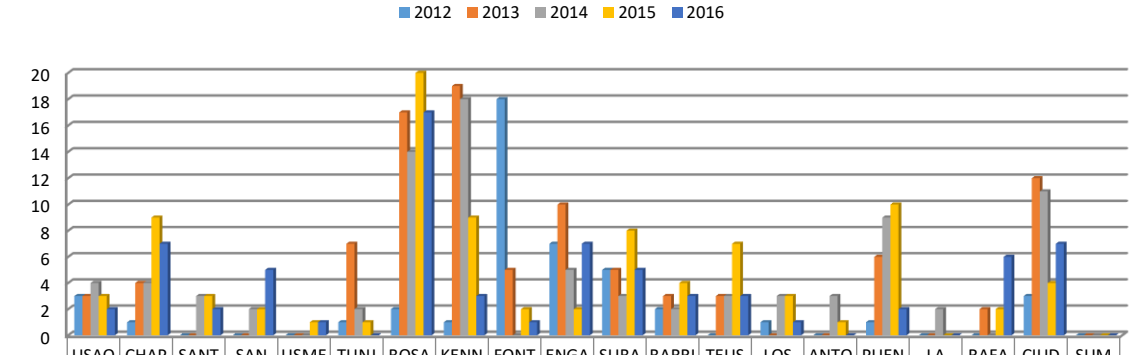
El índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA- es un indicador que tiene como propósito indicar el estado de la calidad del aire de la ciudad, las potenciales afectaciones en la salud de dicho estado, las recomendaciones de salud para evitar o contrarrestar tales impactos y las medidas multisectoriales que deben desarrollarse en caso de que los niveles de contaminación correspondan a estados de alerta o emergencia.

De acuerdo con las disposiciones establecidas en los artículos 9, 10 y 11 de la Resolución 2410 de 2015 la Secretaría Distrital de Salud en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente generaron el manual de identidad del Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA que se encuentra disponible en el siguiente link http://201.245.192.252:81/App_AQI/AQI.es-CL.pdf.

Es así, que en el marco de la Resolución 2410 de 2015 la Secretaria Distrital de Salud, por medio de las estrategias del Plan de Intervenciones Colectivas capacitó en el año 2016 a 10.188 personas de la comunidad, con el fin de divulgar el IBOCA y las recomendaciones en salud establecidas para cada nivel.

10.5 VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta de las quejas recibidas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que están afectando la salud; para el año 2016 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 199 quejas en el Distrito Capital, de las cuales 74 se relacionaron con contaminación del aire por material particulado y las restantes se atendieron por problemas de olores. Figura 10-13



	USAQUEN	CHAPINERO	SANTA FE	SAN CRISTOBAL	USME	TUNJUELITO	BOSA	KENNEDY	FONTIBON	ENGATIVA	SUBA	BARRIOS UNIDOS	TEUSAQUILLO	LOS MARTIRES	ANTONIO NARIÑO	PUENTA ARANDA	LA CANDELARIA	RAFAEL URIBE	CIUDAD BOLIVAR	SUMAPAZ
2012	3	1	0	0	0	1	2	1	18	7	5	2	0	1	0	1	0	0	3	0
2013	3	4	0	0	0	7	17	19	5	10	5	3	3	0	0	6	0	2	12	0
2014	4	4	3	2	0	2	14	18	0	5	3	2	3	3	3	9	2	0	11	0
2015	3	9	3	2	1	1	20	9	2	2	8	4	7	3	1	10	0	2	4	0
2016	2	7	2	5	1	0	17	3	1	7	5	3	3	1	0	2	0	6	7	0

Figura 10-13 Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2016.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

Las 74 quejas atendidas en el año 2016 equivalen a una reducción del 19% con respecto a las atendidas en el año 2015. La atención de estas quejas permitió encuestar a un total de 330 personas. Las quejas se dan al interior de 16 localidades y abarcan 46 unidades de planeación zonal. Respecto a las localidades con mayor reporte de quejas se encuentran en su orden: Bosa con un 23% del total de quejas (n=17), Chapinero, Engativá y Ciudad Bolívar cada una con el 9% (n=7); las localidades de Tunjuelito, Antonio Nariño y Candelaria no reportaron quejas para el año 2016. La descripción de las quejas resalta que el 80% (n=59) se fundamentan por fuentes fijas (talleres, parqueaderos, asaderos y restaurantes, fabricas, entre otros); el 12% (n=9) corresponde a fuentes de contaminación como las generadas en incendios forestales, quemas a cielo abierto, vías de alto flujo vehicular y vías sin pavimentar y finalmente un 8% (n=5) se presentaron al interior de instituciones educativas, empresariales y comerciales. Por estas problemáticas se ven afectados 1113 personas de las cuales el 59% (n=661) son menores de 14 años. En cuanto a factores externos adicionales que resultan ser de exposición para los residentes se tiene que para el 38% del total de quejas existen edificaciones en construcción, vías en construcción o vías no pavimentadas a menos de una cuadra o 100 metros de la vivienda, en cuanto a condiciones intra-domiciliarias para el 25% de viviendas y/o instituciones donde se llevó a cabo la encuesta se encuentra que alguna persona fuma, para el 17% de las viviendas se tiene hongos o humedades en alguna superficie (techo, pared, piso) y en un 9% hay presencia de roedores y/o cucarachas en la vivienda. El total de personas encuestadas es de 330 con una media de edad de 45 años en cuanto a la percepción de contaminación del aire dentro del hogar el 81% la percibe bien sea en forma de Humo 66%, olores 42%, polvo 31%, vapores 11% y/o en forma de gas 9%. El 50% de los encuestados manifiestan tener fuentes adicionales de contaminación como alcantarillado, mala disposición de basuras, canales de aguas lluvias, ruido, antenas de telefonía celular, entre otros. Finalmente, el 85%

de los encuestados considera que la contaminación del aire le ha afectado de alguna manera su estado de salud, al presentar síntomas como dolor de cabeza, irritación de vías respiratorias superior e inferior, tos, gripas más frecuentes entre otros. En cuanto a las quejas por exposición a contaminación del aire en actividades económicas de los 46 encuestados el 91 % percibe contaminación del aire dentro de su lugar de trabajo por olores, el 58% por humo, 60% por polvo y el 8% por vapores. Al evaluar la percepción del estado de salud de los trabajadores se tiene que el 82% ha sentido alguna molestia o alteración en su estado de salud debido a la exposición a contaminación del aire dentro del lugar de trabajo al presentar síntomas como tos, dolor de cabeza, irritación de los ojos, dificultad para respirar entre otros. Es importante resaltar que el 21% (n=10) de los trabajadores ha faltado al trabajo por presentar alguno de dichos síntomas.

BIBLIOGRAFÍA

Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0.* King's College London.

Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

European Comission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.

Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.*

NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966

NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.* Ginebra.

R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.* Vienna, Austria. Obtenido de http://www.R-project.org/

SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).* Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/

U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).*

U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI).* Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment.*

Alvarez-Sala, W. J. (2011). *Neumología clínica.* Elsevier.

Helen E. Wood, N. M. (2015). Effects of Air Pollution and the Introduction of the London Low Emission Zone on the Prevalence of Respiratory and Allergic Symptoms in Schoolchildren in East London: A Sequential Cross-Sectional Study. *Journal PLoS ONE*, 1-12.

Luis JorgeHernández, G. Y. (2012). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. *Sociedad Colombiana de Pediatria*, 124-138.

Pedro Iván Solarte MD, M. C. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*.

Y. Ishihara, M. N. (2016). Effect Of Particulate Matter Air Pollution On The Health Status, Respiratory Symptoms, And Lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine; New York*, 193.

GLOSARIO

Aire: fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.
Aire cero: es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo. La purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.
Agentes contaminantes convencionales: se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, dióxido de nitrógeno).
Analizador: equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.
Anemómetro: instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.
Aseguramiento de la Calidad (AC): sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].
Auditoría: evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].
Bandera: registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.
Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.
Bitácora: libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.
Calibración: conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.
Cilindro de gas patrón certificado: es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.
Concentración de fondo: fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.
Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.
Condiciones normales para normas de calidad del aire: las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.
Contaminación atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.
Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
Diagrama de caja (*box-plot*): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (µg/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{\mathrm{C}[\mathrm{ppm}] \times \mathrm{PM}}{24{,}466} \times 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:
$\mathrm{C}\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
$\mathrm{C}[\mathrm{ppm}]$= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24,466 = Volumen de una kmol en m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.
Episodio de contaminación: es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
Equipo para Calibración: es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
Estabilidad atmosférica: característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.
Estación de monitoreo: es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
Estándar de calidad del aire: valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
Excedencia: una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.
Gas de calibración: término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.
Generador de aire cero: dispositivo utilizado para generar aire cero.
Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos

situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.
Índice: expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.
Isohuma: línea que une puntos con un mismo valor de humedad relativa sobre un plano.
Isotaca: línea trazada en un mapa que une los puntos de igual velocidad del viento.
Isoterma: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.
Isoyeta: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.
Material particulado: término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.
Media aritmética: es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.
Media móvil: se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de *n* datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.
Método equivalente: es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.
Método de referencia: es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.
Monitoreo: en el sentido más amplio de la palabra, medición continua para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.
Nivel Normal (Nivel I): es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
Nivel de exposición: concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.
Nivel de Prevención (Nivel II): es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.
Nivel de Alerta (Nivel III): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.
Nivel de emergencia (Nivel IV): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.
Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire,

establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Obstáculo: elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio anual: promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.

Promedio diario: promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.

Promedio Geométrico: antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{\text{prom geom}} = 10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \log(C_i)}{n}\right]} \quad \text{para } i = 1,2,3 \ldots, n$$

Donde:

$C_{\text{prom geom}}$: Promedio geométrico de concentración

$\sum_{i=1}^{n} \log(C_i)$: Suma de los n logaritmos de los valores de concentración del contaminante i.

$10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \log(C_i)}{n}\right]}$: Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los “n” valores de concentración del contaminante i.

Protocolo: plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetitividad: grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Captura de datos: grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.
Sustancias Peligrosas: son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.
Toma-muestras: conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
Unidades: Las unidades más utilizadas son:
mg/m^3: miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: microgramos por metro cúbico.
ppm: partes por millón.
ppb: partes por billón.
Validación: confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

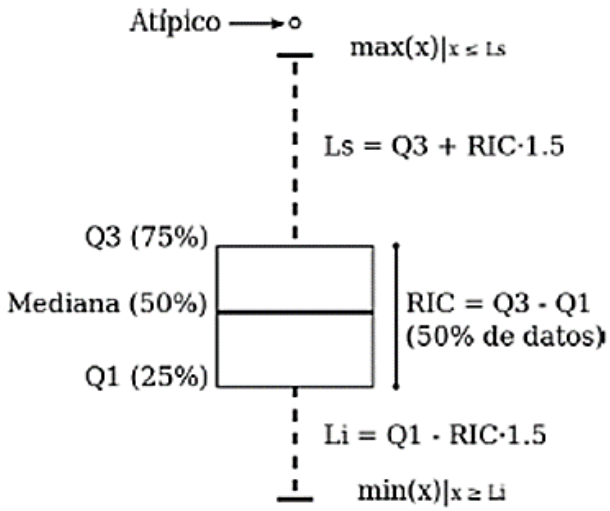


Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu g/m^3$, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{M * P}{\overline{R} * T} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{R}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{Pa.m^3}{mol.K}$
T: temperatura absoluta [K]

A. Calendarios de concentraciones diarias

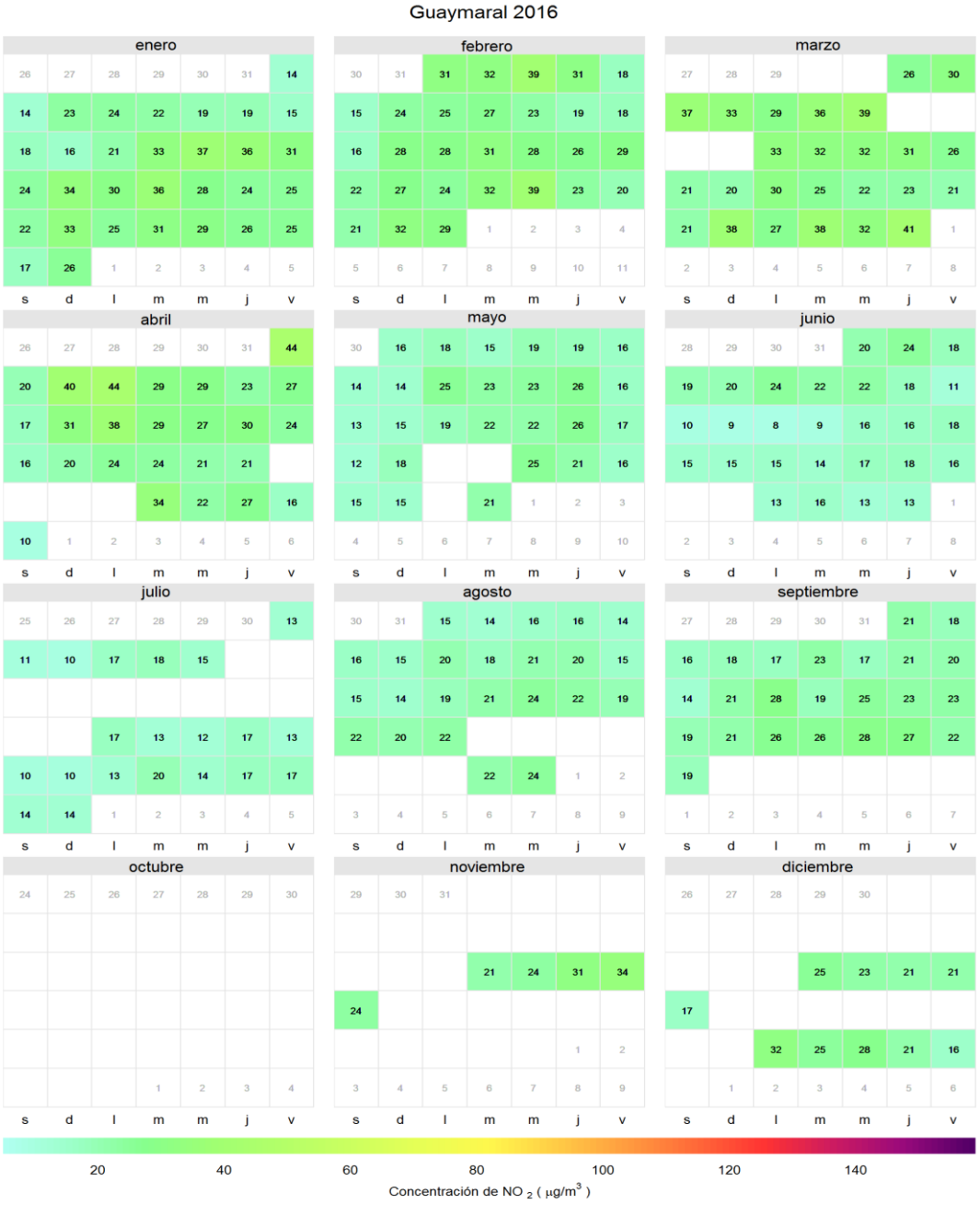


Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Guaymaral

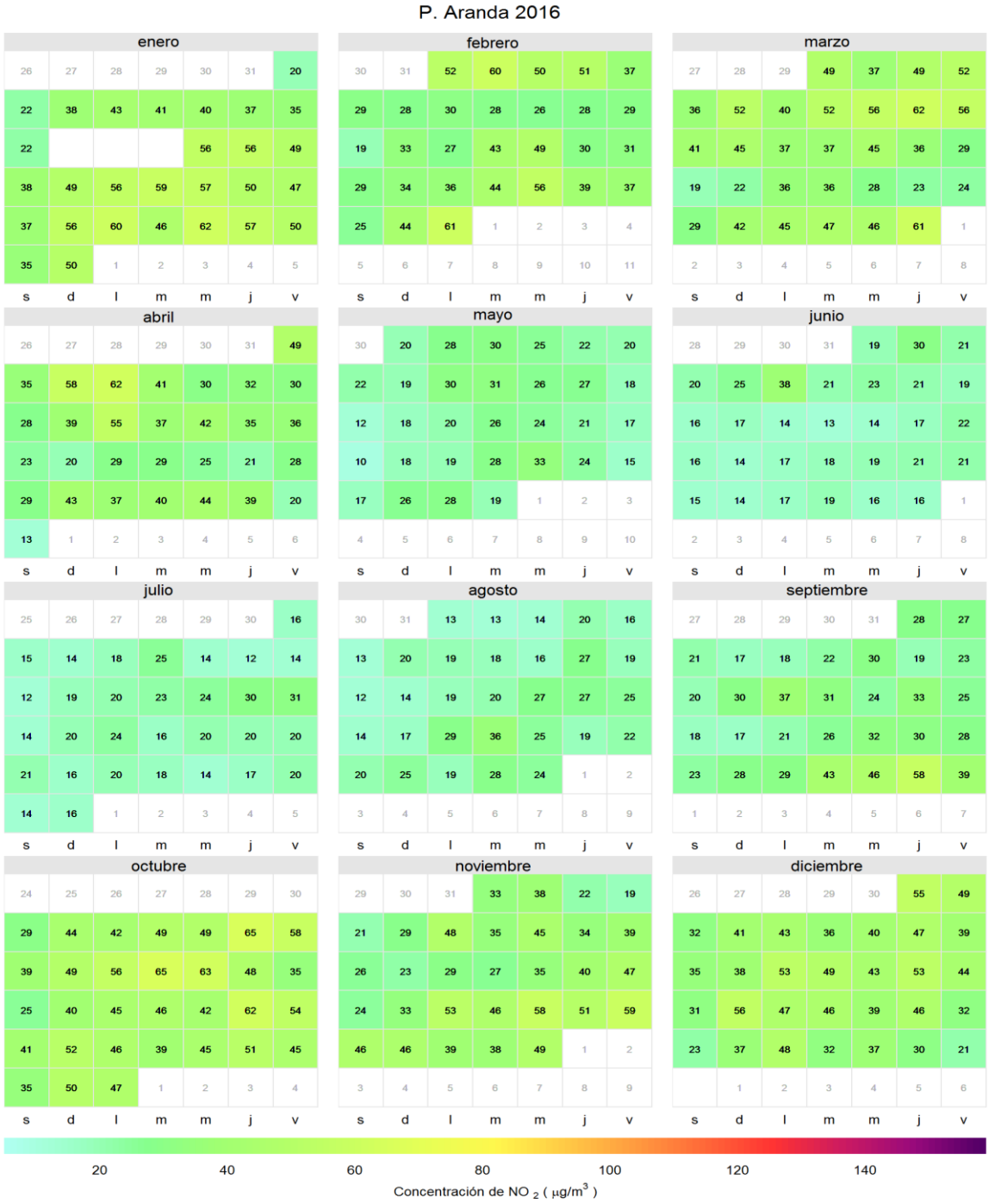


Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Puente Aranda

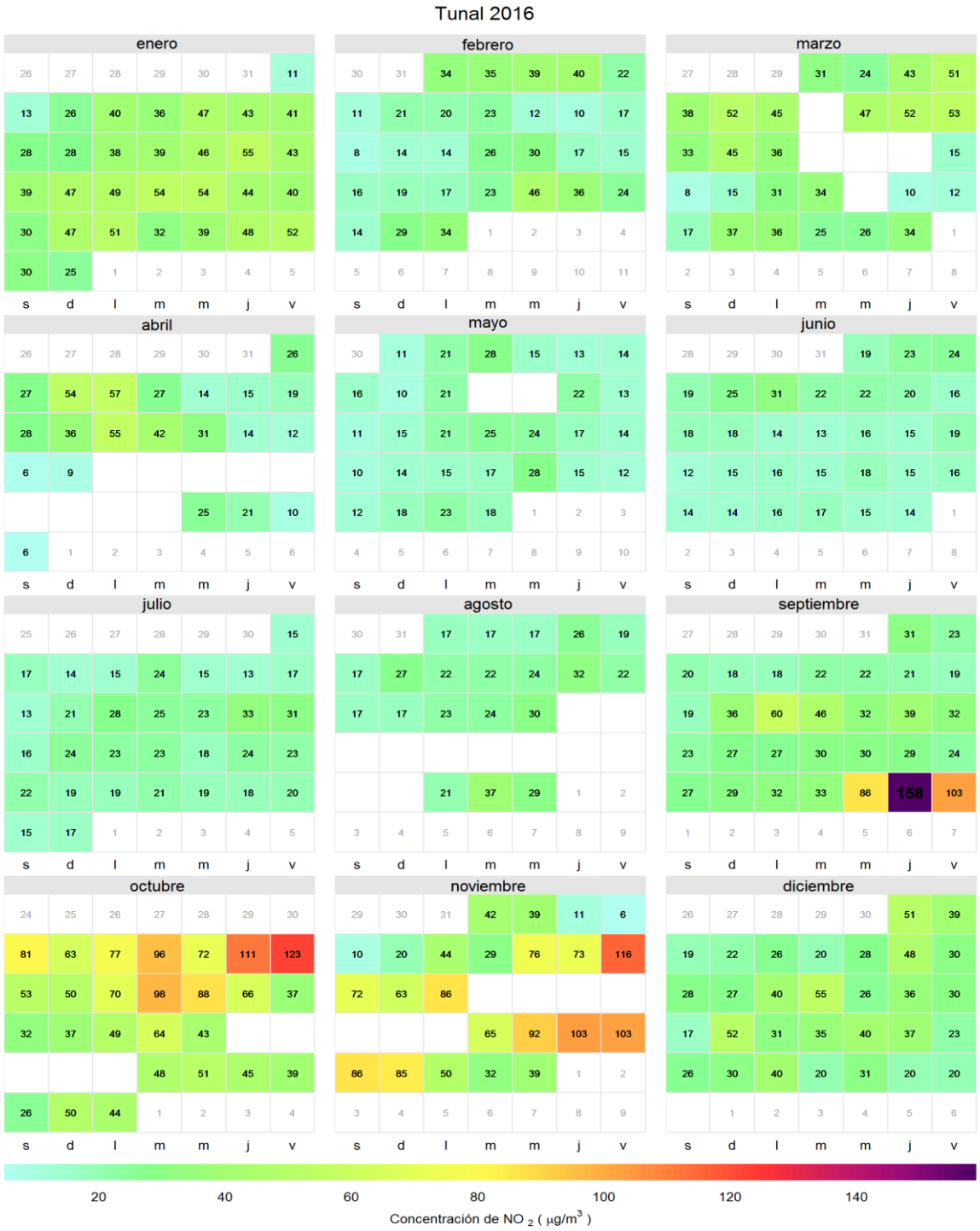


Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Tunal

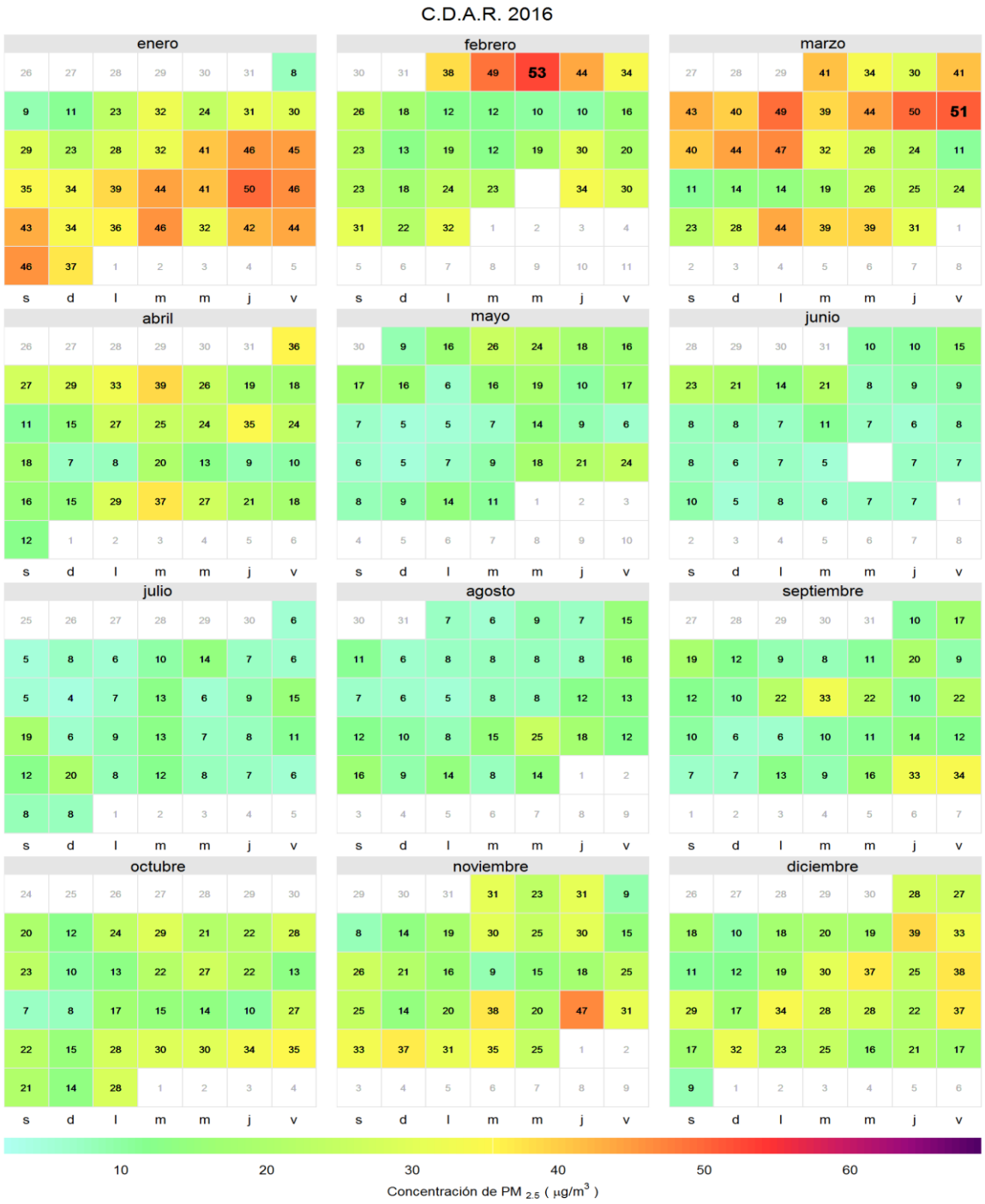


Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de NO_2 Centro de Alto Rendimiento

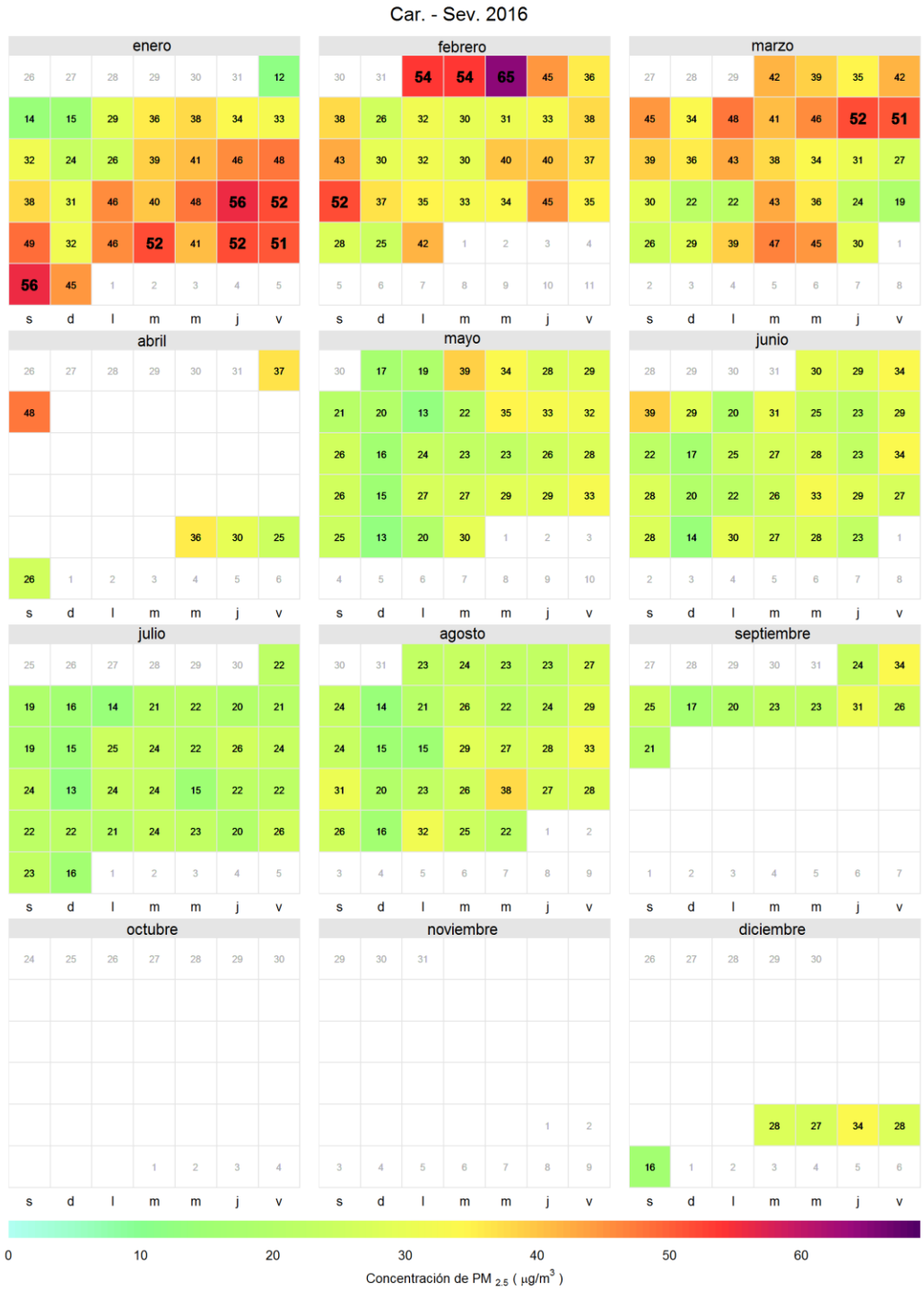


Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Carvajal-Sevillana

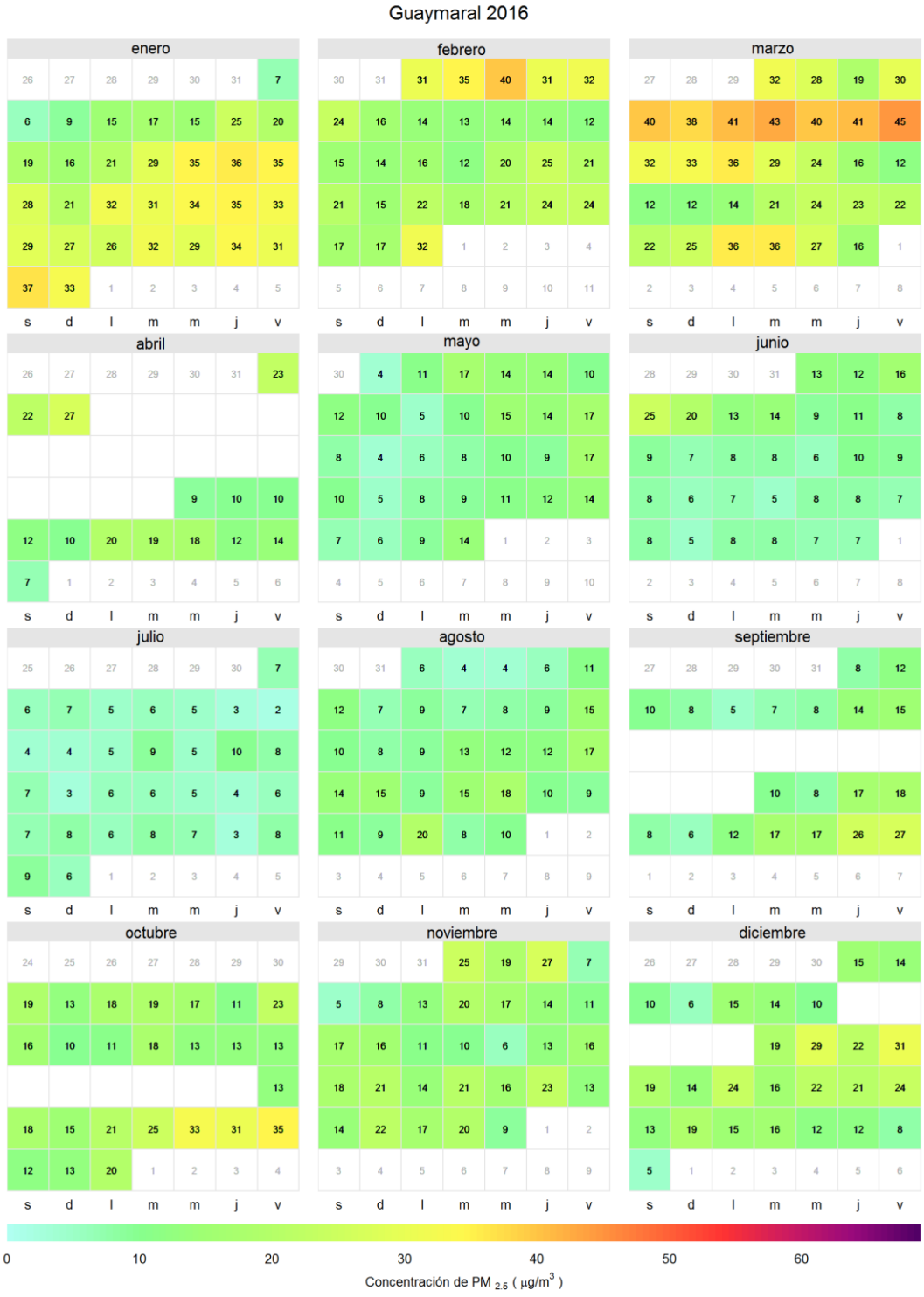


Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Guaymaral

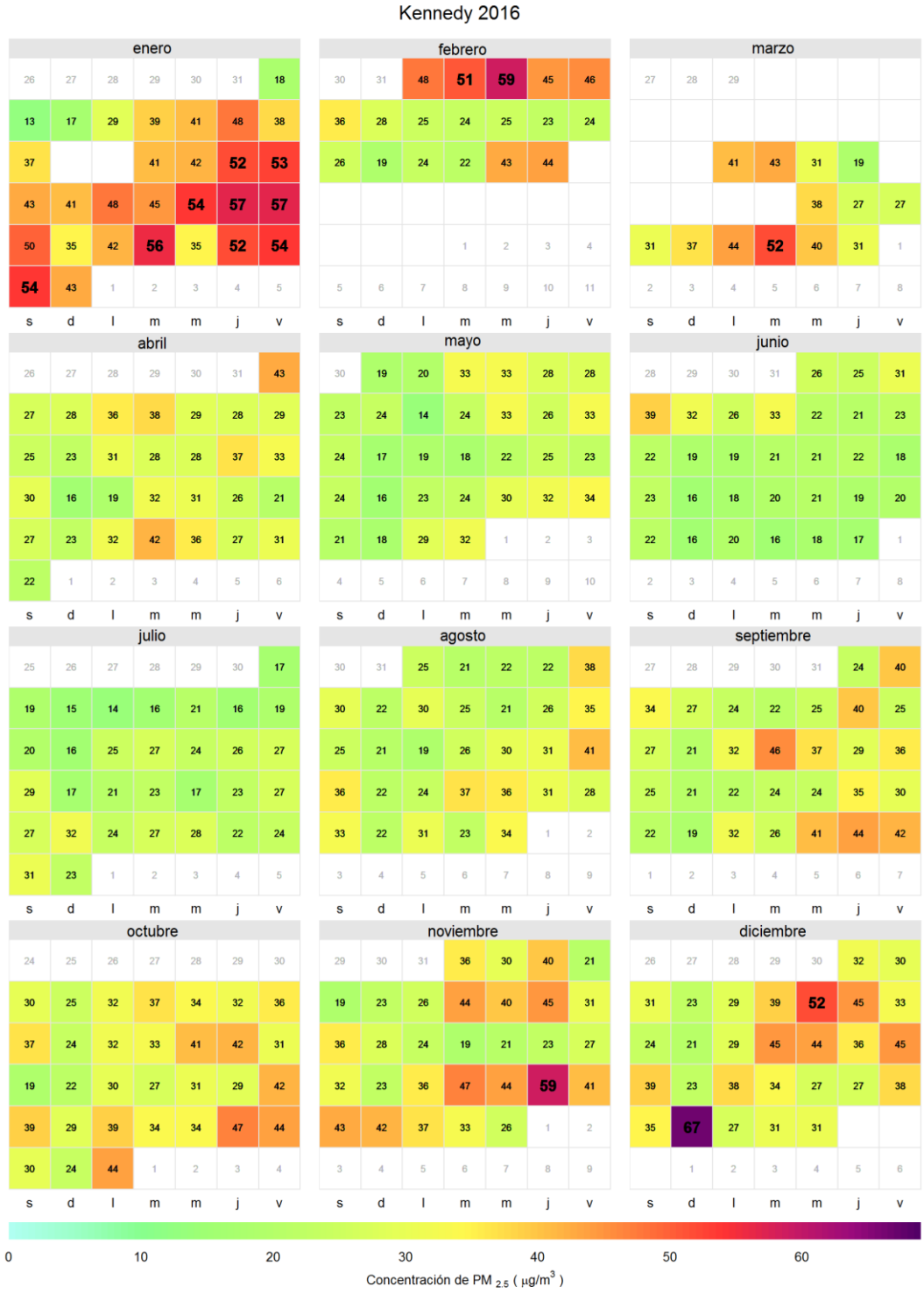


Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Kennedy

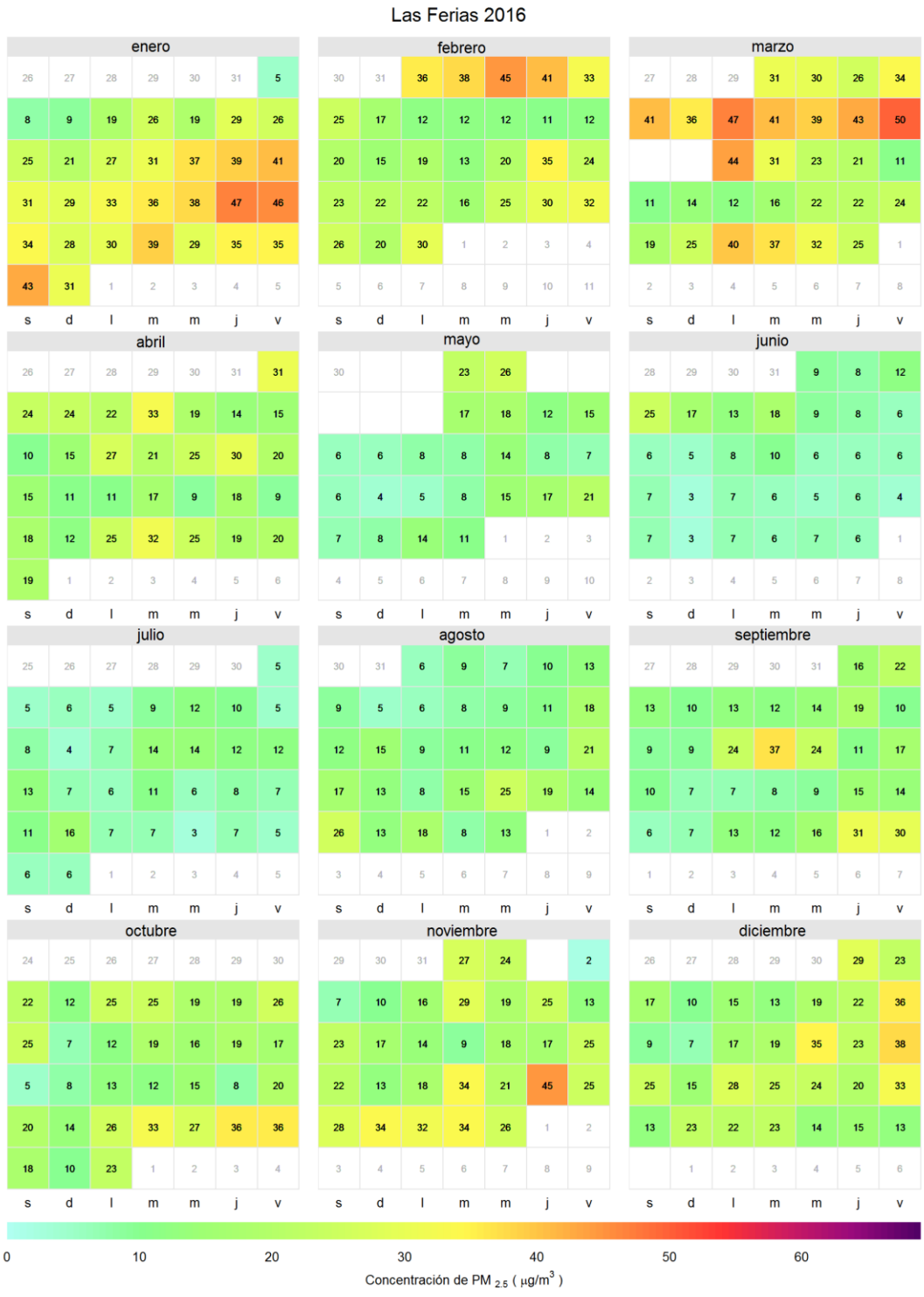


Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Las Ferias

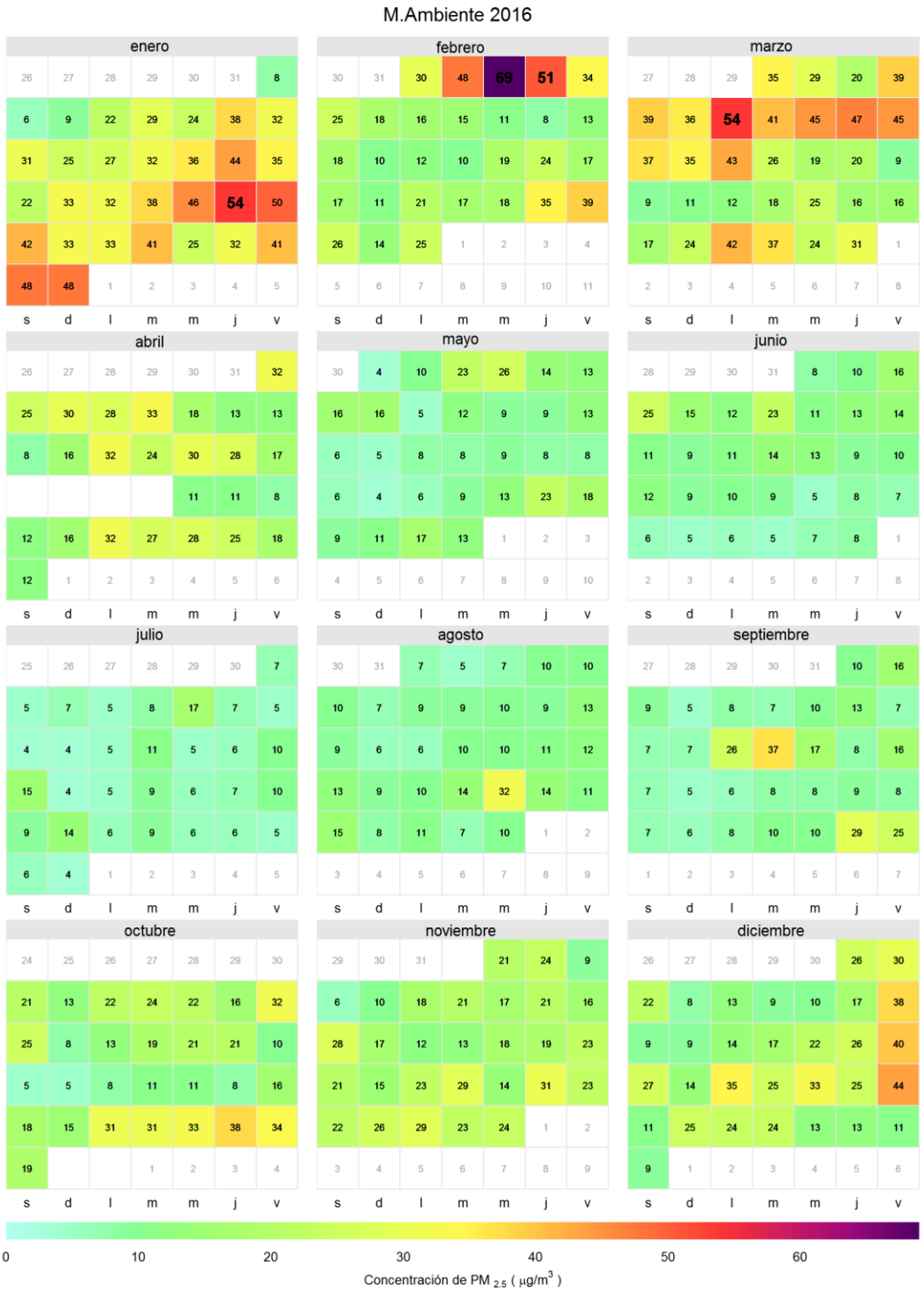


Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Min. Ambiente

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

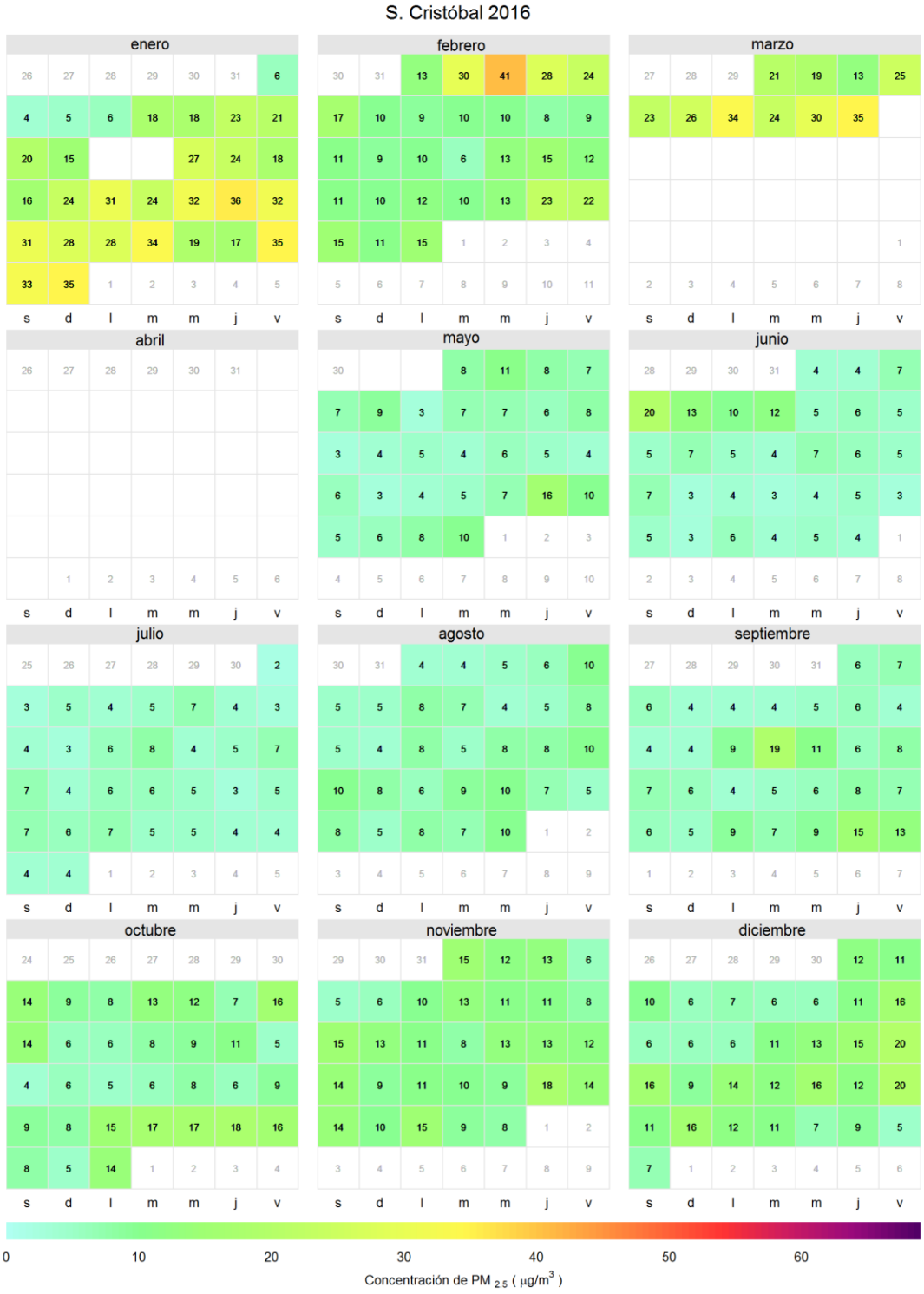


Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM2.5 San Cristóbal

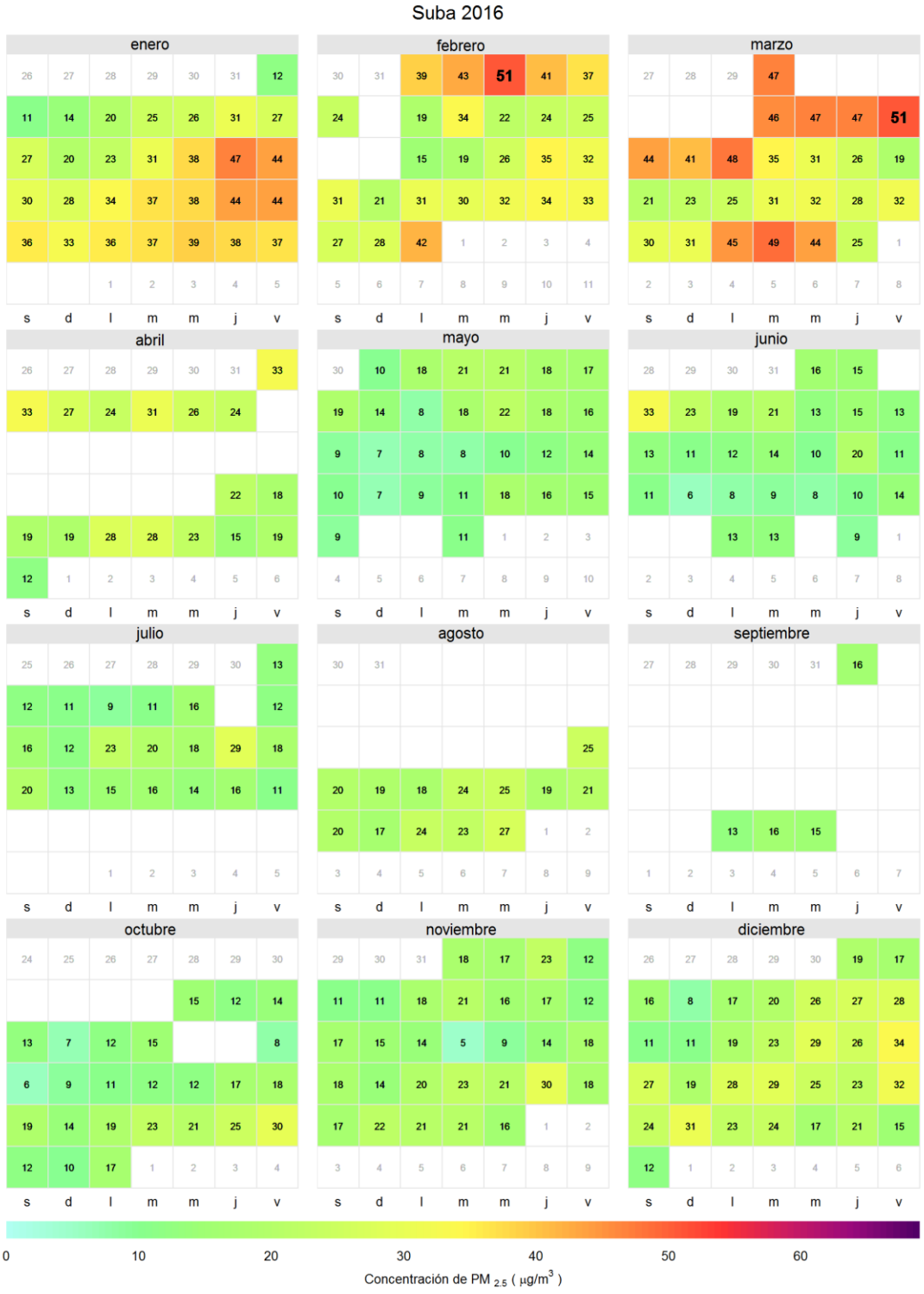


Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Suba

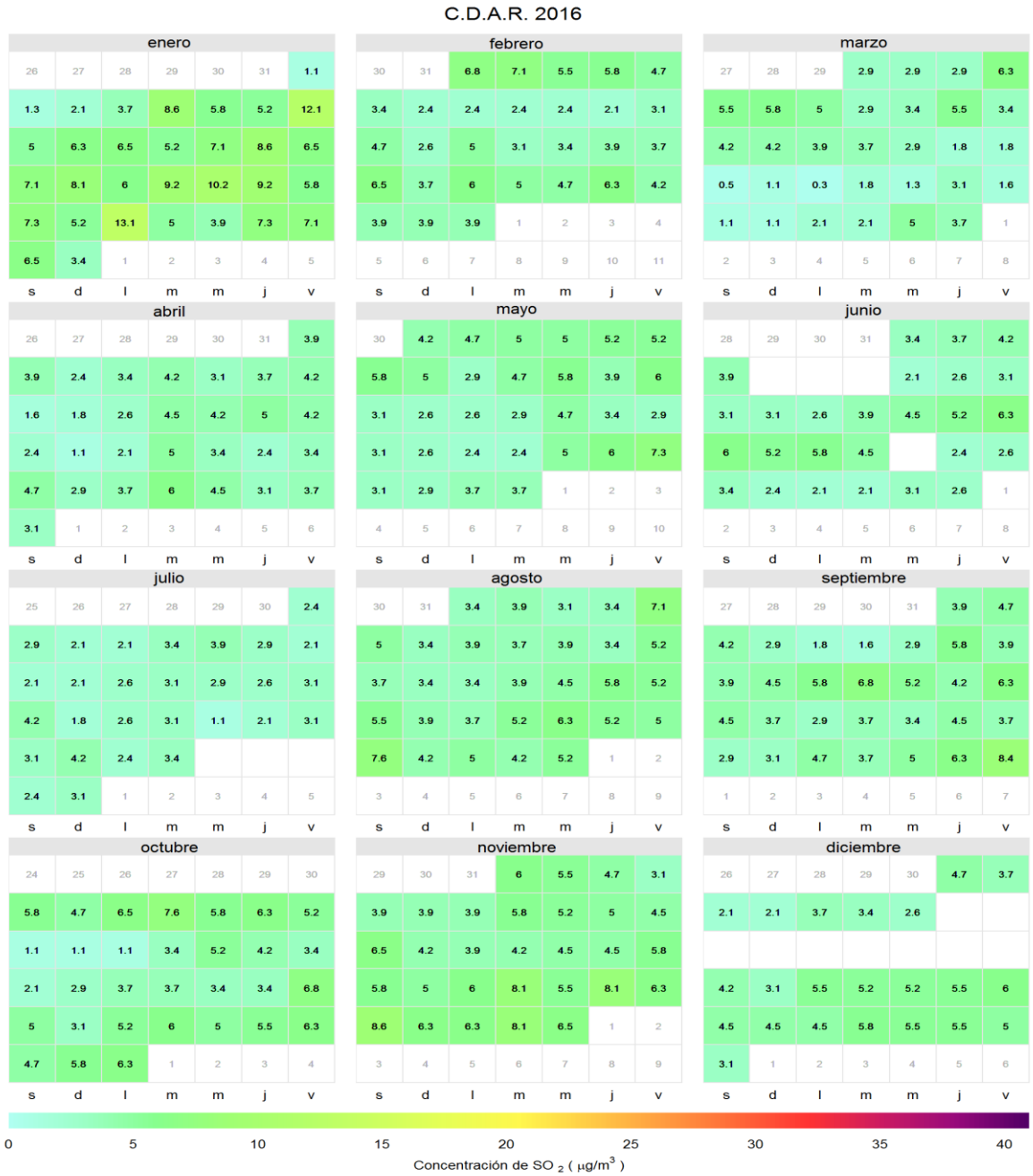


Figura 0-13 Calendario de Concentraciones Diarias de SO2 Centro de Alto Rendimiento



Figura 0-14 Figura 0-15 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 Kennedy

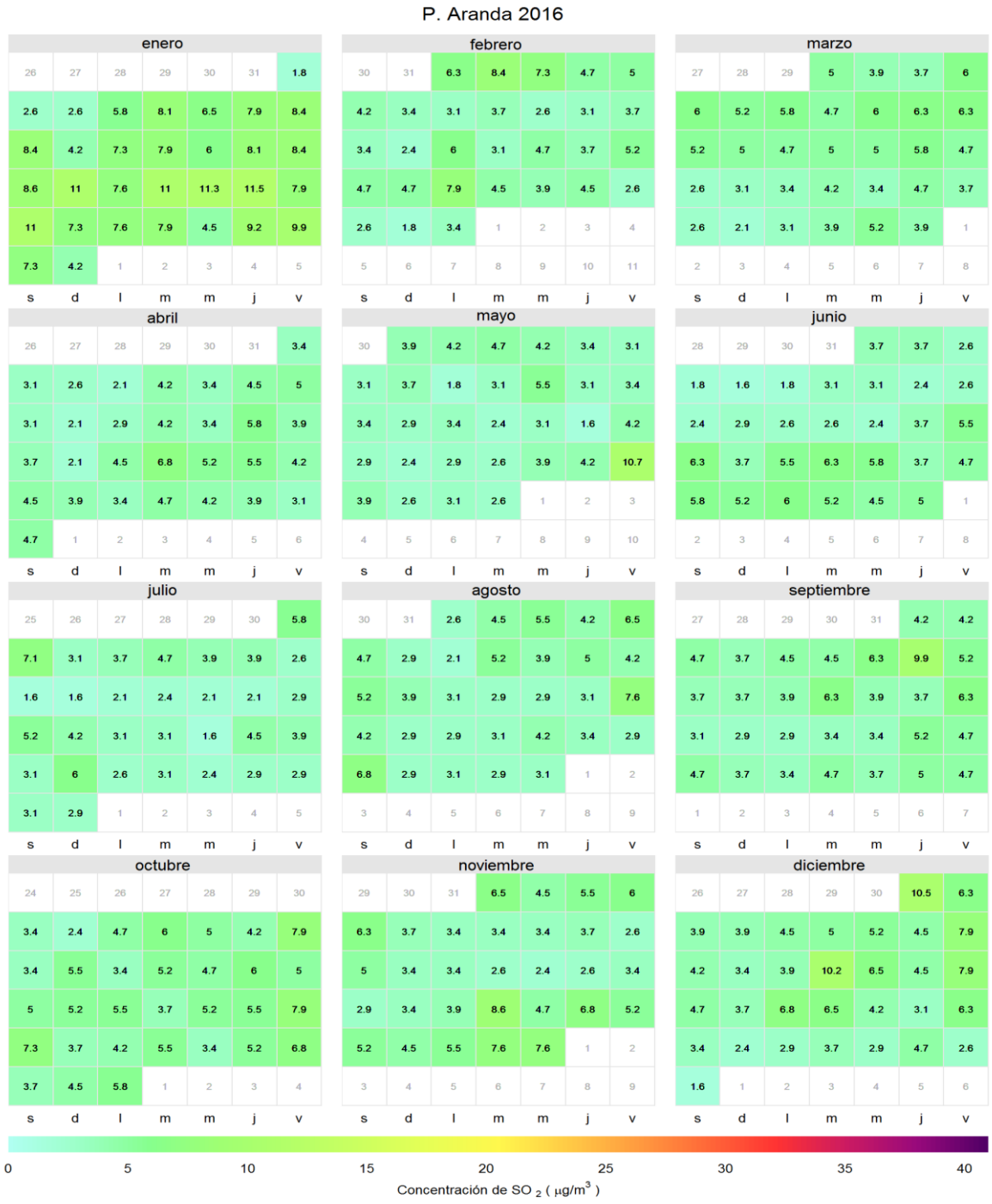


Figura 0-16 Figura 0-17 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 Puente Aranda

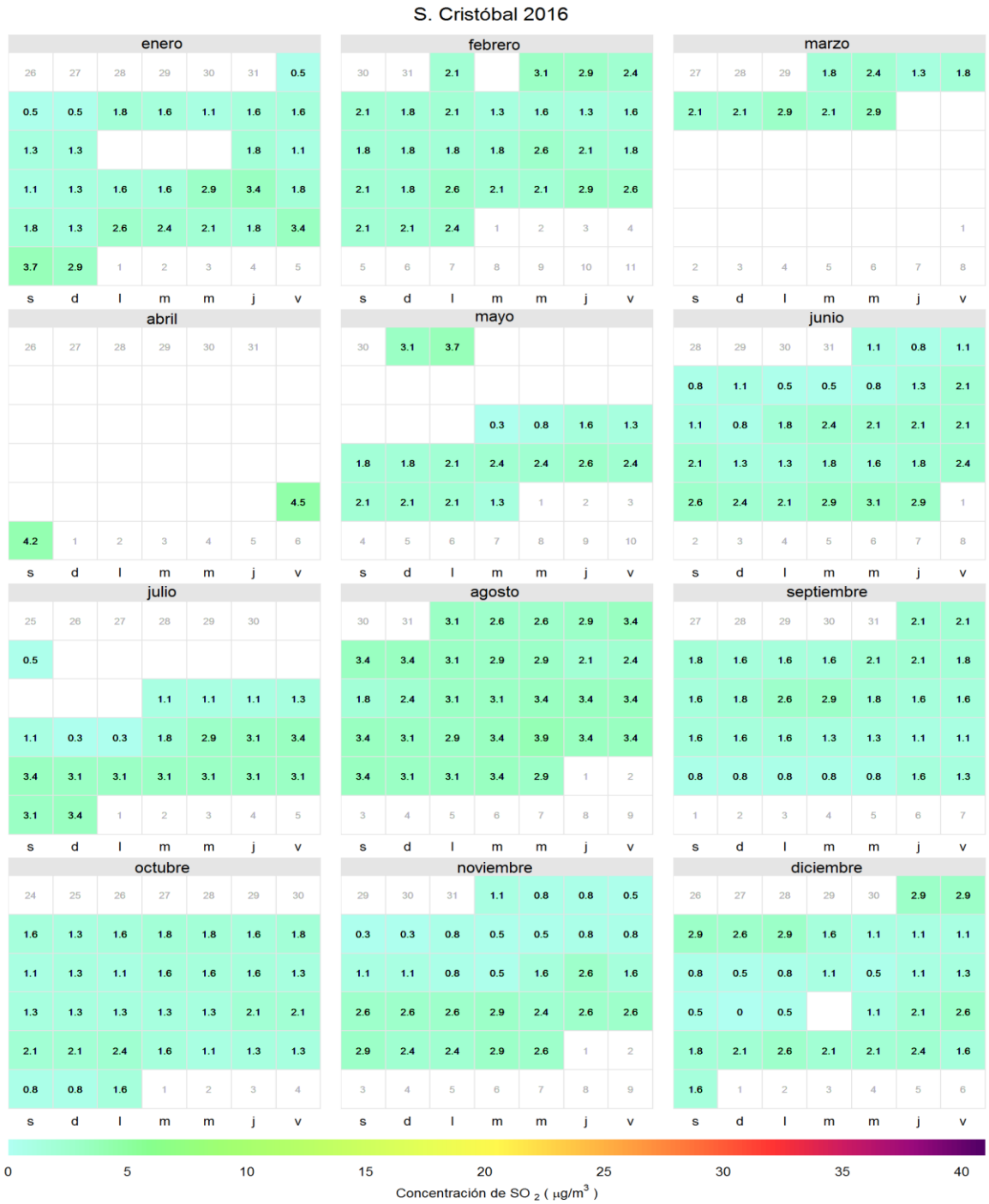


Figura 0-18 Calendario de Concentraciones Diarias de SO_2 San Cristóbal

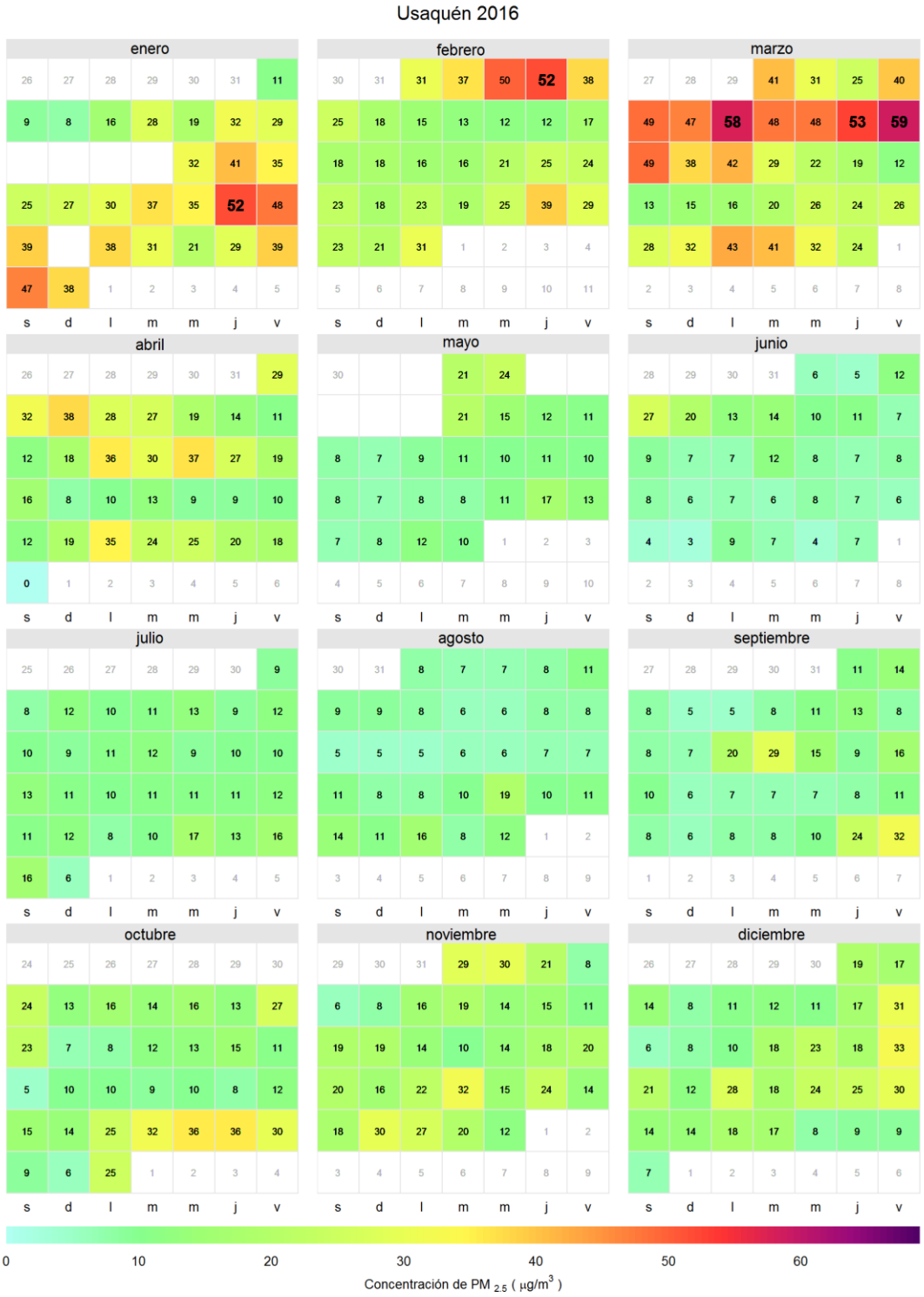


Figura 0-19 Calendario de Concentraciones Diarias de PM2.5 Usaquén

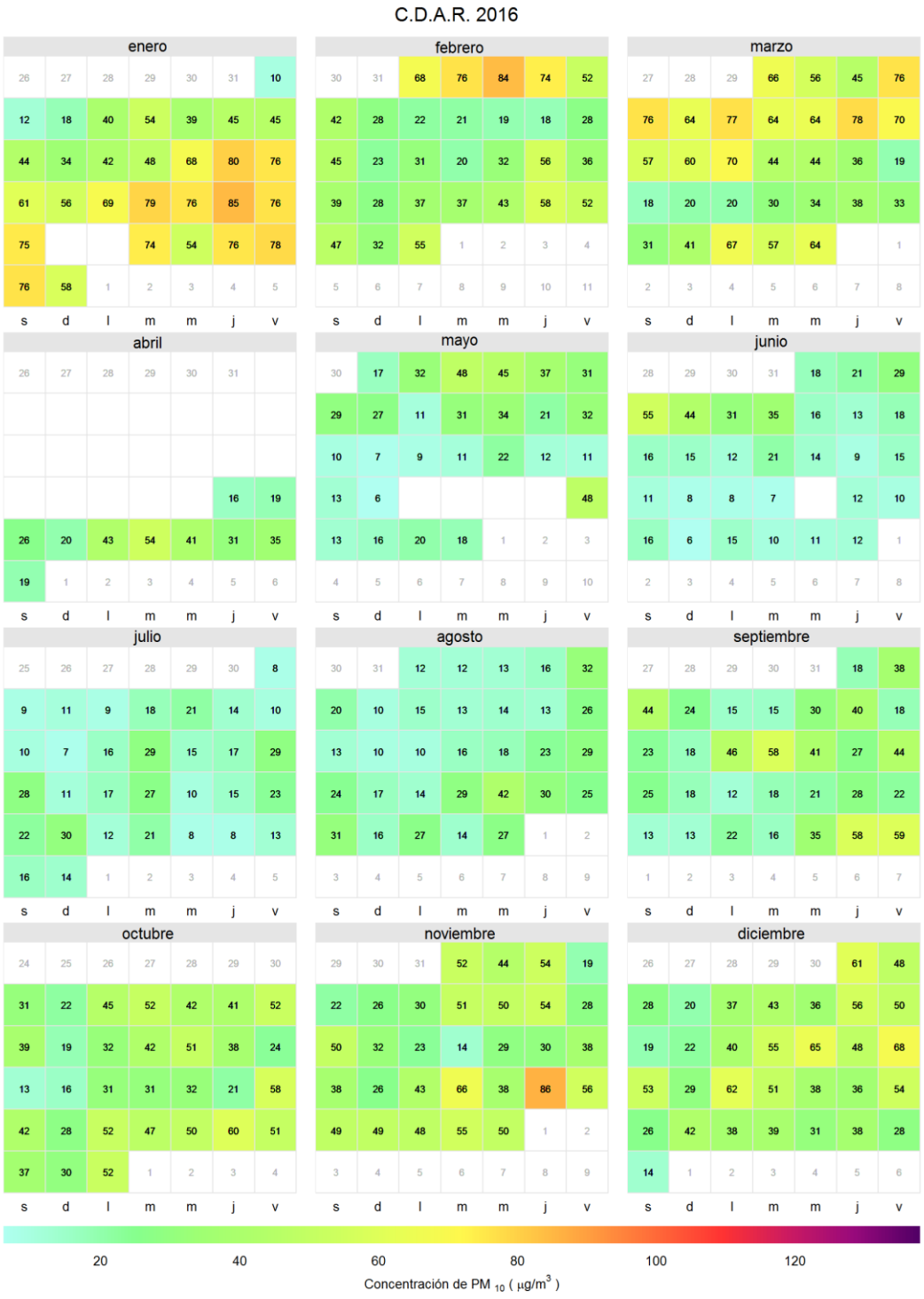


Figura 0-20 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Centro de Alto Rendimiento

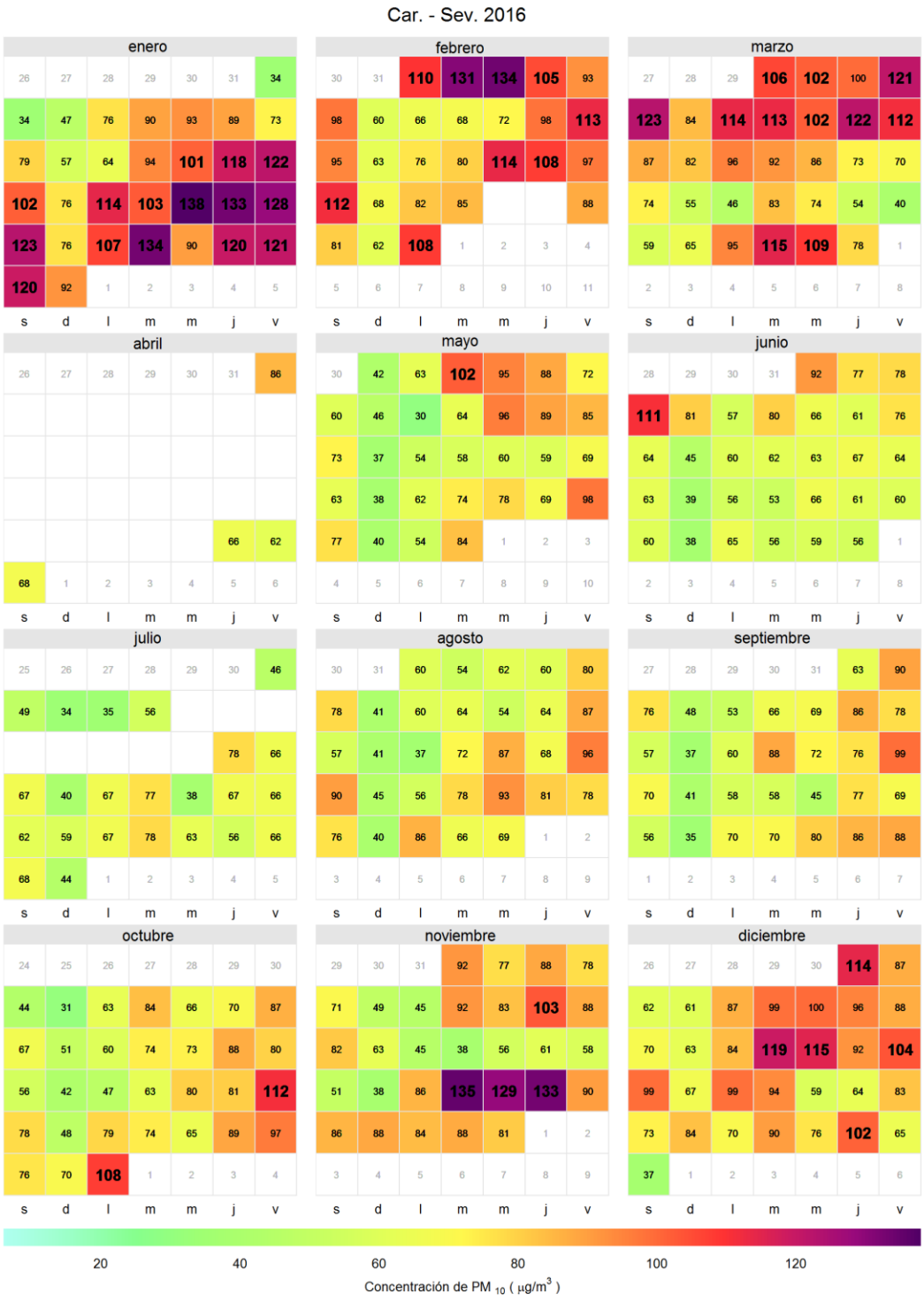


Figura 0-21 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Carvajal-Sevillana



Figura 0-22 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Guaymaral

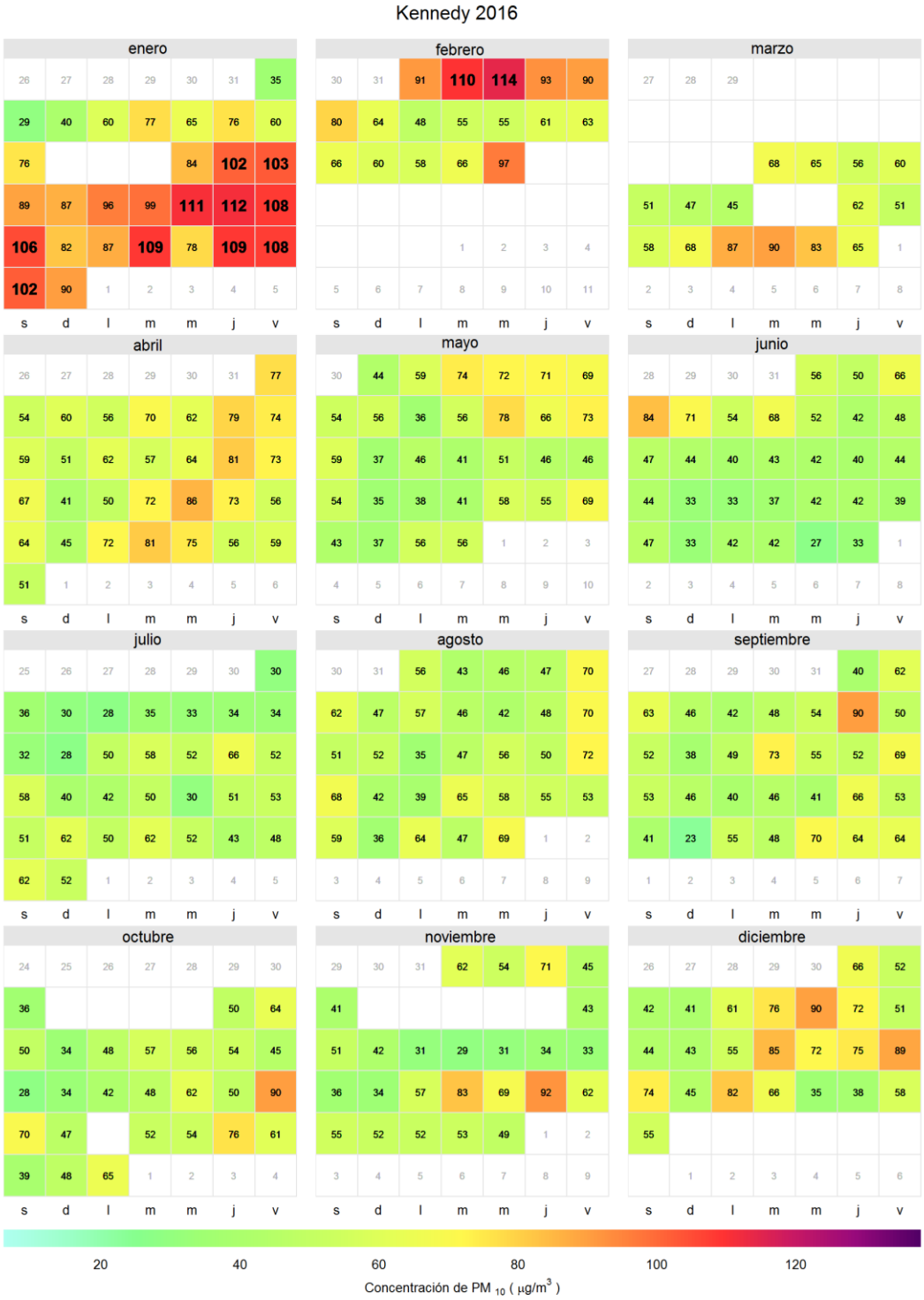


Figura 0-23 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Kennedy

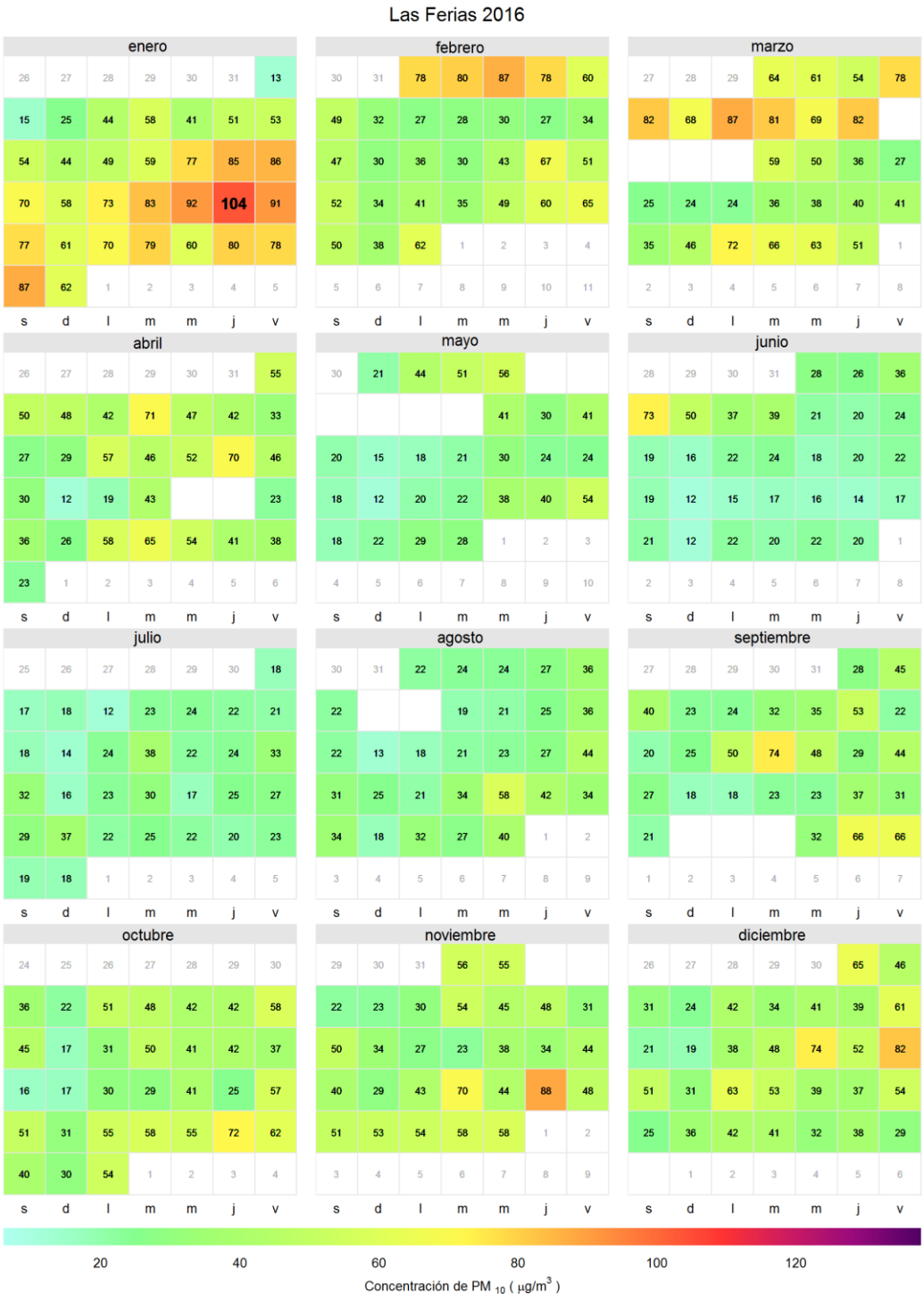


Figura 0-24 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Las Ferias



Figura 0-25 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Min. Ambiente

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

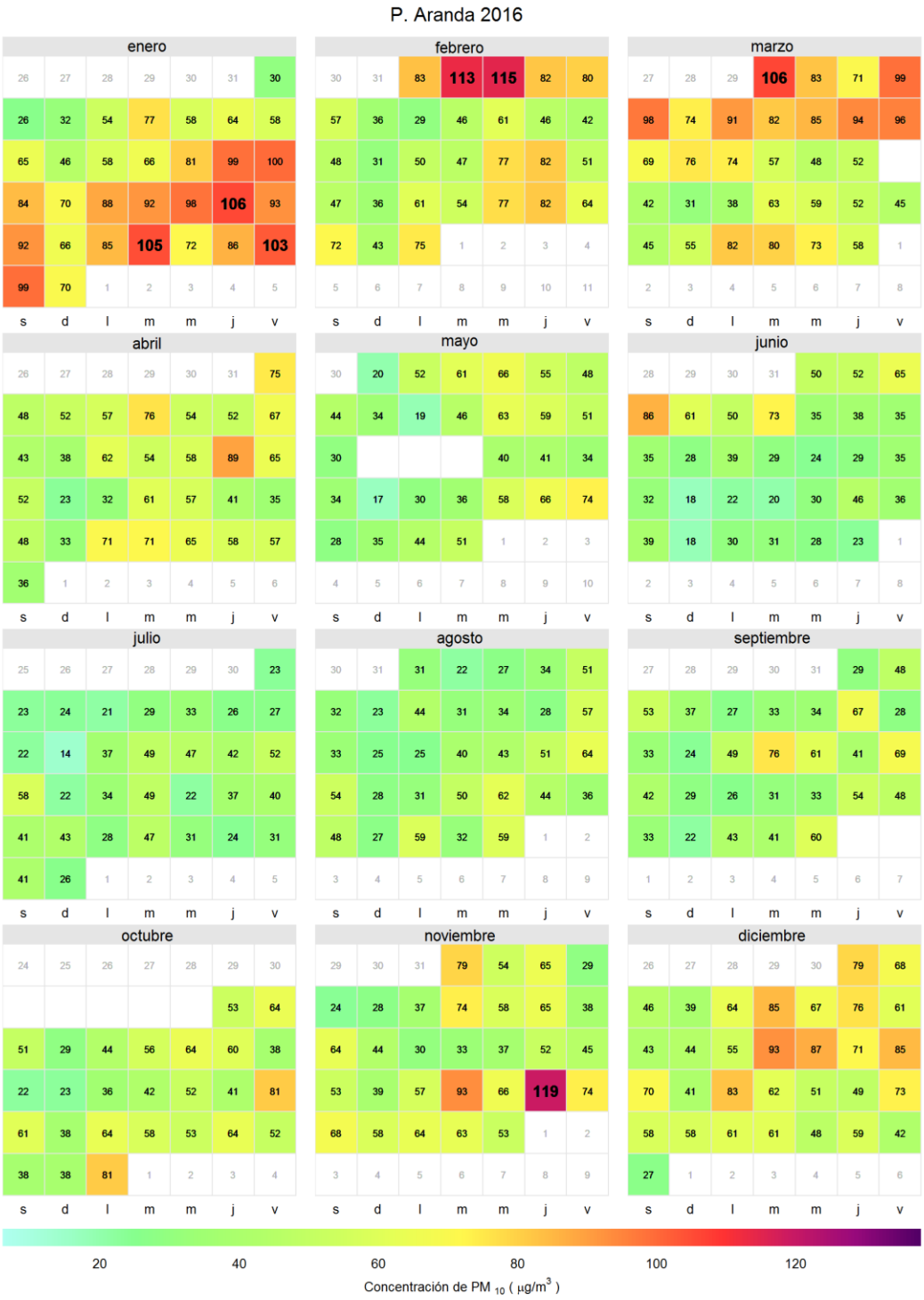


Figura 0-26 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Puente Aranda



Figura 0-27Calendario de Concentraciones Diarias de PM10 San Cristóbal

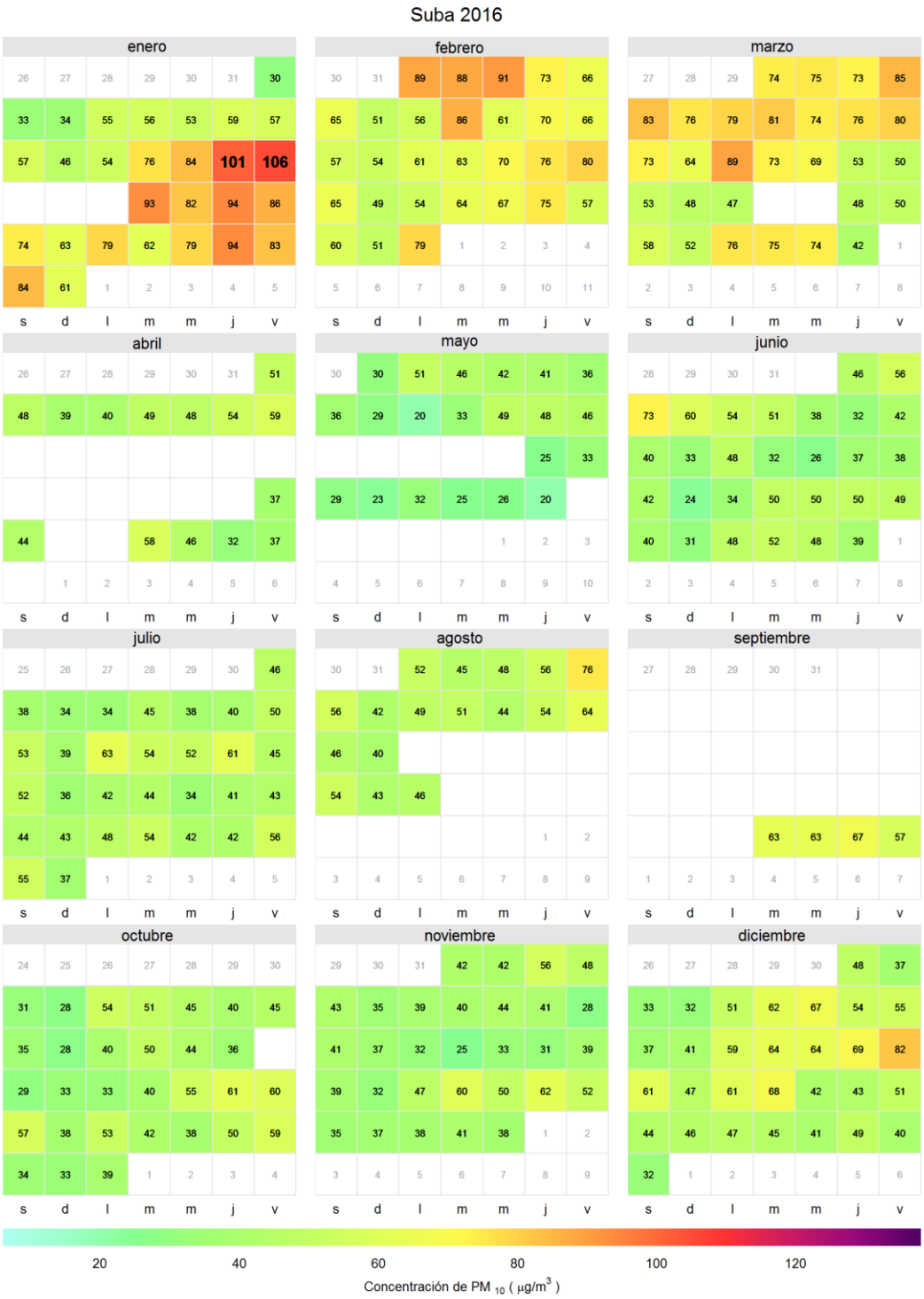


Figura 0-28 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Suba

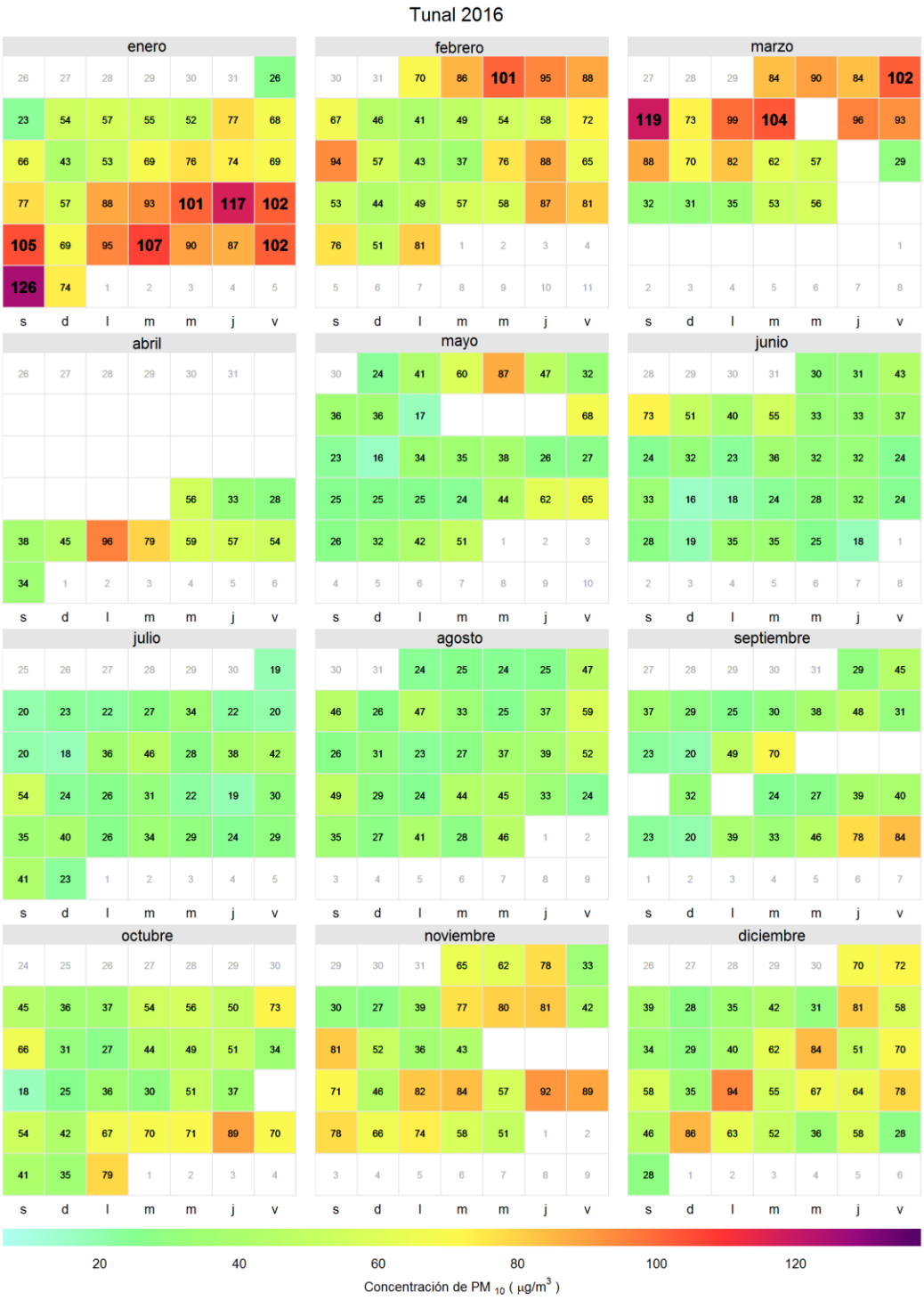


Figura 0-29 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Tunal

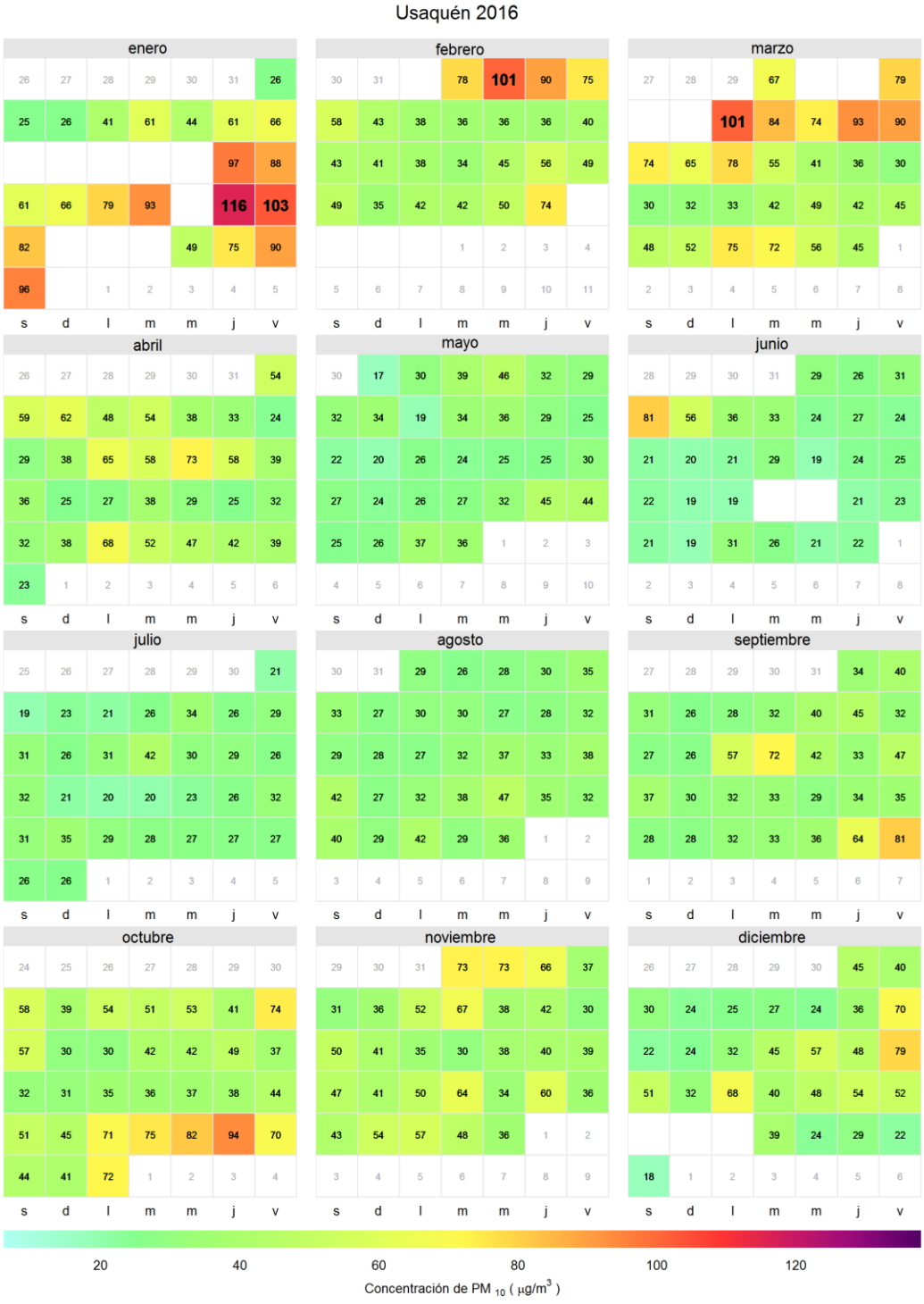


Figura 0-30 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{10} Usaquén

Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá

2017



Edificio Bogotá Downtown Bacatá

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2017

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C 2018

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Carmen Lucía Sánchez Avellaneda
Directora de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Diana Alexandra Ramírez Cardona
Coordinadora Técnica RMCAB

Daissy Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
Jhonathan Ramirez Gamboa
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Dario Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Grupo de Operación de la RMCAB

Edison Yesid Ortiz Durán
Líder del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá – SIMCAB

Sandra Mireya Fajardo González
Cristian Darío Arango Chacón
Profesionales SIMCAB

Jhon Jairo Abella
Ana Cecilia Galvez
Subdirección de Vigilancia en Salud Pública – Secretaría Distrital de Salud

Edna Katalina Medina Palacios
Subdirección de Determinantes en Salud - Secretaría Distrital de Salud

Diana Celeita
Pedro Andrés Morales
Subred Norte ESE

Secretaría Distrital de Ambiente – SDA
© Junio de 2018, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C. Año 2018.

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

CONTENIDO

CONTENIDO 4
1 INTRODUCCIÓN 16
2 RESUMEN EJECUTIVO 17
3 CARACTERISTICAS DE LA RED 19
4 OBJETIVOS 23
4.1 OBJETIVO GENERAL 23
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 23
4.3 NORMATIVIDAD 23
5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 25
5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 25
5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS 27
6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS) 30
6.1 MATERIAL PARTICULADO 30
6.1.1 PM_{10} 30
6.1.2 $PM_{2.5}$ 42
6.2 GASES 55
6.2.1 OZONO 55
6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO 69
6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE 80
6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO 89
7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA 102
8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA 107
9 METEOROLOGÍA 111
9.1. Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo 111
9.2. PRECIPITACIÓN 114
9.2.1. Variación Temporal y Espacial Anual de la Precipitación 114
9.2.2. Variación Mensual de la Precipitación 119
9.2.3. Variación horaria de la Precipitación 122
9.2.4. Distribución Espacial de la Precipitación 124
9.2.5. Número de días con precipitación 126
9.3. DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO 128
9.3.1. Variación de la Velocidad del Viento Anual 128

9.3.2. Variación Trimestral de la Velocidad del Viento 130
9.3.3. Variación Mensual de la Velocidad del Viento 132
9.3.4. Comportamiento de la Dirección del Viento 133
9.3.5. Variación horaria de la Velocidad y dirección del Viento 136
9.4. VARIACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE 140
9.4.1. Variación Anual de la Temperatura 140
9.4.2. Variación Trimestral de la Temperatura 142
9.4.3. Variación Mensual de la Temperatura Superficial 144
9.4.4. Variación horaria de la Temperatura Superficial 147
9.4.5. Distribución espacial de la Temperatura 148
9.5. VARIACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL 150
9.5.1. Variación anual de la Radiación Solar Global 150
9.5.2. Variación Trimestral de la Radiación Solar Global 151
9.5.3. Variación Mensual de la Radiación Solar 152
9.5.4. Variación horaria de la Radiación Solar Global 152
9.6. VARIACION DE LA PRESION ATMOSFERICA 155
9.6.1. Variación Trimestral de la Presión Atmosférica 155
9.6.2. Variación horaria de la Presión Atmosférica 156
9.7. VARIACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE 157
9.7.1. Variación anual de la humedad del aire 158
9.7.2. Variación Trimestral de la humedad del aire 158
9.7.3. Comportamiento horario de la humedad del aire. 160
10 MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD 162
10.1 GENERALIDADES 162
10.1.1 Modelo Meteorológico 163
10.1.2 Módulo de Emisiones 163
10.1.3 Modelo fotoquímico de transporte de contaminantes 163
10.1.4 Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida 163
10.1.5 Post-procesamiento de Resultados 164
10.2 OBJETIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ 164
10.2.1 Objetivo General 164
10.2.2 Objetivos Específicos 164
10.3 MANEJO DE EMISIONES EN EL SIMCAB 164

10.3.1 Metodología de estimación de emisiones 165
10.3.2 Emisiones desagregadas en la ciudad 171
10.4 RESULTADOS DEL MODELO FOTOQUÍMICO 178
10.4.1 Resultados de simulación para el material particulado 179
10.4.2 Resultados de simulación para gases 181
10.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS 183
10.5.1 Generalidades en la validación 183
10.5.2 Validación del modelo meteorológico WRF 186
10.5.3 Validación del modelo de transporte CMAQ 195
11 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD 203
11.1 GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL 204
11.2 VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL 204
11.3 ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD 205
11.4 VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA 206
11.4.1 MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA 206
11.4.2 MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA 210
11.5 VIGILANCIA AMBIENTAL 217
11.6 VIGILANCIA SANITARIA 221
11.6.1 ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION 224
BIBLIOGRAFÍA 227
GLOSARIO 229
ANEXOS 234

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2017 21
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2017. 25
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación. 26
Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2017 27
Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2017. 28
Figura 6-1. Concentración anual de PM_{10} por estación para el año 2017 31
Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 33
Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2017 y comparación con norma diaria (100 µg/m^3) 36
Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017. 36
Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por día de la semana para cada estación durante el año 2017 37
Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} ciclo mensual para el año 2017 por estación 38
Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 39
Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2017. 40
Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por estación para los años 2013 a 2017 42
Figura 6-10. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para el año 2017 42
Figura 6-11. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 44
Figura 6-12. Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3) 47
Figura 6-13 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017. 48
Figura 6-14. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana para cada estación durante el año 2017 49
Figura 6-15. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2017 por estación 50
Figura 6-16. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 51
Figura 6-17. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ciclo horario por estación durante el año 2017 52
Figura 6-18. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2013 a 2017 53
Figura 6-19 Comportamiento de las concentraciones anuales de O_3 para el año 2017 56
Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O_3 con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%. 57

Figura 6-21. Comportamiento de las concentraciones de O_3 ciclo semanal durante el año 2017 por estación 58
Figura 6-22. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 - ciclo semanal para cada estación durante el año 2017 59
Figura 6-23. Comportamiento mensual de la concentración de O_3 para el año 2017 por estación. 60
Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo mensual para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 60
Figura 6-25. Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 por estación y comparación con norma (120 µg/m^3)..... 63
Figura 6-26. Comportamiento de las concentraciones de O_3 en ciclo horario por estación durante el año 2017..... 64
Figura 6-27. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8h) por estación y comparación con norma (80 µg/m^3) 67
Figura 6-28. Diagrama de cajas de O_3 en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2013 y 2017 (con base en promedios móviles de 8h)..... 68
Figura 6-29. Promedios anuales de NO_2 para el año 2017 69
Figura 6-30 Comportamiento diario de la concentración de NO_2 por estación para el año 2017 comparado con la norma diaria 150 µg/m^3 72
Figura 6-31. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 ciclo semanal durante el año 2017 por estación 73
Figura 6-32. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por día de la semana para cada estación durante el año 2017..... 73
Figura 6-33. Comportamiento mensual de la concentración de NO_2 para el año 2017 por estación 74
Figura 6-34. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 75
Figura 6-35. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 y comparación con norma nacional 1h – Año 2017..... 77
Figura 6-36. Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 por estación durante el año 2017..... 78
Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por hora del día para cada estación durante el año 2017 78
Figura 6-38 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por estación para los años 2013 a 2017..... 80
Figura 6-39 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO_2 para el año 2017 81
Figura 6-40. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 durante el año 2017 por estación 83
Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por día de la semana para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo. 83
Figura 6-42. Comportamiento mensual de la concentración de SO_2 para el año 2017 por estación84
Figura 6-43. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 85
Figura 6-44. Comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 en el 2017 por estación 87
Figura 6-45. Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 por estación durante el año 2017..... 88

Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por estación para los años 2013 a 2017 89
Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8h) para el año 2017 90
Figura 6-48. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2017 91
Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2017 92
Figura 6-50. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2017 por estación 93
Figura 6-51. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo 93
Figura 6-52. Concentraciones horarias de CO en el año 2017 95
Figura 6-53. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2017 96
Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017 96
Figura 6-55. Concentraciones 8 horas de CO en el 2017 por estación 99
Figura 6-56. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017 99
Figura 6-57 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2013 a 2017 101
Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2017 104
Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2017 104
Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O_3 por estación. Año 2017 104
Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO_2 por estación. Año 2017 104
Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO_2 por estación. Año 2017 105
Figura 7-6. Proporción relativa de las categorías del AQI por mes del año para cada contaminante. Año 2017 106
Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{10} por estación. Año 2017 ... 109
Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2017.. 109
Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O_3 por estación. Año 2017 109
Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2017..... 109
Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para SO_2 por estación. Año 2017..... 110
Figura 8-6. Proporción relativa de las categorías del IBOCA por mes del año para cada contaminante. Año 2017 110
Figura 9-1 Excedencias de precipitación 2017 112
Figura 9-2. Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA, 2017 113
Figura 9-3.Anomalías de la temperatura superficial del aire en Bogotá - 2017 113
Figura 9-4. Variación anual de la precipitación en Bogotá de acuerdo con la RMCAB 2000-2017. 116
Figura 9-5. Variación Trimestral multianual de la precipitación en Bogotá 2000-2017. 117

Figura 9-6. Variación espacial de la precipitación Trimestral en Bogotá -2017. 118
Figura 9-7. Total anual acumulado por estación - 2017 119
Figura 9-8. Precipitación promedio, media máxima y media mínima mensual multianual (mm) 2010-2017 121
Figura 9-9. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2016 contra el promedio mensual 2017. 121
Figura 9-10. Perfil horario anual de las precipitaciones totales acumuladas por estación (2010 - 2017) 122
Figura 9-11. Distribución de frecuencia de la precipitación horaria en la ciudad (2010 - 2017) 122
Figura 9-12. Perfil de la precipitación promedio horaria anual por cada estación - 2017. 123
Figura 9-13. Distribución de frecuencia precipitación horaria en la ciudad - 2017 123
Figura 9-14. Total anual acumulado por estación – 2017 124
Figura 9-15. A) Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2017 y b) Mapa de anomalía de la precipitación de 2017 contra el promedio multianual de la precipitación desde 2010 -2017 125
Figura 9-16. Comportamiento del número de días con precipitación promedio en 2017 y periodo 2010 – 2016 127
Figura 9-17. Velocidad del viento promedio multianual 2010-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017 128
Figura 9-18. Velocidad del viento promedio trimestral de 2017 frente al promedio trimestral multianual 2000-2017 por estación. 130
Figura 9-19. Velocidad del viento promedio trimestral multianual 2000-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017 131
Figura 9-20. Velocidad promedio mensual de la velocidad del viento - ciudad 133
Figura 9-21. Rosas de viento consolidadas por estación - 2017 134
Figura 9-22. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2017. 135
Figura 9-23. Velocidades máximas: medias máximas absolutas, máxima absoluta y máxima mínima absoluta horaria, por estación de la RMCAB – 2017. 136
Figura 9-24. Velocidades máximas: máximas absolutas, máxima media y máxima mínima horaria anual. RMCAB – 2017 137
Figura 9-25. Velocidades medias: medias, medias máximas y medias mínimas horarias por estación de la RMCAB – 2017. 138
Figura 9-26. Velocidades medias: medias máximas, medias, media mínima horaria anual. RMCAB – 2017. 138
Figura 9-27. Velocidades Mínimas: medias mínimas absolutas, mínimas máximas y mínima absoluta, por estación de la RMCAB - 2017 139
Figura 9-28. Velocidades mínimas: Mínima máximas, Mínima medias, Mínima horaria Absoluta horaria anual. RMCAB – 2017 139
Figura 9-29. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2017 142
Figura 9-30. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017 143
Figura 9-31. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017 143
Figura 9-32. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2016 frente a 2017. 145
Figura 9-33. Temperaturas medias extremas año 2017 146

Figura 9-34. Temperaturas medias y medias extremas año 2017 147
Figura 9-35. Perfil horario máximas, medias y mínimas medias 2017..... 148
Figura 9-36. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2017. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2017 respecto al promedio de 2016..... 149
Figura 9-37. Radiación Solar Global ciudad - comportamiento acumulado promedio histórico multianual - 2009 a 2017 150
Figura 9-38. Comportamiento histórico Radiación Solar Global trimestral promediada por estación. 2010 a 2017..... 151
Figura 9-39. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2010 a 2017 152
Figura 9-40. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio ciudad – 2017..... 153
Figura 9-41. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio por estación - 2017 154
Figura 9-42. Comportamiento horario de O_3 ($\mu g/m^3$) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m2). 155
Figura 9-43. Comportamiento histórico del promedio de la Presión Atmosférica trimestral desde 2009 a 2017..... 156
Figura 9-44. Perfil promedio horario de la presión atmosférica por estación – 2017..... 157
Figura 9-45. Comportamiento histórico del promedio multianual de la humedad - periodo 2009 a 2017..... 158
Figura 9-46. Comportamiento histórico del promedio trimestral de la humedad - periodo 2009 a 2017..... 160
Figura 9-47. Perfil promedio horario de la humedad del aire por estación – 2017..... 161
Figura 10-1. Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá..... 162
Figura 10-2 Distribución participación en la flota de la ciudad por categoría vehicular. 166
Figura 10-3 Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen. 167
Figura 10-4 Distribución número de vehículos por categoría vehicular y estación de conteo..... 167
Figura 10-5 Número de industrias por Localidad. 169
Figura 10-6 Distribución de combustibles implementados. 170
Figura 10-7 Distribución de combustibles vendidos en estaciones de servicio de Bogotá..... 171
Figura 10-8 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes móviles en un día hábil..... 173
Figura 10-9 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes industriales en un día hábil..... 174
Figura 10-10 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes comerciales en un día hábil..... 175
Figura 10-11 Distribución espacial de emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de la resuspensión en vías pavimentadas en un día hábil 176
Figura 10-12 Distribución espacial de emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de la resuspensión en vías no pavimentadas en un día hábil 177
Figura 10-13 Distribución espacial de emisiones de COV provenientes EDS y CAC en un día hábil 178
Figura 10-14 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM_{10} ajustadas a observaciones para el 2017..... 180
Figura 10-15 Promedio Anual para concentraciones simuladas de $PM_{2.5}$ ajustadas a observaciones para el 2017..... 180

Figura 10-16 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO_2 ajustadas a observaciones para el 2017 181
Figura 10-17 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO_2 ajustadas a observaciones para el 2017 182
Figura 10-18 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2017 183
Figura 10-19 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de O_3 ajustadas a observaciones para el 2017 184
Figura 10-20 Validación de la temperatura a nivel ciudad 187
Figura 10-21 Validación de la temperatura por estación 187
Figura 10-22 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad 188
Figura 10-23 Validación de la humedad relativa por estaciones 189
Figura 10-24 Validación del viento a nivel ciudad 190
Figura 10-25 Validación del viento por estaciones 190
Figura 10-26 Validación de la radiación solar a nivel ciudad. 192
Figura 10-27 Validación de la radiación solar por estaciones. 192
Figura 10-28 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad. 193
Figura 10-29 Validación de la presión atmosférica por estaciones. 193
Figura 10-30. Validación de la precipitación por estaciones 194
Figura 10-31 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{10} 195
Figura 10-32 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para $PM_{2.5}$ 196
Figura 10-33 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO_2 196
Figura 10-34. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO2 197
Figura 10-35. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO 197
Figura 10-36 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para O_3 198
Figura 10-37 Diagramas de Taylor por mes para PM_{10} 200
Figura 10-38 Diagramas de Taylor por mes para $PM_{2.5}$ 200
Figura 10-39 Diagramas de Taylor por mes para CO 201
Figura 10-40 Diagramas de Taylor por mes para SO_2 201
Figura 10-41 Diagramas de Taylor por mes para NO_2 202
Figura 10-42 Diagramas de Taylor por mes para O_3 202
Figura 11-1.Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá. .. 205
Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores de Cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2017* (* años 2015 al 2017* datos preliminares) 207
Figura 11-3. Factores de riesgo para presencia de mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años. 208
Figura 11-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material partículado 2.5 µg/m3 en Bogotá, 2017. 209
Figura 11-5.Consolidado Morbilidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2017. 211
Figura 11-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2017 211
Figura 11-7. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá en el año 2017 218
Figura 11-8. Promedios de las medias móviles de concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación para el año 2017 219

Figura 11-9. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM_{10} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2017 219
Figura 11-10. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2017 220
Figura 11-11.Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2017. 221
Figura 11-12. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire en Bogotá, 2017 223
Figura 11-13. Registro fotográfico presentación Pronóstico IBOCA 225
Figura 11-14. Portal del Pronóstico del IBOCA..... 225
Figura 11-15. Registro fotográfico de la socialización del IBOCA..... 226
Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes. 234
Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – Carvajal-Sevillana..... 236
Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Centro de Alto Rendimiento..... 237
Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Guaymaral..... 238
Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Kennedy..... 239
Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Las Ferias 240
Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ MinAmbiente..... 241
Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – Puente Aranda..... 242
Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – San Cristóbal..... 243
Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Suba..... 244
Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ -Tunal..... 245
Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Usaquén 246

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA 20
Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2017 22
Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. 24
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación. 26
Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro 28
Tabla 6-1. Promedios anuales de PM_{10} para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 31
Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{10} durante el año 2017 34
Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM_{10} para los años 2013 a 2017 40
Tabla 6-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 43
Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de $PM_{2.5}$ durante el año 2017 45
Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de $PM_{2.5}$ para los años 2013 a 2017 52
Tabla 6-7. Relación concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$ por estación 54
Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O_3 durante el año 2017 61
Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O_3 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 64
Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O_3 durante el año 2017 65
Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O_3 para los años 2013 a 2017 68
Tabla 6-12. Promedios anuales de NO_2 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 70
Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO_2 durante el año 2017 71
Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO_2 durante el año 2017 76
Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO_2 para los años 2013 a 2017 79
Tabla 6-16. Promedios anuales de SO_2 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 81
Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO_2 durante el año 2017 82
Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO_2 durante el año 2017 86
Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO_2 para los años 2013 a 2017 88
Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2017 94
Tabla 6-21. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración 97
Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2017 98
Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2013 a 2017 100
Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010) 103

Tabla 8-1. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 107
Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2017 112
Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. Periodo 2000 - 2017. 115
Tabla 9-3. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad - 2017. (N.A. no cumple criterio de representatividad) 119
Tabla 9-4. Distribución de la lluvia mensual durante el año 2017. 120
Tabla 9-5. Precipitación promedio RMCAB 2000 - 2017 120
Tabla 9-6. Número de días con precipitación por estación RMCAB 2017 126
Tabla 9-7. Número promedio de días con precipitación mensual multianual RMCAB 2017 126
Tabla 9-8. Velocidad promedio anual del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2017 ... 129
Tabla 9-9. Promedio multianual de la velocidad del viento 132
Tabla 9-10. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día. 140
Tabla 9-11. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2017 141
Tabla 9-12. Temperatura RMCAB 2000 - 2017 144
Tabla 9-13. Registro de heladas en la estación de Suba y bajas temperatura en la estación Carvajal-Sevillana en 2007 146
Tabla 9-14. Temperaturas extremas año 2017 146
Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m^2 periodo 2009 - 2017 150
Tabla 9-16. Radiación Solar promedio mensual - 2017 152
Tabla 9-17. Radiación Solar promedio anual a 2017 (W/m^2) 153
Tabla 9-18. Presión atmosférica promedio anual a 2017 (mmHg) 156
Tabla 9-19. Humedad promedio multianual – 2017 158
Tabla 9-20. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (DEF) – 2017 159
Tabla 9-21. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (MAM) – 2017 159
Tabla 9-22. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (JJA) – 2017 159
Tabla 9-23. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (SON) – 2017 160
Tabla 9-24. Humedad promedio horario anual – 2017 (%) 161
Tabla 10-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones 198
Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura .. 204
Tabla 11-2. Estadísticas descriptivas según sexo, edad y estrato socioeconómico de los menores de cinco años según la exposición a contaminación del aire 212
Tabla 11-3. Porcentaje de Síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire . 213
Tabla 11-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM10 establecidos por la Organización Mundial de la Salud 220
Tabla 11-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM2.5 establecidos por la Organización Mundial de la Salud 221
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. 235

1 INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares de la ciudad; posteriormente a través del sistema de gestión de datos, la información es enviada a una estación central donde es sometida a un proceso de validación final, y se evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá. Finalmente, se elaboran informes de análisis espaciales y temporales de la información capturada, así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación

Para el año 2017 la RMCAB estaba conformada por trece (13) estaciones de monitoreo las cuales están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

Cabe resaltar que la estación MinAmbiente suspendió su monitoreo desde el día 21 de noviembre de 2017, debido a que se realizaron reparaciones y mantenimientos en la terraza de la edificación donde se encuentra ubicada. Sin embargo, este periodo no afectó la representatividad de los datos registrados por la estación en el resto del año.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedios octohorarios, diarios, y anuales obtenidos para cada uno de los contaminantes frente a los valores máximos permisibles establecidos en Resolución 610 de 2010 del MAVDT, contempla el cálculo de número de excedencias frente a la norma, lo cual informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presentó un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

También se realiza el análisis de los parámetros evaluados a través del Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire de Bogotá (SIMCAB), y su comparación con los datos registrados en la RMCAB, para la elaboración de los Pronósticos de Calidad del Aire con 48 horas de antelación.

Adicionalmente, se incluye un capítulo elaborado por la Secretaría Distrital de Salud, el cual contiene los análisis de temas relacionados con la calidad del aire y la salud de la población, tales como los casos de morbilidad de enfermedad respiratoria por grupos de población, y las acciones realizadas con el fin de prevenir dichas enfermedades.

2 RESUMEN EJECUTIVO

Para el año 2017 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) estuvo conformada por trece estaciones, doce monitorean contaminantes y variables meteorológicas, y la estación Bolivia exclusivamente variables meteorológicas. Estas estaciones están ubicadas estratégicamente para tener la mayor cobertura de toda la ciudad, y continuamente registraron las concentraciones de los siguientes contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como las variables meteorológicas: Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica que regulan el transporte de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá. Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría Distrital de Ambiente son los estipulados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. El porcentaje de datos validos de la RMCAB para el año 2017 en promedio fue de 92%, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Comportamiento de la concentración de PM_{10}

Durante el año 2017, las mayores concentraciones de material particulado PM_{10} fueron registradas en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Suba y Puente Aranda respectivamente. En Carvajal se obtuvo un promedio anual de 66 µg/m^3, siendo el registro más alto comparado con las otras estaciones. Por otro lado, San Cristóbal y Guaymaral obtuvieron el promedio anual más bajo del año con 28 µg/m^3. Al evaluar el comportamiento registrado respecto a la norma se presentó un total de 21 excedencias en el año, siendo Carvajal-Sevillana la que tuvo el mayor número de excedencias con 16, seguida de Kennedy con 3 excedencias a la norma. En contraste, en la zona oriental de la ciudad no se registraron excedencias en ninguna de las estaciones. En cuanto al comportamiento temporal de la concentración, se evidenció que las mayores concentraciones se registran entre las 6 y 7 de la mañana, para luego disminuir hasta las 5 o 6 de la tarde en donde se presenta un nuevo pico de menor concentración al de la mañana. Las mayores concentraciones registradas para una exposición diaria fueron de 124 µg/m^3 en Carvajal-Sevillana y 108 µg/m^3 en Kennedy y Tunal.

Comportamiento de la concentración de PM2.5

En relación a la concentración de partículas con diámetro inferior a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) la mayor concentración para un tiempo de exposición anual se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con 28 µg/m^3, seguida de la estación Kennedy con 27 µg/m^3 y la estación Tunal con 21 µg/m^3. Por otro lado, la menor concentración promedio se registró en San Cristóbal con 12 µg/m^3. El comportamiento espacial de PM_{10} en relación con $PM_{2.5}$ concuerda mostrando que en la zona sur occidente es donde se registran las mayores concentraciones de material particulado de la ciudad. En cuanto al comportamiento horario de $PM_{2.5}$, de manera similar a PM_{10}, se registra el mayor pico de concentración alrededor de las 6 o 7 de la mañana para luego disminuir la concentración hasta las 5 o 6 de la tarde, cuando registra un segundo pico de menor concentración al de la mañana.

Comportamiento de la concentración de O_3

Para el año 2017 la mayor concentración promedio anual se registró en la estación Suba con 26 µg/m^3, seguida de Usaquén con 25 µg/m^3, Guaymaral y Min Ambiente con 22 µg/m^3 cada una. Las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, su presencia en la atmósfera puede asociarse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Cabe destacar el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios. Siendo así que las estaciones al sur de la ciudad registran las concentraciones más bajas de Ozono, donde Kennedy registró 8 µg/m^3, Puente Aranda 12 µg/m^3 y Carvajal Sevillana 15 µg/m^3.

Comportamiento de la concentración de NO_2

Durante el año 2017, ninguna estación de la RMCAB incumple la norma de calidad del aire, el comportamiento temporal en la semana indica que las mayores concentraciones se registran entre martes y jueves variando con la estación analizada y las menores concentraciones se registran los domingos, esto podría atribuirse a la baja actividad vehicular de los fines de semana. En cuanto al ciclo horario, se observan dos picos de concentración, uno a las 7 am y otro alrededor de las 7 pm, registrando concentraciones entre 35 y 40 µg/m^3. Por otra parte, las concentraciones más bajas se registran a las 3 am y 3 pm posiblemente asociado a fenómenos meteorológicos, de reacción química y la actividad intrínseca de la ciudad.

Comportamiento de la concentración de SO_2

Durante el año analizado, ninguna de las estaciones incumplió los límites máximo permisible estipulados en la norma de calidad del aire, la mayor concentración registrada para una exposición anual fue de 13.4 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana mientras que la estación con menor concentración fue Centro de Alto Rendimiento con 3.3 µg/m^3. En cuanto al comportamiento temporal de la concentración, se observa que a las 7 de la mañana se registra el pico de mayor concentración en todas las estaciones. Esto se podría asociar a la hora pico de actividad vehicular y a la presencia de inversiones térmicas que suelen romperse tipo 8 o 9 de la mañana.

Comportamiento de la concentración de CO

Al evaluar el comportamiento horario para el 2017 respecto a la norma, se observa que no se registraron excedencias durante el año, siendo el nivel máximo permisible de 40 mg/m^3 y registrando un máximo de concentración de 6.8 mg/m^3. Con relación al comportamiento semanal, se observa un comportamiento similar al NO_2.

3 CARACTERISTICAS DE LA RED

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por trece (13) estaciones de las cuales doce (12) son fijas y una (1) estación es móvil. Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web: http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire o directamente el enlace http://201.245.192.252:81.

La Tabla 3-1 presenta las técnicas de medición de los equipos de la RMCAB y los métodos equivalentes de la EPA, en la Tabla 3-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 3-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

En el presente informe la Estación Móvil no se involucra en los análisis, dado que está dedicada a la evaluación la calidad del aire puntual en corredores viales bajo el Convenio 176 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Adicionalmente, la estación MinAmbiente reportó datos hasta el día 21 de Noviembre de 2017, dado que desde ese día se suspendió la comunicación con la estación debido a reparaciones que se realizaron sobre la terraza de la edificación donde se ubica la estación.

La elaboración de informes de calidad del aire hacen parte de uno de los programas contenidos en el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016 – 2020 “Bogotá Mejor para Todos”, cuyo cumplimiento es responsabilidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, al ser la autoridad ambiental del distrito capital. Además, uno de los procesos misionales de esta entidad es la “Evaluación, control y seguimiento”, dentro del cual se encuentra comprendido el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, y se cumple a través de las estaciones de la RMCAB.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los analizadores de calidad del aire y sensores meteorológicos, estos datos son guardados en la base de datos local y se envía y enviados a la base de datos central cada hora. cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en junio de 2017[1]. Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo al método

[1] United States Environmental Protection Agency. List of designated reference and equivalent methods. June 16, 2017. https://www3.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html

equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR[2].

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122 EQPM-1102-150	J
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183 EQPM-0308-170	L
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087 EQOA-0193-091	D
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074 RFNA -1194-099 RFNA-1292-090	F
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088 RFCA-1093-093 RFCA-0992-088	C
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100 EQSA-0486-060	A-1

[2] 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

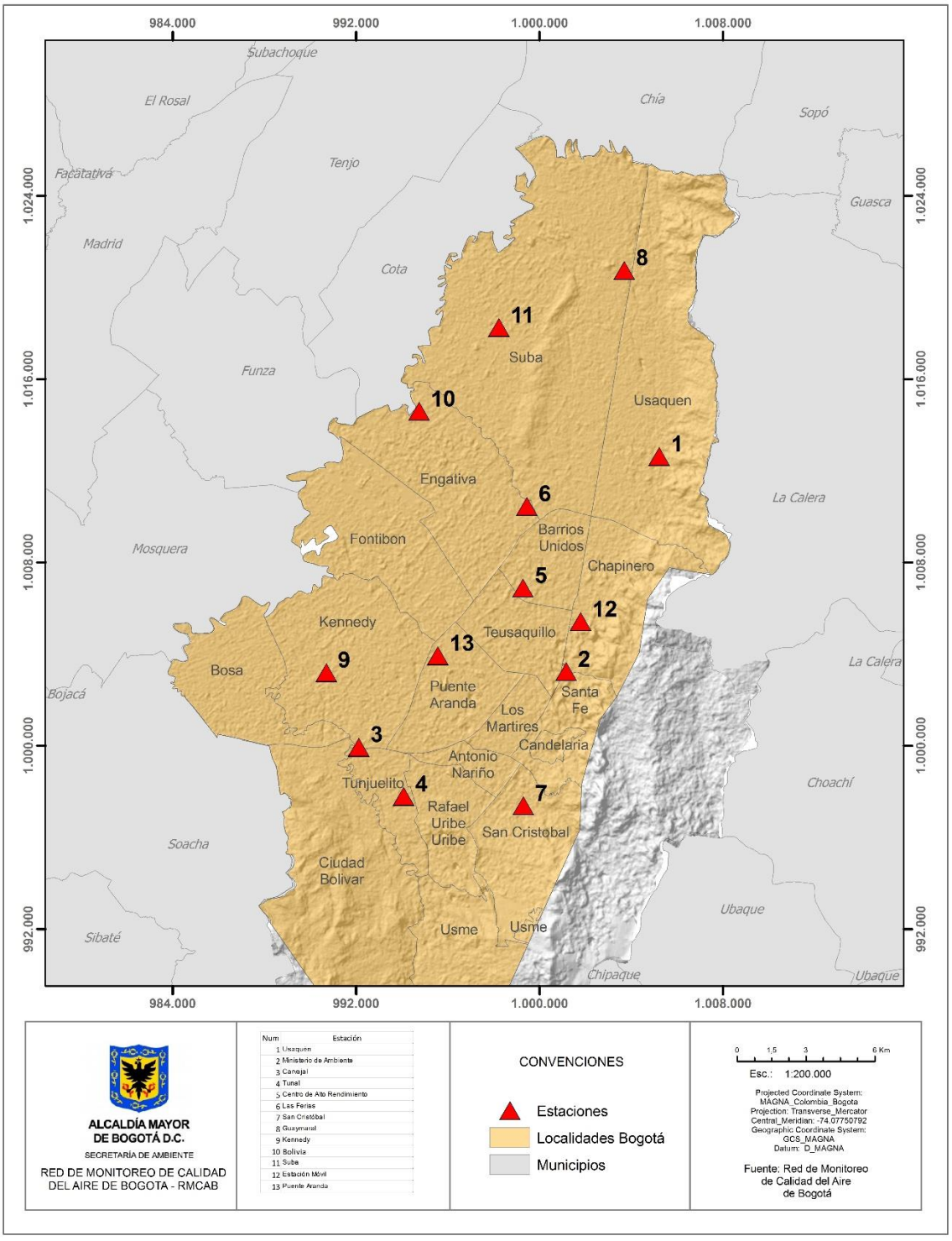


Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2017

Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2017

Característica		Guaymaral (Escuela de Ingeniería)	Usaquén (Bosque)	Suba (Corpas)	Bolivia	Las Ferias (Carrefour Calle 80)	C. de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolivar / IDRD)	Min. Ambiente (Sagrado Corazón)	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74°5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111# 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m
	Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m
	PM_{10}	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	$PM_{2.5}$	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	O_3	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	NO_2	x				x	x		x	x	x	x	
	CO		x			x	x		x	x	x	x	
	SO_2			x			x		x	x	x	x	x
Var. Meteorológicas	V. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Temperatura	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
	Precipitación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	R. Solar	x					x			x		x	x
	H. Relativa	x				x	x			x		x	x
	Presión Atm.	x				x				x			

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas

4.3 NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá para el 2017 se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 4-1 presenta los niveles máximos permitidos para los contaminantes criterio.

Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo
PM_{10}	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
SO_2	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO_2	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	80	8 horas	Concentración promedio horaria en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio horaria en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2017. En la primera parte se determina el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presentan el porcentaje de datos validados, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2017, todos los parámetros capturaron datos superando el umbral de la norma del 75%. Es de aclarar que debido a situaciones ajenas a la RMCAB la estación de Min Ambiente debió ser suspendida por obras en la zona de ubicación en el mes de noviembre. Los parámetros meteorológicos presentan los mayores porcentajes de captura de datos con (>97%), mientras que para los parámetros de concentraciones de contaminantes los registros registran un porcentaje de captura superior al 81%. El parámetro con el menor porcentaje de captura fue el NO_2, esto se atribuye a que el equipo de Carvajal-Sevillana fue reparado a finales del segundo trimestre del año. Por otro lado, el equipo de la estación de Las Ferias estuvo en mantenimiento en los últimos meses del año, mientras que el equipo de Guaymaral ha presentado fallas recurrentes. En cuanto al ozono, el equipo de Centro de Alto Rendimiento esta fuera de servicio en espera de adquisición de repuestos. El SO_2 reporta bajos niveles de representatividad debido a que el equipo de la estación de San Cristóbal fue reubicado en la estación de Tunal desde el mes de agosto.

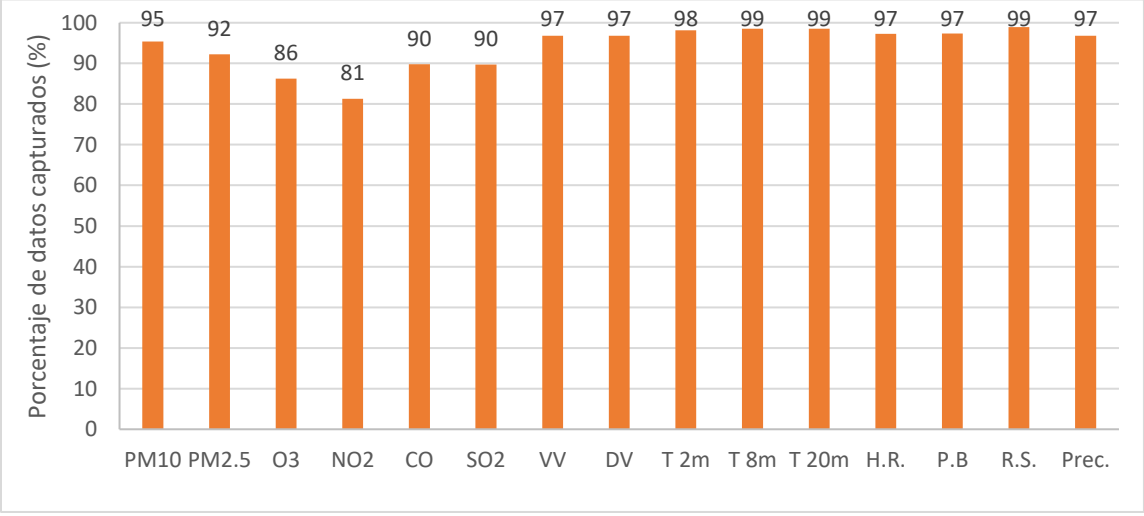


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2017.

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que todas las estaciones presentaron un porcentaje de captura superior al 75 % de representatividad exigido por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire. La estación con el menor porcentaje de captura fue Centro de Alto Rendimiento debido a la falla mencionada en el equipo de ozono y asociado al $PM_{2.5}$ que estuvo fuera de operación desde marzo hasta inicios de julio del año 2017.

Las pérdidas de datos se presentan generalmente por fallas mayores en los equipos de medición, fallas en el suministro de energía, incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año y fallas de comunicación por daños en los puertos.

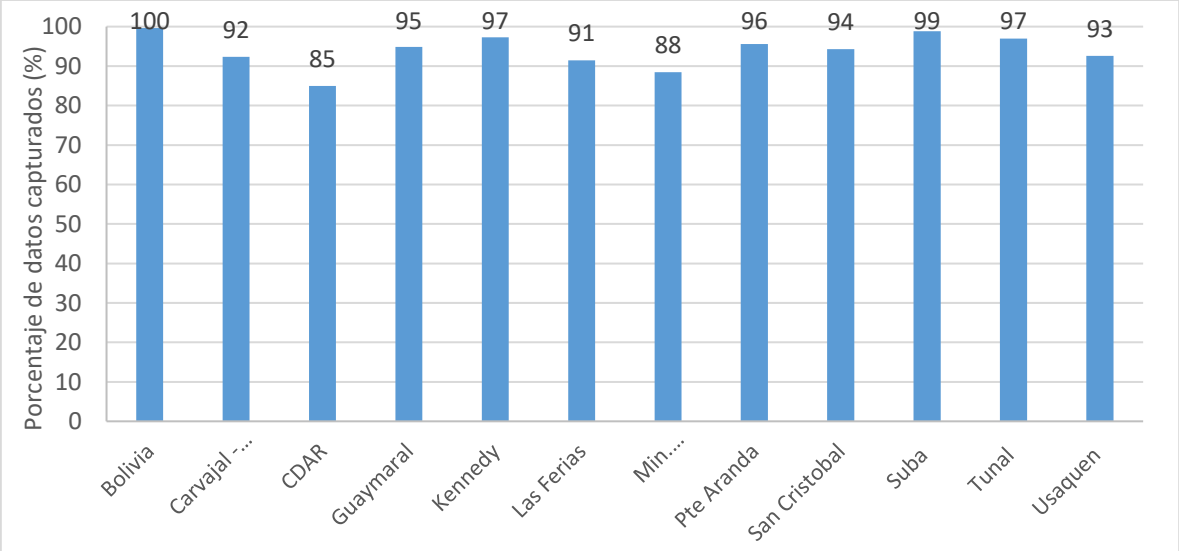


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación.

Estación	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Bolivia							100	100							100	100
Carvajal	92	99	89	64	89	92	99	99	99						99	92
CDAR	92	65	31	93	93	93	93	93	93			93			93	85
Guaymaral	98	96	86	67			99	99	99	99	99	99	99	99	99	95
Kennedy	99	98	97	84	97	99	99	99	99			99	99	99	99	97
Las Ferias	92	94	96	74	82		95	95	95			95	95		95	91
Min. Ambiente	89	85	89				89	89							89	88
Pte. Aranda	100	90	80	99	89	100	100	100	100						100	96
San Cristóbal	98	99	92			58	99	99	99			99		99	99	94

Estación	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Suba	100	96	97			97	100	100	100						100	99
Tunal	97	99	99	89	88	41	99	99	99			99		99	99	97
Usaquén	93	92	92				93	93							93	93
Promedio	95	92	86	81	90	83	97	97	98	99	99	97	97	99	94	94

5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación busca validar o invalidar datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por motivos de fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2017 es 94% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validados por parámetro. Al comparar con la Figura 5-1 se puede observar que el porcentaje de variación de los parámetros meteorológicos es del 1% al 3%, mientras que en los contaminantes se observan variaciones del 2% al 10% de los datos. El parámetro con el mayor porcentaje de invalidación es NO_2.

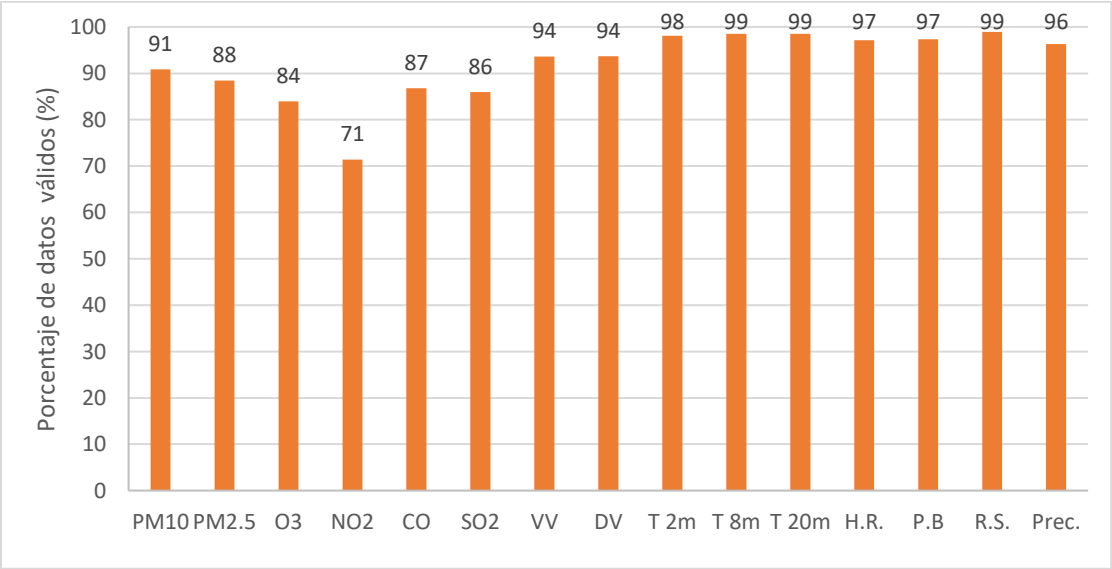


Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2017

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos validados por estación de monitoreo, al comparar con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de perdida de datos fue igual o menor al 5% de los datos capturados. Las estaciones que mayor pérdida de datos presentaron fueron Tunal y Kennedy con el 5% y 4% respectivamente.

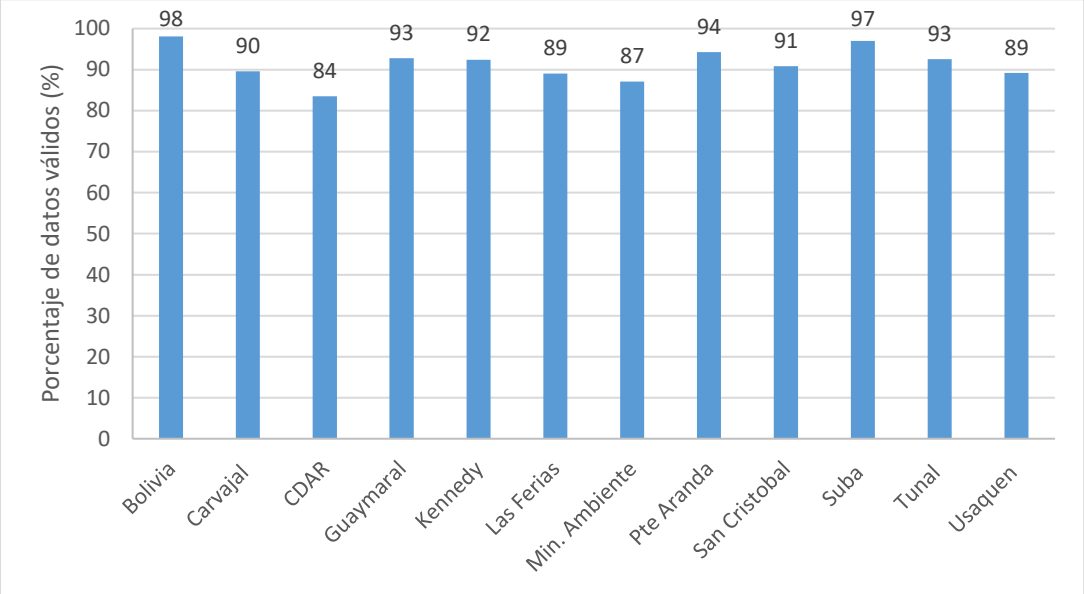


Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2017.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2017 se exponen en la Tabla 5-2. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2017 es de 92%.

Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro

Estación	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Bolivia							99	96							99	98
Carvajal	89	99	89	44	86	91	99	99	99						99	90
CDAR	87	63	31	92	91	88	93	93	93			93			93	84
Guaymaral	96	91	86	47			98	99	99	99	99	99	99	99	99	93
Kennedy	97	94	85	78	93	96	99	67	99			99	99	99	99	93
Las Ferias	88	88	95	59	82		95	95	95			95	95		95	90
Min. Ambiente	85	82	88				89	89							89	87
Pte Aranda	98	86	75	96	90	98	100	100	100						100	94

Estación	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
San Cristóbal	89	93	92			45	94	99	99			98		99	99	91
Suba	86	96	97			97	100	100	100						100	97
Tunal	94	94	96	86	80	36	72	99	99			99		94	99	87
Usaquén	90	86	90				91	91							87	89
Promedio	91	88	84	73	87	79	94	94	98	99	99	97	97	98	96	92

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

Este capítulo incluye reportes gráficos para el análisis de las concentraciones de los contaminantes, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas, según corresponda y la evaluación con los límites máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial - MAVDT). El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

6.1 MATERIAL PARTICULADO

6.1.1 PM_{10}

El PM_{10} representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, algunas de las fuentes de emisión de estas partículas pueden ser móviles y fijas procedente de procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

La RMCAB contó con 11 equipos de medición de PM_{10} para el año de 2017, y todos ellos reportaron datos con una representatividad mayor al 75%, obteniendo un total de 3649 datos registrados por las estaciones de monitoreo.

6.1.1.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

En la Figura 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} por estación de monitoreo para el año 2017 y su comparación con el nivel máximo permisible anual (50 µg/m^3). Dicho valor fue sobrepasado en 2 de las 11 estaciones que monitorearon PM_{10} en el 2017, las cuales corresponden a Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el suroccidente de la ciudad. La mayor concentración anual promedio de PM_{10} se registró en la estación Carvajal-Sevillana con 66 µg/m^3, mientras que la menor concentración fue registrada en las estaciones San Cristóbal y Guaymaral, con 28 µg/m^3. Como ha ocurrido en años anteriores, las concentraciones más altas se evidenciaron en las estaciones del suroccidente de la ciudad, aunque se destaca el valor de concentración de PM_{10} de la estación Suba, ubicada al norte de la ciudad, con la tercera concentración más alta del año. Esta situación fue causada posiblemente por transporte de contaminación del suroccidente hacia el noroccidente por cambios en la dirección de los vientos en ciertos períodos del año.

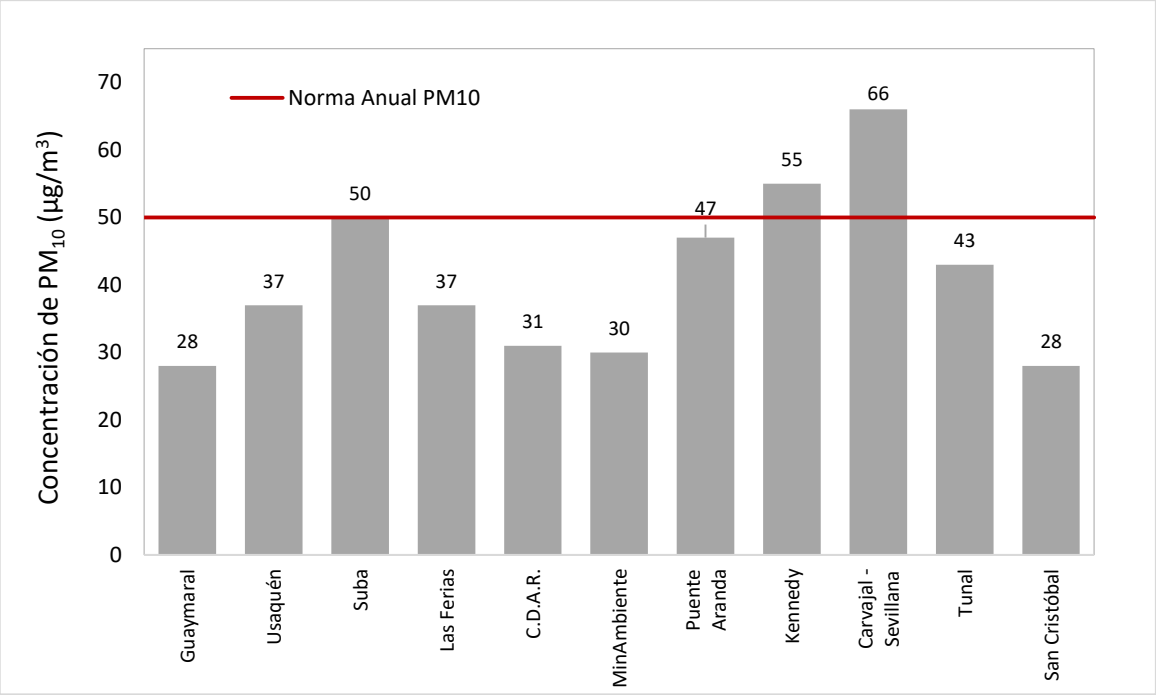


Figura 6-1. Concentración anual de PM_{10} por estación para el año 2017

En la Tabla 6-1 se muestra la comparación de los promedios anuales de PM_{10} del año 2017 por estación con respecto a los promedios de concentración del año 2016. Se evidencia que en todas las estaciones hubo una disminución de las concentraciones con respecto al año anterior, a excepción de la estación San Cristóbal, en la que hubo un incremento de 2 µg/m³. La mayor disminución se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, en la cual la concentración del 2017 es 10 µg/m³ más baja que la registrada en el año 2016.

Tabla 6-1. Promedios anuales de PM_{10} para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM_{10} 2016 (µg/m³)	Promedio PM_{10} 2017 (µg/m³)	Cambio de 2016 a 2017
Guaymaral	32	28	↓
Usaquén	42	37	↓
Suba	51	50	↓
Las Ferias	40	37	↓
Centro de Alto Rendimiento	34	31	↓

Estación	Promedio PM_{10} 2016 ($\mu g/m^3$)	Promedio PM_{10} 2017 ($\mu g/m^3$)	Cambio de 2016 a 2017
MinAmbiente	34	30	↓
Puente Aranda	52	47	↓
Kennedy	58	55	↓
Carvajal-Sevillana	76	66	↓
Tunal	50	43	↓
San Cristóbal	26	28	↑

La distribución espacial de la concentración de PM_{10}, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-2, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad temporal mayor al 75%. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona correspondiente a la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, en el área de influencia de la estación Carvajal-Sevillana, con un rango de concentraciones entre 61 y 70 $\mu g/m^3$. En el siguiente rango de concentración (51 a 60 $\mu g/m^3$) se encuentra el área de influencia de la estación Kennedy, que incluye el resto de las áreas de las localidades Kennedy y Bosa, y la zona occidental de las localidades Ciudad Bolívar y Puente Aranda. Con ello se evidencia que la zona suroccidental es en la cual se presentan las mayores concentraciones de PM_{10}, como ha sucedido en años anteriores.

Por otro lado, las menores concentraciones se presentan en el corredor oriental de la ciudad, especialmente en las áreas de influencia de las estaciones San Cristóbal y Guaymaral, posiblemente por influencia de la dirección del viento, que circula la mayoría del año de oriente a occidente, y por la ubicación cercana a zonas verdes, con baja influencia de contaminación por fuentes fijas y móviles.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

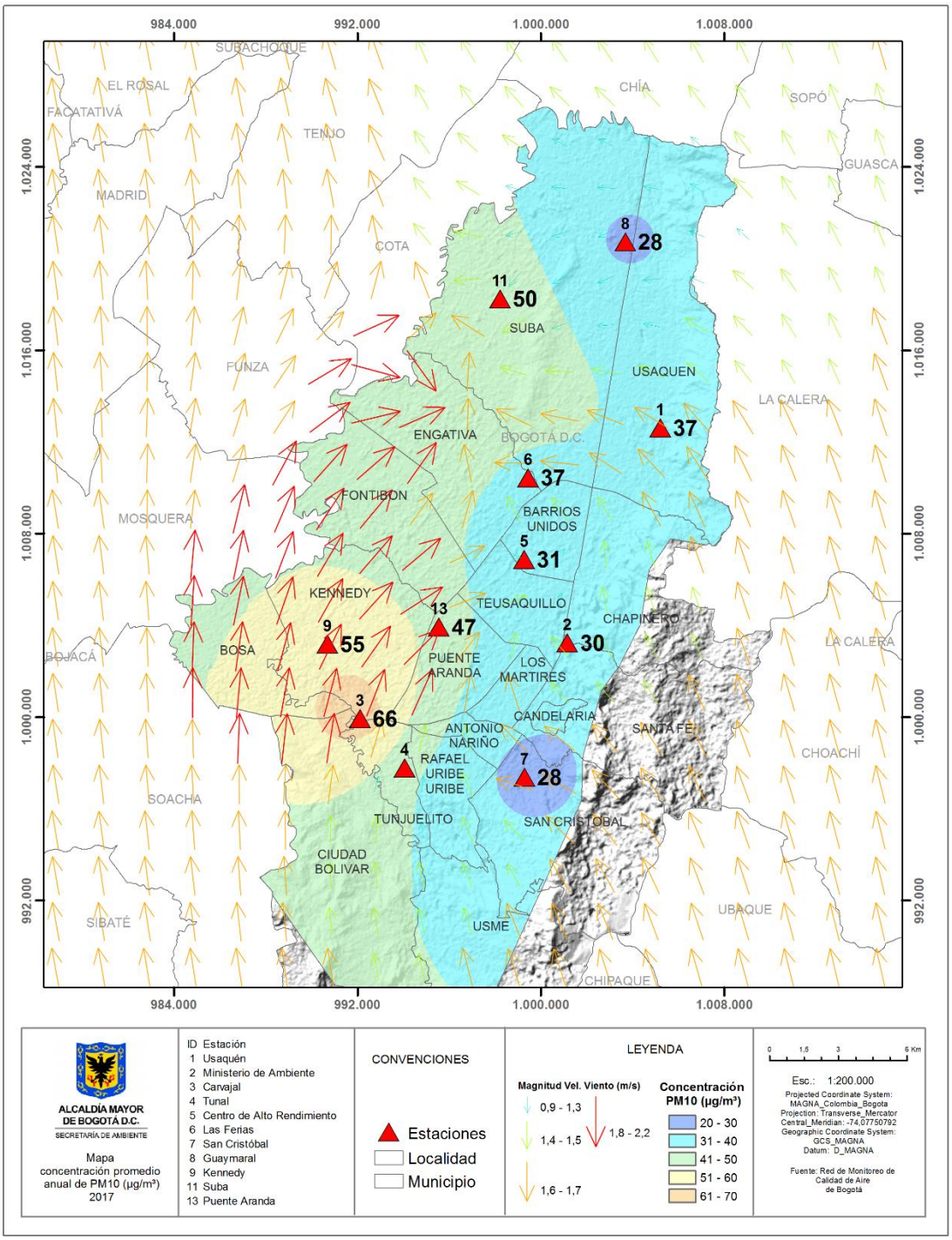


Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

6.1.1.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias sobre el valor de la norma respectiva, que corresponde a 100 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75% para los datos validados, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año 2017, las 11 estaciones que monitorearon concentraciones de PM_{10} tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 84%, siendo las estaciones de Puente Aranda (100%), Kennedy y Guaymaral (97%) las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, en tanto que la estación MinAmbiente tuvo la menor representatividad temporal, como se observa en la Tabla 6-2.

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de PM_{10} para un tiempo de exposición diario, que es de 100 µg/m^3, se presentaron un total de 21 excedencias sobre dicho límite. Las excedencias de 2017 se registraron en la estación Carvajal-Sevillana con 16, en Kennedy con 3 excedencias y en las estaciones Tunal y Puente Aranda con una excedencia cada una, en el resto de las estaciones no se registraron excedencias. De manera similar se observa la proporción en los datos que se encuentran entre el 90 y el 100% de la norma, con la mayor cantidad de valores en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, aunque también se observan valores en las estaciones del centro y norte de la ciudad, Usaquén Suba y Las Ferias, con lo cual existe la probabilidad de que en estas estaciones se presenten valores que excedan la norma.

Las concentraciones máximas diarias para el 2017 se presentaron en su mayoría en el mes de abril, en las zonas centro y sur de la ciudad; los valores más altos se registraron en las estaciones Carvajal-Sevillana (124 µg/m^3 el 7 de abril) y las estaciones Tunal y Kennedy (108 µg/m^3 el 9 de febrero y el 7 de abril). El resto de los valores máximos se presentaron en los meses de febrero y agosto. Ver Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{10} durante el año 2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual (µg/m^3)	Excedencias de la norma 100 µg/m^3	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	354	97	28	0	0.0	0	76	15/02/2017
Usaquén	325	89	37	0	0.0	1	91	07/04/2017
Suba	310	85	50	0	0.0	1	91	02/08/2017
Las Ferias	319	87	37	0	0.0	1	91	07/04/2017
Centro de Alto Rendimiento	321	88	31	0	0.0	0	89	07/04/2017
MinAmbiente	308	84	30	0	0.0	0	71	07/04/2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual (µg/m³)	Excedencias de la norma 100 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Puente Aranda	364	100	47	1	0.3	2	103	07/04/2017
Kennedy	354	97	55	3	0.9	5	108	09/02/2017
Carvajal-Sevillana	327	90	66	16	4.9	18	124	07/04/2017
Tunal	346	95	43	1	0.3	0	108	07/04/2017
San Cristóbal	321	88	28	0	0.0	0	70	19/02/2017

El comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria (100 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-3, en la cual se observa que para todas las estaciones las concentraciones diarias más altas se presentaron entre los meses de febrero y abril, y las más bajas en los meses de junio y julio. También se evidencia que la estación Carvajal-Sevillana presentó las concentraciones diarias más altas, lo cual es consecuente con el número de excedencias registradas en esta estación.

Todas las estaciones cumplieron con el criterio de representatividad temporal mayor al 75%, aunque se observa que para las estaciones con el porcentaje de representatividad más bajo hubo períodos en los que no hubo captura de datos: en Suba y Usaquén en el mes de abril, en Carvajal-Sevillana en el mes de febrero y en MinAmbiente desde finales de noviembre.

El comportamiento semanal de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2017 se muestra en la Figura 6-4 y en la Figura 6-5, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves para todas las estaciones, y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento puede ser causado posiblemente por la dinámica de la ciudad y variaciones de los parámetros meteorológicos, dado que el tráfico vehicular y la actividad industrial se reducen en los fines de semana, mientras que en los días hábiles la contaminación generada se mantiene con pocas variaciones. En el comportamiento semanal de las concentraciones, cada promedio de concentración en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

En relación a la norma diaria de PM_{10}, las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Puente Aranda y Tunal tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los 100 µg/m^3, en especial las dos primeras estaciones. Adicionalmente se observa en los diagramas de caja que hay pocos datos atípicos de concentración, que corresponden a datos máximos en eventos específicos, lo cual se evidencia en las estaciones Usaquén, MinAmbiente, Tunal y San Cristóbal.

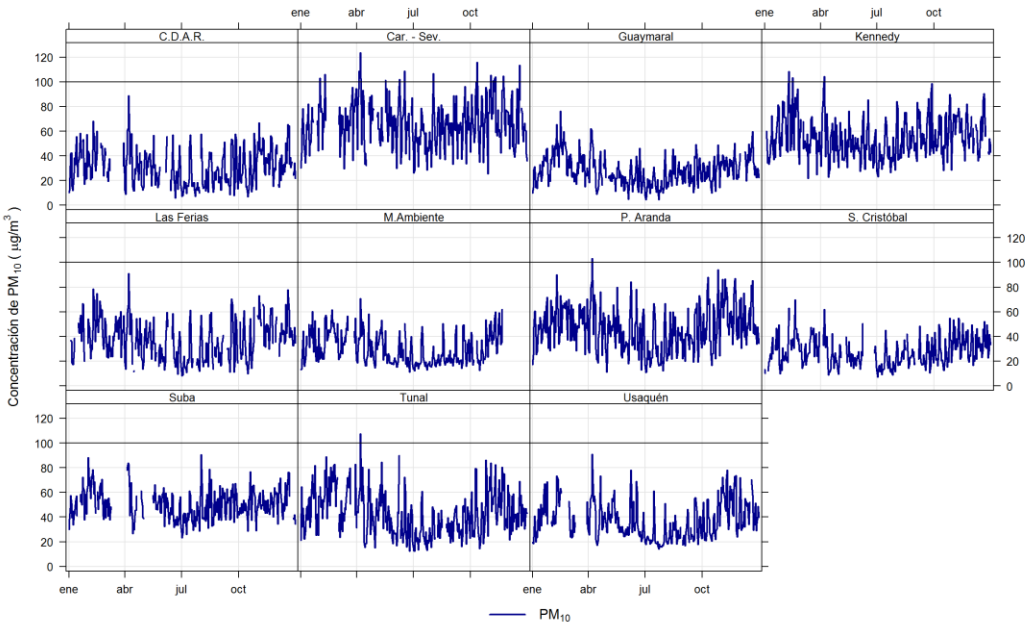


Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2017 y comparación con norma diaria (100 µg/m³)

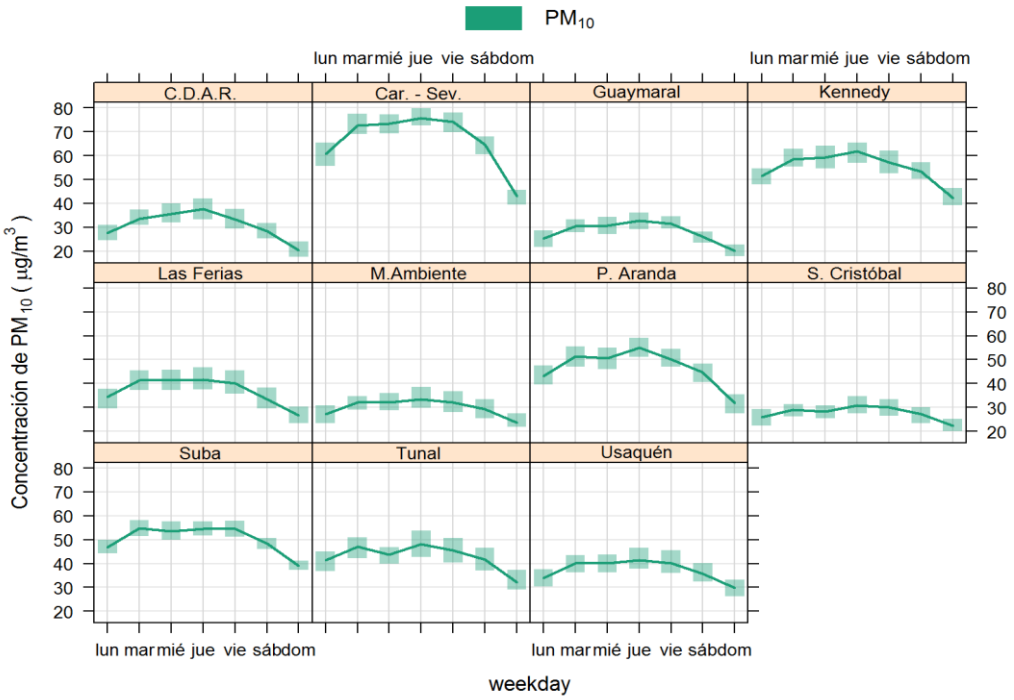


Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

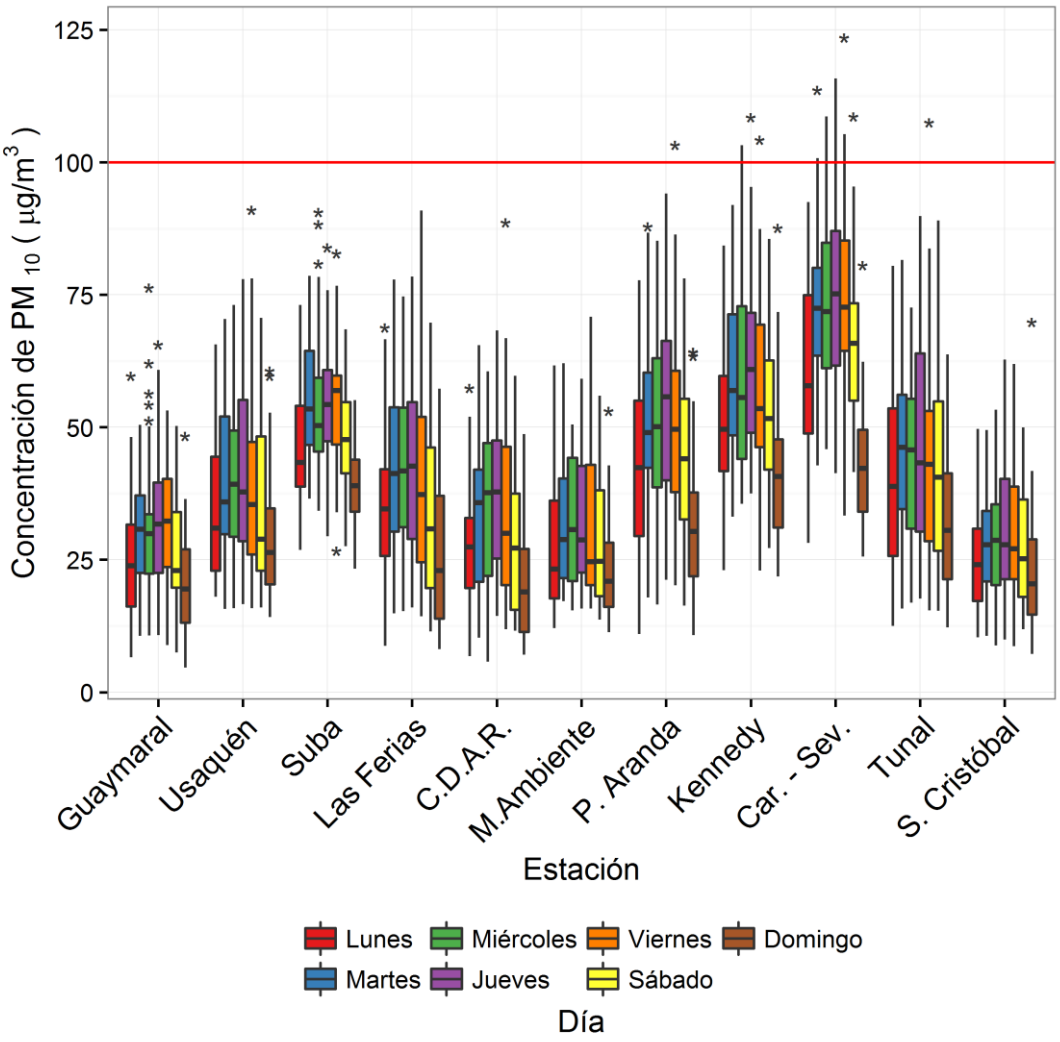


Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de PM_{10} para el año 2017 se representan en la Figura 6-6 y en la Figura 6-7, en las que se observa que las concentraciones más altas se presentan en el primer cuatrimestre del año, con tendencia al incremento desde enero, después las concentraciones tienen a disminuir hasta registrar los valores más bajos en julio, y después inicia otra tendencia al aumento de las concentraciones en menor proporción, hasta los meses de noviembre y diciembre, cuando se registran también altas concentraciones. Este comportamiento puede ocurrir posiblemente por la influencia de los vientos que se presentan a mitad de año y contribuyen a la dispersión de los contaminantes, además de las variaciones en la dinámica de la ciudad a mitad de año por la temporada de vacaciones. También existe influencia de episodios de variaciones en los parámetros meteorológicos, como cambios en la dirección del viento e inversiones térmicas, los cuales causan incrementos en las concentraciones en ciertos períodos del año.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-7, se observa que en la estación Carvajal-Sevillana se presentan los valores más altos durante todo el año, especialmente en los meses de febrero y octubre, los cuales exceden el valor permisible por la norma diaria; en las estaciones Kennedy y Puente Aranda también se registraron valores altos de concentración en los meses de febrero y abril, los cuales sobrepasaron la norma diaria.

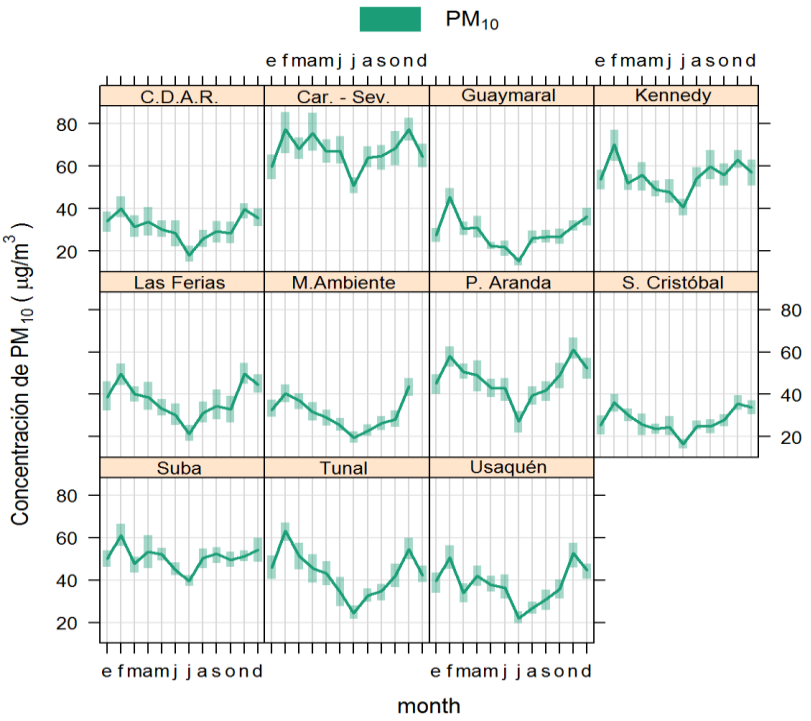


Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM_{10} ciclo mensual para el año 2017 por estación

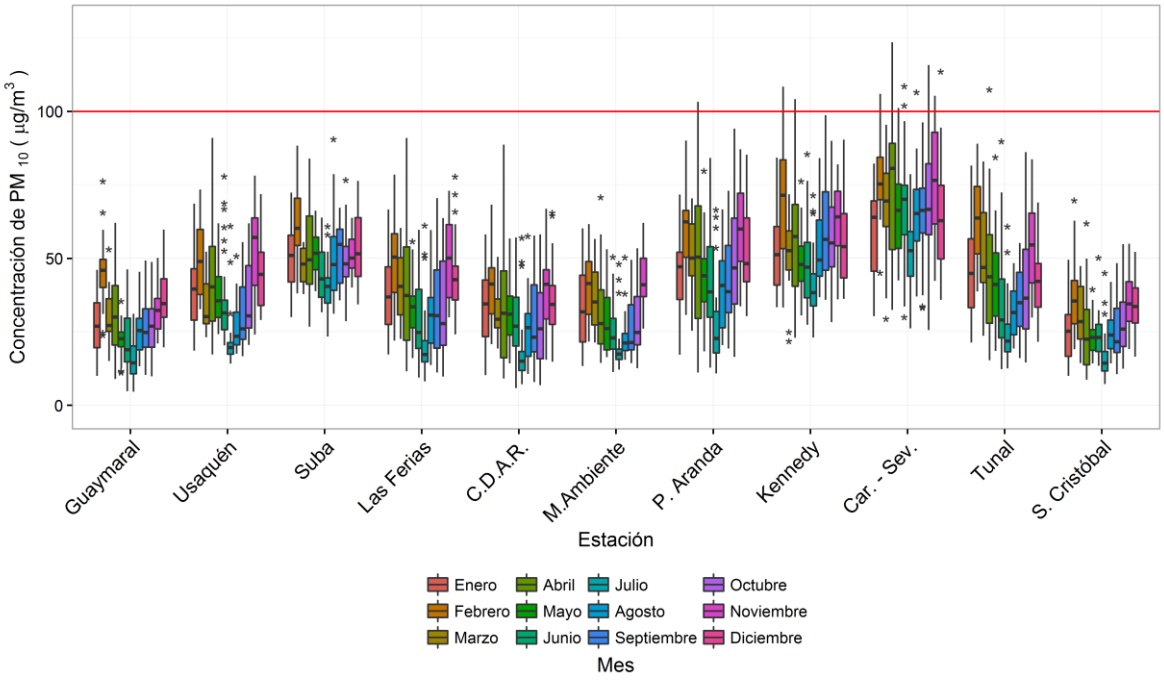


Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.1.1.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-8 se observa el perfil horario de las concentraciones durante un día promedio del año, en el cual se observa que las concentraciones disminuyen levemente desde las 12 de la noche hasta la madrugada, cuando empieza a incrementarse rápidamente hasta alcanzar los valores más altos entre las 6 y 7 de la mañana, luego desciende y se mantiene relativamente estable durante la tarde y la noche, aunque durante el día pueden presentarse algunos incrementos leves de concentración como en Carvajal-Sevillana y Kennedy. Las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan los valores más altos en la hora pico, con concentraciones entre 80 y 100 µg/m^3.

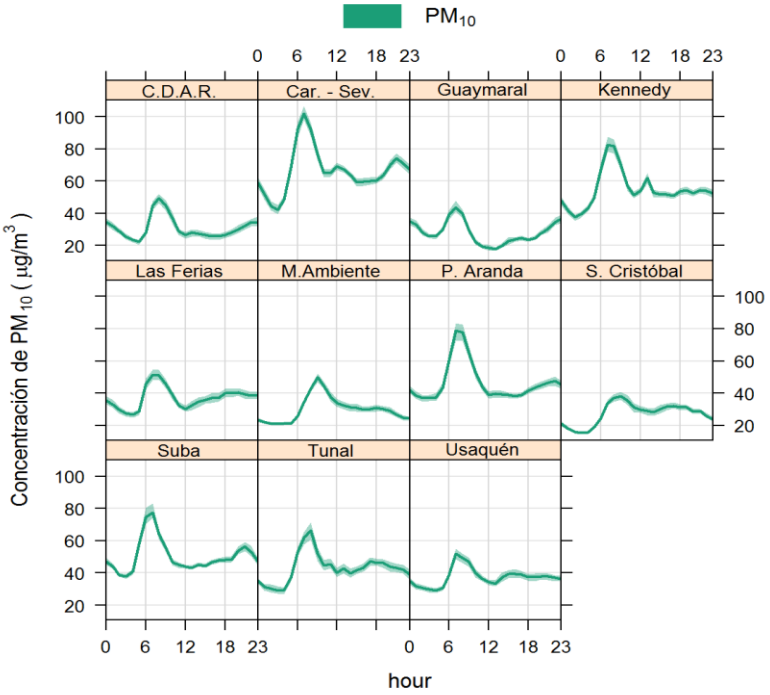


Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

6.1.1.4 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 presenta un resumen de los promedios anuales de PM_{10} de todas las estaciones (calculado con promedios anuales de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y de las concentraciones máximas de PM_{10} para el período 2013 – 2017. El promedio ciudad del año 2017 es el más bajo registrado en los últimos cinco años, y se redujo 4 µg/m^3 con respecto al promedio del año anterior. La concentración máxima se ha registrado en los últimos tres años en la estación Carvajal-Sevillana, aunque el valor registrado en 2017 es menor de los datos de los últimos cinco años.

Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM_{10} para los años 2013 a 2017

Año	Promedio anual consolidado (µg/m^3)	Máximo (µg/m^3)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón

Año	Promedio anual consolidado ($\mu g/m^3$)	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana
2016	45	138	20/01/2016	Carvajal-Sevillana
2017	41	124	07/04/2017	Carvajal-Sevillana

Según la Figura 6-9, en los últimos cinco años se observa que hay datos representativos para todos los años a excepción de los datos del 2014 en Guaymaral y del 2013 en Fontibón. Las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Tunal y Puente Aranda tienen a presentar varios datos que sobrepasan el límite de la norma, aunque todas las estaciones han registrado al menos un valor sobre el límite permisible, principalmente en los años 2013 y 2014. Para la mayoría de las estaciones, el año 2014 ha sido en el que se han registrado los valores más altos, y los años 2015 y 2017 han registrado valores más bajos que en los demás años.

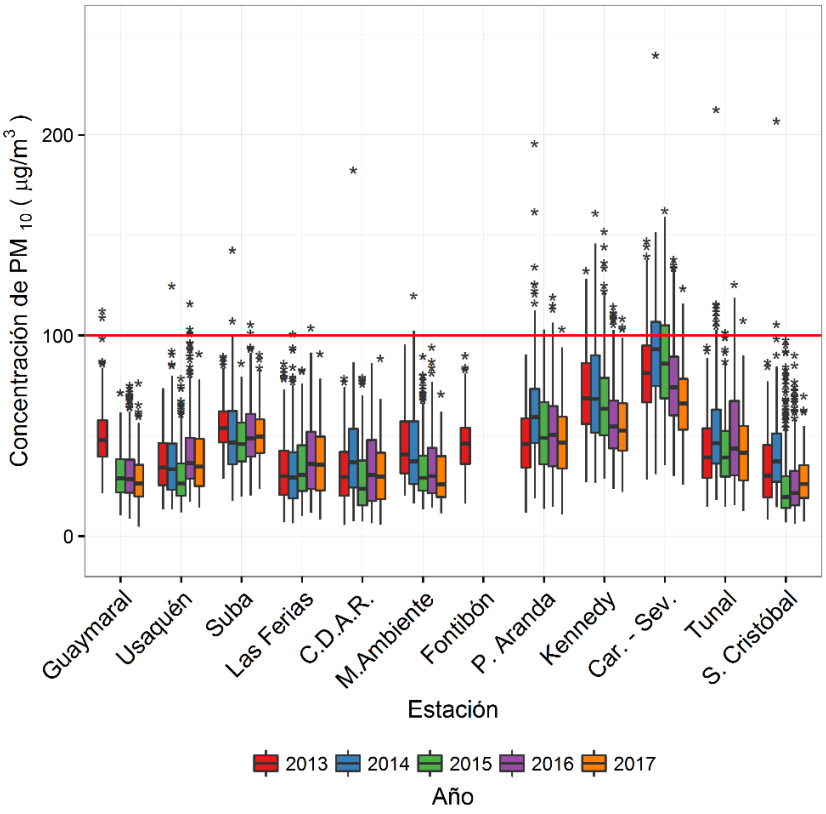


Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por estación para los años 2013 a 2017

6.1.2 $PM_{2.5}$

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es inferior a 2.5 µm, las fuentes de estas partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales.

Para el año 2017, diez (10) estaciones reportaron datos de $PM_{2.5}$ con una representatividad temporal mayor al 75%, de las once (11) estaciones que monitorearon el contaminante.

6.1.2.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-10 presenta la concentración anual promedio de $PM_{2.5}$ por estación y su comparación con el nivel máximo anual establecido por la norma nacional (25 µg/m^3). Se puede observar que las estaciones que presentaron las concentraciones más altas fueron Carvajal-Sevillana con 28 µg/m^3 y Kennedy con 27 µg/m^3, las cuales además sobrepasaron el nivel máximo permisible. Las estaciones que reportaron las menores concentraciones fueron San Cristóbal con 12 µg/m^3 y Usaquén con 14 µg/m^3. Para este contaminante se presenta un comportamiento muy similar al del PM_{10}, con concentraciones altas en las estaciones del suroccidente y concentraciones bajas en el costado oriental de la ciudad.

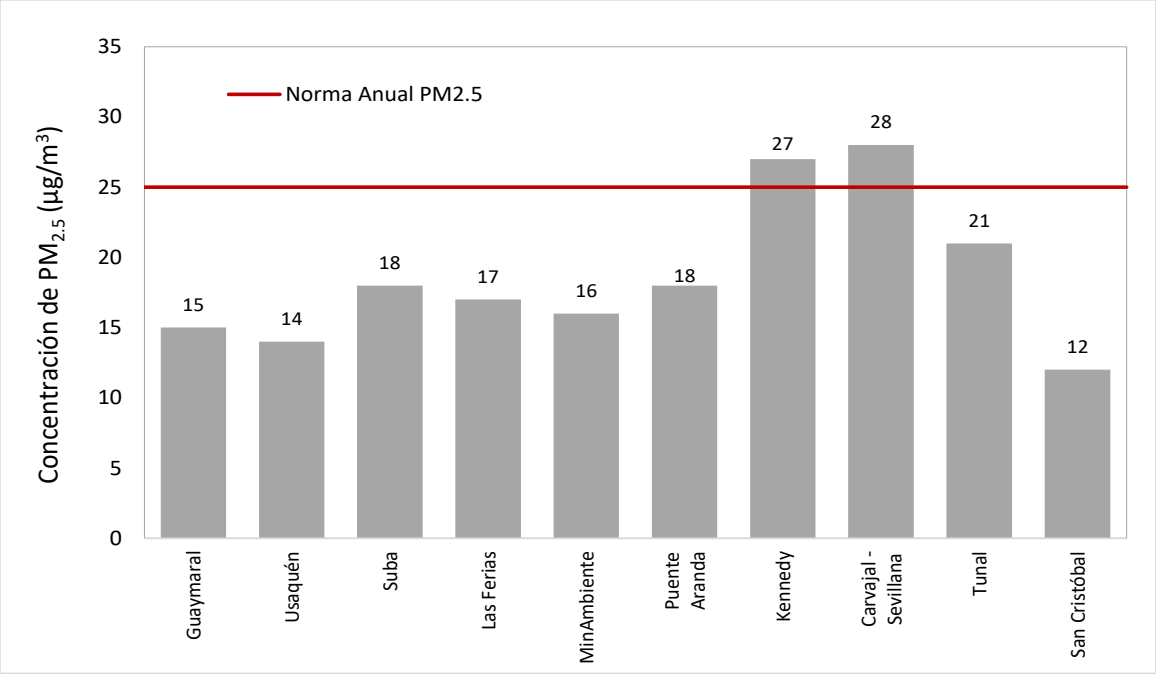


Figura 6-10. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para el año 2017

La comparación de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-4. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observa que hubo una reducción en las concentraciones en todas las estaciones, a excepción de la estación San Cristóbal, en la cual se incrementó la concentración en 2 µg/m^3 sobre el valor del año anterior. La mayor reducción se observó en las estaciones Kennedy y Usaquén, con una disminución de 3 µg/m^3 con respecto al valor del año 2016.

Tabla 6-4. Promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio $PM_{2.5}$ 2016 (µg/m^3)	Promedio $PM_{2.5}$ 2017 (µg/m^3)	Cambio de 2016 a 2017
Guaymaral	16	15	↓
Usaquén	17	14	↓
Suba	N.R.	18	N.A.
Las Ferias	19	17	↓
Centro de Alto Rendimiento	20	N.R.	N.A.
MinAmbiente	18	16	↓
Puente Aranda	N.R.	18	N.A.
Kennedy	30	27	↓
Carvajal-Sevillana	N.R.	28	N.A.
Tunal	23	21	↓
San Cristóbal	10	12	↑

La distribución espacial de la concentración de $PM_{2.5}$ con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-11. Se elaboró un mapa mediante el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de la estación Centro de Alto Rendimiento). En este mapa se puede observar que la zona en la que confluyen las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito es en la que se presenta el rango de las concentraciones más altas, entre 26 y 30 µg/m^3, esta área es más amplia que la zona en la que se presentan las concentraciones más altas de PM_{10}. En contraste, las zonas de menor contaminación son las áreas de influencia de las estaciones San Cristóbal y Usaquén, en el oriente de la ciudad, de manera similar al comportamiento de PM_{10}, con lo cual puede haber influencia de la dirección de los vientos en la dispersión de la contaminación en dicha zona.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización del comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

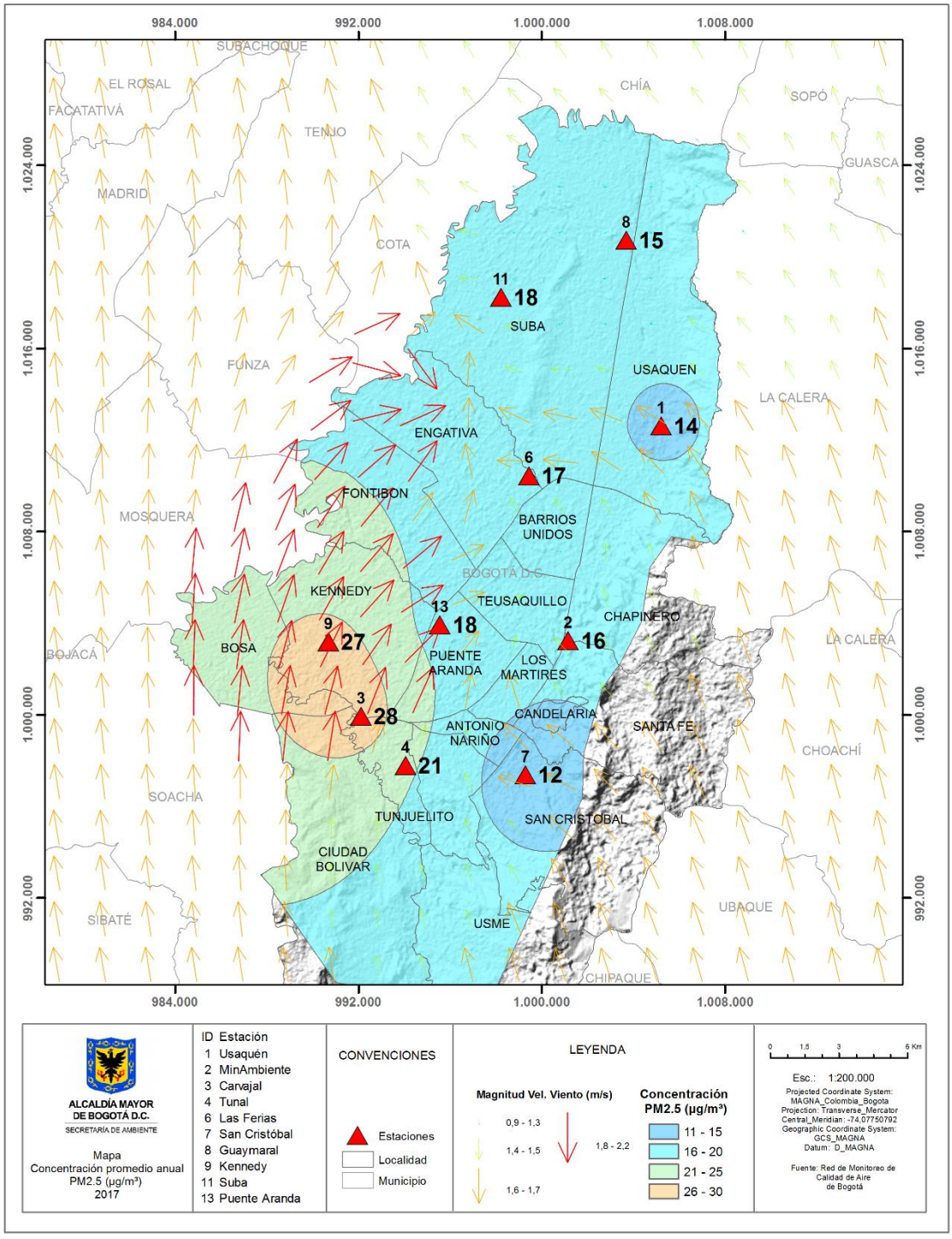


Figura 6-11. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

6.1.2.2 COMPORTAMIENTOS DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ se evalúa con base en las excedencias sobre el valor de la norma respectiva, que corresponde a 50 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75% para los datos validados, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año 2017, de las 11 estaciones que reportaron datos de $PM_{2.5}$, 10 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones Carvajal-Sevillana y Tunal las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 99% y 97% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-5. La estación Centro de Alto Rendimiento es la única que tuvo baja representatividad, con un 63% de datos válidos; esto se debe a que el equipo estuvo en mantenimiento en el segundo trimestre del año, y retomó el monitoreo desde junio.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición diario, (50 µg/m^3), se presentaron un total de 2 excedencias sobre la norma, las cuales se registraron en las estaciones Tunal y Carvajal-Sevillana, una en cada estación. Por otro lado, la estación Kennedy fue la que registró mayor cantidad de datos entre el 90 y el 100% de la norma, con lo cual tiene más probabilidad de presentar valores que superen la norma.

Las concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el 2017 se presentaron en su mayoría en el mes de abril, en diferentes zonas de la ciudad; el 7 de abril se registraron valores máximos en las Ferias, Puente Aranda y Tunal. En las demás estaciones se registraron valores máximos en los meses de febrero, marzo, noviembre y diciembre. La concentración máxima más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana con 56 µg/m^3, el día 19 de diciembre.

Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de $PM_{2.5}$ durante el año 2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias de la norma anual (50 µg/m³)	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	330	90	15	0	0.0	0	33	21/12/2017
Usaquén	309	85	14	0	0.0	0	37	21/02/2017
Suba	349	96	18	0	0.0	0	42	11/04/2017
Las Ferias	312	85	17	0	0.0	0	39	07/04/2017
Centro de Alto Rendimiento*	229	63	15	0	0.0	0	36	21/02/2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias de la norma anual (50 µg/m³)	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del máximo
MinAmbiente	297	81	16	0	0.0	0	45	25/03/2017
Puente Aranda	311	85	18	0	0.0	0	42	07/04/2017
Kennedy	344	94	27	0	0.0	10	49	09/02/2017
Carvajal-Sevillana	360	99	28	1	0.3	8	56	19/12/2017
Tunal	354	97	21	1	0.3	3	51	07/04/2017
San Cristóbal	338	93	12	0	0.0	0	34	10/11/2017

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a l nivel máximo permisible por la norma diaria (50 µg/m^3) se encuentra en la Figura 6-12, en la cual se observa que en la mayoría de las estaciones se registraron concentraciones altas en los primeros seis meses del año, sin embargo en las estaciones Carvajal-Sevillana y San Cristóbal las concentraciones más altas se registraron en el último trimestre del año.

Solamente la estación Centro de Alto Rendimiento tuvo una baja representatividad en el 2017, lo cual se evidencia en la gráfica, ya que no hubo captura de datos entre los meses de marzo y junio. En las demás estaciones se observa en general que hubo continuidad en la captura de los datos.

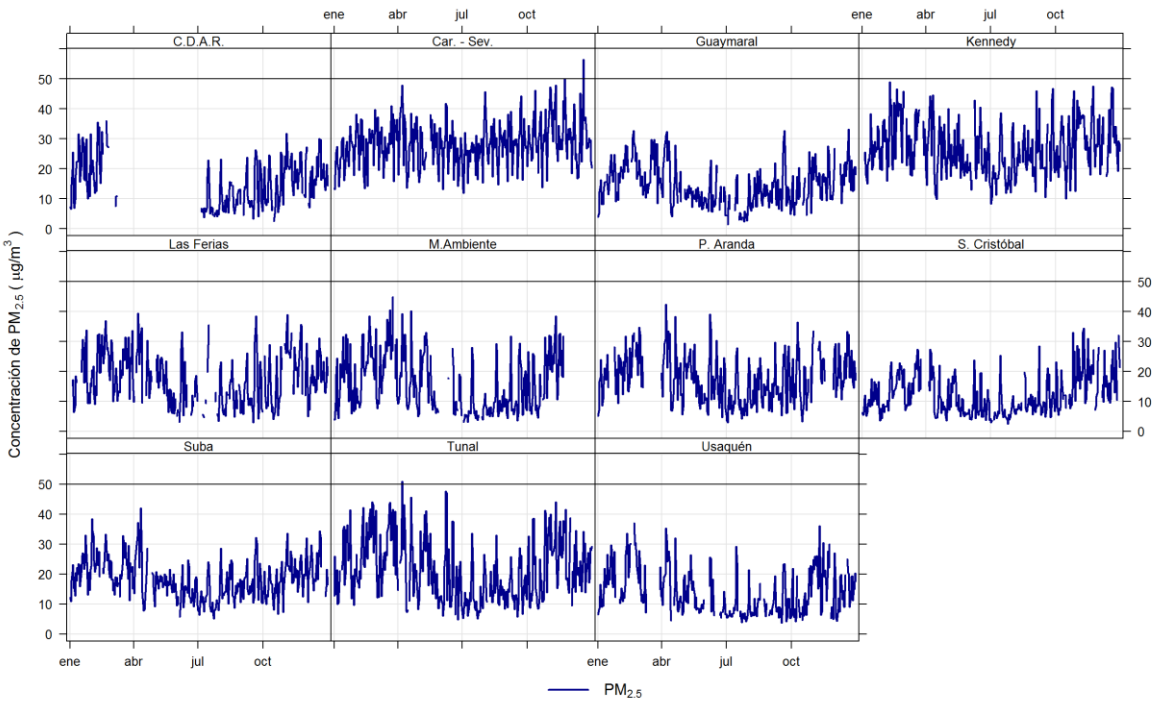


Figura 6-12. Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m^3)

El comportamiento semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-13 y en la Figura 6-14, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan principalmente los días viernes, no obstante en las estaciones MinAmbiente, Tunal y Usaquén hay incrementos en las concentraciones de los días martes. En general se observa el mismo patrón de comportamiento que el PM_{10}, con incremento de las concentraciones durante los días hábiles y disminución en los fines de semana, hasta los domingos cuando se registran las menores concentraciones.

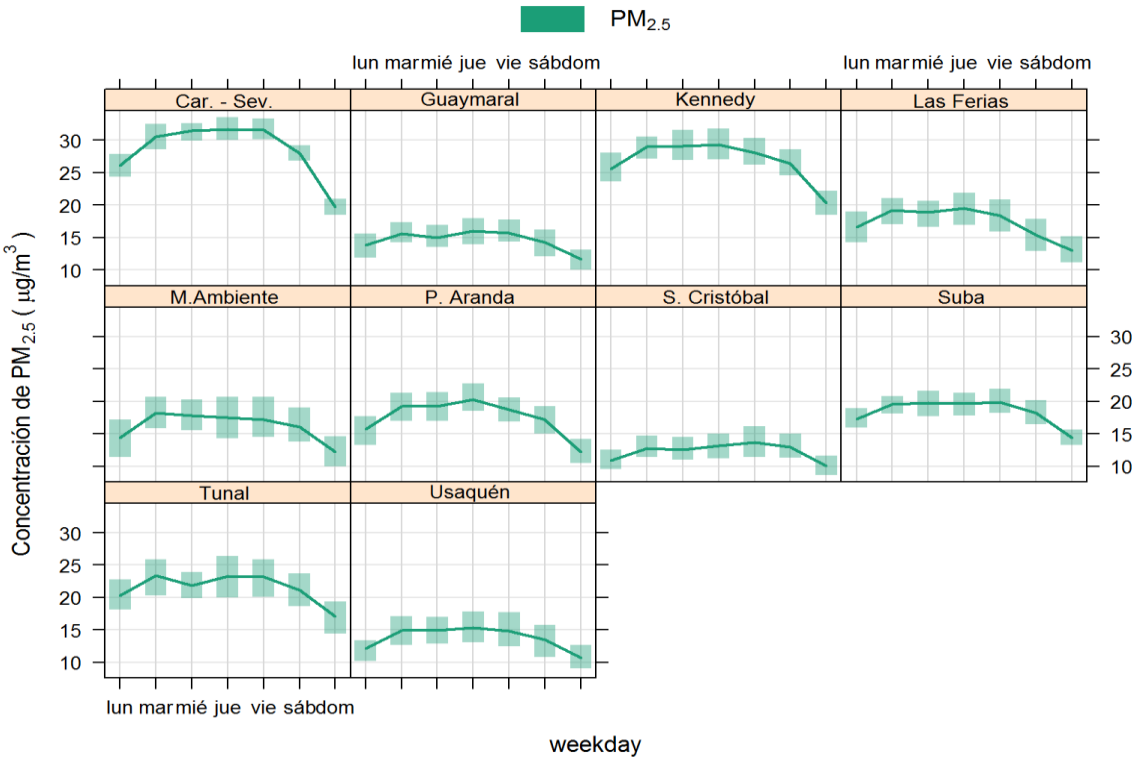


Figura 6-13 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

La Figura 6-14 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones de PM $_{2.5}$ por día de la semana, donde se observa que durante el año la gran mayoría de los datos registrados estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido por la norma anual, y las concentraciones más altas se registraron en Kennedy, Tunal y Carvajal-Sevillana, principalmente los días jueves y viernes. En general en todas las estaciones se presentaron pocos datos atípicos, por lo que el rango en el que se presentaron las concentraciones no es tan variable como en el caso del PM_{10}.

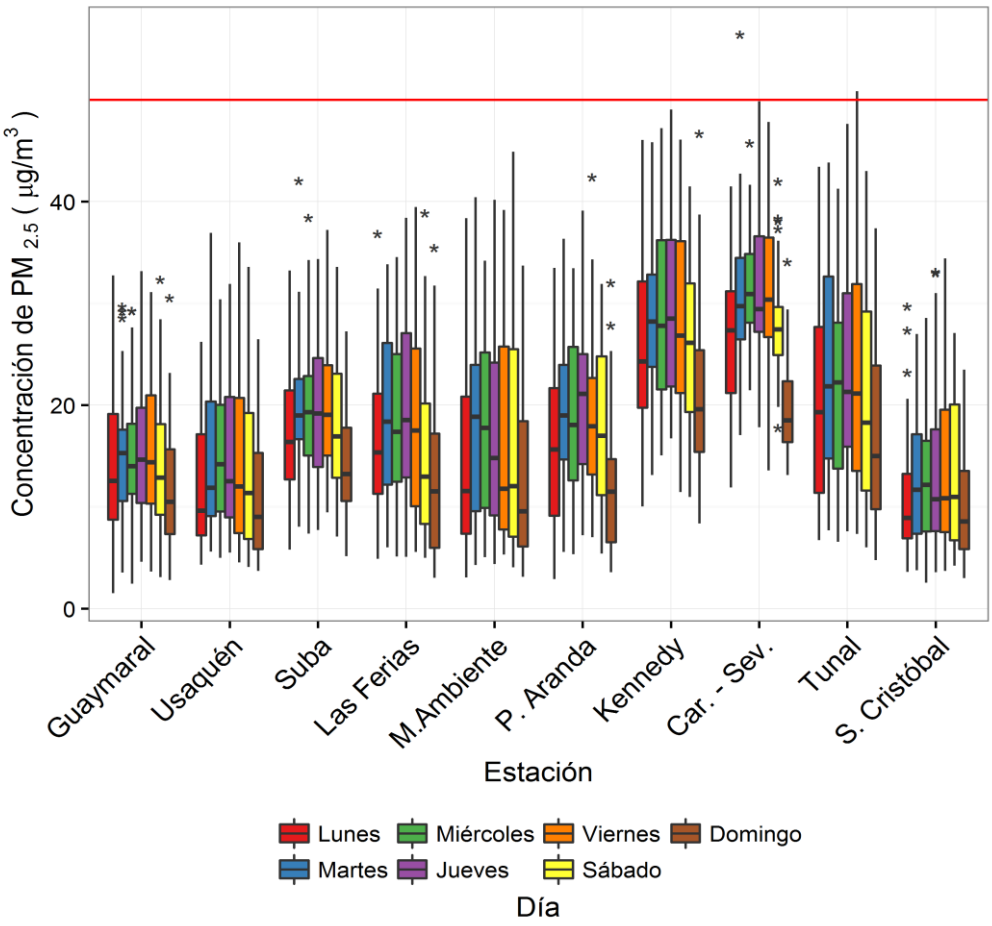


Figura 6-14. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2017 se muestran en la Figura 6-15 y en la Figura 6-16, en las que se observa el comportamiento del contaminante durante el año. Las concentraciones inician con una tendencia al aumento, registrando los valores más altos entre febrero y marzo, luego hay una disminución gradual hasta los meses de junio y julio, los que registran los valores más bajos, y luego hay un nuevo incremento de las concentraciones hasta noviembre, cuando se presenta un segundo pico de concentraciones, el cual es más alto que el pico del primer semestre para las estaciones Carvajal-Sevillana, San Cristóbal y Las Ferias.

Las concentraciones más altas por mes se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, con valores del orden de 30 a 35 µg/m^3, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en las estaciones Guaymaral y San Cristóbal.

La Figura 6-16 presenta los diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo, se observa que se registraron muy pocos

datos sobre el nivel máximo permisible; la mayor variación de los datos se encuentra en los meses de febrero y abril, y las menores variaciones se registraron en los datos de julio.

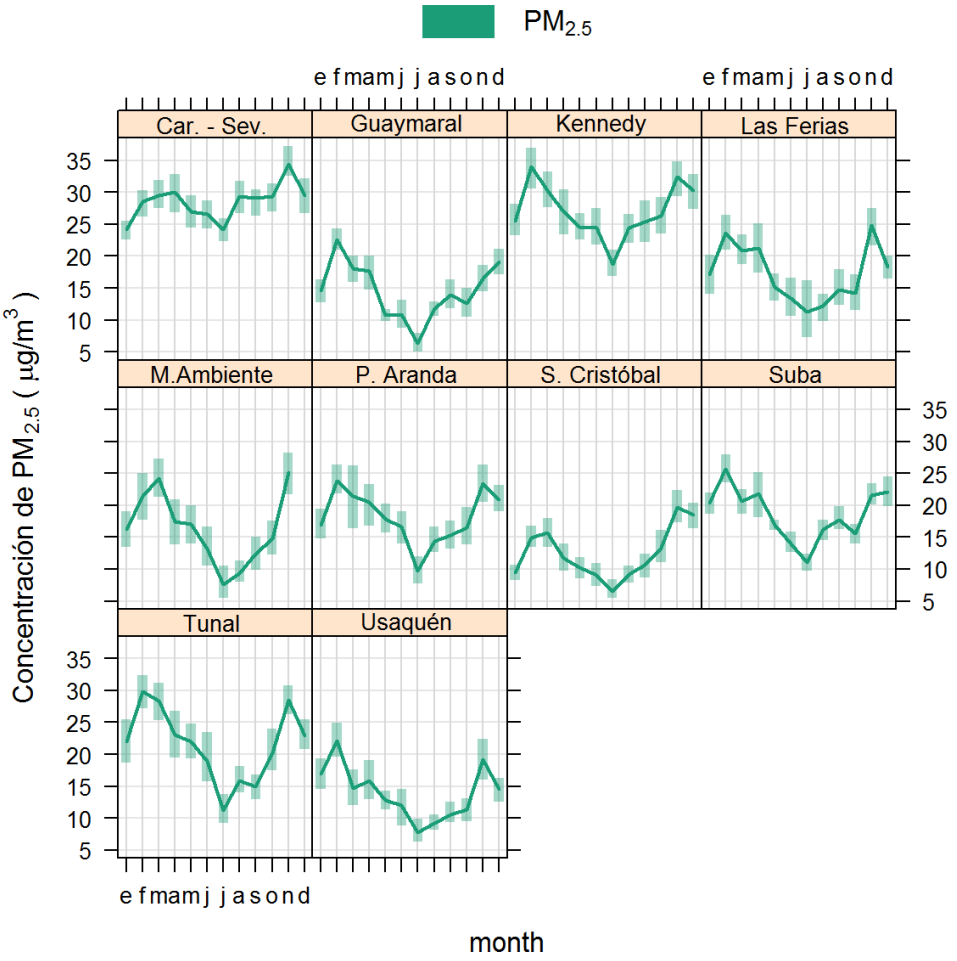


Figura 6-15. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2017 por estación

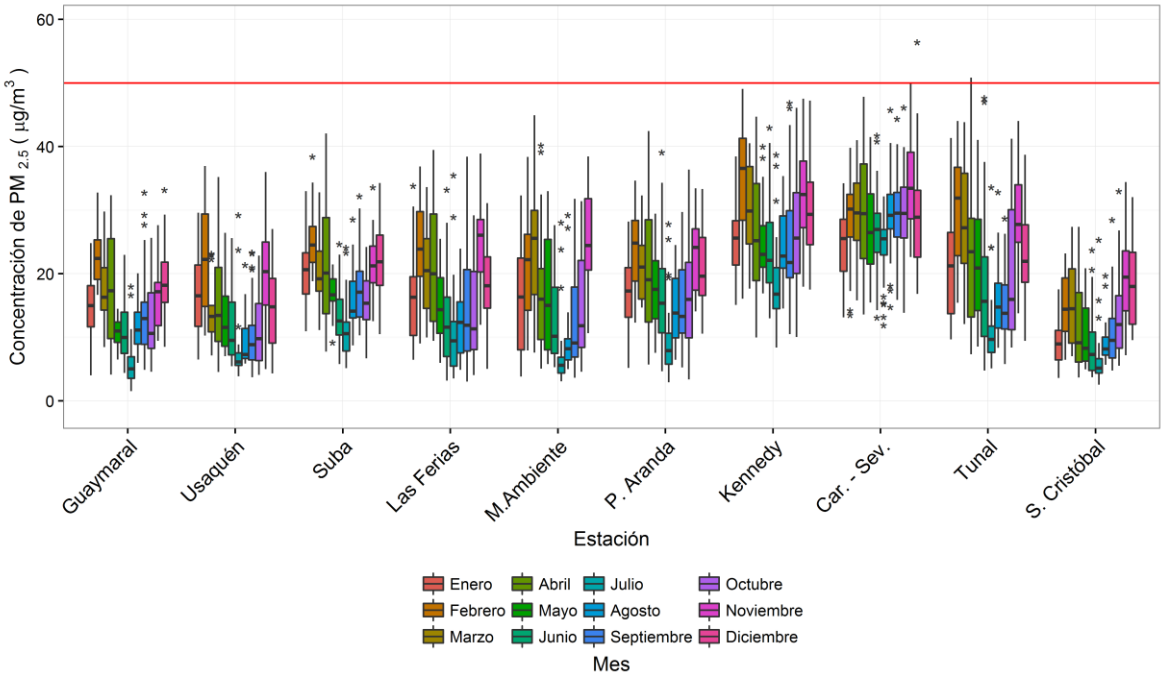


Figura 6-16. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.1.2.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-17 se presenta comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación para un día promedio durante el año 2017. En general el comportamiento de las concentraciones tiende a la disminución en horas de la madrugada, pero comienza a incrementarse hasta alcanzar los máximos valores entre 6 y 7 de la mañana, y después desciende hasta mantenerse estable en horas de la tarde. Las concentraciones registradas en la mañana son mayores que las concentraciones de la noche posiblemente porque en la atmósfera hay un menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento) características de las primeras horas de la mañana.

Sin embargo, las estaciones Las Ferias, San Cristóbal y Tunal tienen un comportamiento distinto, con incrementos más notables en horas de la tarde. Esta situación puede asociarse a fenómenos meteorológicos locales, como cambios en la dirección y velocidad del viento o incrementos en la humedad relativa, lo cual puede contribuir con la variación en los patrones de dispersión de la contaminación.

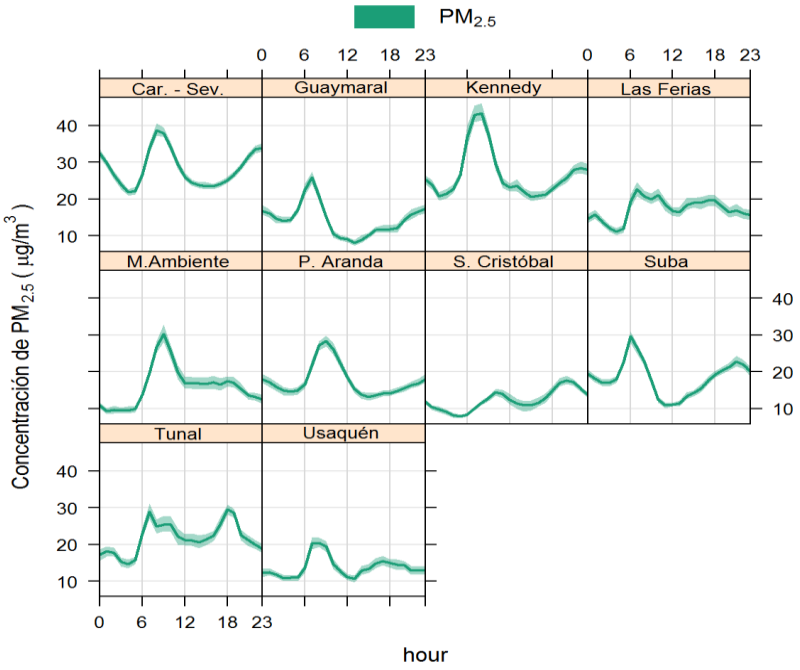


Figura 6-17. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ciclo horario por estación durante el año 2017

6.1.2.4 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-6 contiene un resumen de la concentración promedio de las estaciones por año (calculado con promedios anuales de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el período 2013 – 2017. El promedio anual a nivel ciudad para 2017 se ha mantenido igual en los últimos tres años, y ha sido menor a los valores que se presentaron en los años 2013 y 2014. Con respecto a los valores máximos, la concentración del año 2017 es menor registrada en los últimos cuatro años, y el segundo valor que se registra en la estación Carvajal-Sevillana.

Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de $PM_{2.5}$ para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad ($\mu g/m^3$)	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy
2016	19	69	03/02/2016	MinAmbiente
2017	19	56	19/12/2017	Carvajal-Sevillana

La Figura 6-18 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2013 a 2017. Se observa que las estaciones tienen mínimo un año de registros históricos de concentraciones, completando con Puente Aranda la cobertura total del monitoreo del contaminante en la ciudad en octubre de 2016. Las estaciones Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal han registrado los valores más altos en los últimos cinco años, con concentraciones que sobrepasan el nivel máximo permisible diario, aunque en las estaciones Usaquén y MinAmbiente se presentaron algunos valores atípicos en el año 2014, por influencia de incendios en la ciudad. Solamente en la estación San Cristóbal se observa una tendencia al aumento de las concentraciones de PM2.5 en el tiempo, posiblemente registradas cuando ocurren fenómenos de cambio de la dirección de los vientos que no permiten la dispersión de la contaminación generada en la zona oriental de la ciudad.

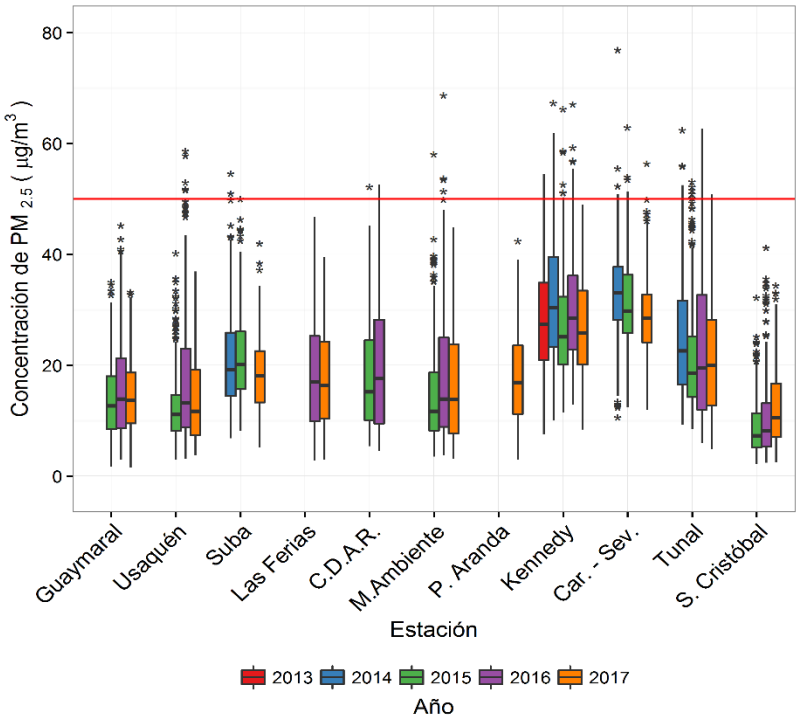


Figura 6-18. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2013 a 2017

6.1.2.5 RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 6-7 muestra la relación de concentraciones promedio anuales de 2017 entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 75%. Diez (10) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas se presentaron en las estaciones MinAmbiente y Guaymaral, lo que indica que en estas zonas hubo una mayor influencia de fuentes de combustión que emiten material particulado fino. Las fracciones más bajas se presentaron en Suba, Puente Aranda y Usaquén, lo que significa que hubo una mayor influencia de emisiones de partículas gruesas, asociadas a cenizas o material resuspendido. En general, las variaciones en los valores de esta relación se atribuyen a cambios en las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

Tabla 6-7. Relación concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$ por estación

Estación	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Guaymaral	15	28	0.54
Usaquén	14	37	0.38
Suba	18	50	0.36
Las Ferias	17	37	0.46
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	31	N.A.
MinAmbiente	16	30	0.53
Puente Aranda	18	47	0.38
Kennedy	27	55	0.49
Carvajal - Sevillana	28	66	0.42
Tunal	21	43	0.49
San Cristóbal	12	28	0.43

6.2 GASES

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera. A continuación se da una breve descripción de cada uno de estos.[3]

6.2.1 OZONO

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas (tropósfera) de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

Para el año 2017, diez (10) estaciones reportaron datos de O_3 con una representatividad temporal mayor al 75%, de las once (11) estaciones que monitorearon el contaminante. Además, se obtuvieron 78309 datos válidos de concentración con base en las medias móviles 8 horas, que corresponden al 97% total de los datos capturados por las 11 estaciones.

6.2.1.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-19 muestra los promedios anuales de O_3 por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, esto con el fin de tener una comparación de las concentraciones registradas en las estaciones, ya que no se tiene establecido un nivel máximo permisible con resolución anual para este contaminante.

La concentración promedio anual más alta se registró en la estación Suba, con un valor de 26 µg/m^3, seguida de la estación Usaquén, con 25 µg/m^3; las concentraciones más bajas se reportaron en las estaciones Kennedy, con 8 µg/m^3, y Puente Aranda, con 12 µg/m^3. Con respecto a años anteriores se observa la misma distribución del contaminante, con concentraciones altas en la zona norte y concentraciones bajas en la zona sur, de manera opuesta al patrón registrado para el material particulado. Esta situación puede estar causada por la naturaleza del ozono como contaminante

[3] Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005

secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

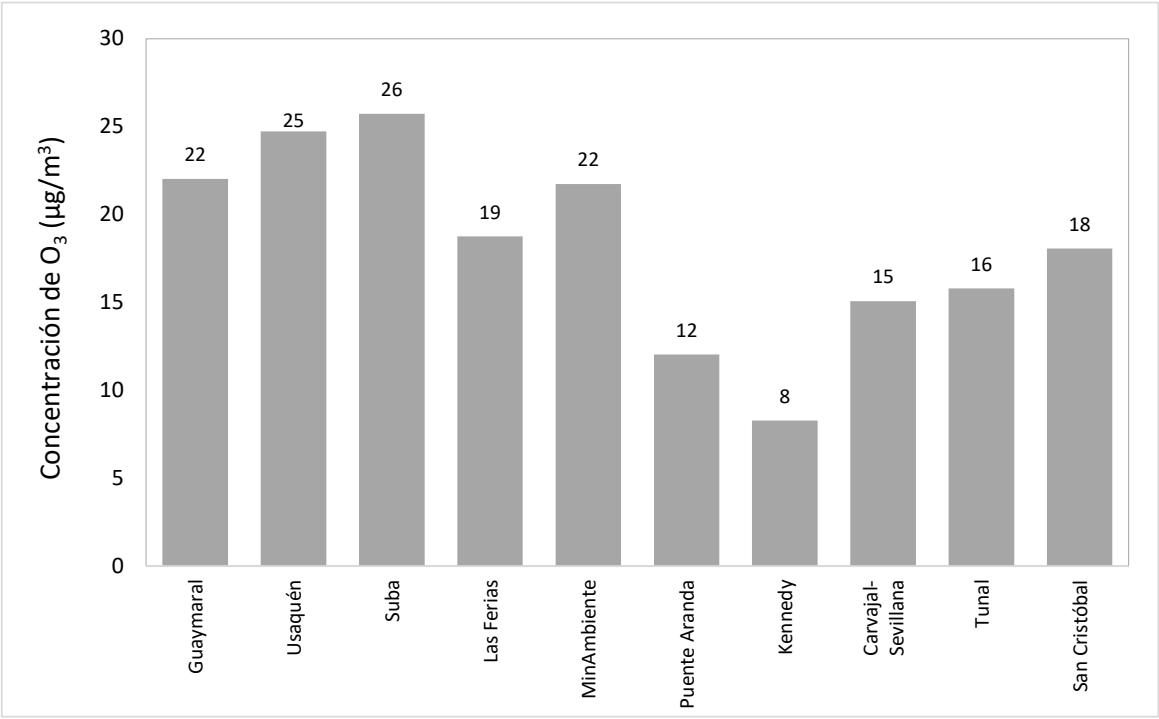


Figura 6-19 Comportamiento de las concentraciones anuales de O_3 para el año 2017

La distribución espacial de la concentración de O_3 en la ciudad se observa en el mapa de la Figura 6-20, el cual fue elaborado a través de una interpolación por el método Kriging, teniendo en cuenta las concentraciones en partes por billón de las estaciones con representatividad mayor a 75%. En este mapa se evidencia que el área de influencia de las estaciones Suba y Usaquén en el norte de la ciudad es la que registra los valores más altos, entre 12 y 14 ppb (24 a 27 µg/m^3), y que la zona que registra las menores concentraciones de ozono es el área de influencia de la estación Kennedy, que incluye la localidad del mismo nombre y parte de la localidad de Bosa, con concentraciones entre 4.1 y 6.4 ppb (8 y 13 µg/m^3). Se observa que el patrón de distribución de las concentraciones difiere del patrón de distribución de material particulado, dada la naturaleza del contaminante, la cercanía a las fuentes y la permanencia en la atmósfera de acuerdo a condiciones de radiación solar, para el caso del ozono.

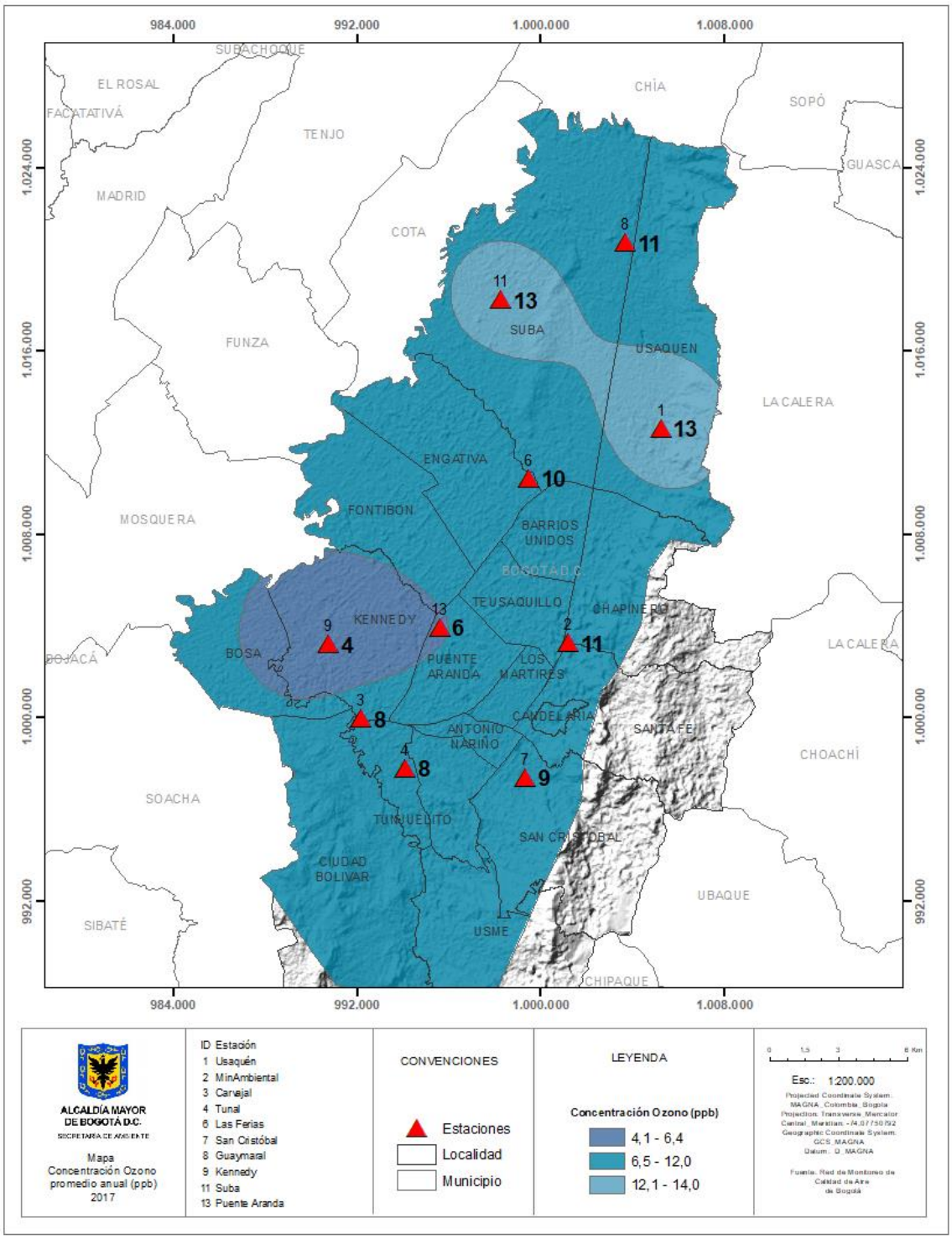


Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O_3 con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

6.2.1.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones de O_3 en los días de la semana para las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-21, en la cual se observa que las mayores concentraciones se presentan en los días domingos, mientras que las menores concentraciones los viernes y en menor proporción los sábados. El comportamiento semanal del ozono varía con respecto al comportamiento del material particulado, ya que las concentraciones de ozono se encuentran influenciadas en mayor proporción por factores como la radiación solar y las concentraciones de Compuestos orgánicos Volátiles (COV's) presentes en la atmósfera, por lo que se encuentran sujetas a las reacciones secundarias que ocurran en la misma, en conjunto con las concentraciones de dióxido de nitrógeno, lo cual es un fenómeno común en las ciudades ampliamente pobladas [4].

En la Figura 6-22 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana, con respecto a la norma horaria en diagramas de caja. Se evidencia que las estaciones Suba y Guaymaral son las que registran el mayor número de excedencias, y la estación Suba reporta los valores más altos de concentración. No se observa un cambio notable entre los promedios de concentración durante los días de la semana, aunque se observan leves incrementos en los promedios de concentración en las estaciones MinAmbiente y Carvajal-Sevillana los días domingos.

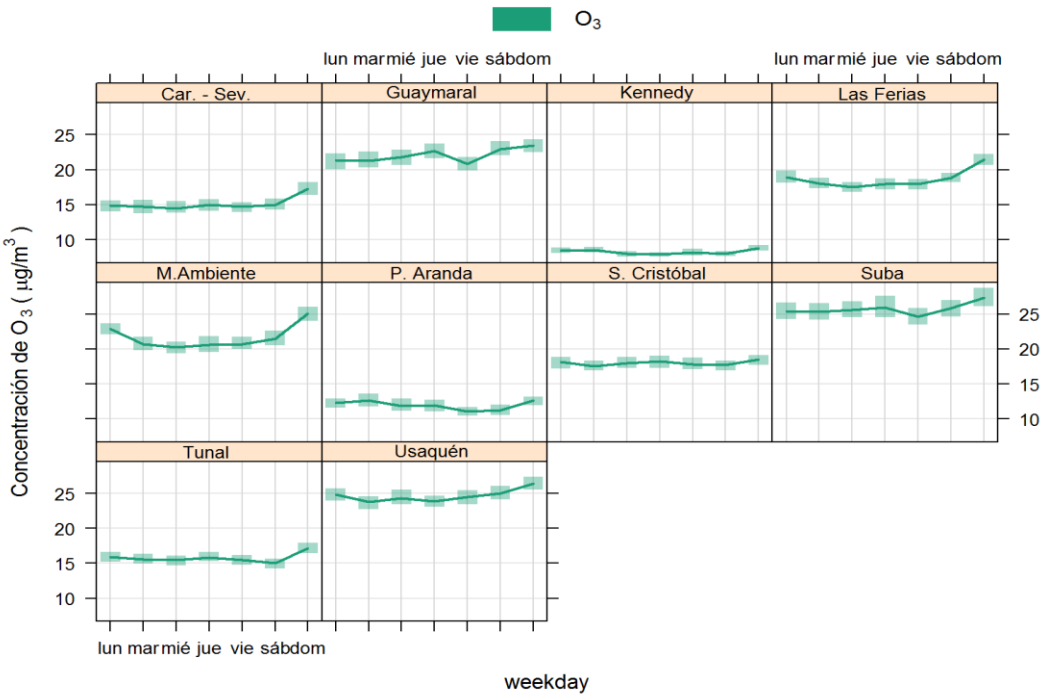


Figura 6-21. Comportamiento de las concentraciones de O_3 ciclo semanal durante el año 2017 por estación

[4] National Research Council. 1991. Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/1889

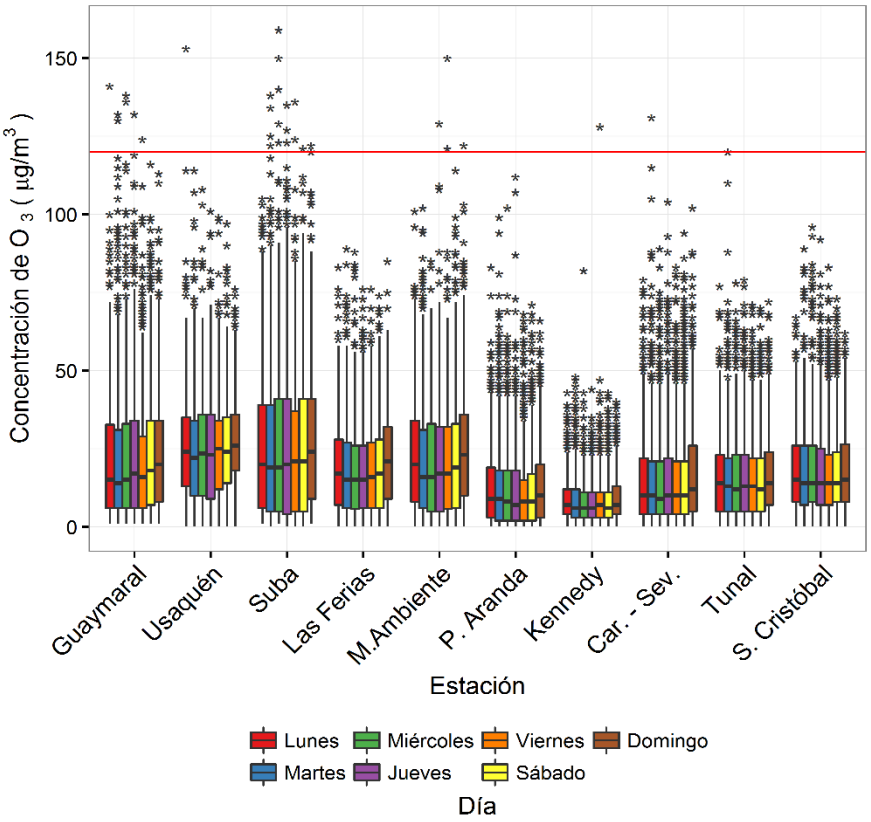


Figura 6-22. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 - ciclo semanal para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de O_3 para el año 2017 se representan en la Figura 6-23, en cada zona de la ciudad se observó un patrón de comportamiento distinto. En el norte, en las estaciones Suba, Guaymaral y Usaquén, se presentaron altas concentraciones entre febrero y abril, del orden de 25 a 35 µg/m^3, después se presentó un descenso en las concentraciones hasta junio, cuando alcanzaron los valores más bajos, cercanos a los 15 µg/m^3, y después las concentraciones aumentaron nuevamente hasta el mes de septiembre, presentando valores de más de 35 µg/m^3 en el caso de Usaquén. Caso contrario se observó en las estaciones del suroccidente Kennedy y Puente Aranda, las cuales registraron los registros más altos en febrero, entre 17 y 20 µg/m^3, y en los meses posteriores hubo un descenso gradual de las concentraciones, presentando un ligero incremento entre agosto y septiembre, que no superó las concentraciones del inicio de año, con registros menores a 15 µg/m^3.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-24, se observa que la estación Kennedy tuvo registros bastante bajos en comparación con las mimas estaciones de la zona, aunque el suroccidente de la ciudad se ha caracterizado por presentar las menores concentraciones de ozono. También se hace notable el incremento gradual de las concentraciones de ozono en San Cristóbal, que varió de aproximadamente 10 µg/m^3 en enero a 40 µg/m^3 en septiembre, por una posible influencia de los COV's en la generación de ozono en la zona.

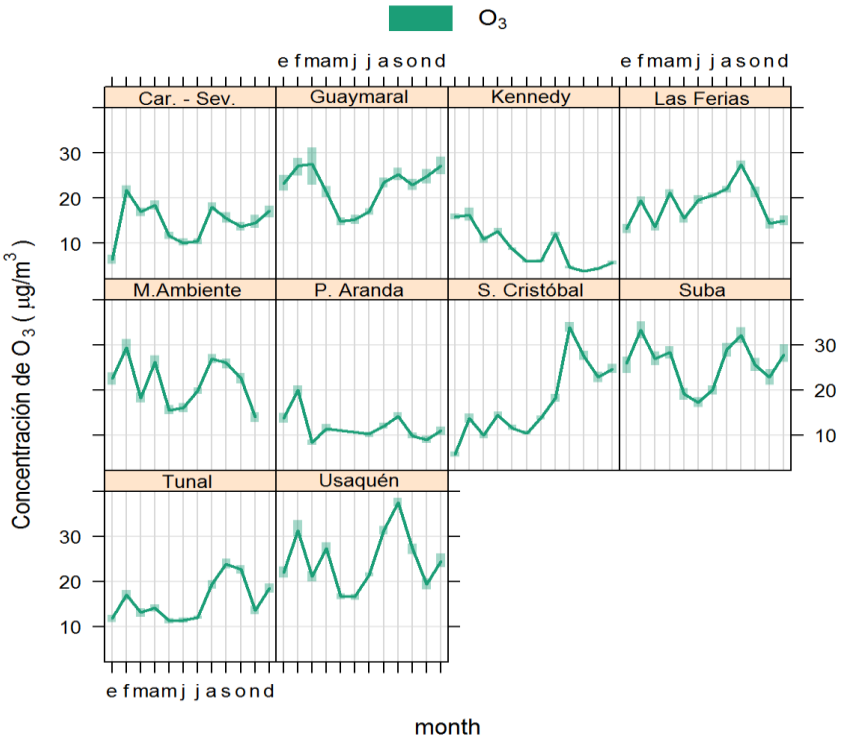


Figura 6-23. Comportamiento mensual de la concentración de O_3 para el año 2017 por estación

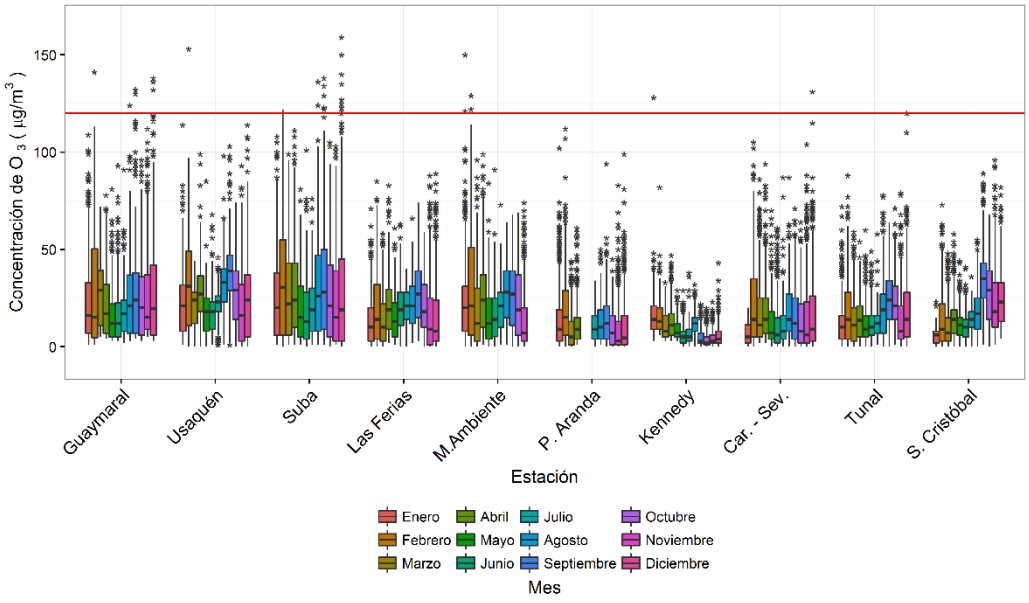


Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O_3 ciclo mensual para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.1.3 COMPORTAMIENTO HORARIOS POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O_3 se evalúa con base en las excedencias sobre el valor establecido por la norma respectiva que corresponde a 120 µg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2017, diez (10) de las once (11) estaciones que reportaron datos de O_3 tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones Suba y Tunal (97 y 96% respectivamente) las que registraron el mayor número de datos válidos con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-8.

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de O_3 para un tiempo de exposición horario, (120 µg/m^3), se presentaron un total de 31 excedencias sobre la norma: 16 en Suba, 7 en Guaymaral, 4 en MinAmbiente y 1 en Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Carvajal-Sevillana, predominando los valores máximos en las estaciones del norte de la ciudad. Adicionalmente, las estaciones Suba y Guaymaral presentan el mayor número de datos en el rango del 90 y 100% del nivel máximo permisible por la norma, con lo cual tienen mayor probabilidad de presentar más cantidad de valores que excedan dicho valor.

Las concentraciones máximas de O_3 para el 2017 se presentaron en igual proporción en los meses de febrero y diciembre, en diferentes sectores de la ciudad. El día 19 de diciembre se registró el mayor número de valores máximos, en las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal y Las Ferias, aunque el valor más alto se presentó el día 20 de diciembre en la estación Suba, con 159 µg/m^3.

Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O_3 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma 1 h 120 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
Guaymaral	86	22	7	0.09	14	141	06/02/2017 13:00
Usaquén	90	25	1	0.01	2	153	06/02/2017 13:00
Suba	97	26	16	0.19	12	159	20/12/2017 16:00
Las Ferias	95	19	0	0	0	89	19/12/2017 14:00
Centro de Alto Rendimiento*	31	20	1	0.04	3	134	09/02/2017 15:00
MinAmbiente	88	22	4	0.05	2	150	13/01/2017 10:00
Puente Aranda	75	12	0	0	1	112	09/02/2017 15:00
Kennedy	85	8	1	0.01	0	128	20/01/2017 15:00

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma 1 h 120 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m³)	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
Carvajal-Sevillana	89	15	1	0.01	1	131	19/12/2017 14:00
Tunal	96	16	0	0	2	120	19/12/2017 14:00
San Cristóbal	92	18	0	0	0	96	22/11/2017 14:00

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O_3 durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (120 µg/m^3) se encuentran en la Figura 6-25. Se observa que en la mayoría de las estaciones las concentraciones fueron mayores en los primeros meses del año, no obstante al final del año también se registraron valores altos que superaron en algunos casos los registros del inicio de año. Además, se evidencia que solamente en las estaciones Las Ferias, Puente Aranda, San Cristóbal y Tunal las concentraciones permanecieron durante todo el año bajo el valor máximo establecido por la norma horaria para ozono.

La estación Centro de Alto rendimiento fue la única que no cumplió con el criterio de representatividad, dado que el monitor se deterioró desde el mes de julio, y no se continuó el monitoreo del contaminante en la estación hasta la reparación del equipo. Las estaciones Kennedy, Puente Aranda y Guaymaral también tuvieron periodos en que no se capturaron datos, sin embargo el resto del año se recolectaron los datos necesarios para realizar los análisis de comportamiento del contaminante.

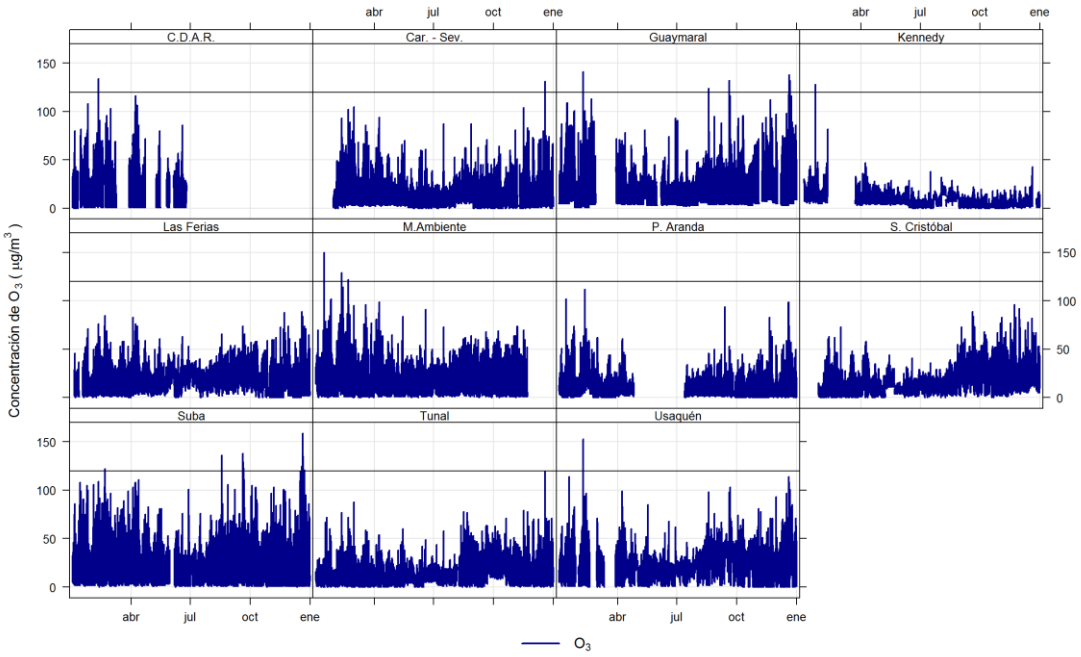


Figura 6-25. Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 por estación y comparación con norma (120 µg/m^3)

En la Figura 6-26 se observa el ciclo horario de las concentraciones de ozono. En general las concentraciones permanecen bajas hasta las 6 AM, cuando empiezan a incrementarse hasta las horas del mediodía, por la presencia de radiación solar, en la tarde empieza a descender nuevamente la concentración, en niveles similares presentados al inicio del día. Las estaciones del norte y centro de la ciudad son las que registran los valores más altos, con concentraciones entre 40 y 50 µg/m^3 en las horas del mediodía, mientras que la estación Kennedy registró los valores más bajos, hasta 15 µg/m^3 en las horas de mayor radiación solar.

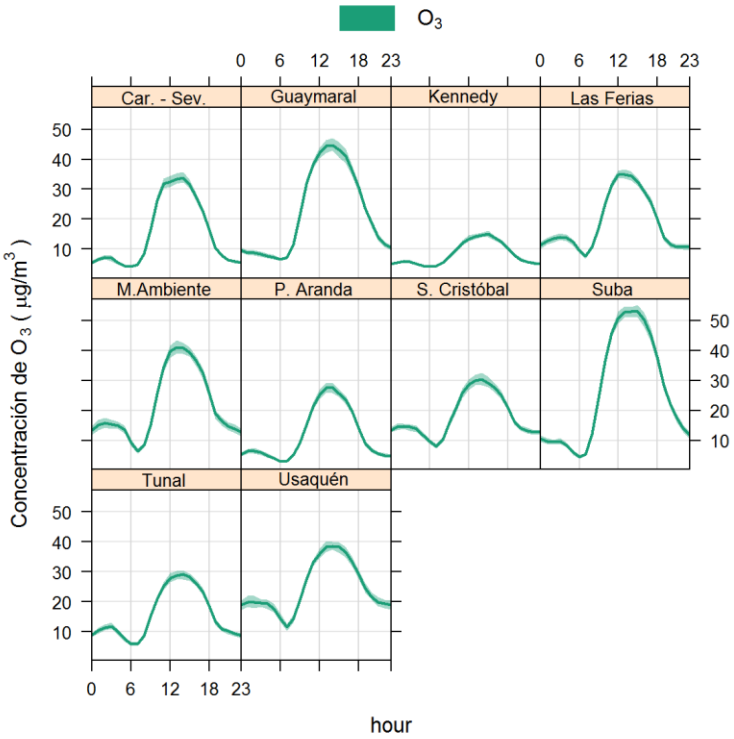


Figura 6-26. Comportamiento de las concentraciones de O_3 en ciclo horario por estación durante el año 2017

6.2.1.4 COMPORTAMIENTO MEDIAS MÓVILES DE 8H POR ESTACIÓN

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de O_3 de 2017por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-9. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observó una disminución en las concentraciones de todas las estaciones con respecto a los valores del año anterior. La mayor reducción se observó en la estación Usaquén, con una disminución de 13 µg/m^3 sobre el valor del 2016.

Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O_3 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio O_3 2016 (8h) (µg/m^3)	Promedio O_3 2017 (8h) (µg/m^3)	Cambio de 2016 a 2017
Guaymaral	25	22	↓
Usaquén	38	25	↓
Suba	N.R.	26	N.A.
Las Ferias	N.R.	19	N.A.

Estación	Promedio O_3 2016 (8h) ($\mu g/m^3$)	Promedio O_3 2017 (8h) ($\mu g/m^3$)	Cambio de 2016 a 2017
Centro de Alto Rendimiento	25	N.R.	N.A.
MinAmbiente	25	22	🡻
Puente Aranda	15	12	🡻
Kennedy	16	8	🡻
Carvajal-Sevillana	N.R.	15	N.A.
Tunal	19	16	🡻
San Cristóbal	19	18	🡻

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 80 $\mu g/m^3$. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de O_3 registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de O_3 para un tiempo de exposición de 8 horas, (80 $\mu g/m^3$), se presentaron un total de 100 excedencias sobre la norma: 61 en Suba, 28 en Guaymaral, 6 en Centro de Alto Rendimiento y 5 en MinAmbiente. A excepción de Centro de Alto Rendimiento, estas estaciones además presentan el mayor número de datos entre el 90 y el 100% del valor del nivel máximo permisible por la norma, con lo cual aumenta la probabilidad de registrar un mayor número de excedencias a la norma 8 horas.

Las concentraciones máximas 8 horas de O_3 para el 2017 se presentaron en mayor medida en el mes de septiembre, en los días 19 y 20, para las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba y San Cristóbal; los demás valores máximos se registraron en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. El valor máximo más alto se presentó en la estación Suba (109 $\mu g/m^3$) el día 19 de septiembre a las 17 horas.

Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O_3 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu g/m^3$)	Excedencias norma 8 h 80 $\mu g/m^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo ($\mu g/m^3$)	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
Guaymaral	87	22	28	0.4	37	100	19/09/2017 17:00
Usaquén	90	25	0	0.0	10	77	20/09/2017 17:00

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma 8 h	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
			80 µg/m³			(µg/m³)	
Suba	97	26	61	0.7	61	109	19/09/2017 17:00
Las Ferias	95	19	0	0.0	0	64	22/11/2017 16:00
Centro de Alto Rendimiento*	31	20	6	0.2	8	92	09/02/2017 18:00
MinAmbiente	88	22	5	0.1	14	87	09/02/2017 18:00
Puente Aranda	75	12	0	0.0	3	75	09/02/2017 18:00
Kennedy	85	8	0	0.0	0	41	20/01/2017 17:00
Carvajal-Sevillana	90	15	0	0.0	2	76	19/12/2017 17:00
Tunal	96	16	0	0.0	0	68	19/12/2017 17:00
San Cristóbal	92	18	0	0.0	3	74	19/09/2017 17:00

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma 8 horas (80 µg/m^3) se presentan en la Figura 6-27, en la cual se observan las excedencias en las estaciones Suba, Guaymaral, MinAmbiente y Centro de Alto Rendimiento, y el incremento en el tiempo de las concentraciones registradas en San Cristóbal y Tunal, lo cual puede causarse por cambios en los regímenes de vientos y la influencia de los COV's en la formación de ozono troposférico.

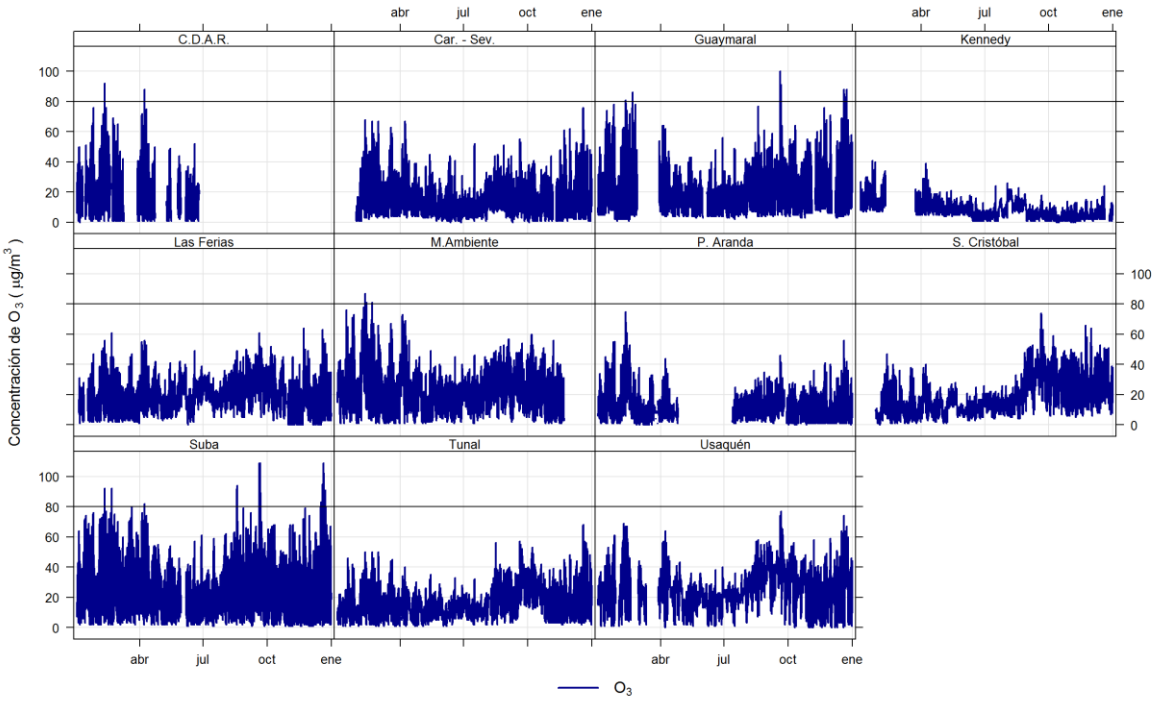


Figura 6-27. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8h) por estación y comparación con norma (80 µg/m^3)

6.2.1.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

Un resumen histórico de las concentraciones anuales promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas para los periodos comprendidos por los años 2013-2017 se presentan en la Tabla 6-11. El promedio de concentración del año 2017 es el menor registrado en los últimos cinco años, y se redujo en 5 µg/m^3 con respecto al valor del año anterior.

El valor máximo de concentración registrado en 2017 es el menor de los últimos cuatro años, solamente superando el valor del año 2013 en 8 µg/m^3, y fue registrado en Suba el día 19 de septiembre, aunque la estación Usaquén es la que ha registrado mayor número de valores máximos en los últimos cinco años.

Para todos los años, los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche donde el efecto de radiación a través del día es más notorio; se debe tener en cuenta que por ser medias móviles, se presenta un desplazamiento natural de los valores máximos, frente a lo reportado en los datos horarios.

Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O_3 para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad (8h)	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
	(µg/m³)	(µg/m³)		
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén
2016	23	143	12/03/2016 17:00	Usaquén
2017	18	109	19/09/2017 17:00	Suba

La Figura 6-28 presenta los diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de los últimos cinco años para cada estación. Se observa que los valores más altos se han registrado en el año 2015, y solamente la estación Carvajal-Sevillana ha reportado valores por debajo del nivel máximo permisible para una resolución temporal de 8 horas.

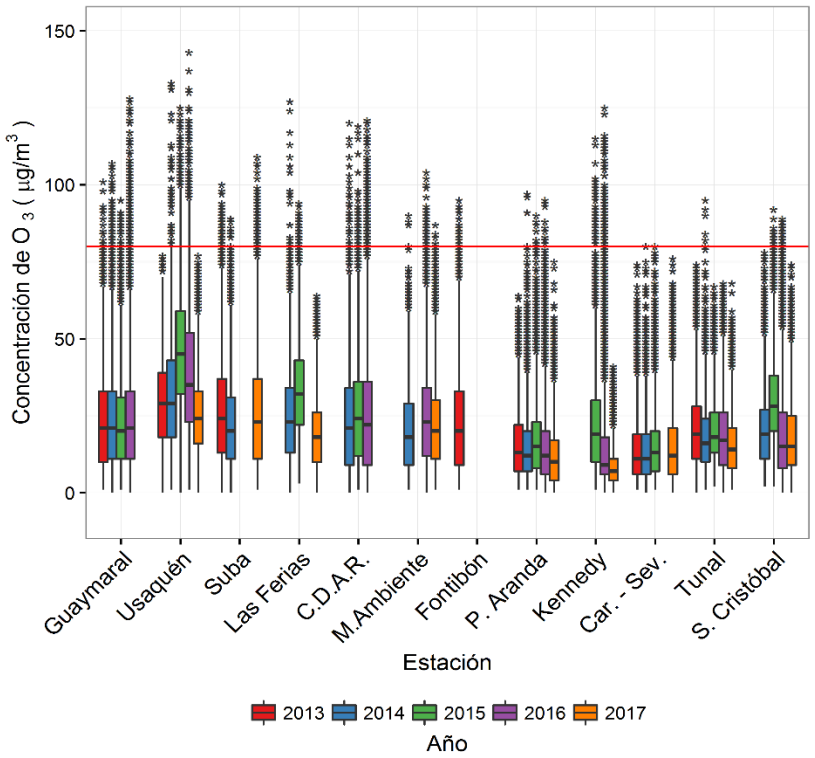


Figura 6-28. Diagrama de cajas de O_3 en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2013 y 2017 (con base en promedios móviles de 8h)

6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias

Para el año 2017, cuatro (4) estaciones reportaron datos de NO_2 con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante durante el año.

6.2.2.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-29 presenta los promedios anuales registrados por las cuatro estaciones que reportaron datos de NO_2 con una representatividad temporal mayor al 75% y su comparación con la norma anual nacional (100 µg/m^3). Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el valor de 100 µg/m^3, y la estación Kennedy presentó la menor concentración con 11 µg/m^3.

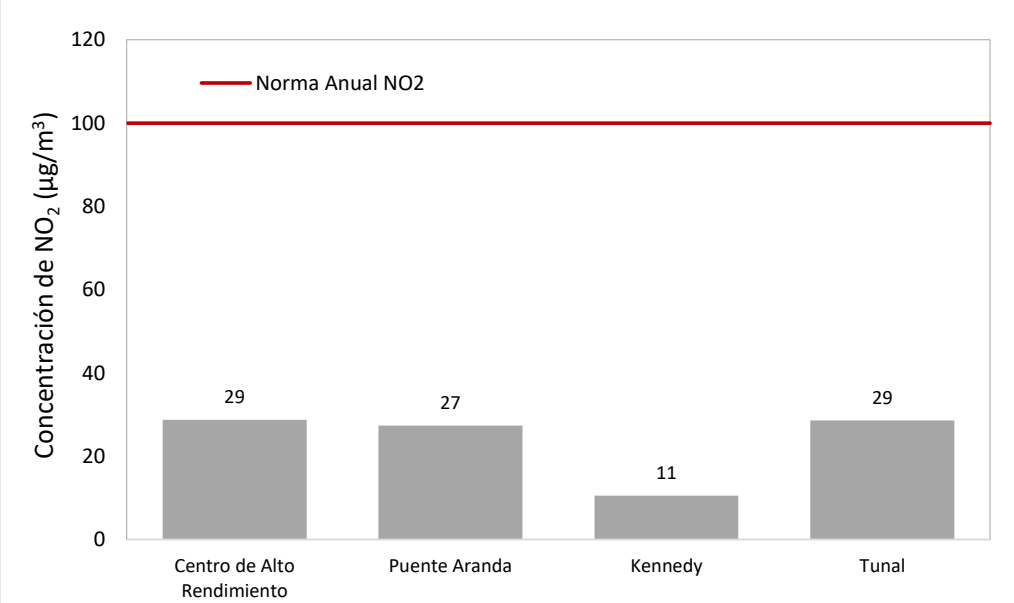


Figura 6-29. Promedios anuales de NO_2 para el año 2017

La comparación de las concentraciones anuales de NO_2 por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-2. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones registradas en 2017 disminuyeron con respecto a los valores del año 2016. La mayor reducción se observó en Puente Aranda, con 7 µg/m^3 de diferencia sobre el valor del 2016. En las estaciones de Guaymaral, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-12. Promedios anuales de NO_2 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio NO_2 2016	Promedio NO_2 2017	Cambio de 2016 a 2017
	($\mu g/m^3$)	($\mu g/m^3$)	($\mu g/m^3$)
Guaymaral	N.R.	N.R.	N.A.
Las Ferias	N.R.	N.R.	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	32	29	↓
Puente Aranda	33	27	↓
Kennedy	N.R.	11	N.A.
Carvajal - Sevillana	N.R.	N.R.	N.A.
Tunal	32	29	↓

6.2.2.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 150 $\mu g/m^3$. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de NO_2 para un tiempo de exposición diario, (150 $\mu g/m^3$), no se presentaron excedencias a dicho valor en ninguna estación. Solamente se reportó un dato entre el 75 y 100% del valor de la norma en la estación las Ferias el día 9 de junio, con lo cual tendría posibilidad de registrar valores sobre la norma.

Las concentraciones máximas se registraron en diferentes meses del año (febrero, abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre). Los valores más altos se presentaron en la zona sur de la ciudad (121 y 93 $\mu g/m^3$) y en el centro (79 y 72 $\mu g/m^3$) (Ver Tabla 6-13)

Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO_2 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			150 µg/m³	(µg/m³)		
Guaymaral	41	21	0	38	22/09/2017	0
Las Ferias	57	45	0	121	09/06/2017	1
Centro de Alto Rendimiento	92	29	0	72	16/12/2017	0
Puente Aranda	95	27	0	58	03/11/2017	0
Kennedy	76	11	0	37	09/02/2017	0
Carvajal - Sevillana	44	44	0	79	07/11/2017	0
Tunal	84	29	0	93	20/04/2017	0

*Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 24 horas de NO_2 durante el 2017 se presenta en la Figura 6-30 en la cual se puede observar que las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Tunal y Puente Aranda tuvieron la motor continuidad en la captura de los datos, y Kennedy tuvo discontinuidades al inicio de año, sin embargo el resto del año logró capturar la cantidad de datos necesaria para la elaboración de los análisis. Las estaciones Carvajal-Sevillana y Guaymaral presentaron el menor porcentaje de representatividad, debido a que hubo muy baja captura de datos en la primera mitad del año, a causa de mantenimientos constantes de los monitores.

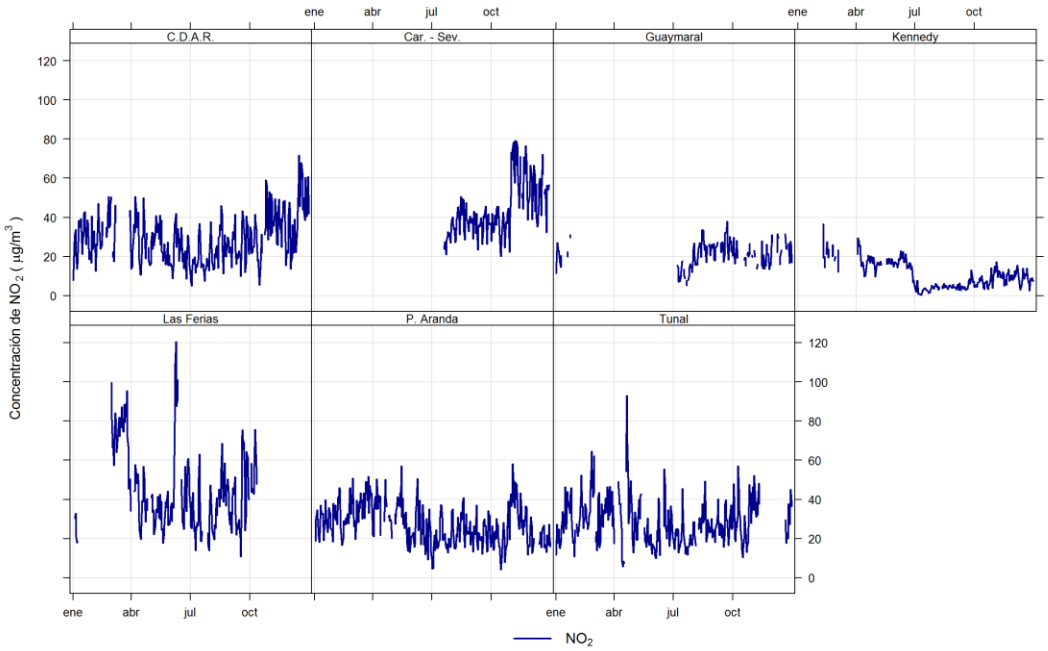


Figura 6-30 Comportamiento diario de la concentración de NO_2 por estación para el año 2017 comparado con la norma diaria 150 µg/m^3

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2 en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-31 y en la Figura 6-32, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y miércoles; y las menores concentraciones ocurren en los domingos y lunes, posiblemente por influencia de la reducción de vehículos que circulan en los fines de semana, y contribuyen a la reducción de concentración del NO2 en dichos días.

.

En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-32, las concentraciones de NO_2 permanecieron por debajo del nivel máximo permisible en todas las estaciones. Los días viernes se registraron las concentraciones más altas, principalmente en la estación Centro de Alto Rendimiento

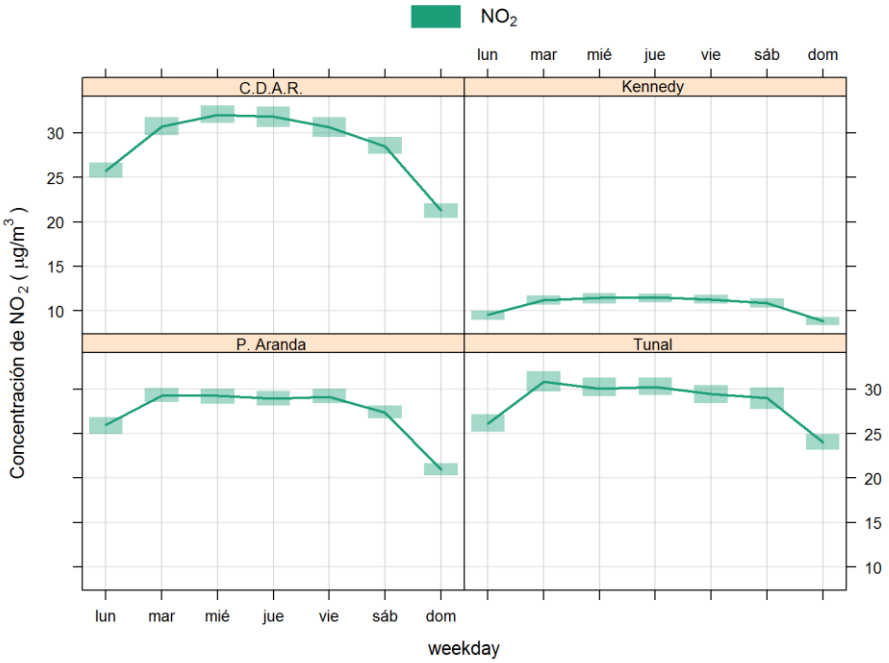


Figura 6-31. Comportamiento de las concentraciones de NO_2 ciclo semanal durante el año 2017 por estación

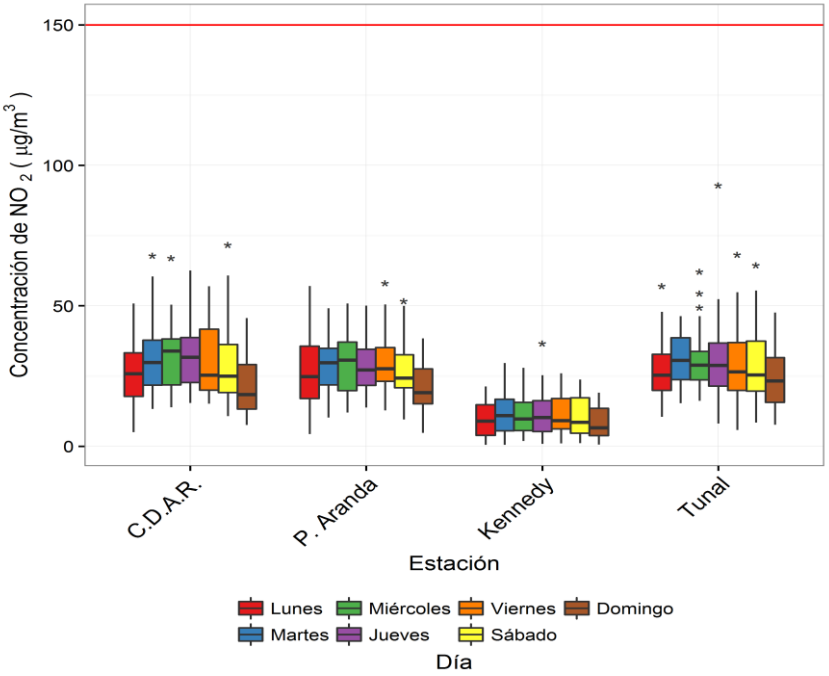


Figura 6-32. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de NO_2 para el año 2017 se representan en la Figura 6-33 y en la Figura 6-34, Se observa que en las cuatro estaciones con porcentaje de representatividad mayor al 75% el comportamiento de las concentraciones durante el año fue distinto de acuerdo a la zona de la ciudad: en la zona centro las concentraciones a principios de año se mantuvieron en el orden de 30 µg/m^3, luego hubo una reducción gradual hasta julio, cuando se presentaron las concentraciones más bajas, y a partir de este mes se incrementó hasta diciembre, cuando se registraron las concentraciones más altas, cercanas a los 40 µg/m^3. En la zona suroccidente se registraron concentraciones a inicio de año con tendencia al incremento entre febrero y abril, luego hubo un descenso hasta julio, y un nuevo incremento en mayor magnitud que el primero en el mes de noviembre. En la estación Kennedy es de resaltar el descenso de las concentraciones entre los meses de junio y julio, a partir de los cuales hubo ligeros incrementos hasta los 10 µg/m^3.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-37, se observa que ninguna estación registró valores que sobrepasaran la norma. En general, se presenta una baja dispersión de los datos, la estación Tunal fue la que presentó el mayor número de valores atípicos, mientras que en la estación Kennedy los valores registrados en el mes tuvieron bastante similitud.

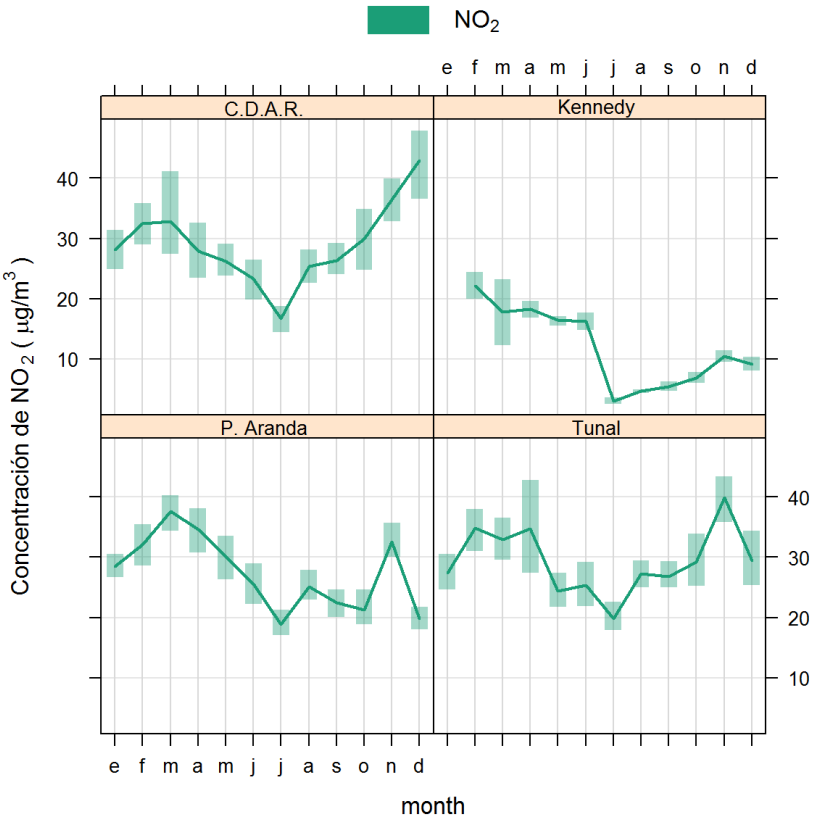


Figura 6-33. Comportamiento mensual de la concentración de NO_2 para el año 2017 por estación

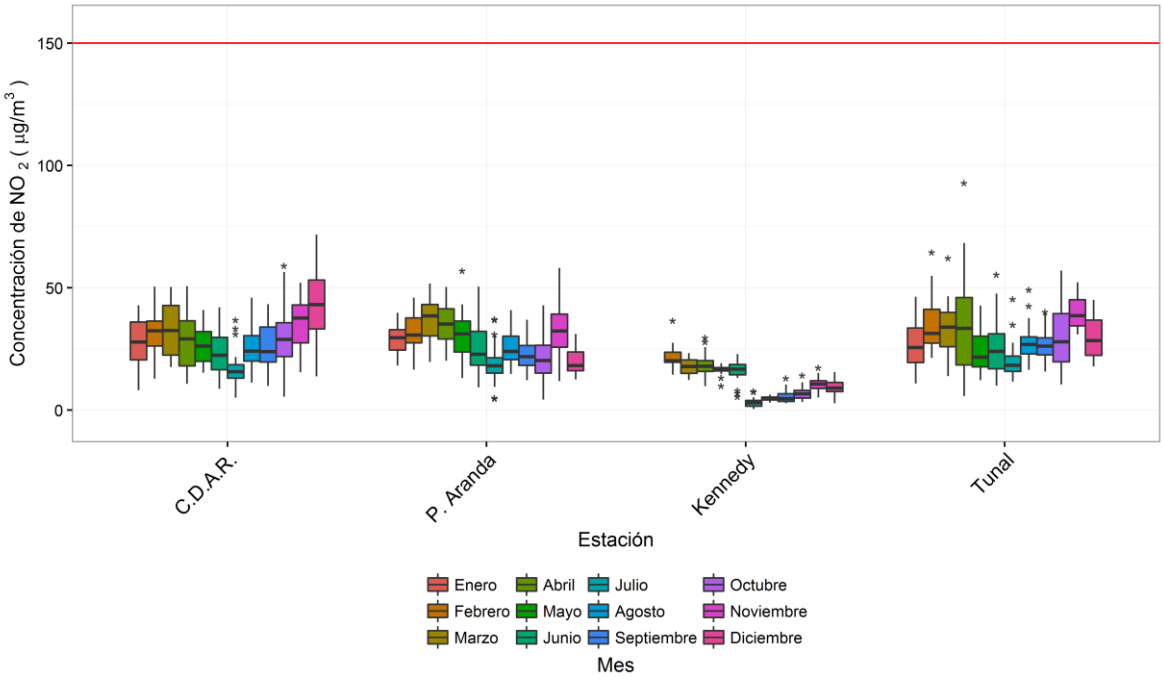


Figura 6-34. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.2.3 COMPORTAMIENTOS HORARIOS POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 se evalúa con base en las excedencias sobre el nivel máximo permisible por la norma respectiva, que corresponde a 200 µg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de NO_2 para un tiempo de exposición horario, (200 µg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma en ninguna estación, sin embargo se registraron 8 valores entre el 75 y el 100% del valor permitido por la norma en las estaciones Las Ferias y Tunal (4 en cada una), con lo cual tienen mayor probabilidad de registrar concentraciones sobre la norma que las demás estaciones. Además, los valores de promedio anual más altos calculados con base en datos horarios se reportaron en las estaciones las Ferias y Carvajal-Sevillana con 44 µg/m^3, mientras que el valor más bajo se registró en Kennedy con 11 µg/m^3.

Las concentraciones máximas de NO_2 para el 2017 se presentaron en igual medida los meses de febrero y diciembre. El valor máximo más alto se presentó en Las Ferias, con 174 µg/m^3 el día 9 de junio, seguido de Tunal con 172 µg/m^3 el 20 de abril.

Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO_2 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			200 µg/m³	(µg/m³)		
Guaymaral*	46	21	0	96	02/10/2017 17:00	0
Las Ferias*	59	44	0	174	09/06/2017 18:00	4
Centro de Alto Rendimiento	92	29	0	120	15/12/2017 09:00	0
Puente Aranda	96	27	0	127	06/02/2017 09:00	0
Kennedy	77	11	0	81	15/02/2017 09:00	0
Carvajal-Sevillana*	44	44	0	149	19/12/2017 10:00	0
Tunal	86	29	0	172	20/04/2017 18:00	4

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 durante el año 2017, y la comparación de los valores con respecto al nivel establecido por la norma horaria (200 µg/m³) se encuentra en la Figura 6-35, en la cual se observa que las concentraciones más altas se presentaron en el último trimestre del año, a excepción de la estación Tunal, que registró valores más altos en los primeros meses del año.

Además se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: para Carvajal-Sevillana y Guaymaral se registraron datos de manera continua después de julio, dado que en la primera mitad del año los monitores se encontraban en mantenimiento; el monitor de la estación Las Ferias no registró datos al inicio y a final de año, aunque el resto del año tuvo una continuidad en el monitoreo, como si la tuvieron durante todo el año las estaciones Puente Aranda y Tunal.

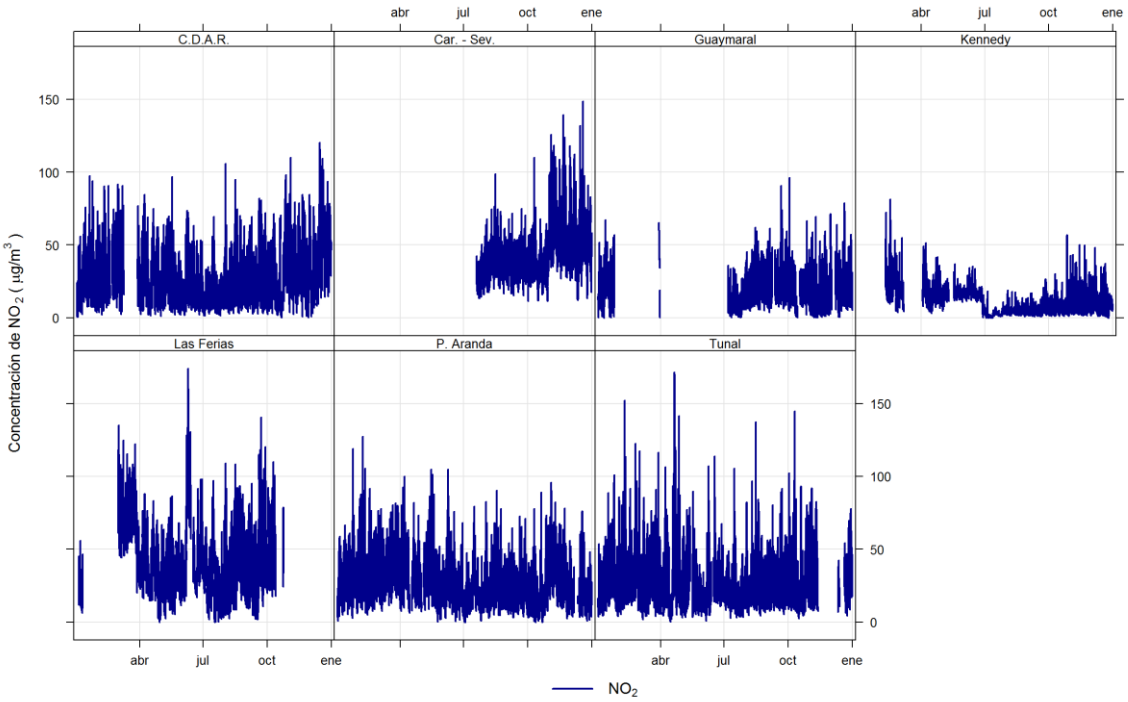


Figura 6-35. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 y comparación con norma nacional 1h – Año 2017

En la Figura 6-36 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 durante el día. En general las estaciones presentaron el mismo comportamiento durante el día, con concentraciones bajas en la madrugada y aumento gradual hasta las 8 de la mañana, posiblemente por influencia de aumento en el número de vehículos que circulan en la mañana, luego se presenta un descenso en horas del mediodía y un nuevo incremento en horas de la noche, asociado posiblemente a la reducción de las concentraciones de ozono, dado que ya no hay radiación solar que cause la reacción de generación de ozono troposférico.

En la Figura 6-37 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de NO_2 en el año 2017 agrupadas por hora. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Tunal, registrando mayor número de datos atípicos y de mayor magnitud. Cabe destacar el descenso en las concentraciones de Kennedy, que registró valores mucho más bajos que las demás estaciones de la ciudad, posiblemente por influencia en la reducción de las emisiones del contaminante por las fuentes que se encuentran en el entorno de la estación.

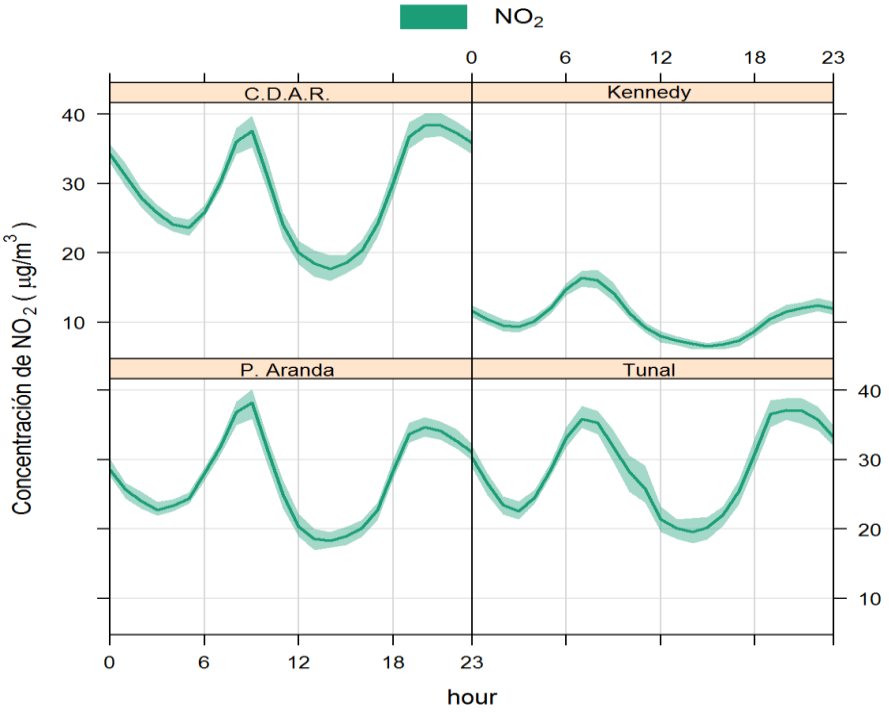


Figura 6-36. Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 por estación durante el año 2017

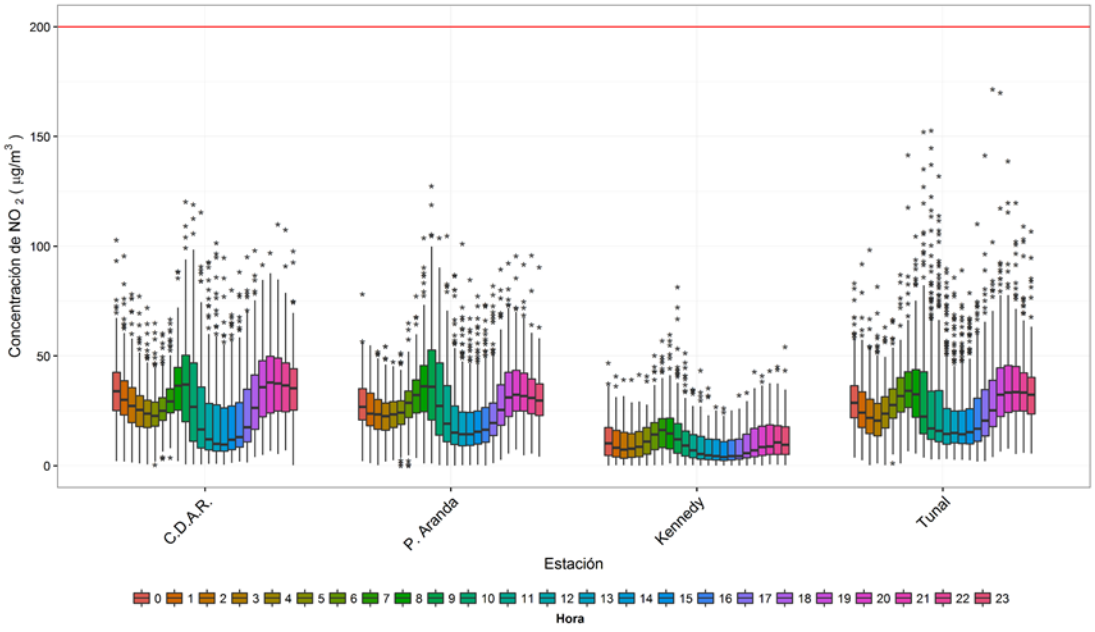


Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones de NO_2 por hora del día para cada estación durante el año 2017

6.2.2.4 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-15 contiene un resumen de los promedios anuales de concentración de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y se muestran las concentraciones máximas de NO_2 para el período 2013 – 2017. El promedio de concentración del año 2017 es el menor de los registrados en los últimos cinco años, sin embargo el valor máximo de concentración es el segundo más alto en este mismo período. Además, la estación las Ferias ha registrado el valor máximo en tres de los cinco años, siendo unas de la que registra valores altos de concentración en el 2017. Esto se debe posiblemente a la influencia de los vehículos que circulan por las vías cercanas a la estación.

Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO_2 para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad NO_2 ($\mu g/m^3$)	Máximo NO_2 ($\mu g/m^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2013	30	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	31	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	35	90	01/05/2015	Centro de Alto Rendimiento
2016	32	158	29/06/2016	Tunal
2017	29	121	09/06/2017	Las Ferias

En la Figura 6-38 se representan las concentraciones diarias de NO_2 para los últimos cinco años, se observa que las estaciones Tunal, Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento han tenido la mejor representatividad de los datos en este período, y solo ha ocurrido una excedencia sobre la norma en el año 2016, debido a registro de concentraciones altas en la estación Tunal.

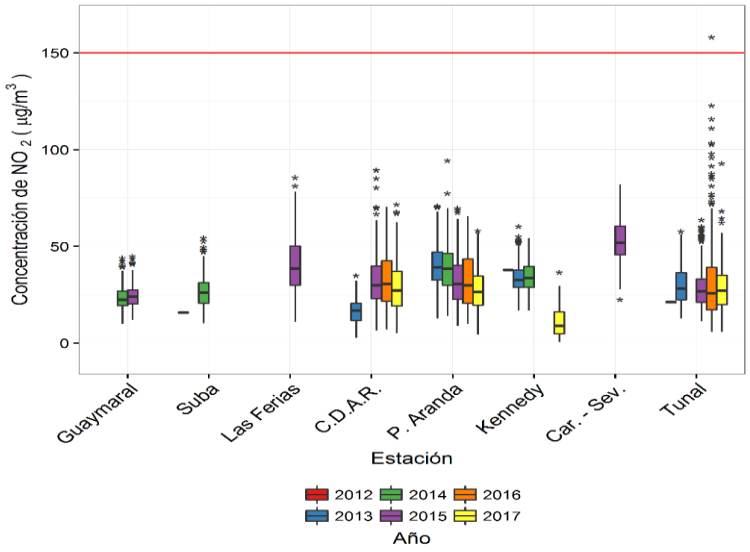


Figura 6-38 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO_2 por estación para los años 2013 a 2017

6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

Contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios

Para el año 2017, cinco (5) estaciones reportaron datos de SO_2 con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante en este período.

6.2.3.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-39 muestra los promedios anuales por estación y su comparación con el valor establecido por la norma nacional de SO_2 (80 µg/m^3) para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de 13.4 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana, mientras que la estación con menor concentración promedio fue Centro de Alto Rendimiento, con 3.3 µg/m^3.

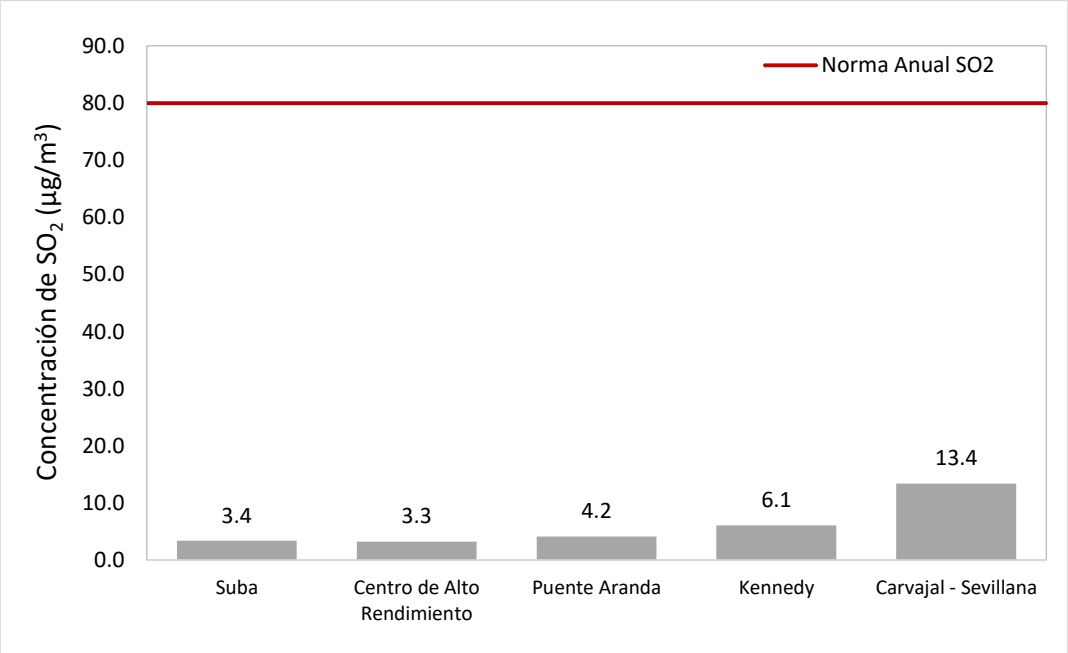


Figura 6-39 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO_2 para el año 2017

La comparación de las concentraciones anuales de SO_2 por estación con relación a los valores del 2016 se muestra en la Tabla 6-16. Para las estaciones que tuvieron valores representativos en los dos años, se observa que hubo una disminución de las concentraciones en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda, siendo la primera la que presentó la mayor reducción, con 1 µg/m^3 de diferencia, mientras que la estación Kennedy registró un aumento de 1.3 µg/m^3 sobre el valor del año anterior.

Tabla 6-16. Promedios anuales de SO_2 para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio 2016 (µg/m^3)	Promedio 2017 (µg/m^3)	Cambio de 2016 a 2017
Suba	N.R.	3.4	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	4.3	3.3	↓
Puente Aranda	4.5	4.2	↓
Kennedy	4.8	6.1	↑
Carvajal - Sevillana	N.R.	13.4	N.A.
San Cristóbal	1.9	N.R.	N.A.

6.2.3.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 se evalúa con base en las excedencias sobre el límite máximo permisible de 24 horas, que corresponde a 250 µg/m^3. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea representativo.

Para el año 2017, cinco de las siete estaciones que reportaron datos de SO_2 tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 86%, siendo la estación Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos, con un 98% del total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-17. Adicionalmente, según el límite máximo permisible de SO_2 para un tiempo de exposición diario, (250 µg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma en ninguna estación, y tampoco se presentaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Las concentraciones máximas de SO_2 para el 2017 se presentaron en igual proporción en los meses de febrero y junio, y en las demás estaciones se registraron en marzo, octubre y diciembre. La concentración máxima más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana, con 31.4 µg/m^3 el día 27 de diciembre.

Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO_2 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma diaria	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			250 µg/m^3	(µg/m^3)		
Suba	96	3.4	0	12.2	23/02/2017	0
Centro de Alto Rendimiento	86	3.3	0	7.1	17/06/2017	0
Puente Aranda	98	4.2	0	11.8	05/06/2017	0
Kennedy	95	6.1	0	16.5	25/03/2017	0
Carvajal-Sevillana	91	13.4	0	31.4	27/12/2017	0
Tunal*	34	4.4	0	9.9	27/10/2017	0
San Cristóbal*	44	2.0	0	4.2	09/02/2017	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-40 y en la Figura 6-41, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan entre los días miércoles y viernes, y las menores concentraciones se registran los domingos. También se observa que la estación Carvajal-Sevillana presenta concentraciones en una magnitud mayor a la que registran las otras estaciones, llegando a duplicar los valores registrados, posiblemente por influencia del tráfico de carga pesada que circula en el área de influencia de la estación Carvajal-Sevillana.

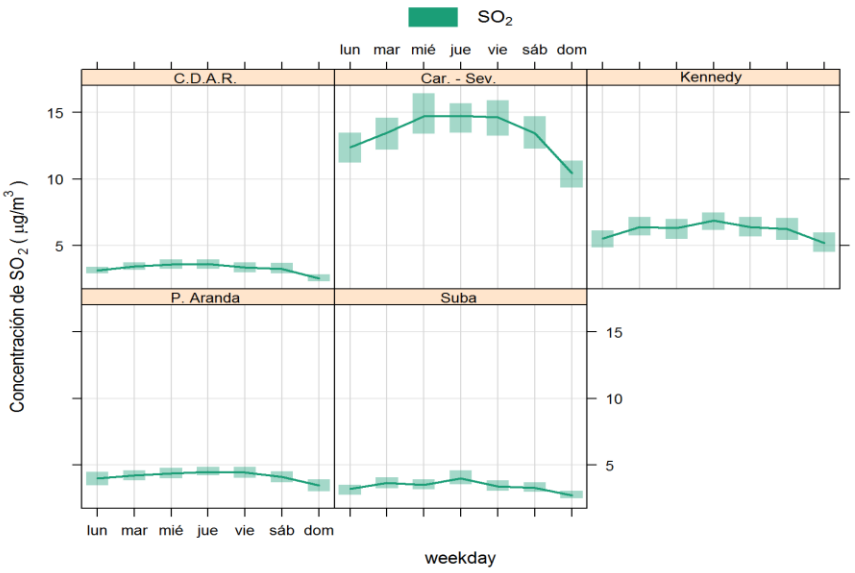


Figura 6-40. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2 durante el año 2017 por estación

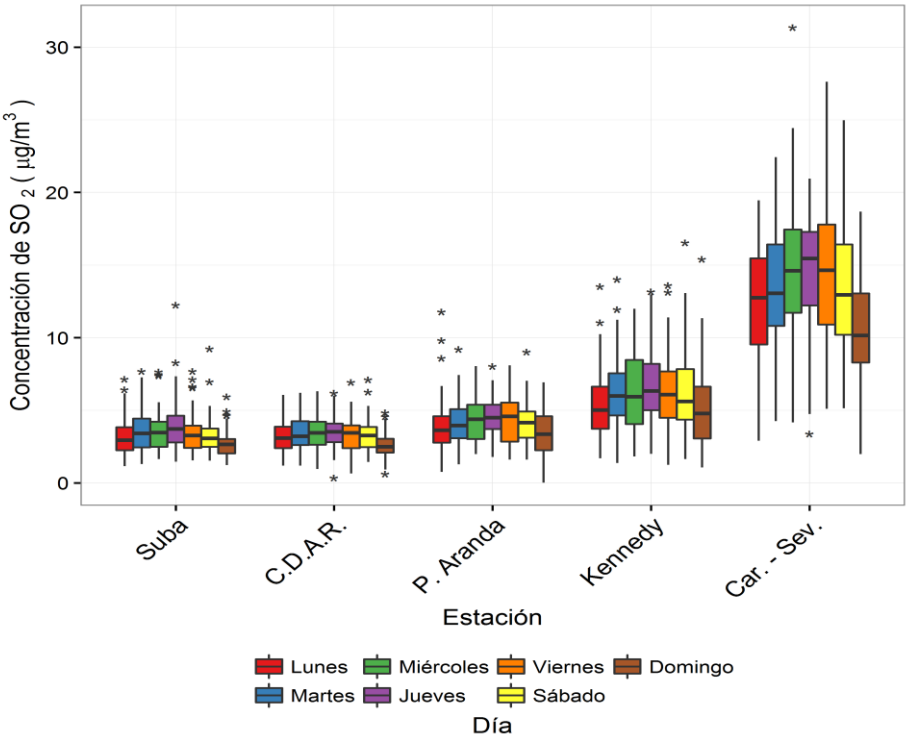


Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por día de la semana para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo.

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de SO_2 para el año 2017 se representan en la Figura 6-42 y en la Figura 6-43. Se puede observar que las concentraciones variaron de acuerdo al sector de la ciudad: en la zona de influencia de las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y en la zona cercana a la estación Suba las concentraciones se incrementaron gradualmente hasta los meses de marzo y abril, después se registra un descenso hasta los meses de julio y agosto, en los que se presentaron las concentraciones más bajas, y finalmente hubo un nuevo incremento entre noviembre y diciembre. Por otro lado, las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda tuvieron un patrón de comportamiento diferente, con concentraciones bajas la mayoría del año e incrementos entre septiembre y octubre.

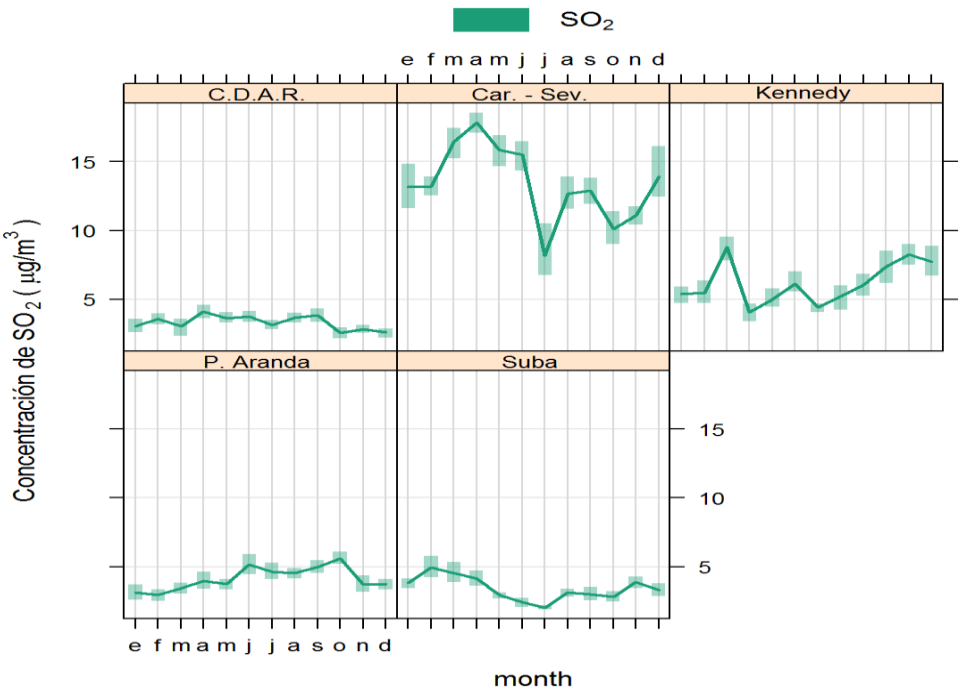


Figura 6-42. Comportamiento mensual de la concentración de SO_2 para el año 2017 por estación

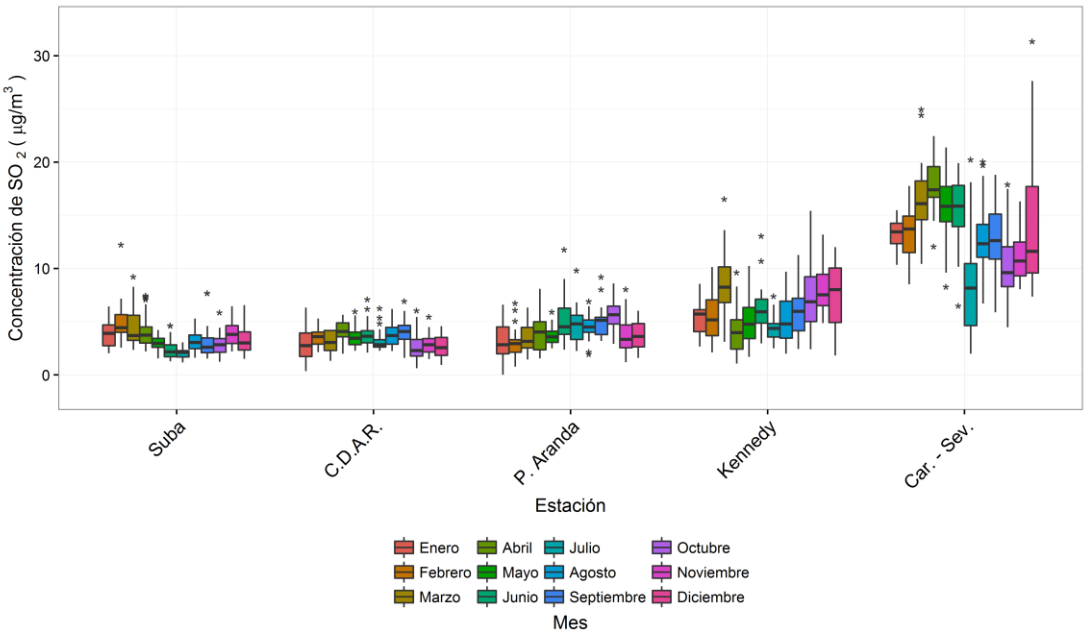


Figura 6-43. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.3.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (3H)

El comportamiento de las concentraciones 3 horas de SO_2 se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 750 µg/m^3. Los datos 3 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 3 horas de los datos horarios de SO_2 registrados por los equipos, los cuales se comparan posteriormente con el valor definido por la norma.

Para el año 2017, cinco de las siete estaciones que reportaron datos de SO_2 tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo la estación de Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos con 99% en relación al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-18.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de SO_2 para un tiempo de exposición 3 horas, (750 µg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma, ni se registraron datos entre el 75 y 100% de la norma para ninguna estación. El valor más alto de concentración se presentó en Carvajal-Sevillana, con 75.3 µg/m^3 el 26 de julio, seguida de Kennedy con 35.5 µg/m^3 el 20 de marzo.

Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO_2 durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m³)	Excedencias norma 3h (750 µg/m³)	Máximo (µg/m³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Suba	97	3.4	0	31.2	23/02/2017 09:00	0
Centro de Alto Rendimiento	89	3.3	0	16.1	02/08/2017 10:00	0
Puente Aranda	99	4.2	0	26.2	23/01/2017 09:00	0
Kennedy	96	6.1	0	35.5	20/03/2017 09:00	0
Carvajal-Sevillana	91	13.4	0	75.3	26/07/2017 21:00	0
Tunal*	37	4.3	0	28.5	26/09/2017 08:00	0
San Cristóbal*	45	2.1	0	9.3	09/02/2017 11:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

6.2.3.4 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 durante el 2017 se encuentra en Figura 6-44, en la cual se observa que en las estaciones no hay un patrón específico sobre el comportamiento de las concentraciones durante el año. En las estaciones Suba, Puente Aranda y Kennedy se observan incrementos al inicio de año, mientras que en la estación Carvajal-Sevillana se observa un aumento notable en las concentraciones en comparación a las otras estaciones, en julio con concentraciones cercanas a los 100 µg/m³ y en diciembre con valores del orden de 80 µg/m³.

Además se observan los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad. Debido a que se registraban concentraciones muy bajas en la estación San Cristóbal dado que no había fuentes que aportaran considerablemente concentraciones del contaminante, se realizó el traslado el monitor a la estación Tunal, ya que en el área de influencia de esta estación se encuentran mayor número de fuentes que posiblemente pueden contribuir a la presencia de SO_2 en la atmósfera. Este traslado fue realizado después de mitad de año, por lo cual se recolectaron datos con una representatividad temporal menor al 75%.

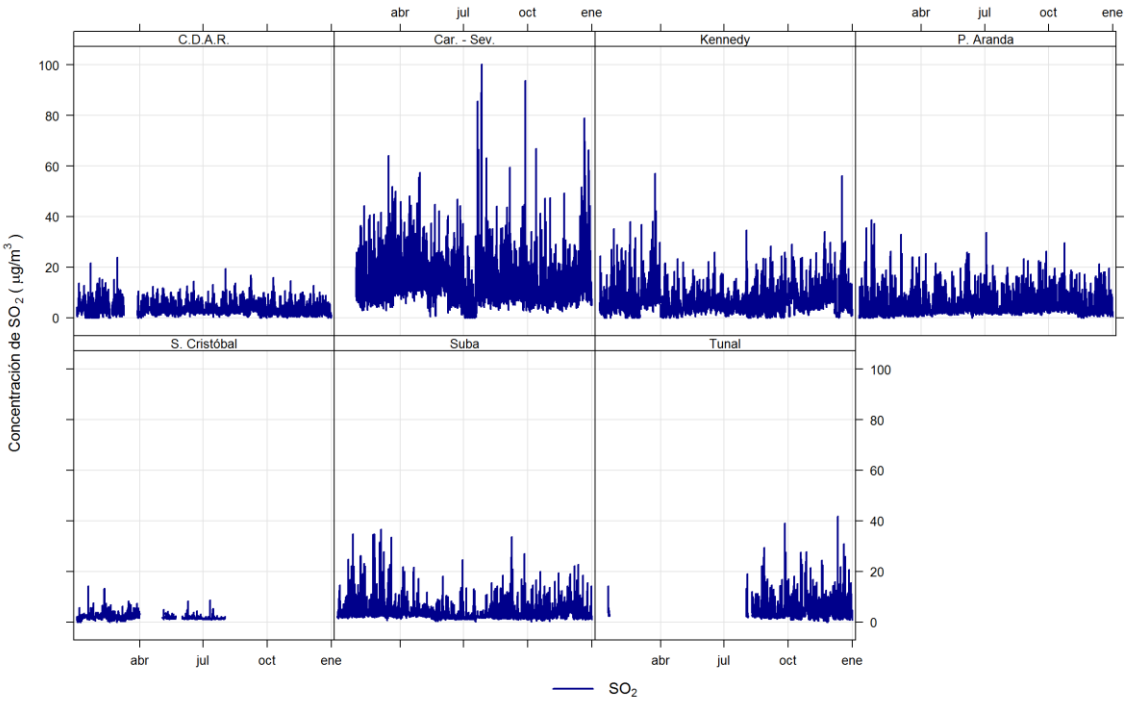


Figura 6-44. Comportamiento de las concentraciones horarias de SO_2 en el 2017 por estación

En la Figura 6-45 se muestra el comportamiento de las concentraciones en el ciclo horario para el SO_2. Las concentraciones registradas en las estaciones tienen un patrón similar de comportamiento, con concentraciones bajas en la madrugada que se incrementan rápidamente hacia las 8 de la mañana, y después hay un descenso en las concentraciones hacia el mediodía, cuando se estabilizan y permanecen durante la noche. Las concentraciones registradas en todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana, presentan valores menores a los 10 µg/m^3 en promedio, mientras que en dicha estación los valores registrados son cercanos a los 20 µg/m^3.

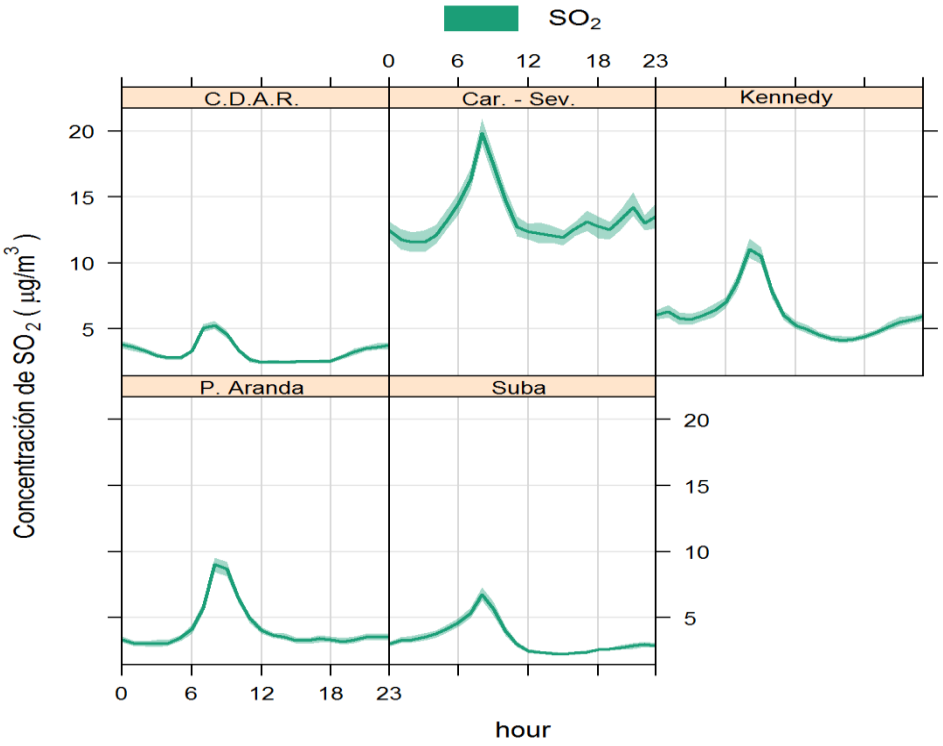


Figura 6-45. Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 por estación durante el año 2017

6.2.3.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-19 contiene un resumen de los promedios de concentración anuales de la ciudad (calculado con concentraciones diarias de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y se muestran las concentraciones máximas de SO_2 para el período 2013 – 2017. El promedio anual de 2017 se incrementó con respecto a las concentraciones de los últimos tres años, debido a que la estación Carvajal-Sevillana, que registra las mayores concentraciones de SO_2, tenía una representatividad menor al 75%, por lo que no había sido incluida en el cálculo del promedio a nivel ciudad hasta 2017, con lo cual se evidencia el incremento sobre los años anteriores.

Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO_2 para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad SO2 (µg/m3)	Máximo (µg/m3)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2013	8.6	51.1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana
2014	4.2	32.2	13/12/2014	Kennedy
2015	3.3	48.2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana

Año	Promedio ciudad SO2	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
	(µg/m3)	(µg/m3)		
2016	3.9	40.8	27/05/2016	Carvajal-Sevillana
2017	5.3	31.4	27/12/2017	Carvajal-Sevillana

Según la Figura 6-50, se evidencia que en los últimos cinco años la estación Puente Aranda es la que ha tenido la mayor cantidad de datos con representatividad temporal mayor al 75%, en comparación con las demás estaciones. Es notable el descenso en las concentraciones del año 2017 en la estación Suba con respecto a los años anteriores, a diferencia de la estación Carvajal-Sevillana, que además ha presentado mayor número de datos atípicos por concentraciones sobre 30 µg/m^3 en el año 2013.

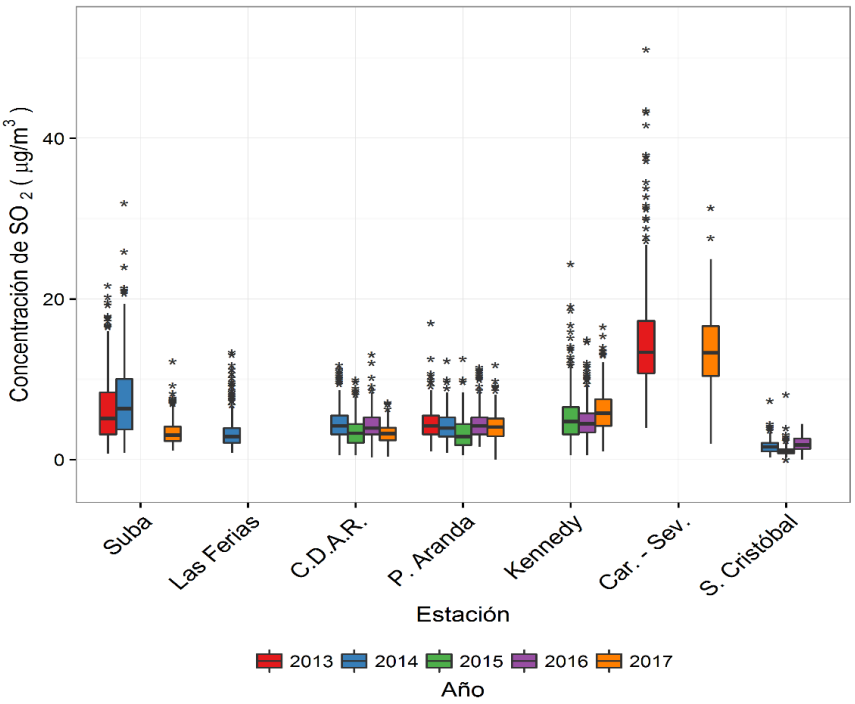


Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO_2 por estación para los años 2013 a 2017

6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

Para el año 2017, seis (6) estaciones reportaron datos de CO con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante en este período.

6.2.4.1 COMPORTAMIENTO ANUAL

La Figura 6-47 muestra los promedios anuales de CO por estación para el año 2017, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas. No se realiza comparación con la norma nacional debido a que no se define un nivel máximo anual para monóxido de carbono. El mayor valor se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, con 1.7 mg/m^3, y el valor más bajo se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con 0.7 mg/m^3.

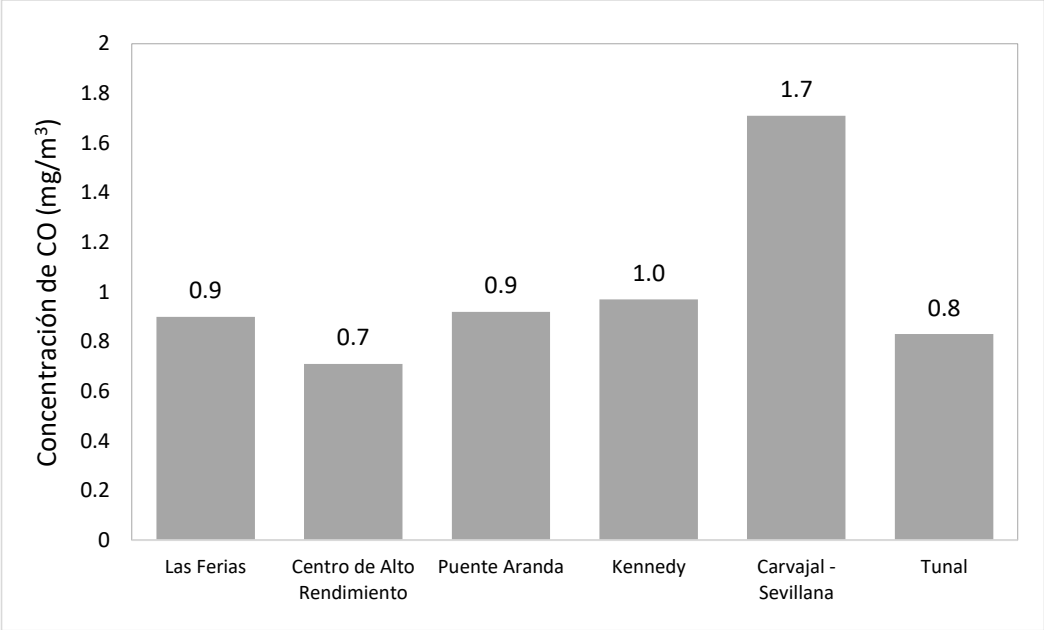


Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8h) para el año 2017

6.2.4.2 COMPORTAMIENTO DIARIO

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-48, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y miércoles, y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Las concentraciones de CO se hallan influenciadas por las variaciones en las dinámicas de las fuentes de emisión, del mismo modo que en material particulado, por lo que las actividades de dichas fuentes se reducen en los fines de semana, y por ende se percibe una consecuente disminución en las concentraciones de CO.

En la Figura 6-49 se muestra la distribución de los datos horarios de CO por día de la semana. Se observa que las concentraciones registradas tienen el mismo comportamiento de dispersión de datos, aunque la estación Centro de Alto Rendimiento registra los valores más altos, junto con la

estación Carvajal-Sevillana. Se videncia que en general las concentraciones en días hábiles son mayores a las concentraciones en días de fin de semana.

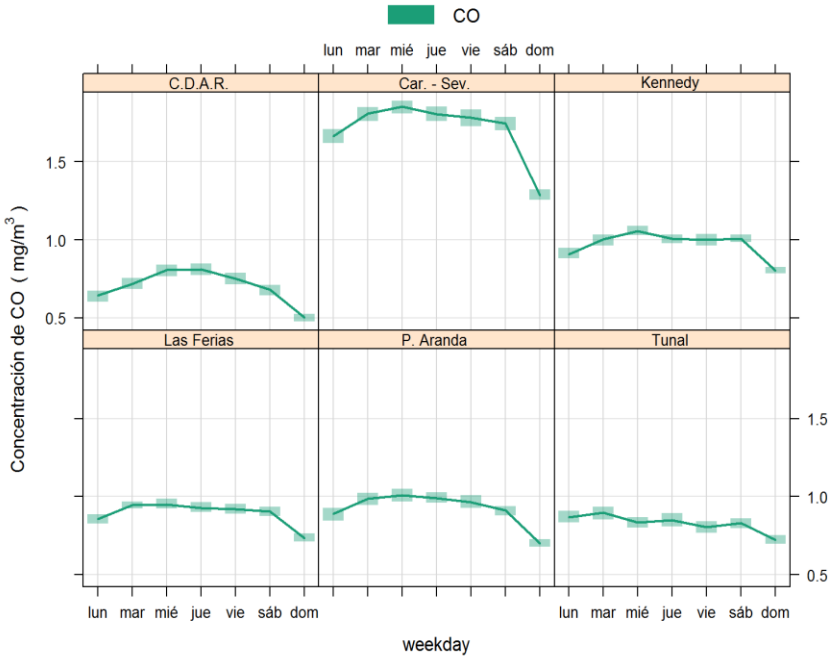


Figura 6-48. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2017

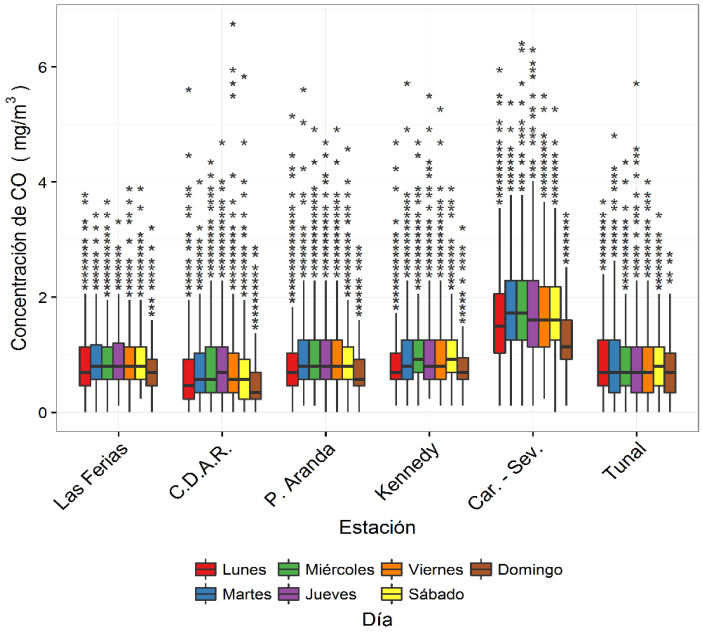


Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones horarias de CO para el año 2017 se representan en la Figura 6-50. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana, Kennedy y Las Ferias se observa un patrón similar de comportamiento, en las que el año inicia con concentraciones bajas entre enero y febrero, luego se presentan aumentos entre marzo y mayo, luego hay un descenso hasta el mes de julio, que registra las concentraciones más bajas, incrementándose nuevamente en el mes de noviembre en menor proporción hasta final de año. En la estación Puente Aranda este último incremento es más considerable que el de inicio de año, y en Tunal los incrementos tuvieron la misma magnitud al inicio y fin de año. Esta situación es causada por variaciones en las dinámicas de las fuentes, y de la meteorología en sectores localizados de la ciudad.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-52, se observa el incremento de las concentraciones horarias en la estación Centro de Alto Rendimiento en los tres últimos meses del año, presentando valores similares a los registrados en la estación Carvajal-Sevillana en la primera mitad del año, sin embargo esta última estación presenta la mayor cantidad de valores atípicos, los cuales incluso superaron los 6 mg/m^3. Las demás estaciones presentan concentraciones promedio en el mismo orden de magnitud, menores a los 2 mg/m^3.

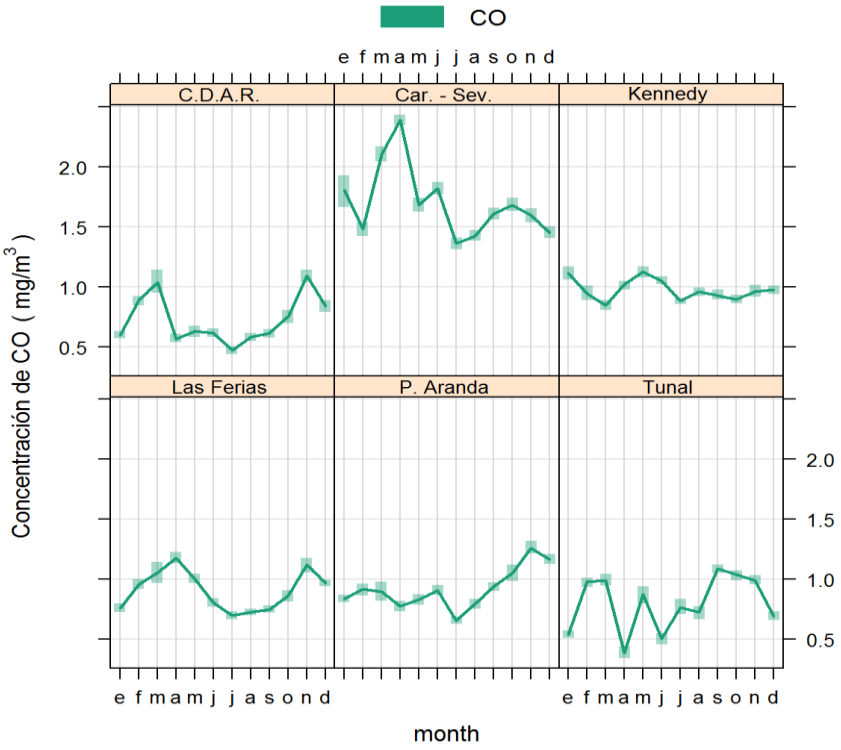


Figura 6-50. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2017 por estación

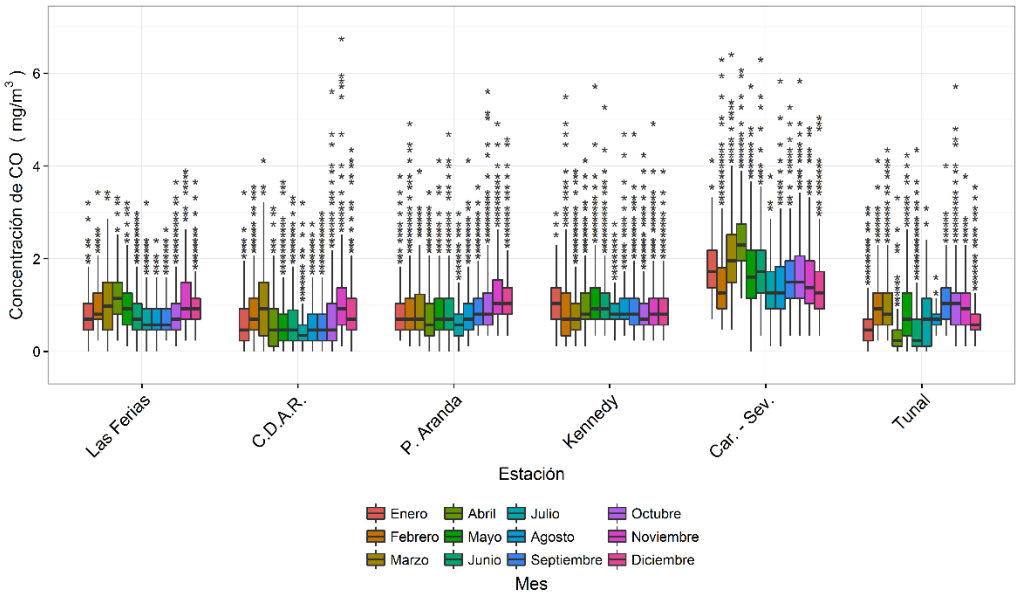


Figura 6-51. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.4.3 COMPORTAMIENTO HORARIO (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 40 mg/m^3. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año 2017, seis de las siete estaciones que reportaron datos de CO tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Kennedy y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 93% y 90% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-20.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición horario, (40 mg/m^3), no se presentó ninguna excedencia sobre la norma. Tampoco se encontraron datos entre el 75 y 100% de la norma, con lo cual ninguna estación presenta la probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de CO para el 2017 se presentaron en mayor medida entre el 2 y el 3 de noviembre, en el centro y norte de la ciudad (estaciones Las Ferias, Centro de Alto rendimiento y Usaquén). El valor máximo más alto se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con 6.8 mg/m^3 el día 3 de noviembre, seguido de Carvajal-Sevillana con 6.4 mg/m^{3}el día 29 de marzo.

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (mg/m^3)	Excedencias norma horaria	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			40 mg/m^3	(mg/m^3)		
Usaquén	25	0.7	0	3.3	02/11/2017 07:00	0
Las Ferias	82	0.9	0	3.9	03/11/2017 20:00	0
Centro de Alto Rendimiento	91	0.7	0	6.8	03/11/2017 20:00	0
Puente Aranda	90	0.9	0	5.6	10/10/2017 07:00	0
Kennedy	93	1.0	0	5.7	23/05/2017 07:00	0
Carvajal-Sevillana	86	1.7	0	6.4	29/03/2017 07:00	0
Tunal	80	0.8	0	5.7	12/10/2017 07:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2017 se encuentra en la Figura 6-52, en la cual se observa que los valores registrados no exceden el nivel máximo permisible por la norma (40 mg/m^3), ya que los valores más altos registrados varían entre 3 y 6 mg/m^3. La única estación que tuvo baja representatividad fue Usaquén, debido a que el monitor se puso nuevamente en funcionamiento a finales de septiembre, debido a que se encontraba en mantenimiento.

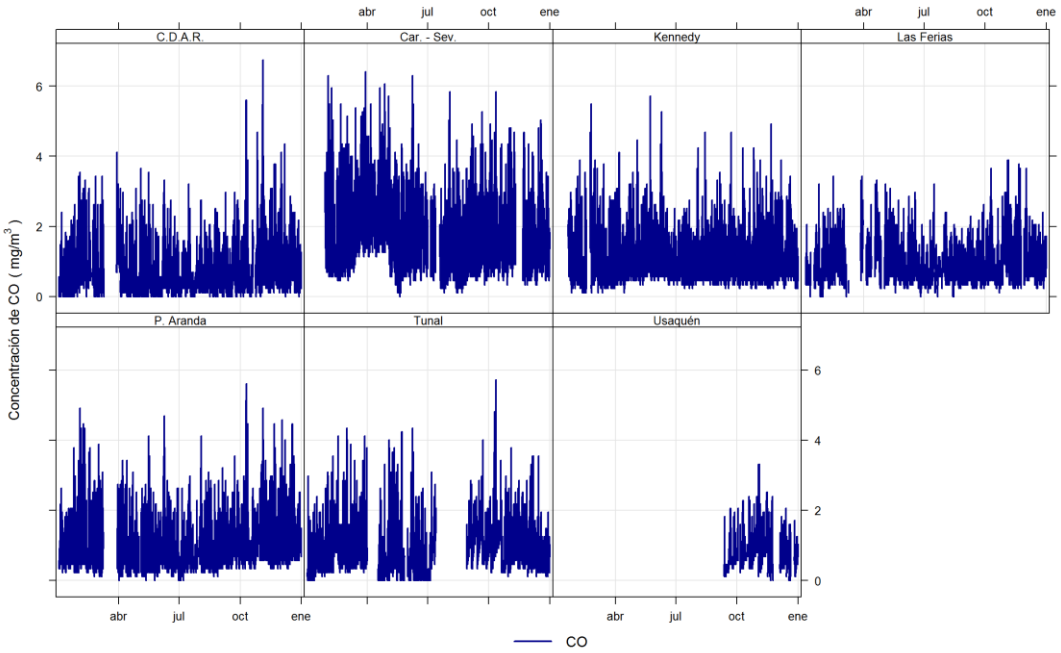


Figura 6-52. Concentraciones horarias de CO en el año 2017

En la Figura 6-53 se muestra la tendencia de las concentraciones horarias de CO durante el día. En general se observa un comportamiento similar en todas las estaciones de monitoreo, con un leve descenso de las concentraciones de la media noche a la madrugada, cuando empiezan a incrementarse las concentraciones hasta su punto máximo a las 7 de la mañana (con valores entre 1.25 a 2.75 mg/m^3), luego descienden y se mantienen estables hasta las 6 de la tarde, cuando se presenta un nuevo aumento de menor proporción (con valores entre 1 y 2.2 mg/m^3) que permanece el resto de la noche.

En la Figura 6-54 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de CO en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, registrando los valores más altos entre las 6 y 8 de la mañana, aunque, en la estación Centro de Alto Rendimiento se registraron también valores altos atípicos en horas de la noche y la madrugada, posiblemente por acumulación de la contaminación generada durante el día o influencia de las actividades de fuentes contaminantes en horario nocturno.

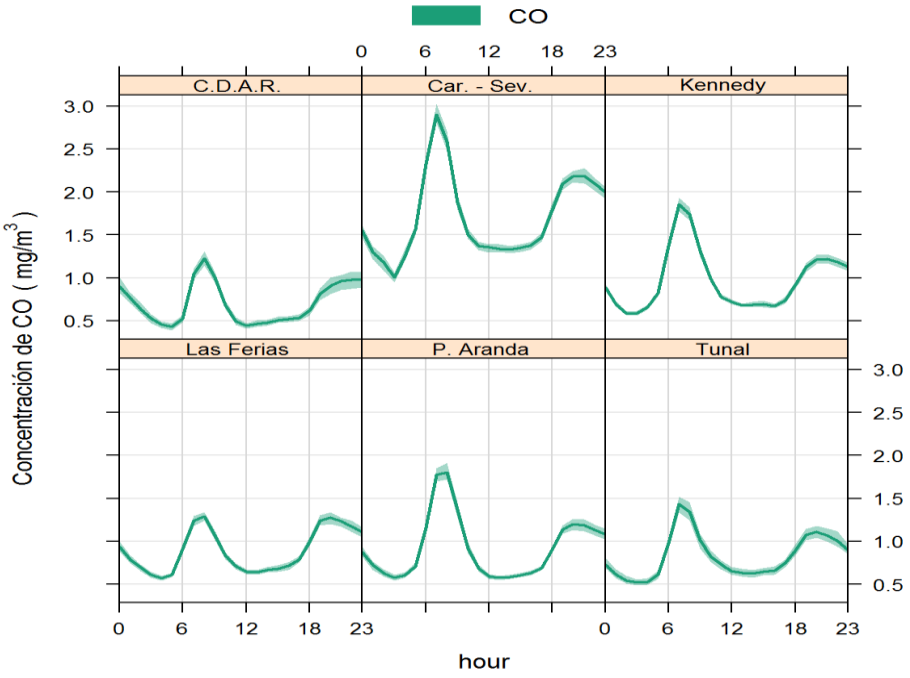


Figura 6-53. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2017

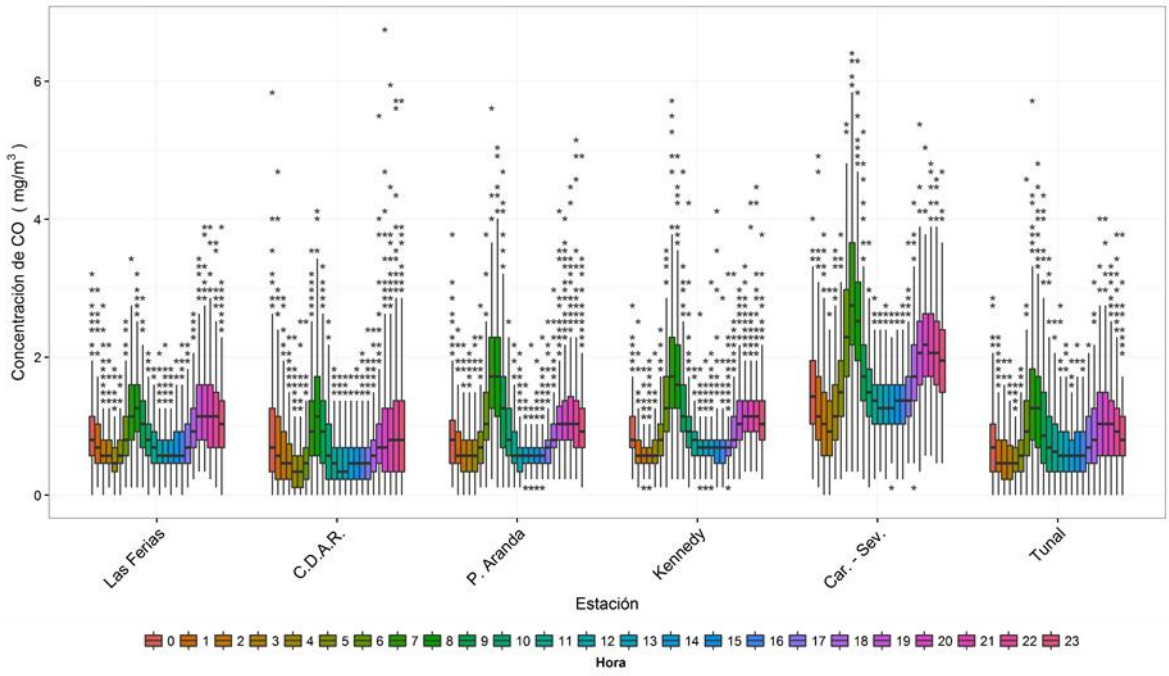


Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017

6.2.4.4 COMPORTAMIENTO HORARIO (8H)

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de CO por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-21. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observó una disminución en las concentraciones registradas con respecto al año anterior, siendo la estación Centro de Alto Rendimiento la que tuvo la menor reducción con 0.2 mg/m^3, la estación Kennedy registró el mismo valor del año 2016.

Tabla 6-21. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio CO 2016 (mg/m^3)	Promedio CO 2017 (mg/m^3)	Cambio de 2016 a 2017
Las Ferias	N.R.	0.9	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	0.9	0.7	↓
Puente Aranda	1.0	0.9	↓
Kennedy	1.0	1.0	=
Carvajal - Sevillana	N.R.	1.7	N.A.
Tunal	0.9	0.8	↓

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 10 mg/m^3. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de CO registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año 2017, seis de las siete estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de CO, tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones Kennedy (93%) Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda (90%) las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, como se observa en la Tabla 6-22.
Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición de 8 horas, (10 mg/m^3), no se presentaron excedencias sobre la norma para ninguna estación, y tampoco se reportaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Las concentraciones máximas de 8 horas de CO para el 2017 se presentaron en mayor proporción el día 4 de noviembre, en las estaciones Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Centro de Alto Rendimiento, con 5.4 mg/m^3 el día 4 de noviembre, seguido de Carvajal-Sevillana con 4.0 mg/m^3 el 22 de febrero.

Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m^3)	Excedencias norma 8h	Máximo	Fecha / Hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			10 mg/m^3	(mg/m^3)		
Usaquén*	24	0.7	0	2.2	04/11/2017 02:00	0
Las Ferias	81	0.9	0	3.1	04/11/2017 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	90	0.7	0	5.4	04/11/2017 02:00	0
Puente Aranda	90	0.9	0	3.5	04/11/2017 01:00	0
Kennedy	93	1.0	0	3.3	22/02/2017 10:00	0
Carvajal-Sevillana	86	1.7	0	4.0	08/06/2017 12:00	0
Tunal	80	0.8	0	3.0	02/03/2017 01:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto al nivel máximo 8 horas establecido por la norma (10 mg/m^3) se encuentra en la Figura 6-55, en la cual se observa que en las estaciones del centro de la ciudad se registraron concentraciones más altas en el último trimestre del año, mientras que en el sur se presentaron además valores altos entre marzo y abril.

En la Figura 6-60 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones 8 horas de CO en el año 2017; se aprecia que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con valores extremos sobre los 4 mg/m^3. Adicionalmente, las estaciones registran concentraciones que siguen el mismo comportamiento, con incrementos en los valores previos al medio día y reducciones en las madrugadas y las tardes.

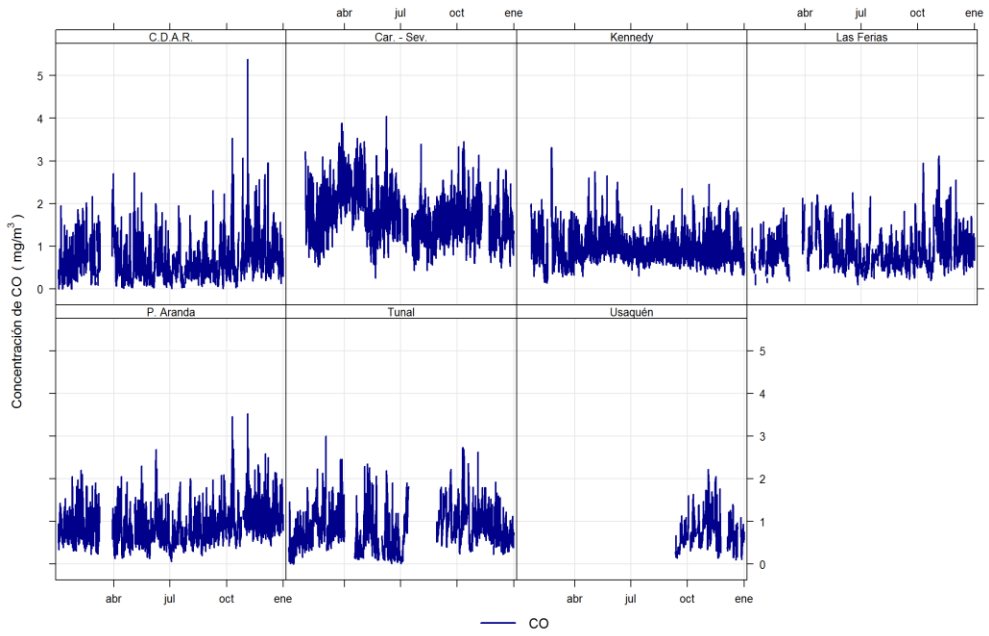


Figura 6-55. Concentraciones 8 horas de CO en el 2017 por estación

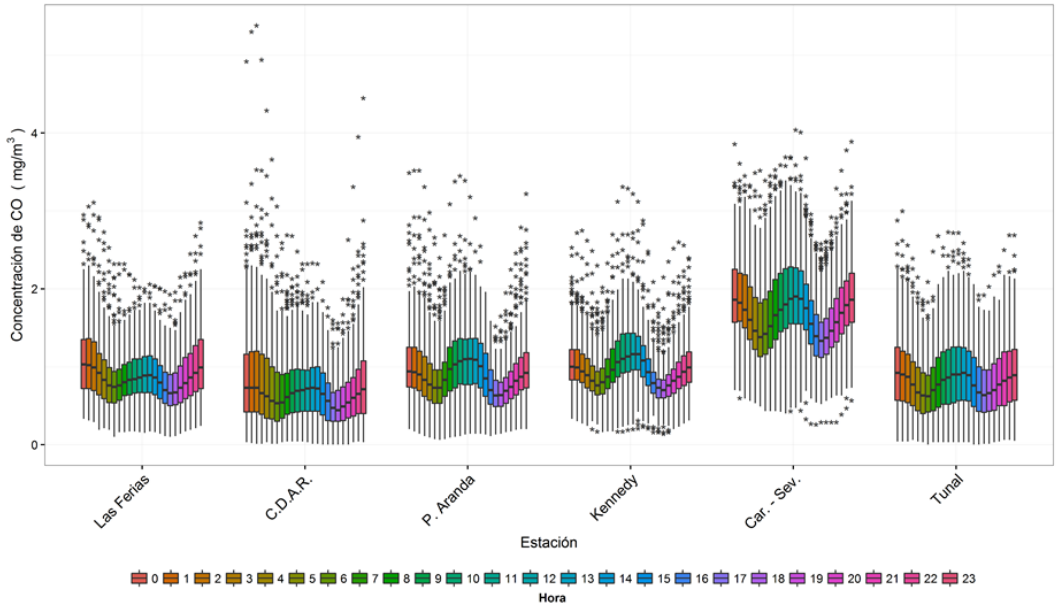


Figura 6-56. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017

6.2.4.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-23 contiene un resumen de los promedios de concentración 8 horas de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de CO para el período 2013 – 2017. El promedio a nivel ciudad es el más alto de los promedios de los últimos cinco años, posiblemente por la inclusión del promedio de concentración de Carvajal-Sevillana y por el aumento en las concentraciones de Centro de Alto Rendimiento y las Ferias en los últimos meses del año. En esta primera estación además se registró el valor máximo más alto, el día 4 de noviembre, el cual es el mismo valor registrado tres años atrás como concentración máxima en la estación Carvajal-Sevillana.

Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad CO (mg/m^3)	Máximo (mg/m^3)	Fecha/Hora de ocurrencia del máximo	Estación
2013	0.84	4.1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	0.98	5.4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	0.82	4.0	20/11/2015 20:00	Las Ferias
2016	0.95	4.5	14/05/2016 00:00	Tunal
2017	1.01	5.4	04/11/2017 02:00	Centro de Alto Rendimiento

En la Figura 6-57 se representa mediante diagrama de cajas la distribución de las concentraciones 8 horas de CO por año. Se observa que la mayor cantidad de datos atípicos se registró en la estación Centro de Alto rendimiento en el año 2017 y en la estación Carvajal-Sevillana en el año 2014, además en esta última estación se observa una tendencia al aumento de las concentraciones con el tiempo.

Una comparación con el valor más restrictivo establecido por la norma (10 mg/m^3 para 8 horas), muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

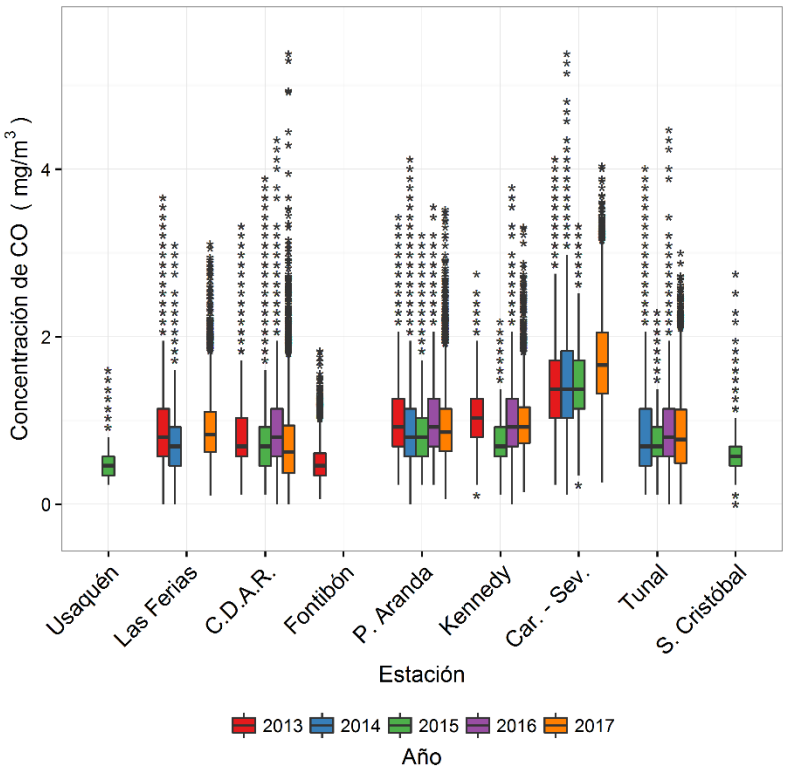


Figura 6-57 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2013 a 2017

7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA

Esta sección corresponde al Índice de Calidad del Aire-ICA para los contaminantes criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2). El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países

El Índice de Calidad del Aire (ICA) fue calculado para los contaminantes criterios PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, CO y SO_2, el NO_2 no se incluyó en el cálculo del ICA del 2017 debido a que la máxima concentración horaria reportada fue de 174 $\mu g/m^3$ (0.092 ppm), y el indicador se mide desde concentraciones mayores a 0.65 ppm, por lo cual no alcanza el límite mínimo para el cálculo del ICA para este contaminante. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta solamente las estaciones que contaron con un 75% de representatividad temporal en el número de datos registrados.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)", versión 2012, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), como se muestra en la Tabla 7-1.

Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010)

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h $\mu g/m^3$	$PM_{2.5}$ 24h $\mu g/m^3$	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para O_3 se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.
(2) Para NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora.
(4) Los números entre paréntesis se asocian a valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

En la Figura 7-1 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para PM_{10}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana es la que presentó el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 75% de los días del año. En las demás estaciones, más del 55% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Buena”, siendo las estaciones San Cristóbal y Guaymaral las que registraron el mayor porcentaje de días con calidad del aire en categoría “Buena”.

En la Figura 7-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación San Cristóbal es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Buena”, con 70% de los días del año, seguida de Guaymaral con un 63% del tiempo. Por otro lado, las estaciones que reportaron mayor porcentaje de calidad del aire clasificada como “Dañina a la Salud para Grupos Sensibles” fueron Kennedy (8%), Carvajal-Sevillana y Tunal (6%). Para este contaminante se observa el mayor número de valores en esta categoría, a diferencia de PM_{10} y los gases, que registran valores en una o dos categorías como máximo.

En la Figura 7-3 Figura 7-4 y Figura 7-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del ICA para O_3, CO y SO_2, calculados a partir de las medias móviles 8 horas para los dos primeros y 24 horas para el tercero. Para todas las estaciones la calidad del aire se ubicó en la categoría “Buena”, ya que los registros de las concentraciones no superan los rangos establecidos para esta categoría (de 0 a 51 puntos). Solamente para la estación Centro de Alto Rendimiento se registraron dos valores en la categoría “Moderada”, el día 4 de noviembre en horas de la noche.

PM10

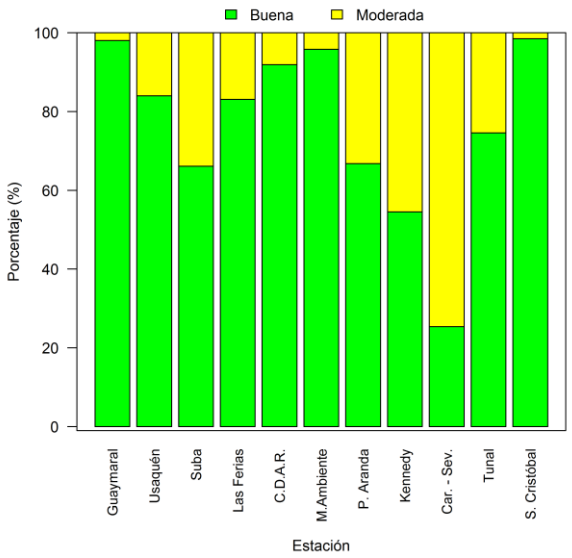


Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{10} por estación. Año 2017

PM2.5

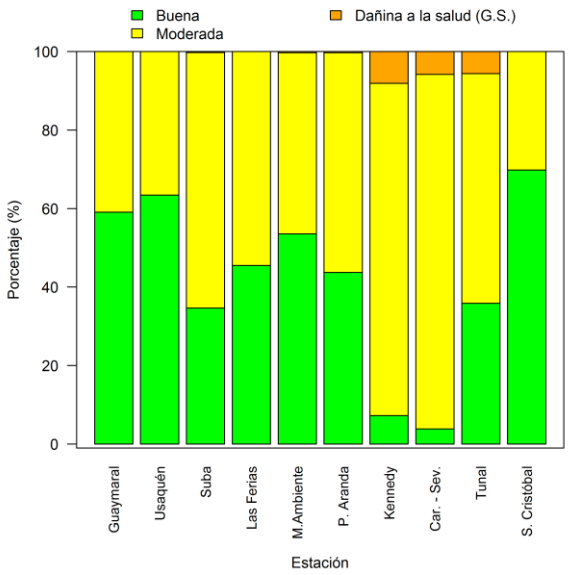


Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2017

Ozono

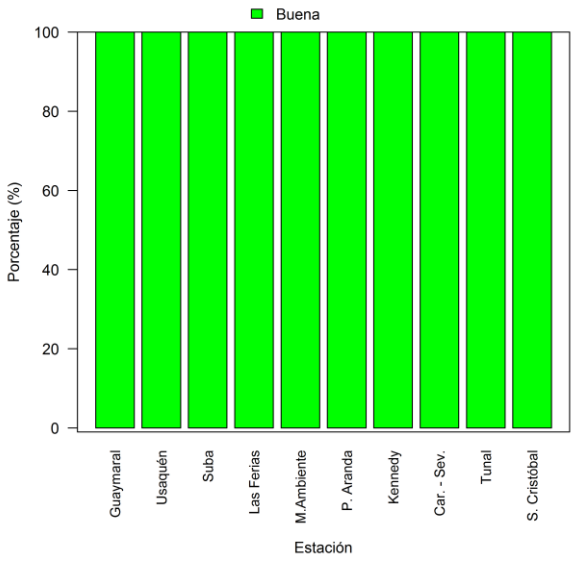


Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O_3 por estación. Año 2017

Monóxido de carbono

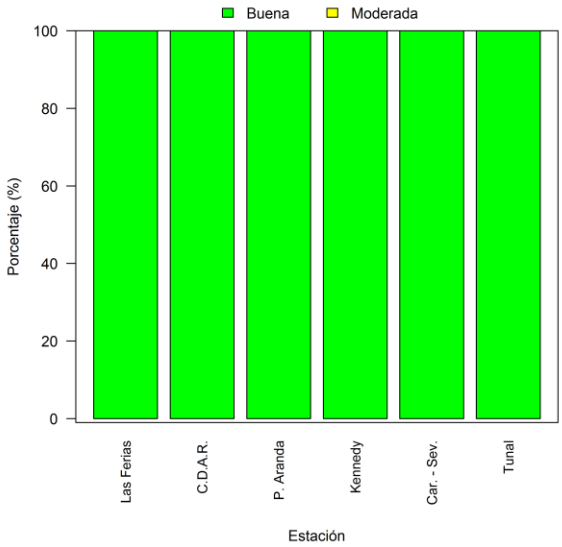


Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO_2 por estación. Año 2017

SO2

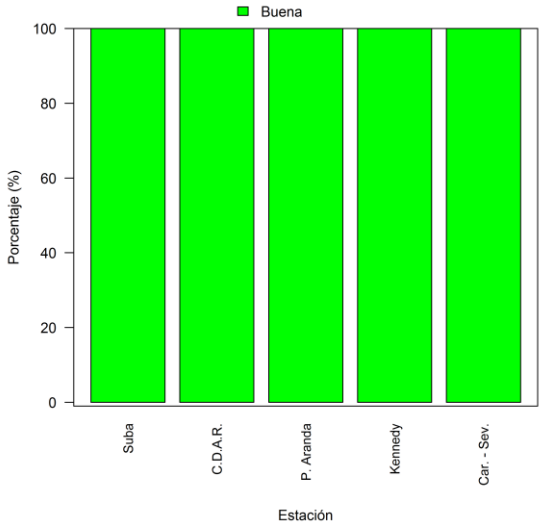
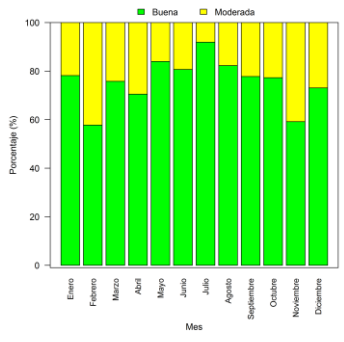


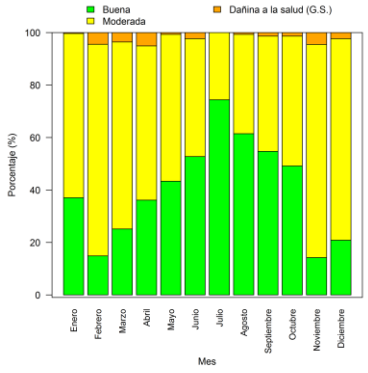
Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO_2 por estación. Año 2017

En la Figura 7-6 se muestra la distribución de las categorías del índice de Calidad del Aire por cada mes del año, para cada uno de los contaminantes criterio. Con respecto a PM_{10}, se observa que febrero y noviembre fueron los meses que tuvieron un mayor porcentaje del tiempo en la categoría "Moderada", cerca del 42% de los meses se mantuvieron en dicha categoría, mientras que el mes de julio es el que reportó la mayor cantidad del tiempo la categoría "Buena", aproximadamente en un 90% del tiempo. El mismo comportamiento se evidencia para los valores de $PM_{2.5}$, con respecto a la distribución de las categorías de calidad de aire: en febrero y en noviembre se presentó aproximadamente un 5% del tiempo la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" y un 80% del tiempo la categoría "Moderada", entre tanto el mes de julio registró un 72% del tiempo la categoría "Buena".

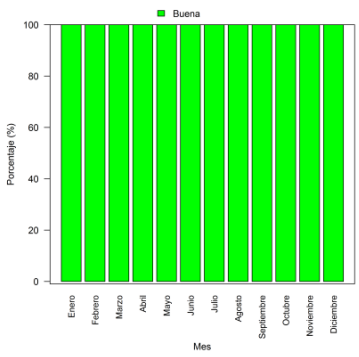
PM_{10}



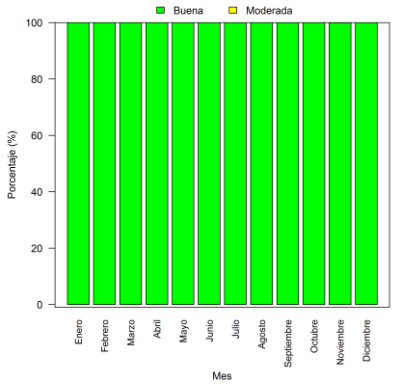
$PM_{2.5}$



O_3



CO



SO_2

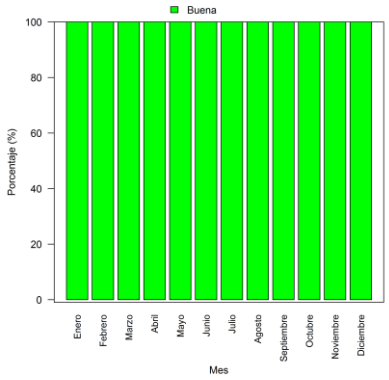


Figura 7-6. Proporción relativa de las categorías del AQI por mes del año para cada contaminante. Año 2017

8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –", Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-1 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-1. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

En la Figura 8-1 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM_{10}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana presentó el estado de la calidad más desfavorable, con un 25% del tiempo en la categoría "Regular", mientras que las estaciones Guaymaral y San Cristóbal registraron la categoría "Favorable" durante un 98% del año.

En la Figura 8-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se evidencia que hay mayor número de categorías que los demás contaminantes y que el ICA, dado que este contaminante contiene los rangos más restrictivos de concentración. La estación Kennedy presentó la mayor cantidad de tiempo la categoría "Regular", con un 19% del tiempo, aunque la estación Carvajal-Sevillana llegó a registrar un 0.3% del tiempo en la categoría "Mala", y no reportó datos con calidad del aire "Favorable". Por otro lado, la estación San Cristóbal tuvo el mayor porcentaje de calidad del aire "Favorable", con un 59%, y el resto del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría "Regular".

En la Figura 8-3, Figura 8-4 y Figura 8-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del IBOCA para O_3, CO y SO_2, calculados a partir de las medias móviles 8 horas para los dos primeros y 24 horas para el tercero. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del aire se encontró en la categoría "Favorable", dado que las concentraciones registradas de estos contaminantes son bastante bajas con respecto a los rangos de concentraciones correspondientes al estado de alerta. Solo se observa la excepción de los dos datos del 4 de noviembre en la estación Centro de Alto Rendimiento para el CO, los cuales indicaron un estado de la calidad del aire "Regular" para el tiempo en el que se registraron dichas concentraciones.

En la Figura 8-6 se muestra la distribución de las categorías del IBOCA por cada mes del año, para cada uno de los contaminantes criterio. Con respecto al contaminante PM_{10}, se observa que febrero y noviembre fueron los meses que tuvieron un mayor porcentaje del tiempo en la categoría "Regular" con respecto a los otros meses, cerca del 42% de los meses se mantuvieron en dicha categoría, mientras que el mes de julio es el que reportó la mayor cantidad del tiempo la categoría "Favorable", aproximadamente en un 90% del año. Un comportamiento similar se evidencia para los valores de $PM_{2.5}$ en la distribución de las categorías de calidad de aire: la categoría "Regular" tuvo un porcentaje notable en los meses de febrero, marzo, abril y noviembre, con porcentajes cercanos al 10%, mientras que la categoría "Favorable" predominó en el mes de julio, aproximadamente en un 65% del año.

PM10

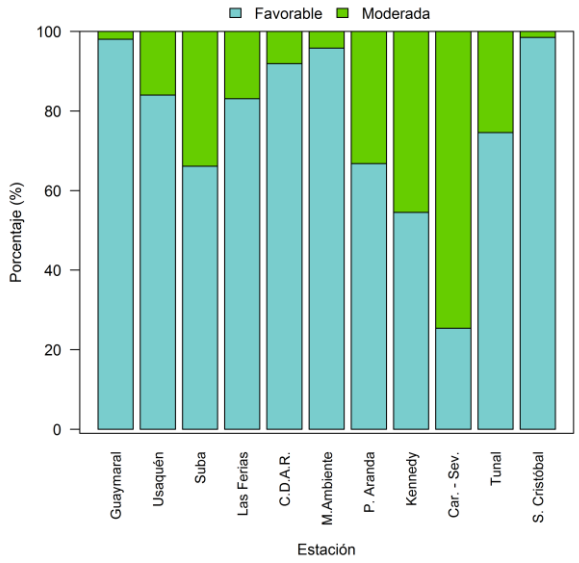


Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{10} por estación. Año 2017

PM2.5

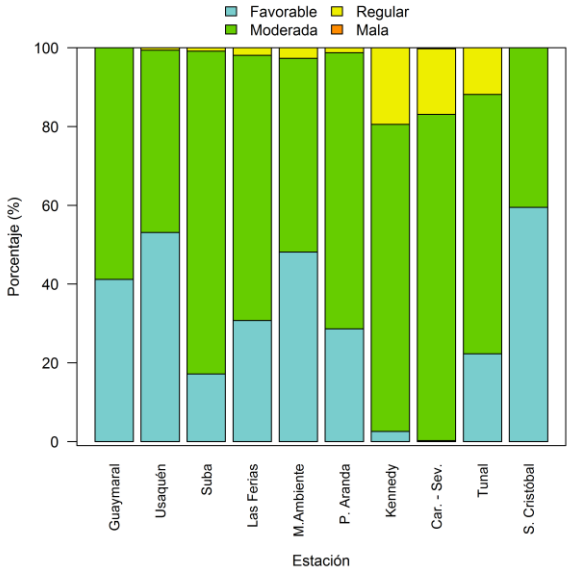


Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para $PM_{2.5}$ por estación. Año 2017

Ozono

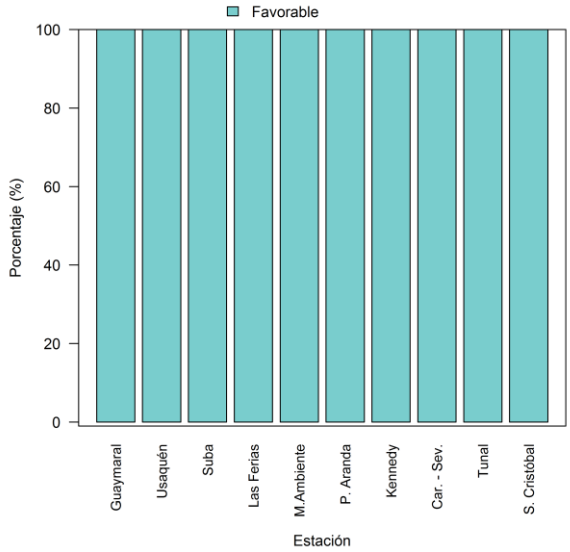


Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O_3 por estación. Año 2017

Monóxido de carbono

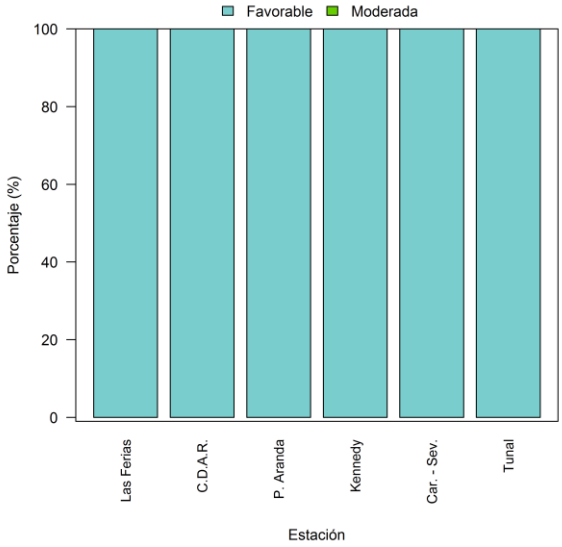


Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2017

Dióxido de azufre

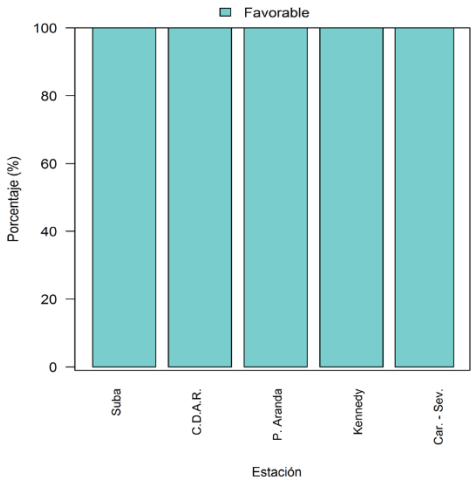


Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para SO_2 por estación. Año 2017

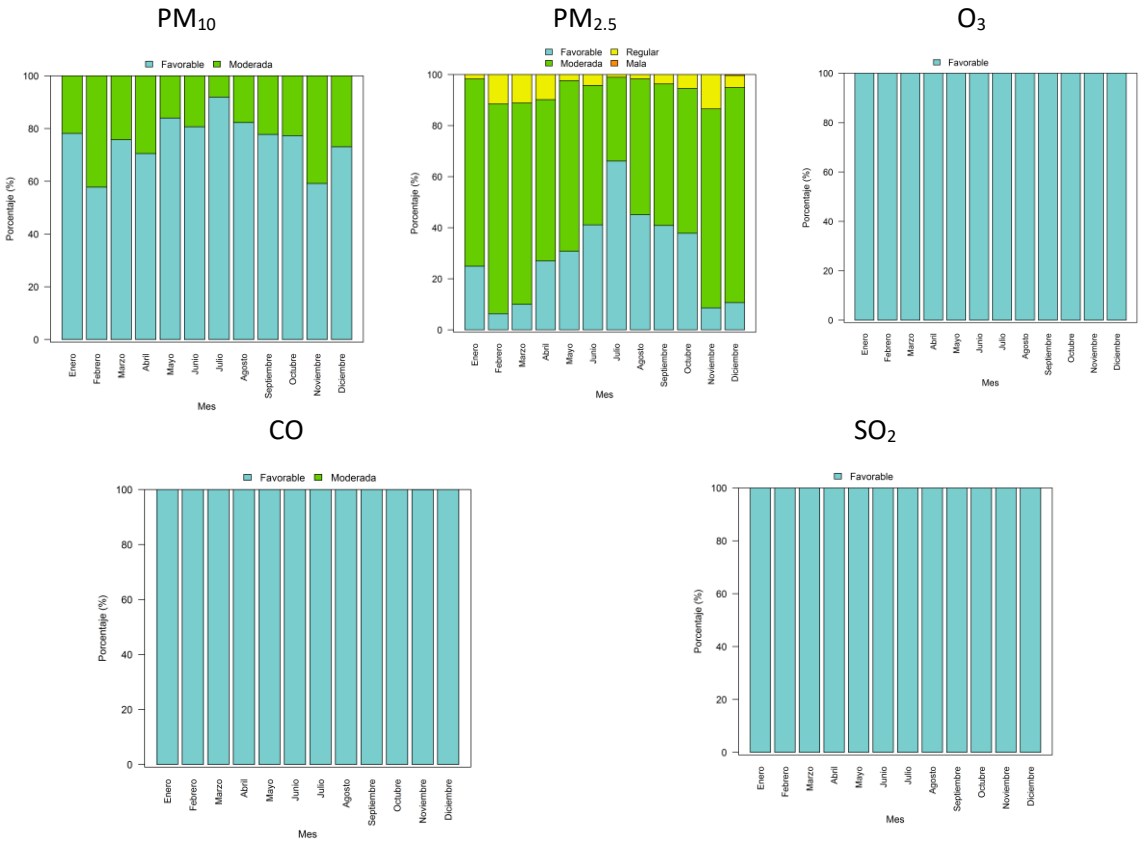


Figura 8-6. Proporción relativa de las categorías del IBOCA por mes del año para cada contaminante. Año 2017

9 METEOROLOGÍA

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar global y humedad relativa. Esta información que se procesa en diferentes resoluciones temporales permite analizar y describir el comportamiento de los elementos meteorológicos de la ciudad y su relación con los contaminantes emitidos principalmente por las distintas actividades antrópicas de los bogotanos, durante el periodo 2017 y de vigencias anteriores.

La importancia de la meteorología aplicada a la contaminación atmosférica radica en que los contaminantes son descargados a la atmosfera, y son sus patrones de comportamiento los que determinan la forma en que los contaminantes son removidos o transformados por la acción de los elementos meteorológicos. Por tanto, la concentración de los contaminantes emitidos en la ciudad de Bogotá y/o introducidos desde fuentes externas a la ciudad, es en gran medida una función de la variación temporal y espacial de los elementos meteorológicos. En consecuencia, además de describir el comportamiento de cada contaminante y elemento meteorológico, se realizan análisis de su relación y efectos en la calidad del aire de la ciudad.

Las variaciones espaciales de las variables meteorológicas se representan mediante mapas de alta resolución, producto de la interpolación y extrapolación espacial de sus registros puntuales, a través de la implementación del método geoestadístico de Kriging simple u ordinario, tomando en consideración el comportamiento estadístico de la variable ambiental en sus diferentes resoluciones temporales, e incluso en función de la fecha del año en que esta se registra. Así mismo, se tiene en cuenta la variabilidad espacial del parámetro objeto de estudio, a través del análisis del semivariograma y el modelo que mejor se ajuste al mismo (exponencial, lognormal, entre otros). Al momento de interpretar los resultados asociados se debe tener en cuenta que el método está sujeto a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria. Por tanto, los promedios que se observan en ubicaciones diferentes a las correspondientes a las estaciones deben considerar este aspecto cuando se interpretan los resultados obtenidos. Es importante anotar, desde el punto de vista estadístico, los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

9.1. Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo

De acuerdo con la RMCAB el año 2017 fue uno de los más lluviosos de la última década. Sus excedentes superaron el 40% con respecto del promedio multianual de 2010 – 2017.

Si se evalúa por áreas representativas de las estaciones de la RMCAB, en todas las estaciones se calcularon excedencias respecto al periodo 2010 – 2017; particularmente, en el sector de Kennedy se registraron acumulados que exceden al 60% respecto del promedio multianual 2010 - 2017, estimado en 674 mm. Ver Figura 9-15.

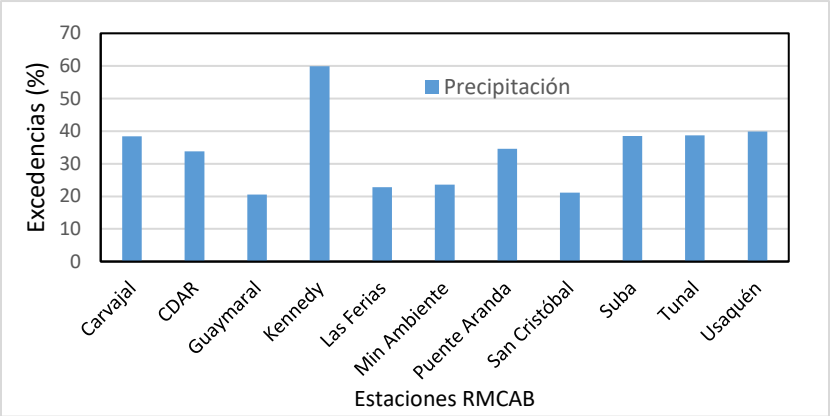


Figura 9-1 Excedencias de precipitación 2017

Cabe anotar que este régimen de precipitaciones estuvo reforzado por la ocurrencia de La Niña a finales de 2017, sumándose al paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que determina en gran medida la ocurrencia de los periodos de lluvia en el año.

Lo anterior se puede evidenciar con el índice ONI, el cual presentó anomalías negativas consecutivas, entre los meses de octubre a diciembre de 2017, como se observa en la Ver Tabla 9-1 y Figura 9-2.

Es importante aclarar que el ONI es calculado como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar en una franja del planeta, comprendida entre 5°N-5°S y 120°-170°W). Para determinar la ocurrencia de episodios cálidos (anomalías positivas, El Niño) o fríos (anomalías negativas, La Niña), se evalúa si el ONI supera el umbral de +0.5°C para El Niño o -0.5°C para La Niña, durante por lo menos cinco períodos consecutivos.

Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2017

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0

Fuente: (NOAA, 2017)[5].

5 http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

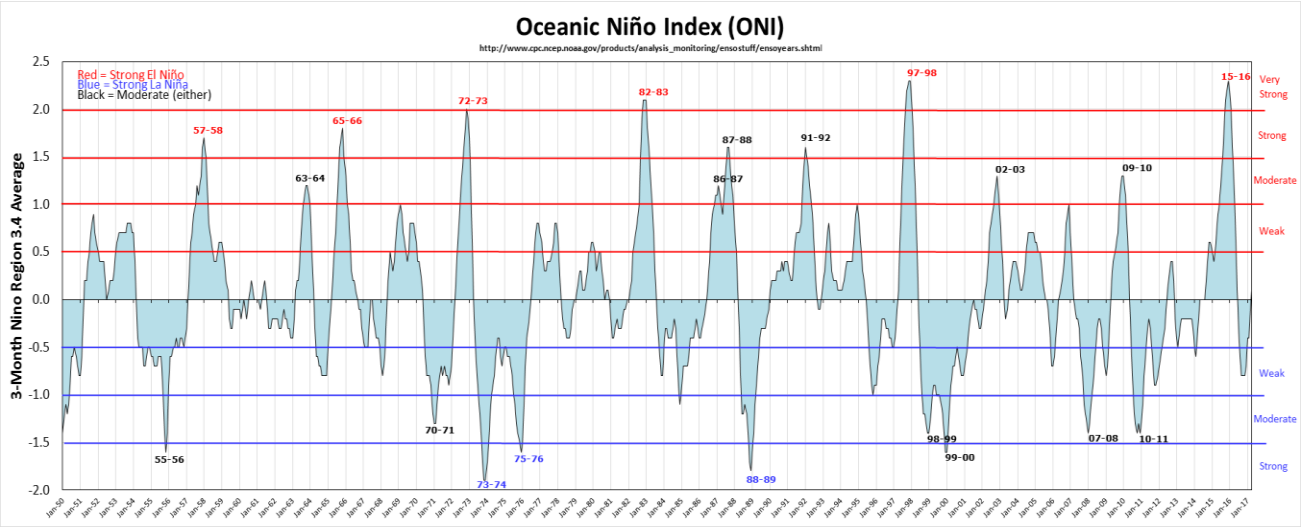


Figura 9-2. Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA, 2017

En cuanto al comportamiento de la temperatura superficial del aire, los registros de la RMCAB, permiten estimar que en 2017 se presentó un incremento de 0,5 °C, con respecto al promedio multianual. 2010 – 2017. En lo que respecta a los sectores de la ciudad, que los mayores incrementos durante el año se presentaron en Carvajal y Suba, en tanto que, en Usaquén se presentaron anomalías negativas que representan descensos de temperatura respecto del promedio calculado entre 2010 – 2017. Ver Figura 9-3.

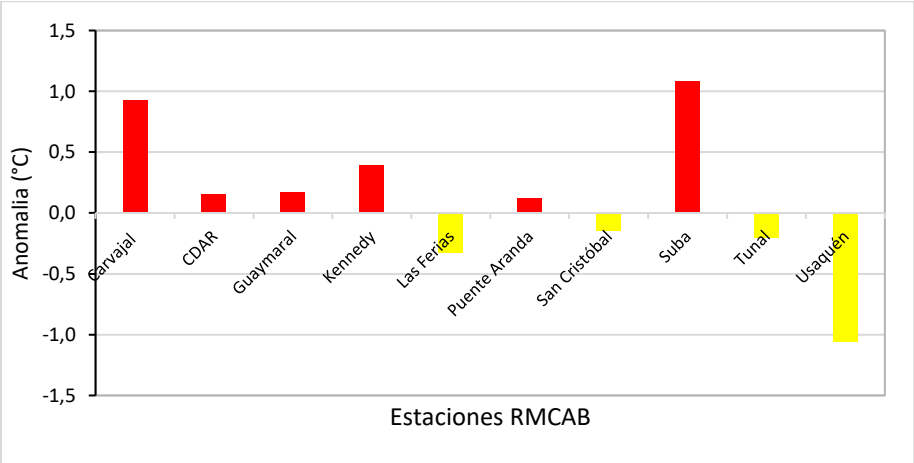


Figura 9-3.Anomalías de la temperatura superficial del aire en Bogotá - 2017

9.2. PRECIPITACIÓN

9.2.1. Variación Temporal y Espacial Anual de la Precipitación

A través de la Tabla 9-2 se resume la historia de la precipitación registrada anualmente por la RMCAB desde 2000 a 2017. En esta no solo se describen los acumulados anuales de precipitación por sectores de la ciudad, sino que se da cuenta de cómo ha evolucionado en su distribución espacial.

De estos acumulados se resalta que las mayores cantidades de lluvia se concentran en vecindades de la estación de C.D.A.R y las Ferias y hacia el sur en inmediaciones de la estación San Cristóbal.

Además, se observa cómo ha variado la precipitación desde 2000 a 2017, resaltándose los dos eventos más secos ocurridos en la ciudad de Bogotá desde 2000, es decir, los años 2001 y 2015, los cuales coinciden con los eventos El Niño y con dos de los eventos más fuertes de la Niña en 2010 y 2011.

No obstante, el año 2017, trajo consigo abundantes precipitaciones, en promedio 1054 mm, muy semejante a lo ocurrido en 2011, sin estar bajo la influencia del evento La Niña, constituyéndose en el segundo año con más lluvias desde el año 2000. Ver también Figura 9-4.

Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. Periodo 2000 - 2017.

ESTACION	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Prom
Bolivia																		1389	
Cade Energía	754	525	812	551															**661**
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450	541	890	**643**
Cazucá	551	339	485	142	525	326	674	507	703										**472**
Central de Mezclas	402	345																	
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608	803	1311	**979**
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980								**853**
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392					**528**
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534	964	986	**818**
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453	723	1078	**674**
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580	925	1055	**859**
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559	795	1033	**835**
Olaya	1138																		
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396	836	1003	**745**
San Cristóbal													938	865	1076	574	786	1073	**885**
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446	362	987	**712**
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510		1042	**751**
Univ. Nacional	863	542																	
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461	333	1141	**835**
Usme							702	553	718										**658**
Vitelma							1087	803	839	652	922								**861**
Promedio	**768**	**498**	**711**	**540**	**648**	**669**	**747**	**646**	**838**	**668**	**1016**	**1098**	**761**	**768**	**827**	**506**	**707**	**1054**	**730**

De manera complementaria, la Figura 9-4, describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000 hasta 2017. En este se observan una ligera tendencia creciente para el periodo analizado. Cabe anotar que es un promedio aproximado, toda vez que la precipitación no se distribuye de manera homogénea en la ciudad.

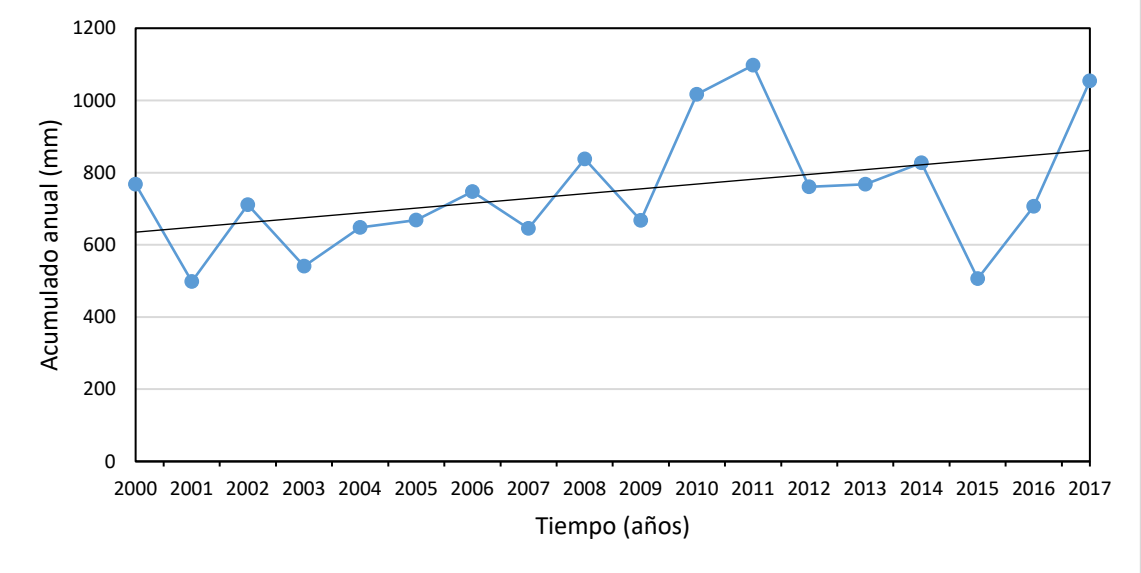


Figura 9-4..

Espacialmente, en 2017, las lluvias se concentraron predominantemente hacia el noroccidente y centro geográfico de la ciudad, esto es, hacia los sectores de Bolivia y Centro de Alto Rendimiento, con totales acumulados entre 1300 a 1400 mm. Las áreas de la ciudad que recibieron menor cantidad de precipitaciones se focalizaron hacia el suroccidente como históricamente ha ocurrido y de manera aislada en sectores del norte de la ciudad, cercanos a las estaciones de Guaymaral y Suba. Así las cosas, con respecto al promedio histórico, se aprecian anomalías positivas en toda la ciudad, principalmente hacia el sector sur occidental de la ciudad. Es decir, con respecto al promedio histórico 2010-2016, en 2017 se acumuló mayor cantidad de precipitación en toda la ciudad, pese a que no estar fuertemente influenciados por episodio La Niña.

La Figura 9-5, describe el comportamiento de la precipitación acumulada trimestralmente desde 2000 a 2017. Para el año 2017, es evidente el incremento en los acumulados de precipitación trimestral para el periodo marzo-abril-mayo (MAM) respecto de los años 2010 y 2011 para el mismo periodo, los cuales se han reconocido históricamente como lluviosos. En cuanto al segundo periodo de lluvia, es decir, septiembre octubre-noviembre (SON), éste presentó disminución con respecto al año anterior. Respecto a los periodos históricamente secos, es decir, diciembre-enero-febrero DEF y junio-julio-agosto (JJA), se observan incrementos con respecto al año 2016.

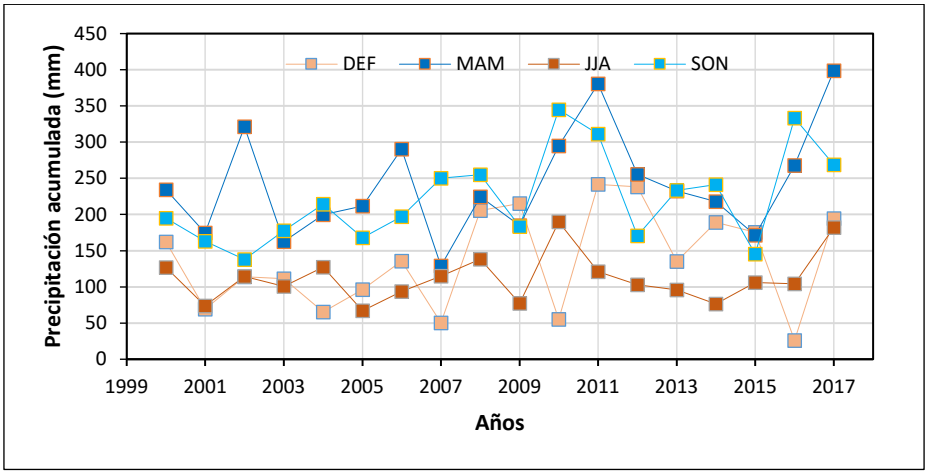


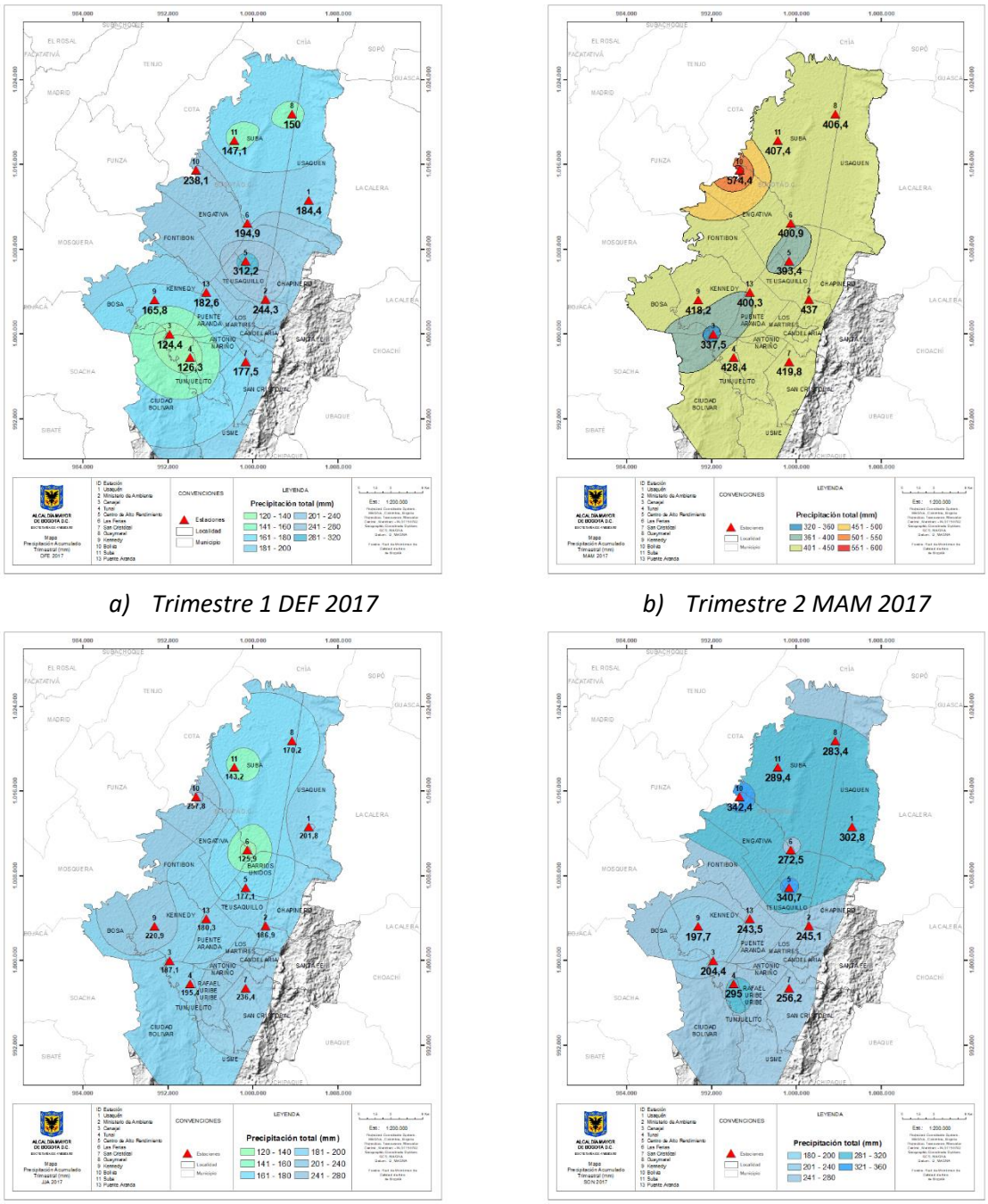
Figura 9-5. Variación Trimestral multianual de la precipitación en Bogotá 2000-2017.

En lo que respecta a la distribución espacial de la precipitación acumulada por trimestres, en la ciudad de Bogotá, el primer trimestre registro sus mayores acumulados en el centro geográfico de la ciudad, recostado a los cerros, los cuales fluctuaron entre 240 los 312 mm. Los menores valores, se presentaron hacia el sur y algunos sectores del norte, como se observa en la Figura 9-6 a).

El segundo trimestre se caracterizó por acumular la mayor cantidad de agua precipitada, hacia el sector noroccidental (500 a 574 mm); sin embargo, hacia el suroriente, por el corredor de los cerros orientales, se presentaron valores considerables, en vecindades de las áreas representadas por las estaciones de San Cristóbal, Tunal y MinAmbiente. Ver Figura 9-6 b).

En el tercer trimestre, se mantuvieron los mayores acumulados hacia el sur de los cerros orientales y la franja occidental de la ciudad con valores entre 200-240 mm. Así mismo, aunque en un área muy localizada, se aprecia en el sector de Usaquén con un registró un acumulado de 201 mm. Ver Figura 9-6 c).

En el cuarto trimestre, las lluvias se concentraron hacia el norte de la ciudad con valores entre 260-342 mm. No obstante, hacia el sur de la ciudad, en el sector de Tunal, se presentaron acumulados que alcanzaron los 295 mm. Ver Figura 9-6 d).



a) Trimestre 1 DEF 2017

b) Trimestre 2 MAM 2017

c) Trimestre 3 JJA 2017

d) Trimestre 4 SON 2017

Figura 9-6. Variación espacial de la precipitación Trimestral en Bogotá -2017.

9.2.2. Variación Mensual de la Precipitación

La Tabla 9-3 resume el comportamiento de la precipitación mensual por cada estación de la RMCAB durante el año 2017. En dicha tabla se observa que la mayor cantidad de precipitación se registró en el sector noroccidental y centro geográfico de la ciudad, representado por las estaciones de Bolivia y Las Ferias, mientras que los más bajos hacia el norte. Ver además Figura 9-7.

Estaciones	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	Acumulado (mm)
Bolivia	71,6	46,6	213,2	139,2	222,0	124,4	NA	109,9	43,6	124,0	173,8	41,6	1309,9
Carvajal - Sevillana	96,2	47,4	N.A.	73,5	232,7	97,2	20,0	59,9	51,4	91,7	197,6	86,6	1054,2
CDAR	29,6	181,5	159,5	29,5	148,5	78,7	24,0	84,4	22,4	75,0	107,0	121,8	1061,9
Guaymaral	51,2	45,0	183,2	93,8	129,4	88,9	23,4	57,9	44,5	72,3	139,4	57,9	986,9
Kennedy	23,7	44,4	133,4	61,7	223,1	113,5	23,3	84,1	26,2	84,5	172,7	73,8	1064,4
Las Ferias	16,5	58,1	152,8	61,7	186,4	65,4	11,7	48,8	33,3	42,1	197,1	134,1	1008,0
MinAmbiente	68,5	104,8	183,5	93,2	160,3	83,4	19,4	84,1	29,3	76,1	139,7	N.A.	1042,3
Puente Aranda	31,4	95,3	154,1	51,9	194,3	101,0	18,4	60,9	35,4	61,4	146,7	61,0	1011,8
San Cristóbal	87,7	86,4	199,1	53,9	166,8	111,9	57,6	66,9	13,2	63,1	121,4	81,6	1109,6
Suba	30,6	49,4	159,4	101,0	147,0	66,3	26,7	50,2	41,6	114,9	132,9	63,6	983,6
Tunal	23,8	52,4	227,3	51,5	149,6	96,3	30,6	68,5	32,6	123,4	139,0	52,6	1047,6
Usaquén	75,5	N.A	N.A	95,4	136,4	128,0	14,1	59,7	20,0	77,4	205,4	156,4	968,3
Promedio	50,5	73,8	176,6	75,5	174,7	96,3	24,5	69,6	32,8	83,8	156,1	84,6	1054,0
Desviación estándar	28,6	43,2	28,6	23,3	34,5	19,7	12,2	13,1	11,3	23,3	33,4	36,0	-
Anomalía	19,1	13,6	99,9	-18,3	100,4	49,6	-11,8	41,2	-8,8	-6,6	58,7	22,5	-

Tabla 9-3. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad - 2017. (N.A. no cumple criterio de representatividad)

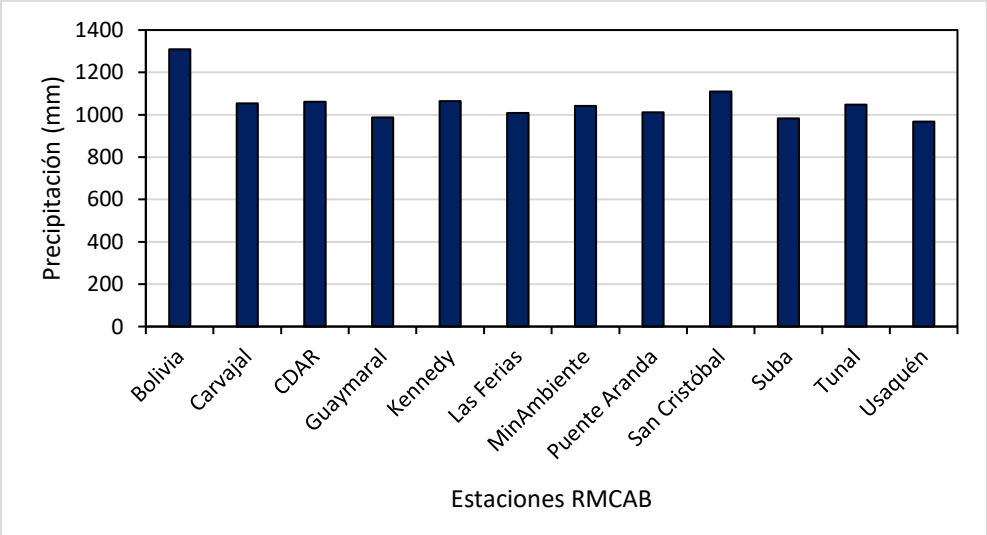


Figura 9-7. Total anual acumulado por estación - 2017

De acuerdo con la RMCAB en 2017, se acumularon aproximadamente 1098,7 mm, de los cuales el 59% de la ocurrió durante el primer semestre tomado desde diciembre a mayo y el 41% en el segundo (junio a noviembre). El 32% de la lluvia precipitó en el primer periodo de lluvia del ciclo estacional (MAM) y el 30% en el segundo periodo de lluvia (SON). Los meses con mayor acumulado fueron marzo y mayo con un 16% y noviembre, con un 14% de las lluvias ocurridas durante el año. (Tabla 9-4).

Tabla 9-4. Distribución de la lluvia mensual durante el año 2017.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Promedio	50,5	73,8	176,6	75,5	174,7	96,3	24,5	69,6	32,8	83,8	156,1	84,6
% Anual	5%	7%	16%	7%	16%	9%	2%	6%	3%	8%	14%	8%
% Semestral	59%						41%					
% Trimestral	27%			32%			12%			30%		

La Tabla 9-5 y la Figura 9-9 presenta el comportamiento histórico de la precipitación mensual de la ciudad desde 2000 hasta 2017. De estas se puede inferir que 2017 fue un año relativamente húmedo; además, que los meses caracterizados como secos (enero y febrero), fueron más húmedos de lo normal; esto se evidencia con las anomalías positivas estimadas con respecto al promedio multianual de la precipitación. De manera contraria, los meses de abril y octubre, característicamente húmedos, fue menos lluvioso de lo acostumbrado.

Tabla 9-5. Precipitación promedio RMCAB 2000 - 2017

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	Dic	Promedio
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	**779,7**
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	**496,2**
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	**712,5**
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	**649,3**
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	**641,4**
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	**621,9**
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	**684,6**
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	**659,2**
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	**848,7**
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	**621,9**
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	**1002,3**
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	**1122,0**
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	**816,5**
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	**795,6**
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	**811,6**
2015	39,0	32,0	96,0	59,0	17,0	52,0	31,0	19,0	31,0	44,0	59,0	1,0	**479,2**
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	**823,0**
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	**953,4**

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	Dic	Promedio
Promedio	**32,3**	**61,0**	**80,3**	**92,4**	**79,0**	**48,8**	**35,4**	**28,6**	**40,9**	**89,7**	**100,0**	**62,6**	**746,6**
Máxima absoluta	**79,8**	**152,5**	**112,2**	**168,8**	**160,9**	**75,4**	**100,7**	**46,8**	**84,6**	**149,5**	**189,7**	**130,2**	**747,6**
Mínima absoluta	**4,8**	**16,8**	**19,5**	**17,4**	**17,1**	**20,3**	**16,0**	**11,9**	**9,2**	**27,8**	**39,5**	**1,1**	**755,5**
Anomalía	16,8	15,7	66,2	-24,6	84,5	39,8	-15,2	3,5	-11,7	-14,2	46,2	7,4	-

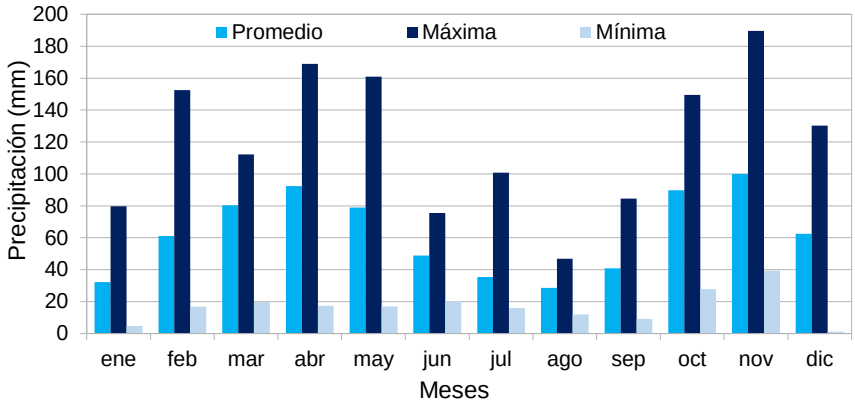


Figura 9-8. Precipitación promedio, media máxima y media mínima mensual multianual (mm) 2010-2017

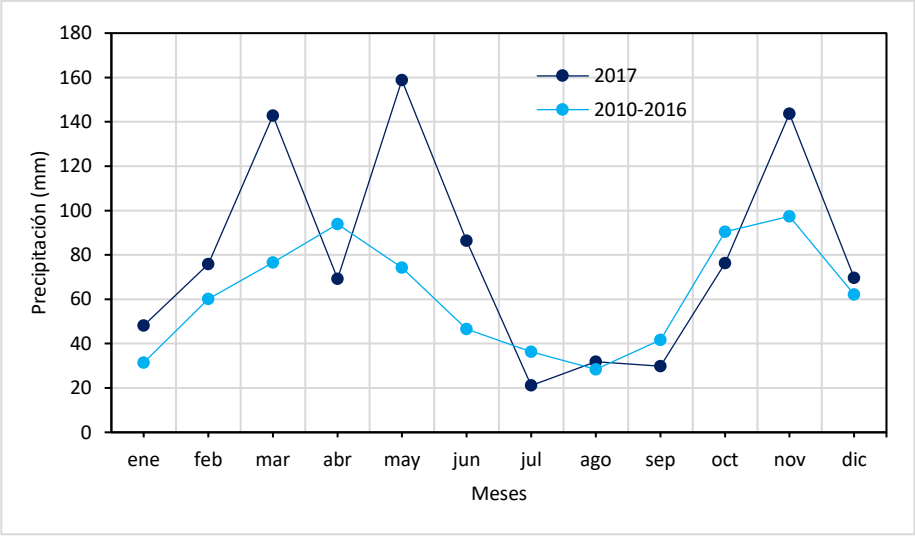


Figura 9-9. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2016 contra el promedio mensual 2017.

9.2.3. Variación horaria de la Precipitación

La Figura 9-10 se presenta los perfiles horarios de la precipitación acumulada por estación de la RMCAB desde el año 2010 hasta 2017. Para el análisis del comportamiento y distribución de la lluvia en la ciudad, se tomó en consideración todos los eventos horarios de precipitación superiores a 0,1 mm.

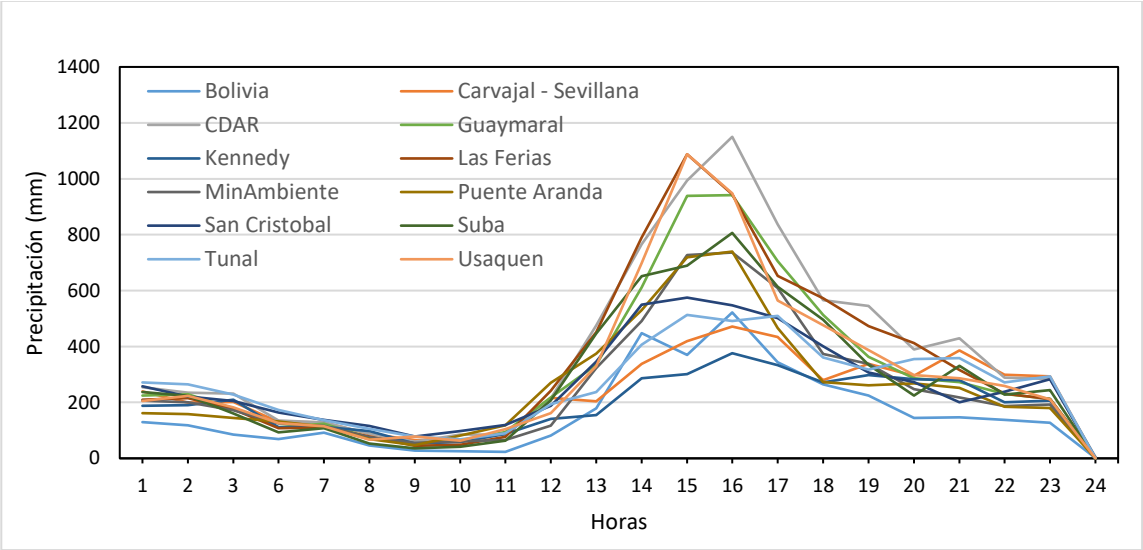


Figura 9-10. Perfil horario anual de las precipitaciones totales acumuladas por estación (2010 - 2017)

La Figura 9-11 presenta el comportamiento horario de la distribución de frecuencias de la precipitación promedio anual acumulada desde 2010 – 2017. En esta se observa que entre las 10 PM y las 12 M, la frecuencia de ocurrencia de lluvias en la ciudad es de entre el 1% al 4%. En tanto que, a partir de la 1 PM, la frecuencia se incrementan a su máximo (12%), entre las 3 y 4 PM, lo que denota la ocurrencia de lluvias de tipo convectivas, debidas al calentamiento de la ciudad por radiación solar.

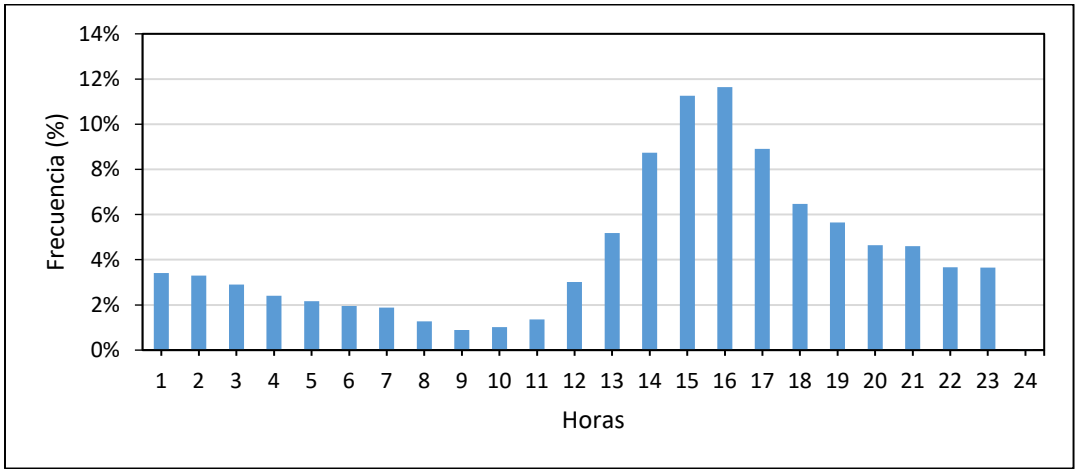


Figura 9-11. Distribución de frecuencia de la precipitación horaria en la ciudad (2010 - 2017)

El comportamiento de la distribución de las lluvias anuales presentado anteriormente es debido a la influencia del ciclo diario sol, el cual calienta paulatinamente desde su salida hasta alcanzar su máximo al medio día. El calentamiento superficial de la ciudad dinamiza las corrientes de aire convectivas (ascendentes) que se traducen en nubes que alcanzan su mayor desarrollo vertical después del mediodía, posibilitando la ocurrencia de las lluvias en horas de la tarde, predominantemente entre las 3 y las 4 PM, como suele suceder en Bogotá. En 2017, el comportamiento antes descrito fue semejante, como se observa en la Figura 9-12 y Figura 9-13.

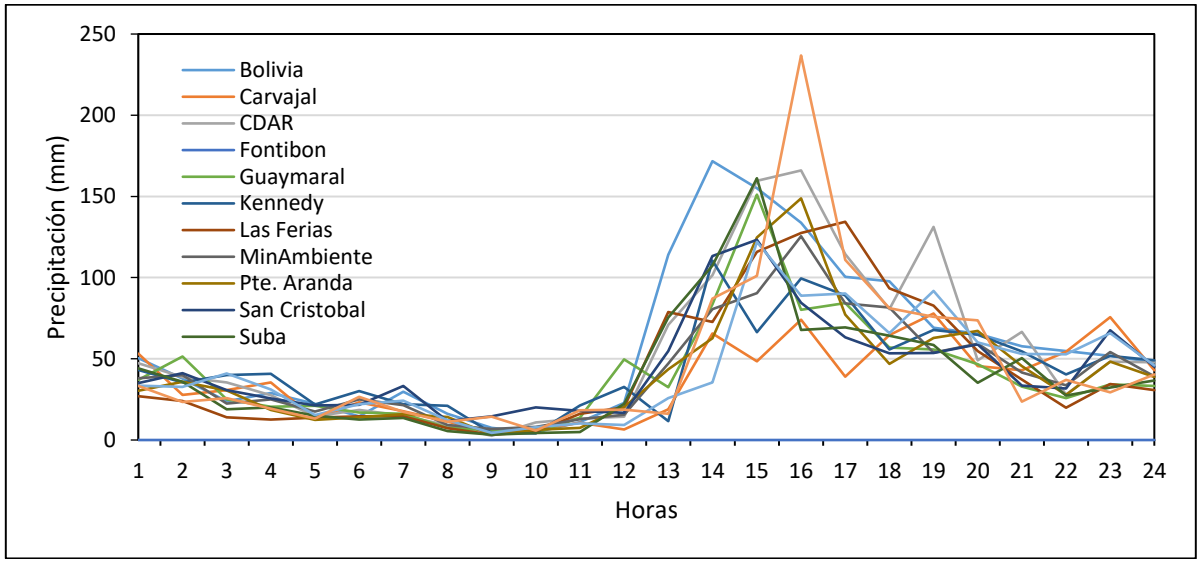


Figura 9-12. Perfil de la precipitación promedio horaria anual por cada estación - 2017.

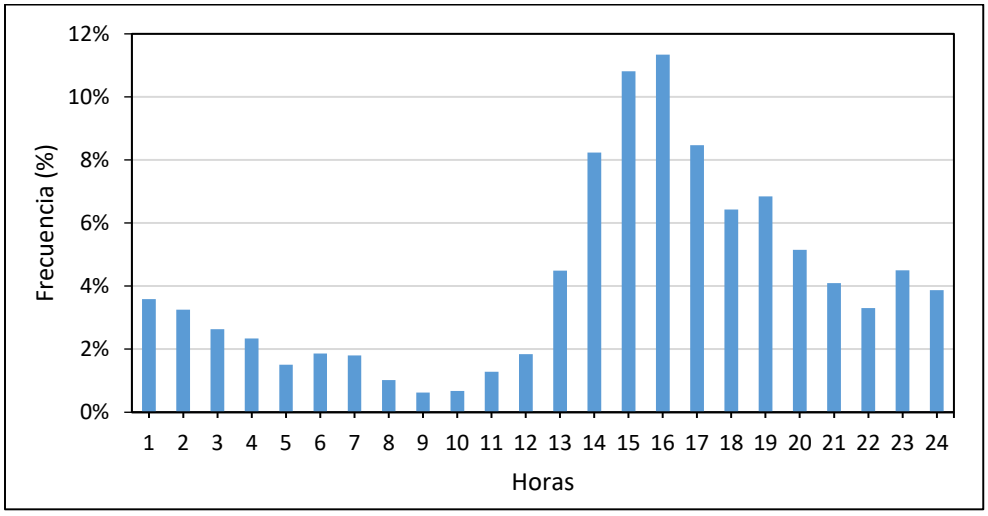


Figura 9-13. Distribución de frecuencia precipitación horaria en la ciudad - 2017

La Figura 9-14 es una representación del comportamiento de la precipitación promedio horaria mensual por cada estación de la RMCAB. En esta se observa como las aglomeraciones de puntos de color rojo y naranja se concentran en mayor proporción en las horas de la tarde a lo largo de

todos los meses del año. En esta se confirma lo que muestra la Figura 9-10 a Figura 9-13; es decir, la precipitaciones en la cuidad de Bogotá ocurren con mayor probabilidad en horas de la tarde. De este modo, es claro que las precipitaciones más intensas (en color rojo) se presentaron en vecindades del Centro de Alto Rendimiento y en Usaquén.

El año 2017 no fue la excepción a este comportamiento histórico. Cabe anotar que este patrón tiene una estrecha relación con el ciclo diario del sol y la influencia de los cerros orientales, que se constituye en un factor determinante para la ocurrencia de lluvias en la ciudad.

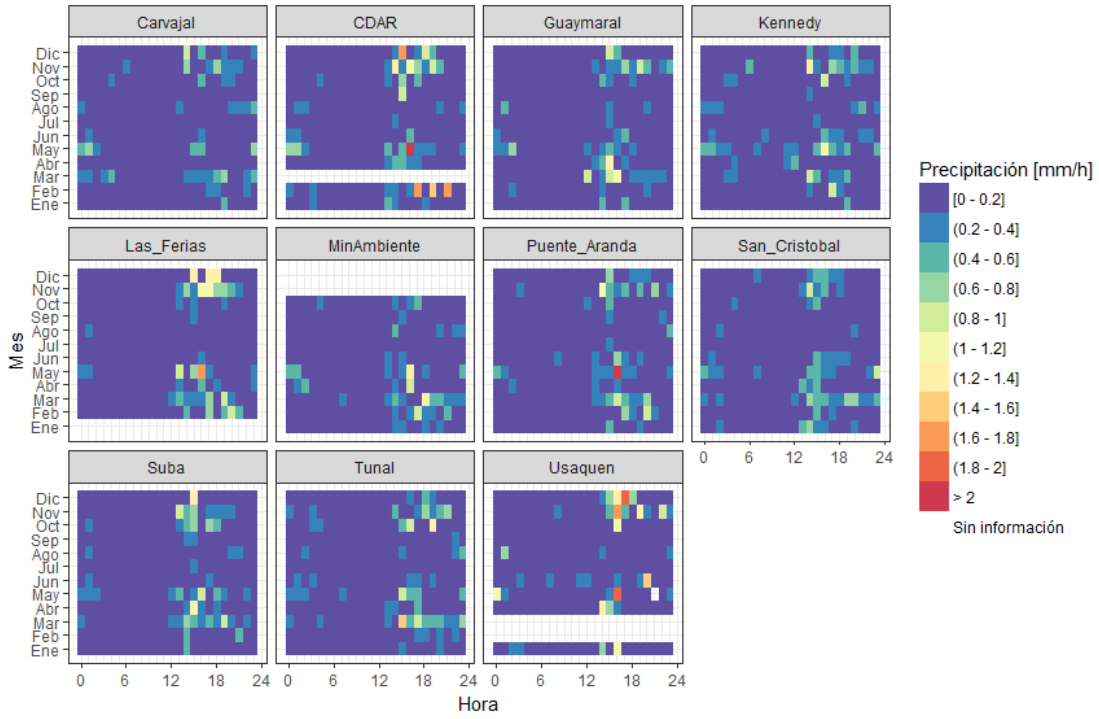
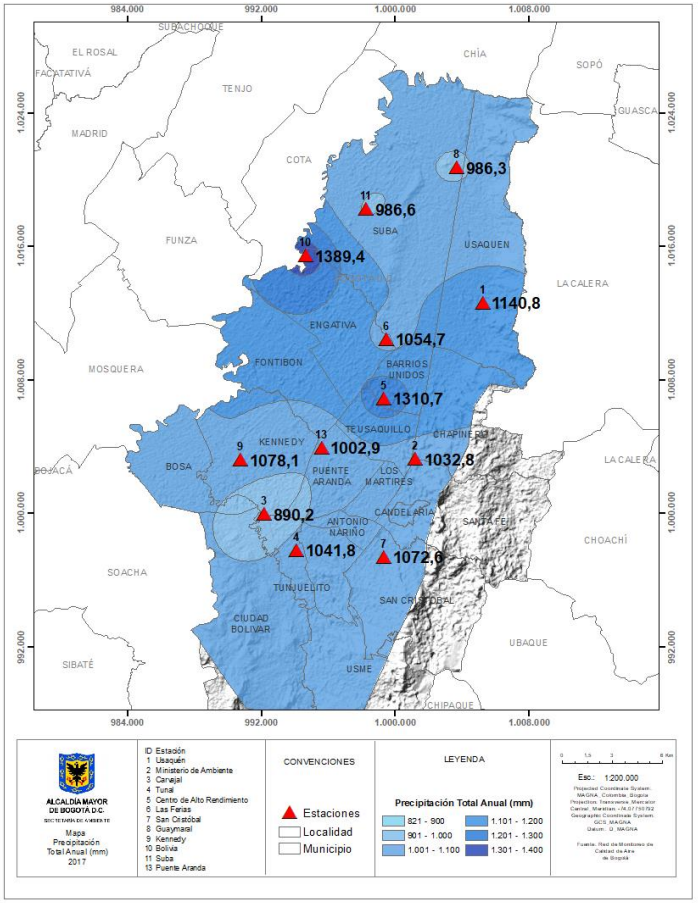


Figura 9-14. Total anual acumulado por estación – 2017

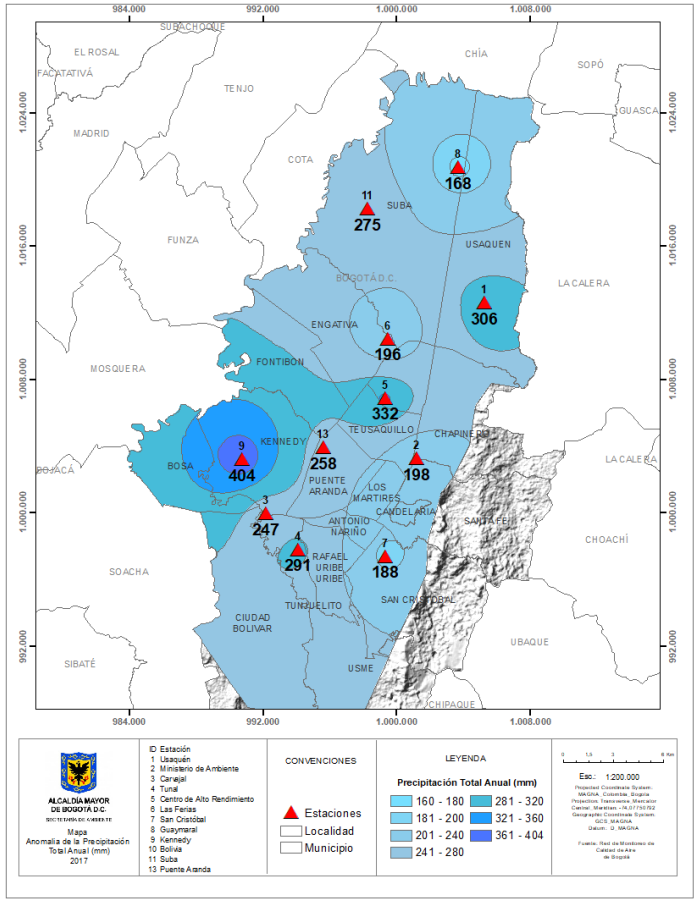
9.2.4. Distribución Espacial de la Precipitación

A continuación, se resume la distribución espacial de la precipitación en Bogotá en 2017. De la Tabla 9-5 se observa que, en este periodo los valores más altos de precipitación ocurrieron hacia el noroccidente; los más bajos se reportaron hacia el sur occidente como históricamente ha ocurrido. La estación de Las Ferias registro el mayor valor de precipitación del año en noviembre de 2016 (295.3 mm). En la Figura 9-15, se observa con mayor claridad cómo se distribuyó la precipitación en 2017.

A diferencia del año anterior en el cual las lluvias se concentraron al norte de la ciudad, en 2017 lluvias se concentraron hacia el noroccidente y centro geográfico de la misma. Las estaciones que acumularon los mayores valores recayeron en las estaciones de Guaymaral (964,4 mm), Las Ferias (924,6) y Usaquén (889,1mm). En contraste, las que reportaron totales anuales más bajos, Carvajal-Sevillana (540,8 mm), seguida por Kennedy (723,4 mm).



a)



b)

Figura 9-15. A) Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2017 y b) Mapa de anomalía de la precipitación de 2017 contra el promedio multianual de la precipitación desde 2010 -2017

9.2.5. Número de días con precipitación

En la ciudad de Bogotá, se registraron en promedio 169 días con precipitación en el año 2017. Las estaciones con mayor número de días, San Cristóbal (217 días) y Guaymaral (206 días). Las de menor número de días Usaquén (153 días) y Las Ferias (162 días). Con todo, no hubo una correspondencia entre el número de precipitación y la cantidad de agua precipitada; toda vez, que los sectores de la ciudad donde el número de días con precipitación fue menor, recibieron intensas precipitaciones. Ver Figura 9-8.

En 2017 los meses que reportaron mayor número de días con precipitación fueron noviembre (21 días) y mar (20 días); como suele suceder, los meses de enero (13 días) y febrero (21 días). Ver Tabla 9-6 y Figura 9-16.

Tabla 9-6. Número de días con precipitación por estación RMCAB 2017

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Acumulados
Usaquén	21	N.A	N.A	13	16	16	10	15	15	13	22	12	153
Bolivia	13	11	21	15	20	15	11	16	16	15	14	12	179
C.D.A.R	14	17	N.A	12	20	24	21	17	17	17	25	13	197
Carvajal	7	13	18	10	17	20	17	16	16	16	19	11	180
Guaymaral	21	12	20	14	6	23	20	18	18	15	25	14	206
Kennedy	13	12	18	16	21	18	18	17	17	16	23	11	200
Las Ferias	4	11	23	11	19	13	8	14	14	12	22	11	162
MinAmbiente	11	11	20	15	19	23	24	16	16	14	15	N.A	184
Puente Aranda	10	13	22	13	21	20	15	15	15	15	21	10	190
San Cristóbal	15	14	22	14	17	22	26	18	18	15	21	15	217
Suba	9	11	22	19	19	19	11	12	12	16	22	9	181
Tunal	13	10	18	11	20	18	20	17	17	18	20	12	194
Promedio	**13**	**12**	**20**	**14**	**18**	**19**	**17**	**16**	**16**	**15**	**21**	**12**	169

Tabla 9-7. Número promedio de días con precipitación mensual multianual RMCAB 2017

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	13	14	13	13	21	17	16	14	18	14	10	5
2001	6	6	13	9	17	12	10	10	18	10	12	15
2002	8	15	12	17	17	18	14	13	13	19	12	11
2003	4	10	11	15	14	14	18	17	14	16	18	8
2004	6	12	9	16	22	18	16	12	13	17	14	9
2005	9	12	13	16	17	12	12	10	12	13	15	13
2006	11	8	17	16	16	16	11	11	9	16	33	9
2007	5	7	11	22	19	19	11	17	9	20	18	19
2008	10	11	14	16	18	14	17	17	15	16	22	15
2009	13	14	18	14	10	16	13	11	8	14	14	8
2010	3	10	10	24	22	19	18	13	15	17	23	22
2011	14	14	18	23	22	14	15	13	12	20	24	17
2012	13	12	17	18	16	15	15	18	10	15	14	10

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2013	4	14	11	15	22	10	16	15	13	16	19	13
2014	10	15	16	17	17	16	19	13	13	21	19	15
2015	10	9	16	13	13	19	19	13	8	11	11	4
2016	4	11	14	19	15	14	13	18	18	17	23	11
2017	13	12	20	14	18	19	17	16	16	15	21	12

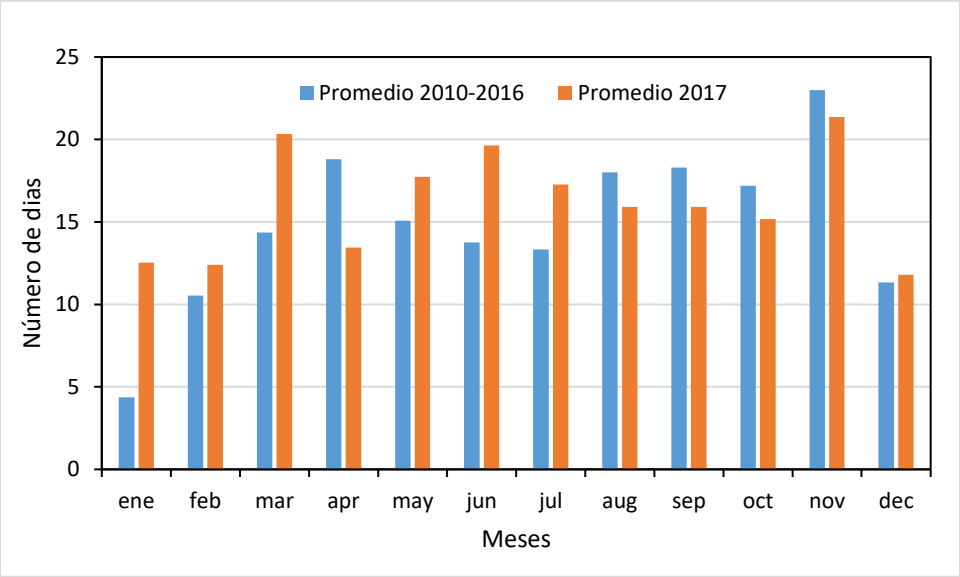


Figura 9-16. Comportamiento del número de días con precipitación promedio en 2017 y periodo 2010 – 2016

Del primer semestre de 2016, enero, febrero, mayo, junio, presentaron anomalías negativas en el número de días con lluvia, respecto al promedio de la ciudad, de 4 días 1 día, 3 días y 2 días mm, respectivamente. Del segundo semestre solo diciembre dejo de llover por 1 día.

Por otra parte, se observan las anomalías positivas en marzo (1 día), y abril (2 días). Es decir, su comportamiento se asemejo al valor medio histórico. En el segundo semestre se observan anomalías positivas en los días de agosto (4 días), septiembre (6 días), octubre (2 días) y noviembre (6 días).

9.3. DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

9.3.1. Variación de la Velocidad del Viento Anual

En 2017 la velocidad del viento presentó una distribución espacial donde se puede evidenciar un patrón de velocidades del viento caracterizado por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del este con velocidades más bajas que el suroccidente, pero persistentes, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir de en el centro geográfico de la ciudad. Cabe anotar que este patrón no siempre se repite, pero es predominante, y es el que, en gran parte del año, hace favorable la remoción de la carga contaminante emitida a la atmosfera local por de las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito.

Así las cosas, en 2017 se mantuvo patrón arriba descrito, presentándose los vientos más fuertes fue hacia el sector de Kennedy, Fontibón y Puente Aranda; los más débiles en Guaymaral, MinAmbiente y Tunal. Para más información ver Figura 9-17

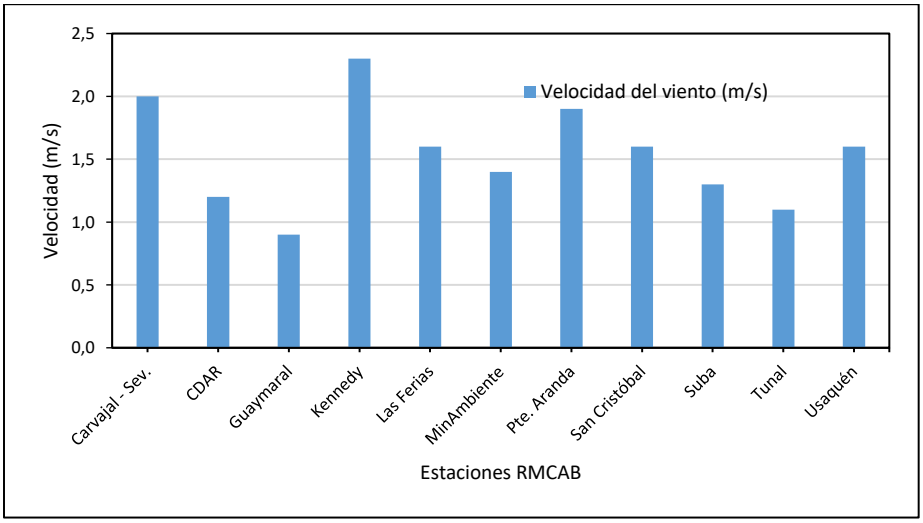


Figura 9-17. Velocidad del viento promedio multianual 2010-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017

Tabla 9-8. Velocidad promedio anual del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2017

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Prom
Cade Energía	0,7	0,9	0,7	0,8															**0,8**
Carvajal - Sevilla	0,9	1,3	1,2	2,1				1,8	1,9	2,4	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,6	2,0	2,0	**2,0**
Cazuca	1,9	2,1	2,3		2,8	2,4	2,5	2,6	1,7										**2,3**
Central de Mezclas	2,0																		**2,0**
Centro de Alto Rendimiento					0,8	1,9		1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,2	1,2	**1,4**
Chico lago (Sto Tomas)	0,4	0,4	0,4																**0,4**
Fontibón	2,4	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	3,4	2,7	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0					**2,9**
Guaymaral			0,6					1,1	1,2	1,3		0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	**1,0**
Kennedy							1,5	1,5	2,3	2,7	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,8	2,4	2,3	**2,3**
Las Ferias	1,7	1,7	1,6			1,5	1,4	1,4	1,9	2,1	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,7	1,6	**1,7**
Min Ambiente	0,4	0,5	0,5							1,2				1,8	1,8	1,8	1,5	1,4	**1,2**
Olaya	1,8																		**1,8**
Puente Aranda	1,9	2,4	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	2,1	2,1	2,3	2,1	1,9	**2,4**
San Cristóbal											1,1	1,7	1,8	2,2	1,8	1,2	1,7	1,6	**1,6**
Suba	1,4	1,4	1,3		1,6		1,3	1,5	0,5	0,9	1,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	1,4	1,3	**1,5**
Tunal								2,1	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	**1,2**
Univ. Nacional	0,5	0,6																	**0,6**
Usaquén	1,2	1,1	1,0	1,2		1,6	2,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,6	**1,4**
Usme							2,6	2,7	3,5										**2,9**
Vitelma							1.6	1.5	1.7										**1.6**
Promedio	**1.3**	**1.4**	**1.3**	**1.9**	**2.1**	**2.2**	**2.1**	**2.0**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.9**	**1.9**	**1.7**	**1.8**	**1.6**	**1.5**	**1.7**

9.3.2. Variación Trimestral de la Velocidad del Viento

Respecto al promedio trimestral de la velocidad del viento, con el cual se pretende describir el patrón de los vientos en periodos secos y húmedos, a continuación, se describe su comportamiento en 2017, frente a los promedios históricos registrados en la ciudad desde 2000 – 2016.

La Figura 9-18 describe el comportamiento de los promedios trimestrales, por estación, del periodo 2017 frente a los promedios multianuales de 2000 – 2016. En dicha figura es evidente que los promedios de velocidad del viento en 2017, en la mayoría de los casos, fueron inferiores al promedio 2017. Solo casos aislados como en el sector de Usaquén y MinAmbiente, el promedio de velocidad de 2017 superó el promedio trimestral multianual 2000-2017.

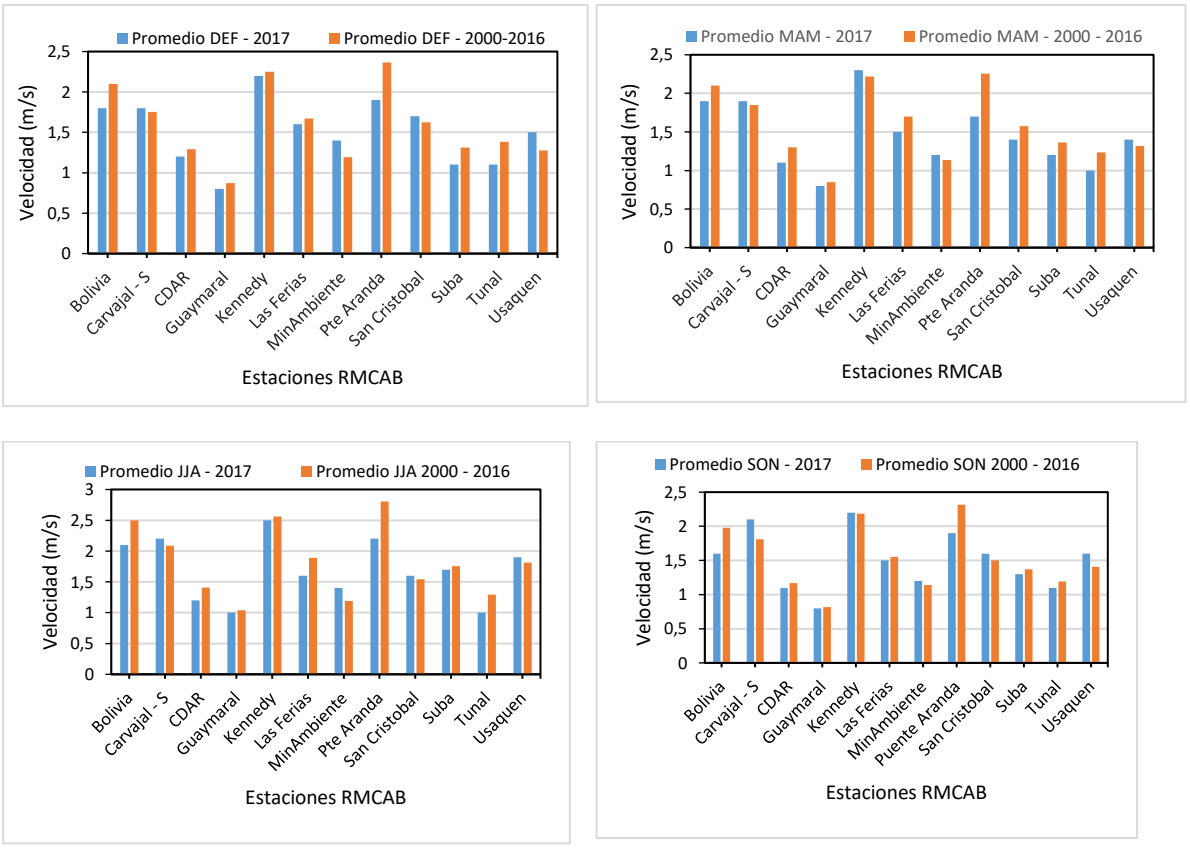


Figura 9-18. Velocidad del viento promedio trimestral de 2017 frente al promedio trimestral multianual 2000-2017 por estación.

A continuación, se presenta el comportamiento trimestral multianual de la velocidad del viento desde 2000 a 2017, a nivel de los promedios, medias máximas y medias mínimas por cada trimestre. Ver Figura 9-19.

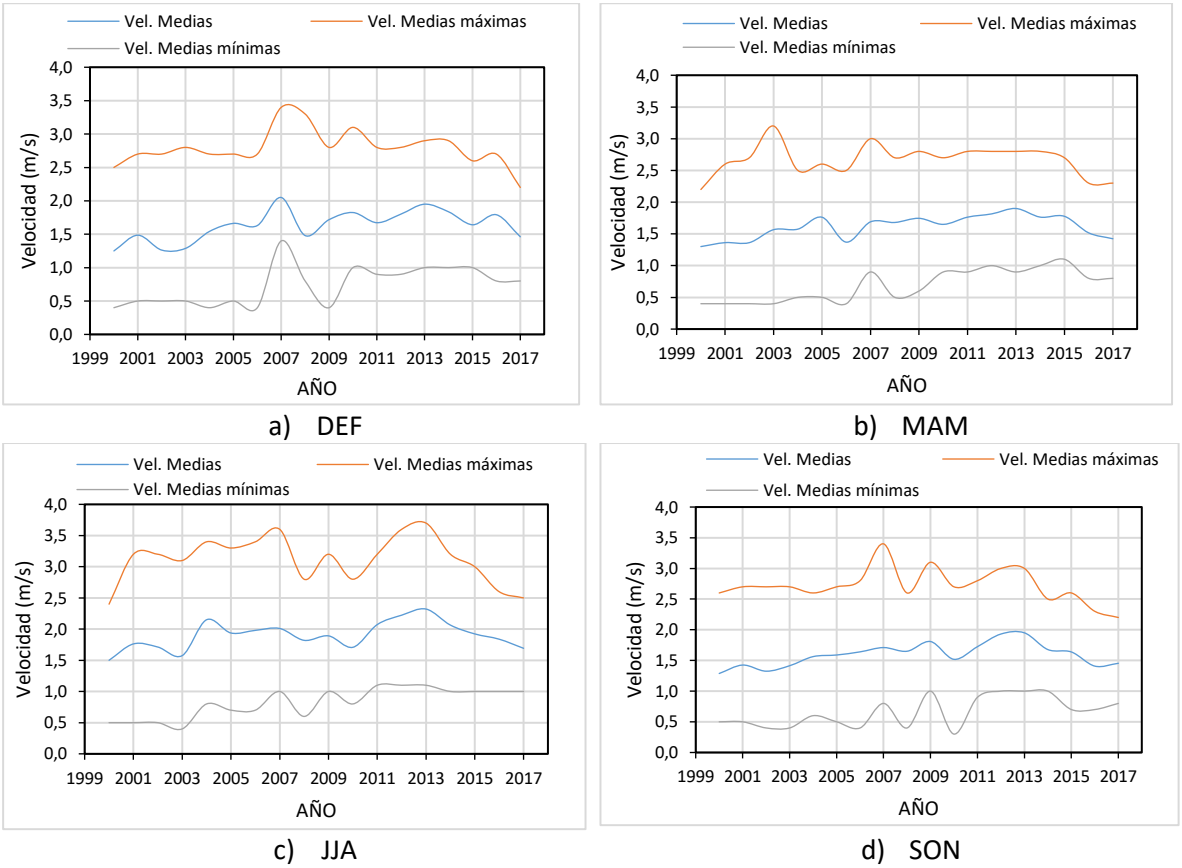


Figura 9-19. Velocidad del viento promedio trimestral multianual 2000-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017

De acuerdo con la Figura 9-19 a) los promedios trimestrales, medios, máximos y mínimos del periodo DEF desde 2000 - 2017, dejan entrever que las mayores velocidades se presentaron en 2007, con velocidades medias máximas de 3.4 m/s, medias de 2.1 y medias mínimas de1.4 m/s. Además, que 2017 es el año cuyas velocidades medias máximas trimestrales DEF han sido las más bajas dentro del periodo multianual analizado.

En cuanto al trimestre MAM, las velocidades medias máximas presentaron una fuerte variabilidad entre 2000 a 2008 con máximas en 2003 y 2007 (3.2 y 3.0 m/s respectivamente); entre 2016 y 2017 se aprecia una fuerte disminución de estas velocidades con respecto a 8 años atrás, donde se evidenciaron velocidades sostenidas de 2.7 m/s entre 2008 a 2015. Las velocidades medias de este trimestre se observaron con una ligera tendencia creciente desde 2000 hasta 2013; a partir de allí las velocidades han decaído nuevamente. De modo semejante se observa que las velocidades medias mínimas mostraron tendencia creciente desde 2000 hasta 2015, luego se aprecia disminución entre 2016 y 2017.

El trimestre JJA es el periodo con mayores velocidades durante el año. En su variabilidad, las velocidades medias máximas han fluctuado entorno a los 3.0 m/s; sin embargo, fueron 2007 y 2013

los que mayores velocidades medias máximas han registrado en lo que va corrido desde 2000 a 2017. Las medias máximas más bajas ocurrieron en 2000, 2006, 2007 y 2017; en 2017 se registraron las velocidades medias máximas más bajas de los últimos 19 años. De modo semejante se observa un patrón en las velocidades medias máximas trimestrales. Para las velocidades medias mínimas se observa que desde 2010, han sido mayores que años anteriores y se han mantenido sostenidas, aproximadamente entre 1.0 y 1.1 m/s. Ver Figura 9-19 c).

El trimestre SON junto con el trimestre MAM, son los que menores velocidades del viento registran durante el año.

En su variabilidad, las velocidades medias máximas han fluctuado entorno a los 2.5 m/s, de manera cuasi sostenidas entre 2000 y 2006; sin embargo, en 2007 y 2009 se presentaron los picos más importantes del periodo analizado. A diferencia de las medias máximas, las velocidades medias registraron su máximo entre 2012 y 2013; a partir de allí comenzaron en descender, hasta 1.5 m/s que es mayor a la mínima media trimestral de 2000 (1.3 m/s). Con todo, se mostró un ligero incremento respecto a 2016. Ver Figura 9-19 d).

9.3.3. Variación Mensual de la Velocidad del Viento

De acuerdo con el promedio mensual multianual 2000 – 2016, la velocidad media del viento entre enero a marzo es de 1,7 m/s; en abril y mayo se presentan los valores más bajos del primer semestre (1,6 m/s). En el segundo semestre ocurren los vientos más fuertes entre julio y agosto, debilitándose nuevamente hacia noviembre y diciembre, relacionándose inversamente con el ciclo estacional las precipitaciones, es decir, las velocidades del viento tienden a disminuir con los periodos de lluvia. No obstante, en 2017 los registros de la RMCAB, deja entrever que este fue un año con bajas velocidades del viento, al punto que el mes de agosto no se registraron altas magnitudes como históricamente se ha comportado. Ver Tabla 9-9 y Figura 9-20.

Tabla 9-9. Promedio multianual de la velocidad del viento

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	1,5
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	1,8
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	1,8
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	1,8
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,8
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	1,7
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,8

2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	1,8
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,8
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,6
Promedio	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**1,6**	**1,6**	**1,9**	**2,0**	**2,0**	**1,8**	**1,6**	**1,5**	**1,5**	1,7
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	1,5
Desviación	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	

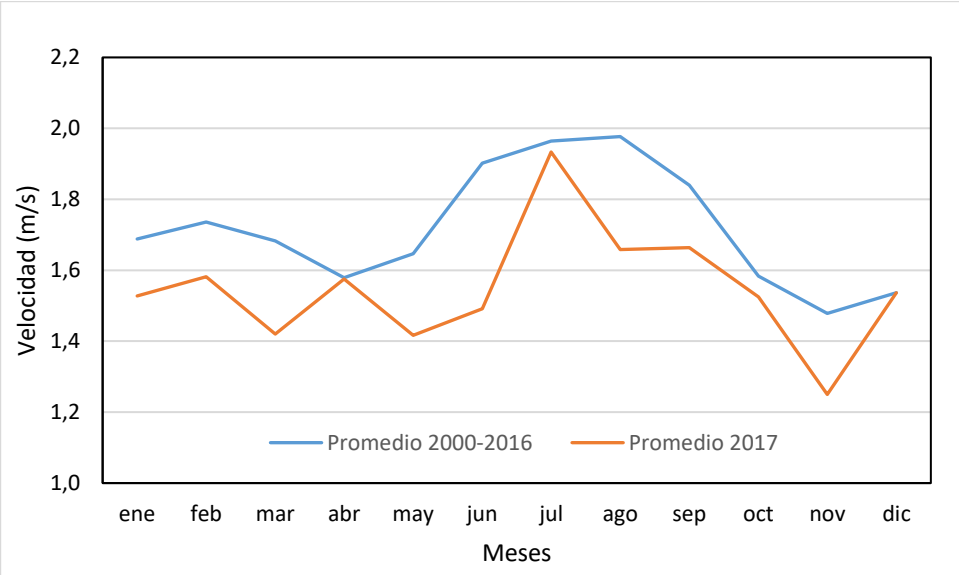


Figura 9-20. Velocidad promedio mensual de la velocidad del viento - ciudad

9.3.4. Comportamiento de la Dirección del Viento.

A continuación, se resume el comportamiento de la dirección predominante del viento por estación. En la Figura 9-21. se encuentran las rosas de viento de las diferentes estaciones que registraron el comportamiento promedio de la dirección del viento en el año 2017, las cuales pese a representar una instantánea del ciclo anual, ofrecen un panorama de la predominancia o frecuencia de la dirección los vientos durante todo el año. Para información mensual, se puede consultar los informes mensuales en la página web de la SDA. Complementariamente, en el mapa de la Figura 9-22, se describe la distribución espacial de los vientos en la ciudad, durante el año 2017.

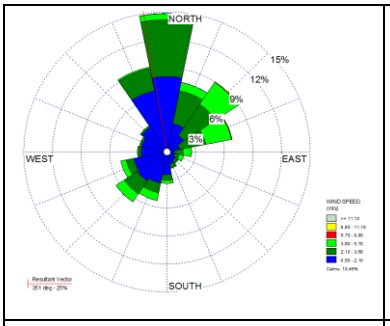
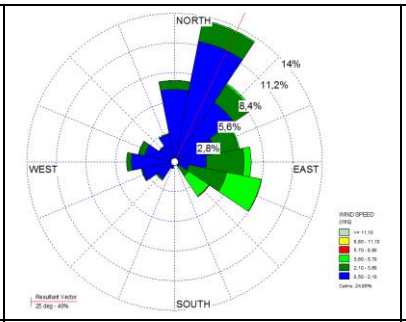
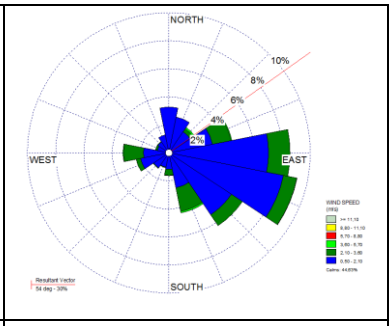
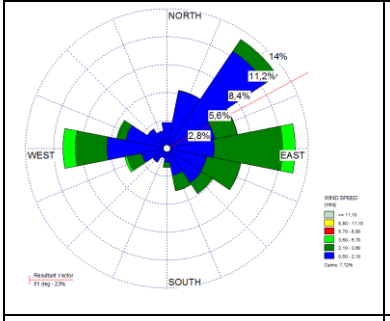
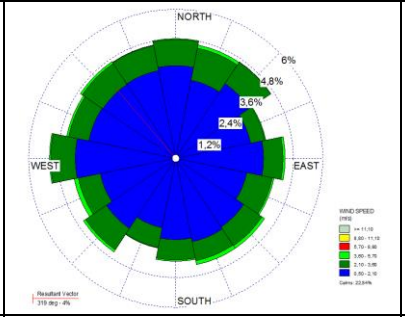
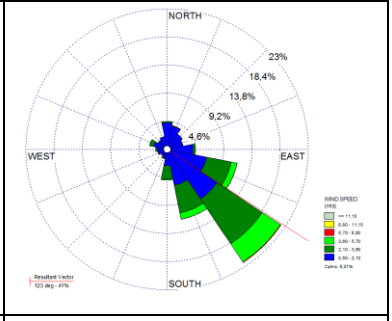
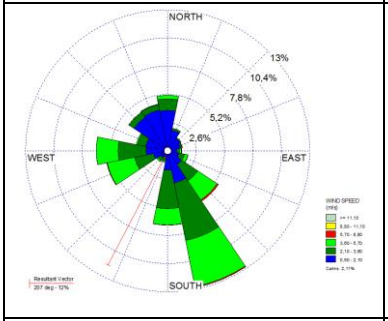
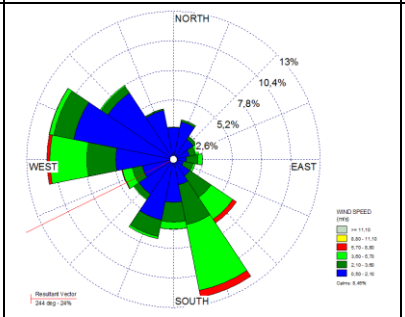
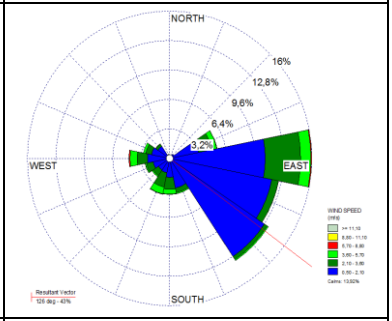
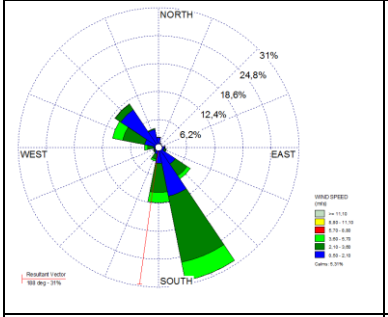
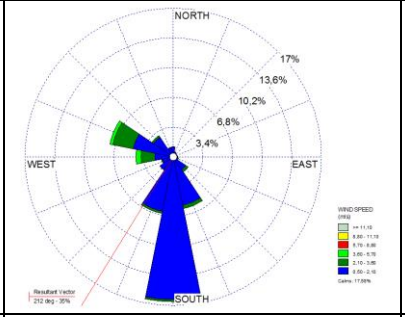
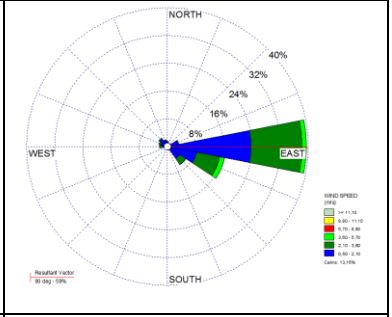
		
a) Bolivia	b) Suba	c) Guaymaral
		
d) Las Ferias	e) CDAR	f) Usaquen
		
g) Kennedy	h) Puente Aranda	i) MinAmbiente
		
j) Carvajal	k) Tunal	l) San Cristóbal

Figura 9-21. Rosas de viento consolidadas por estación - 2017

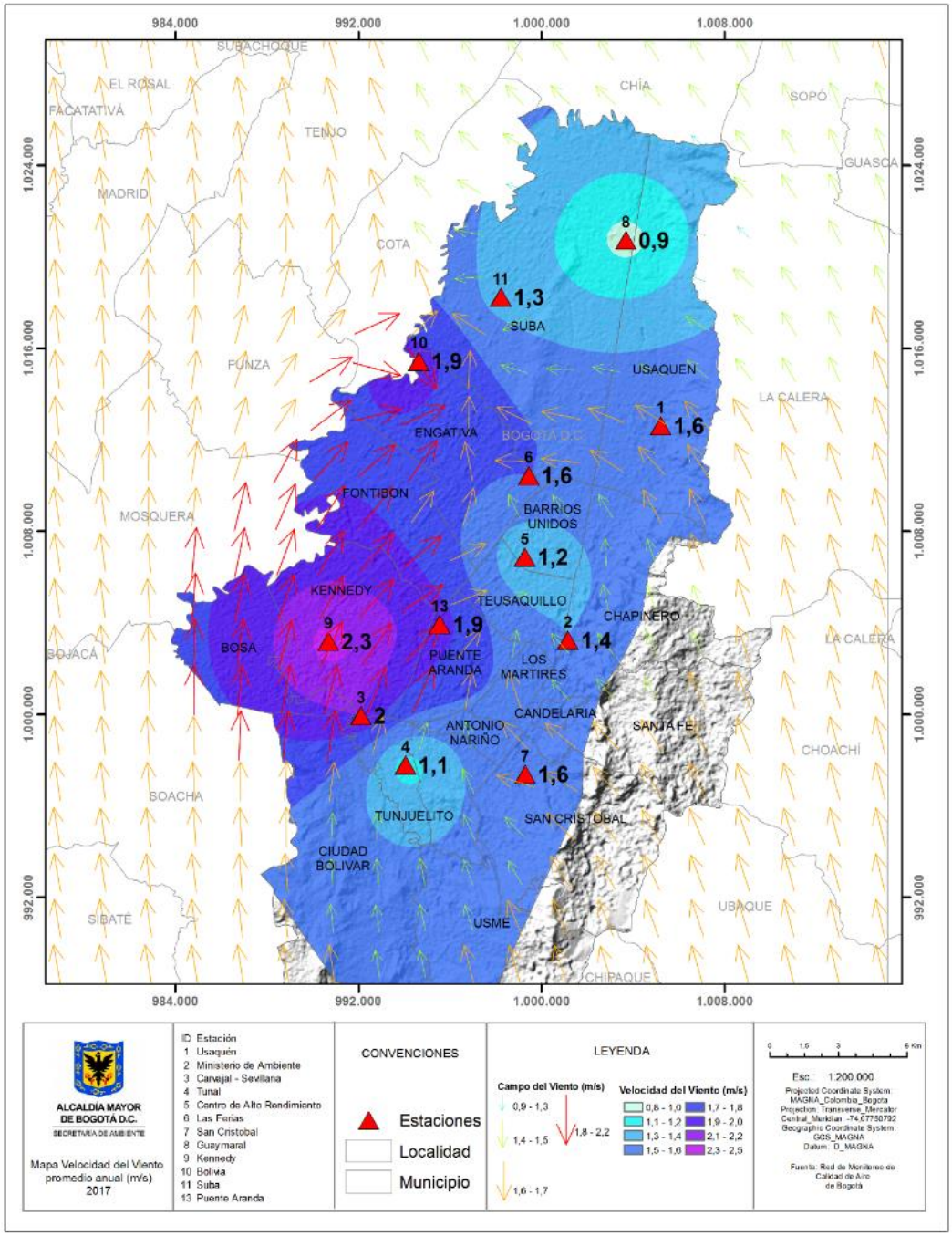


Figura 9-22. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2017

En general, en 2017 hacia el norte, predominaron los vientos del norte hacia el flanco noroccidental y del este en vecindad de los cerros orientales. El porcentaje de ocurrencia de vientos del norte fue de entre 14% – 15%, en tanto que los de este entre el 8 a 10 %.

En el flanco oriental fueron predominantes los vientos del sureste y una marcada componente este hacia el sector sur oriental de la ciudad, representado por la estación de San Cristóbal.

Hacia el sur de la ciudad, predominaron los vientos del sur, al extremo sur y vientos del este en vecindades de los cerros orientales.

Hacia el occidente predominaron los vientos del sur (S) y del sureste (SE) tendidos al sur con frecuencias de entre 13% a 31%. Sin embargo, aproximadamente por el sector centro occidental de la ciudad los vientos tendieron a ponerse más del suroccidente, dando lugar a la confluencia de vientos del norte, del oeste y este de la ciudad, lo que caracteriza ese debilitamiento de los vientos en el centro geográfico de la ciudad, por el sector de las Ferias y el Centro de Alto Rendimiento, como se observa en el mapa de la Figura 9-22.

9.3.5. Variación horaria de la Velocidad y dirección del Viento

La Figura 9-23 resume el comportamiento de las velocidades máximas absolutas del viento horario por estación de la RMCAB durante el año 2017. Así pues, la máxima absoluta anual (la velocidad más alta registrada en cada estación durante todo el año), ocurrió en orden de magnitud, en las estaciones de Puente Aranda, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén y Bolivia, con valores que superaron los 6.4 m/s. En cuanto a las máximas absolutas mínimas, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad en Guaymaral y Tunal, como históricamente se ha registrado. Los mínimos de la estación CDAR, normalmente son debidos a que, por ese sector de la ciudad, tienden confluir los vientos de norte, sur, suroccidente y del este.

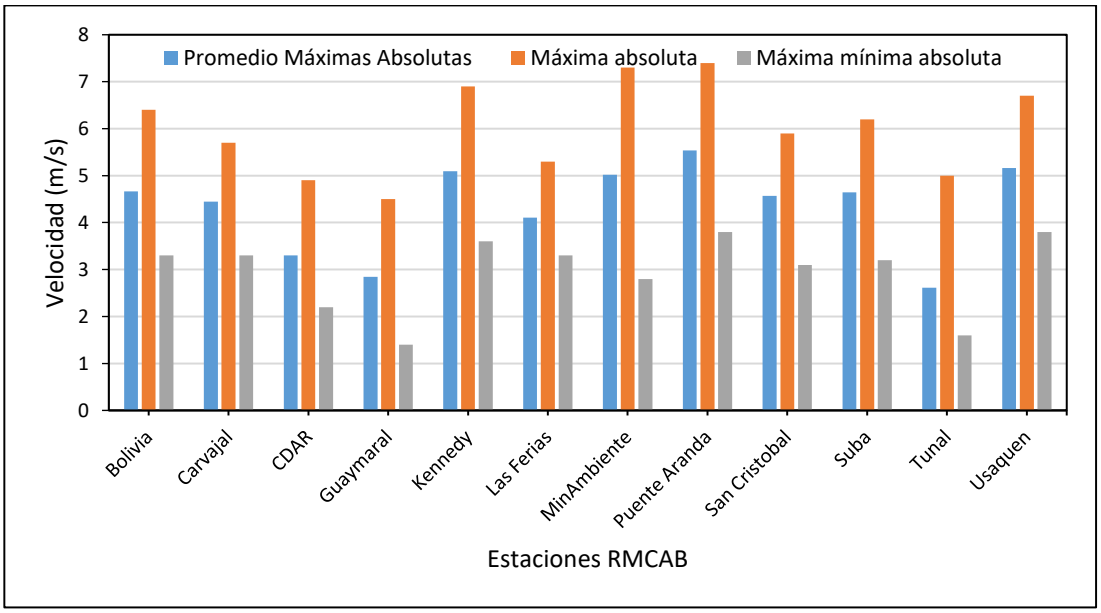


Figura 9-23. Velocidades máximas: medias máximas absolutas, máxima absoluta y máxima mínima absoluta horaria, por estación de la RMCAB – 2017

Por otra parte, la Figura 9-24 describe el promedio horario de las velocidades máximas absolutas, promedio de las máximas absolutas y máximas mínimas absolutas, durante el año 2017. Como quieran que son valores aislados durante el año, es notable la variabilidad de las máximas absolutas. Como es normal, debido a la acumulación de energía entre la mañana y el medio día, la ocurrencia de las mayores magnitudes del viento sea entre las 11 am y las 6 pm, con un pico hacia la 1 pm.

Así las cosas, si se analiza de manera integral la Figura 9-23 y la Figura 9-24, es deducible que las máximas velocidades del viento se presentaron en los sectores de Puente Aranda, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén y Bolivia en horas cercanas al medio día hasta las 6 pm.

Si se detallan las rosas de viento de la Figura 9-21., se puede notar que el porcentaje de ocurrencia de velocidades medias superiores a 5.8 m/s, fue de un 7% aproximadamente durante el año de los vientos del sureste, en la estación de Puente Aranda.

Adicionalmente, es importante precisar que son estos vientos de mayor magnitud los que en gran proporción contribuyen con la limpieza de la ciudad a través de mecanismos de mezcla, transporte y difusión de los contaminantes que son emitidos, dado su mayor contenido de energía cinética para producir turbulencia.

Es notable, además, que en horas de la madrugada y mañana, ocurrieron velocidades máximas absolutas del viento cercanas 5.0 m/s, las cuales debieron obedecer a ráfagas de viento, probablemente generadas por la lluvia o días calurosos y nublados, pero su frecuencia es muy baja, se estima que sean menos de 10 veces durante todo el año.

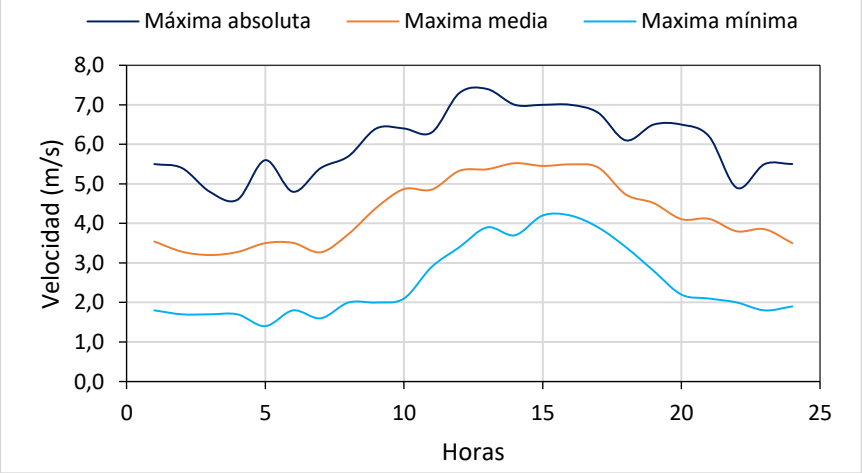


Figura 9-24. Velocidades máximas: máximas absolutas, máxima media y máxima mínima horaria anual. RMCAB – 2017

La Figura 9-25 describe el comportamiento de los promedios de velocidades del viento horario por estación de la RMCAB durante el año 2017. Así pues, el promedio de las velocidades medias máximas absolutas horarias anuales ocurrieron en orden de magnitud, en las estaciones de Kennedy, Bolivia Kennedy, Bolivia y Carvajal Sevillana, con valores que superaron los 3.3 a 4.0 m/s. En ese mismo orden, se presentaron los promedios de la velocidad del viento. En cuanto a las mínimas absolutas

de los promedios de velocidad del viento, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad en Guaymaral y Tunal, como suelen ocurrir.

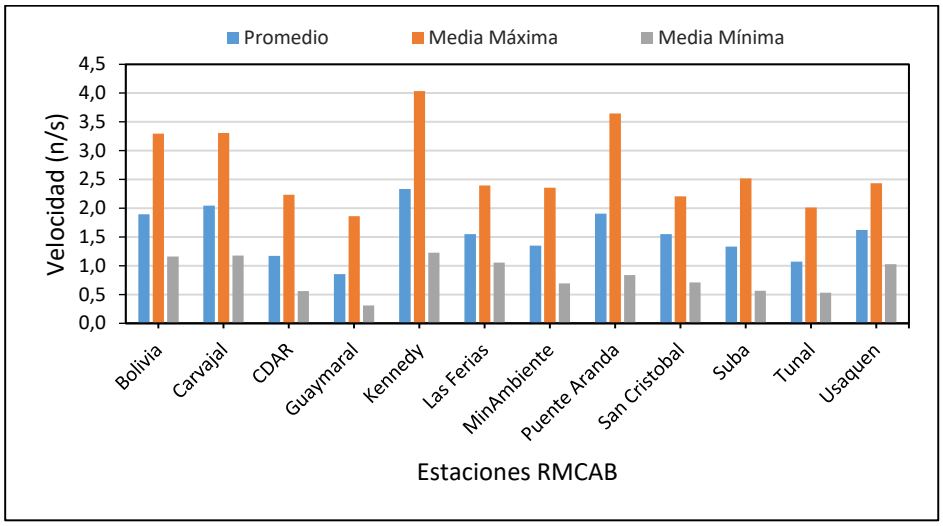


Figura 9-25. Velocidades medias: medias, medias máximas y medias mínimas horarias por estación de la RMCAB – 2017.

Por otra parte, la Figura 9-26 describe el promedio horario de las velocidades del viento, sus promedios máximos absolutos y sus promedios mínimos absolutos, durante el año 2017. EL promedio de las velocidades del viento en la ciudad, fluctuaron aproximadamente entre 0.3 y 1.3 m/s en las madrugadas y al medio día, entre 1.7 a 4.0 m/s; ya en horas de la noche, entre 0.4 a 1.9 m/s.

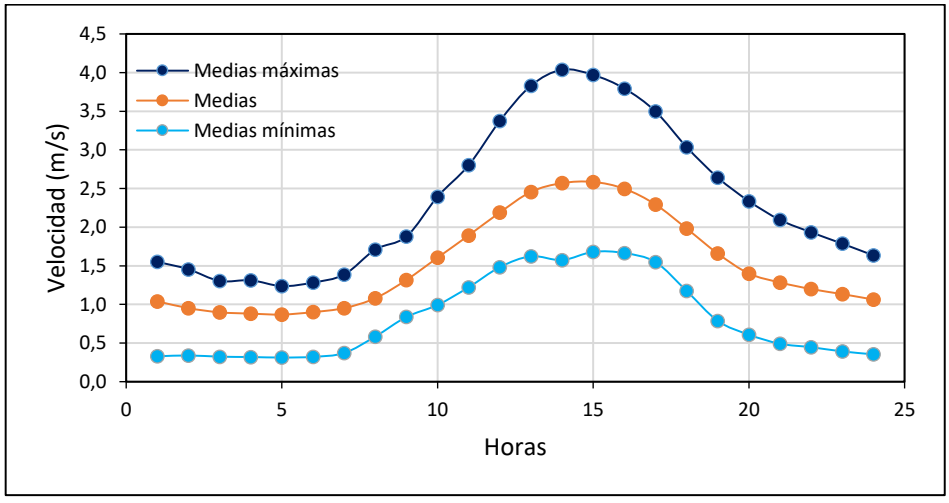


Figura 9-26. Velocidades medias: medias máximas, medias, media mínima horaria anual. RMCAB – 2017

La Figura 9-27 muestra el comportamiento de las mínimas absolutas horarias durante el año 2017, por cada estación de la RMCAB. Es de notar que los valores mínimos absolutos del viento, que normalmente ocurren en horas de la madrugada, se reducen a cero o muy cercanos a cero. Así

mismo, que las velocidades mínimas más altas de la ciudad se concentraron principalmente hacia el sector de Kennedy y en menor escala en Puente Aranda y el sector de Carvajal-Sevillana.

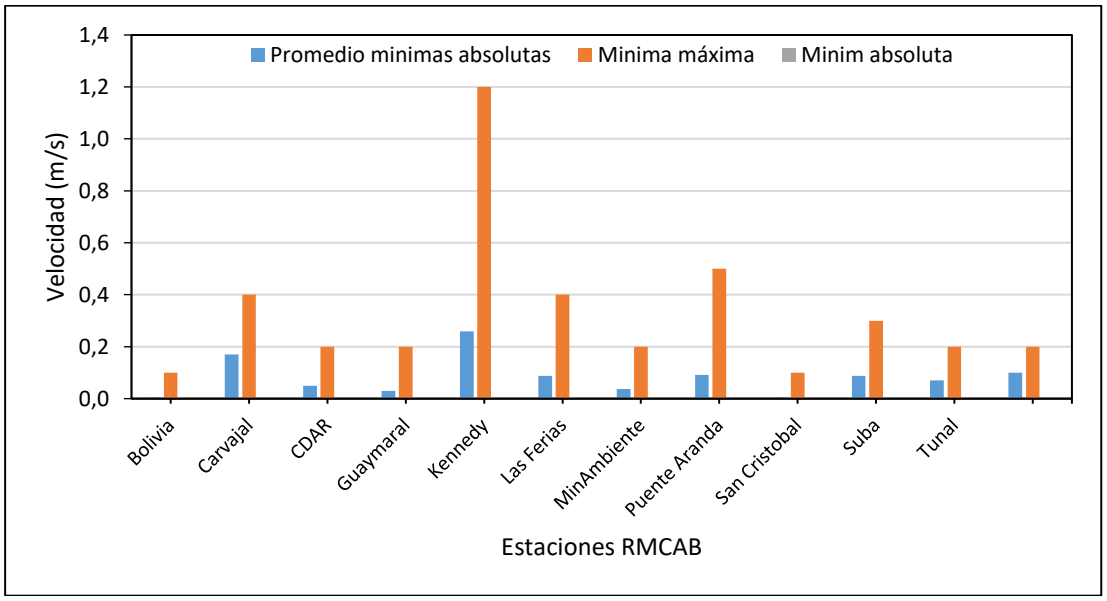


Figura 9-27. Velocidades Mínimas: medias mínimas absolutas, mínimas máximas y mínima absoluta, por estación de la RMCAB - 2017

En la Figura 9-28 se describe el perfil horario de las velocidades mínimas absolutas del viento, sus mínimas máximas, sus promedios, y mínimas absolutas durante el año 2017. El promedio de las velocidades del viento en la ciudad, fluctuaron aproximadamente entre 0.3 y 1.3 m/s en las madrugadas y al medio día, entre 1.7 a 4.0 m/s; ya en horas de la noche, entre 0.4 a 1.9 m/s.

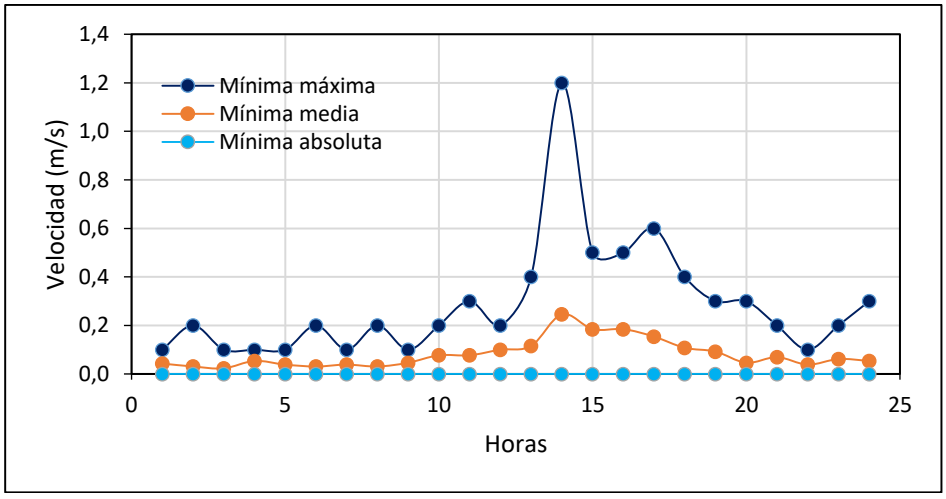


Figura 9-28. Velocidades mínimas: Mínima máximas, Mínima medias, Mínima horaria Absoluta horaria anual. RMCAB – 2017

A modo de resumen, la Tabla 9-10 recopila el comportamiento promedio anual de la dirección y velocidad del viento en diferentes fracciones del día.

En esta pues se hace visible que las velocidades más bajas como es normal ocurrieron entre las horas de la madrugada y la noche. Las más altas en la mañana y la tarde. Así mismo, se puede observar la ocurrencia de las direcciones del viento promedio, dependiendo de la fracción del día analizada. Cabe anotar que el cálculo de la dirección media del viento es el resultado de un promedio vectorial.

Tabla 9-10. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Bolivia	1,2	2,0	3,0	1,4	323	3	106	313
Guaymaral	0,3	0,9	1,6	0,5	15	49	138	60
Usaquén	1,1	1,5	2,3	1,6	94	110	153	122
Suba	0,6	1,7	2,2	0,8	12	33	118	2
Las Ferias	1,0	1,2	2,7	1,5	22	65	171	34
C.D.A.R.	0,6	1,2	2,0	0,9	189	337	318	326
MinAmbiente	0,8	1,3	2,2	1,1	126	136	150	117
Puente Aranda	0,9	1,8	3,3	1,6	290	205	209	238
Kennedy	1,4	2,2	3,7	2,1	341	121	209	218
Carvajal - Sevillana	1,3	2,0	3,1	1,8	235	161	221	199
Tunal	0,6	1,0	1,8	0,9	214	202	217	211
San Cristóbal	1,3	1,3	2,1	1,5	87	74	86	88
Promedio	**0,9**	**1,5**	**2,5**	**1,3**	-	-	-	-

9.4. VARIACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

9.4.1. Variación Anual de la Temperatura

En la Tabla 9-11 y Figura 9-29, se presenta el comportamiento histórico, por estación, de la temperatura del periodo 2000 – 2017. Como allí se observa, en 2017 se presentó un descenso en la temperatura media anual de 0,6 °C con respecto a 2016; cabe anotar que junto con 2005 fueron los años más calientes registrados por la RMCAB desde el año 2000.

Por otra parte, es notorio como desde 2007, la temperatura superficial del aire ambiente en Bogotá paso de un 12,7 °C en promedio y se ha establecido entre 14 a 15 °C.

Tabla 9-11. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2017

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Carvajal – Sevillana							12,2	11,2	14,1	15,4	15,5	15	15,2	15,5	15,5	15,8	16	15,6
Cazuca							12,3	11,7	13									
Centro de Alto Rendimiento									13,9	14,7	14,8	14,5	14,6	14,8	14,8	15,2	15,4	14,9
Fontibón	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,2	14,1	13,9	14,1	14,7	14,5	13,6	13,8	14,1				
Guaymaral									13,9	14,4	14,8	14,3	14,3	14,6	14,6	14,8	15,1	14,7
Kennedy									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5	14,8	14,9	15,3	15,3	15,1
Las Ferias	15,6	16	16			15,9			13,3	14	14,2	13,7	13,9	14,2	14,2	14,4	14,7	14,3
Puente Aranda	14,1	14,5	14,6	14,7	14,5	14,8	14,6	14,6	14	14,6	14,6	14	13,8	13,7	14	14,4	15	14,5
San Cristóbal											13,5	13,7	13	13,1	13	13,4	13,7	13,2
Suba	10,6						12,6	13,2	13,7	12,9			14	14,3	14,3	14,6	15	14,6
Tunal										14,6		13,2	13,4	13	13,1	13,5	14,4	13,4
Usaquén									11,9	14,5	15,1	14,4	14,4	14,8	14,7			13,2
Usme							11,8	12,5	13,4									
Vitelma								11,7	11,5		12,9							
Promedio	**13,5**	**14,8**	**14,9**	**14,5**	**14,2**	**15,0**	**12,9**	**12,7**	**13,4**	**14,5**	**14,5**	**14,1**	**14,1**	**14,3**	**14,3**	**14,6**	**15,0**	**14,4**

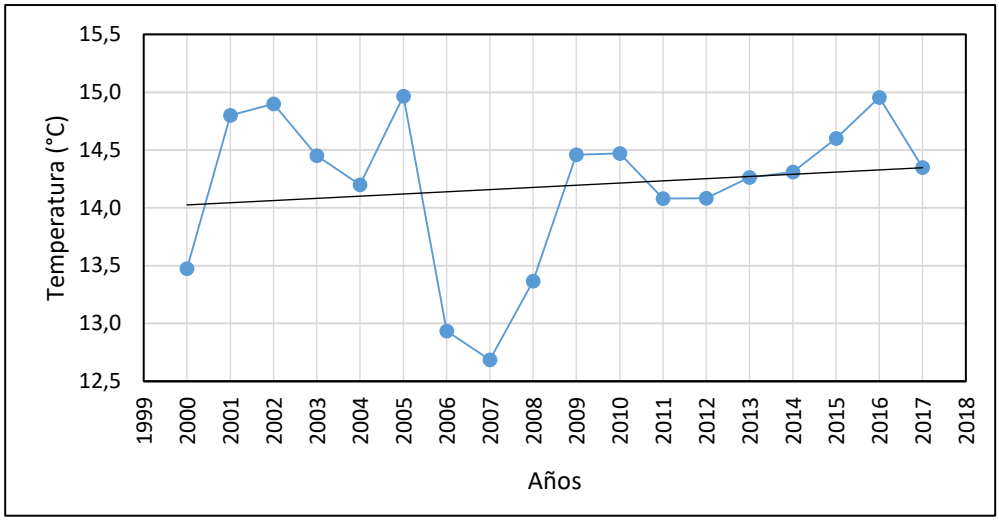
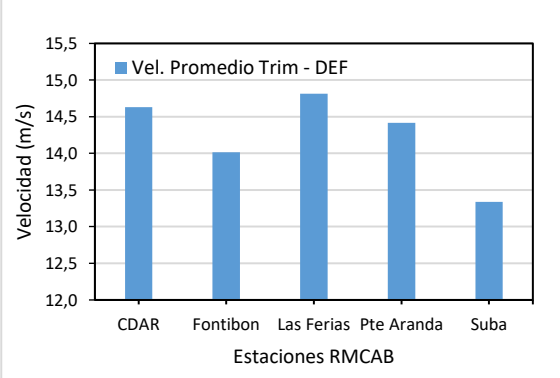


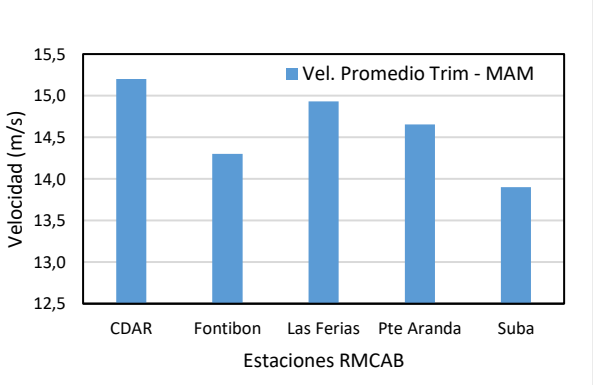
Figura 9-29. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2017

9.4.2. Variación Trimestral de la Temperatura

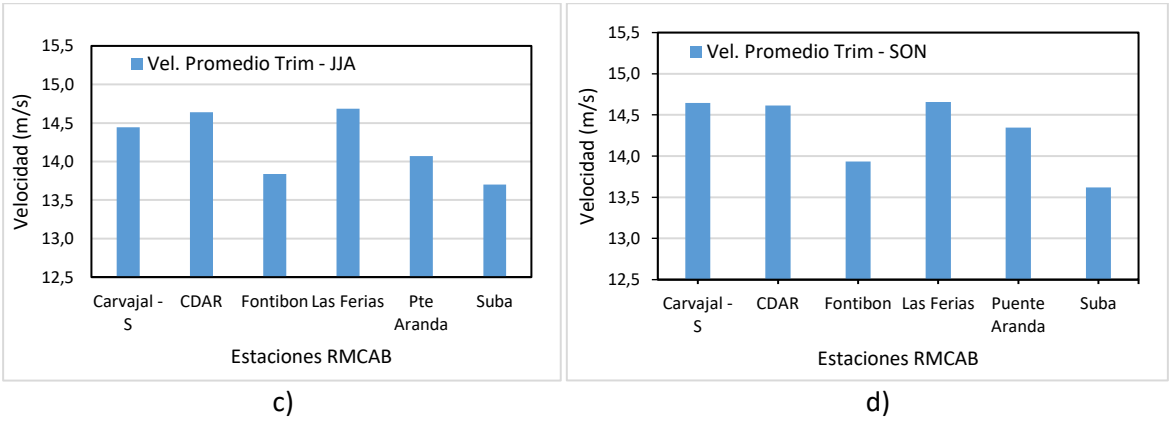
La Figura 9-30 describe el comportamiento de los promedios trimestrales históricos por estación, desde 2000 a 2017. En dicha figura se observa que los trimestres ligeramente más calientes son MAM y SON; en tanto que los más fríos DEF y JJA. Este comportamiento obedece a la mayor disponibilidad de vapor de agua en la atmosfera el cual tiene potencial para absorber radiación saliente y retenerla en la baja atmosfera, propiciando temperaturas un poco más altas que en condiciones de cielo despejado.



a)



b)



c) d)

Figura 9-30. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017

Por otra parte, la Figura 9-31 describe el comportamiento temporal de los promedios trimestrales del periodo 2000 a 2017. En esta se observa que los años que han registrado los promedios trimestrales con las más altas temperaturas en la ciudad de Bogotá fueron 2003, 2005, 2010 y 2016. Contrariamente, los años más fríos 2000, 2004, 2008.

Es evidente como desde 2008 la temperatura superficial del aire en Bogotá no desciende a valores relativamente bajos como los ocurridos en los trimestres DEF de 2004 y 2008. Así mismo se confirma, aunque con algunas variaciones durante el periodo analizado, que los trimestres más calientes del año son MAM y SON. Es de notar que el trimestre DEF muestra valores superiores al trimestre MAM y SON en algunos años, pero es el trimestre en que se han registrado las más bajas temperaturas del periodo 2000 - 2017.

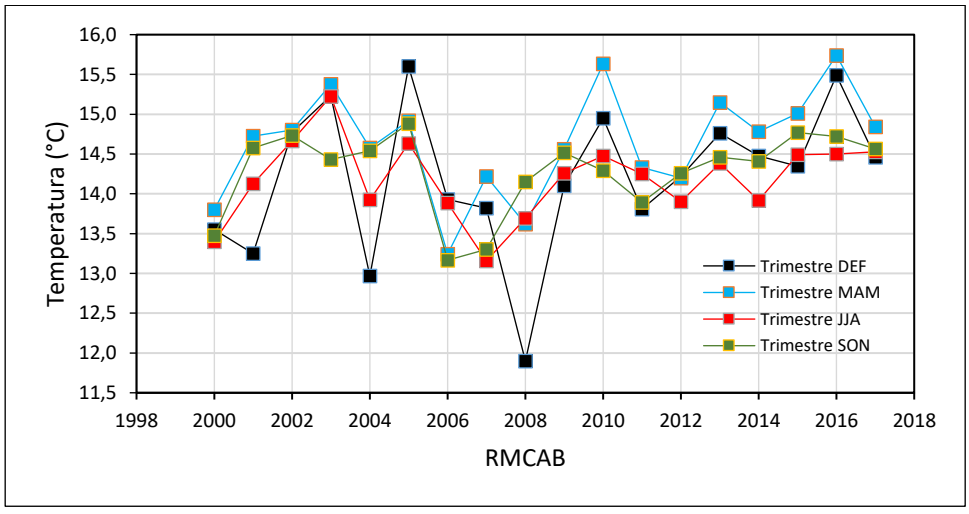


Figura 9-31. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017

9.4.3. Variación Mensual de la Temperatura Superficial

En la Tabla 9-12 y Figura 9-32 se presentan los promedios mensuales multianuales de temperatura superficial de la ciudad de Bogotá, de acuerdo con los registros de la RMCAB. De aquí es deducible que el mes de marzo ha sido históricamente el más caliente del año, lo que coincide con los promedios trimestrales antes referidos; no obstante, los más fríos se mueven entre los meses de enero, julio y agosto, lo cual puede estar relacionado con la cobertura nubosa y la disponibilidad de vapor de agua, el cual tiene la capacidad de atrapar la energía radiativa de la Tierra (efecto invernadero), propiciando temperaturas más cálidas en superficie, que en periodos secos y desprovistos de cobertura nubosa, cuando la atmosfera permite la fuga de la radiación terrestre y enfriamiento superficial del aire ambiente. De allí, que este patrón se relaciona con el ciclo estacional de la lluvia; es decir, en los periodos húmedos las temperaturas medias, son ligeramente mayores que en los periodos secos, no solo por la captura de radiación saliente del vapor de agua, sino por la liberación de calor latente en su proceso de enfriamiento. Considérese, que los episodios de heladas en la sabana de Bogotá ocurren con mayor frecuencia durante los meses de enero, los cuales se caracterizan por ser despejados.

Por otra parte, comparando el comportamiento de 2017 con el promedio histórico de temperatura registrado por la red para el periodo 2000-2016, se observa anomalía negativa (menor que el promedio multianual) durante el mes de marzo y positivas (mayores que el promedio multianual) en los meses restantes como se aprecia en la Tabla 9-12 y Figura 9-32.

Tabla 9-12. Temperatura RMCAB 2000 - 2017

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3
Promedio 2000-2017	**14,1**	**14,3**	**14,7**	**14,5**	**14,6**	**14,1**	**13,9**	**14,0**	**14,2**	**14,3**	**14,3**	**14,1**
Desviación Estándar	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
Anomalías respecto a 2017	0,0	0,1	-0,4	0,4	0,2	0,5	0,2	0,4	0,8	0,3	0,1	0,2

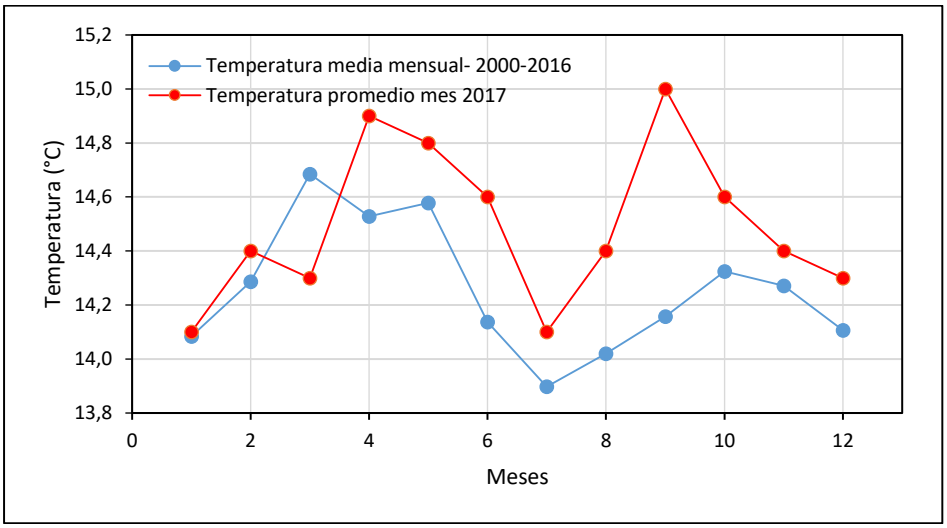


Figura 9-32. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2016 frente a 2017

En cuanto a las temperaturas extremas, la Figura 9-33 resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o más bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2017. De estos valores extremos se deduce que el sector de la ciudad donde se registró el valor más alto de temperatura fue el sector de Suba y la más baja hacia Guaymaral.

Por otra parte, se evidencia que la ciudad presentó variaciones importantes en la temperatura superficial en 2017, tanto en los máximos como en los mínimos, observándose un desplazamiento de las mínimas y las máximas que en algunos casos determinan una mayor amplitud térmica. Por ejemplo, ya no son frecuentes las heladas caracterizadas por presentar temperaturas inferiores al punto de congelación del agua, las cuales son proclives a ocurrir en días despejados y en bajo contenido de humedad en la atmosfera, como suele ocurrir en los meses de enero y febrero, como los registrados en febrero de 2007. Ver Tabla 9-13. Por el contrario, cada vez son más frecuentes temperaturas extremas superiores a los 25 °C, como las reportadas en la Tabla 9-14.

Tabla 9-13. Registro de heladas en la estación de Suba y bajas temperatura en la estación Carvajal-Sevillana en 2007

Fecha / Hora	Temperatura (°C)	
	Carvajal - Sevillana	Suba
04/02/2007 01:00	5,3	0,8
04/02/2007 02:00	4,1	-0,3
04/02/2007 03:00	3,1	-2,6
04/02/2007 04:00	2,4	-2,6
04/02/2007 05:00	1,7	-2,2
04/02/2007 06:00	1,3	-3,3
04/02/2007 07:00	1,3	-4,6
04/02/2007 08:00	5,7	0,1

Tabla 9-14. Temperaturas extremas año 2017

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	25,6	6,8	18,8
Centro de Alto Rendimiento	26,0	3,3	22,7
Guaymaral	24,8	2,2	22,6
Kennedy	25,3	6,8	18,5
Las Ferias	23,6	5,4	18,2
Puente Aranda	23,2	7,7	15,5
San Cristóbal	22,8	4,9	17,9
Suba	27,0	2,9	24,1
Tunal	24,4	2,6	21,8

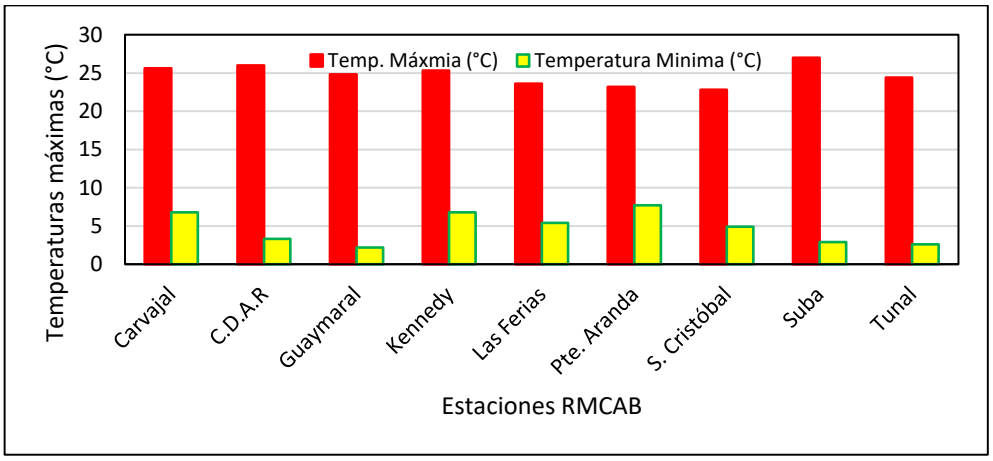


Figura 9-33. Temperaturas medias extremas año 2017

Lo importante de los casos de bajas temperaturas en relación con contaminación atmosférica es su estrecha relación con los episodios de contaminación en la ciudad y la ocurrencia de alertas por incremento en las concentraciones de contaminantes atmosféricos. Estos contaminantes se quedan atrapados en la baja atmosfera de la ciudad por las eventuales inversiones de la temperatura ambiente a nivel superficial, y consecuente descenso de la capa limite, que probablemente se traducen en incremento de las concentraciones de los contaminantes, toda vez que la cantidad de aire limpio disponible para mezclar es menor que en condiciones normales.

9.4.4. Variación horaria de la Temperatura Superficial

En la Figura 9-34 se describe el comportamiento de las temperaturas medias máximas absolutas horarias por estación de la RMCAB durante el año 2017. La temperatura máxima media absoluta anual (la media más alta registrada en cada estación durante todo el año), ocurrió en orden de magnitud, en las estaciones de Suba, CDAR, Guaymaral y Carvajal, con valores que superaron los 20,1 °C. En cuanto a las mínimas medias absolutas, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad, al sur y al centro.

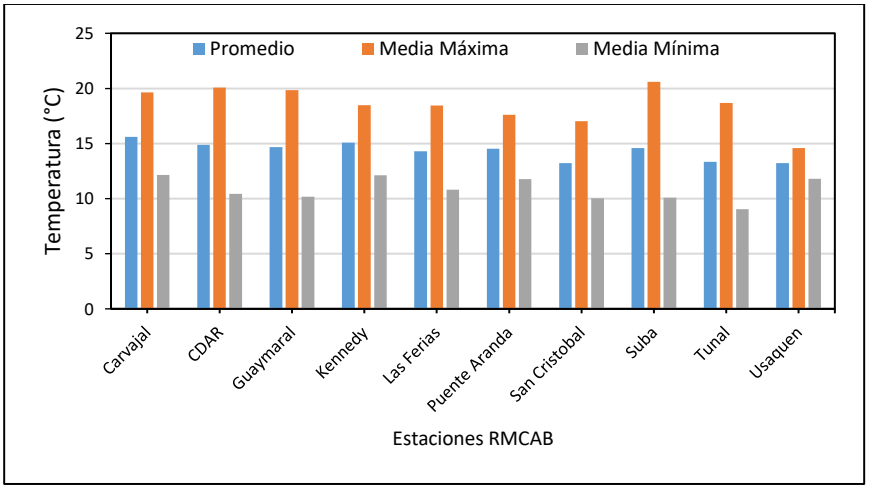


Figura 9-34. Temperaturas medias y medias extremas año 2017

Continuando con el comportamiento horario de la temperatura superficial, en la Figura 9-35 se presenta el perfil de temperatura media, media máxima y media mínima. De acuerdo con este perfil, a las 6 am se presentaron las temperaturas más bajas del año, en tanto que las más altas a la 1 pm.

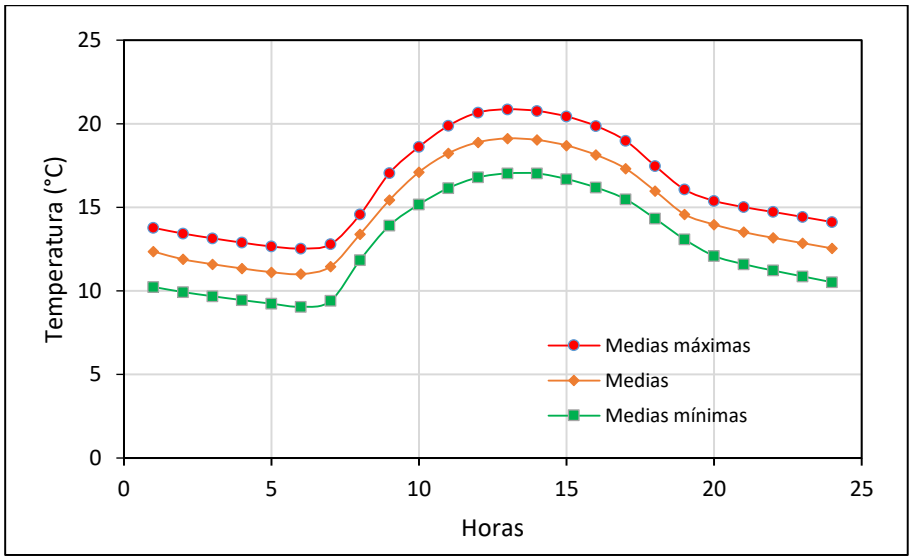


Figura 9-35. Perfil horario máximas, medias y mínimas medias 2017

9.4.5. Distribución espacial de la Temperatura

La distribución espacial de la temperatura superficial media de la ciudad de Bogotá, se puede observar en la Figura 9-36 a). En este mapa, se observa que las mayores temperaturas del aire en superficie se presentaron hacia el occidente y centro geográfico de la ciudad, en tanto que las más bajas al suroriente. El mapa de anomalías a la derecha, representa la diferencia de las temperaturas medias del año 2017 frente al promedio multianual 2000 a 2016. De aquí se deduce que valores por encima de cero indica que, con respecto al promedio multianual, el año 2017 superó las temperaturas medias, en tanto que valores inferiores a cero, indican una disminución en la temperatura media multianual con respecto al año 2017. Así las cosas, el sector sur y noroccidental muestran anomalías positivas, indicando que en 2017 las temperaturas han superado las temperaturas medias multianuales. Por otra parte, el nororiente y suroriente de la ciudad, sector de Usaquén y San Cristóbal, precisan una reducción en las temperaturas medias en 2017, respecto de la media multianual. Cabe anotar que, en San Cristóbal la anomalía negativa poco significativa, lo que puede representar un área de la ciudad de Bogotá térmicamente estable.

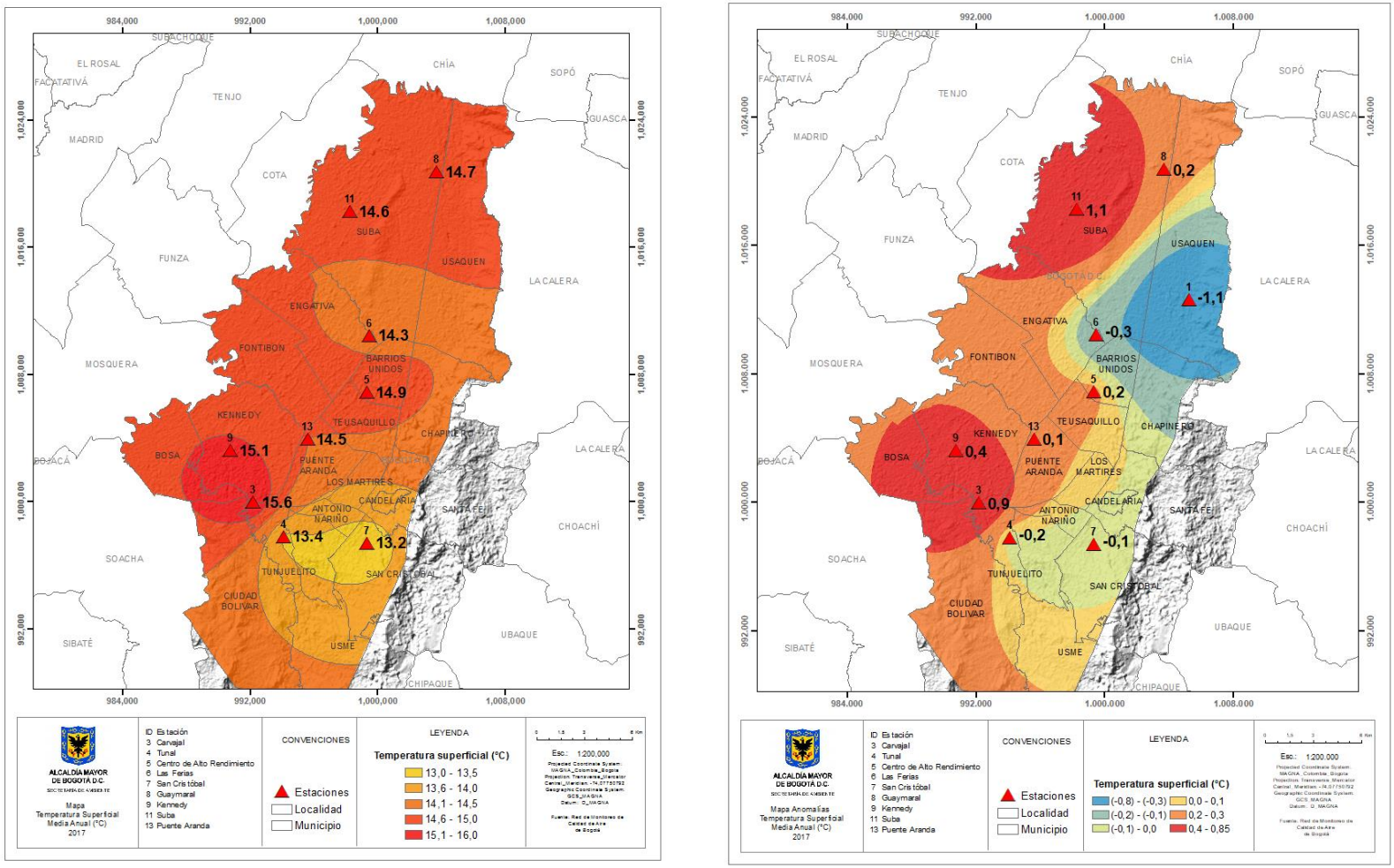


Figura 9-36. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2017. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2017 respecto al promedio de 2016.

9.5. VARIACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL

9.5.1. Variación anual de la Radiación Solar Global

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en la Tabla 9-15 se resume la cantidad de energía acumulada por hora en cada estación por cada año en W/m^2 desde 2009 hasta 2017. Ver además Figura 9-37. De acuerdo con estos registros, la mayor cantidad de radiación solar se recibió en 2016, correspondiendo con el año más caliente que se ha reportado en la última década. De manera opuesta, durante los años 2010, 2011 y parte de 2012, se presentó uno de los episodios La Niña, más intensos de esta década, lo que probablemente representó mayor cobertura de la bóveda celeste, y en consecuencia bloqueo del ingreso de radiación solar entrante, ocasionando una disminución en la cantidad de energía recibida en la ciudad.

Pese a lo anterior, es de anotar que el número de datos para promediar los años 2010 y 2011 no cumplen con el criterio de representatividad temporal; sin embargo, el registro del episodio La Niña, confirma los valores reportados por la RMCAB, en las tres estaciones que se observan en la Figura 9-15 y Figura 9-37.

Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m^2 periodo 2009 - 2017

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CDAR	1.476	1.293	1.338	1.466	1.470	1.411	1.521	1.545	1.347
Guaymaral	1.634	NA	1.364	1.582	1.552	1.506	1.487	1.682	1.642
Kennedy	NA	1.262	1.061	1.298	1.385	1.443	1.516	1.328	1.465
San Cristóbal	NA	NA	NA	835	NA	1.481	1.865	1.872	1.739
Tunal	NA	1.211	1.343	1.403	1.387	1.371	1.381	1.465	1.284
PROMEDIO	NA	1.256	1.276	1.288	1.447	1.363	1.470	1.499	1414,5

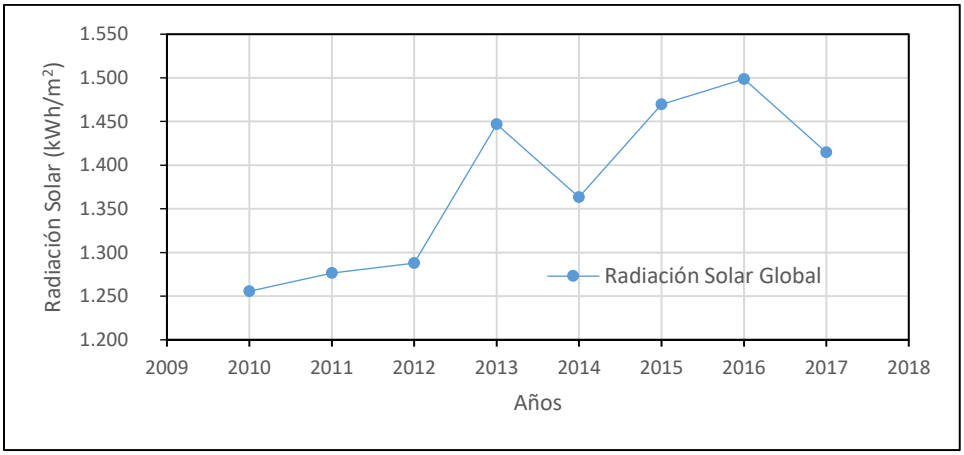


Figura 9-37. Radiación Solar Global ciudad - comportamiento acumulado promedio histórico multianual - 2009 a 2017

9.5.2. Variación Trimestral de la Radiación Solar Global

A continuación, se describe el comportamiento de los acumulados trimestrales de radiación solar, por estación para el periodo 2010 a 2017. En la Figura 9-38 se observa que el trimestre que mayor cantidad de radiación ha recibido durante la última década ha sido DEF y los sectores de la ciudad que han recibido mayor energía solar fueron el norte y el sur oriente, representados por las estaciones de San Cristóbal y Guaymaral, en orden de magnitud.

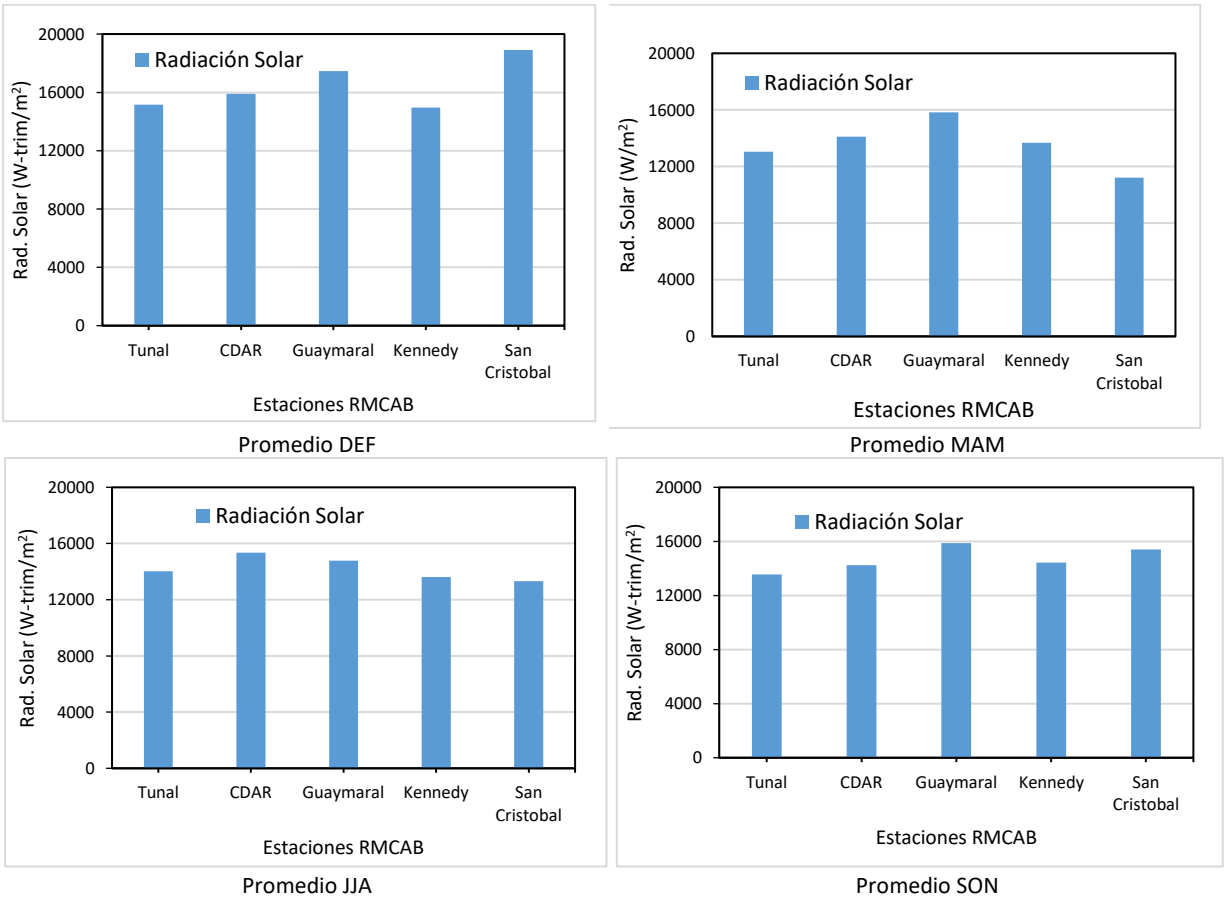


Figura 9-38. Comportamiento histórico Radiación Solar Global trimestral promediada por estación. 2010 a 2017

Por otra parte, en la Figura 9-30 confirma el comportamiento antes descrito dejando entrever que la mayor cantidad de energía acumulada ocurrió en 2010; por el contrario en 2017 se observa que los trimestres DEF y JJA presentaron una ligera disminución.

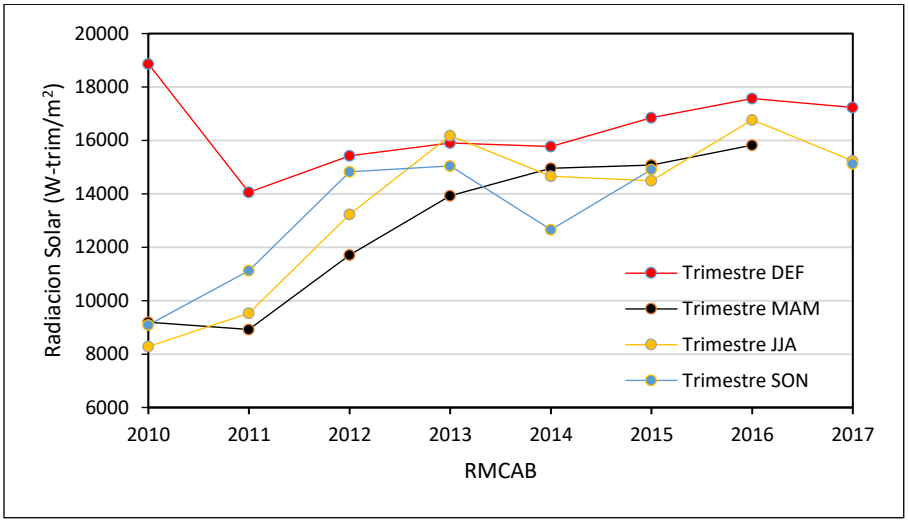


Figura 9-39. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2010 a 2017

9.5.3. Variación Mensual de la Radiación Solar

En la Tabla 9-11 se observan que en 2017 la estación donde se registró mayor cantidad de radiación en promedio mensual, fue San Cristóbal (5901 W-mes/m^2) y que el mes que más energía acumuló fue febrero. Valores con N.A. no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-16. Radiación Solar promedio mensual - 2017

Estación	ene.-17	feb.-17	mar.-17	abr.-17	may.-17	jun.-17	jul.-17	ago.-17	sep.-17	oct.-17	nov.-17	dic.-17	Promedio (W-mes/m^2)
CDAR	5575	5395	N.A	4873	4393	4533	5200	5612	5543	5200	4705	N.A	**5103**
Guaymaral	6494	7120	5459	5677	4875	4636	4875	5978	5979	5329	5290	5403	**5593**
Kennedy	5038	6307	N.A	4871	4328	4253	4899	5423	5369	4998	4602	5575	**5060**
San Cristóbal	6080	6682	5112	6044	4959	5209	5557	6541	6926	5840	5535	6329	**5901**
Tunal	4484	5061	N.A	4157	4319	3586	4704	4250	N.A	3644	4045	N.A	**4250**
Promedio 2017	**5534**	**6113**	**5286**	**5124**	**4575**	**4443**	**5047**	**5561**	**5954**	**5002**	**4835**	**5769**	**5181**

9.5.4. Variación horaria de la Radiación Solar Global

La Tabla 9-17 y la Figura 9-40, resume el comportamiento horario promedio por estación y ciudad, durante 2017. Además del promedio la cantidad de radiación recibida por hora durante el año en cada estación; así mismo, se observa que en la ciudad la cantidad de radiación acumulada por día en promedio fluctuó entre 3561 a 4805 W/m^2.

Conforme al perfil observado en la Figura 9-40, la hora en la cual se alcanzó la máxima acumulación de radiación fue alrededor de la 1 pm del día con un valor promedio máximo de 574.3 W/m^2. Como

quiera que este perfil responde al ciclo diario del sol, los valores más bajos de radiación se presentan en las madrugadas y las noches.

Tabla 9-17. Radiación Solar promedio anual a 2017 (W/m²)

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal	Tunal	Promedio ciudad
01:00	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	**0,1**
02:00	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	**0,1**
03:00	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	**0,1**
04:00	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	**0,1**
05:00	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	**0,1**
06:00	1,3	1,4	1,1	1,3	1,0	**1,2**
07:00	59,4	52,8	45,1	50,3	42,2	**49,9**
08:00	209,8	225,6	176,0	202,4	153,7	**193,5**
09:00	363,8	414,1	321,3	383,2	278,1	**352,1**
10:00	487,9	554,4	451,1	553,3	384,9	**486,3**
11:00	539,8	618,5	524,5	668,4	448,0	**559,8**
12:00	562,6	598,3	533,8	689,1	487,5	**574,3**
13:00	547,3	576,5	546,7	631,3	469,8	**554,3**
14:00	495,4	532,9	526,7	585,5	459,9	**520,1**
15:00	409,6	445,0	428,7	473,2	381,9	**427,7**
16:00	297,7	321,2	303,4	342,6	268,8	**306,7**
17:00	166,4	178,8	170,6	182,9	148,1	**169,4**
18:00	45,2	49,0	43,2	40,2	36,8	**42,9**
19:00	0,5	1,9	0,7	0,6	0,5	**0,8**
20:00	0,0	1,0	0,1	0,1	0,0	**0,2**
21:00	0,0	0,8	0,1	0,1	0,0	**0,2**
22:00	0,0	0,6	0,1	0,1	0,0	**0,2**
23:00	0,0	0,6	0,0	0,1	0,0	**0,1**
24:00	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	**0,1**
Acumulado	**4187**	**4575**	**4073**	**4805**	**3561**	

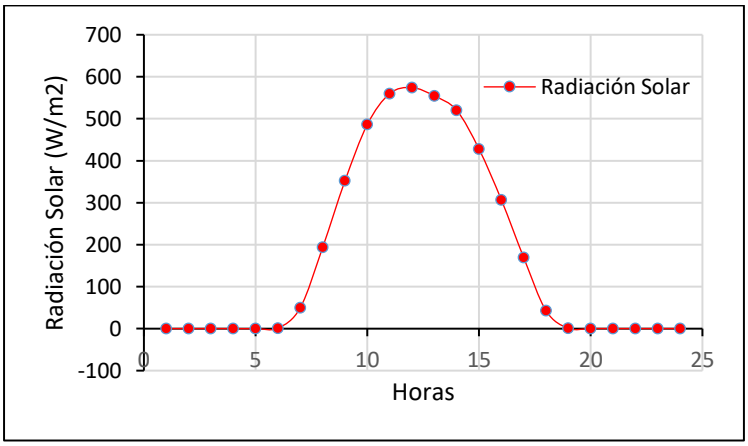


Figura 9-40. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio ciudad – 2017

Por otra parte, la Figura 9-35 describe el perfil horario de la radiación solar en diferentes sectores de la ciudad durante el año 2017, representado por las estaciones de Guaymaral, San Cristóbal, Tunal, Kennedy y CDAR. De esta figura es deducible que las menores cantidades de radiación solar se reciben hacia el sector del Tunal; contrariamente ocurre en sectores como San Cristóbal y Guaymaral.

Es importante anotar que la radiación solar entrante es la responsable de muchos procesos, entre ellos el calentamiento del suelo y la consecuente activación de los vientos en la ciudad, que contribuyen con la remoción de los contaminantes que diariamente son descargados por sus distintas actividades productivas. Además, es el que favorece la formación de Ozono a nivel superficial producto de complejas reacciones entre los Óxidos de Nitrógeno (producto de combustión interna de combustibles fósiles) y la radiación ultra violeta del sol; este ozono en bajos niveles de la atmosfera resulta nocivo para los ciudadanos y deteriora los materiales.

De allí que, probablemente las mayores concentraciones de Ozono de la ciudad se presentaron hacia dichos sectores, a causa de la mayor cantidad de energía solar entrante, como se observa en la Figura 9-42.

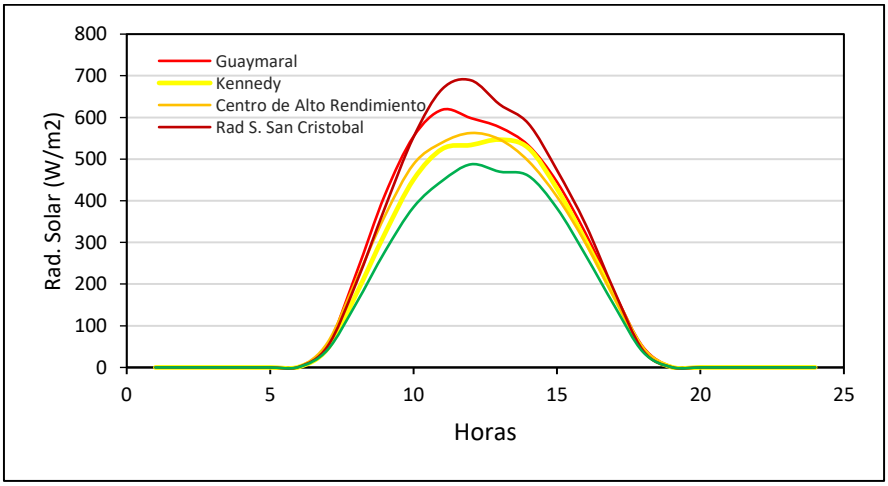


Figura 9-41. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio por estación - 2017

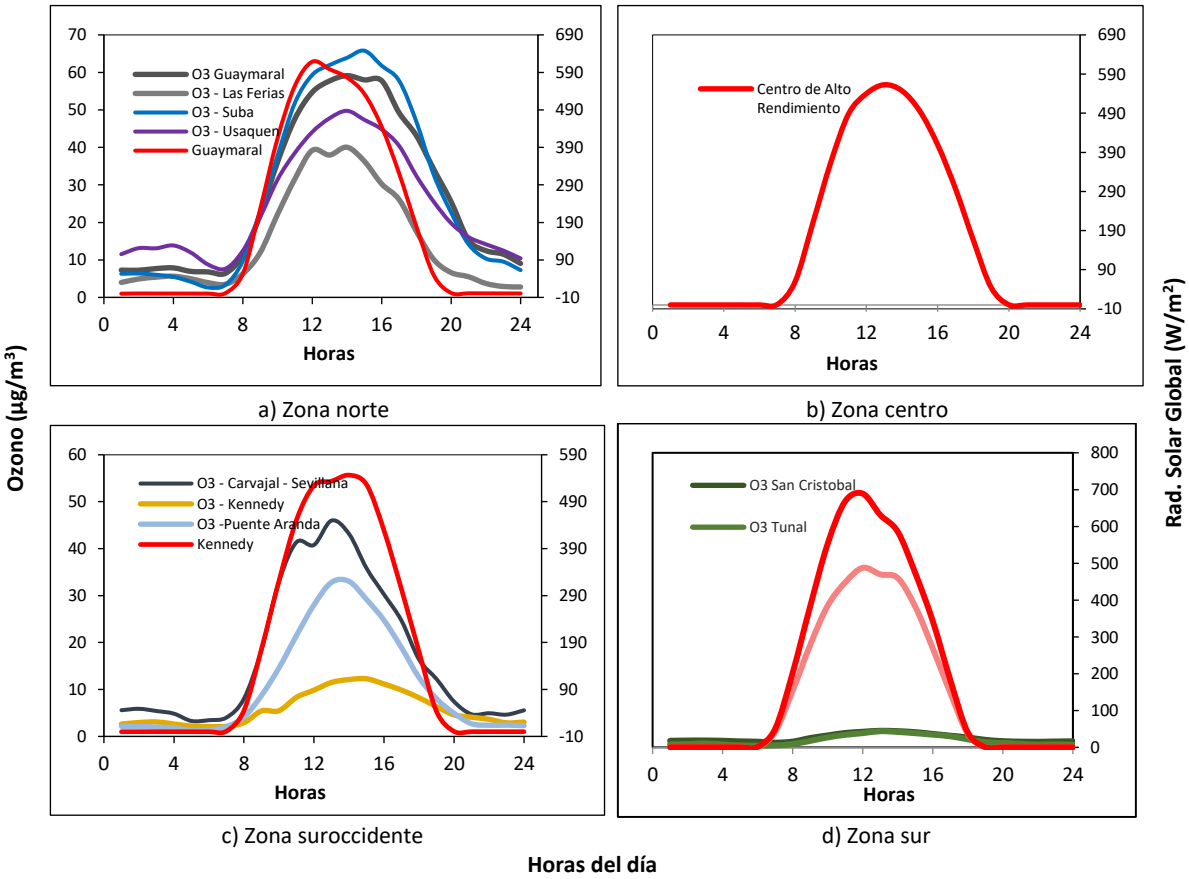


Figura 9-42. Comportamiento horario de O_3 (µg/m³) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m2).

9.6. VARIACION DE LA PRESION ATMOSFERICA

9.6.1. Variación Trimestral de la Presión Atmosférica

A continuación, se describe el comportamiento trimestral de la presión atmosférica, para el periodo 2009 a 2017. Ver Figura 9-43.

Se observa que los trimestres DEF y MAM registraron las más bajas presiones de la década entre los años 2011 y 2014; en tanto que el trimestre JJA las más altas. Las altas presiones observadas en todos los trimestres en 2016, se corresponden con los eventos El Niño más fuerte de las últimas dos décadas, es decir los ocurridos entre 2009 a 2010 y 2015 a 2016.

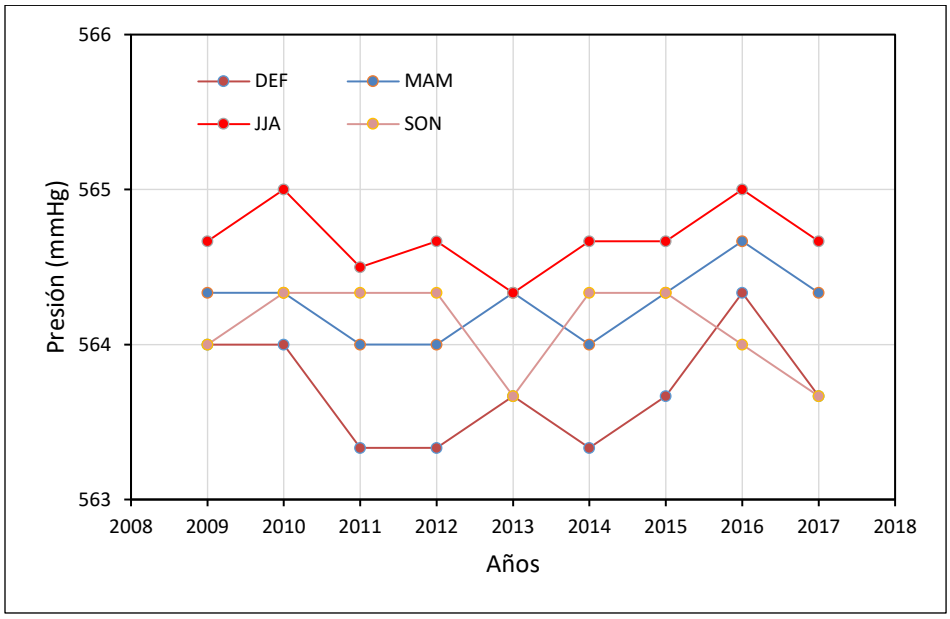


Figura 9-43. Comportamiento histórico del promedio de la Presión Atmosférica trimestral desde 2009 a 2017

9.6.2. Variación horaria de la Presión Atmosférica

La Tabla 9-18 y la Figura 9-40, resume el comportamiento temporal promedio horario de la presión atmosférica por estación y su perfil horario.

Conforme al perfil observado en la Figura 9-44, los descensos de presión entre las 3 a 6 pm, está estrechamente relacionado con la mayor probabilidad de ocurrencia de los eventos de precipitación en la ciudad, como se observa en la Figura 9-13.

Tabla 9-18. Presión atmosférica promedio anual a 2017 (mmHg)

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal
01:00	563	564	564	565
02:00	562	564	564	565
03:00	562	564	563	564
04:00	562	564	563	564
05:00	562	564	563	564
06:00	562	564	564	565
07:00	563	564	564	565
08:00	563	565	564	565
09:00	563	565	565	566
10:00	563	565	565	566
11:00	563	565	565	565
12:00	563	564	564	565
13:00	562	564	564	564
14:00	562	563	563	564

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal
15:00	561	563	563	563
16:00	561	563	562	563
17:00	561	563	562	563
18:00	561	563	563	563
19:00	562	564	563	564
20:00	562	564	564	564
21:00	563	565	564	565
22:00	563	565	564	565
23:00	563	565	565	565
00:00	563	565	564	565

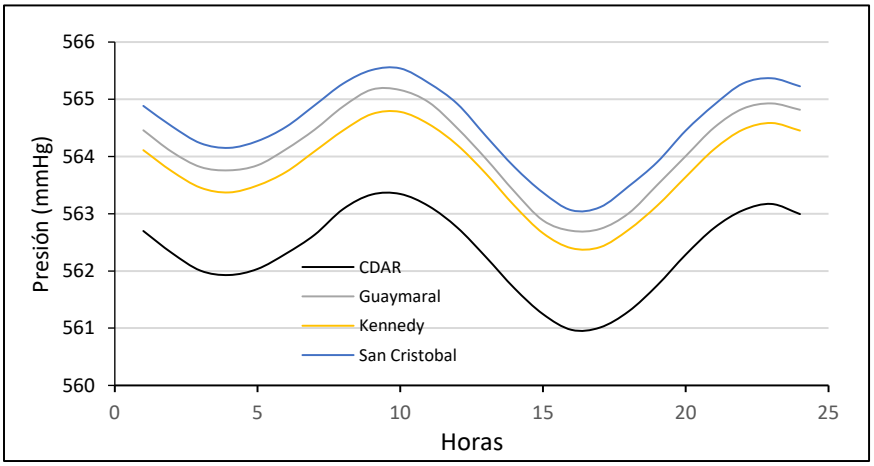


Figura 9-44. Perfil promedio horario de la presión atmosférica por estación – 2017

9.7. VARIACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE

El contenido de vapor de agua en el aire ambiente determina cuan húmeda se encuentra la atmosfera. La humedad del aire ha sido medida por la RMCAB en las estaciones que se observan en la Tabla 9-19. En consideración a lo anterior, a continuación se describe el comportamiento temporal de la humedad del aire ambiente para el periodo 2009 a 2017.

La humedad del aire juega un papel importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire. Su rol en sustenta en el hecho que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o, en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los SOx y NOx, los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia acida.

9.7.1. Variación anual de la humedad del aire

En la Tabla 9-19 se resume el comportamiento anual de la humedad del aire en la ciudad de Bogotá para el periodo 2010 – 2017. Los valores ausentes en esta tabla, corresponden a la serie temporal que no cumple con el criterio de representatividad temporal. De la Tabla 9-19 y la Figura 9-45 llama la atención la disminución de la humedad del aire en 2015; la cual, respecto a 2010 se redujo en un 26%. Esta disminución se relaciona estrechamente con el episodio El Niño de 2015. Análogamente, los altos contenidos de humedad en 2009 y 2010, se relaciona con el Episodio La Niña, para el mismo periodo.

Tabla 9-19. Humedad promedio multianual – 2017

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	PROMEDIO
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Centro de Alto Rendimiento	69	71	69	66	67	67	62	70	68	67.7
Guaymaral	72	N.A	65	63	63	66	64	69	68	66.3
Kennedy	68	69	70	66	66	65	57	67	65	65.9
Las Ferias	66	67	67	64	63	63	57	64	64	63.9
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	61	N.A	59	55	59	72	61.2
Tunal	67	68	67	64	64	63	58	64	62	64.1
PROMEDIO	**68.4**	**68.8**	**67.6**	**64.0**	**64.2**	**63.3**	**58.0**	**64.4**	**65.3**	**65.3**

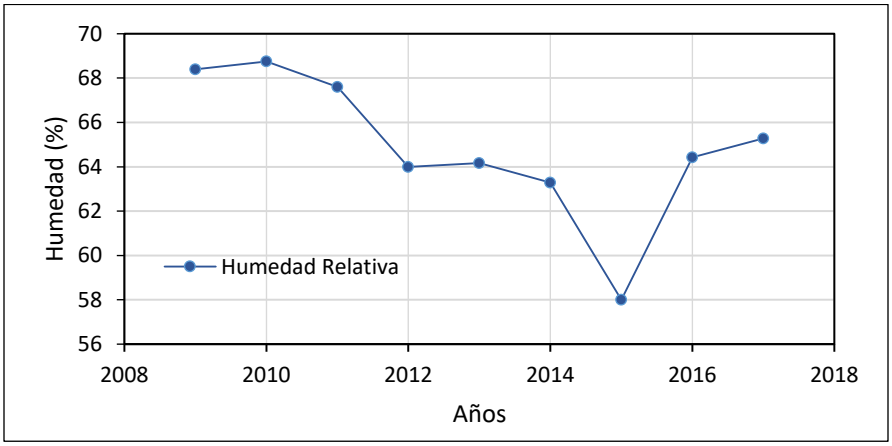


Figura 9-45. Comportamiento histórico del promedio multianual de la humedad - periodo 2009 a 2017

9.7.2. Variación Trimestral de la humedad del aire

En la Figura 9-46 se observa la evolución trimestral de la humedad del aire para el periodo 2009 a 2017. En términos generales la humedad del aire ha mostrado una tendencia al descenso. En

promedio el trimestre más húmedo ha sido MAM, superado en algunos años por el trimestre SON, los cuales representan los dos periodos de lluvia más abundantes de la ciudad. Los años más secos, coinciden con la ocurrencia del episodio El Niño ocurrido entre finales de 2014, todo 2015 y principios de 2016; entre tanto si se evalúa el primer trimestre de 2010 (DEF), este coincide con el Índice Oceánico de El Niño, en cuanto a que dicho trimestre fue seco, pero el resto del año, fue húmedo. En lo que respecta al año 2017, se aprecia un ligero incremento en el contenido de humedad del aire desde 2016. Ver Tabla 9-20, Tabla 9-21, Tabla 9-22 y Tabla 9-23.

Tabla 9-20. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (DEF) – 2017

Estación	DEF-2009	DEF-2010	DEF-2011	DEF-2012	DEF-2013	DEF-2014	DEF-2015	DEF-2016	DEF-2017
Tunal	69	60	67	66	62	62	62	58	62
CDAR	71	67	69	68	67	67	66	64	68
Las Ferias	68	60	67	65	63	63	62	59	62
Guaymaral	76	69	66	63	62	62	67	64	67
Kennedy	71	62	70	68	65	65	63	60	65
San Cristobal	N.A	N.A	N.A	N.A	59	57	58	54	58
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	**71.0**	**63.6**	**67.8**	**65.8**	**63.0**	**62.3**	**63.0**	**59.8**	**62.7**

Tabla 9-21. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (MAM) – 2017

Estación	MAM-2009	MAM-2010	MAM-2011	MAM-2012	MAM-2013	MAM-2014	MAM-2015	MAM-2016	MAM-2017
Tunal	68	69	70	67	65	63	63	64	65
CDAR	69	72	69	69	68	68	67	69	70
Las Ferias	67	67	69	67	65	63	62	64	65
Guaymaral	75	74	66	64	64	63	67	70	70
Kennedy	70	70	71	69	67	66	64	66	67
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	62	59	59	59	60	62
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	**69.8**	**70.4**	**69.0**	**66.0**	**64.9**	**63.3**	**63.7**	**64.6**	**65.6**

Tabla 9-22. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (JJA) – 2017

Estación	JJA-2009	JJA-2010	JJA-2011	JJA-2012	JJA-2013	JJA-2014	JJA-2015	JJA-2016	JJA-2017
Tunal	66	69	65	64	62	63	63	61	63
CDAR	65	72	65	64	64	65	64	64	67
Las Ferias	63	67	64	62	61	61	61	60	62
Guaymaral	73	69	63	62	61	68	67	67	68
Kennedy	66	70	66	64	62	62	62	62	63
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	59	58	61	60	59	70
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	71.76	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	**66.6**	**69.4**	**64.6**	**62.6**	**62.6**	**62.9**	**62.0**	**61.3**	**64.3**

Tabla 9-23. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (SON) – 2017

Estación	SON-2009	SON-2010	SON-2011	SON-2012	SON-2013	SON-2014	SON-2015	SON-2016	SON-2017
Tunal	65	70	68	61	63	64	60	64	63
CDAR	68	71	71	66	67	69	65	69	68
Las Ferias	63	69	68	63	63	64	60	64	63
Guaymaral	72	N.A	65	63	63	69	66	70	69
Kennedy	66	72	72	65	66	65	62	66	65
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	59	N.A	59	56	61	66
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	75.29	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	**66.8**	**70.5**	**68.8**	**63.1**	**65.8**	**64.3**	**60.6**	**64.7**	**64.6**

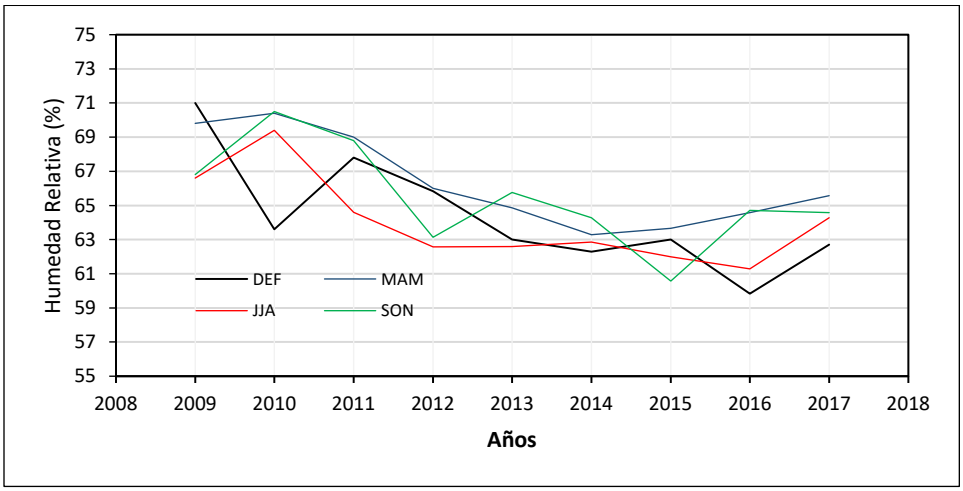


Figura 9-46. Comportamiento histórico del promedio trimestral de la humedad - periodo 2009 a 2017

9.7.3. Comportamiento horario de la humedad del aire.

La Tabla 9-17 resume el comportamiento temporal promedio horario de la humedad del aire ambiente de la ciudad de Bogotá, durante el año 2017, y su perfil horario. De acuerdo con dicho perfil es de notar el descenso de en el contenido de humedad entre las 9 am y las 6 pm, debido al calentamiento del aire por parte del sol en horas donde la intensidad de la radiación solar es más fuerte. Este calentamiento, incrementa su capacidad de contener vapor de agua por unidad de masa, lo que se traduce en resequedad del aire y en consecuencia la disminución relativa de su cantidad de vapor de agua, como se observa en la Figura 9-47. Por el contrario, cuando las temperaturas descienden, su capacidad de contener vapor de agua se reduce, y en consecuencia, tiende a saturarse alcanzando sus mayores valores de contenido de vapor de agua por unidad de masa, favoreciendo la condensación y mayor probabilidad de lluvias.

Tabla 9-24. Humedad promedio horario anual – 2017 (%)

Hora	Carvajal - Sevillana	CDAR	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias
1:00	78,9	65,2	71,3	72,0	72,4
2:00	80,0	66,0	72,4	72,9	73,1
3:00	80,5	66,9	73,4	73,5	73,6
4:00	81,2	67,7	74,0	73,9	74,0
5:00	81,5	68,4	74,5	74,4	74,4
6:00	81,6	68,8	74,5	74,6	75,0
7:00	80,2	68,4	73,0	73,8	74,4
8:00	71,1	64,8	66,8	68,5	66,9
9:00	60,2	56,7	58,6	62,4	58,3
10:00	54,0	49,2	52,6	57,8	52,3
11:00	50,7	45,1	49,1	53,9	48,6
12:00	49,1	43,0	47,1	51,9	46,8
13:00	50,0	43,3	47,5	51,7	46,7
14:00	51,3	44,5	49,1	52,3	47,3
15:00	53,5	46,3	51,1	54,1	48,9
16:00	55,9	48,5	53,6	56,2	51,1
17:00	59,1	51,1	56,5	58,8	53,5
18:00	64,7	55,6	60,6	62,5	58,3
19:00	70,2	59,6	64,9	66,2	64,9
20:00	73,2	61,4	66,9	67,5	68,3
21:00	74,7	62,0	67,7	68,7	69,8
22:00	76,0	62,6	68,4	69,7	70,7
23:00	76,9	63,3	69,3	70,4	71,4
24:00	78,0	64,1	70,2	71,2	71,9
Promedio	**68,0**	**58,0**	**63,0**	**65,0**	**63,0**

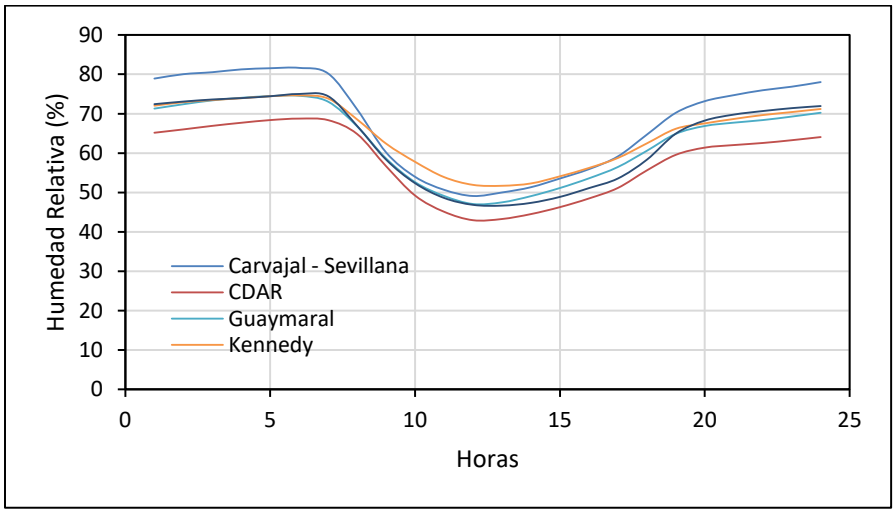


Figura 9-47. Perfil promedio horario de la humedad del aire por estación – 2017

10 MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD

10.1 GENERALIDADES

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), a través de la Subdirección de Calidad de Aire, Auditiva y Visual, realiza la modelación del transporte y transformación de contaminantes en la ciudad a través del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá (SIMCAB). Con el SIMCAB se busca estimar el destino y la distribución de concentración de contaminantes atmosféricos inventariados en la ciudad de forma horaria a una resolución espacial de 1 km², complementando la tarea de monitoreo desarrollada por la RMCAB.

Los resultados obtenidos por éste sistema de modelamiento dependen, como en todos los modelos, de la calidad de información introducida al modelo, entre ellas, meteorología global, calidad del inventario local de emisiones, entre otras variables. Es necesario destacar que todos los modelos de dispersión son una aproximación a muchos fenómenos en la atmósfera, pero no los representan totalmente, por tal motivo, todos los productos generados por el SIMCAB no son sustitutos a la información suministrada por la RMCAB.

El SIMCAB integra varios modelos y metodologías esquematizados en la Figura 10-1, los cuales se describen a continuación:

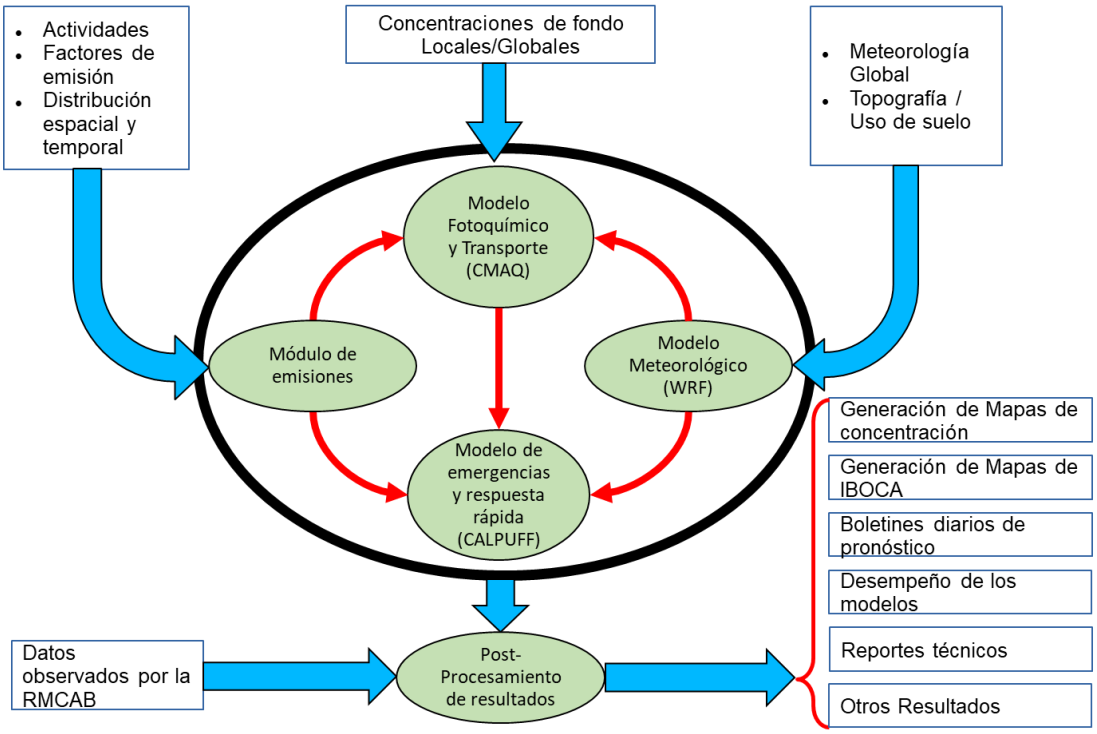


Figura 10-1. Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá

10.1.1 Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico que se emplea en la SDA es el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model), el cual utiliza información del modelo global GFS (Global Forecast System), la topografía y el uso de suelo para realizar la predicción local de las condiciones meteorológicas sobre la ciudad. Los resultados de este modelo son transformados por medio del aplicativo MCIP al formato requerido por el modelo fotoquímico, y por medio de los aplicativos MMIF-CALMET para obtener la información meteorológica requerida por el Modelo de Emergencia y Respuesta Rápida de la ciudad.

10.1.2 Módulo de Emisiones

Se implementan los inventarios de emisiones de la ciudad, con el fin de definir la cantidad de contaminantes que se emiten por km² en cada hora del día. Éste módulo estima emisiones de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, y material particulado. Dichos inventarios dependen de las actividades sujetas a estimación, factores de emisión de contaminantes, y la distribución espacial y temporal de dichas emisiones. Adicionalmente, el módulo de emisiones permite estimar emisiones de fuentes no inventariadas que pueden incidir en la calidad de aire de la ciudad, como por ejemplo, el aporte de contaminantes generados por incendios en la ciudad o sus alrededores.

10.1.3 Modelo fotoquímico de transporte de contaminantes

El modelo fotoquímico utilizado es CMAQ (Community Multi-scale Air Quality), modelo desarrollado por la US-EPA (Agencia de Protección de Medioambiente de Estados Unidos) y es soportado y distribuido por la Community Modeling and Analysis (CMAS). Este modelo utiliza las salidas de los modelos meteorológicos y de emisiones y concentraciones de fondo globales y locales, en combinación con un conjunto de mecanismos químicos y físicos parametrizados dentro del modelo, para simular las transformaciones que ocurren en la atmósfera y la influencia de la dinámica meteorológica en estos procesos. Este modelo genera una distribución horaria de las concentraciones de diversos contaminantes sobre la ciudad, almacenados en formato NetCDF. El modelo fotoquímico es empleado con dos principales propósitos: (1) realizar el pronóstico diariamente de la calidad de aire sobre la ciudad con una ventana de prognosis de 48 horas, y (2) simular escenarios de emisiones para estimar sus impactos en la calidad de aire de la ciudad.

10.1.4 Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida

El SIMCAB tiene a su disposición como Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida de Bogotá (MODERA) el modelo CALPUFF v6.42, instalado específicamente para simular eventos cuyas emisiones sean considerables para afectar la calidad de aire de la ciudad, pero que no hacen parte del inventario de emisiones, como incendios y quemas a cielo abierto. Este modelo permite ver, con base en la estimación de emisiones de dicho evento y las condiciones meteorológicas del día de ocurrencia, el movimiento de los contaminantes generados por dicho evento y, en conjunto con los

resultados obtenidos con el modelo fotoquímico, se estiman las concentraciones de calidad de aire sobre la ciudad, incluyendo dicho evento.

10.1.5 Post-procesamiento de Resultados

El post-procesamiento de resultados permite transformar los resultados obtenidos por los distintos modelos de dispersión, en productos tangibles y de reporte, como lo son la generación de mapas de concentración de contaminantes, mapas de IBOCA, boletines diarios de pronóstico de calidad de aire, reportes técnicos de simulación, entre otros resultados. En el post-procesamiento también se realiza una evaluación mensual del desempeño de los modelos fotoquímico y meteorológico, basado en los datos observados por la RMCAB y un ajuste constante de los resultados para tener concentraciones coherentes con los datos medidos por la RMCAB.

10.2 OBJETIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ

10.2.1 Objetivo General

El Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá (SIMCAB) tiene como principal objetivo estimar las concentraciones de diversos contaminantes de la ciudad, según inventarios de emisión y condiciones meteorológicas simuladas sobre Bogotá, buscando entender la dinámica de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá

10.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el pronóstico diario de calidad de aire para la ciudad, con una ventana de prognosis de 48 horas.
- Simular los niveles de concentración de contaminantes en distintos escenarios de gestión y control de emisiones atmosféricas de la ciudad.
- Estimar concentraciones de contaminantes fuera del cubrimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá
- Dar respuesta rápida ante contingencias ambientales que afecten la calidad de aire de la ciudad.

10.3 MANEJO DE EMISIONES EN EL SIMCAB

El módulo de emisiones del SIMCAB se encarga de generar, procesar y ajustar el inventario de emisiones de fuentes contaminantes de la ciudad: Fijas, Móviles y Resuspendido. Un inventario de emisiones consolida la información concerniente a la cantidad de contaminantes generados por diferentes fuentes, dentro de un periodo de tiempo definido, que son liberados a la atmósfera. Adicionalmente, las emisiones se encuentran desagregadas espacialmente, de tal manera que sean procesadas por el modelo fotoquímico CMAQ.

A continuación se describe de manera general el manejo de las emisiones de la ciudad de Bogotá, con el fin de servir como información de entrada para el modelo de calidad del aire para Bogotá durante el año 2017.

10.3.1 Metodología de estimación de emisiones

Para la estimación de las emisiones que conforman el inventario de la ciudad se implementaron factores de emisión, los cuales permiten representar de forma más precisa la variabilidad temporal de las mismas. Los factores de emisión son valores representativos que relacionan la cantidad de contaminante liberado por medio de la ejecución de una actividad. A continuación se presenta la ecuación general establecida en el AP42 para el cálculo de emisiones (EPA, 1995):

$$E = A \cdot FE \cdot \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \qquad \textbf{Ec. 1}$$

Donde:
E = Emisión
A = Actividad
FE = Factor de Emisión
ER = Eficiencia en reducción de emisiones (%)

En el cálculo de la emisión intervienen los Factores de emisión, así como una tasa de volumen, distancia, tiempo o peso del proceso o actividad emisora, y la eficiencia de los sistemas de control si se tiene. Las metodologías implementadas para el procesamiento de la información que permiten hallar un factor de actividad difieren por tipo de fuentes de contaminación, por tal motivo se presentan de manera independiente:

10.3.1.1. FUENTES MÓVILES

El inventario de emisiones generadas por la flota vehicular que transita por la calles de la ciudad depende de múltiples variables como lo son el incremento del parque automotor, el cambio de velocidades en las vías principales, la tasa de motorización, la infraestructura vial, el desarrollo urbanístico, los tiempos de viaje, entre otras; por ello es necesario estimarlo y actualizarlo de manera frecuente.

De acuerdo al uso que se le dé a la información se realizan dos tipos aproximación, la primera es una aproximación Top-Down la cual utiliza consideraciones globales que para éste caso consiste en tomar toda el área de trabajo como un todo, la segunda es una aproximación Bottom-Up que toma como bases datos específicos con cierto nivel de detalle o resolución, estimando emisiones para niveles desagregados para llevarlos finalmente a una emisión total para el área de estudio.

El proceso para la estimación de las emisiones generadas por las fuentes móviles se realiza en las siguientes etapas:

- Recopilación y definición de factores de emisión por contaminante y categoría vehicular. Los factores de emisión para fuentes móviles representan la cantidad de contaminantes

generados en función del combustible y tecnología vehicular del parque automotor de la ciudad. Dichos factores junto con su incertidumbre proviene de diferentes estudios realizados para el distrito capital ((Rodríguez & Behrentz, 2009); (Peñaloza & Rojas, 2010); (SDA, 2010); (Hernandez-Gonzalez & Jiménez, n.d.); (SDA & UNAL, 2013)). Para establecer los Factores de emisión de aquellas categorías agrupadas en los conteos vehiculares, se realiza una ponderación de acuerdo al número de vehículos reportados por el Registro Distrital Automotor (RDA).

- Determinación de la actividad vehicular y número de vehículos:
Por Top-Down
Se estima el número total de vehículos para cada una de las categorías vehiculares, teniendo en cuenta la información registrada por los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) y el Registro Distrital Automotor (RDA). En la Figura 10-2 se observa la distribución de la flota vehicular de la ciudad por categoría-

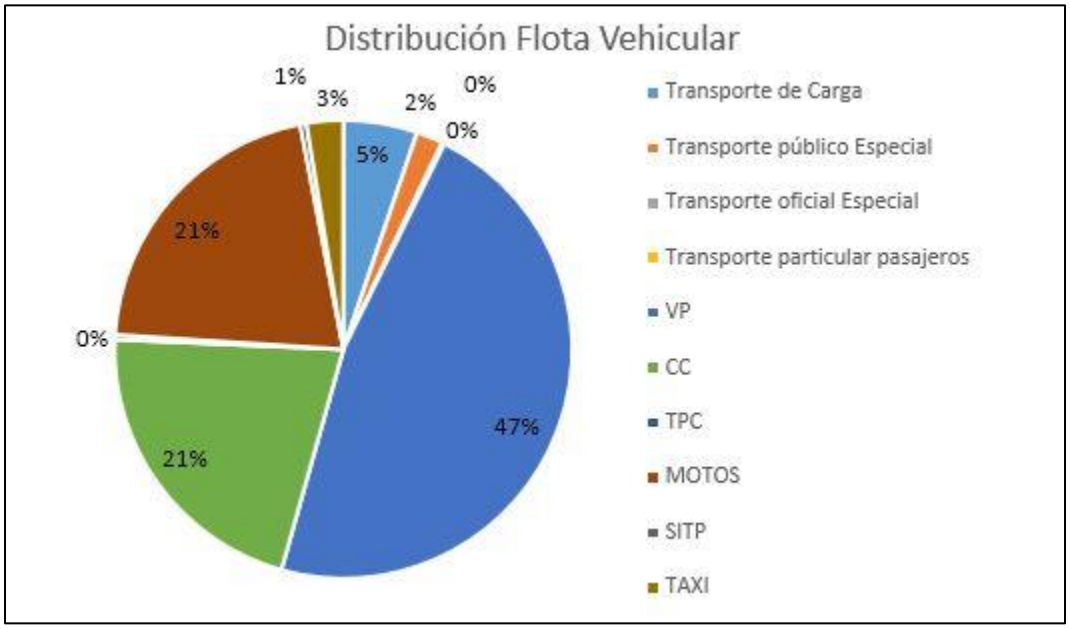


Figura 10-2 Distribución participación en la flota de la ciudad por categoría vehicular.

Por Bottom-Up

Se procesa la información de los aforos vehiculares realizados en intersecciones de vías arteriales de la ciudad. Para establecer la actividad vehicular en cada tipo de vía se usa información del uso del suelo determinado en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). En la Figura 10-3 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de volúmenes vehiculares y la respectiva distribución de polígonos de Thiessen para llevar el número de vehículos a las vías secundarias, y en la Figura 10-4 un ejemplo de conteos vehiculares procesados.

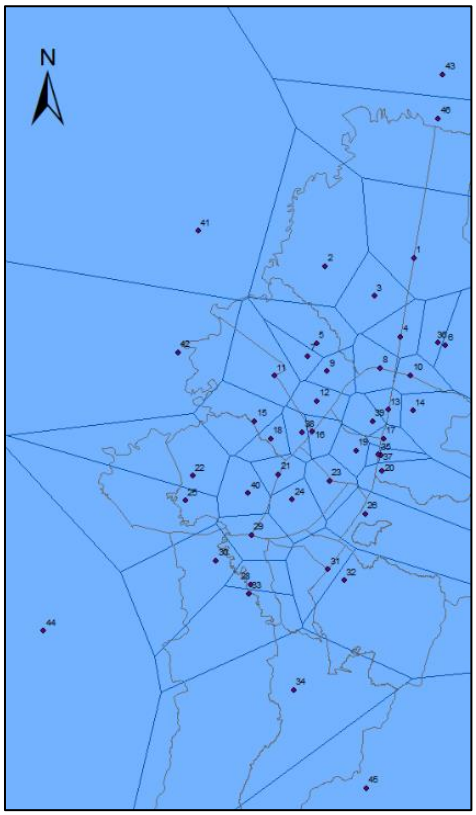


Figura 10-3 Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen.

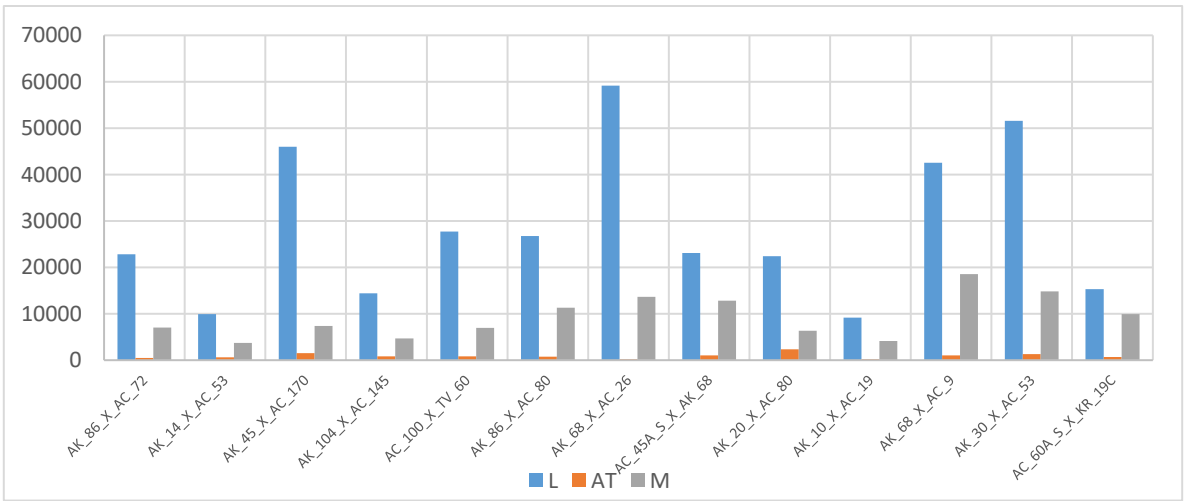


Figura 10-4 Distribución número de vehículos por categoría vehicular y estación de conteo.

- Estimación de emisiones por contaminante.

  Por Top-Down

  $E_{ij} = FE_{ij} \cdot FA_i \cdot N_j$ **Ec. 2**

Donde,

E_{ij} (ton/año): Emisiones totales del contaminante i para la categoría j.
FE_{ij} (g/km-veh): Factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j.
FA_j (km/año): Factor de actividad para la categoría vehicular j.
N_j (veh): Número de vehículos para la categoría vehicular j.

Por Bottom-Up

$$E_{ij} = FE_{ij} \cdot FA_{jk} \cdot L_k \qquad \textbf{Ec. 3}$$

Donde,
E_{ij} (g/h): Emisiones totales del contaminante i para la categoría j.
FE_{ij} (g/km-veh): Factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j.
F_{jk} (veh/h): Flujo vehicular de la categoría vehicular j en la categoría de malla vial k.
L_k (km): Longitud de la vía para la categoría de malla vial k.

Para cada valor de emisión se calcula un valor de incertidumbre por medio de propagación del error, llevando la incertidumbre de los factores de emisión hasta el valor final de emisión anual.

- Desagregación espacio-temporal de las emisiones. Las emisiones se desagregan en una malla de 3025 celdas de 1km^2 ubicada sobre el área urbana de Bogotá, para cada hora del día.

- Totalización de las emisiones por contaminante. Se suman las emisiones totales por contaminante generadas por celda y categoría vehicular, a fin de obtener un valor de emisión anual para el perímetro urbano.

10.3.1.2. FUENTES FIJAS

Como fuentes fijas se consideran actualmente tanto las industrias como los establecimientos comerciales (restaurantes y asaderos); debido a que en Bogotá se concentra un alto y diverso número de industrias y comercios que generan emisiones contaminantes, motivo por el cual estimar las emisiones provenientes de este tipo de fuente es de gran importancia.

El inventario de fuentes fijas se realizó implementando la Ec. 1, y usando como variable de actividad el consumo de combustible o la cantidad de materia prima implementada; para fuentes industriales los factores de emisión utilizados son los establecidos en el PDDAB y los definidos en el Contrato 1360 de 2010 (para el caso de COV), y para fuentes comerciales los establecidos en la sección 1.10 del AP42 y los estimados por Lee, (1999). Los contaminantes estimados son PM_{10}, NOx, SO_2, CO_2, CO y COV.

Las bases de datos usadas contienen información sobre la ubicación de la industria o establecimiento, el consumo mensual o diario de combustibles, los horarios laborales y fechas de

recolección de los datos, entre otros. Dicha información permite totalizar el número de fuentes, localizar las emisiones dentro de la ciudad, proyectar los consumos de combustible y desagregar temporalmente las emisiones.



Figura 10-5 Número de industrias por Localidad.

La Figura 10-5 y la Figura 10-6 muestran algunos resultados de la caracterización de las fuentes industriales de la ciudad, las localidades con mayor presencia de fuentes contaminantes y los combustibles usados en mayor proporción dentro de sus procesos productivos.

Es de aclarar que para aquellas fuentes sin información se asumen valores ya sean de consumos o frecuencia de operación, de tal manera que sea posible incluirla dentro del inventario final. Así mismo, hasta el momento no se ha implementado información sobre reducción por equipos de control de emisiones, ya que son muy pocas las fuentes que los utilizan y la información reportada sobre su eficiencia es nula, por lo cual la ecuación implementada es:

$$E = A \cdot FE \qquad \textbf{Ec. 4}$$

Donde,
E = Emisión por contaminante
FE = Factor de Emisión por contaminante
A = Actividad

Finalmente, a partir de la información de frecuencias y localización, las emisiones se desagregaron espacialmente y se llevaron a una resolución horaria.

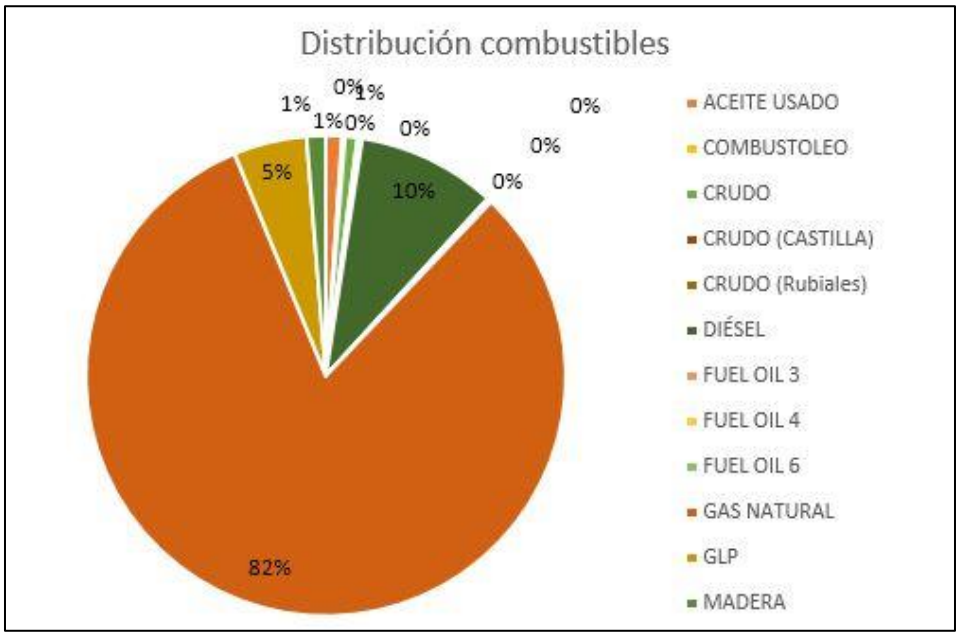


Figura 10-6 Distribución de combustibles implementados.

10.3.1.3. ESTACIONES DE SERVICIO

Las estaciones de Servicio y Centros de Almacenamiento de combustibles son consideradas como fuentes área que emiten Compuestos Orgánicos volátiles (COV), los cuales son generados en cuatro actividades principalmente: Almacenamiento de combustible en tanques subterráneos, distribución del combustible a los vehículos individuales, llenado de tanques subterráneos y derrames durante la manipulación del combustible.

Las emisiones por almacenamiento fueron calculadas por medio del modelo TANKS de la EPA, el cual considera variables como especificaciones técnicas de los tanques de almacenamiento, el tipo de combustible, el volumen vendido al año y algunas condiciones meteorológicas de la ciudad.

Las emisiones por distribución, llenado y derrames se estimaron por medio de los factores de emisión establecidos en la sección 5.2 del documento AP42, y se consideró como actividad la venta por combustible en galones/año. La ecuación para el cálculo total de emisiones es la siguiente:

$$Et = EA + EV + EL + ED \qquad \textbf{Ec. 5}$$

Donde,
ET = Emisión total en estaciones de servicio/centros de almacenamiento de combustibles [Ton/año]
EA = Emisión por almacenamiento
EV = Emisión por distribución
EL = Emisión por Llenado
ED = Emisión por derrames

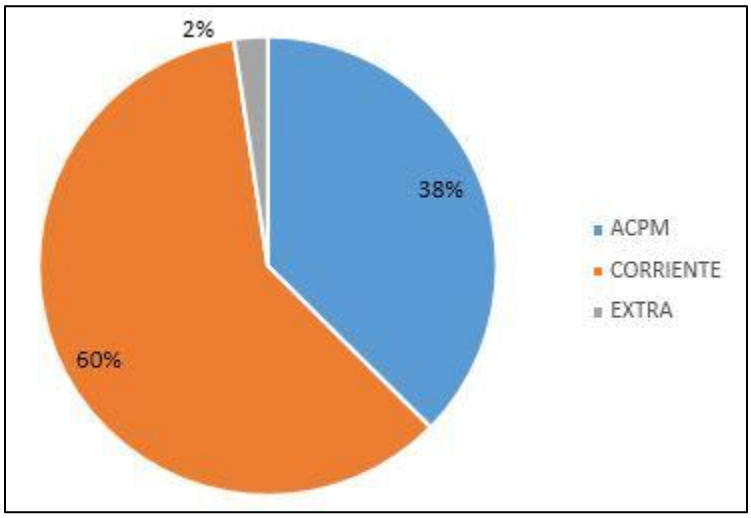


Figura 10-7 Distribución de combustibles vendidos en estaciones de servicio de Bogotá.

La Figura 10-7 muestra los principales combustibles vendidos en las estaciones de servicio de la ciudad, donde se hace evidente que la gasolina corriente es el combustible más comercializados, seguido por el ACPM y finalmente el que menor porcentaje representa es la gasolina extra.

Ya que el aumento de la temperatura afecta de manera directa las pérdidas por evaporación, la desagregación temporal de las emisiones por almacenamiento se asocia a la variación de la temperatura en un día típico en Bogotá; por otro lado, las emisiones halladas por factor de emisión se relacionan con la venta de combustible de acuerdo a las horas de mayor flujo vehicular en la ciudad. La distribución espacial se realizó a partir de la ubicación de cada EDS y CAC.

10.3.1.4. MATERIAL RESUSPENDIDO EN VÍAS

La principal fuente identificada hasta el momento que aporta material particulado por resuspensión en la ciudad son las vías pavimentadas y no pavimentadas. Para estimar las emisiones de material resuspendido es necesario calcular factores de emisión propios para la ciudad, por tal motivo se implementan aquellos hallados en el marco del contrato 1467 de 2013 en el cual se realizaron campañas de campo para estimar la carga de sedimento en las vías y posteriormente los factores de emisión.

Se implementó la metodología desarrollada por la EPA para las campañas de campo de recolección (por barrido y aspirado) y estimación de la masa de las partículas finas adheridas a la superficie de las vías, y las ecuaciones de la sección 13.2.1 del AP42 para la estimación de los factores de emisión.

10.3.2 Emisiones desagregadas en la ciudad

En las siguientes imágenes se observan los mapas de distribución espacial de las emisiones diarias de algunos de los contaminantes provenientes de las distintas fuentes de emisión, durante un día hábil para la ciudad de Bogotá.

10.3.2.1. FUENTES MÓVILES

Como se observa en el Figura 10-8, los puntos críticos de emisión de PM_{10} se concentran en las zonas cercanas a los puntos de monitoreo con mayor volumen vehicular dentro de la ciudad, como los son: ATNORTE x AC170, ATNORTE x AC127, AV. CIUDAD DECALI x AC80, AV. CIUDAD DE CALI x AC13, AK68 x AC26, AV. BOYACA x AC13, AV. NQS x AC53, AK 68 x AV. AMERICAS.

FUENTES MÓVILES - DÍA HÁBIL

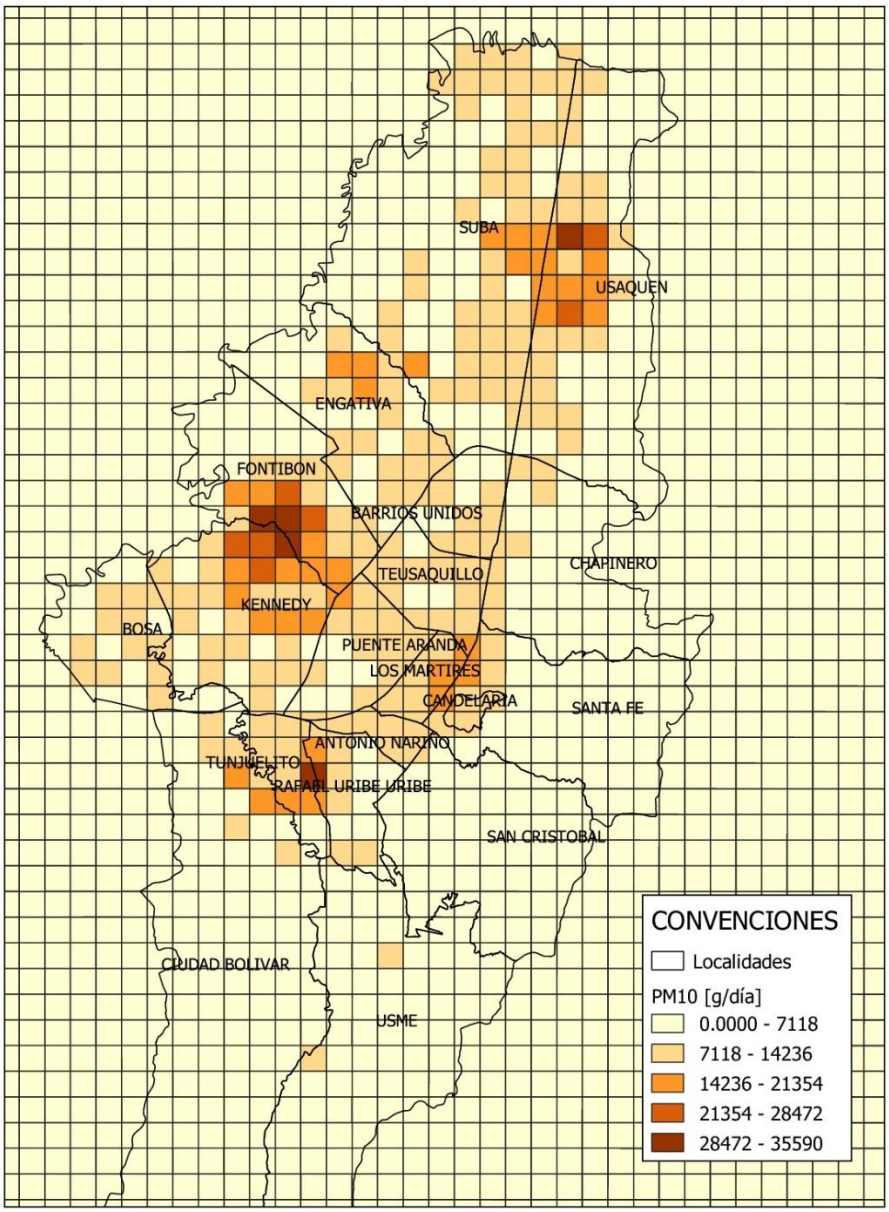


Figura 10-8 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes móviles en un día hábil

10.3.2.2. FUENTES INDUSTRIALES

Se observa en la Figura 10-9 que los focos de emisión de PM_{10}, por este tipo de fuentes se encuentran en las localidades de Puente Aranda, Usme, Tunjuelito y Kennedy.

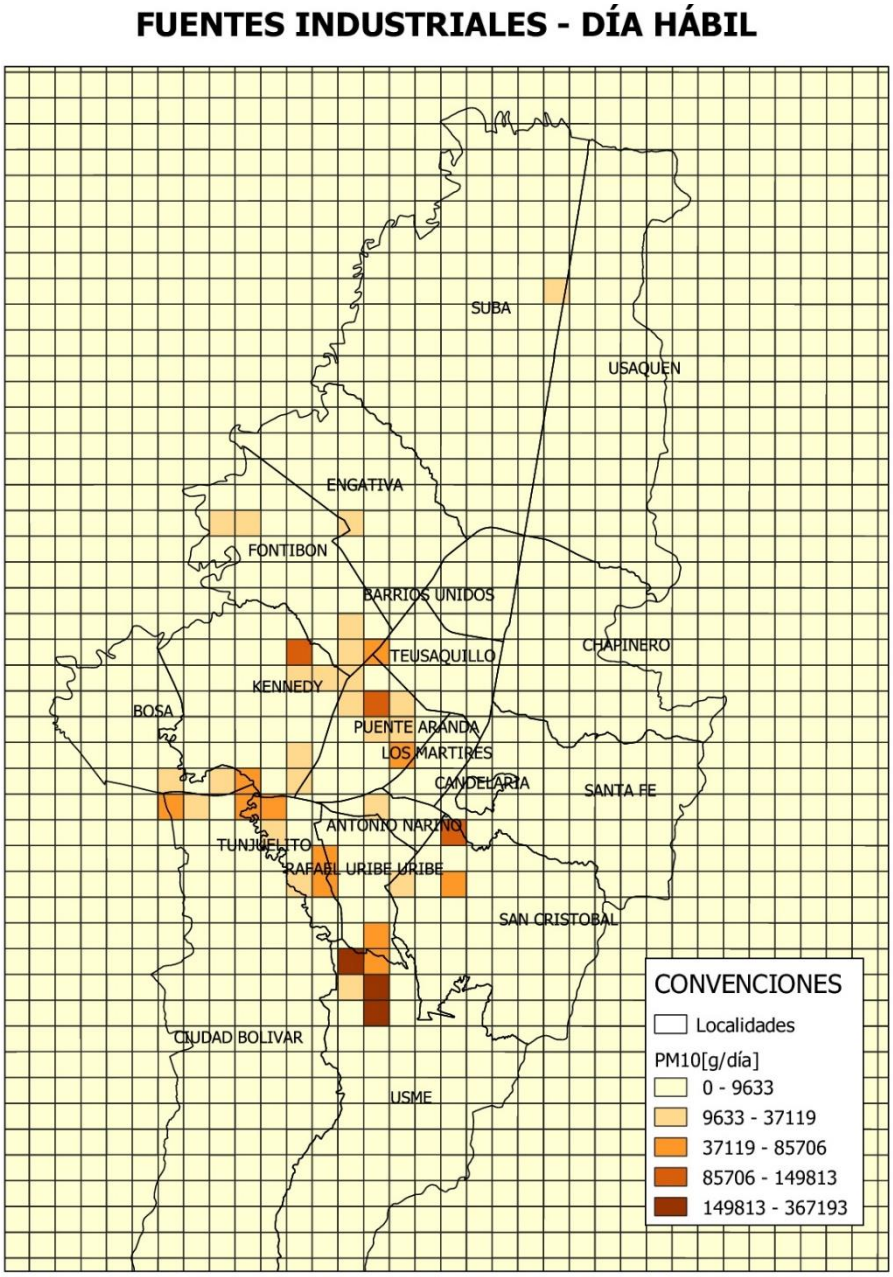


Figura 10-9 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes industriales en un día hábil

10.3.2.3. FUENTES COMERCIALES

Las localidades en las que se presentan mayores emisiones de PM_{10} generadas por fuentes comerciales son Candelaria - Santa Fe, Engativá, Puente Aranda, Barrios Unidos y Fontibón, seguidas en menor proporción por Kennedy, Bosa, Antonio Nariño y Rafael Uribe Uribe, de acuerdo a la Figura 10-10.

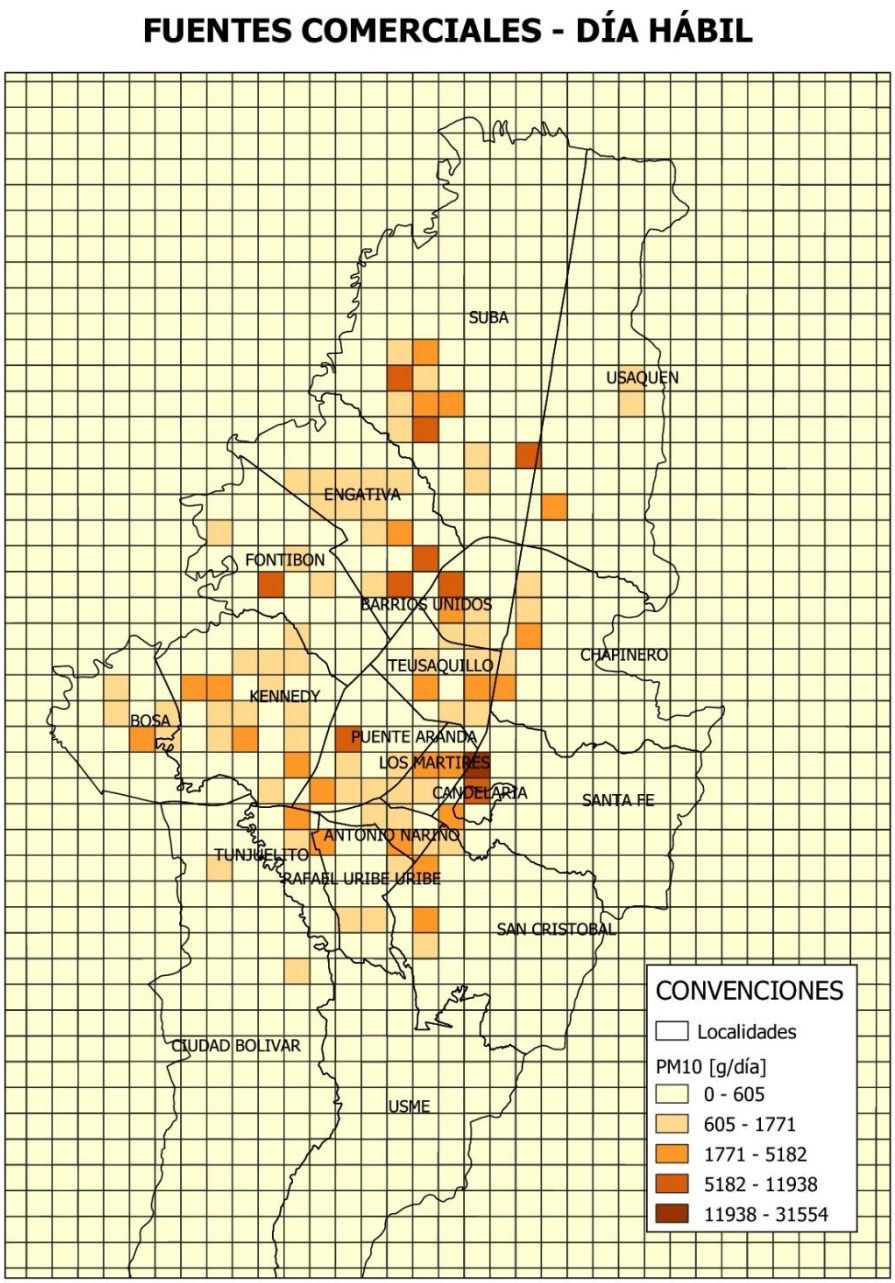


Figura 10-10 Distribución espacial de emisiones de PM_{10} provenientes de fuentes comerciales en un día hábil

10.3.2.4. RESUSPENSIÓN EN VÍAS PAVIMENTADAS

Como se observa en la Figura 10-11, los puntos críticos de emisión de $PM_{2.5}$ en un día hábil se concentran en las localidades de Fontibón, Teusaquillo, Kennedy Tunjuelito, Puente Aranda, los Mártires y Antonio Nariño.

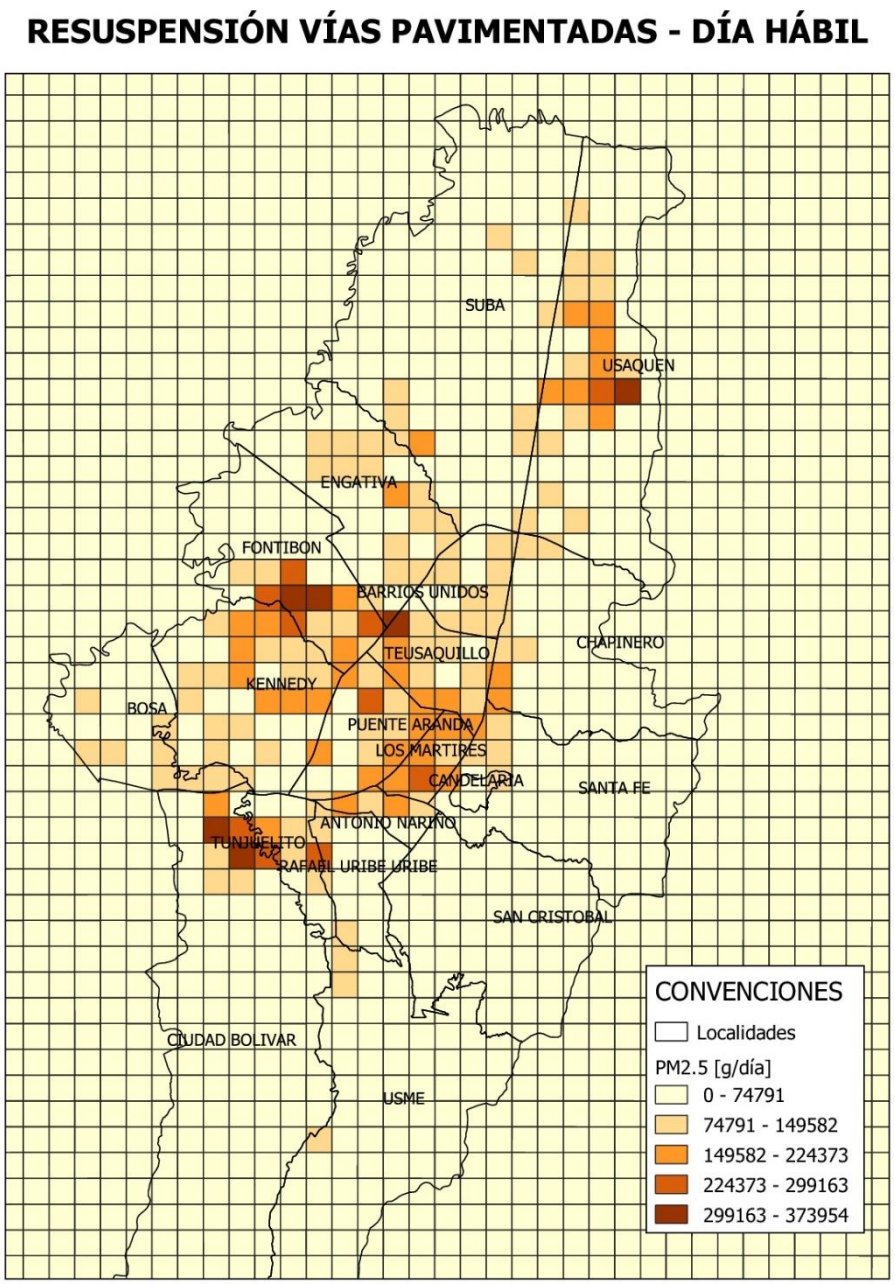


Figura 10-11 Distribución espacial de emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de la resuspensión en vías pavimentadas en un día hábil

10.3.2.5. RESUSPENSIÓN EN VÍAS NO PAVIMENTADAS

Como se observa en la Figura 10-12, las emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de vías no pavimentadas se concentran en la zona sur occidental de la ciudad en las localidades de Bosa, sur de Kennedy y Ciudad Bolívar, esto se debe a que en esta zona se encuentra la mayor cantidad de vías no pavimentadas en Bogotá.

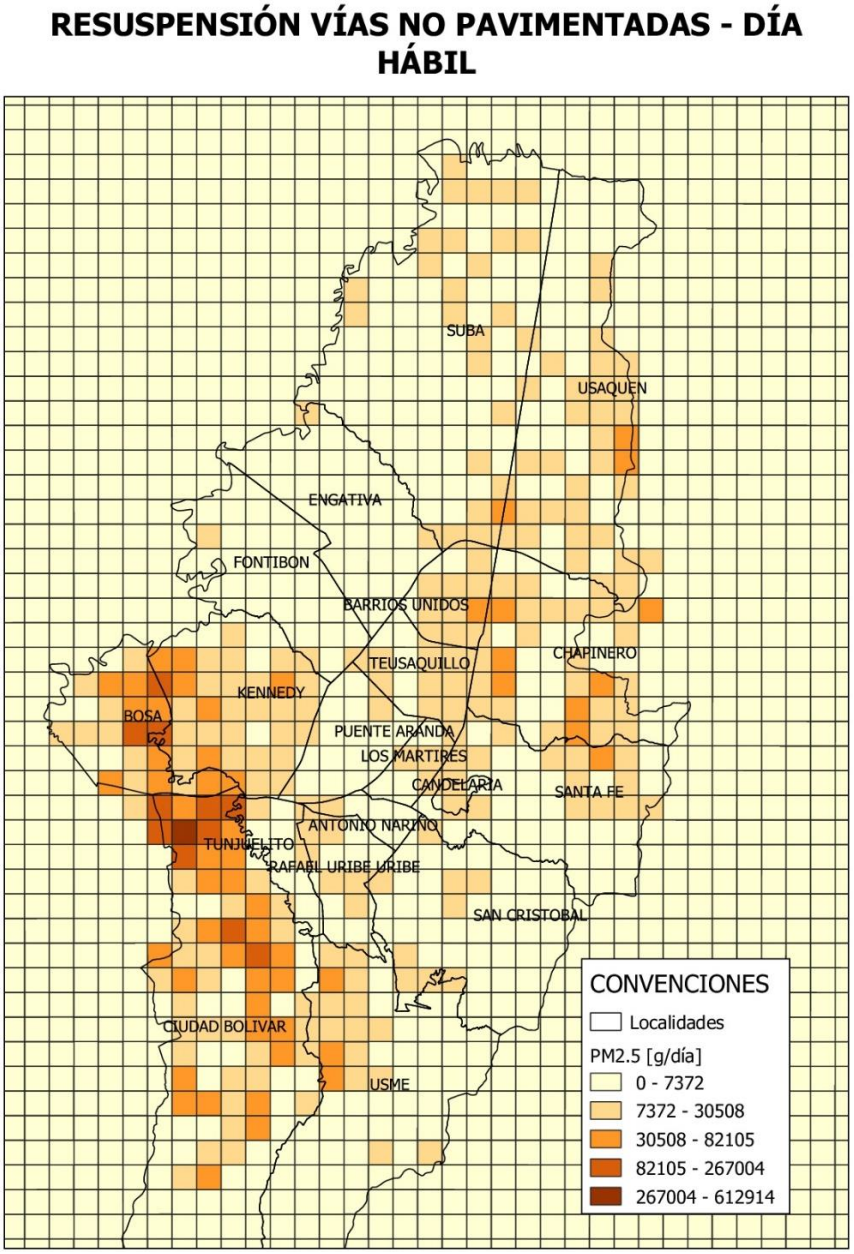


Figura 10-12 Distribución espacial de emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de la resuspensión en vías no pavimentadas en un día hábil

10.3.2.6. ESTACIONES DE SERVICIO Y CENTROS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Como se observa en la Figura 10-13, se evidencia que las mayores emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) para estaciones de servicio (EDS) y centros de almacenamiento de combustible (CDC) se encuentran en Puente Aranda y Teusaquillo.

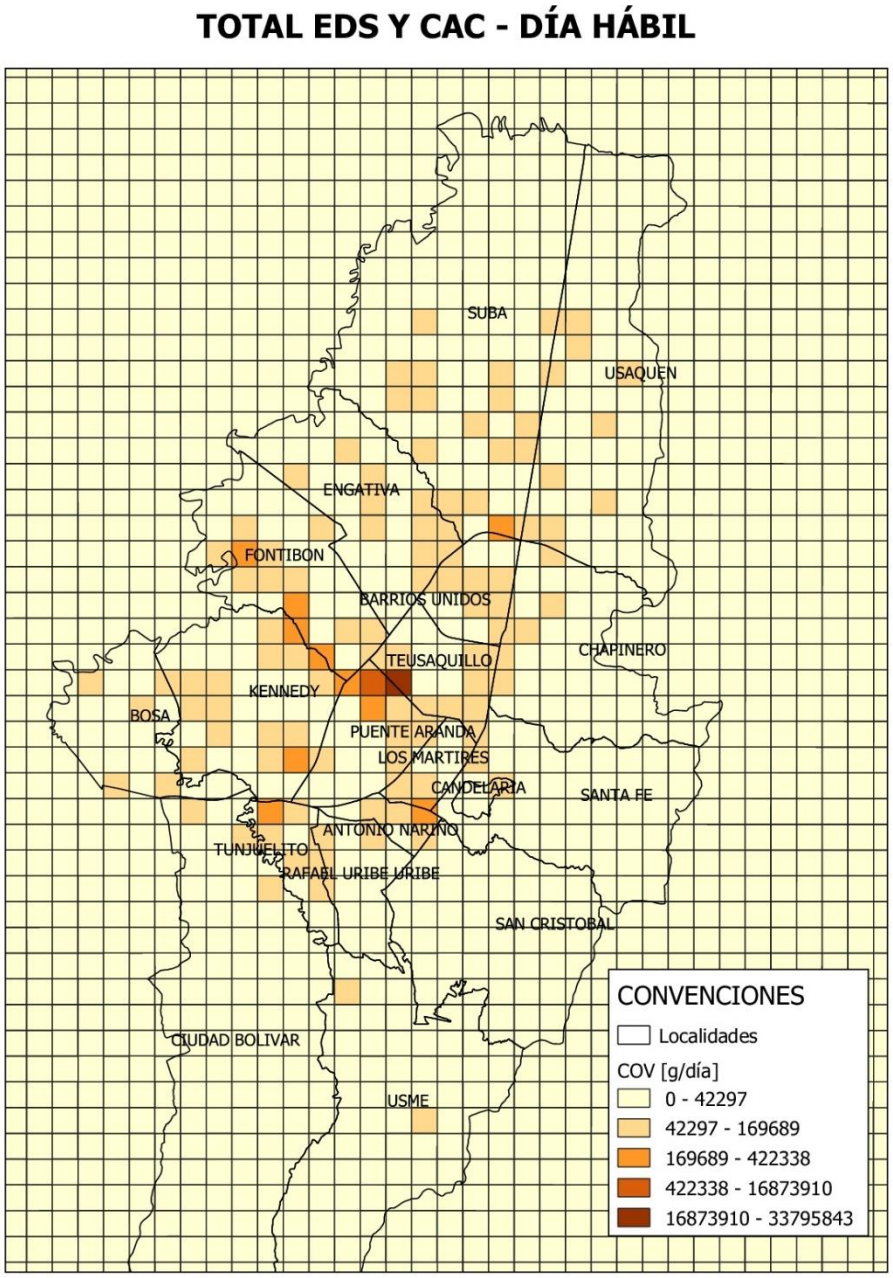


Figura 10-13 Distribución espacial de emisiones de COV provenientes EDS y CAC en un día hábil

10.4 RESULTADOS DEL MODELO FOTOQUÍMICO

El modelo fotoquímico pudo estimar la concentración de contaminantes criterio para 5609 horas durante el 2017, obteniendo una cobertura temporal de 64%[6]. Aunque no se alcanza una cobertura del 75% en cobertura, los resultados se presentan a continuación con fines informativos y por ser uno de los modelos regionales del país en contar con información simulada para un periodo cercano al anual, y para mostrar el comportamiento de los contaminantes sobre la ciudad. Para la estimación de las concentraciones reportadas a continuación, se ajustaron los resultados del modelo a las mediciones realizadas por la RMCAB durante el 2017.

10.4.1 Resultados de simulación para el material particulado

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2017 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para el PM_{10} y el $PM_{2.5}$, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de material particulado sobre la ciudad y un promedio de material particulado representativo por localidad[7]. En el caso del PM_{10}, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 60 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Kennedy es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de PM_{10}, el cual se encuentra por encima de 50 µg/m³, le siguen Fontibón, Bosa y Tunjuelito con promedios anuales de concentración entre 45 µg/m³ y 50 µg/m³ (Ver Figura 10-14). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para PM_{10} en el 2017 fue de 39,8 µg/m³.

Para $PM_{2.5}$, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 27,5 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Kennedy es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de $PM_{2.5}$, el cual se encuentra entre de 22,5 y 25,0 µg/m³, le siguen Bosa y Tunjuelito con promedios anuales de concentración entre 20,0 µg/m³ y 22,5 µg/m³ (Ver Figura 10-15). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estimó que el promedio anual de la ciudad para $PM_{2.5}$ es de 17,5 µg/m³.

6 Teniendo en cuenta que un año tiene 8760 horas

7 El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

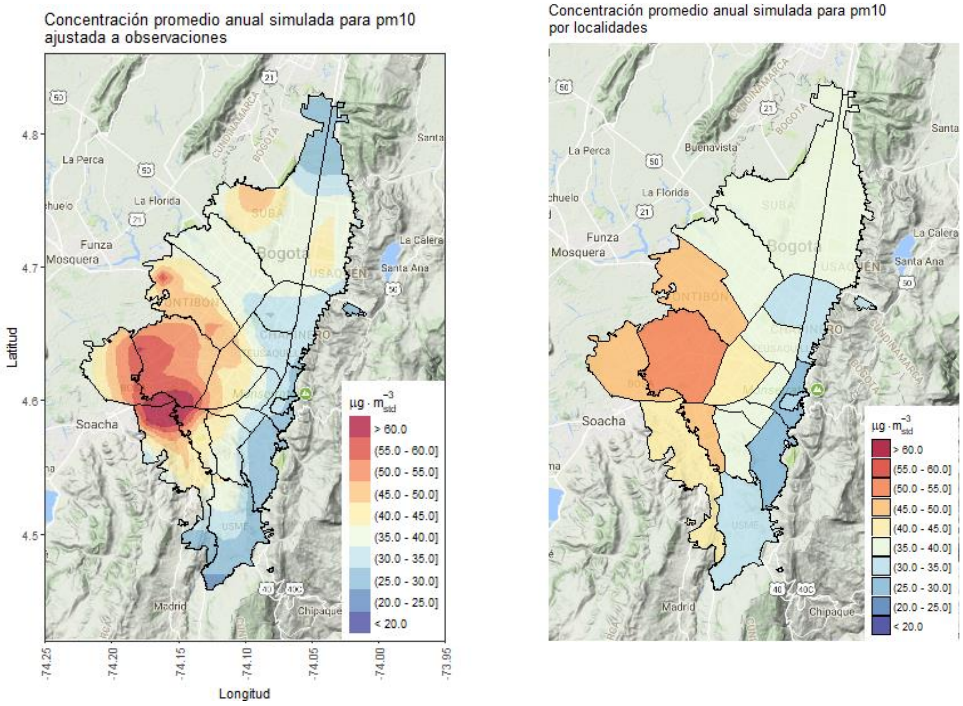


Figura 10-14 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM_{10} ajustadas a observaciones para el 2017

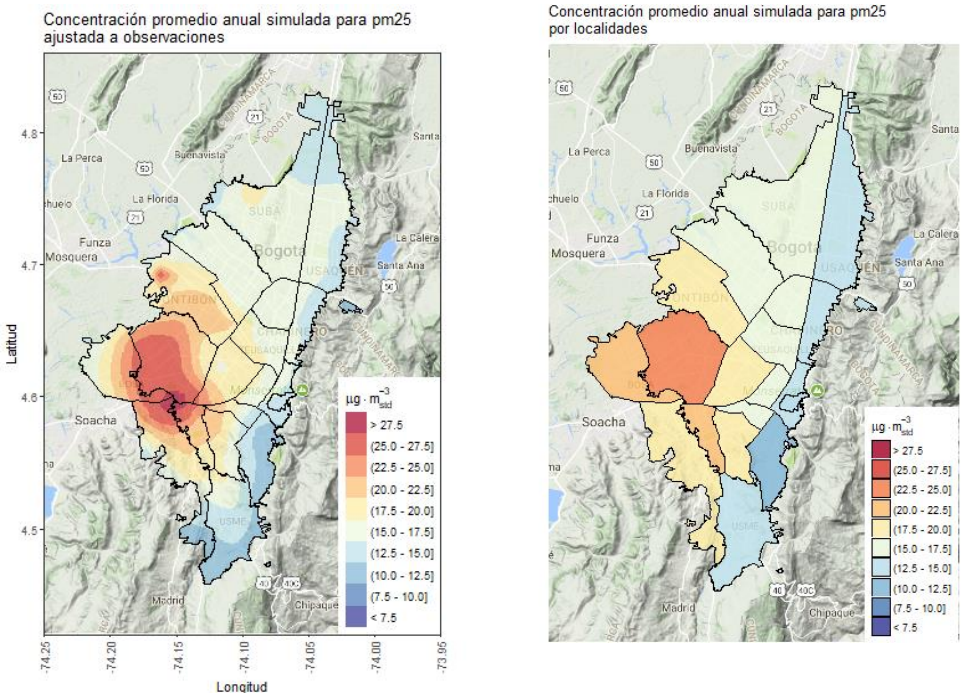


Figura 10-15 Promedio Anual para concentraciones simuladas de $PM_{2.5}$ ajustadas a observaciones para el 2017

10.4.2 Resultados de simulación para gases

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2017 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para los gases criterio, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de los distintos gases sobre la ciudad y un promedio para cada uno de los gases, representativo por localidad[8].

Para NO_2, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad y en el centro geográfico de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito y entre las localidades de barrios Unidos, Engativá y Suba, con promedios anuales superiores a 20 ppb (~38 µg/m³). En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Tunjuelito es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de NO_2, el cual se encuentra entre 18 ppb (~34 µg/m³) y 20 ppb (~38 µg/m³), le siguen Engativá, Barrios Unidos y Puente Aranda, con promedios anuales de concentración entre 14 ppb (~26 µg/m³) y 18 ppb (~34 µg/m³) (Ver Figura 10-16). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para NO_2 en el 2017 fue de 8,1 ppb (~15 µg/m³).

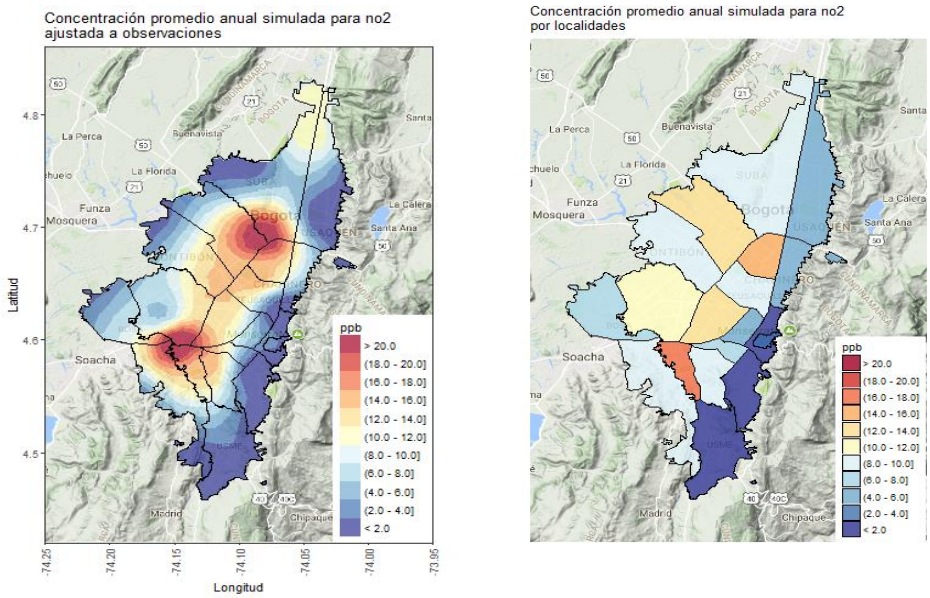


Figura 10-16 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO_2 ajustadas a observaciones para el 2017

En cuanto a SO_2, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 4 ppb (~9 µg/m³). En cuanto a las concentraciones anuales por

8 El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

localidades, se estimó que Kennedy y Tunjuelito son las localidades con el mayor promedio anual de concentraciones de SO_2, los cuales se encuentran entre 2,0 ppb (~4 µg/m³) y 2,5 ppb (~5 µg/m³), le siguen Puente Aranda y Ciudad Bolivar, con promedios anuales de concentración entre 1,5 ppb (~3 µg/m³) y 2,0 ppb (~4 µg/m³) (Figura 10-17). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para SO_2 en el 2017 fue de 1,0 ppb (~2 µg/m³).

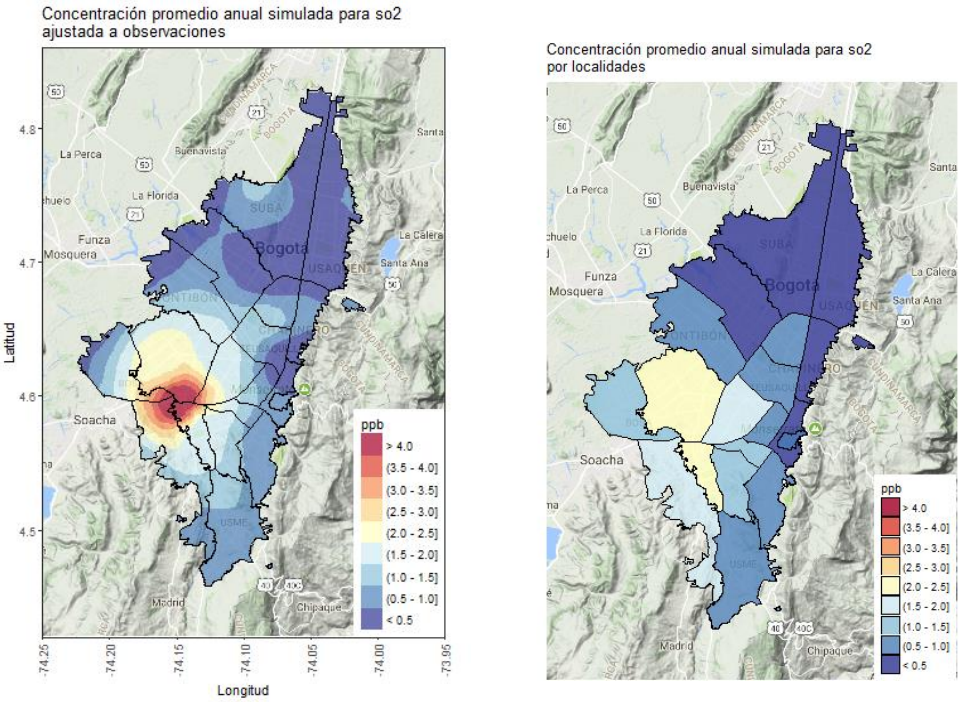


Figura 10-17 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO_2 ajustadas a observaciones para el 2017

Para el CO, se determinaron las series, para cada receptor de los promedios móviles en 8 horas, y dichos valores fueron promediados para estimar el comportamiento anual de CO. Las zonas con mayor promedio de medias móviles se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios de medias móviles superiores a 1,2 ppm (~1380 µg/m³). En cuanto al promedio de medias móviles de CO por localidades, se estimó que Kennedy y Tunjuelito son las localidades con el mayor promedio anual de concentraciones de CO, los cuales se encuentran entre 0,8 ppm (~920 µg/m³) y 1,0 ppm (~1150 µg/m³), le siguen Fontibón, Bosa, Puente Aranda y Barrios Unidos, con promedios de medias móviles de concentración entre 0,6 ppm (~690 µg/m³) y 0,8 ppm (~920 µg/m³) (Ver Figura 10-18). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que las medias móviles de CO en promedio para la ciudad en el 2017 fueron de 0,5 ppm (~575 µg/m³).

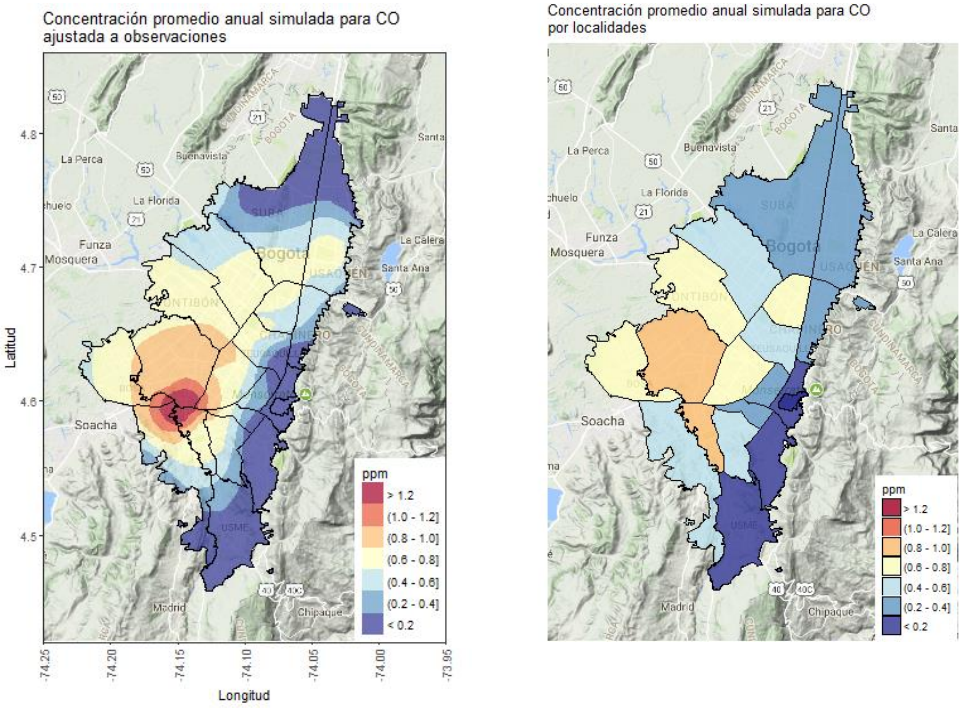


Figura 10-18 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2017

Para el O_3, se determinaron las series, para cada receptor de los promedios móviles en 8 horas, y dichos valores fueron promediados para estimar el comportamiento anual de O_3. Las zonas con mayor promedio de medias móviles se encuentra en la periferia de la ciudad, específicamente la zona norte de Suba y la zona oriental de la localidad de Usaquén, con promedios de medias móviles superiores a 12 ppb (~24 µg/m³). En cuanto al promedio de medias móviles de O_3 por localidades, se estimó que Suba, Usaquén y Chapinero son las localidades con el mayor promedio de medias móviles de concentraciones de O3, los cuales se encuentran entre 11 ppb (~22 µg/m³) y 12 ppb (~24 µg/m³), le siguen Santa fe, La Candelaria, San Cristóbal y Usme, con promedios de medias móviles de concentración entre 10 ppb (~20 µg/m³) y 11 ppb (~22 µg/m³) (Ver Figura 10-19). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que las medias móviles de O_3 en promedio para la ciudad en el 2017 fueron de 9.5 ppb (~19 µg/m³).

10.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS

10.5.1 Generalidades en la validación

La validación de un modelo permite evaluar el desempeño de dicho modelo, al comparar los resultados obtenidos con el mismo, con datos medidos. Estas comparaciones entre datos observados y modelados pueden realizarse a través de análisis de gráficas de comparación (Diagramas de Taylor, Diagramas de Cajas, Diagramas Q-Q, etc), o a través de un conjunto de pruebas estadísticas (tests).

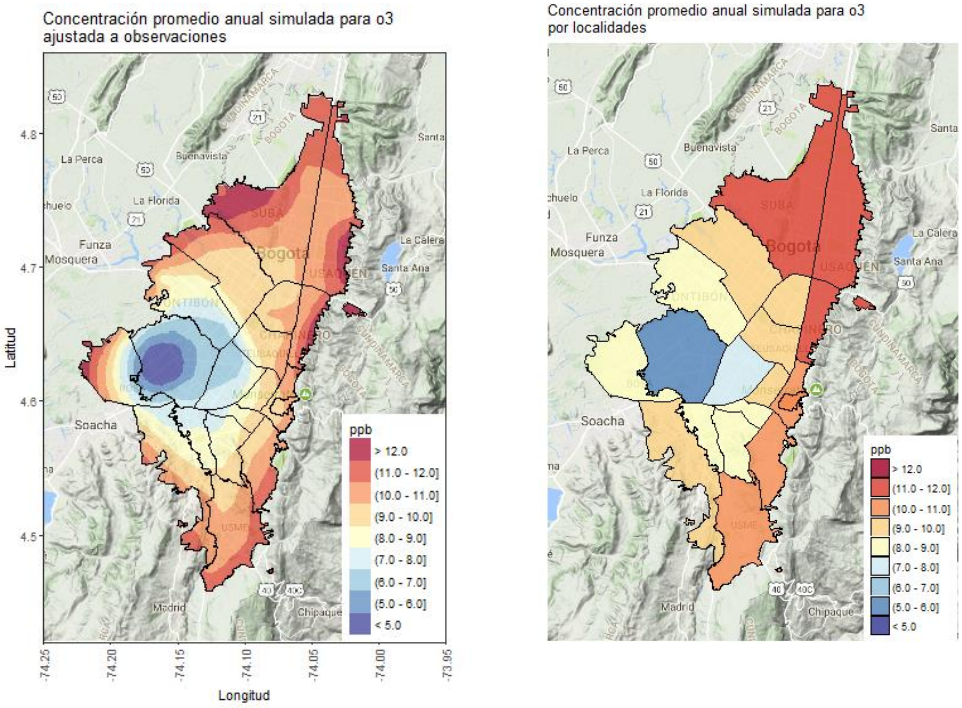


Figura 10-19 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de O_3 ajustadas a observaciones para el 2017

A continuación se describen cada uno de los test, teniendo en cuenta que O_i es el 'i-ésimo' dato observado y M_i es el 'i-ésimo' dato modelado para un contaminante. La descripción de los test no implica que se apliquen totalmente a los modelos.

FAC2: Es la fracción de datos modelados que se encuentran dentro de un factor de 2 con respecto a los datos observados. Se considera que el modelo está representando satisfactoriamente las predicciones cuando:

$$0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0 \qquad \textbf{Ec. 6}$$

NMB: El promedio del sesgo es un indicador del grado de sobreestimación o subestimación del modelo, al normalizar este indicador, se pueden comparar contaminantes que se encuentran en distintas escalas de concentraciones y de unidades.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^{N} M_i - O_i}{\sum_{i=1}^{N} O_i} \qquad \textbf{Ec. 7}$$

NMGE: El promedio del error grueso normalizado indica el promedio del error entre los datos observados y modelados, sin importar si el modelo sobreestima o subestima las emisiones; este indicador se calcula de la siguiente forma:

$$NMGE = \frac{\sum_{i=1}^{N} |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^{N} O_i} \qquad \textbf{Ec. 8}$$

RMSE: La raíz del error cuadrático medio representa principalmente la relación entre las relaciones estándar promedio de los datos medidos, y las desviaciones estándar obtenidas con los datos simulados. Este indicador es comúnmente usado para determinar qué tan cerca están los valores modelados de los valores medidos

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(M_i - O_i)^2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \textbf{Ec. 9}$$

Estos valores son determinados en las unidades en las cuales se miden las concentraciones de los contaminantes, y muestran que tan amplia es la diferencia entre las series temporales observadas y simuladas.

r: El coeficiente de correlación (de Pearson) es la medida de la bondad de ajuste lineal entre dos variables, en el caso de la validación, entre los datos observados y modelados; una correlación lineal perfecta conlleva a valores iguales a 1 para correlaciones con pendiente positiva, y a -1 para correlaciones con pendiente negativa, mientras que dicho coeficiente es igual a 0 cuando los datos comparados no están correlacionados. Dicho coeficiente se calcula con la siguiente expresión:

$$r = \left(\frac{1}{N-1}\right)\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{M_i - \acute{M}}{\sigma_M}\right)\left(\frac{O_i - \acute{O}}{\sigma_O}\right) \quad \textbf{Ec. 10}$$

COE: El coeficiente de eficiencia toma un valor de 1 cuando el modelo representa perfectamente las observaciones, este criterio también establece que un modelo es efectivo cuando dicho coeficiente es mayor a 0. Este coeficiente se calcula como:

$$COE = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(|M_i - O_i|)\right)}{\sum_{i=1}^{N}(|O_i - \acute{O}|)} \quad \textbf{Ec. 11}$$

IOA: El índice de concordancia es un indicador que se encuentra entre -1 y +1, y entre más se acerté a +1, el modelo tiene un mejor desempeño; este indicador se define como:

$$IOA = \begin{cases} 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(|M_i - O_i|)\right)}{c\cdot\sum_{i=1}^{N}(|O_i - \acute{O}|)}, cuando \sum_{i=1}^{N}(|M_i - O_i|) \leq c \cdot \sum_{i=1}^{N}\left(|O_i - \acute{O}|\right) \\ \frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(|O_i - \acute{O}|)\right)}{\sum_{i=1}^{N}(|M_i - O_i|)} - 1, cuando \sum_{i=1}^{N}(|M_i - O_i|) > c \cdot \sum_{i=1}^{N}\left(|O_i - \acute{O}|\right) \end{cases} \quad \textbf{Ec. 11}$$

RMSVE: El error cuadrático medio del vector horizontal del viento es una variación del RMSE teniendo en cuenta las componentes vectoriales zonal (U) y meridional (W) del viento. Se define de la siguiente manera:

$$RMSVE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(U_{mod} - U_{obs}) + (V_{mod} - V_{obs})^2}{N}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \textbf{Ec. 12}$$

Por otro lado, para la validación de la precipitación se realizaron tablas de contingencia que evalúan la precipitación de manera binaria (llovió o no llovió) teniendo en cuenta más que el valor de la precipitación, los días de lluvia. A partir de la tabla de contingencia obtenemos los siguientes estadísticos:

Percent Correct (PC): Es el porcentaje de pronósticos que son correctos. Varía de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

Hit Rate (H) o Probability of Detection (POD): es el porcentaje de días con lluvia que fueron bien pronosticados. Varia de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

False Alarm Ratio (FAR): es el porcentaje de días que se predijo lluvia pero que no llovió. Varía de 0 a 1 donde cero es un valor perfecto.

BIAS (B): Compara el número de veces que un evento fue pronosticado con el número de veces que un evento fue observado:
si B=1, el evento fue pronosticado el mismo número de veces que fue observado
si B>1, el evento fue pronosticado más veces de lo que se observó
si B<1, el evento fue pronosticado menos veces de las que ocurrió.

Threat Score (TS): combina el Hit Rate y el False Alarm Ratio en un solo estadístico. Varia de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

10.5.2 Validación del modelo meteorológico WRF

10.5.2.1 Temperatura

En términos generales, la validación de la temperatura (Figura 10-20) muestra que es una de las variables mejor modeladas, especialmente en términos de correlación que durante gran parte del año osciló alrededor de 0,8, siendo agosto y septiembre los meses con mejor correlación.

En cuanto el RMSE se observa en el diagrama de Taylor que la temperatura tiene un valor cercano a los 2 °C para el rango anual, y en los gráficos de barras se evidencia que mensualmente los meses con RMSE más bajos fueron agosto y septiembre, mientras que los meses con RMSE más alto fueron noviembre y diciembre en los que el estadístico alcanzó valores de 2.5 °C. Adicionalmente, el Mbias y el boxplot muestran que la temperatura estuvo subestimada por el modelo, especialmente en los meses de noviembre y diciembre; es importante mencionar que el modelo no reproduce bien los datos observados por encima de 20°C. Finalmente, el IOA indica la buena modelación de la temperatura con un valor cercano a 0.7 siendo los meses de agosto y septiembre los que mejor IOA tuvieron, lo que concuerda con el RMSE.

Al analizar la validación por estaciones (Figura 10-21) se establece que las estaciones con menor error fueron San Cristóbal y Puente Aranda, mientras que las estaciones con mejor correlación fueron Suba y Guaymaral. Por su parte, las estaciones que presentaron mayor error son Guaymaral,

Suba y Tunal; CDAR presentó un RMSE alto pero un BIAS bajo. Es importante mencionar que mientras todas las estaciones subestimaron la temperatura Tunal la sobrestimo.

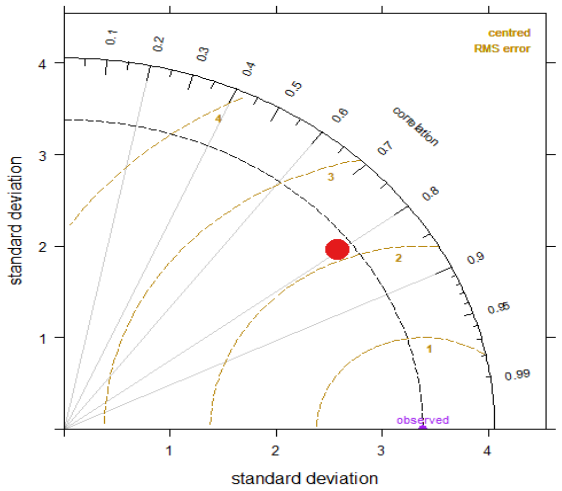
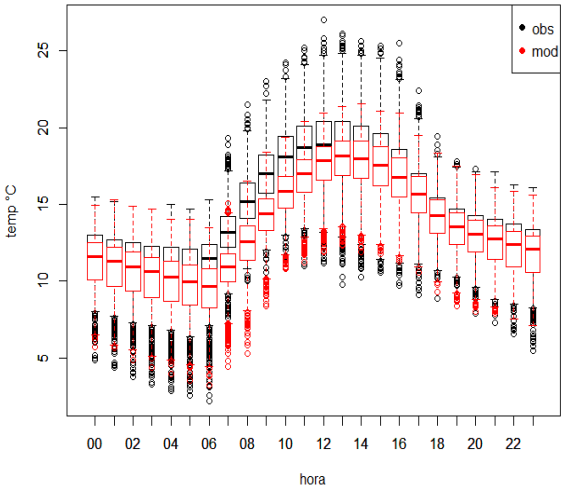
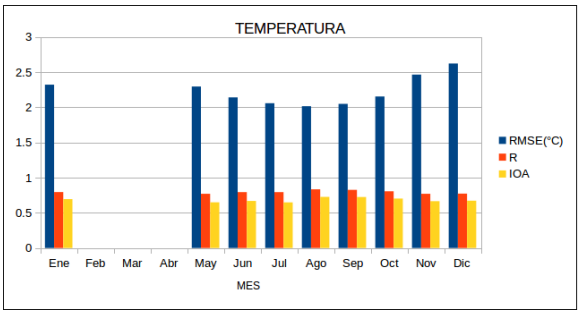


Diagrama de Taylor



Box-plot



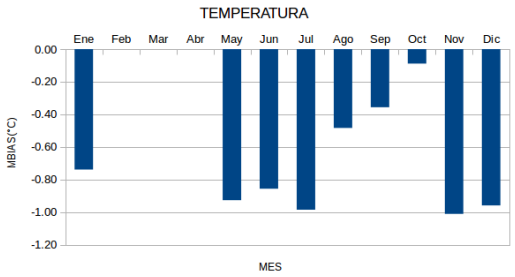
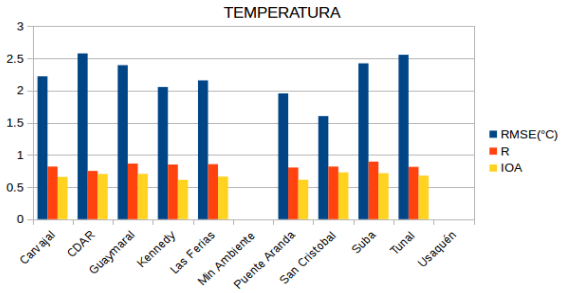


Figura 10-20 Validación de la temperatura a nivel ciudad



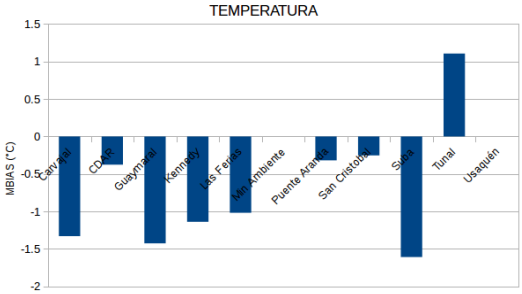


Figura 10-21 Validación de la temperatura por estación

10.5.2.2 Humedad relativa

La validación a nivel ciudad de la humedad relativa (Figura 10-22) muestra que, al igual que la temperatura, esta variable también presenta una buena correlación, ya que su valor anual fue alrededor de 0.7, siendo los meses de septiembre y octubre los meses con mejor correlación.

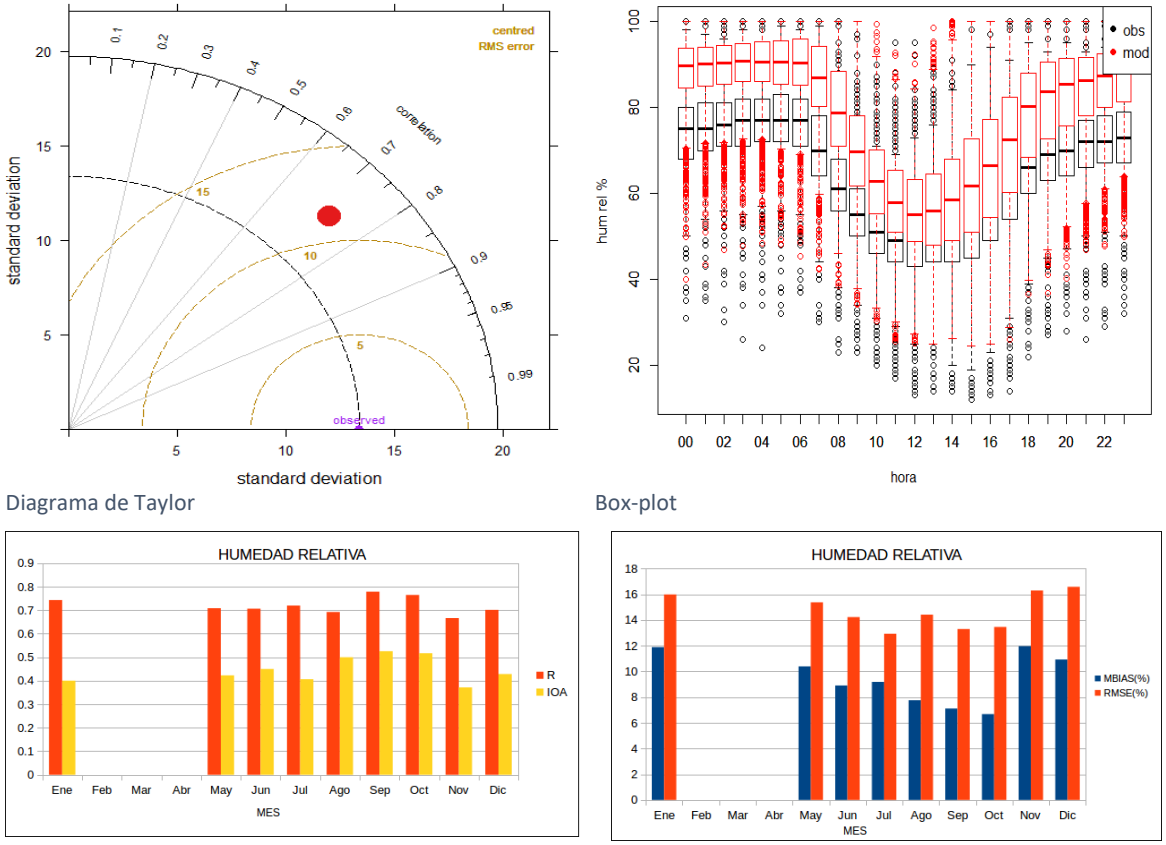


Diagrama de Taylor Box-plot

Figura 10-22 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad

La humedad relativa tiene un RMSE anual por encima de 10% con tendencia a la sobrestimación. Los gráficos de barras muestran que los meses con RMSE y MBIAS más bajo fueron octubre y septiembre, meses en los que también se obtuvo el IOA más alto. Julio también presenta un RMSE bajo pero un BIAS relativamente alto. Por su parte, los meses de noviembre, diciembre y enero son los que presentan un error más alto tanto en Bias como en RMSE. Es importante mencionar que el modelo no reproduce bien la humedad relativa por debajo de 40% en las mañanas y noches, ni tampoco por debajo de 25% en horas de la tarde.

La validación de la humedad relativa por estaciones (Figura 10-23) muestra que las estaciones con menor error fueron CDAR y Tunal, tanto en RMSE como en BIAS, éstas estaciones también presentan el IOA más alto. Las estaciones con mejor correlación fueron Guaymaral y Las Ferias. Por otro lado, la estación Las Ferias fue la que tuvo el error más alto, tanto en RMSE como en Bias, y el IOA más bajo. La estación peor correlacionada fue San Cristóbal.

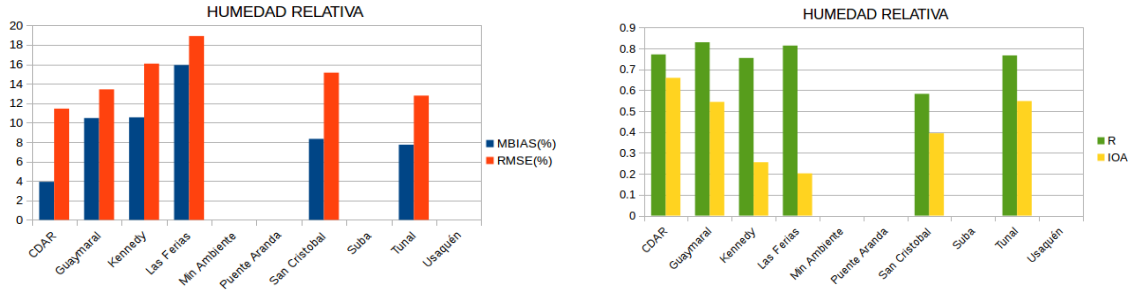


Figura 10-23 Validación de la humedad relativa por estaciones

10.5.2.3 Velocidad y dirección del viento

La validación del viento (Figura 10-24) muestra que es la variable más castigada por los estadísticos, es decir, es la variable meteorológica más difícil de modelar. La correlación de la velocidad del viento fue la más baja con un valor por encima de los 0,4, esto a pesar de que el boxplot muestra que el modelo tiende a seguir el ciclo diurno observado, sin embargo son los outliers los que producen esta correlación tan baja. La correlación tiene un comportamiento muy homogéneo durante todo el año, como lo muestran los gráficos de barras, los meses con correlación más alta son mayo y agosto, mientras que noviembre es el peor correlacionado.

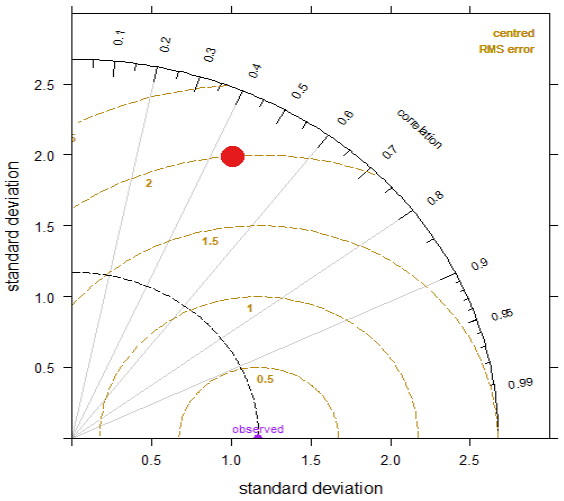
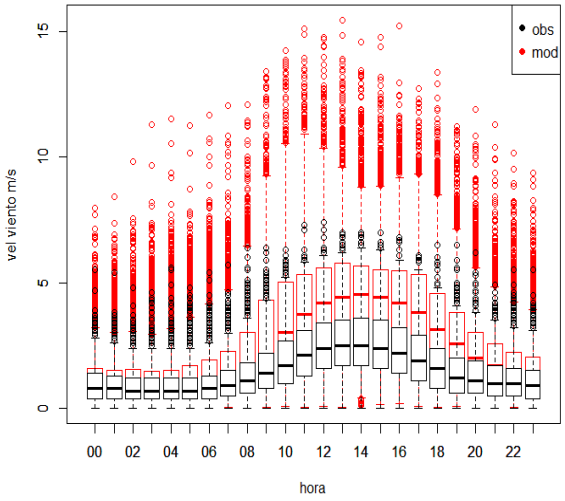


Diagrama de Taylor



Box-plot

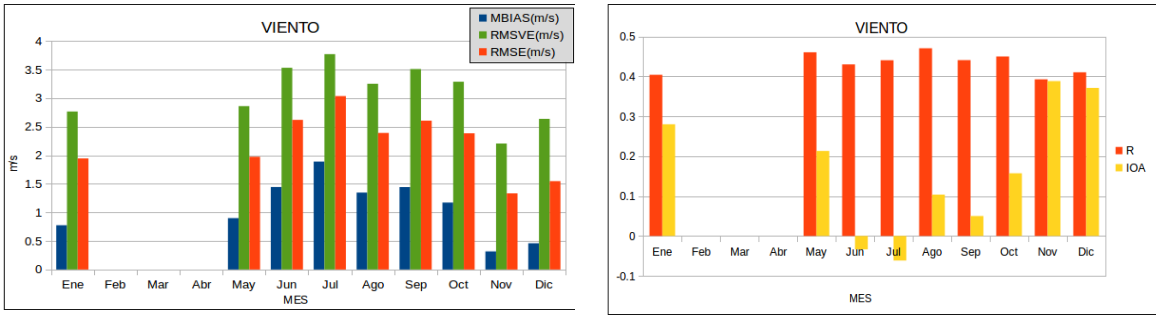


Figura 10-24 Validación del viento a nivel ciudad

En términos de RMSE, la velocidad del viento anual arroja un valor de 2 m/s sin embargo, hay meses como julio en donde el valor puede ser de 3.0 m/s, un valor alto para una variable que raramente supera los 6 m/s como se ve en el boxplot, sin embargo, es necesario recordar que el RMSE es altamente sensible a los outliers que son varios tanto observados como modelados. El bias indica que el modelo tiende a sobrestimar la velocidad del viento especialmente entre las 9 am y las 13 pm donde el modelo ha arrojado valores que están cerca a los 15 m/s. Los meses de junio y julio son los que más error presentan, incluso en términos de IOA, mostrando un valor negaivo, por otro lado, los meses de noviembre y diciembre son los que menor error presentan y son los que tienen un IOA más alto.

Para evaluar la dirección y velocidad del viento en un solo estadístico se utilizó el RMSVE, el cual tiene un comportamiento muy similar al RMSE de la velocidad del viento, y está entre 0.5 m/s y 1 m/s por encima de éste, lo que indica que los errores debido a la dirección del viento son menores que los atribuibles a la velocidad del viento.

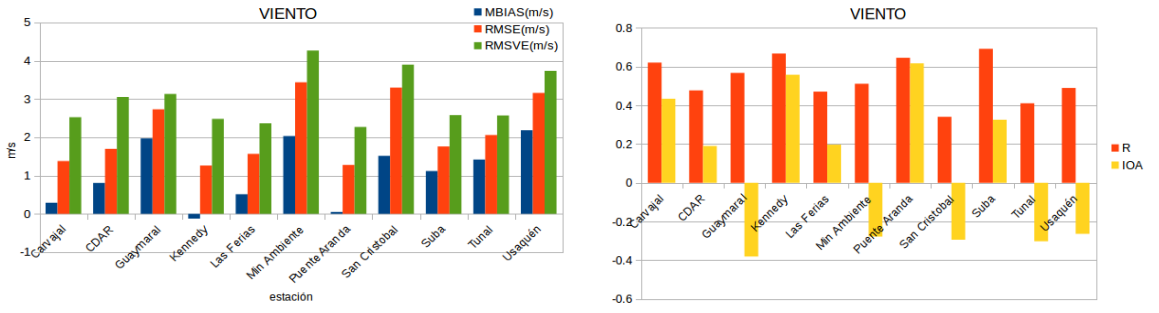


Figura 10-25 Validación del viento por estaciones

La validación de viento por estaciones (Figura 10-25) muestra que las estaciones con menor error, tanto en RMSE como en Bias y RMSVE, fueron Kennedy y Puente Aranda; las estaciones que mayor error presentaron fueron Min Ambiente, San Cristóbal y Usaquén; estaciones que también presentaron un IOA negativo junto a Guaymaral y Tunal. Es importante mencionar que la estación Kennedy tiene un Bias negativo, lo que indica que fue la única estación que subestimo la intensidad del viento. Por otro lado, al analizar la correlación de la velocidad del viento por estaciones se

observa que las correlaciones oscilan entre 0.4 y 0.6 (excepto San Cristóbal que estuvo por debajo), siendo las de mayor correlación Carvajal, Kennedy, Puente Aranda y Suba.

10.5.2.4 Radiación solar

En términos generales, la validación de la radiación solar (Figura 10-26) muestra que la radiación solar también es una variable bien modelada en términos de correlación la cual estuvo en promedio durante el año por encima de 0.8 es una de las variables mejor modeladas, especialmente en la correlación, que durante gran parte del año osciló alrededor de 0.8, julio y septiembre fueron los meses mejor correlacionados mientras que noviembre fue el de correlación más baja. El IOA también muestra un muy buen comportamiento, ya que oscilo entre 0.6 y 0.7 durante todo el año, siendo diciembre el mes con IOA más alto.

Por otro lado, la radiación solar presenta un RMSE cercano a 250 W/m², mientras que el mean Bias osciló entre 50 y poco más de 100 W/m², lo cual no es un valor muy grande teniendo en cuenta los valores de radiación solar. Hay una situación particular con la radiación solar ya que, a pesar de que el modelo tiende a sobrestimar esta variable, presenta outliers con valores por debajo de los outliers observados, lo cual se puede ver claramente en el boxplot anual. A pesar de que el comportamiento de la validación de la radiación solar es muy homogéneo durante todo el año, se puede decir que noviembre y diciembre fueron los meses con error más bajo, tanto en RMSE como Bias, así como IOA mas alto; sin embargo éstos mismos meses fueron unos de los que presentaron correlación de Pearson más baja.

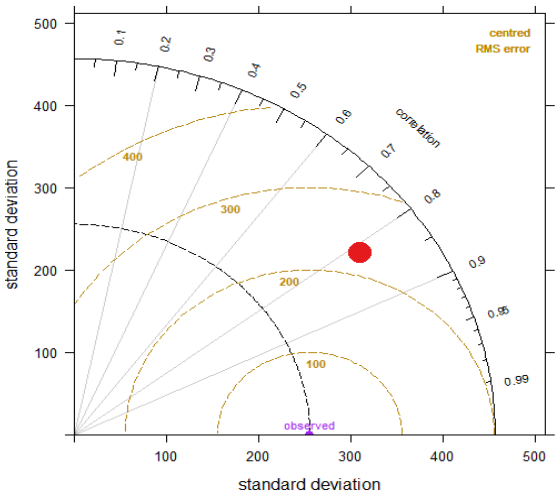
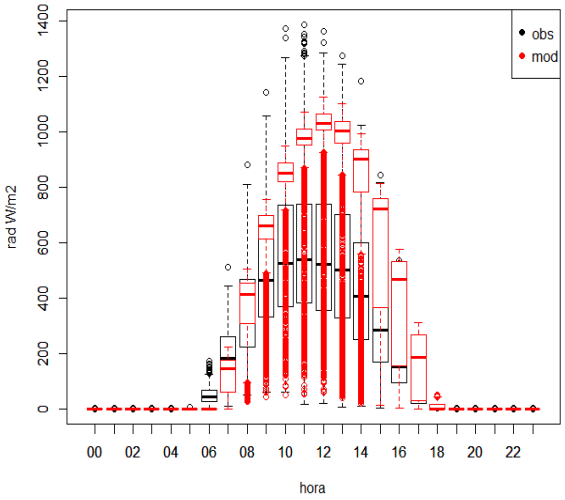


Diagrama de Taylor



Box-plot

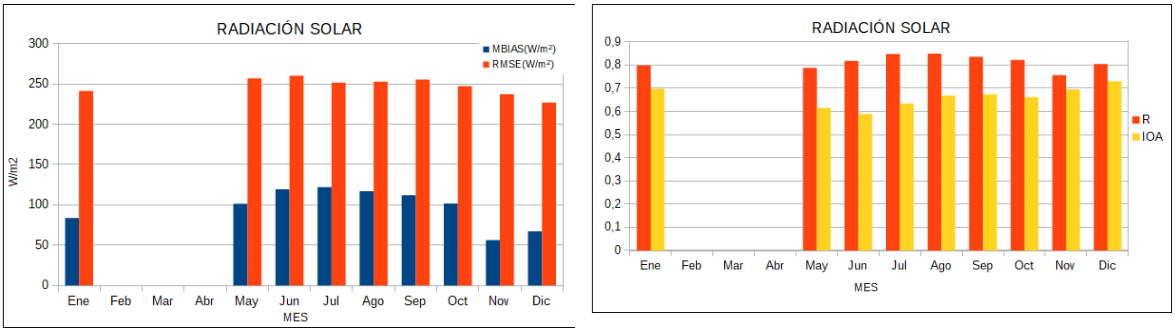


Figura 10-26 Validación de la radiación solar a nivel ciudad.

Al examinar la radiación solar por estaciones (Figura 10-27) se evidencia que el comportamiento de la validación es muy estable espacialmente, la estación con menor error, tanto RMSE como Bias, así como mayor IOA fue San Cristóbal, mientras que Tunal fue la estación con mayor error y menor IOA; paradójicamente ésta última estación fue la que mejor correlación presentó.

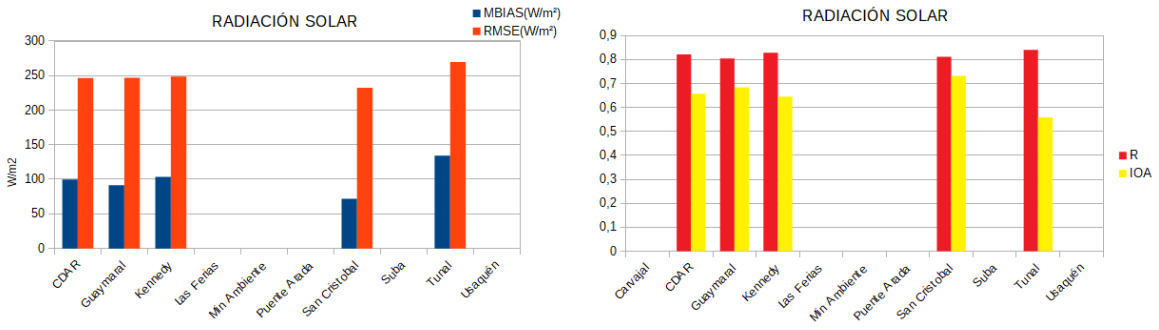


Figura 10-27 Validación de la radiación solar por estaciones.

10.5.2.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica no presenta mayores variaciones diarias en los datos observados ni modelados. La validación de ésta variable (Figura 10-28) muestra que el modelo tiene un buen comportamiento con respecto a las observaciones ya que RMSE del modelo oscila entre 0.6 mmHg y 0.7 mmHg con tendencia a subestimación en términos anuales como lo muestra el boxplot. En términos mensuales, se observa que los meses de enero, mayo, julio, noviembre y diciembre el modelo tiende a sobrestimar, mientras que en junio, agosto, septiembre y octubre el modelo subestima la presión a nivel ciudad; los meses de noviembre y octubre presentan el RMSE más alto y junio es el mes con el RMSE más bajo. La correlación del modelo y el IOA son altos y estables durante gran parte del año excepto en los meses de junio y julio donde se presentaron los niveles más bajos de este estadístico.

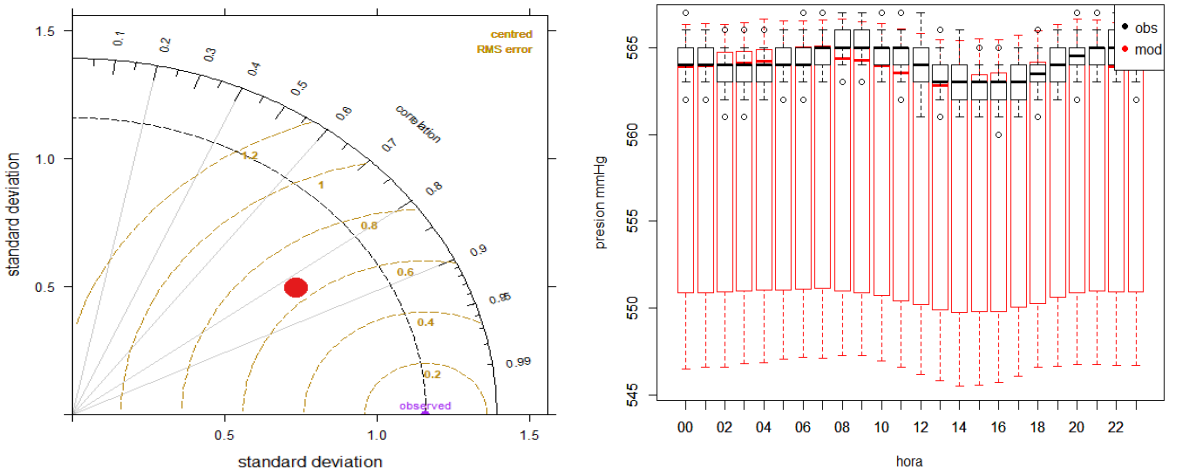


Diagrama de Taylor Box-plot

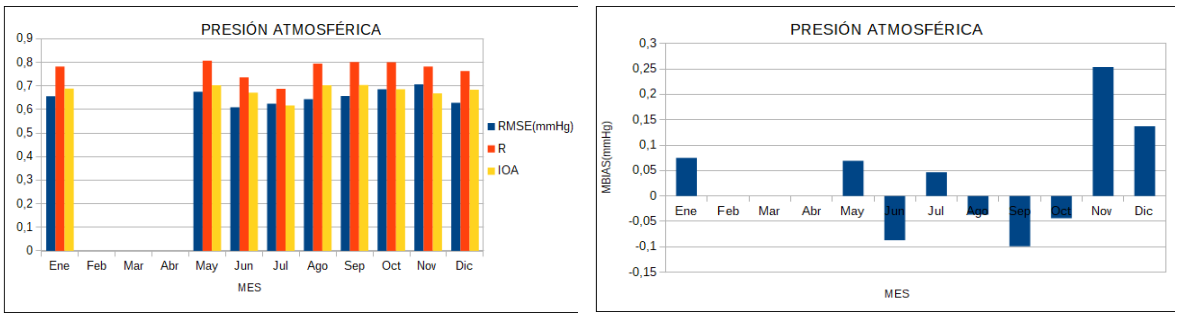


Figura 10-28 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad.

Ahora bien, en términos de estaciones es necesario recordar que la RMCAB solo cuenta con 3 estaciones para medir presión. Al analizar la validación de estas estaciones (Figura 10-29) se evidencia que el comportamiento es muy heterogéneo, a pesar de que Kennedy es la única estación que tiende a sobrestimar la presión, de igual manera es la que tiene un RMSE más alto y un IOA más bajo (aunque por muy poco). En términos de correlación todas las estaciones estuvieron por encima de 8.

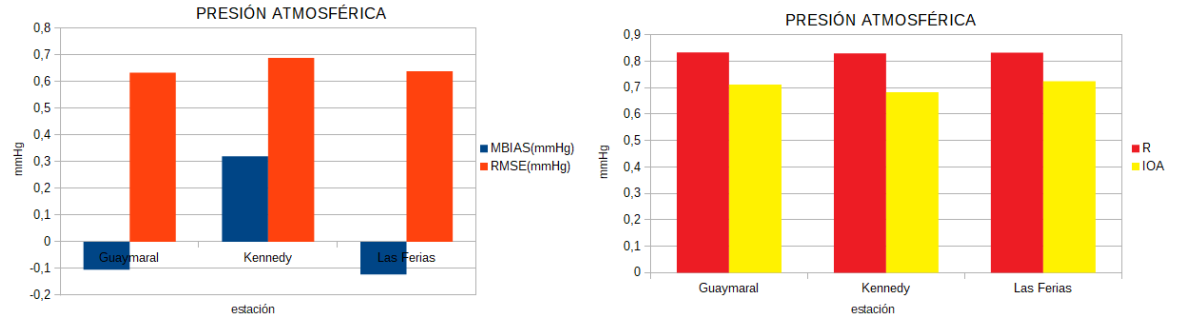


Figura 10-29 Validación de la presión atmosférica por estaciones.

10.5.2.6 Precipitación

Como se mencionó anteriormente, la validación de la precipitación de los datos de la RMCAB se realiza de manera categórica ya que no es una variable continua, en este sentido se realiza por medio de tablas de contingencia por medio de las cuales se hallan unos estadísticos que permiten validar el modelo en términos de lluvia/no lluvia.

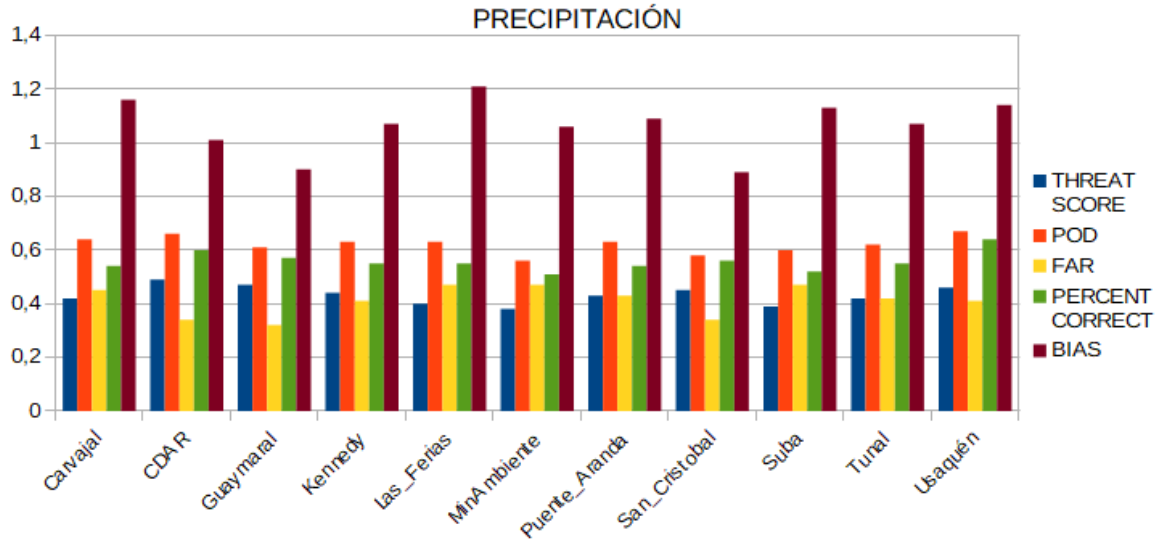


Figura 10-30. Validación de la precipitación por estaciones.

La Figura 10-30 nos muestra el resultado de la validación de la precipitación por medio de tablas de contingencia por estación. Lo primero que salta a la vista es que el Bias tiene un valor que oscila alrededor de 1, lo que indica que el modelo simula muy bien los dias con lluvia (recordando que un Bias igual a 1 es un modelo perfecto de días con lluvia). En general, casí todas las estaciones sobrestiman los días con lluvia, exceptuando San cristobal y Guaymaral que subestiman. Por otro lado, se observa que la probability of detection (POD) es mayor que el False Alar Ratio (FAR) lo que indica que el modelo tiene mayor probabilidad de simular los días con lluvia que generar días con lluvia cundo no fue observada. Las estaciones CDAR y Usaquén fueron las que tuvieron un POD más alto tuvo versus un bajo FAR, éstas también fueron las estaciones con Percent Correct más alto, mientras que las estaciones Min Ambiente y Suba fueron las estaciones que tuvieron el POD y FAR más cercano así como el Percent Correct más bajo, lo que indica que éstas últimas estaciones tienen casi la misma probabilidad de modelar un evento como de generar una falsa alarma de lluvia. En términos de Threat Score (TS) se observa una vez más que las estaciones mejor evaluadas son CDAR, Guaymaral y Usaquén, mientras que Min Ambiente fueron las que menor TS presentaron, siendo coherente con los análisis anteriormente realizados.

10.5.3 Validación del modelo de transporte CMAQ

10.5.3.1. Comparación entre concentraciones observadas y modeladas

A continuación se hace el análisis sobre las concentraciones horarias medidas y simuladas sobre la ciudad, se debe tener en cuenta que estas diferencias entre las observaciones y las simulaciones pueden deberse a la estimación y desagregación espacial y temporal de los inventarios de emisiones, la estimación de distintas variables meteorológicas con el modelo meteorológico, principalmente la altura de capa de mezcla, velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y radiación solar, y la influencia de fuentes de emisión regionales no contempladas en la modelación de calidad de aire en la ciudad.

En la Figura 10-31 se muestra el comportamiento horario de las concentraciones anuales de PM_{10} para cada hora del día, en todas las estaciones. En dicha gráfica se puede observar que las medianas de las concentraciones modeladas son levemente más altas que las medianas de las concentraciones de las observaciones en horas de la tarde, y son casi de dos órdenes de magnitud en las horas de la mañana, entre las 0:00 y las 07:00. En cuanto al Material Particulado $PM_{2.5}$, éste tuvo un comportamiento similar al descrito para PM10, con una sobre-estimación pronunciada en horas de la mañana (Ver Figura 10-32).

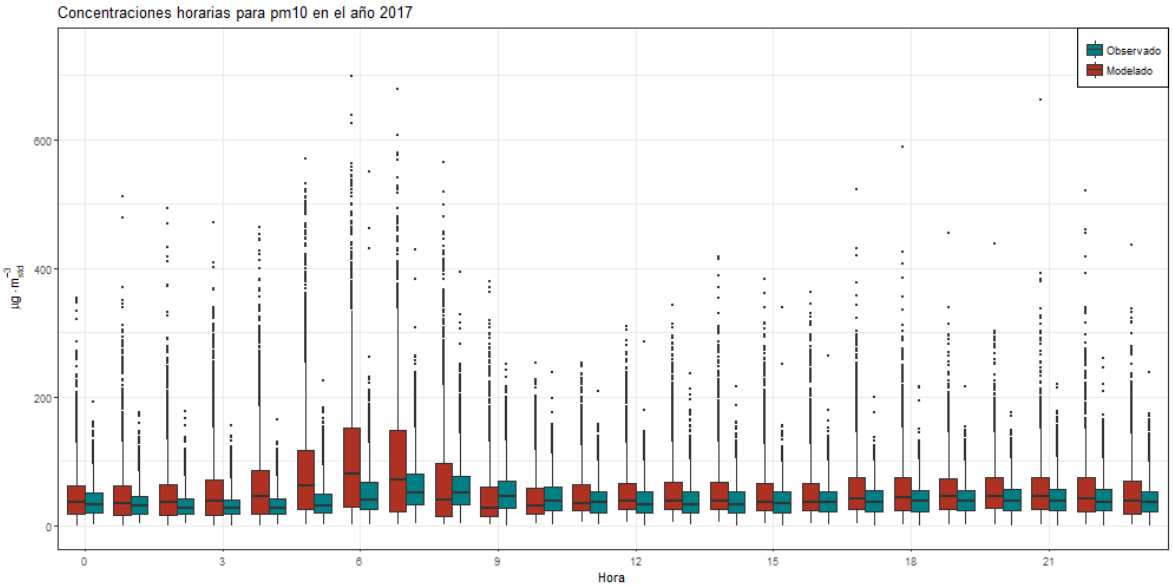


Figura 10-31 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{10}

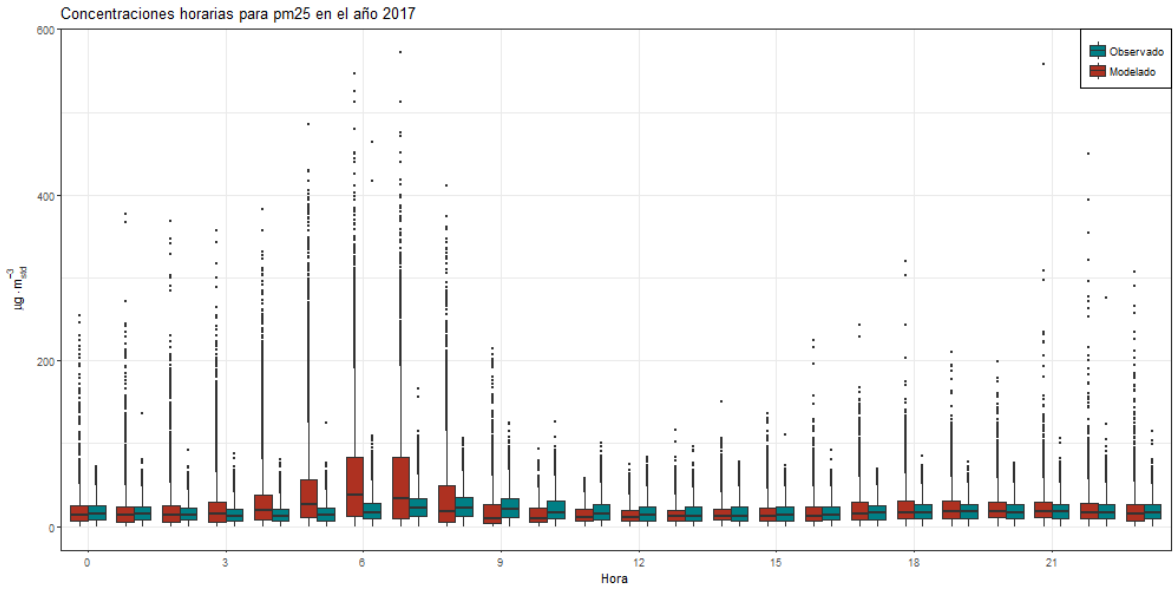


Figura 10-32 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para $PM_{2.5}$

En cuanto a los gases, las concentraciones horarias simuladas de NO_2 para el año 2017 se estimaron por encima de las concentraciones observadas, principalmente en horas de la noche y la madrugada, posiblemente por una sobre-estimación de las emisiones de NO_2 en los inventarios (Ver Figura 10-33). Esta sobre-estimación de concentraciones también es visible en el comportamiento del SO_2, teniendo concentraciones simuladas muy por encima de las concentraciones medidas en la ciudad (Ver Figura 10-34).

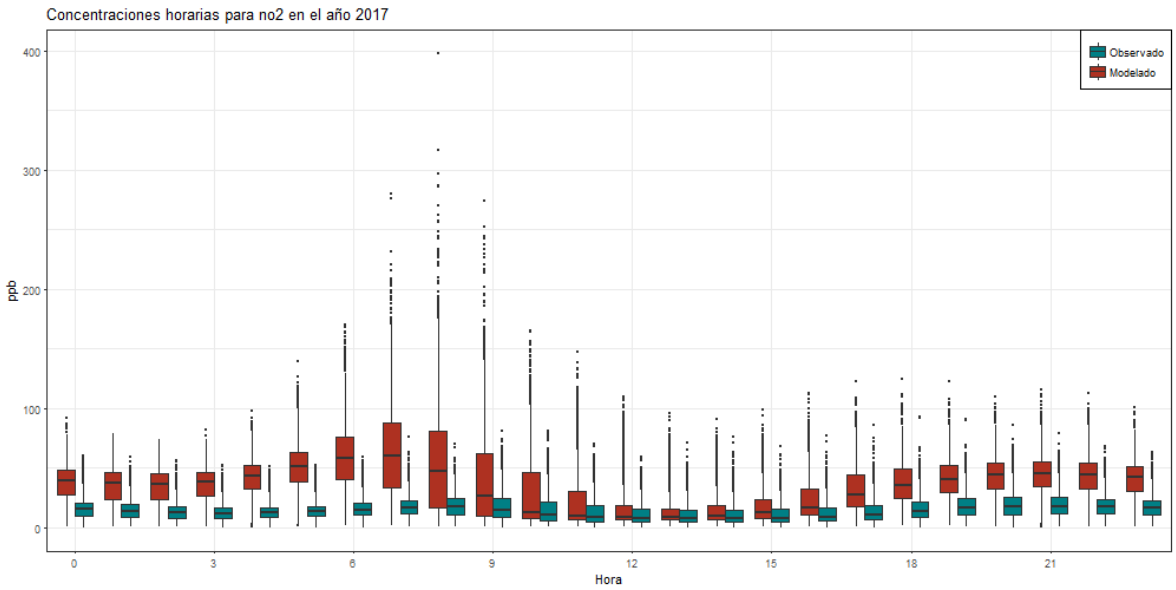


Figura 10-33 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO_2

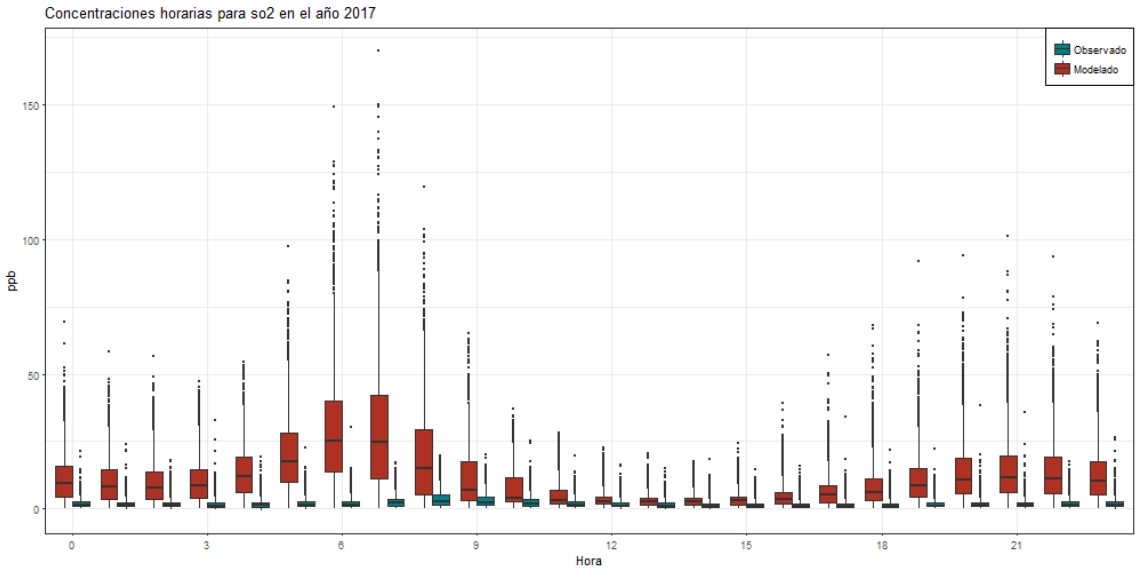


Figura 10-34. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO2

Las concentraciones de CO tienen un comportamiento similar entre las 09:00 y las 18:00, mientras que en las demás horas del día, las concentraciones estimadas por el modelo suelen ser mayores (Ver Figura 10-35); por otro lado, las concentraciones horarias de O_3 tienden a ser similares en horas de la noche, pero en horas del día el modelo sobre-estima las concentraciones de O_3 en 20 ppb en promedio (Ver Figura 10-36).

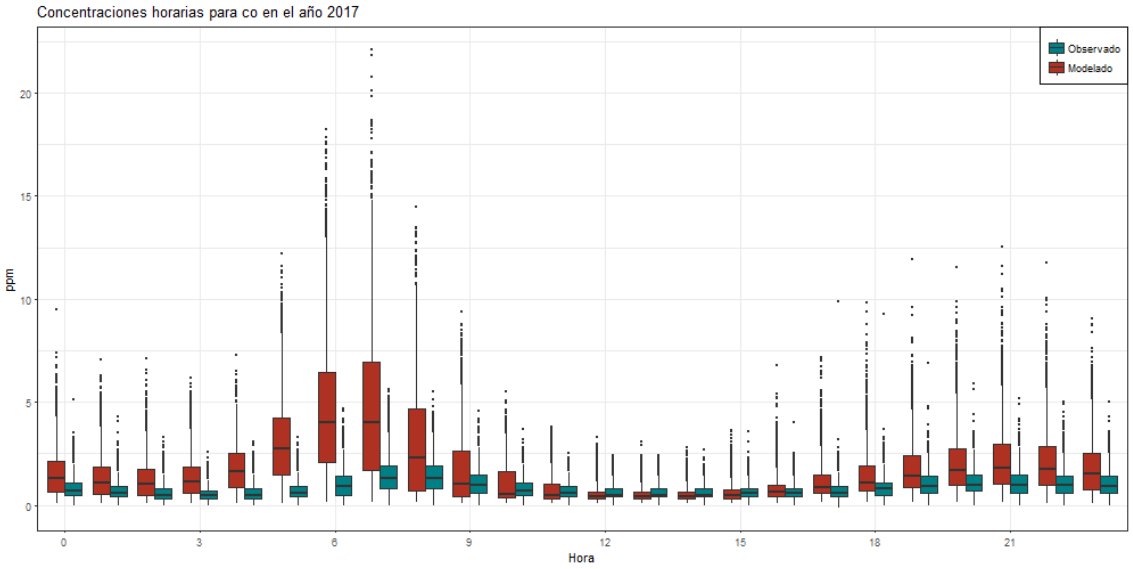


Figura 10-35. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO

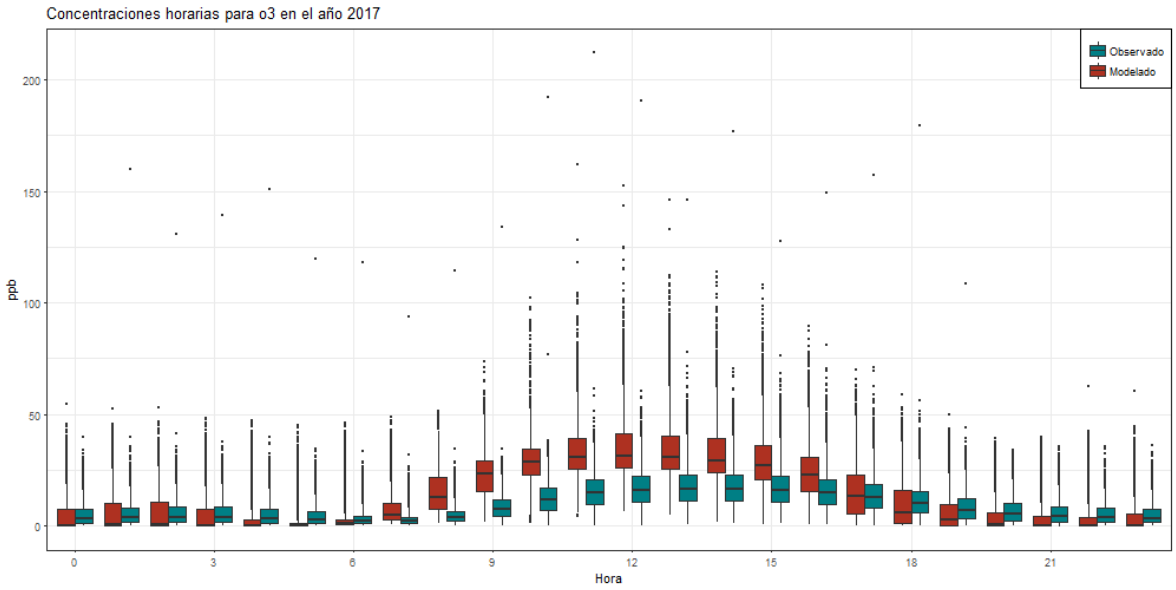


Figura 10-36 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para O_3

10.5.3.2. Indicadores de desempeño del modelo de transporte CMAQ

A continuación se muestran distintos indicadores estadísticos que indican el desempeño del modelo de dispersión empleado en Bogotá.

Tabla 10-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones

	N	FAC2	NMB	NMGE	RMSE	r	COE	IOA
PM10	65580	0,516	0,41	0,89	59,3	0,32	-0,78	0,12
PM2.5	64040	0,476	0,43	1,05	39,3	0,22	-0,83	0,08
CO	36924	0,420	1,33	1,67	2,4	0,23	-2,11	-0,38
O_3	59718	0,317	0,58	1,06	14,2	0,56	-0,48	0,26
SO_2	36617	0,189	4,96	5,20	17,1	0,04	-6,64	-0,74
NO_2	33081	0,307	1,76	1,89	35,9	0,30	-2,55	-0,44

Los indicadores presentados en la anterior tabla muestran, para cada contaminante, el número de datos (N), la fracción de predicciones dentro de un factor de dos (FAC2), el valor promedio normalizado del sesgo (NMB), el valor promedio normalizado del error grueso (NMGE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el coeficiente de correlación (r), el coeficiente de eficiencia (COE) y el Índice de concordancia (IOA).

A continuación se describen cada uno de los indicadores, teniendo en cuenta que O_i es el 'i-ésimo' dato observado y M_i es el 'i-ésimo' dato modelado para un contaminante.

FAC2: Con este indicador se estableció que el modelo se encuentra por debajo del rango de aceptación para todos los contaminantes, excepto para PM_{10} antes del ajuste.

NMB: Todos los valores presentados en la Tabla 10-1 muestran un promedio de sesgo normalizado de alrededor de 40% para material particulado, 58% para Ozono, y más de 100% para los demás contaminantes. Estos indicadores muestran que, en general, el modelo tiende a sobre-estimar las concentraciones para todos los contaminantes.

NMGE: Para el año reportado, este indicador está por encima de 1 en todos los contaminantes, excepto para PM_{10}, lo que indica que, los errores gruesos del modelo, en promedio, están en el mismo orden de magnitud que los valores promedio de concentraciones medidos por contaminante.

RMSE: En el caso de los contaminantes criterio simulados, el modelo tuvo un RMSE de ~59 $\mu g \cdot m^{-3}$ para PM_{10}, ~39 $\mu g \cdot m^{-3}$ para $PM_{2.5}$, ~2 ppm para CO, ~14 ppb para O_3, ~17 ppb para SO_2 y ~36 ppb para NO_2.

10.5.3.3. Calibración del modelo de transporte CMAQ

Con el propósito de realizar el pronóstico diario, el modelo se ajustó diariamente a las observaciones a través de técnicas geoestadísticas, donde se trata de ajustar las concentraciones horarias estimadas por el modelo con base en el comportamiento histórico, tanto del modelo como de las observaciones registradas por la RMCAB.

En la Figura 10-37 se encuentran los diagramas de Taylor que describen la bondad de ajuste de las concentraciones estimadas de PM_{10}, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, se mejora el coeficiente de correlación de Pearson de 0,2 a 0,6, se reducen los valores RMSE y los valores de la desviación estándar de los datos ajustados.

En la Figura 10-38 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de $PM_{2.5}$, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, se mejoran los estadísticos de manera similar que con PM_{10}, se mejora el coeficiente de correlación de Pearson de 0,2 a 0,6, se reducen los valores RMSE y los valores de la desviación estándar de los datos ajustados.

En la Figura 10-39 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de CO, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, el coeficiente de correlación de Pearson llega hasta 0,6 con el ajuste del modelo, y el RMSE del modelo ajustado baja hasta valores cercanos de 2 ppm.

Adicionalmente, en la Figura 10-40 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de SO_2, con respecto a las observaciones; con el ajuste, las concentraciones de SO_2 pasan a tener un coeficiente de correlación hasta de 0,6 con respecto a las observaciones y a bajar los valores RMSE hasta 2 ppb

Para NO_2, el diagrama de Taylor representa una mejora de los coeficientes de correlación de Pearson hasta de 0,8 y una reducción del RMSE de hasta 5 ppb (Ver Figura 10-41).

Finalmente, el ajuste de O_3 hacia las mediciones muestra un incremento en los coeficientes de correlación de Pearson hasta de 0,85 y una reducción de RMSE de hasta 4 ppb (Ver Figura 10-42).

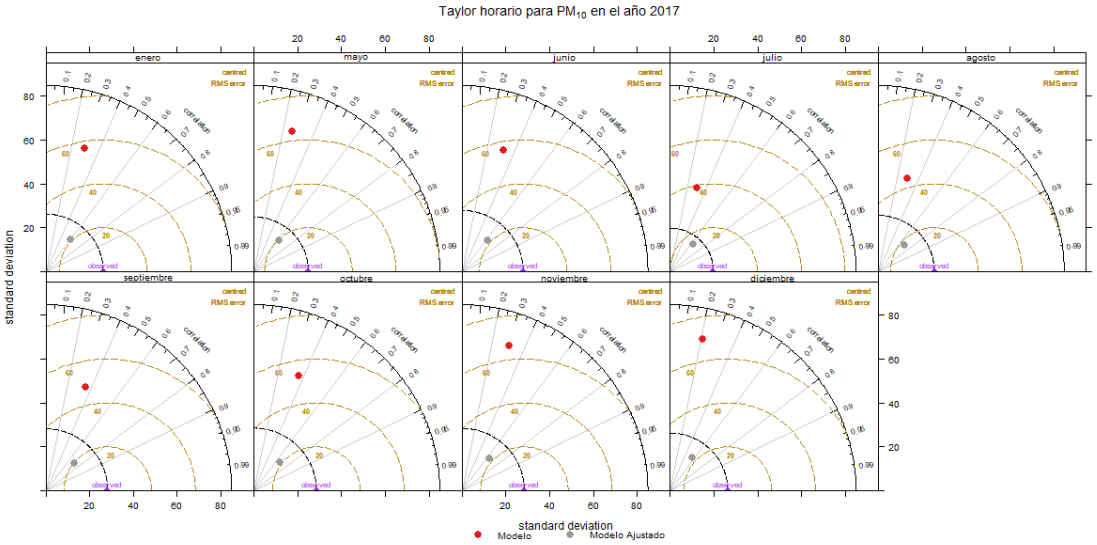


Figura 10-37 Diagramas de Taylor por mes para PM_{10}

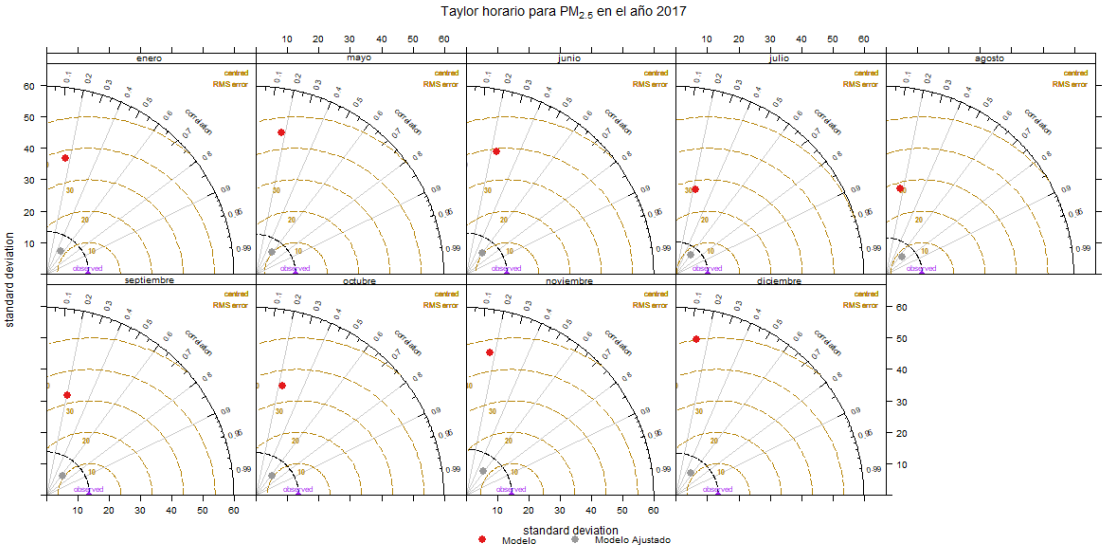


Figura 10-38 Diagramas de Taylor por mes para $PM_{2.5}$

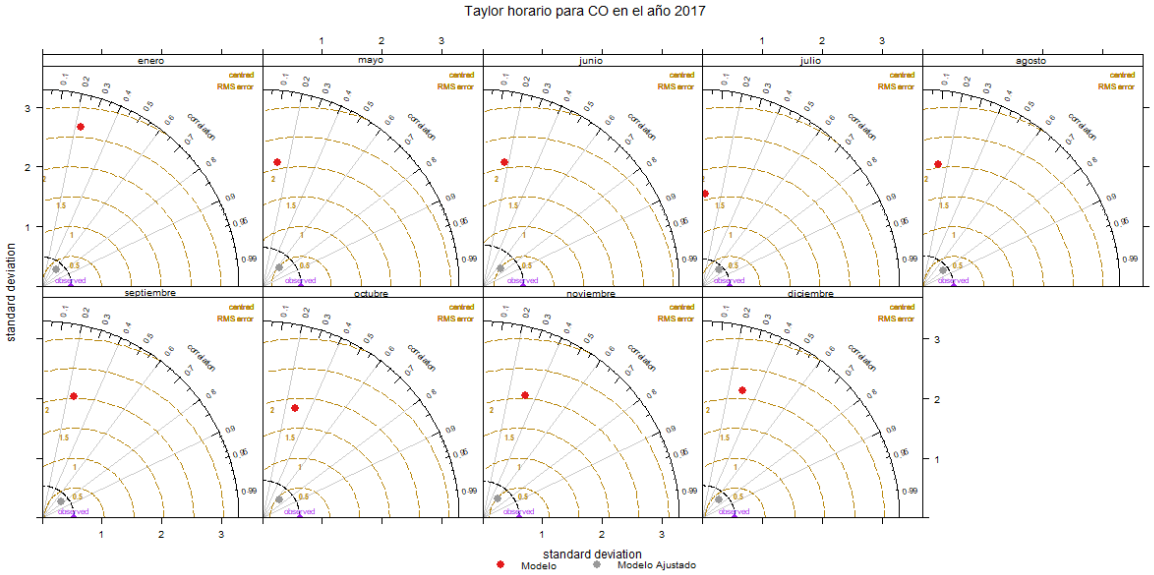


Figura 10-39 Diagramas de Taylor por mes para CO

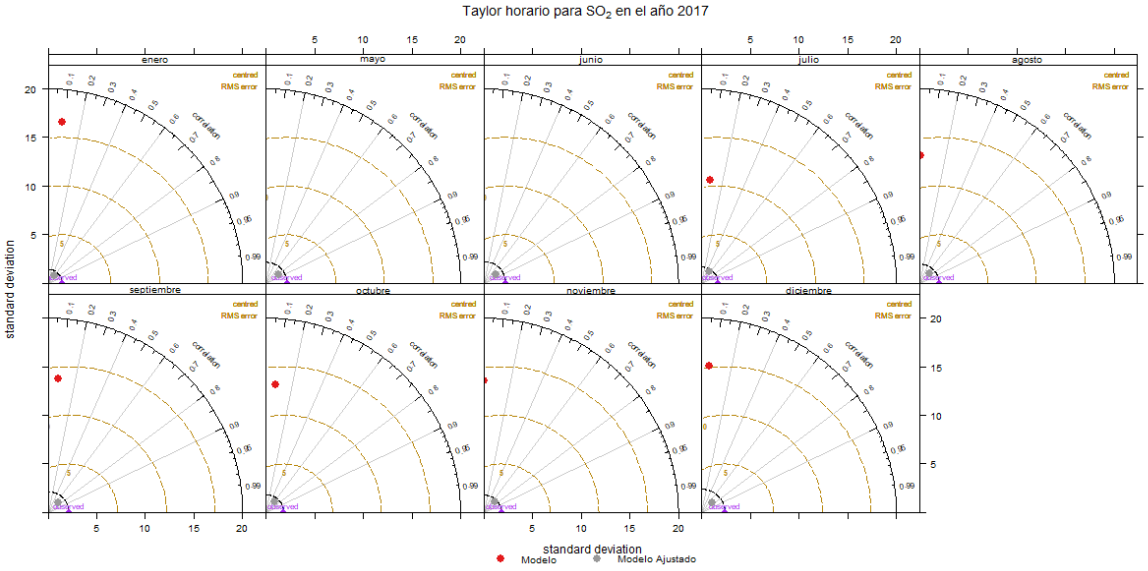


Figura 10-40 Diagramas de Taylor por mes para SO_2

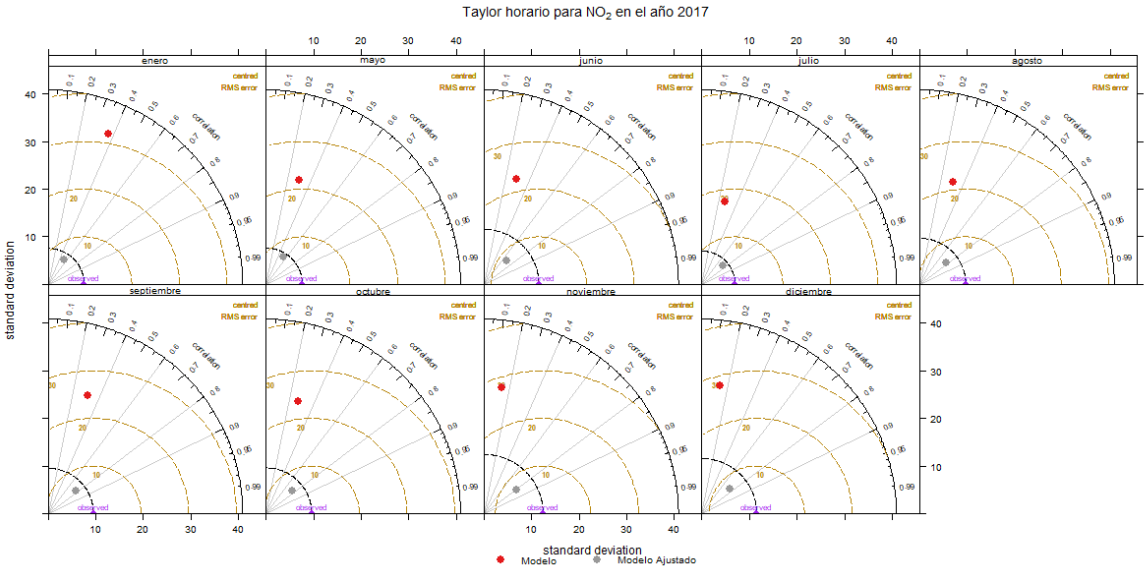


Figura 10-41 Diagramas de Taylor por mes para NO_2

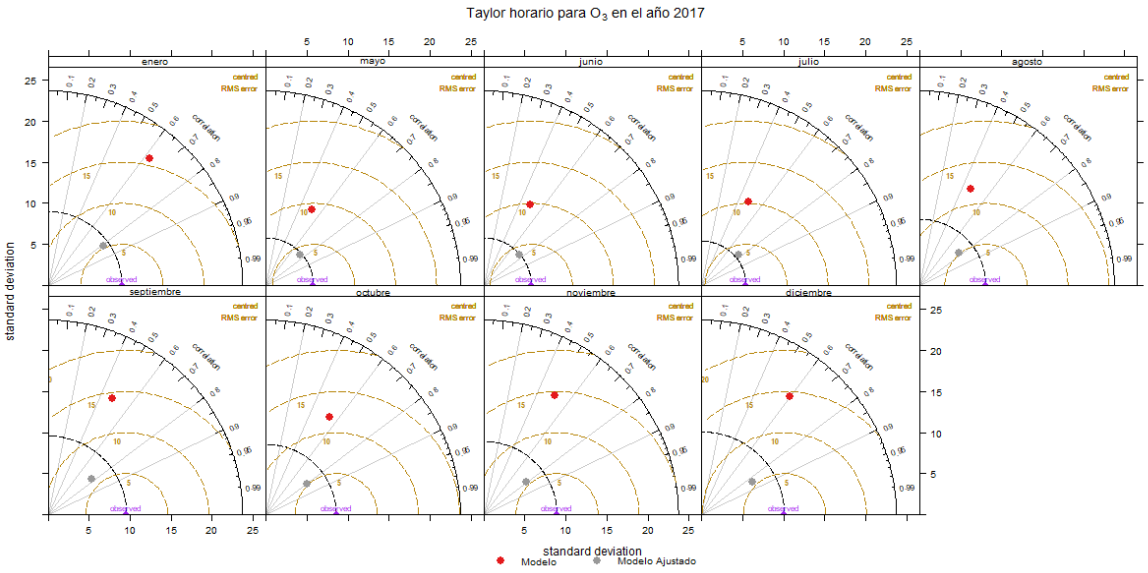


Figura 10-42 Diagramas de Taylor por mes para O_3

11 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

La necesidad de un ambiente sano permite mejorar las condiciones de salud de la población, por esta razón desde la dimensión de salud ambiental propuesta en el Plan decenal de salud pública se establecen un conjunto de políticas desarrolladas de forma transectorial que pretenden promover la calidad de vida y salud de la población, materializando el derecho a un ambiente sano, a través de la transformación de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales usando la metodología de las fuerzas motrices, la cual muestra la relación entre factores ambientales y efectos en la salud, este método permite a los gobiernos determinar e identificar los factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal y plantear acciones sectoriales y transectoriales que permitan adoptar medidas preventivas y de intervención. [9]

Dicho plan comprende 8 dimensiones prioritarias, siendo una de ellas la de salud ambiental; Uno de los componentes de esta dimensión es el hábitat saludable, buscando mejorar la calidad de vida y salud de la población, interviniendo de forma positiva los determinantes sociales y en salud que influyen en el desarrollo de un ser humano desde su nacimiento, esto reúne una serie de entornos cotidianos como: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables.

Entre los objetivos del componente de hábitat saludable, está el de intervenir con enfoque diferencial los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos.

Con base en lo anterior, el decreto 596 de 2011 por el cual se adopta la Política Distrital de Salud Ambiental, establece que una de sus líneas de acción es la de Aire, Ruido y radiación Electromagnética y que se debe operar a través de las diferentes estrategias entre ellas: Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental. Dentro de este contexto la línea, ha venido adelantado acciones intersectoriales con el propósito de analizar los factores de riesgo posiblemente asociados al desarrollo de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y adultos mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre los factores de riesgo con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá. [9]

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad por medio del decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 11-1.

9 Dimensión de Salud Ambiental, Plan decenal de Salud Publica 21021-2021. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf

Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura

NORTE	CENTRO ORIENTE	SUR OCCIDENTE	SUR
• Usaquén • Chapinero • Barrios Unidos • Teusaquillo • Engativá • Suba	• Santa Fe • La Candelaria • Los Mártires • San Cristóbal • Rafael Uribe • Antonio Nariño	• Fontibón • Puente Aranda • Kennedy • Bosa	• Tunjuelito • Ciudad Bolívar • Usme

Fuente: Secretaría Distrital de Salud

11.1 GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL

En el marco de la implementación del Consejo Territorial de Salud Ambiental (COTSA) establecido por el CONPES 3550 de 2007 por el cual se adoptan los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, en Bogotá se desarrolló la Mesa de Salud Ambiental de la Comisión Intersectorial de Protección Ambiental, Sostenibilidad Ambiental, Eco urbanismo y Ruralidad CISPAER, en donde participaron diferentes entidades de la administración Distrital.

Dentro de los avances, la Secretaría Distrital de Ambiente realizó un análisis de series temporales de datos de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá – RMCAB, estableciendo las zonas de mayor contaminación del aire en Bogotá, las cuales se ubican al Sur Occidente de la ciudad, a fin que las entidades que realizan las acciones de inspección, vigilancia y control de las diferentes fuentes de emisión (industrias, vehículos y vías en mal estado) intensifiquen sus acciones de control en esta zona y con ello reducir las emisiones en el sector.

11.2 VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL

La secretaria Distrital de Salud de Bogotá viene adelantando desde el año 2012 una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- Vigilancia Epidemiológica: Vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.

- Vigilancia Sanitaria: Contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a la contaminación del aire.

- Vigilancia Ambiental: Contempla el monitoreo de contaminación del aire extramural por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

11.3 ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD

La Secretaria Distrital de Salud desde el año 2007 viene adelantando diferentes iniciativas con el fin de documentar el impacto en la salud por la exposición a contaminación del aire en la ciudad; es así que se formuló y ejecutó un estudio epidemiológico encaminado a establecer relación entre la contaminación del aire intra y extramural y enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá, el cual fue ejecutado hasta el año 2010; dados los resultados y la necesidad sentida de la ciudad, se decidió que a partir de este estudio se diseñara e implementará un sistema de vigilancia, epidemiológico, ambiental y sanitaria del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire. La implementación de la vigilancia se ha realizado de manera progresiva y actualmente tiene una cobertura del 100% en las localidades urbanas de la Ciudad. (Figura 11-1)

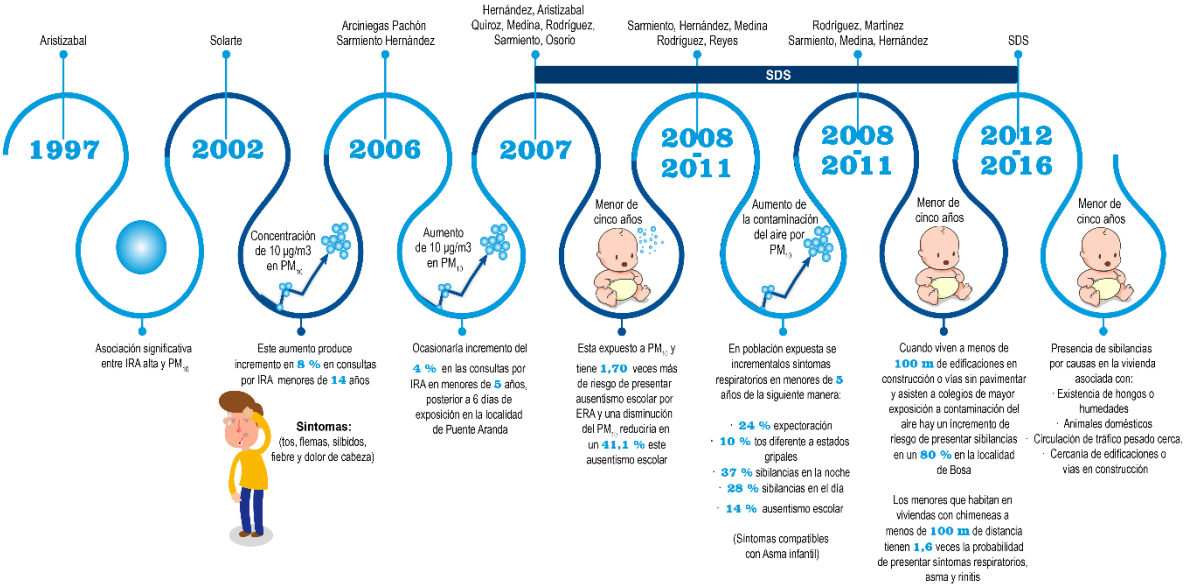


Figura 11-1.Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá.

Fuente: Secretaría Distrital de Salud

Entre los resultados encontrados se aclara, que la contaminación del aire por material particulado **NO** es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria sino un factor asociado, que en combinación con otros factores como la desnutrición, la contaminación intra domiciliaría por tabaquismo pasivo, las enfermedades de base, las deficientes condiciones higiénicas, la falta de vacunación, el clima, entre otras, produce un aumento de las enfermedades respiratorias especialmente en grupos susceptibles (menores de 5 años, mujeres embarazadas y adultos mayores). Los estudios epidemiológicos actuales no establecen un umbral crítico por debajo del cual no se afecte la salud, riesgo cero no existe, por ejemplo en las metrópolis la población está expuesta a diferentes niveles de contaminación, es así que el periodo de latencia o de inicio de presentación de síntomas relacionados con esta exposición a contaminación del aire está entre 3 y 7 días.

Cabe mencionar que las afecciones respiratorias no son los únicos efectos en salud por contaminación del aire, existen diferentes patologías relacionadas con la contaminación del aire; de acuerdo a un metanalisis realizado en el año 2017, se encontró que con incrementos de 10µg /m^3 en $PM_{2.5}$ aumenta en 0,89% la mortalidad por todas las causas, así mismo aumenta en 0,80% la mortalidad cardiovascular y en 1,10% la mortalidad por enfermedades respiratorias.[10] Por otra parte, otro evento relacionado con la contaminación atmosférica es el bajo peso al nacer, en la actualidad se encontró que la exposición materna durante el embarazo a $PM_{2.5}$ está asociada con partos prematuros y bajo peso al nacer.[11]

Con respecto a enfermedades mentales como el Alzheimer, recientemente se halló que el polimorfismo MTHFR C677T se asoció con un mayor riesgo de desarrollo de la enfermedad de alzheimer, esto se debe a que "los mecanismos epigenéticos que incluyen las toxinas ambientales de la contaminación del aire pueden afectar el desarrollo del alzheimer a través de la modificación de las expresiones de los genes en las vías de metilación".[12] Por último, en relación a posibles afecciones renales, en el año 2017 se evidenció que la exposición a material particulado ambiental puede estar asociada con un mayor riesgo de cáncer de parénquima renal.[13] Es necesario reiterar, que estas son solo algunas de las enfermedades asociadas a contaminación del aire, ya que en el mundo se continúa realizando investigaciones con el propósito de observar otras posibles asociaciones.

11.4 VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos, que permita generar información oportuna, válida y confiable para orientar medidas de prevención, vigilancia y control; es así que la Ciudad de Bogotá se adelanta el seguimiento de la morbilidad y mortalidad de este evento de notificación obligatoria.

11.4.1 MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

10 Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. Souzana Achilleos,Marianthi-Anna,Kioumourtzoglou. Disponible en: https://www-sciencedirect com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0160412016310418?via%3Dihub

11 Association between ambient fine particulate matter and preterm birth or term low birth weight: An updated systematic review and meta-analysis. Xiangyu Li,Shuqiong Huang,Anqi Jiao. Disponible en: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0269749116325507?via%3Dihub#bib20

12 Meta-Prediction of the Effect of Methylenetetrahydrofolate Reductase Polymorphisms and Air Pollution on Alzheimer's Disease Risk. Suh-Mian Wu, Zhao-Feng Chen,Lufei Young and S. Pamela K. Shiao. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5295314/

13 Outdoor air pollution and risk for kidney parenchyma cancer in 14 European cohorts. Raaschou-Nielsen, O Pedersen M, Stafoggia M. Disponible en: https://spiral.imperial.ac.uk:8443/handle/10044/1/46219

La infección respiratoria aguda (IRA) se considera un factor de riesgo para desencadenar algunas enfermedades del sistema respiratorio, como la exacerbación de enfermedades crónicas o síndrome bronco-obstructivo; estas infecciones pueden ser causadas por microorganismos virales, bacterianos y otros, con una evolución menor a 15 días; representan una de las primeras causas de atención médica en todo el mundo, tanto en la consulta ambulatoria como en la hospitalización y se encuentran entre las primeras causas de mortalidad. Los menores de cinco años y los adultos mayores son los más vulnerables para adquirir estas infecciones[14]; ahora bien, en cuanto a la carga ambiental atribuible de esta enfermedad la Organización Mundial de la Salud determino que la exposición a contaminación del aire es responsable del 7,9% de la carga de la enfermedad en el año 2012 a nivel mundial. [15]

La mortalidad por infección respiratoria aguda en menores de cinco años en Bogotá presenta una tendencia decreciente durante los últimos años representa un descenso del 25,0% en el número de casos de mortalidad por IRA en los últimos dos años. Ahora bien, la neumonía es quizás el evento más destacado de las llamadas Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) por lo cual internacionalmente se toma como un evento trazador y al igual que la IRA también ha representado un descenso en los últimos años correspondiente a un 14,8% en los casos, como se muestra en la Figura 11-2.

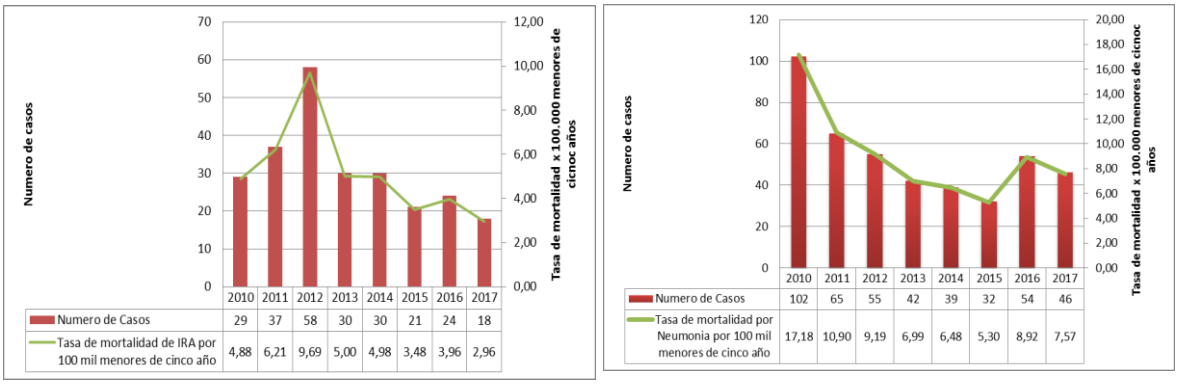


Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores de Cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2017* (* años 2015 al 2017* datos preliminares)

Fuente: Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND, 2014, 2015*, 2016* y 2017* (*Preliminares)

En relación al comportamiento por localidades en Bogotá de la mortalidad por infección respiratoria aguda (IRA) en menores de 5 años durante el año 2017, Kennedy, Engativá y Rafael Uribe son las que presentan mayores casos.

14 Plan de Choque Segundo pico de infección respiratoria aguda. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf

15 Preventing disease through healthy environments A global assessment of the burden of disease from environmental risks A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos an. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

Por otro lado, la mortalidad infantil por neumonía, se presentó con mayor frecuencia en las localidades de Bosa y Kennedy. Según cifras de la estimación de carga de la enfermedad para Colombia, en el año 2010 las infecciones respiratorias inferiores, representaron aproximadamente un 3.5% del total de muertes en Colombia en el año 2010 [16], algunos factores ambientales como la contaminación del aire interior ocasionada por el uso de biomasa (como leña o excrementos) como combustible para cocinar o calentar el hogar, el hacinamiento en los hogares y el consumo de tabaco por los padres de los menores, aumentan la susceptibilidad de los niños para que desarrollen neumonía.(2)

Respecto a la presencia de estos casos en relación con los niveles de contaminación del aire, se observa que 5 casos de mortalidad por IRA y 8 casos de mortalidad por neumonía se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición a contaminación del aire en Bogotá por material partículado $PM_{2.5}$, situación que también corresponde para material partículado PM_{10} como se muestra en la Figura 11-4.

Según los análisis de los determinantes de la mortalidad por IRA y Neumonía en menores de 5 años realizados por la Secretaría Distrital de Salud se ha evidenciado que los factores de riesgo que influyen en este evento son: ser menor de 1 año, con antecedentes de prematurez, con bajo peso al nacer, hijos de madre adolescente, pertenecientes a estratos 1 y 2, con viviendas ubicadas en cercanías a un alto tráfico vehicular, con fuentes de contaminación del aire al interior de la vivienda.



Figura 11-3. Factores de riesgo para presencia de mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años.

Fuente: Grupo ERA Secretaría Distrital de Salud

16 Estimación de carga de la enfermedad para Colombia, 2010. Disponible en: http://www.javeriana.edu.co/documents/12789/4434885/Carga+de+Enfermedad+Colombia+2010.pdf/e0dbfe7b-40a2-49cb-848e-bd67bf7bc62e

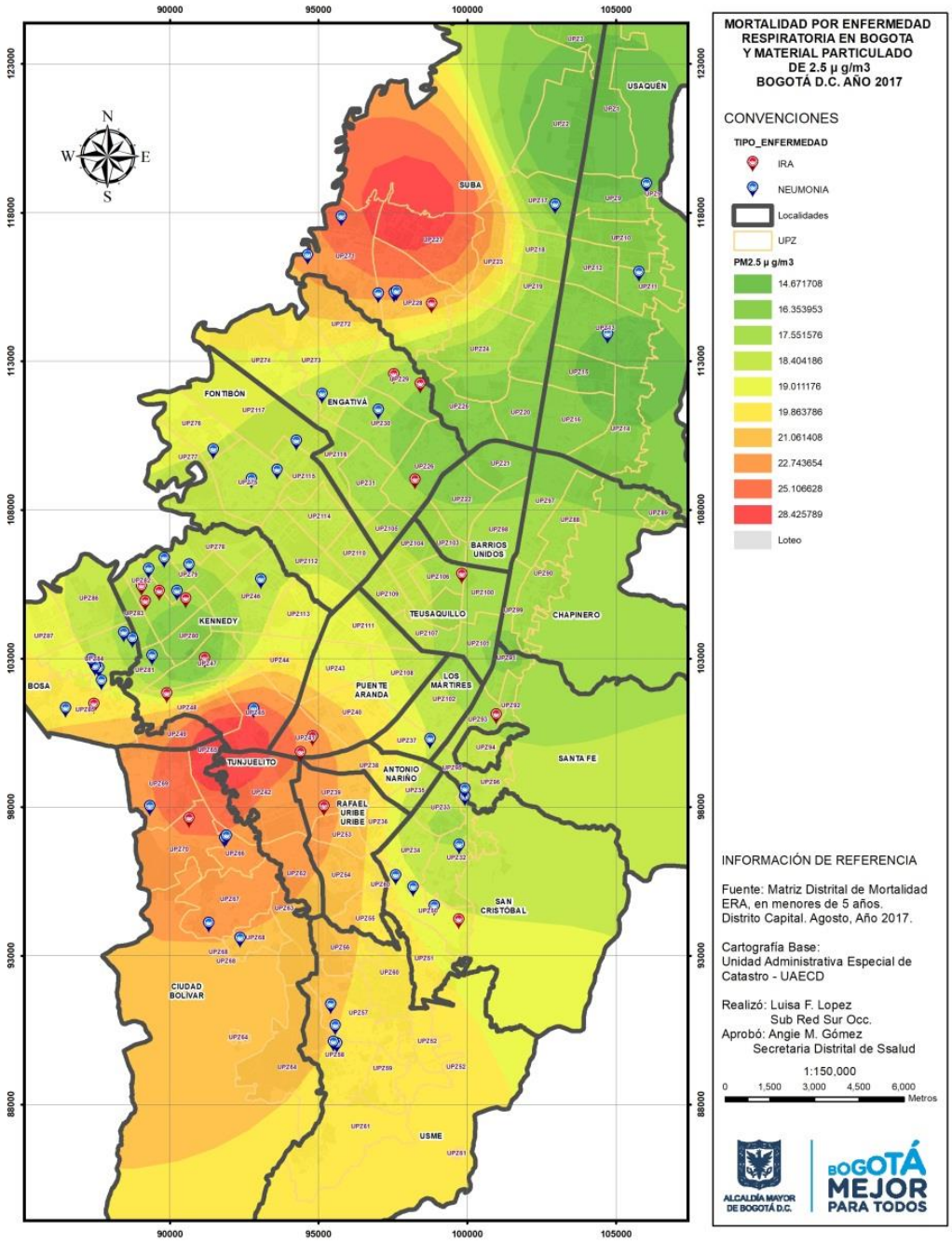


Figura 11-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material partículado 2.5 µg/m3 en Bogotá, 2017.

Fuente: Niveles de contaminación Secretaría Distrital de Ambiente y mortalidad grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

11.4.2 MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaria de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Publica 2012-2021.

11.4.2.1 Morbilidad Atendida

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud -INS-, en el informe final de IRA, indicó que hasta la semana 52 del año 2017 se notificaron 6.955.075 casos de consulta externa y urgencias por infección respiratoria aguda, para lo cual la ciudad de Bogotá aporta el 25% de los casos en el país; adicionalmente frente al impacto de la enfermedad y con base en los registros de hospitalización el Distrito Capital aporta el 32% de los casos, siendo la ciudad que más aporta a la aparición de este evento en Colombia[17].

Por lo anterior, en Bogotá la Infección Respiratoria Aguda es uno de los principales eventos de interés en salud pública que afecta a la población infantil de la ciudad. En la figura 10-5 se presenta el consolidado del total de casos que fueron reportados a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) de forma colectiva durante los años 2012 a 2017, por lugar de atención de los casos (localidad que notifica), conforme a lo establecido en el Protocolo Nacional de Vigilancia[18]. Es así que de los casos notificados, el 30% se presentan en menores de 5 años representando el grupo más vulnerable en el Distrito Capital; a través de los años se observa una tendencia creciente en la notificación de casos de Infección respiratoria aguda en menores de cinco años en Bogotá siendo el año 2017 el año que mayor incremento se ha registrado con 553.970 caso que comparado con el año 2016 corresponde a una incremento del 6,9% en la notificación de IRA y el mayor incremento de estos casos se presenta en los meses de marzo a junio del año 2017.

17 http://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/IRA%20PE%20XIII%202017.pdf

18 *Vigilancia de morbilidad por IRA : "La vigilancia de la morbilidad por IRA se realizará en todas las instituciones de salud de todos los niveles de atención; corresponde a la notificación semanal, colectiva por grupos de edad de casos de IRA en los servicios de consulta externa y urgencias, hospitalización general, hospitalización en UCI del total de casos atendidos por todas las causas, y el número de muertes por IRA del total de muertes por todas las causas".* En: http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/PRO%20Infeccion%20Respiratoria%20Aguda%20IRA.pdf

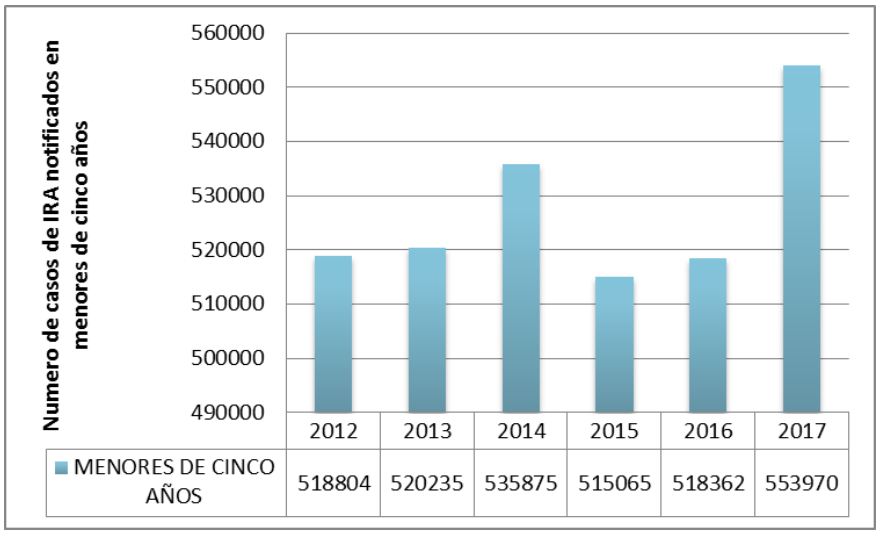


Figura 11-5.Consolidado Morbilidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2017.

Fuente: Base de datos Sivigila. Vigilancia de IRA.2012-2017

Una estrategia de Atención Primaria en Salud para reducir el impacto de esta enfermedad, es la atención de menores de 5 años en las salas de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) ubicadas en las diferentes instituciones prestadoras de servicio de salud; de esta atención se registran los casos en este grupo de edad a través de 80 salas ERA; es así que en el año 2016 se atendieron un total de 54.186 menores de cinco años y que comparado con el año 2017 se redujo la atención en 9,7% (48.931 menores) en comparación con el año anterior. Los diagnósticos atendidos en salas ERA se muestran en la Figura 11-6.

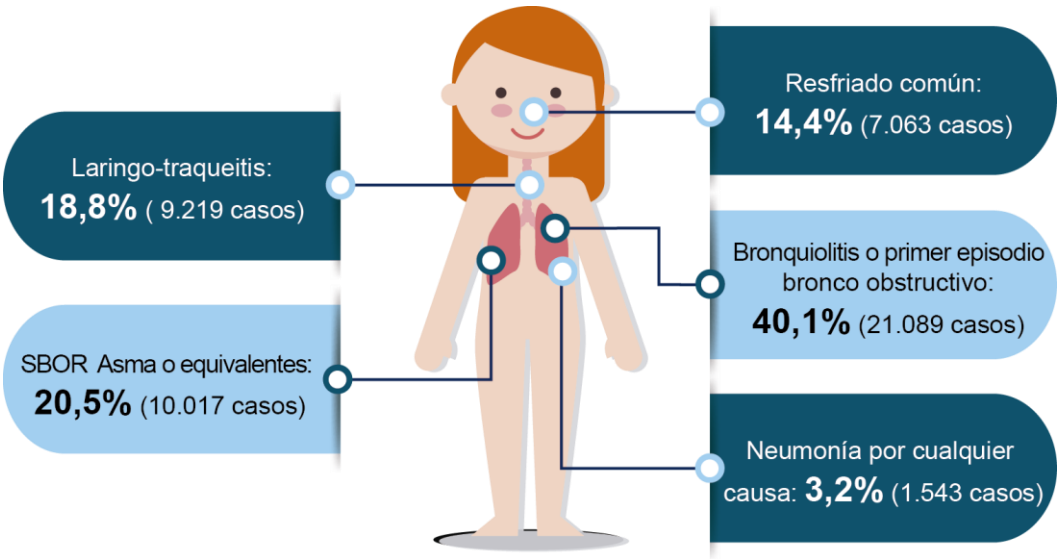


Figura 11-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2017

Fuente: Base de datos Salas ERA.2017

De los casos atendidos en menores de 5 años, el 35% se presentaron en menores de 1 año, en donde el diagnóstico más frecuente para este subgrupo de edad la presencia de bronquiolitis y Síndrome Bronco-obstructivo siendo los más graves de los atendidos en estas salas.

11.4.2.2 Morbilidad Sentida

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y adulto mayor de 60 años configurándose como una vigilancia centinela que se realiza por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire. A continuación se presentan los resultados para el grupo más vulnerable (menores de 5 años):

En el año 2017 se intervinieron un total de 5418 niños(as), de los cuales el 50,8% corresponden al sexo masculino, como aparece en la Tabla 11-2. Adicionalmente los niños analizados pertenecían en su mayoría a los estratos 1 al 3 con un promedio de edad de 37.4 meses.

Tabla 11-2. Estadísticas descriptivas según sexo, edad y estrato socioeconómico de los menores de cinco años según la exposición a contaminación del aire.

Estrato	Sexo				Total		EDAD MESES	
	Masculino		Femenino				Media	Desviación estándar
	No. de Casos	Porcentaje	No. de Casos	Porcentaje	No. de Casos	Porcentaje		
0	2	0,1%	0	0,0%	2	0,0%	37,4 meses	+/-12,8
1	422	15,3%	449	16,9%	871	16,1%		
2	1425	51,7%	1402	52,6%	2827	52,2%		
3	842	30,6%	746	28,0%	1588	29,3%		
4	62	2,3%	61	2,3%	123	2,3%		
5	1	0,0%	5	0,2%	6	0,1%		
6	0	0,0%	1	0,0%	1	0,0%		
Total	2754	50,8%	2664	49,2%	5418	100,0%		

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética–Secretaría Distrital de Salud. 2017

En el marco de la vigilancia se identifican síntomas trazadores como sibilancias (ruidos en el pecho), tos y congestión nasal, así como el impacto de la enfermedad por medio de la medición del ausentismo escolar por enfermedad respiratoria. Es así que en la Tabla 11-3, se observan las prevalencias de sintomatología respiratoria en menores de cinco años, más frecuentes fueron sibilancias alguna vez en la vida y congestión nasal dado por mocos y nariz tapada en el último año.

Las prevalencias de los diferentes síntomas respiratorios en los menores de cinco años en la muestra 2017 en Bogotá fueron menores en el grupo de Mayor exposición por lo cual, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre las variables mencionadas, por lo tanto se hizo

necesario el análisis de otros posibles factores de riesgo que pueden estar asociados con la aparición de sintomatología respiratoria en los menores de cinco años.

Tabla 11-3. Porcentaje de Síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire

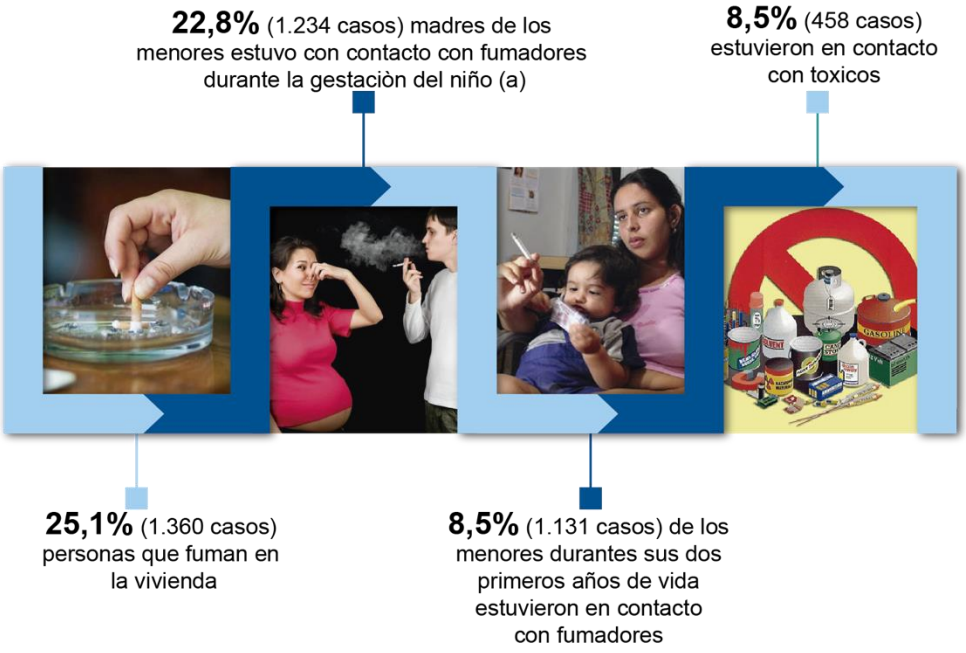
Síntomas	Exposición				Total	
	Mayor		Menor			
	Número de Casos	Porcentaje	Número de Casos	Porcentaje	Número de Casos	Porcentaje
MOCOS Y NARIZ TAPADA ULTIMO AÑO	756	26,40%	806	31,60%	1562	28,80%
SIBILANCIAS ALGUNA VEZ EN LA VIDA	1020	35,60%	911	35,70%	1931	35,60%
SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO	380	13,20%	356	14,0%	736	13,60%
TOS EN EL ULTIMO DIFERENTE A LA TOS POR INFECCIONES RESPIRATORIAS	526	18,30%	608	23,80%	1134	20,90%
TOS POR EJERCICIO LEVE	462	16,10%	421	16,50%	883	16,30%
TOS POR RISA/LLANTO	234	8,20%	291	11,40%	525	9,70%
DESPIERTA POR TOS	454	15,80%	493	19,30%	947	17,50%
AUSENTISMO ESCOLAR	729	25,40%	794	31,10%	1523	28,10%
Total	2868	100%	2550	100%	5418	100%

* Diferencias estadísticamente significativas entre las prevalencias (p< 0,05)
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética–Secretaría Distrital de Salud.2017

Desde el punto vista de impacto de la enfermedad, la presencia de Sibilancias en menores de 5 años es un síntoma compatible con el asma, siendo esta una enfermedad principalmente de tipo alérgico en donde la contaminación del aire es un factor de riesgo importante para desarrollar este evento; existe una fuerte evidencia que muestra que el aumento de la contaminación del aire provoca las exacerbaciones del asma y aumentan el número de hospitalizaciones en adultos y niños.

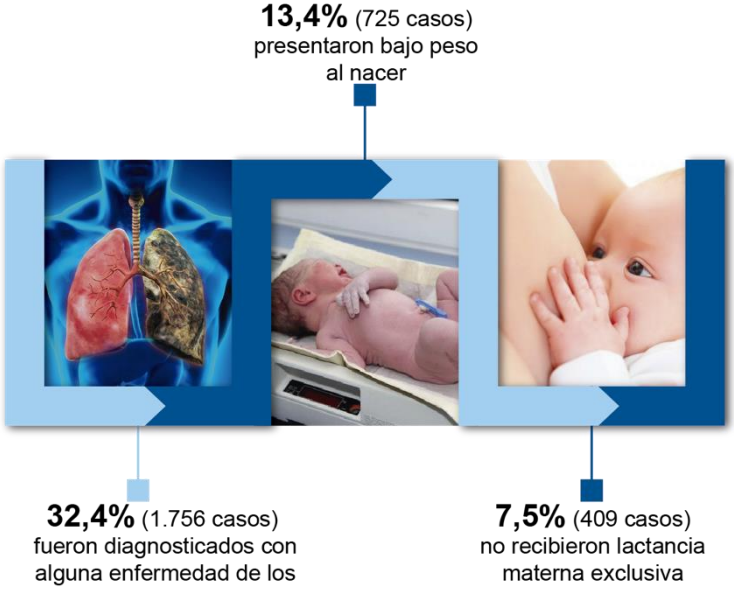
Posteriormente se comparó la prevalencia entre los expuestos a distintos factores de riesgo con relación a los no expuestos, como se muestra a continuación:

- Exposición a tóxicos



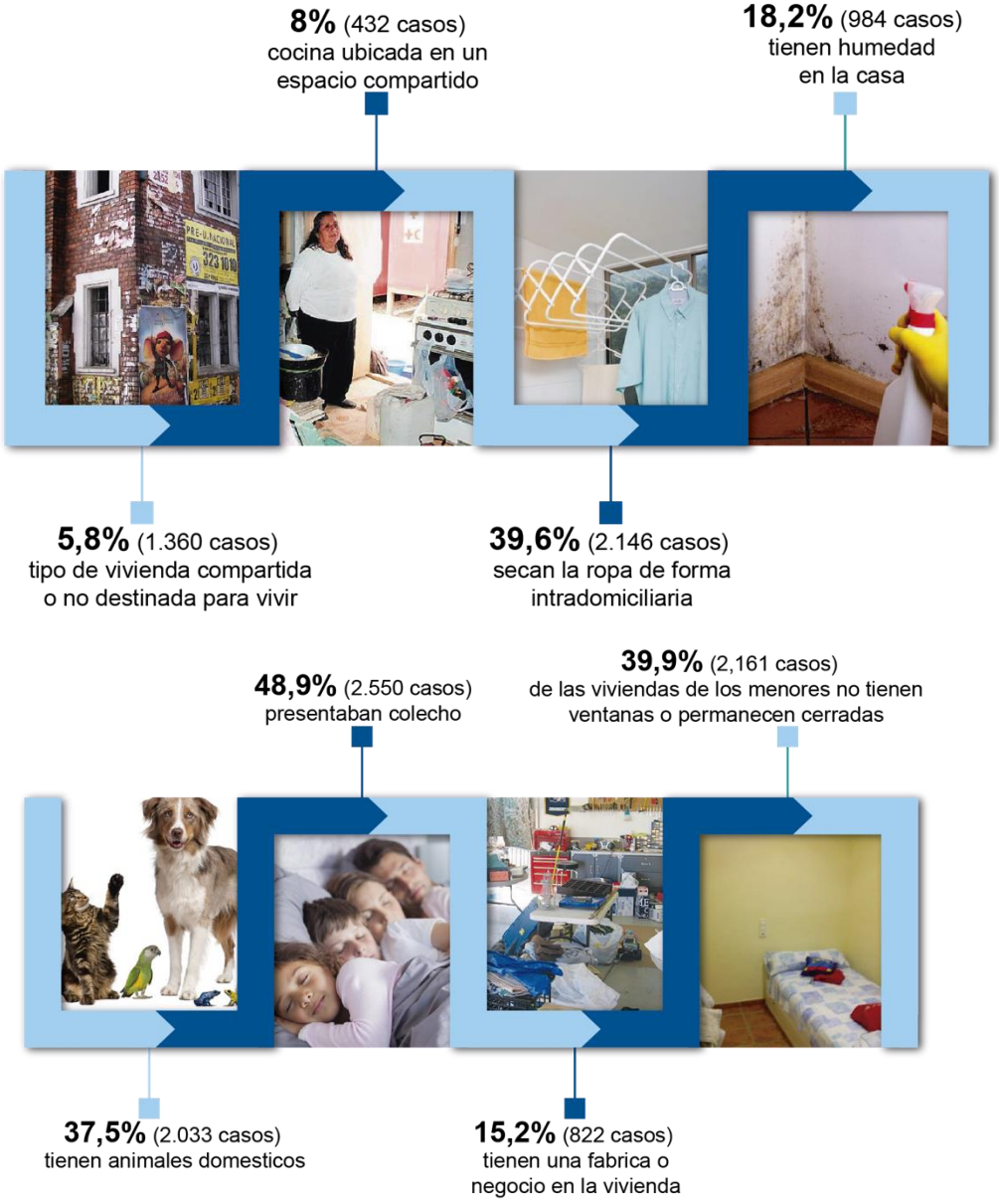
- Antecedentes en salud

En cuanto a los antecedentes en salud de los menores con sibilancias, el 32,4% (1756 casos) fueron diagnosticados con alguna enfermedad de los bronquios o pulmones, el 13,4% (725 casos) presentaron bajo peso al nacer y el 7,5% (409 casos) no recibieron lactancia materna exclusiva.



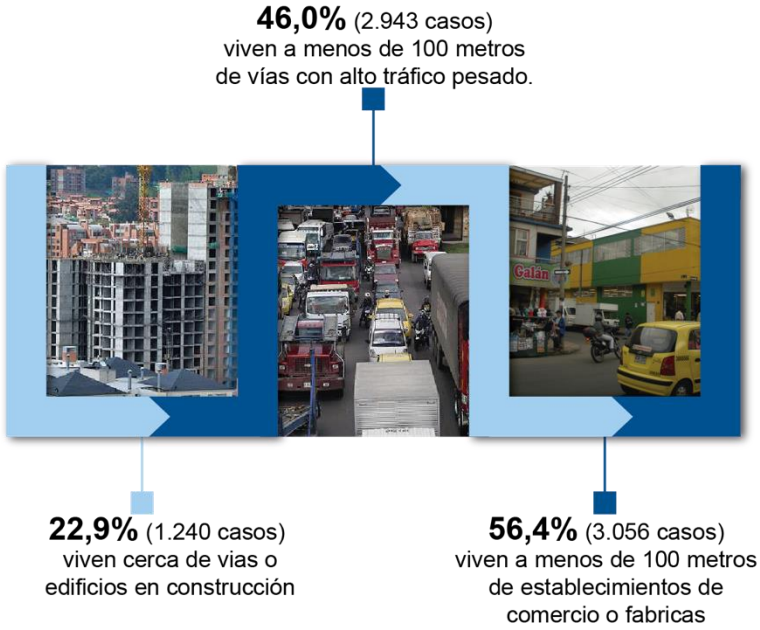
Fuentes fotos:
https://www.lavidalucida.com/10-remedios-caseros-para-curar-la-bronquitis.html
http://www.consumer.es/web/es/bebe/bebes/una-semana/2017/04/18/225184.php
http://ve.emedemujer.com/embarazada/la-lactancia-materna-reduce-riesgo-mortalidad-infantil/

- Condiciones intradomiciliarias



Fuentes fotos:
https://www.unipymes.com/subastaran-31-edificaciones-que-estan-abandonadas-en-bogota/
http://www.la-razon.com/suplementos/especiales/Vida-refugios_5_1565893400.html
http://www.decoracionia.net/tendederos.html
https://mejorconsalud.com/7-trucos-infalibles-deshacerte-la-humedad-la-casa/
http://blog.segurosbroker.com/animales-domesticos-o-no-y-el-seguro/
http://cadenaser.com/programa/2016/11/08/hoy_por_hoy/1478602677_519522.html
http://ellatinoonline.com/news/2016/apr/28/crecen-negocios-en-casa-informo-lider-de-sba-en-sd/

- Condiciones extradomiciliarias



Fuente fotos:
http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16469767
http://mapio.net/pic/p-59506

Según la organización mundial de la salud (OMS), ocurren más de 500.000 muertes al año por infecciones respiratorias atribuidas a la contaminación del medio ambiente en el mundo. En relación a la contaminación del aire, se estima que la quema de carbón o biomasa en interiores, aumenta el riesgo de padecer cáncer de pulmón; el estudio de carga de la enfermedad estimó que el 14% de los cánceres de pulmón son atribuibles a la contaminación del aire, el 17% a contaminación del aire en el hogar, 6.5% al radón, 1.8% al humo de tabaco de segunda mano y el 6,6% a riesgos ocupacionales. Adicionalmente se encontró que la exposición a la contaminación del aire puede reducir la esperanza vida de la población hasta varios años, este factor es responsable de aproximadamente el 24% de la carga mundial por enfermedad isquémica del corazón. Por otro lado, en el año 2012, el 25% de la carga de la enfermedad por accidente cerebrovascular (en DALYs) fue atribuible a la contaminación del aire exterior.[19]

De acuerdo al análisis multivariado, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre la exposición a la contaminación atmosférica a la que estuvieron sometidos los niños estudiados y la ocurrencia de sibilancias en los menores de cinco años.

Sin embargo si se logró determinar que los siguientes factores de riesgo se asociaron con la presencia de este síntoma de la siguiente manera:

19 Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks. A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos and M Neira. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

✓ **Factores de riesgo ambiental**

- Los niños que habitan a menos de 100 metros de vías con tráfico pesado tienen 22,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que habitan en una vivienda que poseen humedad tienen 32.1% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que conviven con animales domésticos tienen 22.6% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que están en contacto con sustancias toxicas tienen un 50,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que están en contacto con fumadores durante sus dos primeros años tienen 50,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que habitan una vivienda compartida tienen 51,5% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.

✓ **Otros**

- Los niños que nacen con bajo peso tienen 33,1% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año
- Los niños que han tenido una enfermedad de bronquios o pulmones tienen 6,8 veces más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- A menor edad del niño más posibilidad de presentan sibilancias en el último año.

Dados los resultados anteriormente expuestos, se concluye que en cuanto a la exposición a tóxicos se observa una asociación estadísticamente significativa entre el tabaquismo pasivo durante los dos primeros años de vida del menor y la presencia de sibilancias en los menores de cinco años; cabe mencionar que la exposición a humo de tabaco de segunda mano sigue siendo el principal condicionante de los síntomas respiratorios en menores de 5 años, con lo cual se hace necesario fortalecer la prevención de consumo de tabaco al interior de los hogares.

Otro factor de gran importancia en la contaminación ambiental es el tráfico circulante; según varios estudios, las emisiones de los vehículos son una de las fuentes más relevantes de exposición a contaminación del aire para el ser humano, esta exposición a material particulado puede darse al caminar o pasear en bicicleta por las calles o avenidas(5).

11.5 VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaria Distrital de Salud realiza el análisis de los niveles de calidad del aire en la ciudad de Bogotá con base en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS; con base en los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Para el año 2017 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá reporto un total de 3316 datos válidos de material particulado PM_{10}. Los datos fueron reportados por 11 estaciones las cuales

fueron: Guaymaral, Suba, Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Min Ambiente, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal - Sevillana, Tunal y San Cristóbal. Las estaciones que registraron las mayores excedencias teniendo como referencia la guía Organización Mundial de la Salud, la cual sugiere concentraciones de 50 µg/m^3; fueron Carvajal 6,8% (n=225) y con un Kennedy 5,2% (n=172), Puente Aranda con un 4,3% (n=141) y Suba Corpas con un 4,2% (n=140) con respecto al total de datos diarios. Adicionalmente, en el Distrito se reportaron un total de 920 excedencias de los promedios diarios respecto a la guía OMS de 50 µg/m^3 representando un 28% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 11-7.

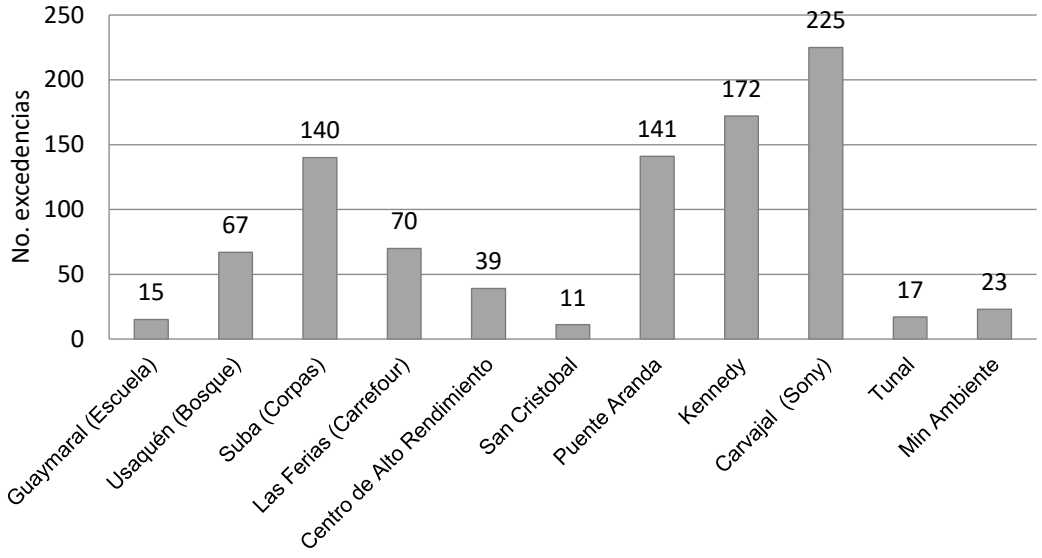


Figura 11-7. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá en el año 2017

Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

De igual forma, en el Distrito se reportaron un total de 769 excedencias de los promedios diarios de $PM_{2.5}$ respecto a la guía OMS de 25 µg/m^3 representando un 23% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 11-8.

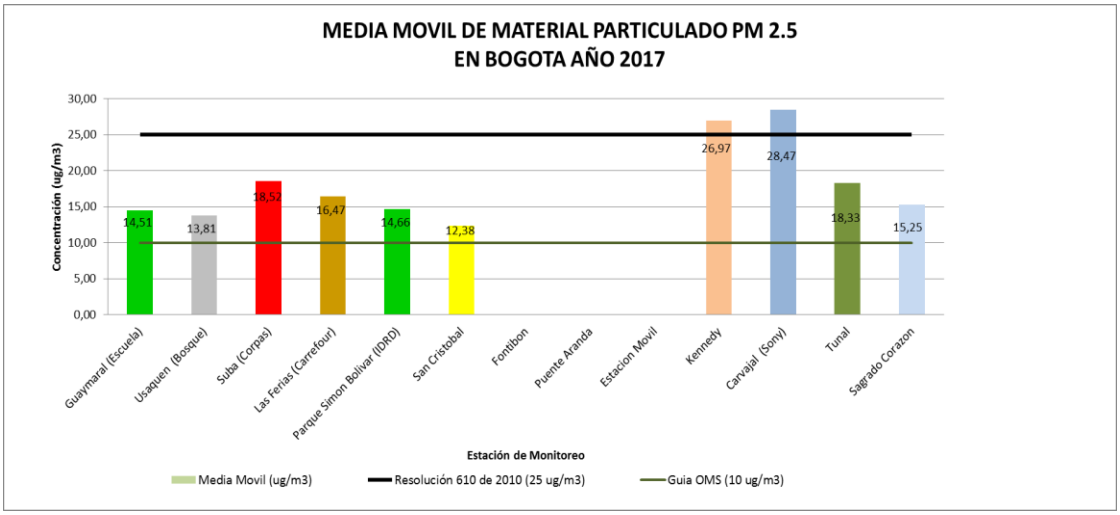


Figura 11-8. Promedios de las medias móviles de concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación para el año 2017

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas se observa en la Figura 11-9 y la Figura 11-10 la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en Bogotá, en donde de forma histórica se presentan dos picos de excedencias, el primero en los meses de enero a marzo y el segundo en los meses de septiembre a noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en julio y agosto. Es así que, en los 365 días del año, entre el 2011 y el 2017 en promedio el 38% de los días excede la recomendación dada por la OMS de 50 µg/m^3.

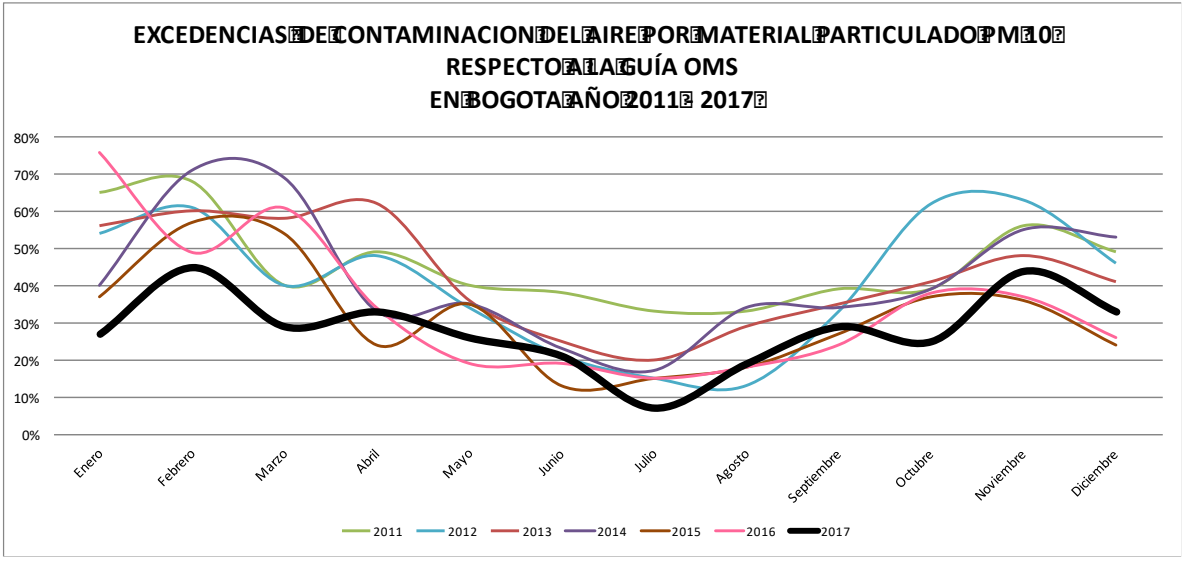


Figura 11-9. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM_{10} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2017

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

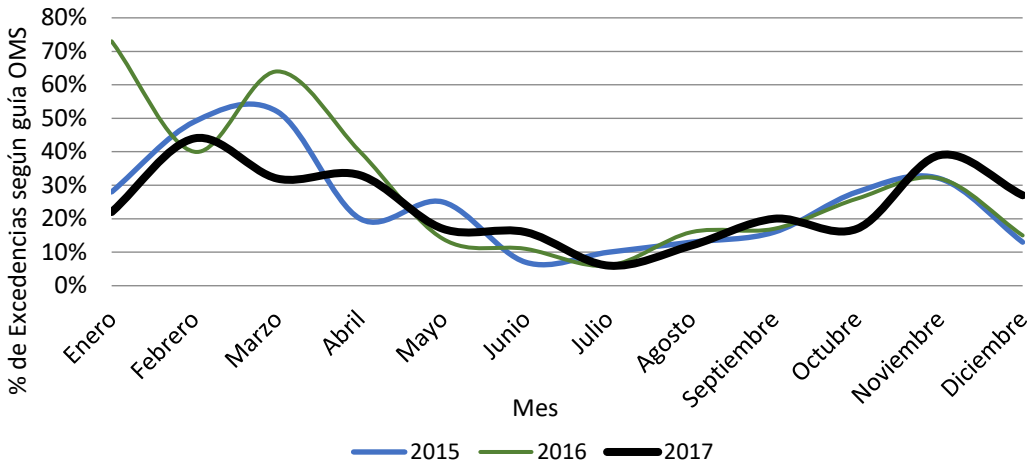


Figura 11-10. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2017

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Ahora bien, con base en los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, se evidencia que para el caso del material particulado PM_{10} para el año 2017 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo de 70 µg/m^3, siendo la primera vez en los últimos 4 años que se logra, sin embargo y aunque se ha mejorado los niveles de calidad para el caso de las metas establecidas para el objetivo intermedio 2 y 3 todavía falta alcanzar el nivel de cumplimiento.(Tabla 11-4)

Tabla 11-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM10 establecidos por la Organización Mundial de la Salud

Año	Cumplimiento objetivo Intermedio 1 (70 µg/m^3)	Cumplimiento objetivo Intermedio 2 (50 µg/m^3)	Cumplimiento objetivo Intermedio 3 (30 µg/m^3)	Guía de Calidad del Aire (20 µg/m^3)
2014	83%	50%	0%	0%
2015	91%	73%	27%	0%
2016	91%	55%	9%	0%
2017	100%	73%	27%	0%

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Para el caso del material particulado $PM_{2.5}$ para el año 2017 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo 35 µg/m^3, sin embargo, aunque falta cumplir con los objetivos 2 y 3 se evidencia un aumento en el nivel de cumplimiento para el ultimo llegando a un 50%, cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud. (Tabla 11-5).

Tabla 11-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM2.5 establecidos por la Organización Mundial de la Salud

AÑO	Cumplimiento objetivo Intermedio 1 (35 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 2 (25 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 3 (15 µg/m³)	Guía de Calidad del Aire (10 µg/m³)
2015	100%	80%	40%	0%
2016	100%	100%	30%	0%
2017	100%	80%	50%	0%

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

11.6 VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta de las quejas recibidas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que posiblemente están afectando la salud; para el año 2017 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 57 relacionadas con contaminación del aire por material partículado. (Figura 10-11). Las 57 quejas atendidas en el año 2017 equivalen a una reducción del 23% con respecto a las atendidas en el año 2016.

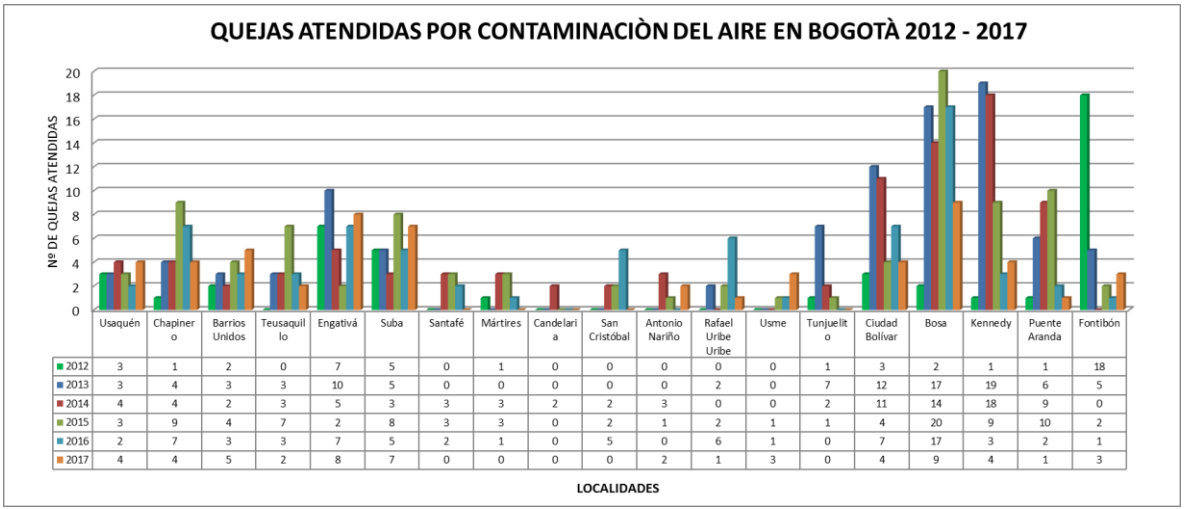


Figura 11-11.Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2017.

(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2017)

Las localidades donde se presentó la mayor frecuencia de reporte fueron: Bosa con un 15,8% del total de quejas (n=9), Engativá con un 14% del total de quejas (n=8) y Suba con un 12,3% del total de quejas (n=7).

Durante el proceso de atención a las quejas se indaga frente a los conocimientos, actitudes y prácticas relacionadas con prevención de la exposición a contaminación del aire y sus posibles efectos sobre la salud; es así que se logró encuestar a un total de 350 personas en 38 UPZ, de estas

personas el 65% eran de sexo femenino y 35% de sexo masculino, sus edades se encuentran entre los 14 y 82 años con un promedio de 44 años. (Figura 11-12)

En dicha población el 65% reporto que el tipo de fuente objeto de la queja fue área (quemas a cielo abierto, explotación de canteras, inadecuada disposición de residuos sólidos) y el restante 35% correspondió a tipo de fuente fija como restaurantes, asaderos, parqueaderos, quemas al interior de viviendas, talleres de mecánica entre otros.

Al encuestar a las personas respecto a la forma en que percibían la contaminación del aire dentro del hogar el 35% lo percibe en forma de humo, el 34% en forma de olor y el 23% en forma de polvo. El tiempo de exposición a la problemática objeto de la queja en un 56% es mayor a un año, en un 88% en horario diurno y el 12% de las personas comentaron percibir la contaminación en la noche. Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas, se tiene que el 63% considera que la contaminación del aire le ha afectado de alguna manera el estado de salud principalmente por el aumento en síntomas respiratorios como tos, estornudos, alergias otros como irritación ocular, dolor de cabeza y estrés.

Respecto a la exposición a contaminantes del aire por otras fuentes diferentes a la que motivo la queja se tiene que el 42% de las viviendas se encuentran cerca de vías de tráfico pesado, el 30% tiene cerca edificaciones en construcción, el 15% tiene exposición al humo de cigarrillo y el 13% reporta presencia de humedad y hongos al interior de la vivienda. Estos últimos se consideran como factores adicionales de exposición que en asociación con las problemáticas ambientales incrementan el riesgo para presentar enfermedad respiratoria.

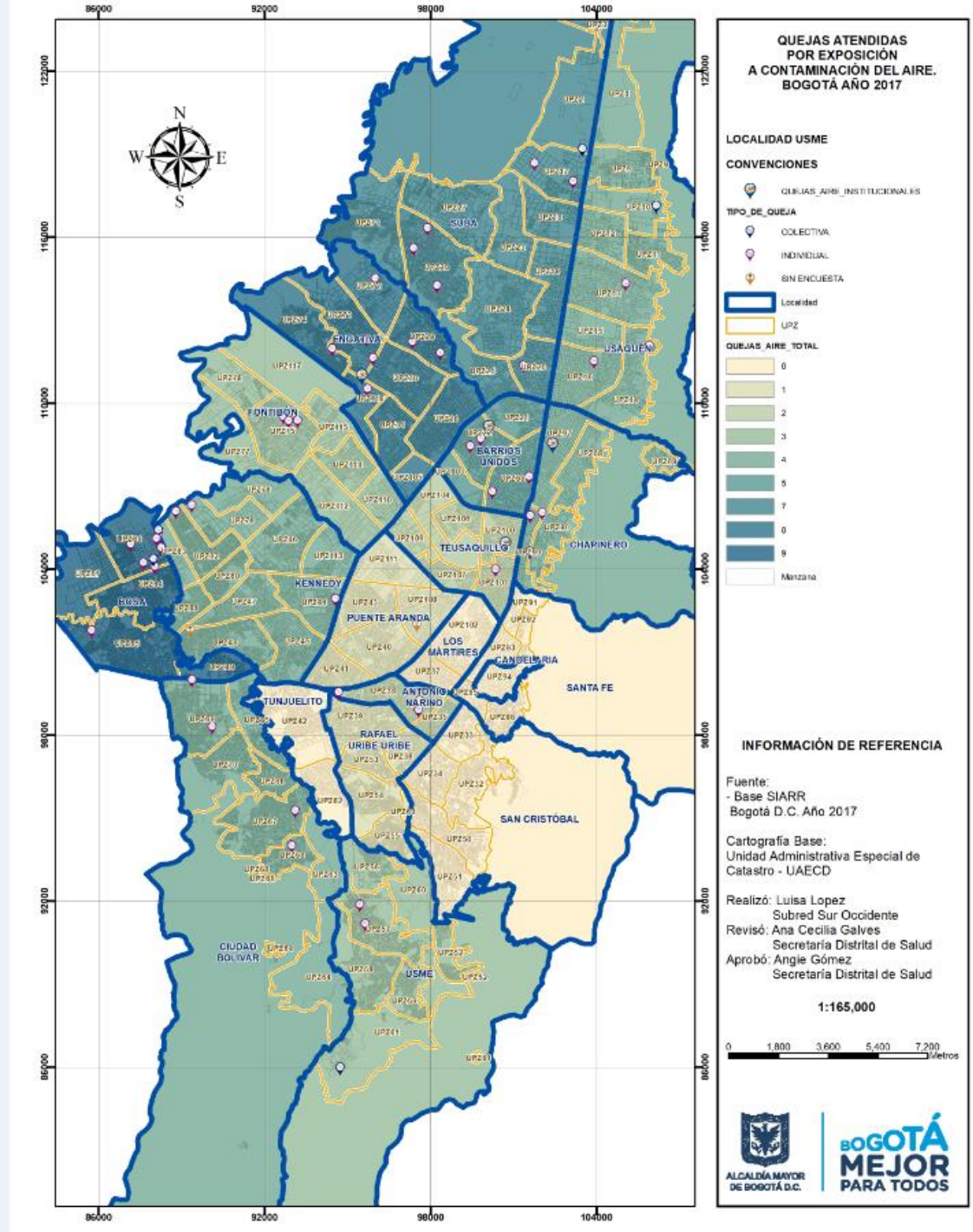


Figura 11-12. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire en Bogotá, 2017

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

11.6.1 ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION

La Secretaría Distrital de Salud suscribió con la Secretaría Distrital de Ambiente el Convenio Interadministrativo 1353 de 2015, el cual tiene por objeto "Aunar esfuerzos entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Salud, para articular el desarrollo de acciones de cooperación técnica e investigativa, como parte de las estrategias de implementación de la Política Distrital de Salud Ambiental y del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá –PDDAB".

Producto de este convenio se cuenta con la expedición de la Resolución 2410 de 2015 "Por medio de la cual se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA– para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones" y de la Resolución 595 de 2015 "Por el cual se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire"

De acuerdo con las disposiciones establecidas en la Resolución 2410 de 2015 en relación con la "Estrategia pedagógica, de comunicación y de divulgación del Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA–", esta Secretaría en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente elaboró el Manual de identidad del Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA (disponible para su consulta en el link http://201.245.192.252:81/App_AQI/AQI.es-CL.pdf).

Al respecto, en el año 2017 la Secretaría Distrital de Salud desarrollo piezas comunicativas, a través de las cuales se realiza la divulgación del IBOCA, así como las recomendaciones en salud para prevenir la exposición a contaminación del aire (disponible para consulta en el Observatorio de Salud Ambiental de Bogotá http://biblioteca.saludcapital.gov.co/ambiental/)

Como complemento a esta estrategia y conscientes de la necesidad de hacer partícipe a la ciudadanía en la prevención y el control de los factores que ponen en riesgo la calidad del aire y por ende la afectación en su salud, el 1 de Junio de 2017 se presentó a la comunidad la herramienta informática que permite **conocer el Pronóstico** del Índice Bogotano de Calidad del Aire "IBOCA" en el que consiste en un modelamiento de calidad del aire de Bogotá, con una prospección de 48 horas empleando el Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá de la Secretaría Distrital de Ambiente, siendo este lanzamiento realizado con medios de comunicación por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Distrital de Salud y acompañamiento del Ministerio de Ambiente.





Figura 11-13. Registro fotográfico presentación Pronóstico IBOCA

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética. SDS

Es importante mencionar que el pronóstico IBOCA se complementa con el boletín diario de pronóstico experimental de calidad del aire para Bogotá, publicado en la página web del Observatorio de Salud, que puede ser consultado a través del siguiente links: http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/8091b853a4dfbdf5c477a01ca21b2cd9/pronostico-iboca-bogota.html

En el año 2017, según el reporte de tráfico de la página del Observatorio de Salud Ambiental este índice fue consultado por 6.537 personas.



Figura 11-14. Portal del Pronóstico del IBOCA

Fuente: Observatorio de Salud Ambiental. SDS

Así mismo, en el marco de las acciones de Salud Urbana contratadas por medio del Plan de Intervenciones Colectivas –PIC- en el espacio público, socializó este índice a 122.547 mediante diferentes actividades lúdicas, entrega de material POP a niños y jóvenes que se dinamizan a través de la estrategia “Cuídate y Se Feliz”, orientada a dar una respuesta integral a la comunidad en materia de prevención de enfermedades cardiovasculares generados por diferentes factores de riesgo tales como el tabaquismo, la inactividad física y la contaminación del aire, dando información sobre el acceso y uso del pronóstico del Índice de Calidad del Aire en Bogotá.

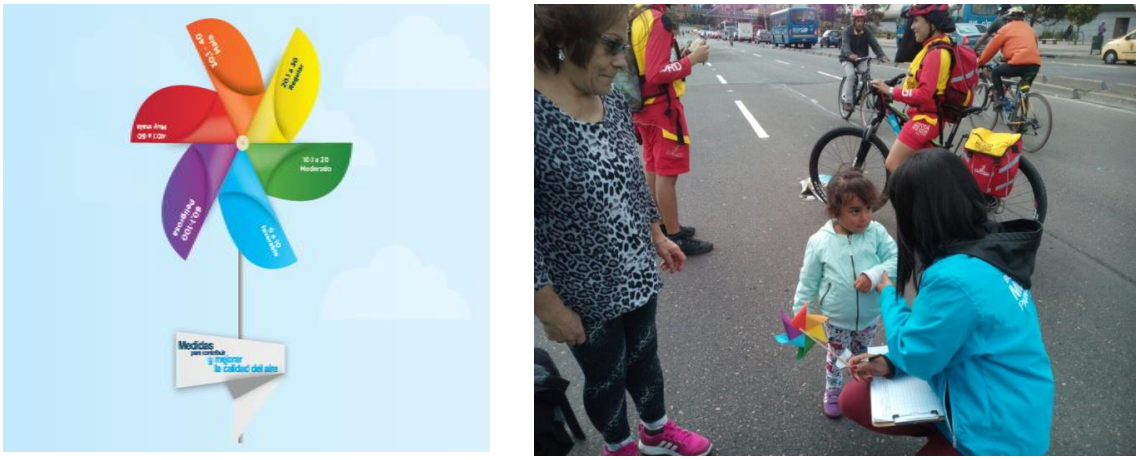


Figura 11-15. Registro fotográfico de la socialización del IBOCA

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Sala, W. J. (2011). *Neumología clínica.* Elsevier.

Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0.* King's College London.

Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

European Comission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm

Helen E. Wood, N. M. (2015). Effects of Air Pollution and the Introduction of the London Low Emission Zone on the Prevalence of Respiratory and Allergic Symptoms in Schoolchildren in East London: A Sequential Cross-Sectional Study. *Journal PLoS ONE*, 1-12.

Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.

Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Johansson C, Lövenheim B, Schantz P, Wahlgren L, Almström P, Markstedt A, et al. Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. Sci Total Environ. 15 de abril de 2017;584-585:55-63.

Luis JorgeHernández, G. Y. (2012). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. *Sociedad Colombiana de Pediatria*, 124-138.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.*

NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966

NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

OMM. (1974). *Compendio de Meteorologia paar el uso del personal meteorologico de la clase I y de clase II.* (A. Wiin-Nielsen, Ed.) Ginebra: OMM. Recuperado el 25 de 06 de 2017

OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es

OMS | Neumonía [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/es/

Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.* Ginebra.

Pedro Iván Solarte MD, M. C. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*.

R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.* Vienna, Austria. Obtenido de http://www.R-project.org/

Salby, M. L. (1995). *Fundamental of Atmospheric Phisics.* London: Academic Press.

SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá.* Bogotá.

Secretaría Distrital de Salud. Plan_de_Choque.pdf [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).* Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html

U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/

U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/

U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).*

U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI).* Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment.*

Y. Ishihara, M. N. (2016). Effect Of Particulate Matter Air Pollution On The Health Status, Respiratory Symptoms, And Lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine; New York*, 193.

GLOSARIO

Aire: fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

Aire cero: es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo. La purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.

Agentes contaminantes convencionales: se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, dióxido de nitrógeno).

Analizador: equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.

Anemómetro: instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.

Aseguramiento de la Calidad (AC): sistema integrado de actividades administrativas entre las cuales se incluye la planificación, la implementación, la evaluación, la información y el mejoramiento de la calidad para asegurar que un proceso, producto o servicio sea del tipo y calidad necesaria y esperada por el cliente. [EPA].

Auditoría: evaluación sistemática e independiente para determinar si las actividades relacionadas con el programa de calidad y sus resultados cumplen con las medidas planeadas, si esas medidas son adecuadas de acuerdo con los objetivos y si son implementadas en forma efectiva. [EPA].

Bandera: registro generado por un equipo automático de monitoreo que permite identificar el estado del dato reportado.

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

Bitácora: libro en que se apuntan las actividades realizadas durante las visitas a las estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire.

Calibración: conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Cilindro de gas patrón certificado: es el recipiente que contiene un gas o mezcla de gases cuya composición ha sido medida y certificada por el fabricante.

Concentración de fondo: fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.

Concentración de una sustancia en el aire: es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones normales para normas de calidad del aire: las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 del MAVDT están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Confiabilidad: capacidad de un equipo o sistema de realizar su función de la manera prevista bajo condiciones indicadas.
Contaminación atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.
Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
Diagrama de caja (*box-plot*): Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
Ecuación para la conversión de unidades: Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico (µg/m^3) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{C[ppm] \times PM}{24{,}466} \times 10^3$$

Se adoptan las convenciones siguientes para efecto de la aplicación de la ecuación establecida en la presente definición:
$C\left[\frac{\mu g}{m^3}\right]$ = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.
$C[ppm]$= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.
PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.
24,466 = Volumen de una kmol en m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.
Episodio de contaminación: es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
Equipo para Calibración: es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
Estabilidad atmosférica: característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.
Estación de monitoreo: es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
Estándar de calidad del aire: valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
Excedencia: una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.
Gas de calibración: término comúnmente usado para describir cualquier gas (estándar primario o secundario) utilizado para calibrar.
Generador de aire cero: dispositivo utilizado para generar aire cero.
Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera

libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

Índice: expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.

Isoterma: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde la temperatura tiene el mismo valor.

Isoyeta: es una línea trazada sobre un mapa con la que se unen puntos, donde se registra igual cantidad de precipitación.

Material particulado: término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.

Media aritmética: es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.

Media móvil: se calcula del mismo modo que la media aritmética para un periodo de *n* datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido.

Método equivalente: es el procedimiento de medición y análisis señalado en la presente resolución, el cual puede producir resultados similares a los del método de referencia en la determinación de la concentración de una sustancia en el aire ambiente, y que es seleccionado para reemplazarlo.

Método de referencia: es el procedimiento de medición y análisis probado exhaustivamente, señalado en la presente resolución, que debe utilizarse para determinar la concentración de una sustancia contaminante en el aire ambiente y deberán realizarse bajo los estrictos parámetros técnicos.

Monitoreo: en el sentido más amplio de la palabra, medición continúa para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

Nivel Normal (Nivel I): es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.

Nivel de exposición: concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.

Nivel de Prevención (Nivel II): es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (Nivel III): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de emergencia (Nivel IV): es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Obstáculo: elemento que interfiere con la correcta toma de una muestra de aire que será analizada por un analizador automático de calidad del aire o con la correcta medición de un parámetro meteorológico.

Operaciones de puesta en marcha y parada: toda operación realizada al poner una actividad, un elemento del equipo o un dispositivo en servicio o fuera de servicio, o ponerlo o sacarlo de un estado de reposo.

Precisión: grado de concordancia existente entre los resultados independientes de un ensayo, obtenidos en condiciones estipuladas.

Promedio anual: promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.

Promedio diario: promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la captura de datos mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.

Promedio Geométrico: antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{promgeom} = 10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} log(C_i)}{n}\right]} para i = 1,2,3 \dots, n$$

Donde:

$C_{promgeom}$: Promedio geométrico de concentración

$\sum_{i=1}^{n} log(C_i)$: Suma de los n logaritmos de los valores de concentración del contaminante i.

$10^{\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} log(C_i)}{n}\right]}$: Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los "n" valores de concentración del contaminante i.

Protocolo: plan escrito y detallado que permite realizar las actividades relacionadas con la operación de la red de manera organizada y repetida.

Protocolo de comunicación: se trata de un conjunto de reglas que hace que la transmisión entre dos máquinas sea posible, bajo criterios de calidad, eficiencia y confiabilidad. Los protocolos se pueden clasificar como: orientados a bit, cuando ellos solos proveen la información necesaria para establecer y mantener activa una conexión; y orientado a byte cuando su estructura tiene conjuntos bits de control, datos e información de protocolo.

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

Rango de tolerancia: Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

Red automática de monitoreo de calidad del aire: es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

Repetitividad: grado de concordancia entre los resultados de pruebas independientes realizadas en una misma muestra en un período corto de tiempo por el mismo analista, usando el mismo método y equipamiento. [EPA].

Captura de datos: grado en que los datos caracterizan en forma exacta y precisa a una población, a las variaciones de un parámetro en el punto de muestreo, a las condiciones de un proceso o a las condiciones ambientales. [EPA].

Sensor: dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.
Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, liquida o gaseosa.
Sustancias Peligrosas: son aquellas que, aisladas o en combinación con otras, por sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al medio ambiente.
Toma-muestras: conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
Unidades: Las unidades más utilizadas son:
mg/m^3: miligramos por metro cúbico.
$\mu g/m^3$: microgramos por metro cúbico.
ppm: partes por millón.
ppb: partes por billón.
Validación: confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico de *cajas*.

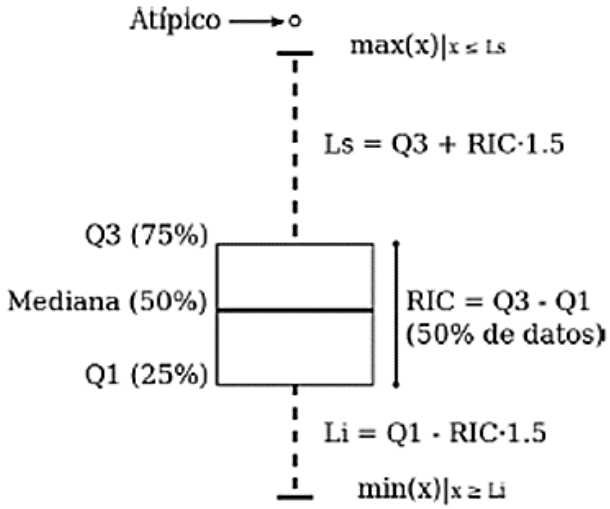


Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y µg/m^3, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes.

Las unidades resultantes (mg/m^3 y µg/m^3) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m^3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m^3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m^3
O_3	1,9620	ppb a µg/m^3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Factor\ de\ Conversión[ppb\ o\ ppm] = \frac{\frac{M * P}{\acute{R} * T} * 1}{1000} \left[\frac{\mu g}{m^3} o \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: Masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: Presión atmosférica [Pa]
$\acute{R}$: Constante universal de los gases ideales = $8{,}314472\ \frac{Pa.m^3}{mol.K}$
T: Temperatura absoluta [K]

C. Calendarios de concentraciones diarias 2017– $PM_{2.5}$

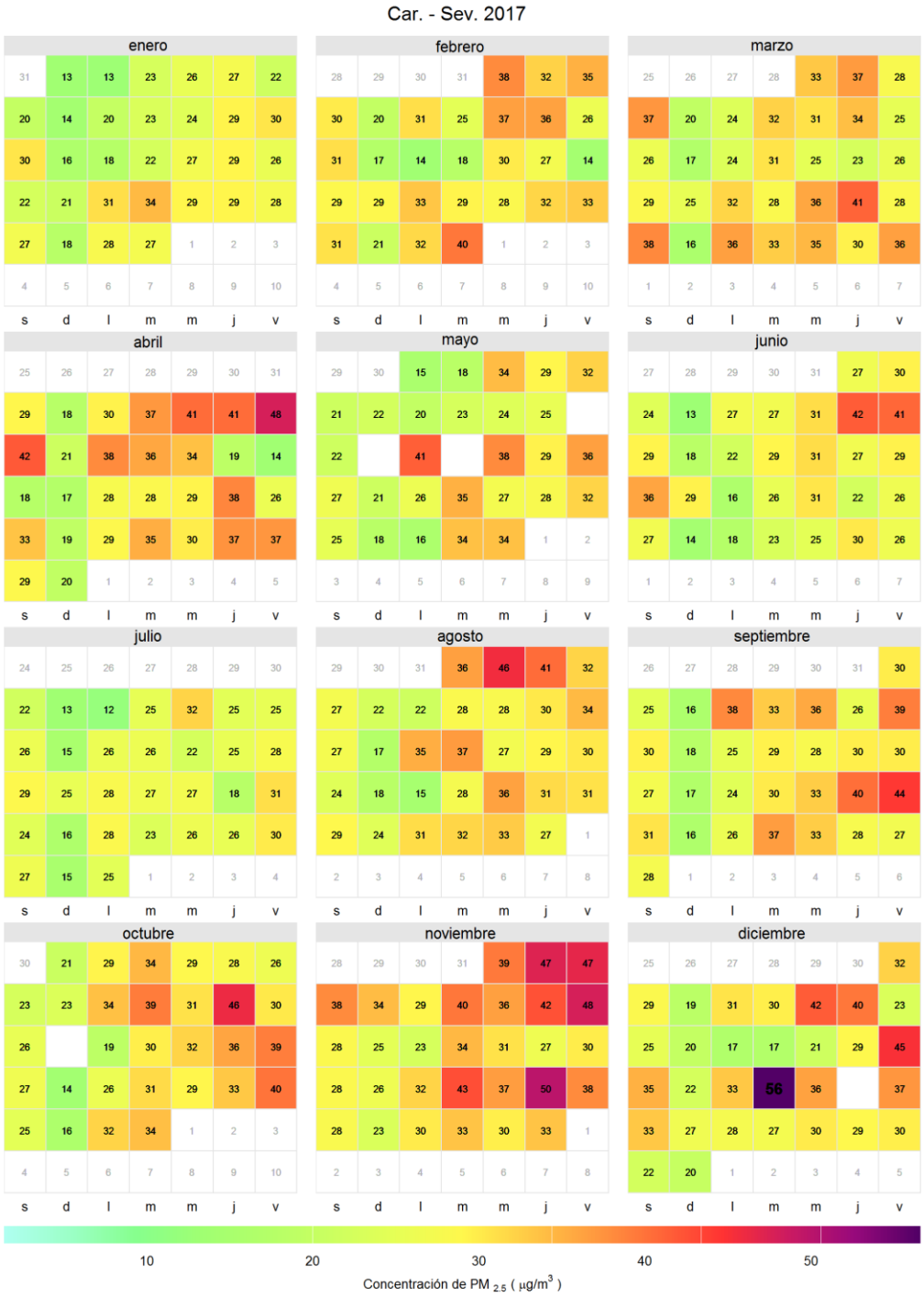


Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – Carvajal-Sevillana

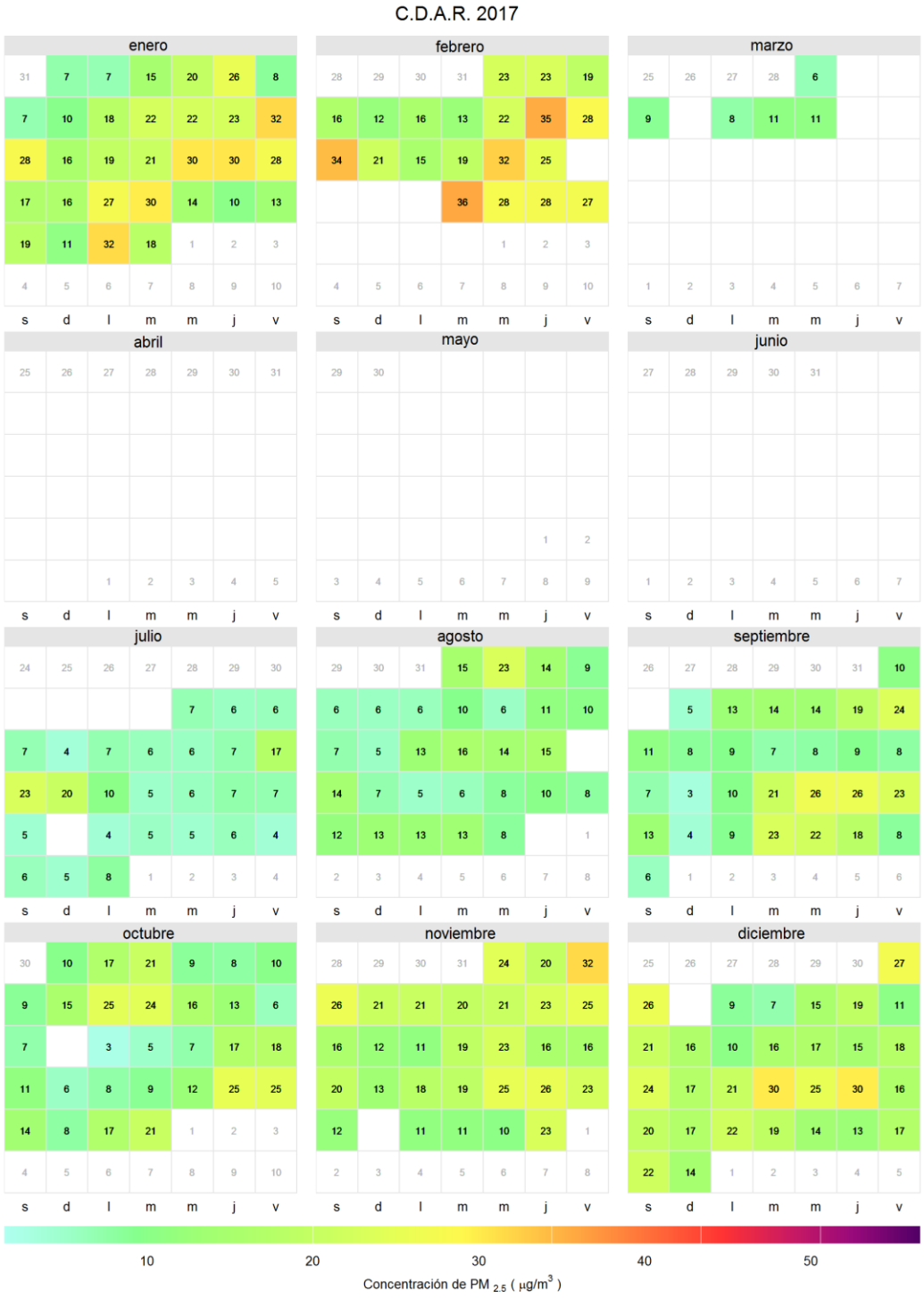


Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Centro de Alto Rendimiento

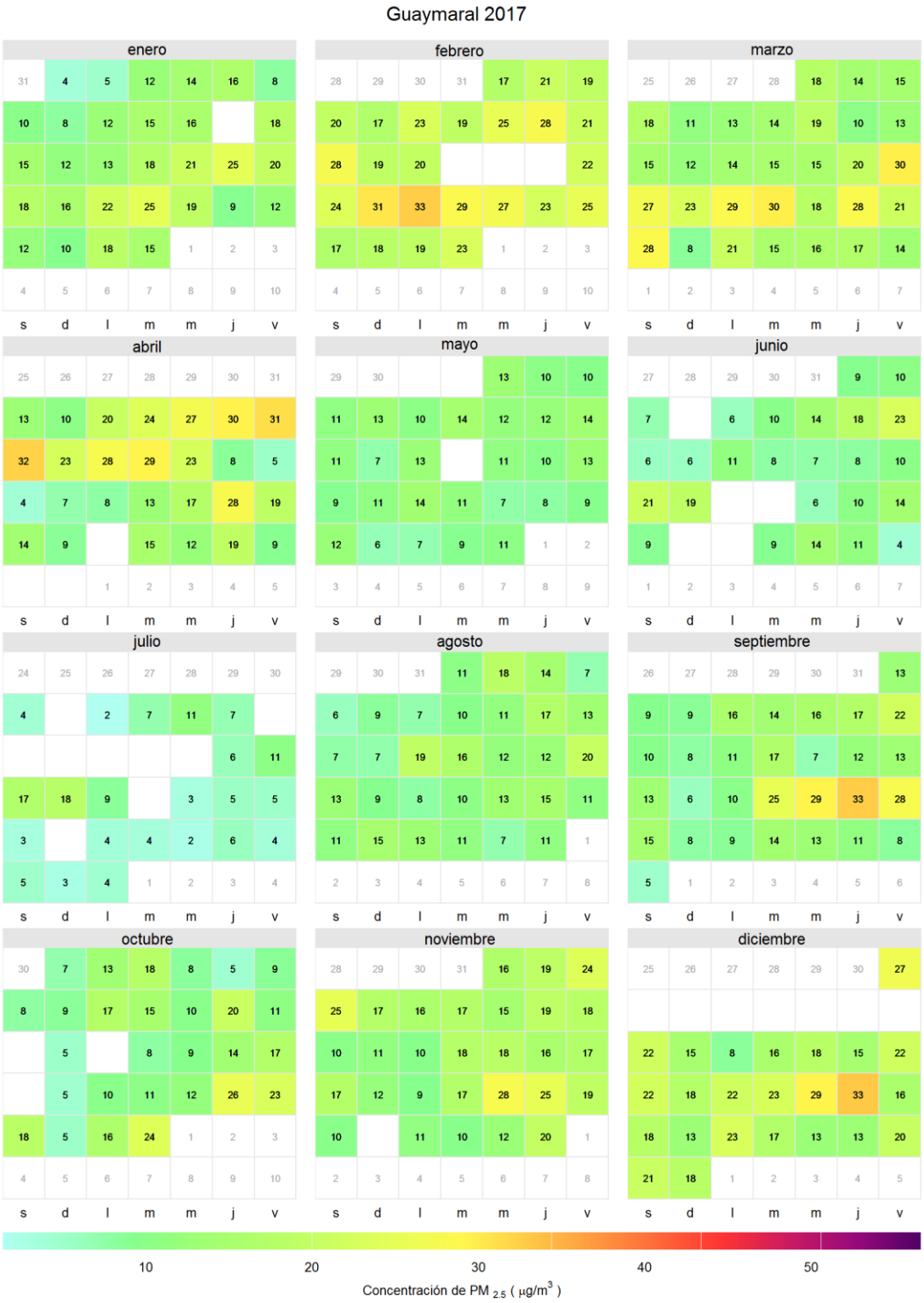


Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ Guaymaral

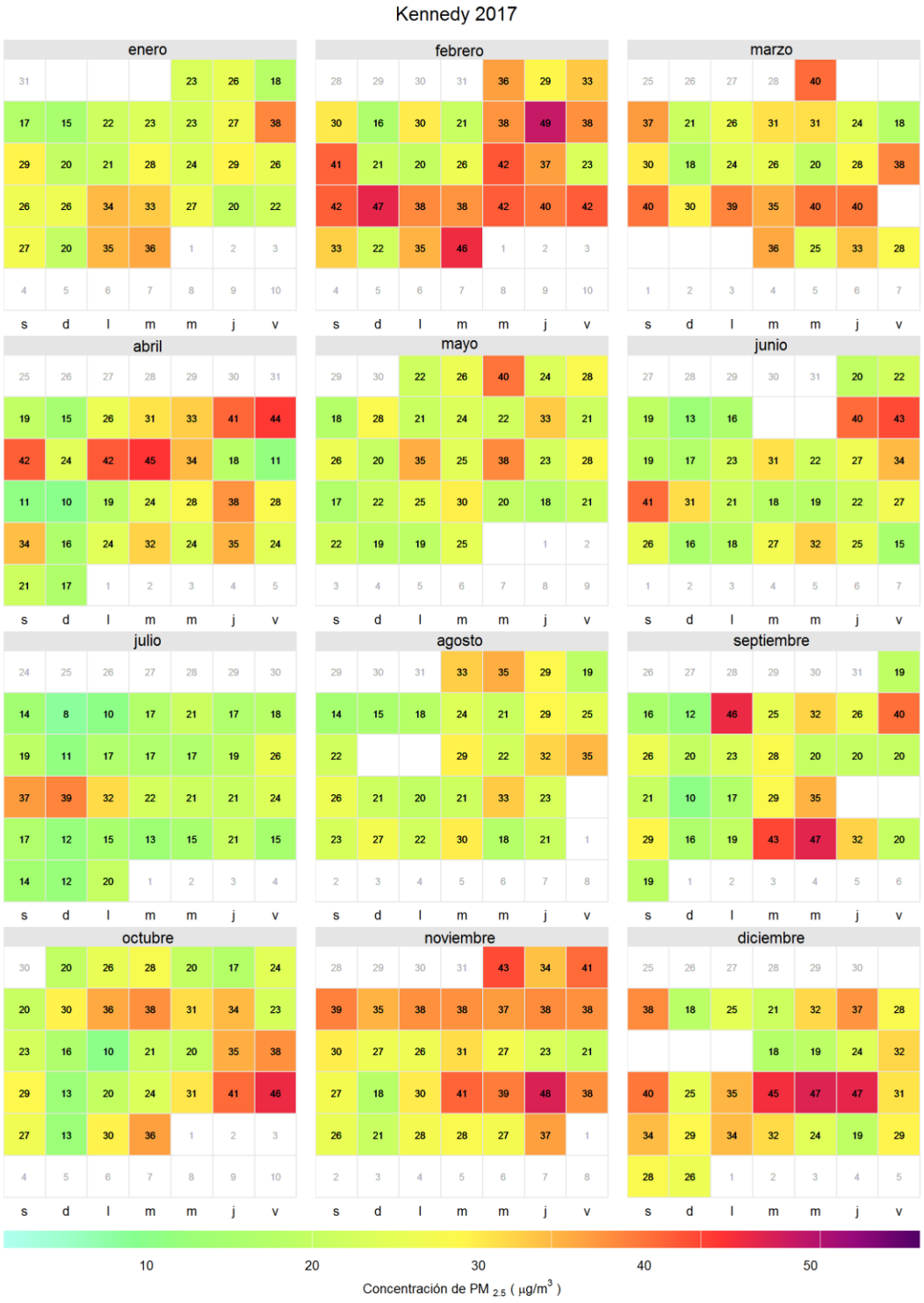


Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Kennedy

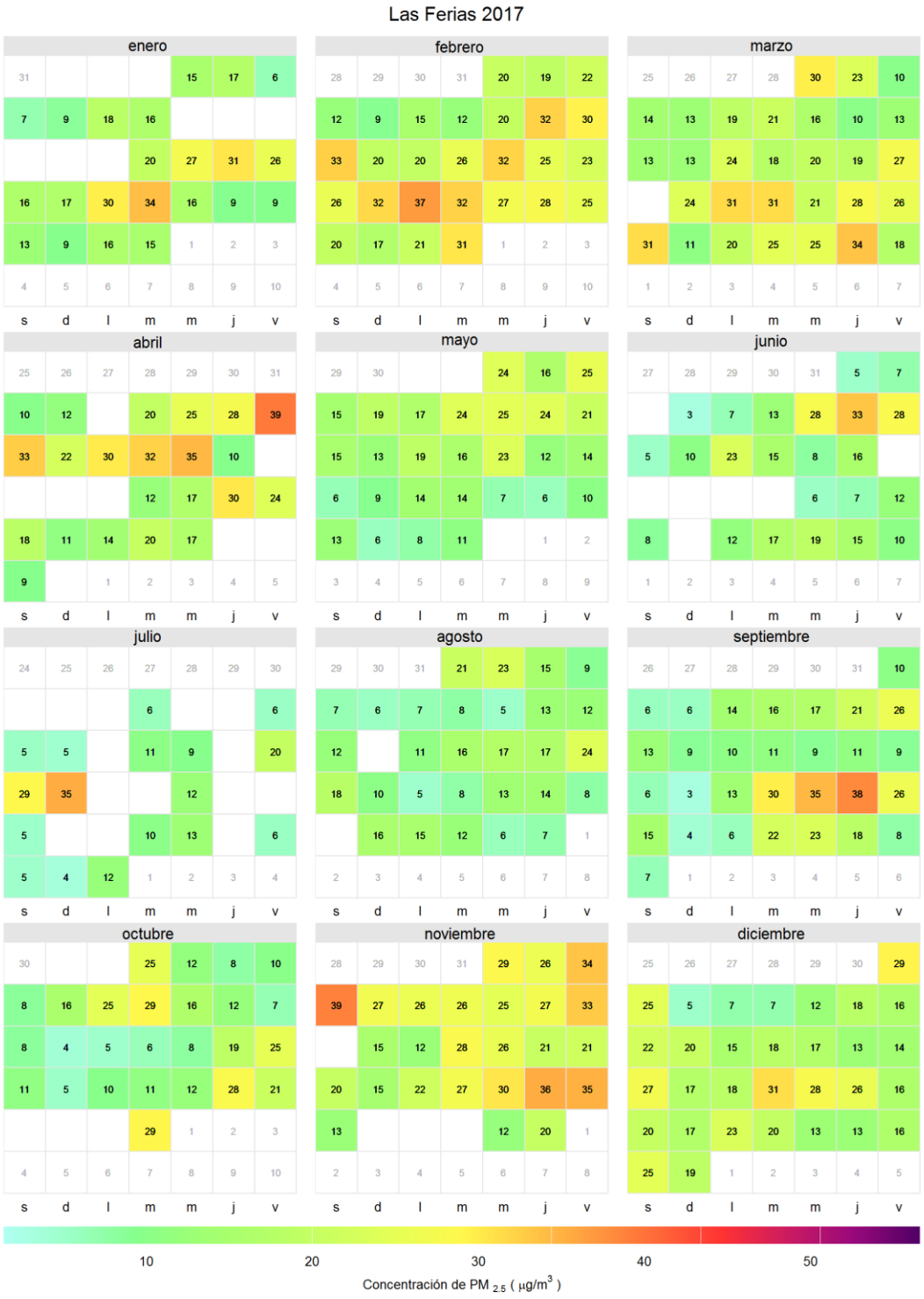


Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Las Ferias

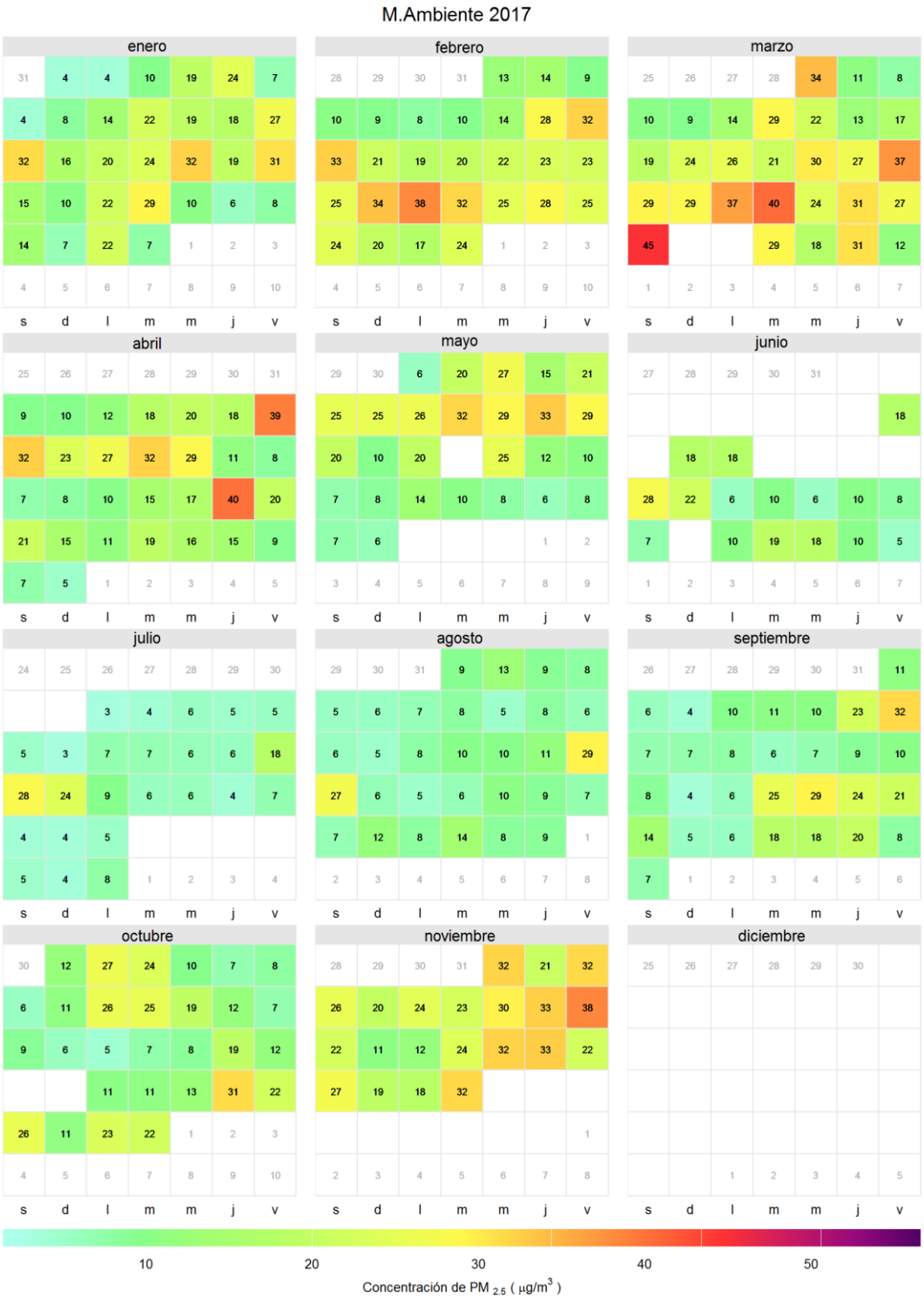


Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ MinAmbiente

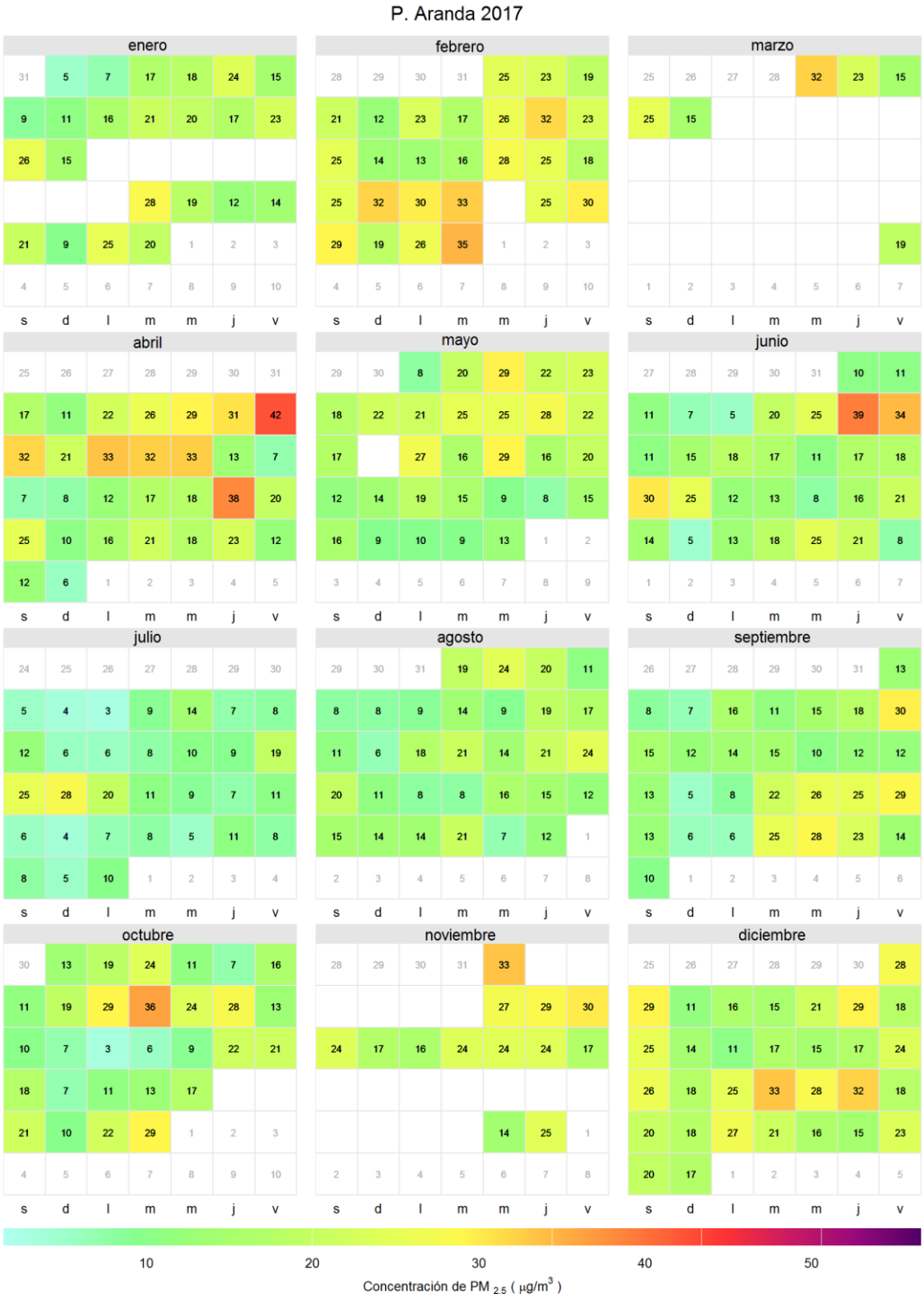


Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – Puente Aranda

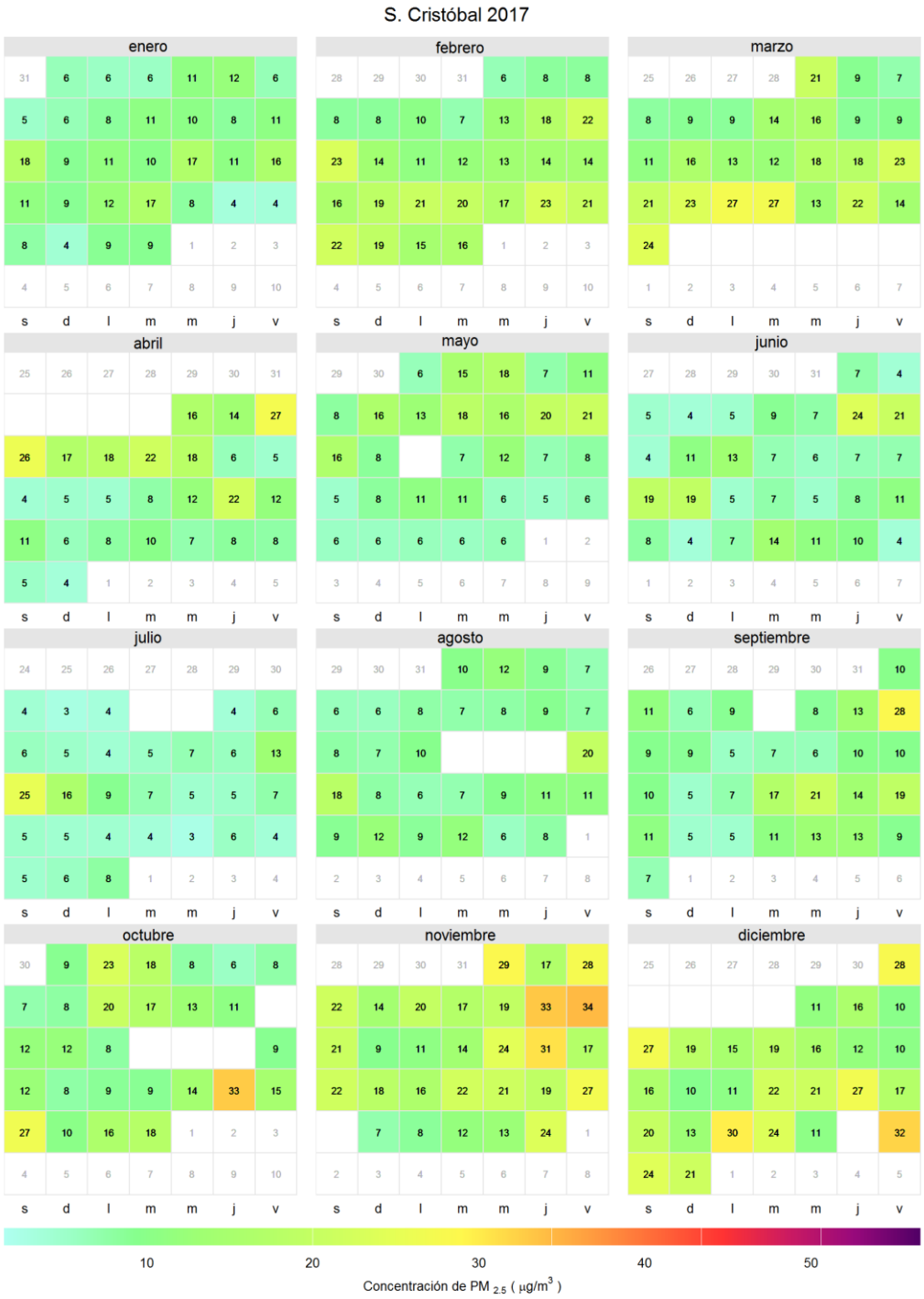


Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ – San Cristóbal

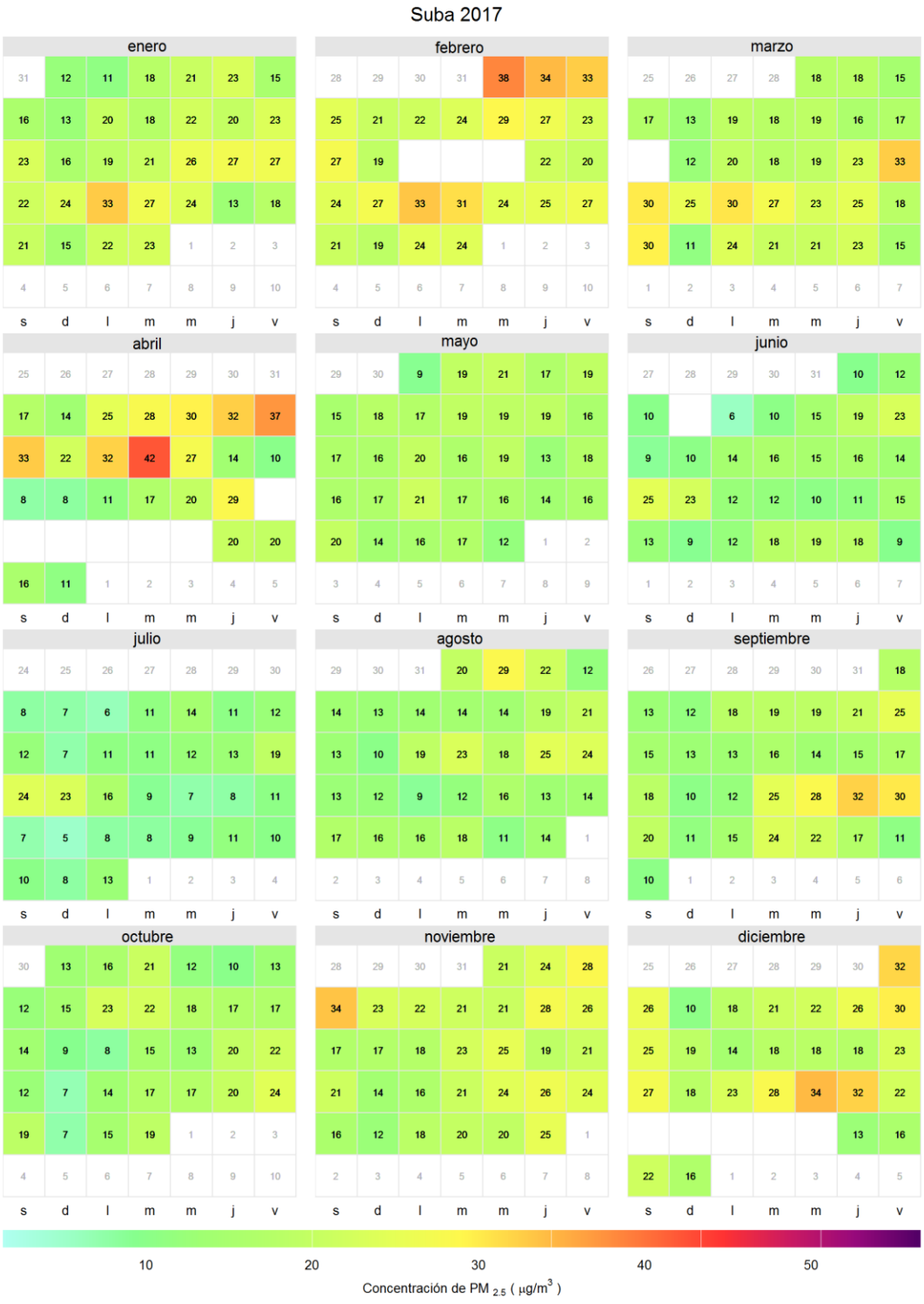


Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Suba

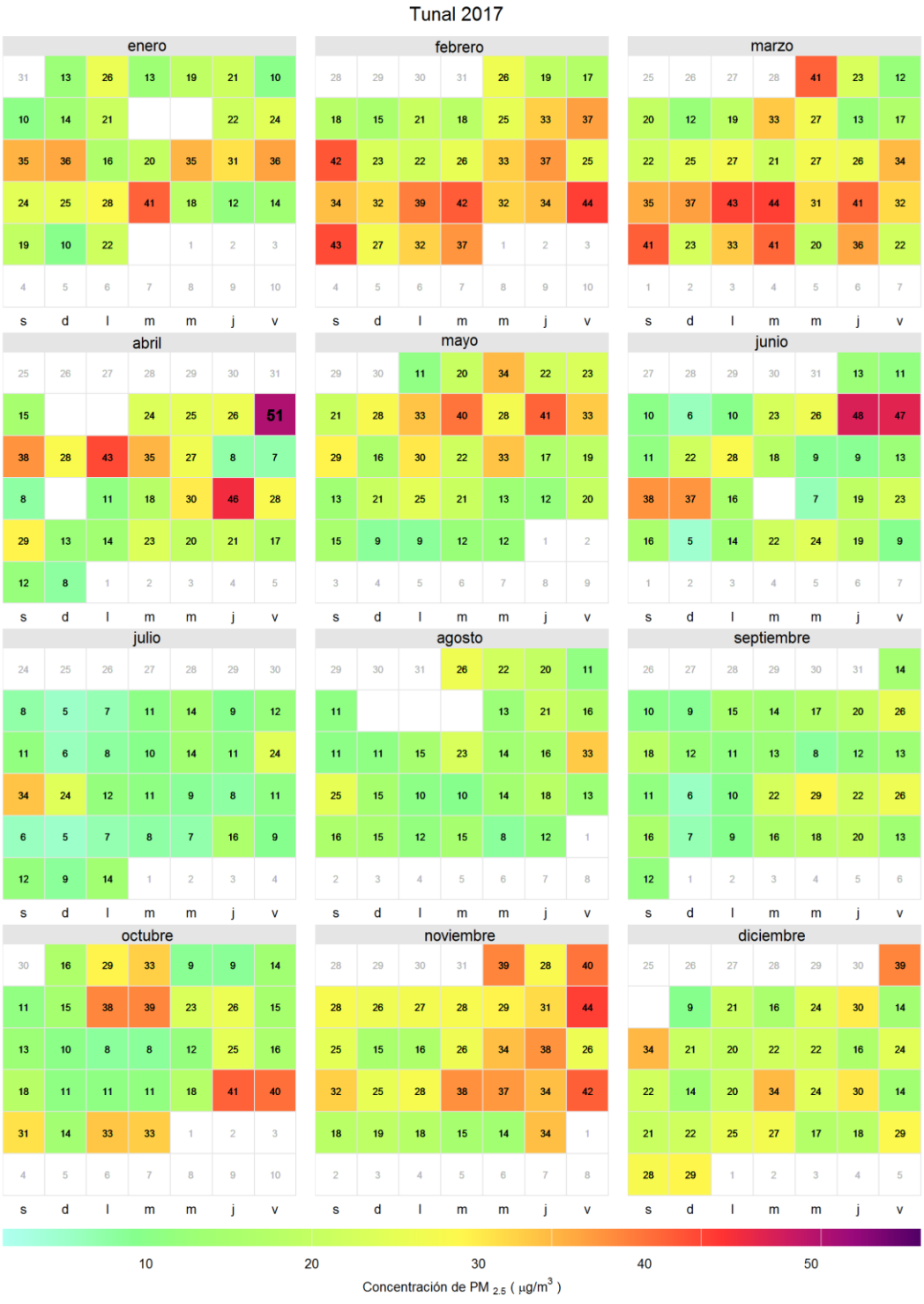


Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ -Tunal

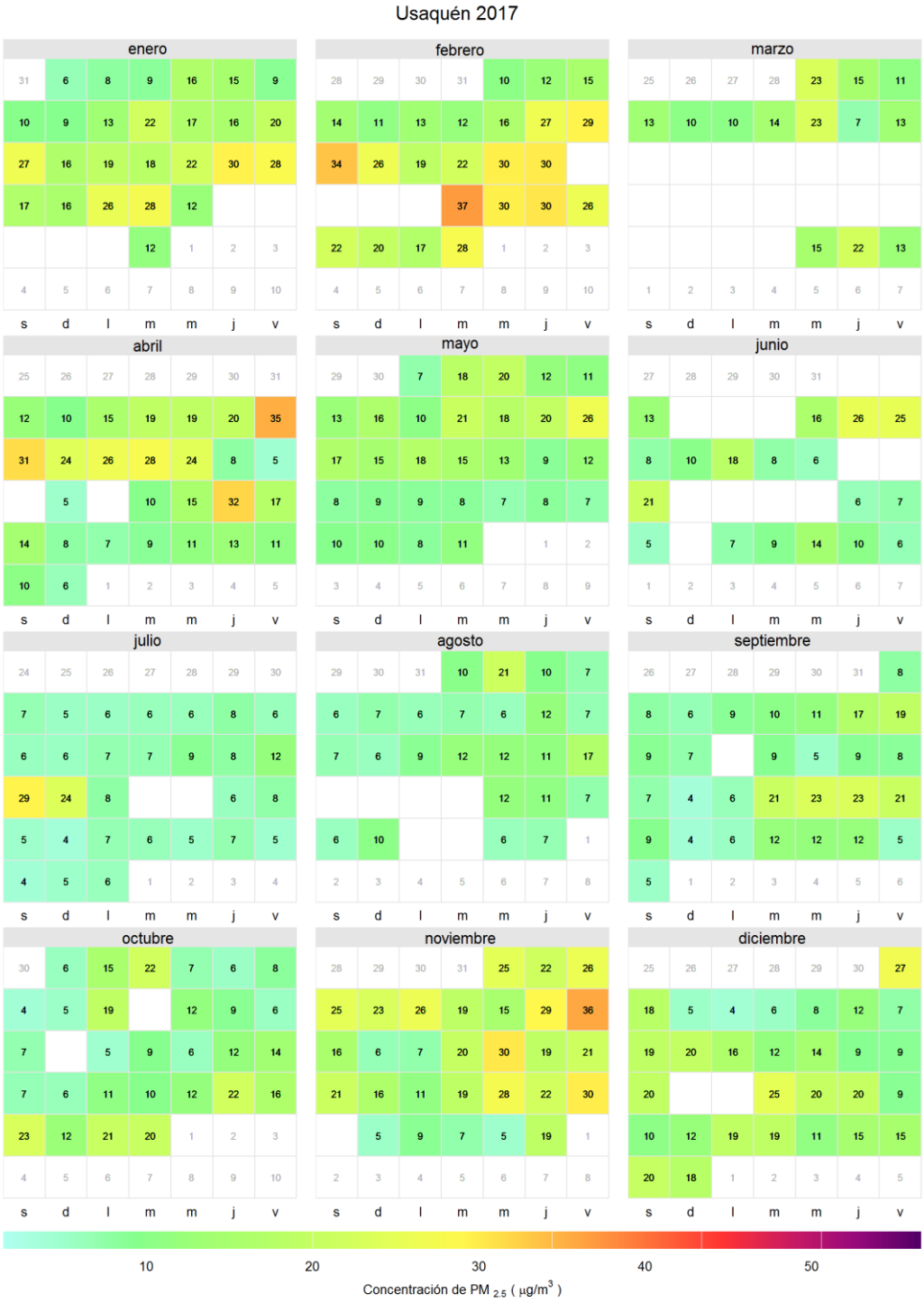


Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de $PM_{2.5}$ - Usaquén

El análisis realizado en el presente informe anual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2017, y los resultados del informe sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes anuales de la RMCAB establecido en el procedimiento interno 126PM04-PR84 Generación y Control de Informes de la RMCAB. Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno 126PM04-PR87 - Validación de datos de la RMCAB.

Adicionalmente, los procesos de monitoreo de contaminantes en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos:

126PM04-PR101	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de PM10 y PM 2.5
126PM04-PR102	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Dióxido de Azufre (SO2)
126PM04-PR103	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Ozono (O3)
126PM04-PR104	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Monóxido de Carbono CO
126PM04-PR105	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de óxidos de Nitrógeno (NOx)

Elaboró

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE
Eaking Alberto Ballesteros Urrutia – PROFESIONAL RMCAB
Jhonathan Ramírez Gamboa– PROFESIONAL RMCAB
Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez– PROFESIONAL RMCAB
Cristian Darío Arango Chacón– PROFESIONAL SIMCAB
Sandra Mireya Fajardo González– PROFESIONAL SIMCAB

SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD
Jhon Jairo Abella – SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA
Ana Cecilia Galvez - SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA
Edna Katalina Medina Palacios – SUBDIRECCIÓN DE DETERMINANTES EN SALUD
Diana Celeita- SUBRED NORTE
Pedro Andrés Morales- SUBRED NORTE
Harol Giovanny León Niampira – APOYO EN DISEÑO

Revisó
Edison Yesid Ortíz Durán – COORDINADOR SIMCAB
Diana Alexandra Ramírez Cardona – COORDINADORA RMCAB
Fabián Ricardo Guevara Gómez – COORDINADOR SATAB

Aprobó
Oscar Alexander Ducuara Falla – SUBDIRECTOR DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL

FIN DEL INFORME

Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá

2018



Fotografía aérea de Bogotá

Alcaldía de Bogotá
Secretaría Distrital de Ambiente

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2018

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C 2019

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Carmen Lucía Sánchez Avellaneda
Directora de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

José Hernán Garavito
Coordinación general RMCAB

Luis Alvaro Hernández Gonzalez
Coordinación Técnica RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Alberto Ballesteros Urrutia
Edna Lizeth Montealegre Garzón
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Jesús Alberto Herrera Dallos
Grupo de Operación de la RMCAB

Edison Yesid Ortíz Duarte
Líder del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá - SIMCAB

Ana Cecilia Gálvez Lozada
Referente línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Erika Milena Castillo
Pedro Andrés Morales
Profesionales Especializados
Línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subred Norte
Secretaria Distrital de Salud

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Julio de 2019, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.
Año 2018.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12
2. RESUMEN EJECUTIVO 13
3. OBJETIVOS 14
3.1. OBJETIVO GENERAL 14
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 14
4. CARACTERÍSTICAS DE LA RED 15
4.1. NORMATIVIDAD 19
5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 20
5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 20
5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS 21
6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS) 23
6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10}) 23
6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN 23
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN 27
6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM_{10} POR ESTACIÓN 28
6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$) 29
6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 29
6.2.1. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 32
6.2.2. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 33
6.3. OZONO (O_3) 34
6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE O_3 POR ESTACIÓN 34
6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN 37
6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O_3 POR ESTACIÓN 38
6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2) 38
6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN 39
6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN 39

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO_2 POR ESTACIÓN 41
6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 42
6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE SO_2 POR ESTACIÓN 42
6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN 43
6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO_2 POR ESTACIÓN 45
6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO) 45
6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE CO POR ESTACIÓN 45
6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN 46
6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE CO POR ESTACIÓN 48
7. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE 48
7.1. ICA 49
7.2. IBOCA 52
8. METEOROLOGÍA 56
8.1. PRECIPITACION 56
8.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN 56
8.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN 57
8.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN 59
8.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN 61
8.2. TEMPERATURA 64
8.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA 64
8.2.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA 68
8.2.3. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA 70
8.3. VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO 72
8.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 72
8.3.2. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 73
8.3.3. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 76
8.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO 79
8.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 79
8.4. RADIACION SOLAR 82
8.4.1. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR 82

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.4.2. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR 84
8.4.3. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR 85
8.5. PRESION ATMOSFERICA 86
8.5.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 86
8.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 88
8.5.3. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 89
8.6. HUMEDAD 90
8.6.1. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD 90
8.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD 92
8.6.3. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD 93
9. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 94
10. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD 98
10.1. GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL 99
10.2. VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL 100
10.2.1. ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD 100
10.3. VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA 101
10.3.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA 103
10.3.2. MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA 107
10.4. VIGILANCIA AMBIENTAL 114
10.5. VIGILANCIA SANITARIA 122
10.5.1. ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION 127
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 130
12. ANEXOS 131

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2018 17
Figura 5-1. Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2018 20
Figura 5-2. Porcentaje de datos capturados por estación. Año 2018 20

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Figura 5-3. Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2018 22
Figura 5-4. Porcentaje de datos válidos por estación año 2018 22
Figura 6-1. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging 26
Figura 6-2. Concentraciones anuales de PM_{10} años 2014 a 2018 29
Figura 6-3. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging 31
Figura 6-4. Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2014 a 2018 34
Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging 36
Figura 6-6. Concentraciones anuales de O_3 años 2014 a 2018 38
Figura 6-7. Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2014 a 2018 42
Figura 6-8. Concentraciones anuales de SO_2 años 2014 a 2018 45
Figura 6-9. Concentraciones anuales de CO años 2014 a 2018 48
Figura 7-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ año 2018 50
Figura 7-2. ICA por mes del año y por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018 51
Figura 7-3. IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018 53
Figura 7-4. IBOCA por mes del año para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018 55
Figura 8-1. Comportamiento diurno de la precipitación a nivel ciudad 57
Figura 8-2. Total acumulado de precipitación por estación en 2018 58
Figura 8-3. Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación durante 2018 59
Figura 8-4. Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá - RMCAB 2018 60
Figura 8-5. Variación anual de la precipitación en Bogotá - RMCAB 2000-2018 63
Figura 8-6. Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual de 2018. RMCAB 2000 - 2018 64
Figura 8-7. Comportamiento de la temperatura horaria anual-2018: a) perfil horario; b) promedio por estación 66
Figura 8-8. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2018 Vs 2018 67
Figura 8-9. Temperaturas extremas absolutas año 2018 68
Figura 8-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2018. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2018 respecto al promedio de 2000 -2018 69
Figura 8-11. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2018 70
Figura 8-12. Comportamiento mensual de la velocidad del viento a nivel histórico (2000 – 2018) Vs. 2017 y 2018. 72
Figura 8-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2017 vs. 2018. 73
Figura 8-14. Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche. RMCAB – 2018 75
Figura 8-15. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2018 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2018 77
Figura 8-16. Comportamiento promedio anual de la velocidad del viento - 2018 77

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Figura 8-17. Rosas de viento consolidadas por estación – 2018..... 78
Figura 8-18. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2018..... 80
Figura 8-19. Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en la ciudad de Bogotá entre 2000 a 2018 82
Figura 8-20. Cantidad de radiación solar recibió en el día. a) perfil horario; b) radiación acumulada por cada estación. 83
Figura 8-21. Comportamiento mensual de la radiación en 2018 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados. 84
Figura 8-22. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2018 vs. 2017 85
Figura 8-23. Comportamiento anual de la radiación en 2018 a) promedio anual; b) totales anuales acumulados. 86
Figura 8-24. Comportamiento del ciclo diurno de la presión atmosférica 87
Figura 8-25. Comportamiento mensual de la presión atmosférica en 2018. a) promedio ciudad; b) promedio por estación 88
Figura 8-26. Comportamiento mensual de la presión durante 2018 frente al promedio multianual y el año 2017. 89
Figura 8-27. Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2018..... 90
Figura 8-28. Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2018: a) perfil horario; b) promedio por estación 91
Figura 8-29. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2018: a) promedia ciudad; b) promedio por estación 92
Figura 8-30. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2018 vs. Promedio mensual multianual 2017 2018 93
Figura 8-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa anual: a) promedia multianual; b) promedio por estación 94
Figura 9-1. Puntos calientes por departamentos. Marzo 15 al 22 de 2018 95
Figura 9-2. Reporte de bruma en aeropuertos de Colombia. 23 de marzo de 2018 95
Figura 9-3. Arrastre de material particulado PM_{10} desde el Sahara. Marzo 22 y 23 de 2018 95
Figura 9-4. Concentraciones media móvil 24H $PM_{2.5}$ y colores IBOCA. Marzo 22 al 30 de 2018 96
Figura 9-5. Mapa nacional de precipitación diaria acumulada para los días 25 (izq.) y 28 (der.) de marzo de 2018..... 97
Figura 9-6. Series media móvil 24H de $PM_{2.5}$ observadas y pronosticadas entre marzo 25 y abril 1 de 2018..... 97
Figura 9-7. Pronóstico de IBOCA de $PM_{2.5}$ para Marzo 30 y 31 de 2018..... 97
Figura 10-1. Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá .. 102
Figura 10-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2018* (* años 2015 al 2018* datos preliminares) 103
Figura 10-3. Factores de riesgo para Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años. 105

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Figura 10-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material particulado 2.5 (µg/m^3) en Bogotá, 2018..... 106
Figura 10-5. Morbilidad por IRA (evento 995- SIVIGILA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2018. 108
Figura 10-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2018 109
Figura 10-7 .Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años 112
Figura 10-8. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá año 2018..... 115
Figura 10-9. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá año 2018 116
Figura 10-10. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá año 2018 117
Figura 10-11. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado $PM_{2.5}$ en Bogotá en el año 2018 118
Figura 10-12. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM_{10} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2018 118
Figura 10-13. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2018 119
Figura 10-14. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2014-2018 120
Figura 10-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2014-2018 122
Figura 10-16. Quejas atendidas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco en Bogotá 2018..... 123
Figura 10-17. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en Bogotá, 2018 126
Figura 10-18. Infografía Día sin carro y son Moto Secretaría Distrital de Salud 2018. 128
Figura 10-19. Infografía Día Mundial Sin Tabaco Secretaría Distrital de Salud 2018..... 129
Figura 10-20. Infografía Semana Ambiental Secretaría Distrital de Salud 2018 130
Figura 12-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes. 131
Figura 12-2. Boxplot de concentraciones diarias de PM_{10} por mes. Año 2018..... 134
Figura 12-3. Boxplot de concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes. Año 2018 135
Figura 12-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O_3 por mes. Año 2018 135
Figura 12-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO_2 por mes. Año 2018..... 136
Figura 12-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO_2 por mes. Año 2018..... 136
Figura 12-7. Boxplot de concentraciones 8 horas de CO por mes. Año 2018..... 137
Figura 12-8. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Carvajal-Sevillana..... 138
Figura 12-9. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Centro de Alto Rendimiento..... 138
Figura 12-10. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Guaymaral 139
Figura 12-11. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Kennedy..... 139

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Figura 12-12. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Las Ferias 140
Figura 12-13. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación MinAmbiente 140
Figura 12-14. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Puente Aranda 141
Figura 12-15. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación San Cristóbal 141
Figura 12-16. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Suba 142
Figura 12-17. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Tunal 142
Figura 12-18. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Usaquén 143

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA 16
Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2018 18
Tabla 4-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS. 19
Tabla 5-1. Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2018 21
Tabla 5-2. Porcentaje de datos validados por estación y parámetro – Año 2018 22
Tabla 6-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} registradas en el año 2018 24
Tabla 6-2. Comportamiento mensual, diario y horario de las concentraciones de PM_{10} en el 2018 28
Tabla 6-3. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ registradas en el año 2018 30
Tabla 6-4. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2018 33
Tabla 6-5. Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 registradas en el año 2018 35
Tabla 6-6. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2018 37
Tabla 6-7. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 registradas en el año 2018 39
Tabla 6-8. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de NO_2 en el 2018 40
Tabla 6-9. Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 registradas en el año 2018 43
Tabla 6-10. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de SO_2 en el 2018 44
Tabla 6-11. Estadísticas de las concentraciones anuales de CO registradas en el año 2018 46
Tabla 6-12. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de CO en el 2018 47
Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS 49
Tabla 7-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 52
Tabla 8-1. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad (N.A. no cumple criterio de representatividad) 57
Tabla 8-2. Distribución de las lluvias durante el año 58

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-3. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. RMCAB - 2018 62
Tabla 8-4. Precipitación promedio histórica mensual. RMCAB 2000 - 2018 63
Tabla 8-5. Comportamiento de la temperatura horaria durante el año 2018..... 65
Tabla 8-6. Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2018 RMCAB..... 66
Tabla 8-7. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2018 .. 71
Tabla 8-8. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día. 73
Tabla 8-9. Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2018..... 76
Tabla 8-10. Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2018..... 81
Tabla 8-11. Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones de la RMCAB en 2018..... 82
Tabla 8-12. Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m^2) 84
Tabla 8-13. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m^2 periodo 2009 - 2018..... 85
Tabla 8-14. Variación de la presión horaria en cada una de las estaciones de la RMCAB..... 86
Tabla 8-15. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2018 88
Tabla 8-16. Comportamiento de la presión promedio mensual de 2018 frente a 2017 y el promedio multianual 2009 a 2018..... 89
Tabla 8-17. Promedios históricos de presión atmosférica – 2009 - 2018..... 89
Tabla 8-18. Variación de la humedad horaria en 2018 la humedad promedio mensual las estaciones de la RMCAB..... 90
Tabla 8-19. Comportamiento mensual de la humedad en 2018. 92
Tabla 8-20. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente..... 93
Tabla 9-1. Documentos alertas contaminación atmosférica Marzo 2018 94
Tabla 10-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura 99
Tabla 10-2. Estadísticas descriptivas según sexo y estrato socioeconómico de los menores de 14 años según la exposición a contaminación del aire. 110
Tabla 10-3. Porcentaje de síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire . 111
Tabla 10-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM10 establecidos por la Organización Mundial de la Salud..... 120
Tabla 10-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado $PM_{2.5}$ establecidos por la Organización Mundial de la Salud..... 121
Tabla 12-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y µg/m^3) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. 132
Tabla 12-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación de monitoreo..... 133
Tabla 12-3. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo. Año 2018..... 133
Tabla 12-4. Concentraciones mensuales de O_3 por estación de monitoreo. Año 2018 133

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares de la ciudad. El proceso inicia con la medición de los parámetros en cada estación, y el almacenamiento de los mismos en un datalogger, luego cada hora se actualizan los datos, y son transmitidos hacia el servidor central, donde se almacena la información en una base de datos. Esta información es validada desde su captura en los equipos, hasta su revisión en la sede central, con el fin de obtener los datos para la elaboración de los informes periódicos de calidad del aire. En dichos reportes se evalúa el cumplimiento de los niveles máximos permisibles definidos por la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Para el año 2018 la RMCAB estaba conformada por catorce (14) estaciones de monitoreo de las cuales trece (13) son fijas y una (1) es móvil. Están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica

En el presente informe, se incluye el análisis del comportamiento de los contaminantes, las tendencias y la distribución espacial, y la determinación de las excedencias de los contaminantes respecto a la norma; el análisis del comportamiento de los parámetros meteorológicos, y el reporte realizado por la Secretaría Distrital de Salud, sobre los datos de morbilidad y mortalidad asociados a contaminación del aire.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

2. RESUMEN EJECUTIVO

Comportamiento de la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Con respecto a años anteriores, las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en general se redujeron respecto a años anteriores, a excepción de la estación Carvajal-Sevillana, que registró incrementos en el promedio anual sobre el valor del año 2017; en esta estación fue la única que se registraron excedencias del promedio anual, con 69 µg/m^3 de PM_{10} y 30 µg/m^3 de $PM_{2.5}$. En relación a la norma diaria, esta misma estación tuvo el mayor número de excedencias diarias, 57 para PM_{10} y 27 para $PM_{2.5}$. En la distribución espacial se evidencia que las concentraciones más altas se registran en la zona suroccidental de la ciudad, en las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar y Tunjuelito.

Comportamiento de la concentración de ozono (O_3)

El promedio anual de ozono de 2018 en las estaciones de la RMCAB aumentó respecto a años anteriores en las estaciones Guaymaral, MinAmbiente y Usaquén, mientras que en las demás estaciones se mantuvo o se redujo, con lo cual la zona que presenta más altos niveles de ozono es el norte y oriente de la ciudad. El promedio anual más alto se obtuvo en la estación Usaquén, con 30 µg/m^3, y el más bajo en la estación Carvajal-Sevillana, con 14 µg/m^3. La estación con más excedencias a la norma 8 horas fue Suba, con 17 registros sobre la norma.

Comportamiento de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2)

En comparación con los años anteriores, las concentraciones de NO_2 fueron iguales o menores en la mayoría de las estaciones, solamente en Puente Aranda se registró un incremento en relación a las concentraciones de los últimos tres años. Para el 2018 cuatro estaciones tuvieron promedios anuales con representatividad temporal mayor al 75%, y en ninguna de ellas se excedió el nivel máximo permisible anual. El promedio anual más alto fue registrado en la estación Carvajal-Sevillana, con 50 µg/m^3, y el más bajo en Guaymaral con 20 µg/m^3. Para este contaminante se evidencia que las concentraciones más altas se registran en las zonas suroccidental de la ciudad. En cuanto a la norma horaria, solamente se registraron 3 excedencias en la ciudad, cada una en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda.

Comportamiento de la concentración de dióxido de azufre (SO_2)

En el 2018 las concentraciones se mantuvieron o fueron más bajas que en los años anteriores, solamente la estación Tunal registró un aumento en relación al dato del año 2014. Para el 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

cinco estaciones tuvieron un promedio anual con representatividad mayor al 75%, Kennedy tuvo el valor más alto con 6.1 µg/m^3 y Centro de Alto rendimiento el valor más bajo, con 2.9 µg/m^3. Según los niveles máximos permisibles, en resolución temporal diaria no se registró ninguna excedencia, pero en resolución temporal horaria se registraron 14 excedencias en la estación Carvajal-Sevillana. Las altas concentraciones de SO_2 también predominan en la zona suroccidental de la ciudad, ya que se asocia el comportamiento al material particulado por las fuentes de emisión similares.

Comportamiento de la concentración de monóxido de carbono (CO)

Las concentraciones registradas en el 2018 fueron menores a las registradas en años anteriores, a excepción de la estación Centro de Alto Rendimiento, que registró la concentración más alta de los últimos tres años. El mayor valor del promedio anual se obtuvo en la estación Carvajal-Sevillana, con 1420 µg/m^3, mientras que el registro más bajo corresponde a Usaquén, con 537 µg/m^3. Las concentraciones más altas tienden a registrarse al suroccidente de la ciudad y en la zona centro-oriente, en el área de influencia de la Estación Móvil.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009 del Concejo de Bogotá, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

4. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por catorce (14) estaciones de las cuales trece (13) son fijas y una (1) estación móvil.

La Tabla 4-1 presenta las técnicas de medición de los equipos de la RMCAB y los métodos de referencia EPA, en la Tabla 4-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 4-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

En el año 2018 se integraron dos nuevas estaciones a la RMCAB desde el mes de diciembre. La estación CAMI Fontibón, ubicada en la Carrera 104 No. 20C – 31, en el CAMI II de Fontibón, y la estación móvil, ubicada en la carrera 7 con calle 60. Las dos estaciones cuentan con sensores de todos los contaminantes criterio (a excepción del ozono en la estación móvil) y de los parámetros meteorológicos. Por ello, los registros que se incluyen en el presente informe tienen una representatividad temporal menor al 75%, sin embargo se muestran los datos con fines indicativos. Adicionalmente, la estación MinAmbiente retomó su funcionamiento en el mes de marzo después del mantenimiento en el edificio en que se ubica la estación.

La elaboración de informes de calidad del aire hace parte de uno de los programas contenidos en el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016 – 2020 “Bogotá Mejor para Todos”, cuyo cumplimiento es responsabilidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, al ser la autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, uno de los procesos misionales de esta entidad es la “Evaluación, control y seguimiento”, dentro del cual se encuentra comprendido el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, el cual se realiza a través de las estaciones de la RMCAB.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en junio de 2018[1]. Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR[2]. ()

Tabla 4-1. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183	L
		EQPM-0308-170	
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087	D
		EQOA-0193-091	
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

En la *Figura* 4-1 se muestra el mapa con la ubicación de las 14 estaciones de monitoreo de la RMCAB presentes durante el año 2018.

En la *Tabla* 4-2 se muestra la tabla que contiene las características de cada estación, los monitores de calidad del aire y meteorológicos que posee y su denominación.

[1] United States Environmental Protection Agency. List of designated reference and equivalent methods. December 15, 2018. https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/amtic_list_dec_2017_update_1-20-2018_0.pdf

[2] 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

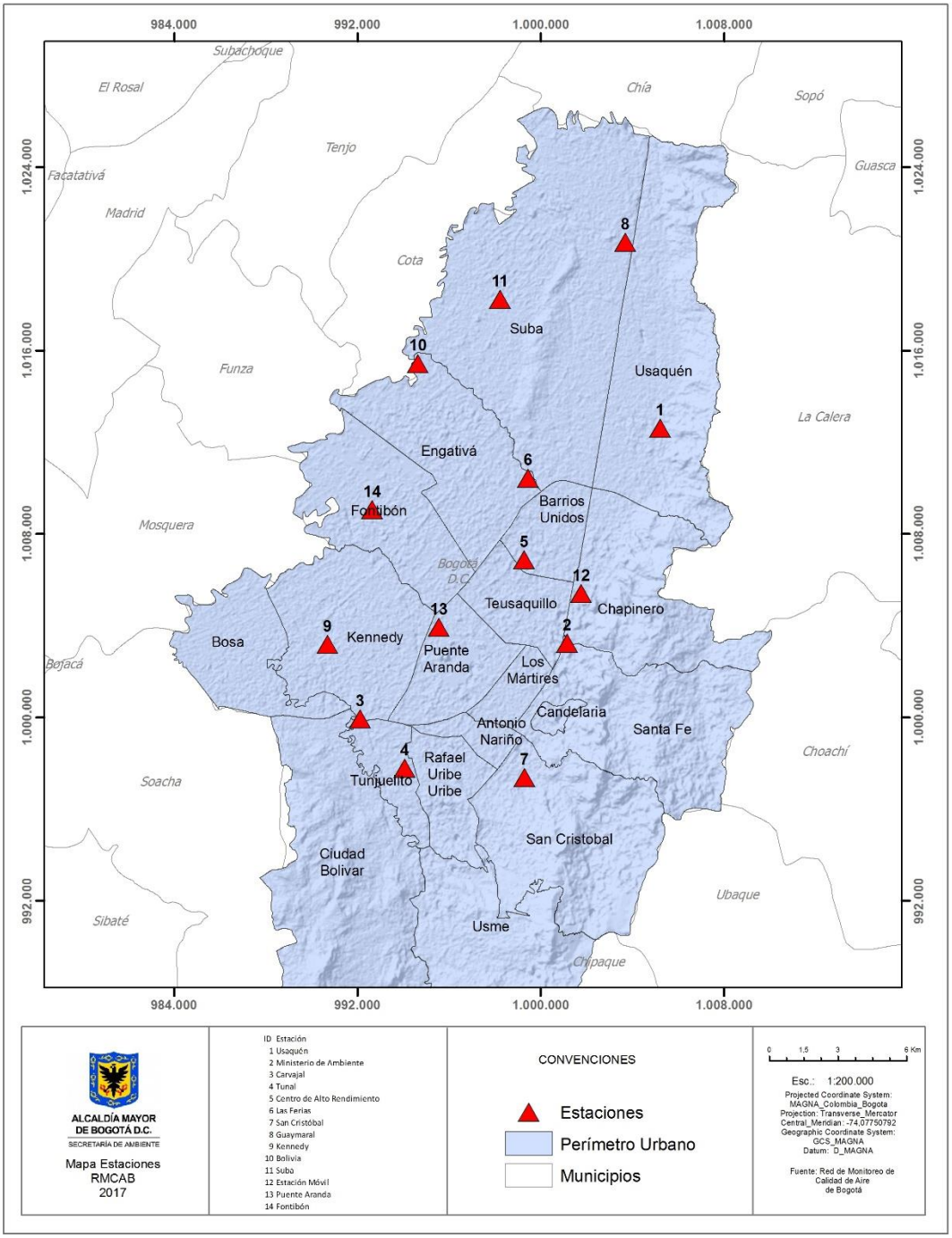


Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2018

Característica		Bolivia	Carvajal-Sevillana	Centro de Alto Rendimiento	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Min. Ambiente	Estación Móvil	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunal	Usaquén
Ubicación	Sigla	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
	Código	100210	60303	120305	90314	110308	80309	100306	170302	20312	160313	40307	110311	30304	10301
	Latitud	4°44'9.12"N	4°35'44.22"N	4°39'30.48"N	4°40'41.67"N	4°47'1.52"N	4°37'30.18"N	4°41'26.52"N	4°37'31.75"N	4°38'32.75"N	4°37'54.36"N	4°34'21.19"N	4°45'40.49"N	4°34'34.41"N	4°42'37.26"N
	Longitud	74°7'33.18"W	74°8'54.90"W	74°5'2.28"W	74°8'37.75"W	74°2'39.06"W	74°9'40.80"W	74°4'56.94"W	74°4'1.13"W	74°5'2.28"W	74°7'2.94"W	74°5'1.73"W	74° 5'36.46"W	74°7'51.44"W	74°1'49.50"W
	Altitud	2574 m	2563 m	2577 m	2551 m	2580 m	2580 m	2552 m	2621 m	2583 m	2590 m	2688 m	2571 m	2589 m	2570 m
	Altura del suelo	0 m	3 m	0 m	11 m	0 m	3 m	0 m	15 m	0 m	10 m	0 m	6 m	0 m	10 m
	Localidad	Engativá	Kennedy	Barrios Unidos	Fontibón	Suba	Kennedy	Engativá	Santa Fe	Chapinero	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunjuelito	Usaquén
	Dirección	Avenida Calle 80 #121-98	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 #59A-06	Carrera 104 #20 C - 31	Autopista Norte #205-59	Carrera 80 #40-55 sur	Avenida Calle 80 #69Q-50	Calle 37 #8-40	Carrera 7 con calle 60	Calle 10 #65-28	Carrera 2 Este #12-78 sur	Carrera 111 # 159A-61	Carrera 24 #49-86 sur	Carrera 7B Bis # 132-11
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	De fondo	Tráfico / Industrial	De fondo	De tráfico	De fondo	De fondo	De tráfico	De tráfico	De tráfico	Industrial	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Andén	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea
	Altura punto de muestra	4.6 m	4.2 m	4.05m	15 m	4.8 m	7.71 m	4.02m	4.67 m	4 m	18.7 m	4.88 m	11.4 m	3.62	16.45m
	Altura del sensor de viento	10 m	13 m	10 m	17.4 m	10 m	10 m	10 m	19 m	12.3 m	20 m	10 m	10 m	10 m	19 m
Contaminantes	PM_{10}		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	$PM_{2.5}$		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	O_3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	NO_2		X	X	X	X	X	X			X			X	
	CO		X	X	X		X	X		X	X			X	X
	SO_2		X	X			X			X	X		X	X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar			X		X	X			X		X		X	
	H. Relativa			X	X	X	X	X		X		X		X	
	Presión Atm.					X		X		X				X	

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

4.1. NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual inició su vigencia desde el 1 de enero de 2018, y deroga la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. La *Tabla* 4-3 presenta los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio definidos en la norma vigente.

Tabla 4-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo
PM_{10}	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	100	1 hora	Concentración promedio horaria
NO_2	60	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	100	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
CO	5000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	35000	1 hora	Concentración promedio horaria

Parágrafo 1: *A partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75 µg/m³ y 37 µg/m³ respectivamente.*

Parágrafo 2. *Para verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la Tabla 1 la concentración de los contaminantes del aire deberá evaluarse por cada punto de monitoreo. El promedio de concentraciones de diferentes puntos de monitoreo no será válido para evaluar el cumplimiento de dichos niveles.*

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2018. En la primera sección se determinó el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presenta el porcentaje de datos validados, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2018, todos los parámetros capturaron datos superando el umbral de la norma del 75%. Los parámetros meteorológicos registraron valores superiores al 90% y para los registros de los parámetros de concentraciones de contaminantes mostraron un porcentaje de captura superior al 83%. El parámetro que reporto un menor porcentaje de captura de datos fue el O_3, esto se atribuye a que se instaló un nuevo equipo en la estación de Centro de Alto Rendimiento, debido a que el anterior equipo se encontraba fuera de servicio por un daño en la tarjeta principal del mismo.

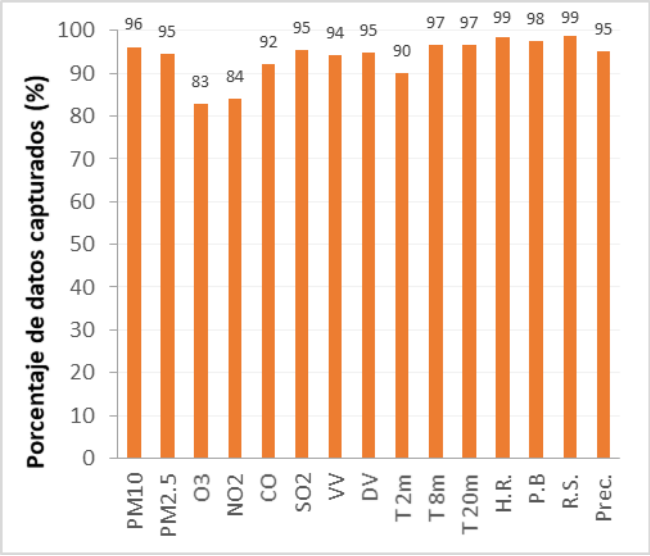


Figura 5-1. Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2018

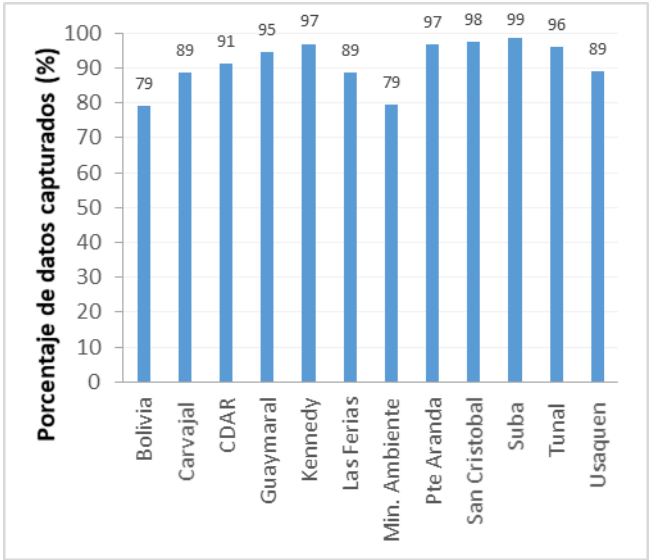


Figura 5-2. Porcentaje de datos capturados por estación. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de las estaciones es superior al 89%, exceptuando las estaciones de Bolivia y Min Ambiente. Es de aclarar que la estación Min Ambiente fue instalada nuevamente en marzo del 2018 después de finalizar las obras realizadas en la edificación donde se ubicaba la estación.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se disponía del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado.

Tabla 5-1. Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2018

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S	Prec.	Prom
Bolivia							79	79							79	79
Carvajal	94	94	86	87	89	89	84	82	91						91	89
CDAR	97	98	19	93	99	97	99	99	99			99			98	91
Guaymaral	95	97	83	86			97	96	97	97	97	97	97	97	97	95
Kennedy	100	99	91	91	100	90	100	100	100			100	100	100	90	97
Las Ferias	95	89	87	41	93		95	95	96			96	96		92	89
Min. Ambiente	82	78	81				73	82							82	79
Pte Aranda	100	94	85	99	91	100	100	100	100						100	97
San Cristóbal	100	97	87				100	100	100			100		100	100	98
Suba	99	98	99			98	99	99	99						99	99
Tunal	99	98	95	91	74		99	98	100			100		100	100	96
Usaquén	98	100	99		100		98	98	19						100	89
Promedio	96	95	83	84	92	95	94	95	90	97	97	99	98	99	95	93

5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación busca validar o invalidar datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por motivos de fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos validos de la RMCAB para el año 2018 fue del 89% en promedio. La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validos por instrumento. Al comparar con la Figura 5-1 se puede observar que el porcentaje de variación de los parámetros meteorológicos fue máximo del

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

1%, mientras que en los contaminantes se observan variaciones del 2% al 13% de los datos. El parámetro con el mayor porcentaje de invalidación fue el NO_2.

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos validados por estación de monitoreo, al comparar con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de datos validados fue igual o menor al 8% de los datos capturados exceptuando la estación Bolivia el cual presento un porcentaje de datos validados del 25%.

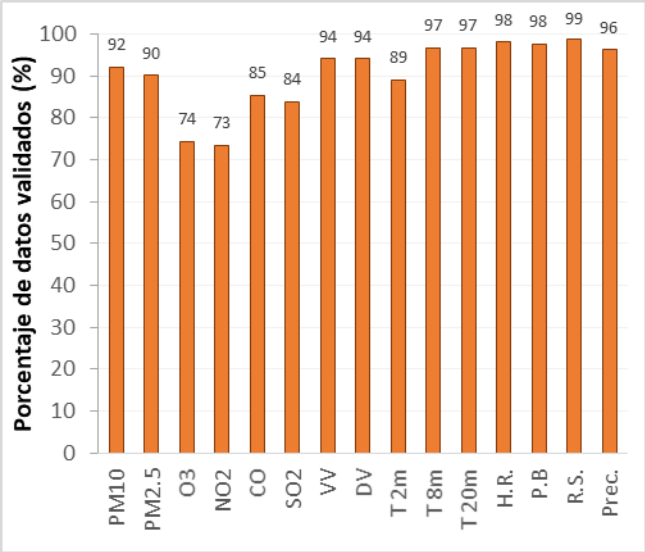


Figura 5-3. Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2018

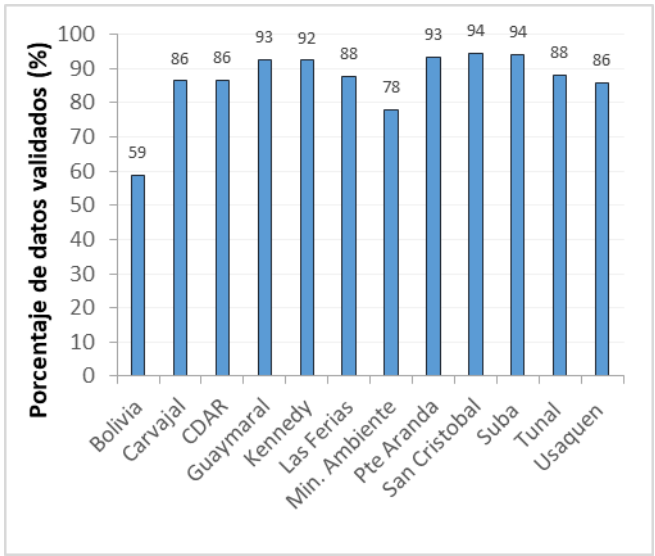


Figura 5-4. Porcentaje de datos válidos por estación año 2018

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Tabla 5-2 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se disponía del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2018 es del 89%.

Tabla 5-2. Porcentaje de datos validados por estación y parámetro – Año 2018

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S	Prec.	Prom
Bolivia							71	27							79	59
Carvajal	88	94	87	86	88	64	88	85	92						92	86
CDAR	90	90	19	83	92	84	88	99	99			99			98	86
Guaymaral	94	84	83	83			97	87	97	97	97	97	97	97	97	93
Kennedy	97	97	74	60	97	78	100	100	100			100	100	100	100	92
Las Ferias	91	86	80	43	93		95	95	96			96	96		92	88

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S	Prec.	Prom
Min. Ambiente	79	76	78				73	81							81	78
Pte Aranda	95	91	73	92	91	98	100	94	100						100	93
San Cristóbal	96	94	64				100	100	100			97		100	100	94
Suba	94	96	92			83	96	96	96						99	94
Tunal	97	90	70	67	52		99	98	89			100		100	100	88
Usaquén	94	93	99		83		100	100	20						100	86
Promedio	92	90	74	73	85	84	94	94	89	97	97	98	98	99	96	89

6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

Este capítulo incluye reportes gráficos para el análisis de las concentraciones de los contaminantes, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 8 horas, según corresponda y la evaluación con los niveles máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 2254 de 2017 del MADS). El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10})

El PM_{10} representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, algunas de las fuentes de emisión de estas partículas pueden ser móviles y fijas procedente de procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

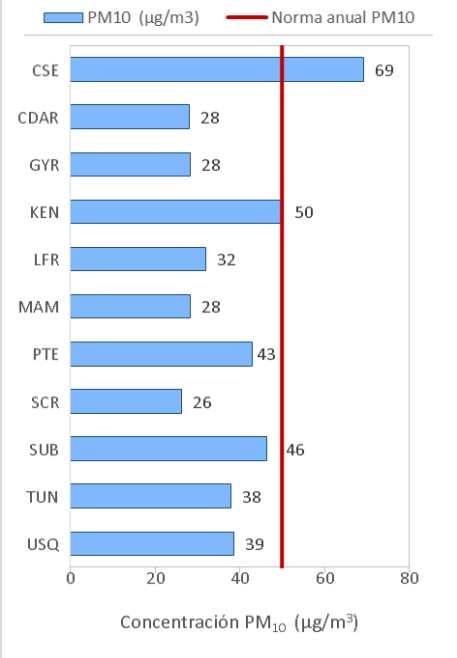
6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

En la Tabla 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} registrados en las estaciones que tuvieron una representatividad temporal mayor al 75% durante el 2017, además de incluir las estadísticas respecto a promedios, valores máximos diarios y excedencias a la norma. Solamente la estación Carvajal-Sevillana excedió el valor de la norma, con 69 µg/m^3, siendo este el mayor promedio de los registrados durante el 2018, mientras que la estación San Cristóbal registró el promedio más bajo, con 26 µg/m^3.

El valor del nivel máximo permisible para PM_{10} en resolución temporal diaria fue modificado a partir de julio de 2018, por lo cual se indican de manera independiente las excedencias para el primer y segundo semestre de 2018. En el primer semestre se registraron solamente 7 excedencias en la estación Carvajal-Sevillana, mientras que en el segundo semestre se registraron en total 61 excedencias, siendo la misma estación la que registró el número más alto de valores sobre la norma.

Tabla 6-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} registradas en el año 2018



Estación	Prom. anual PM_{10} (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. 24h (µg/m^3)	No. Exced. 24h Ene-Jun	No. Exced. 24h Jul-Dic
Norma anual: 50 µg/m^3 Norma diaria: 100 µg/m^3 (Hasta junio 30 de 2018) 75 µg/m^3 (desde Julio 1 de 2018)					
CSE	69	87%	136	7	50
CDAR	28	89%	67	0	0
FTB*	40	7%	61	0	0
GYR	28	93%	63	0	0
KEN	50	96%	93	0	1
LFR	32	91%	78	0	0
MAM	28	79%	63	0	0
MOV*	39	8%	78	0	1
PTE	43	96%	96	0	6
SCR	26	97%	55	0	0
SUB	46	95%	82	0	0
TUN	38	97%	91	0	1
USQ	39	92%	85	0	2

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

La distribución espacial de la concentración de PM_{10}, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la *Figura* 4-1, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con un rango de concentraciones entre 57 y 69 µg/m^3. La zona con menores concentraciones de PM_{10} abarca las localidades San Cristóbal, Santa Fé, La Candelaria, parte de Teusaquillo y Barrios Unidos en el centro de la ciudad, y el parea cercana a la

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

estación Guaymaral en el norte. Como se ha visto en años anteriores, la zona suroccidental aun registra los niveles más altos de contaminación, por posible influencia de las emisiones de fuentes en el área, transporte regional por la zona sur de la ciudad y transporte de contaminantes por dirección de los vientos este-oeste.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

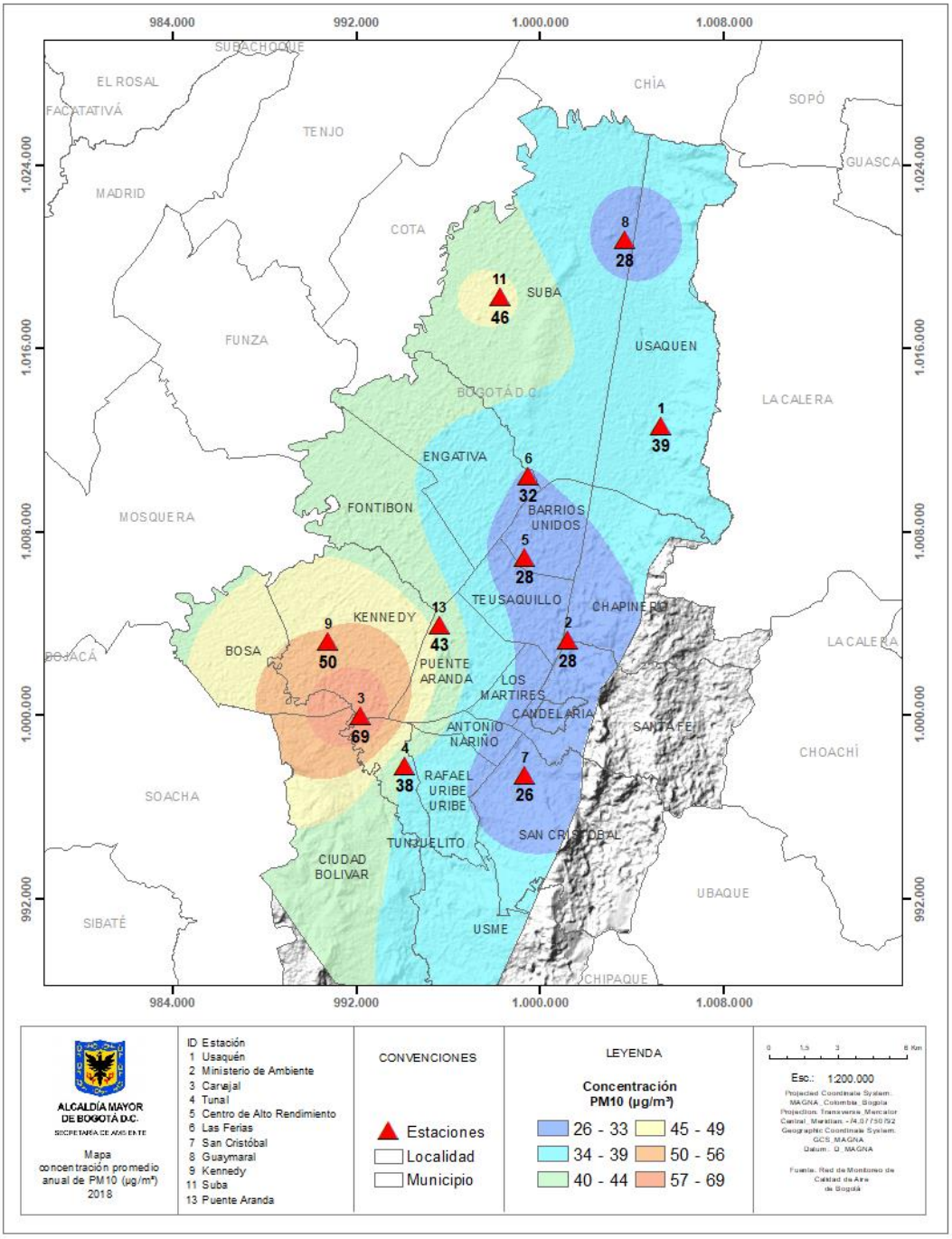


Figura 6-1. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

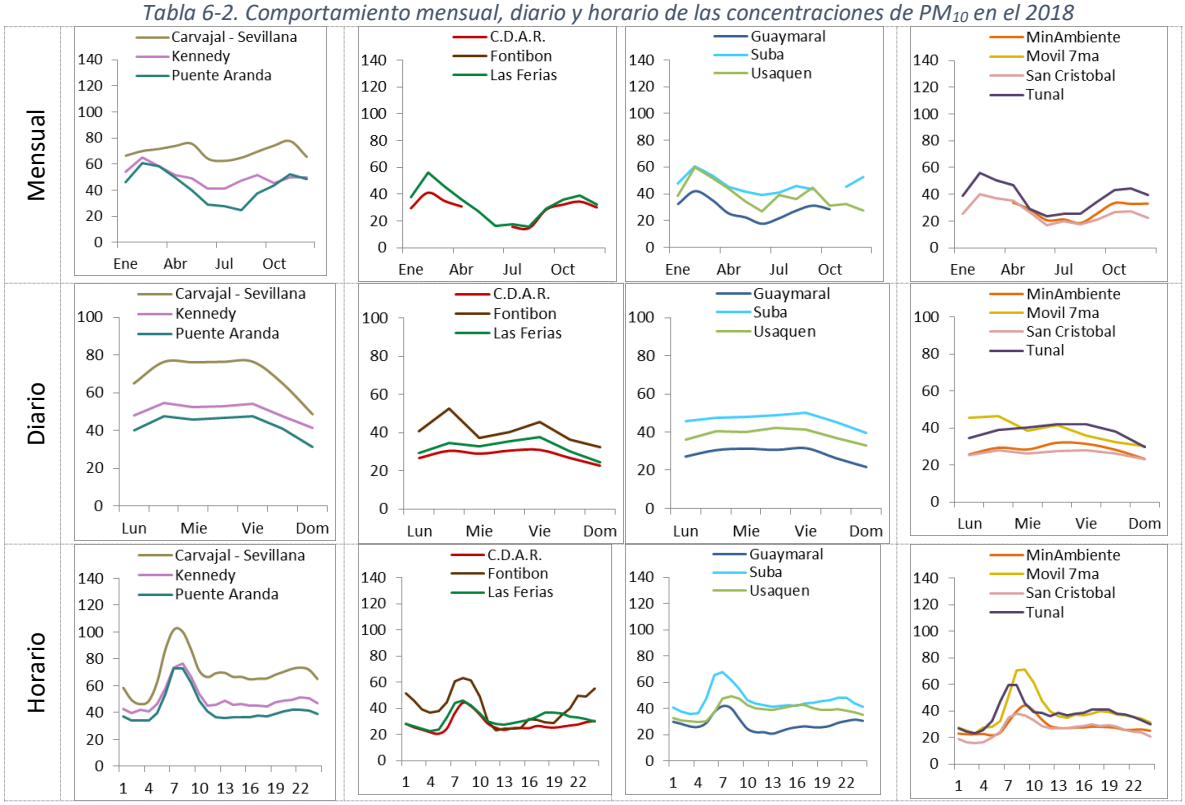
En la Tabla 6-2 se observa el comportamiento de las concentraciones de PM10 para una temporalidad mensual, diaria y horaria. Se evidencia que en la base mensual, las concentraciones más altas se registraron en la estación Carvajal-Sevillana en noviembre (78 µg/m^3), mientras que en las demás estaciones los incrementos se evidenciaron en el mes de febrero. La temporada de concentraciones más bajas es en mitad de año, en los meses de junio y Julio, siendo la estación Centro de Alto Rendimiento la que tuvo el registro más bajo con 15 µg/m^3 en el mes de agosto. Esta periodicidad en el comportamiento del material particulado está influenciada por los cambios en las condiciones del viento en la atmósfera en dichos periodos, tales como reducción de la velocidad y predominancia de los vientos provenientes del occidente, además de la influencia de emisiones de regiones aledañas a la ciudad, por medio del transporte de contaminantes.

Con respecto al comportamiento de una semana promedio, en general las concentraciones más altas se presentan los jueves y viernes, el promedio más alto corresponde a 76 µg/m^3 los días miércoles, jueves y viernes en la estación Carvajal-Sevillana, la cual supera los registros de las demás estaciones en 15 µg/m^3 aproximadamente. De otro lado, las concentraciones son más bajas los domingos, ya que la atmósfera está más limpia durante el fin de semana, ya que se reduce la actividad de las fuentes de emisión, y empiezan a aumentar nuevamente hasta el martes, cuando la atmósfera empieza a acumular la contaminación generada en la ciudad con el inicio de la semana.

En el comportamiento horario se observa que en todas las estaciones el pico de mayor concentración de PM_{10} se registra entre las 7 y 8 AM, luego se registra un descenso hasta horas del mediodía, y en algunas estaciones se incrementa nuevamente pero en menor magnitud hacia las 7 PM, para descender en horas de la madrugada, en las cuales se registran las menores concentraciones del día. Las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy son las que registran el promedio más alto, con 102 µg/m^3 y 77 µg/m^3 respectivamente. Este comportamiento es influenciado por la actividad de las fuentes de emisión, ya que en horas de la mañana se incrementa el tráfico vehicular e inicia la actividad de fuentes fijas, además de que la atmósfera puede verse influenciada por los cambios de temperatura desde la noche hacia la mañana, por lo cual disminuye la dispersión de los contaminantes, a diferencia de las horas de la tarde, que aumenta la velocidad del viento y permite que la concentración de contaminantes sea menor que en la mañana.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 6-2. Comportamiento mensual, diario y horario de las concentraciones de PM_{10} en el 2018



6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM_{10} POR ESTACIÓN

Según la Figura 6-2, en la mayoría de las estaciones, las concentraciones anuales de PM_{10} tienen una tendencia a la disminución con el paso del tiempo para los últimos cinco años. La estación Carvajal-Sevillana es la única que ha registrado excedencias sobre la norma anual desde el 2014, ya que las demás estaciones han registrado concentraciones bajo la norma desde hace dos años en general. En la mayoría de las estaciones las concentraciones anuales más altas se registraron en el año 2014, en el cual se registró un evento de influencia de arenas del desierto del Sahara, el cual sucede periódicamente pero su influencia está determinada por la dirección del viento.

El registro anual más alto de PM_{10} de los últimos cinco años se presentó en Carvajal-Sevillana en el año 2014 (91 µg/m^3), y el más bajo en la estación San Cristóbal en el año 2015 (26 µg/m^3)

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

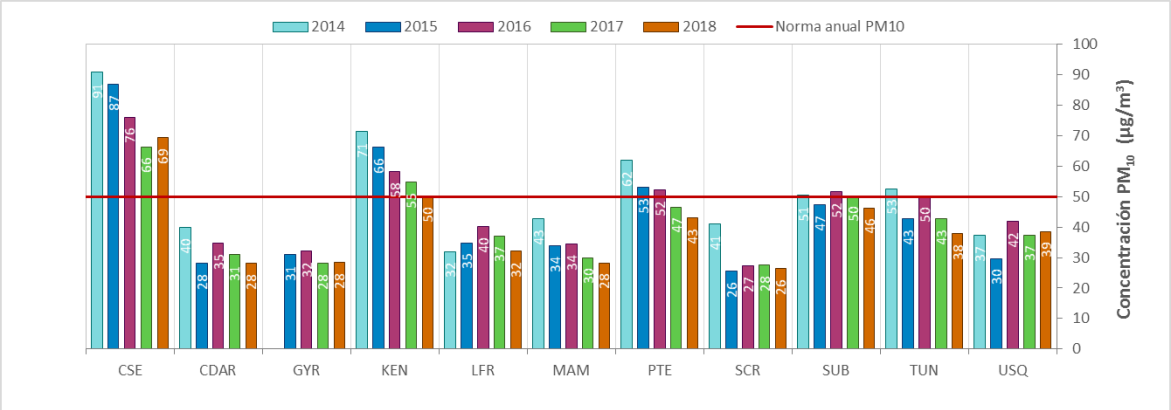


Figura 6-2. Concentraciones anuales de PM_{10} años 2014 a 2018

6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$)

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es inferior a 2.5 µm, las fuentes de estas partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales. Para el año 2017, diez (10) estaciones reportaron datos de $PM_{2.5}$ con una representatividad temporal mayor al 75%, de las once (11) estaciones que monitorearon el contaminante.

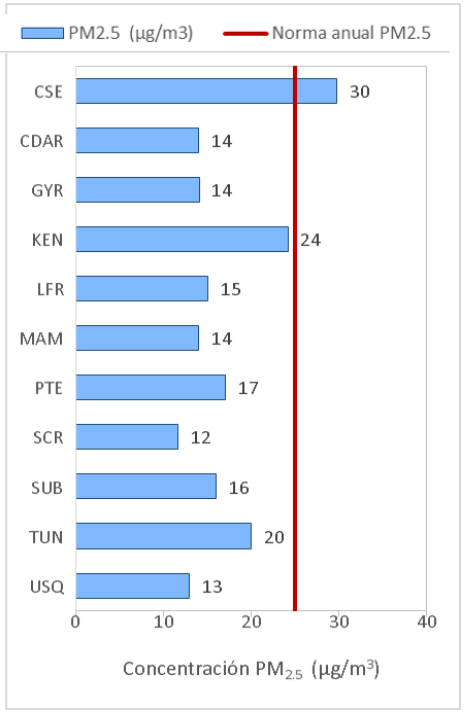
6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-3 se relacionan los promedios anuales de PM2.5 registrados en el año 2018, los valores máximos, porcentaje de datos válidos y excedencias al nivel máximo permisible en resolución temporal diaria. Solamente la estación Carvajal-Sevillana registró el promedio anual sobre la norma, con un valor de 30 µg/m^3, las demás concentraciones se encuentran por debajo de 24 µg/m^3; el registro anual más bajo es el de la estación San Cristóbal, con 12 µg/m^3.

El valor del nivel máximo permisible para $PM_{2.5}$ en resolución temporal diaria fue modificado a partir de julio de 2018, por lo cual se indican de manera independiente las excedencias para el primer y segundo semestre de 2018. En el primer semestre se registraron solamente dos excedencias, en las estaciones Kennedy y Tunal, mientras que en el segundo semestre se registraron 49 excedencias, de las cuales 27 corresponden a la estación Carvajal-Sevillana. Con la restricción en la norma, se observa que las concentraciones diarias en varios puntos de la ciudad siguen siendo altas, en especial en los meses de febrero y marzo, y en septiembre y octubre, además indica que en la zona suroccidental de la ciudad aún persisten las altas concentraciones de material particulado, por lo cual sigue siendo la zona con más posibles afectaciones por este contaminante.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 6-3. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ registradas en el año 2018



Estación	Promedio anual $PM_{2.5}$ (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. 24h (µg/m³)	No. Exced. 24h Ene-Jun	No. Exced. 24h Jul-Dic
Norma anual: 25 µg/m³ Norma diaria: 50 µg/m³ (Hasta junio 30 de 2018) 37 µg/m³ (desde Julio 1 de 2018)					
CSE	30	92%	57	0	27
CDAR	14	90%	36	0	0
FTB*	14	7%	32	0	0
GYR	14	84%	37	0	0
KEN	24	99%	54	1	6
LFR	15	83%	37	0	0
MAM	14	76%	43	0	2
MOV	29	7%	49	0	5
PTE	17	86%	42	0	1
SCR	12	94%	39	0	0
SUB	16	97%	41	0	0
TUN	20	88%	56	1	7
USQ	13	95%	40	0	1

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

La distribución espacial de la concentración de $PM_{2.5}$, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-3, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en la zona en que confluyen las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con un rango de concentraciones entre 26 y 30 µg/m³. En contraste, las localidades ubicadas en la zona oriental de la ciudad bajo los cerros orientales, presentan las concentraciones más bajas del contaminante, principalmente en el suroriente de la ciudad. El comportamiento espacial del $PM_{2.5}$ es similar al del PM_{10}, en el cual la zona suroccidental presenta las concentraciones más altas, las cuales se pueden ver influenciadas por la resuspensión del material, las emisiones de fuentes fijas y móviles ubicadas en el sector y en zonas aledañas al límite de la ciudad, y transporte de contaminantes generados en otros sectores de la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

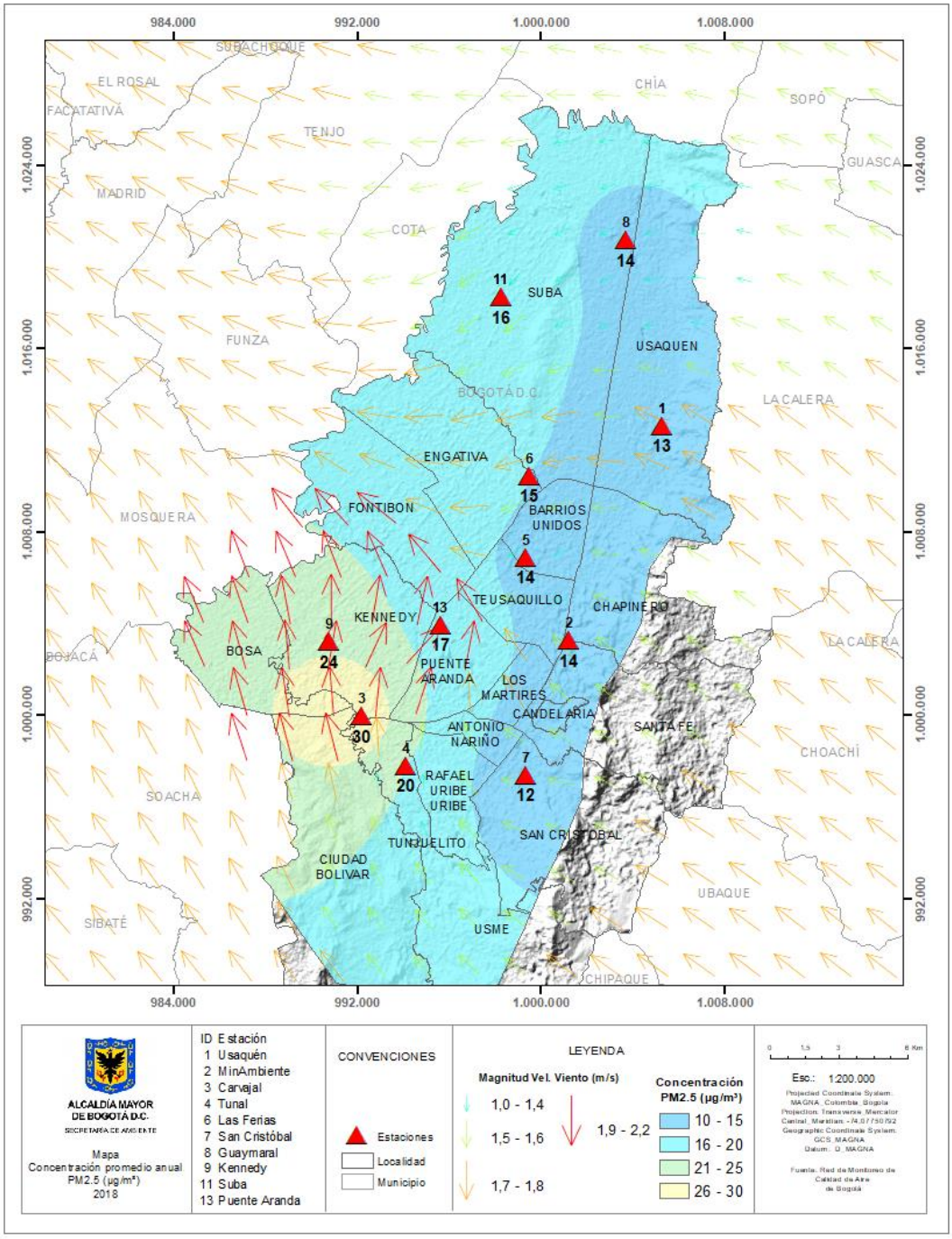


Figura 6-3. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

6.2.1. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-4 se observa el comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para una temporalidad mensual, diaria y horaria. En relación al comportamiento mensual, el mes de febrero presenta las concentraciones más altas, mientras que la temporada de mitad de año es la que registra las concentraciones más bajas de $PM_{2.5}$. Los registros mensuales más altos corresponden a 33 µg/m^3 para las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy en los meses de marzo y febrero respectivamente, y los registros más bajos corresponden a 4 µg/m^3 en San Cristóbal para el mes de julio, y a 6 µg/m^3 en Usaquén para el mes de agosto. Este comportamiento es similar al del PM_{10}, en donde se presentaron concentraciones altas en el primer trimestre del año por transporte de material particulado generado en incendios forestales en la zona de la Orinoquía y Venezuela a través de vientos sinópticos. En los consiguientes meses hubo un aumento en las precipitaciones, lo que posiblemente contribuyó a la reducción de las concentraciones por la dispersión de contaminantes.

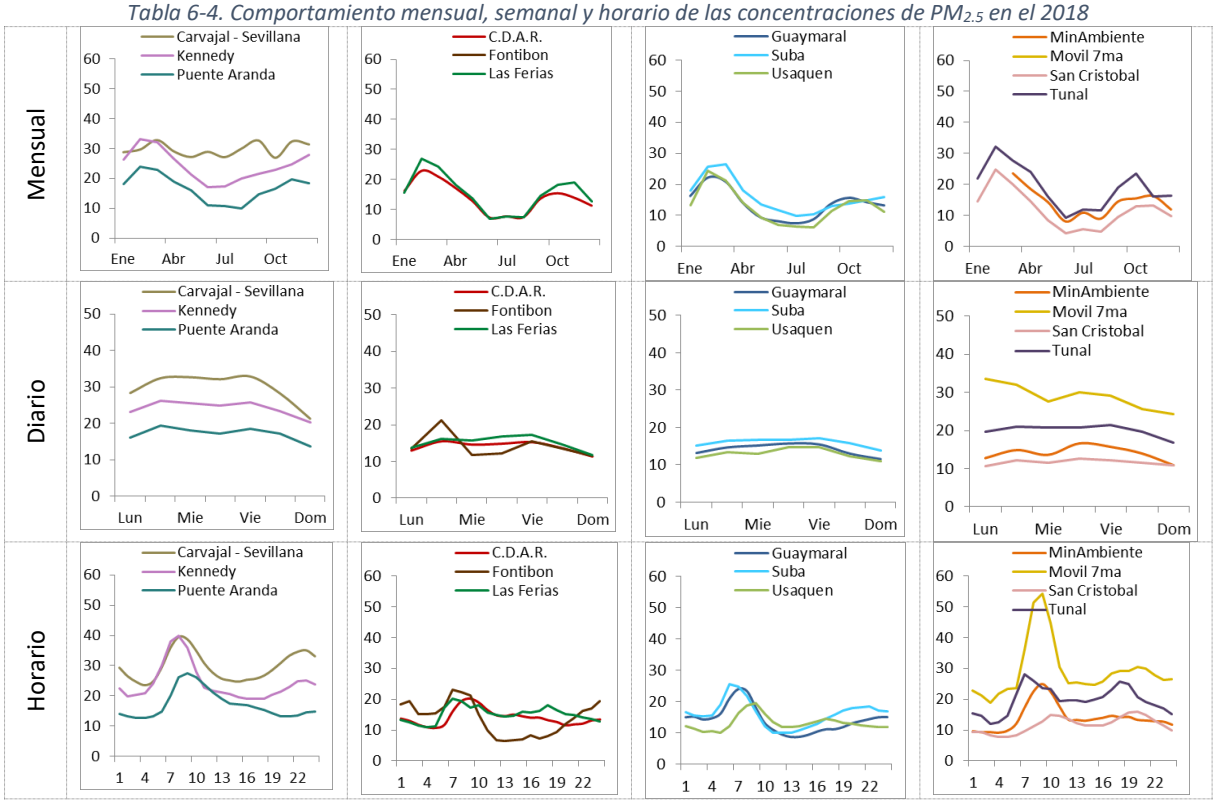
Respecto al comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$, se observa que las concentraciones más altas se registran el viernes, a excepción de la estación Móvil, que registra los valores más altos durante el lunes y en Fontibón el día martes; cabe resaltar que estas estaciones solo cuentan con mediciones del mes de diciembre, por lo cual este comportamiento no incluye todas las fluctuaciones del año. En estas dos últimas estaciones es notable que la actividad es más alta al inicio de la semana, asociada a la presencia de oficinas e incremento de la flota de transporte público. Para el resto de las estaciones, la dinámica del contaminante se ve influenciada por el efecto de acumulación de contaminación, y las condiciones que no favorezcan la dispersión de contaminantes, además de la actividad de las fuentes emisoras, que es mayor en días hábiles que en días entre semana. El promedio más alto corresponde a 33 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana para los días miércoles y viernes, y el más bajo de 11 µg/m^3 en la estación San Cristóbal para el día lunes.

En relación al comportamiento horario, al igual que en PM_{10}, el pico de contaminación se presenta en entre las 7 y 8 AM, y después hay un descenso de las concentraciones hasta el mediodía, luego hay un incremento hacia las 7 PM en las estaciones del centro y suroriente, y hacia las 10 PM en las estaciones del suroccidente. Esto se debe a que posiblemente el tráfico vehicular es mayor en las salidas de la ciudad en la zona suroccidental de la ciudad para las horas de la noche, y que hay una mayor flota vehicular hacia la periferia de la ciudad; el pico de concentración es influenciado por las condiciones de la atmósfera en la mañana, dada la diferencia de temperatura respecto a la altura, y por el inicio de la actividad de las fuentes emisoras en la mañana.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Tabla 6-4. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2018



6.2.2. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

De acuerdo a la Figura 6-4, las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy han registrado excedencias sobre el promedio anual de concentración en los últimos cinco años, aunque solamente la primera estación tuvo excedencia en el año 2018. En algunas estaciones se redujo la concentración respecto al año anterior, como en Kennedy, Las Ferias, MinAmbiente y Suba, pero en otras las concentraciones se mantienen, como en Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén.

El registro más alto desde el 2014 es de 35 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana, y el más bajo de 9 µg/m^3 en San Cristóbal, para el año 2015. En esta última estación se observa un aumento gradual de las concentraciones en el tiempo, posiblemente asociado a cambios en la dirección del viento (predominancia de vientos del occidente) e influencia de incendios forestales en el primer trimestre del año.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

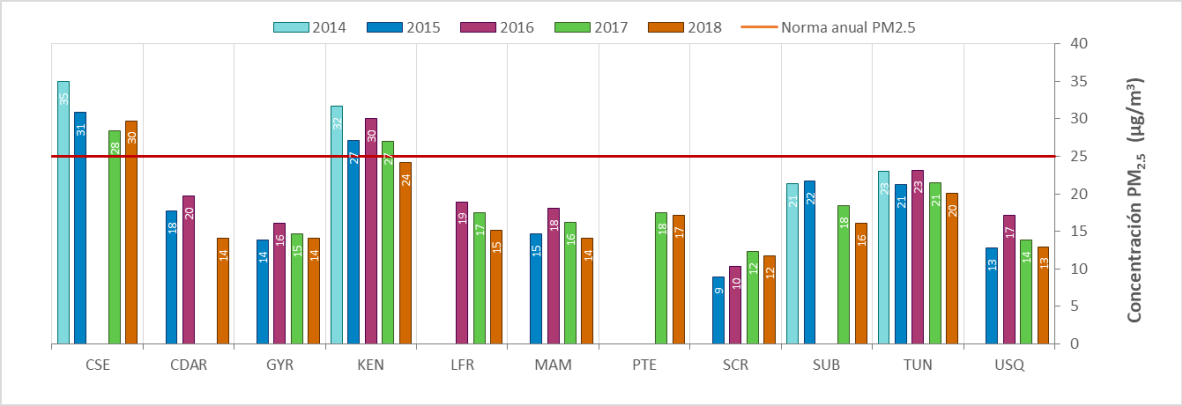


Figura 6-4. Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2014 a 2018

6.3. OZONO (O_3)

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas (tropósfera) de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE O_3 POR ESTACIÓN

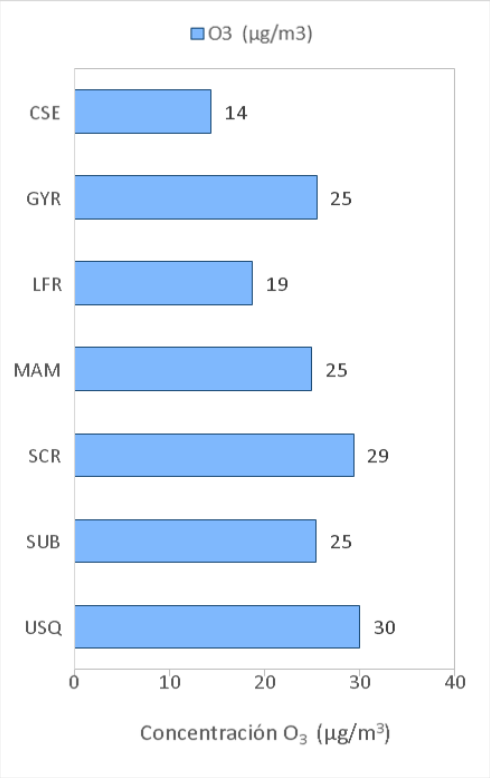
La Tabla 6-5 contiene los promedios anuales de concentración de ozono, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, el porcentaje de datos válidos, valores máximos y número de excedencias a la norma.

La estación Usaquén registró el valor más alto de 2018, con 30 µg/m^3, seguido de la estación San Cristóbal, con 29 µg/m^3, mientras que el valor más bajo corresponde a la estación Carvajal-Sevillana, con 14 µg/m^3. Aunque la estación Carvajal-Sevillana registra altos niveles de concentración de material particulado, en esta zona se presentan bajos niveles de ozono, posiblemente por el incremento en la presencia de óxidos de nitrógeno, asociados a emisiones de fuentes móviles en la zona y por transporte de contaminantes, situación que incide en la reacción para generar NO_3, y que implica un consumo de ozono.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

En total se obtuvieron 27 excedencias al nivel máximo permisible en resolución temporal 8 horas, siendo la estación Suba la que presentó el valor más alto con 17 excedencias, y la estación San Cristóbal con 8 excedencias. Del mismo modo, la estación Suba obtuvo el valor más alto de las concentraciones 8 horas, con 118 µg/m^3.

Tabla 6-5. Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 registradas en el año 2018



Estación	Promedio anual O_3 (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. 8h (µg/m^3)	No. Exced. 8h
Norma 8 horas: 100 µg/m^3				
CSE	14	87%	80	0
CDAR*	24	19%	106	2
FTB*	21	6%	73	0
GYR	25	83%	92	0
KEN*	18	74%	89	0
LFR	19	80%	81	0
MAM	25	77%	107	3
PTE*	12	73%	72	0
SCR*	29	64%	111	8
SUB	25	91%	118	17
TUN*	25	70%	93	0
USQ	30	99%	87	0

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

La Figura 6-5 representa la distribución espacial de las concentraciones anuales de O_3 registradas durante el 2018, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Se observa que las concentraciones tienden a aumentar hacia el nororiente de la ciudad, en un rango entre 26.1 a 30 µg/m^3, que abarca la zona norte de Chapinero, la zona sur de Usaquén y el oriente de Suba. Por el contrario, las concentraciones más bajas se presentan en el suroccidente, en los límites de las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, en un rango entre 14 y 17 µg/m^3. Durante el 2018 se observó un aumento del ozono en la zona oriental de la ciudad, siendo el comportamiento usual que las concentraciones más altas se registren al norte y nororiente de la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

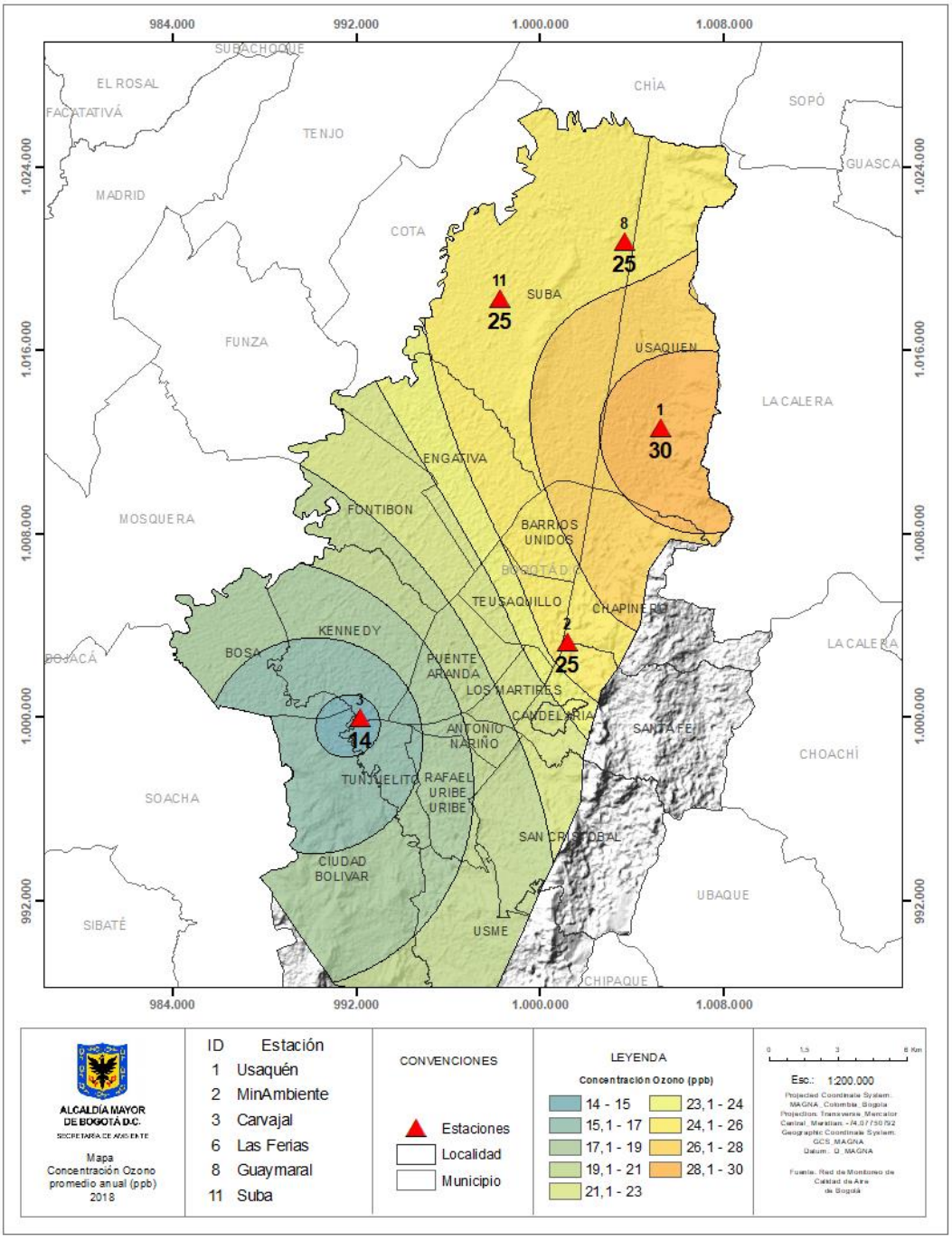


Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2018 con base en el método de interpolación Kriging

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

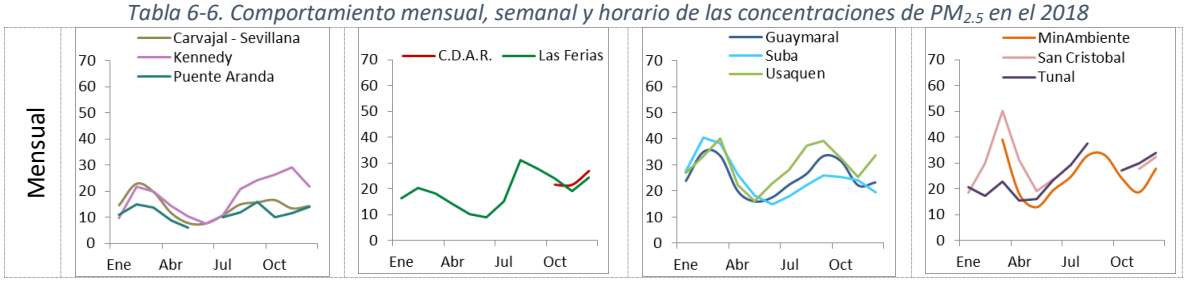
6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-6 se observa el comportamiento de las concentraciones de O_3 para una temporalidad mensual, diaria y horaria. Con base en el comportamiento mensual, se observa que las concentraciones más altas se registraron el inicio del año entre febrero y marzo y en el mes de septiembre, y las más bajas en el mes de junio. Las estaciones del norte y oriente de la ciudad son las que registran los valores más altos de ozono, siendo la estación San Cristóbal la que registró el pico más alto en el mes de marzo (50 µg/m^3), y los promedios más bajos se obtuvieron en la zona suroccidente de la ciudad; la concentración promedio más baja fue de 8 µg/m^3 en la estación Carvajal-Sevillana para el mes de enero. La generación de ozono troposférico como contaminante secundario está influenciada por la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) con la luz solar, por lo cual en la zona suroccidental que registra altas concentraciones de material particulado, se presentan altas concentraciones de óxidos de nitrógeno, por lo que los niveles de ozono son más bajos. Por otro lado, en la zona nororiental aumentan las concentraciones por la posible influencia del menor aporte de óxidos de nitrógeno y de tráfico vehicular, en esta zona.

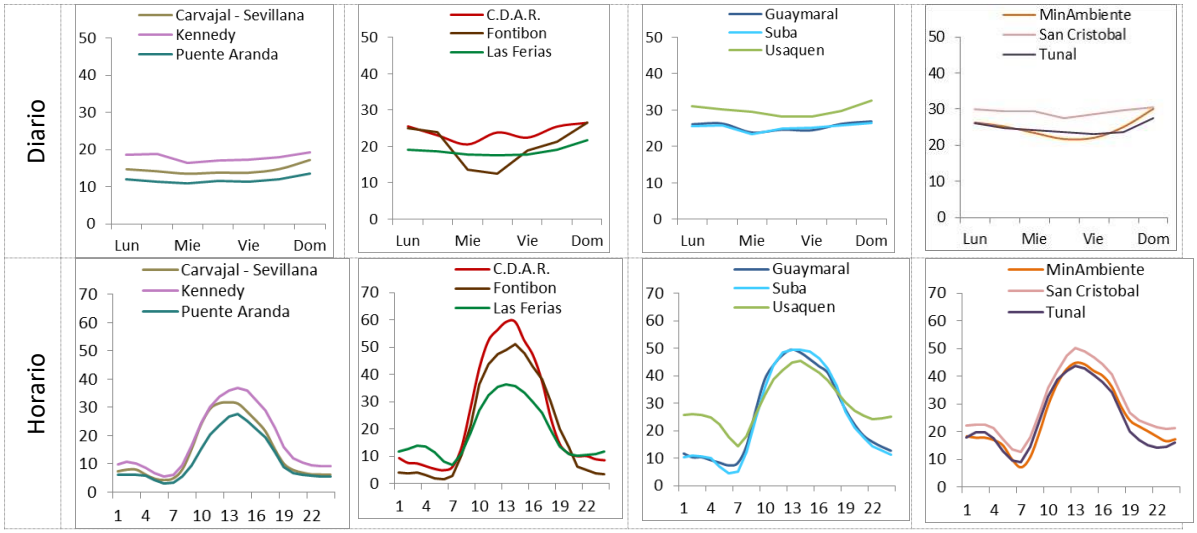
En cuanto al comportamiento diario del ozono, se evidencia que las concentraciones son más altas entre viernes y domingo, y las más bajas a mitad de semana. Se puede evidenciar la relación con los óxidos de nitrógeno los cuales se asocian a las emisiones de vehículos, cuya actividad es mayor en los días hábiles, por lo que el efecto acumulativo de los contaminantes puede incidir en que se reduzca el ozono a mitad de semana, y que aumente durante el fin de semana dado que se reduce la flota vehicular que transita en la ciudad.

El comportamiento horario del ozono se caracteriza por registrar picos de concentración entre 1 y 2 PM, con lo cual se evidencia la influencia de la radiación solar en la reacción de los contaminantes primarios para generar ozono, por lo que los óxidos de nitrógeno y los COV generados en las emisiones de la mañana, se transforman gradualmente con el aumento de la radiación solar, y después las concentraciones descienden en horas de la tarde. El promedio horario más alto fue registrado en la estación C.D.A.R. (59 µg/m^3) a la 1 PM, y el promedio horario más bajo se registró en Fontibón a las 6 AM (2 µg/m^3)

Tabla 6-6. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2018



Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O_3 POR ESTACIÓN

En los últimos cinco años, la estación Usaquén ha registrado las concentraciones más altas de ozono, obteniendo el registro más alto el año 2015 con 47 µg/m^3; por el contrario, el registro más bajo fue de 8 µg/m^3 en la estación Kennedy, para el año 2017. En términos generales, se observa un aumento de las concentraciones de ozono en el 2018 respecto al 2017, aunque en general las concentraciones más altas se registraron durante el año 2015.

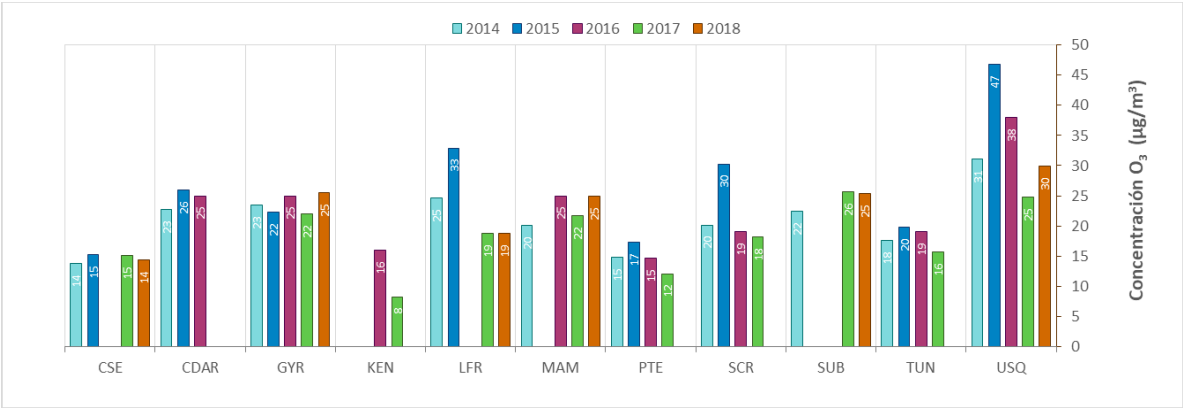


Figura 6-6. Concentraciones anuales de O_3 años 2014 a 2018

6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2)

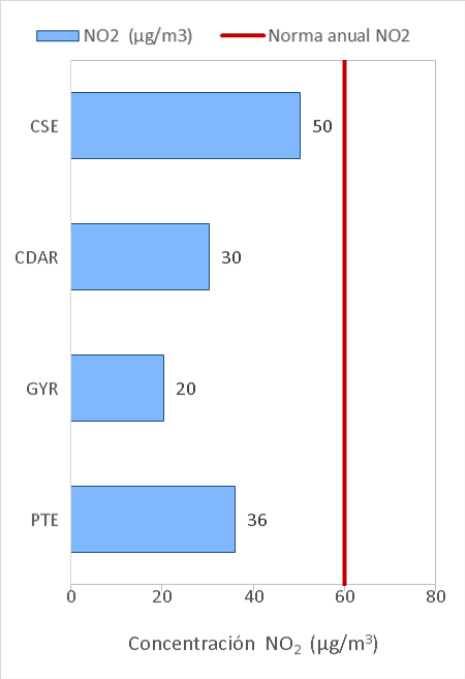
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-7 resume los parámetros de concentraciones promedio anuales de NO_2 para el año 2018, porcentaje de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma horaria. Se observa que todas las concentraciones anuales registradas se encuentran por debajo del nivel establecido por la norma; la concentración anual más alta es la registrada en Carvajal-Sevillana (50 µg/m³), mientras que la más baja fue la registrada en Guaymaral (20 µg/m³). Solamente se registraron tres excedencias con respecto a la norma diaria, en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda.

Tabla 6-7. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 registradas en el año 2018



Estación	Promedio anual NO_2 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. 1h (µg/m³)	No. Exced. 1h
Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³				
CSE	50	86%	140	0
CDAR	30	83%	215	1
FTB*	45	7%	116	0
GYR	20	83%	197	0
KEN*	24	60%	109	0
LFR*	33	43%	263	1
PTE	36	92%	260	1
TUN*	27	67%	111	0

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-8 se representa el comportamiento promedio de las concentraciones de NO2 en temporalidad mensual, diaria y horaria para el año 2018. En la base temporal mensual, se observa que en el primer trimestre el año se registra las mayores concentraciones, mientras que la mitad

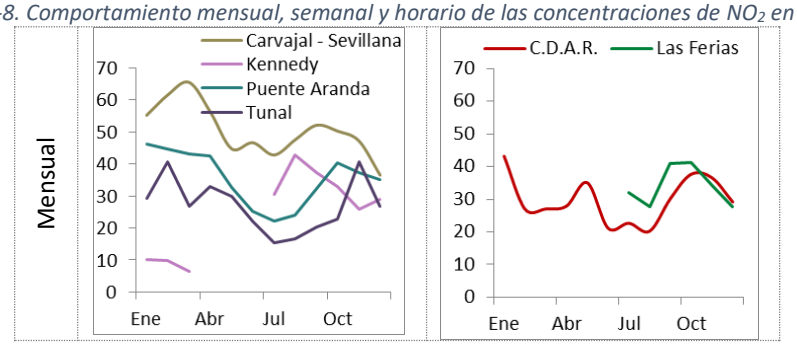
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

del año tuvo las menores concentraciones del año. La estación Kennedy tuvo datos faltantes entre abril y junio, dado que estuvo en revisión operativa por diferencias en la eficiencia del convertidor, mientras que el monitor de la estación las Ferias estuvo en mantenimiento la primera mitad del año debido a cambio en un componente interno del equipo. El comportamiento de este contaminante es similar al del material particulado, con dos picos de concentración en el primer y último trimestre del año, siendo la zona suroccidental la que registra los niveles más altos, debido a que hay un aporte notable por el número de fuentes de emisión en la zona y el transporte de contaminantes de otras zonas de la ciudad. El promedio mensual más alto se registró en la estación Carvajal-Sevillana en marzo, con 65 µg/m^3, y el menor promedio en la estación Guaymaral en el mes de Julio, con 14 µg/m^3

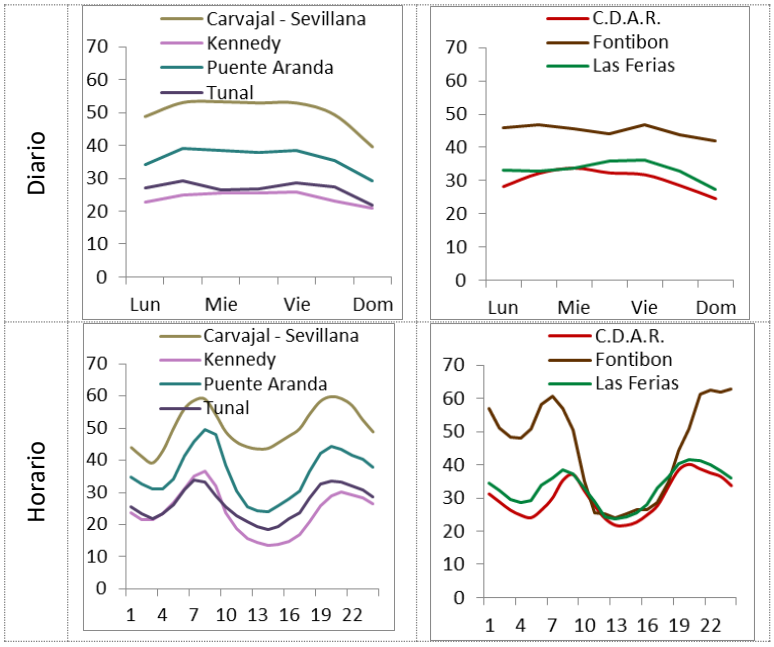
En relación al comportamiento de una semana promedio, las concentraciones son bajas en el día lunes, se incrementan gradualmente los siguientes días hábiles, y se reducen nuevamente hasta los valores más bajos en el fin de semana. Las concentraciones de NO_2 se encuentran asociadas a las emisiones de las fuentes móviles, por lo que se observa que la dinámica de dichas fuentes que reducen su actividad en días de fin de semana, corresponde a la disminución de concentraciones al final de la semana.

De acuerdo al comportamiento horario, se evidencia que se registran dos picos de concentración de similar magnitud a las 7 AM y a las 8 PM, y las 2 PM se registran las menores concentraciones; es notable que las concentraciones más altas se registran en la estación Carvajal-Sevillana en la zona suroccidente y en la estación Fontibón en la zona centro-occidental de la ciudad, las cuales se encuentran ubicadas cerca de vías de alto tráfico vehicular, por lo cual se observa la influencia de las horas de mayor tráfico en la ciudad. En el medio día las concentraciones descienden posiblemente por el consumo del NO_2 en la reacción fotoquímica que contribuye al aumento del ozono troposférico, dado el incremento de la radiación solar.

Tabla 6-8. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de NO_2 en el 2018



Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO_2 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-7 se representan las concentraciones promedio anual de NO_2 de los años 2014 a 2018. En algunas estaciones se retiró el sensor de la estación, o las mediciones han tenido una representatividad temporal menor al 75%. El valor más alto se registró en la estación Carvajal-Sevillana, con 53 µg/m^3 en el año 2015, y el registro más bajo fue de 11 µg/m^3 en la estación Kennedy, para el año 2015. En el año 2018, la norma anual se hizo más restrictiva respecto al valor definido por la normatividad anterior, pasando de 100 a 60 µg/m^3, sin embargo, en los últimos cinco años no se han registrado excedencias respecto a dichos niveles.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

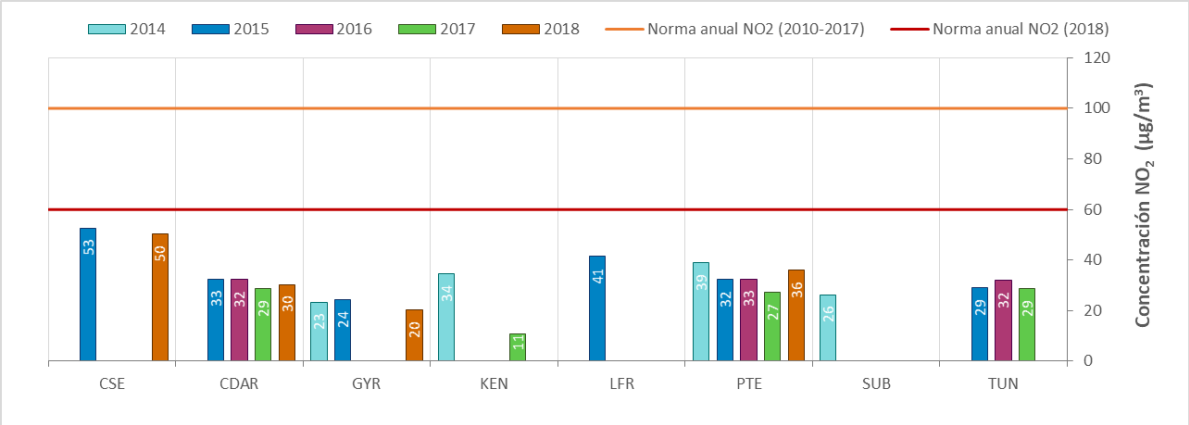


Figura 6-7. Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2014 a 2018

6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2)

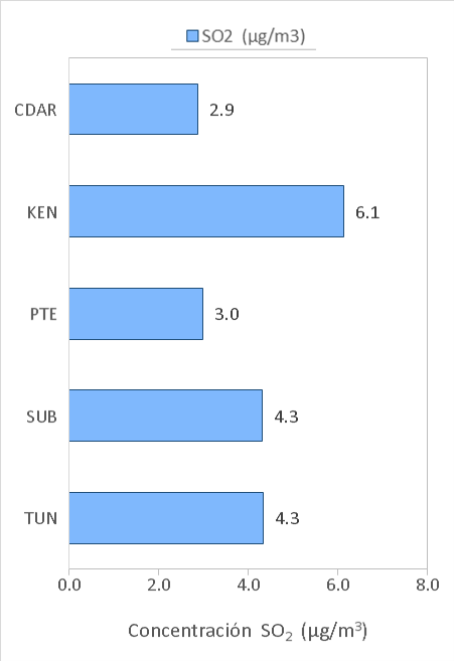
Contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE SO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-9 muestra los valores registrados como promedio anual de SO_2 en el año 2018. La concentración más alta se registró en la estación Kennedy, con 6.1 µg/m^3, y la más baja corresponde a 2.9 µg/m^3 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Se registraron 15 excedencias a la norma horaria de SO_2, de las cuales 14 se registraron en la estación Carvajal-Sevillana. En esta estación se registran los niveles más altos de SO_2 en la ciudad, sin embargo en los primeros meses del 2018 la estación tuvo mediciones intermitentes, por ajustes de calibración y cambios en el filtro de partículas.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 6-9. Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 registradas en el año 2018



Estación	Prom. anual SO_2 ($\mu g/m^3$)	% datos válidos	Conc. Máx. 24h ($\mu g/m^3$)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 50 $\mu g/m^3$ Norma horaria: 100 $\mu g/m^3$					
CSE*	13.3	63%	49.7	0	14
CDAR	2.9	82%	8.8	0	1
KEN	6.1	77%	15.0	0	0
MOV*	5.1	8%	7.1	0	0
PTE	3.0	99%	8.5	0	0
SUB	4.3	81%	26.6	0	0
TUN	4.3	95%	11.6	0	0
USQ*	1.1	11%	2.5	0	0

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-10 se representan los comportamientos de las concentraciones de SO2 en temporalidad mensual, diaria y horaria, con base en los datos registrados en el 2018. Para la base de tiempo mensual, se observa que en la mayoría de las estaciones las concentraciones se incrementan en los últimos meses del año, a excepción de la estación Carvajal-Sevillana, que presentó dos picos altos en los meses de mayo y agosto, además de que registra las concentraciones más altas de la ciudad. Cabe resaltar que el conjunto de datos de SO_2 en dicha estación tuvo un 63% de representatividad temporal, por lo que las mediciones representan solo una parte del comportamiento del contaminante en la zona. El SO_2 se asocia a emisiones de combustibles fósiles, especialmente los combustibles usados en fuentes móviles y transporte pesado, por lo cual las concentraciones más altas se observan en estaciones que se encuentran cerca de vías principales, tales como la Autopista Sur para el caso de la estación Carvajal-Sevillana.

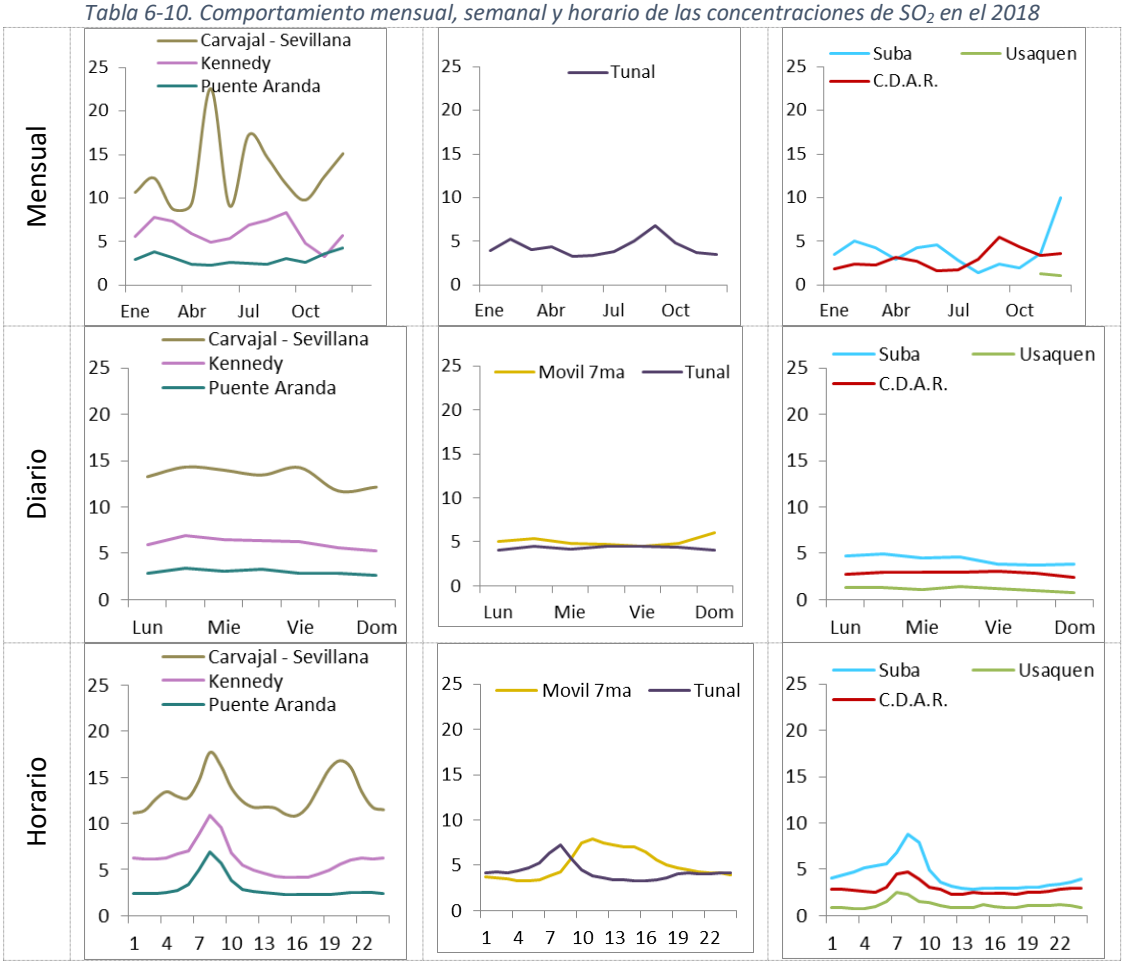
Respecto al comportamiento diario, se observa que en la mayoría de las estaciones las concentraciones permanecen relativamente similares durante los días de la semana, sin embargo se observa una ligera tendencia al descenso en los días de fin de semana, a excepción de la Estación Móvil, que presenta un aumento de las concentraciones el domingo, aunque este comportamiento solo corresponde al mes de diciembre, lo cual podría asociarse al aumento de

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

tráfico en la temporada de final de año. El promedio más alto se registró en la estación Carvajal-Sevillana, con 14 µg/m^3 en el día martes.

En cuanto al comportamiento horario, al igual que en el material particulado, se observa que en la mayoría de las estaciones se registra un pico de concentración en la mañana a las 8 AM, a excepción de la estación móvil que registró las mayores concentraciones entre las 10 AM y las 4 PM, y en la estación Carvajal-Sevillana que registra además otro pico hacia las 9 PM. El comportamiento de este contaminante se asocia a la actividad de las fuentes móviles cuyas emisiones son mayores en horas de la mañana, y en el caso de la estación Carvajal se evidencia la influencia del tránsito de transporte pesado en horas de la noche y en menor proporción en la estación Kennedy.

Tabla 6-10. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de SO_2 en el 2018



Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO_2 POR ESTACIÓN

La Figura 6-8 representa las concentraciones anuales de SO_2 para los años 2014 a 2018, y la comparación con la norma vigente hasta el 31 de diciembre de 2017 (Resolución 610 de 2010 del MAVDT), ya que en la normatividad vigente no se definió nivel máximo permisible en resolución temporal anual; y las concentraciones anuales de los últimos cinco se han mantenido por debajo de los 80 µg/m³. La estación Carvajal-Sevillana tuvo el registro anual más alto en el año 2017, con 13.4 µg/m³, y la estación San Cristóbal obtuvo el promedio más bajo, cono 1.1 µg/m³ en el año 2015. El comportamiento de este contaminante se asocia con el del material particulado, dado que el azufre es producto de algunos procesos de combustión, por lo cual se registran concentraciones altas en la zona suroccidente, mientras que las más bajas se obtienen en la zona suroriental de la ciudad.

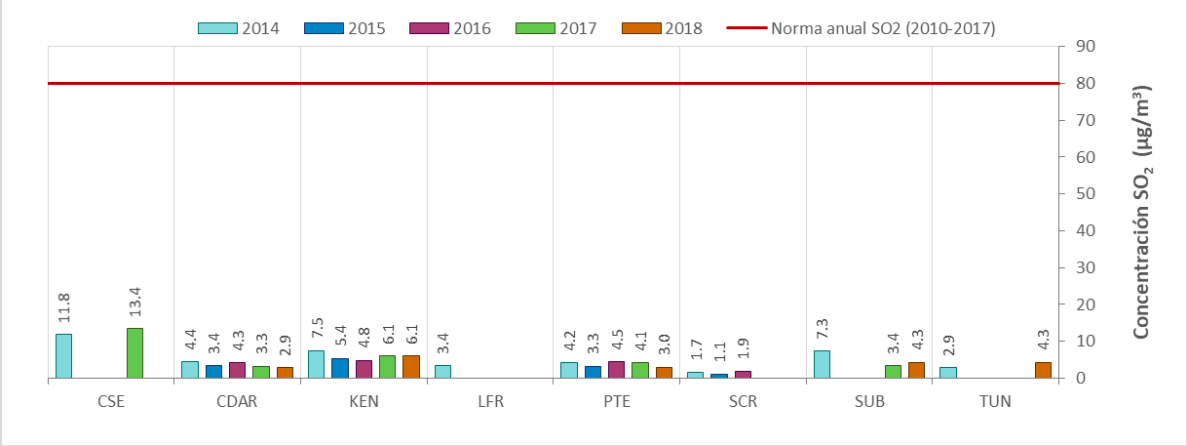


Figura 6-8. Concentraciones anuales de SO_2 años 2014 a 2018

6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El CO es un gas inflamable, incoloro e insípido y es producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre. Para el año 2017, seis (6) estaciones reportaron datos de CO con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante en este período.

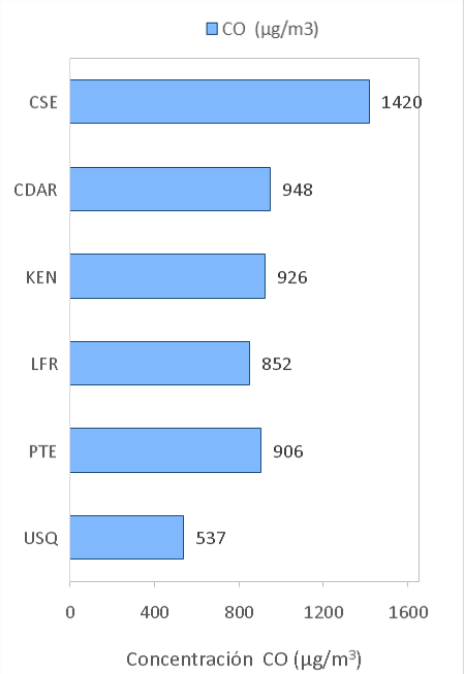
6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE CO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-11 contiene las concentraciones anuales calculadas con base en los datos media móvil 8 horas registrados durante el año 2018, incluyendo los porcentajes de datos válidos,

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma. La concentración anual más alta fue registrada en la estación Carvajal-Sevillana, con 1420 µg/m^3, y la más baja fue obtenida en Usaquén, con 537 µg/m^3. En el año 2018 no se registraron excedencias a los niveles máximos permisibles de 8 horas y 1 hora, y las concentraciones se han mantenido históricamente debajo de dichos umbrales.

Tabla 6-11. Estadísticas de las concentraciones anuales de CO registradas en el año 2018



Estación	Prom. anual CO (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. 8h (µg/m³)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma 8 horas: 5000 µg/m³ Norma horaria: 10000 µg/m³					
CSE	1420	88%	2977	0	0
CDAR	948	92%	4408	0	0
FTB*	494	5%	1288	0	0
KEN	926	97%	2347	0	0
LFR	852	93%	2776	0	0
MOV*	1634	8%	2805	0	0
PTE	906	91%	3189	0	0
TUN*	814	52%	2648	0	0
USQ	537	83%	2447	0	0

*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-12 se representan los comportamientos mensuales, diarios y horarios de CO para el año 2018. En relación a los datos mensuales, se observan diferentes comportamientos en cada zona de la ciudad: en el suroccidente se observan concentraciones altas en el primer trimestre del año, mientras que en centro y norte las concentraciones fueron más altas en el último trimestre del año. Esto puede ser causado por cambios en los patrones de la dirección del viento, aunque las concentraciones tienden a ser más altas al suroccidente de la ciudad, la contaminación pudo ser trasladada de sur a norte en la última mitad del año.

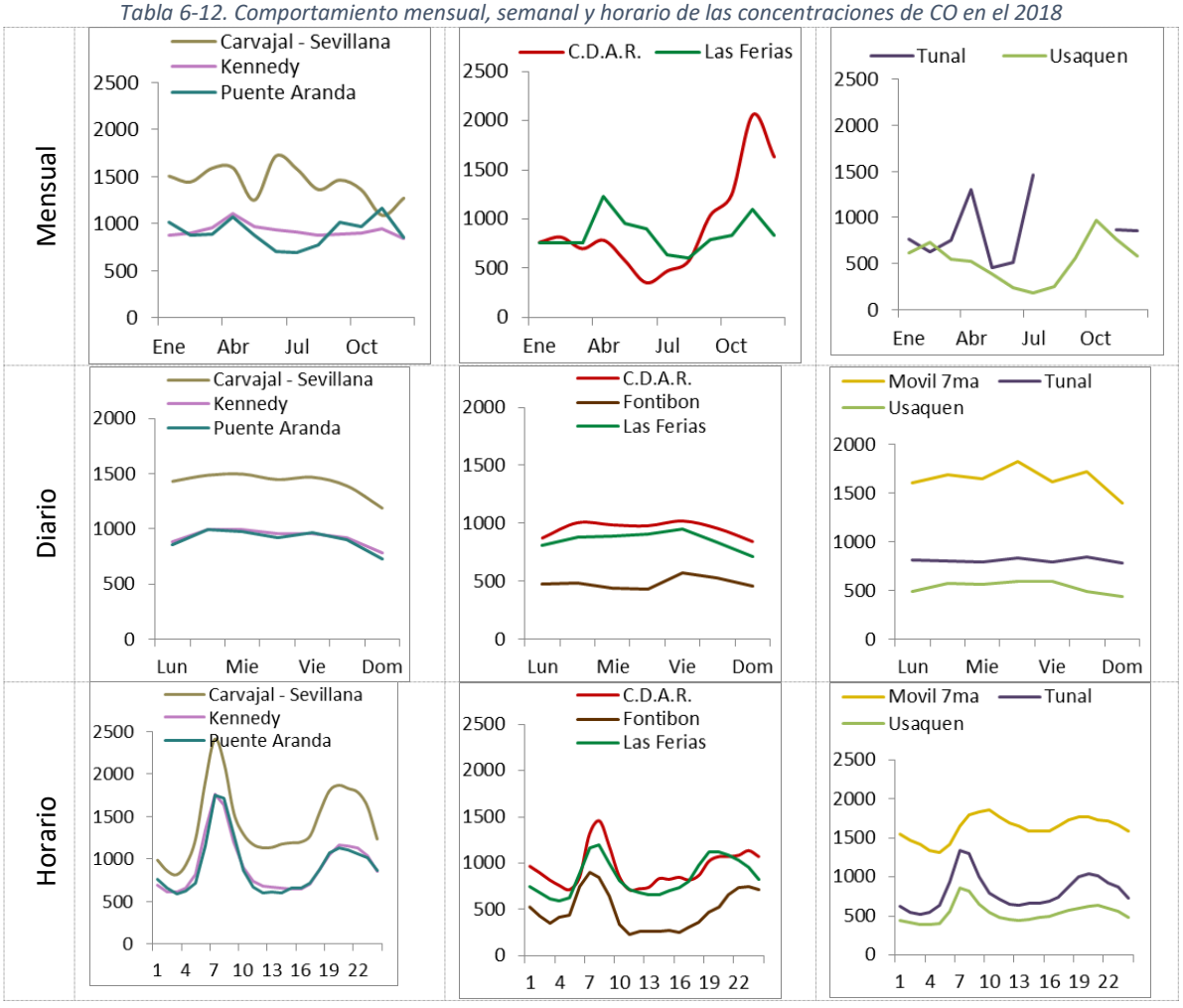
En el comportamiento de una semana promedio se evidencia que las concentraciones más altas se registran entre semana, y descienden en el fin de semana, en el suroccidente las concentraciones son más altas en el inicio de semana, mientras que en el centro de la ciudad los picos de

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

concentración se registran en los días jueves y viernes. Dicho comportamiento se asocia a la dinámica de las fuentes fijas y móviles de emisión, cuya actividad disminuye los fines de semana. El promedio más alto se registró en la Estación Móvil, con 1826 µg/m3, que corresponde a un jueves promedio en el 2018.

Respecto al comportamiento horario, se puede observar que las concentraciones más altas se registran en la mañana, entre 7 y 8 AM, luego descienden hacia el mediodía, y se vuelven a incrementar en horas de la noche, de 8 a 10 PM. Estos incrementos de concentración se relacionan con los picos de tráfico vehicular en la mañana y en la tarde, y con el inicio de la actividad de las fuentes fijas en las mañanas. El promedio de concentración más alto se registró en la estación Carvajal-Sevillana, con 2410 µg/m^3, a las 7 AM.

Tabla 6-12. Comportamiento mensual, semanal y horario de las concentraciones de CO en el 2018



Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-9 representa las concentraciones anuales de CO para los años 2014 a 2019. Se observa que las concentraciones más altas han sido registradas en la estación Carvajal-Sevillana, la concentración más alta corresponde al año 2017, con 1709 µg/m^3, mientras que el registro más bajo se obtuvo en la estación Usaquén con 505 µg/m^3 en el año 2015. Las concentraciones en el año 2018 fueron menores a las obtenidas en el 2017, a excepción de la estación Centro de Alto Rendimiento, que registró un aumento de 243 µg/m^3 en relación a la concentración del año anterior.

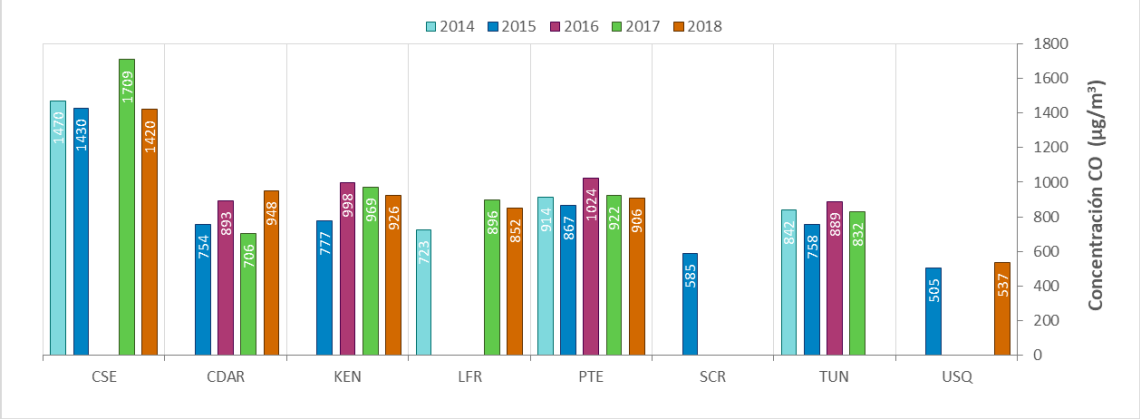


Figura 6-9. Concentraciones anuales de CO años 2014 a 2018

7. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE

La RMCAB se encarga de realizar mediciones puntuales de las concentraciones de contaminantes criterio en cada estación de monitoreo, con el fin de evaluar la contaminación en un área determinada influenciada por las fuentes de emisión, las condiciones meteorológicas y la influencia de la contaminación de las regiones aledañas a la ciudad. A través de los índices de calidad del aire se puede conocer en términos generales el estado de la calidad del aire en términos cualitativos, y así poder establecer las acciones de acuerdo a las condiciones registradas a corto plazo.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

7.1. ICA

El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 que representa el grado de contaminación del aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

Este índice permite ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países

La metodología de cálculo se basa en la definida en la Resolución 2254 de 2017, donde se definen los puntos de corte del ICA, y la descripción de cada condición de calidad del aire. A su vez, la metodología está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)", versión de septiembre de 2018, donde se describen las categorías del AQI, se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso).[3]. En la Tabla 7-1 se observan los puntos de corte de cada contaminante, para los diferentes tiempos de exposición.

Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS

Índice de Calidad del Aire			**Puntos de corte del ICA**						
ICA	**Color**	**Categoría**	**PM_{10} µg/m³ 24 horas**	**$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas**	**CO µg/m³ 8 horas**	**SO_2 µg/m³ 1 hora**	**NO_2 µg/m³ 1 hora**	**O_3 µg/m³ 8 horas**	**O_3 µg/m³ 1 hora**
0 – 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	--------
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	--------
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323
151 – 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 – - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 – 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 – - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394	795 - 1185

El cálculo del ICA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

[3] https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

$$ICAp = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

ICA_p: Índice de calidad del aire para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
PC_{alto}: Punto de corte mayor o igual a C_p
PC_{bajo}: Punto de corte menor o igual a C_p
I_{alto}: Valor del ICA para PC_{alto}
I_{bajo}: Valor del ICA para PC_{bajo}

En la Figura 7-1 se muestra el ICA por estación de monitoreo con base en los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados durante el año 2018, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de la calidad del aire. Se observa que las condiciones más desfavorables se registraron por el contaminante $PM_{2.5}$, las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal presentaron las condiciones más desfavorables, siendo la primera estación la que registró un 14% en condición "dañina a grupos sensibles" y 86% en condición "aceptable", mientras que la estación San Cristóbal presentó el estado más favorable de calidad del aire durante el año, con un 64% en una condición "buena" y un 36% en condición "aceptable". Con base en PM_{10}, la estación Carvajal-Sevillana registró por mayor tiempo la condición "aceptable" con un 80% del año, y la condición buena un 20% del tiempo, mientras que la estación San Cristóbal registró una calidad del aire "buena" durante el 99% del año.

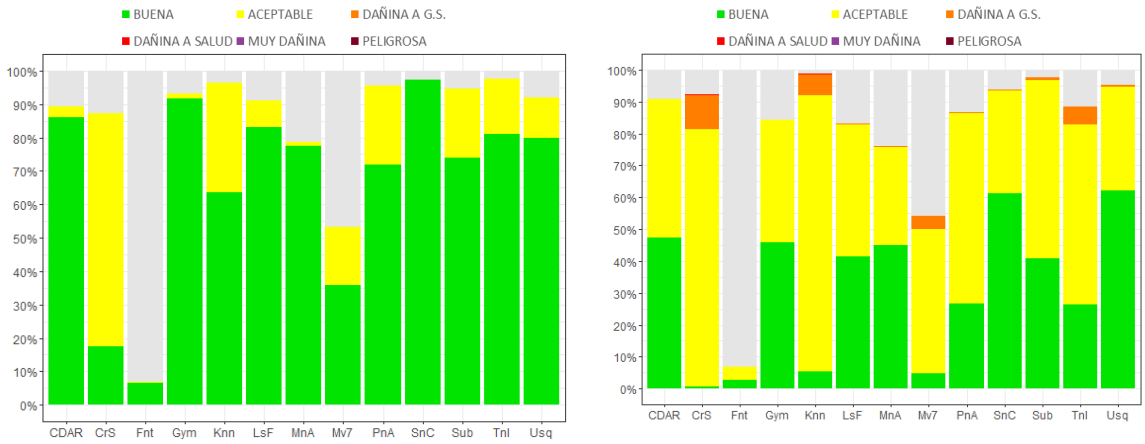


Figura 7-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ año 2018

En la Figura 7-2 se representa el porcentaje de tiempo que se presentó una determinada condición de calidad del aire por cada mes del año 2018 para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$. Se observa que para los dos contaminantes el mes de febrero es el que presenta las condiciones más desfavorables de calidad del aire, en PM_{10} la condición aceptable permaneció un 47% del tiempo, y en $PM_{2.5}$ un 94% del tiempo. La condición "dañina para grupos sensibles" se registró por mayor tiempo en el mes de marzo, durante un 10% del tiempo. El mes con la mejor calidad del aire fue

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

julio para PM_{10} y junio para $PM_{2.5}$, registrando la condición "buena" durante 91% y 73% del tiempo, respectivamente.



Figura 7-2. ICA por mes del año y por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

7.2. IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –", Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 7-2 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 7-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

El cálculo del IBOCA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$IBOCAp = \frac{I_{mayor} - I_{menor}}{C_{mayor} - C_{menor}} * (C_p - C_{menor}) + I_{menor}$$

Donde:

$IBOCA_p$: Índice para contaminante P

C_p: Concentración registrada para el contaminante P

C_{mayor}: Concentración mayor o igual a C_p

C_{menor}: Concentración menor o igual a C_p

I_{mayor}: Valor del IBOCA para C_{mayor}

I_{menor}: Valor del IBOCA para C_{menor}

En la Figura 7-3 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados durante el año 2018, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de la calidad del aire. Para el contaminante PM_{10}, la condición más desfavorable se registró en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Puente Aranda, registrando la condición "moderada" en un 80%, 36% y 26% del tiempo respectivamente. Con respecto a $PM_{2.5}$, predominaron las condiciones "regular" y "moderada", principalmente en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, la primera estación registró la condición "regular" un 20% del tiempo, y "moderada" un 80% del año. Por otro lado, para los dos contaminantes la estación que registró la condición de calidad del aire "favorable" por mayor tiempo fue San Cristóbal, 99% para PM_{10} y 63% para $PM_{2.5}$.

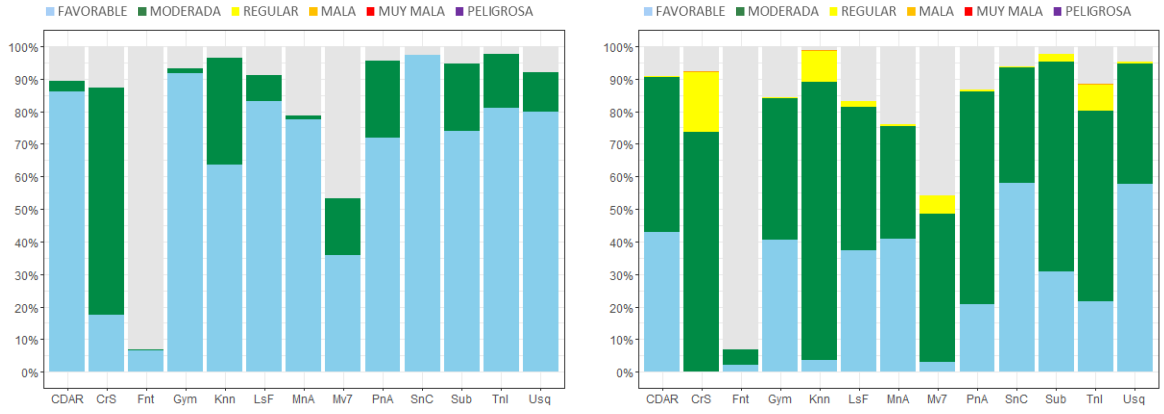


Figura 7-3. IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018

En la Figura 7-4 se representa el porcentaje de tiempo que se presentó una determinada condición de calidad del aire por cada mes del año 2018 para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$. Se observa que el mes de febrero registró las condiciones más desfavorables de calidad del aire en el año, con una condición "moderada" durante un 47% del tiempo para PM_{10}, y 90% para $PM_{2.5}$. Por otro lado, la mejor condición de calidad del aire se registró en el mes de julio para PM_{10} y junio para $PM_{2.5}$, presentando la condición "favorable" en un 91% y 71% respectivamente.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

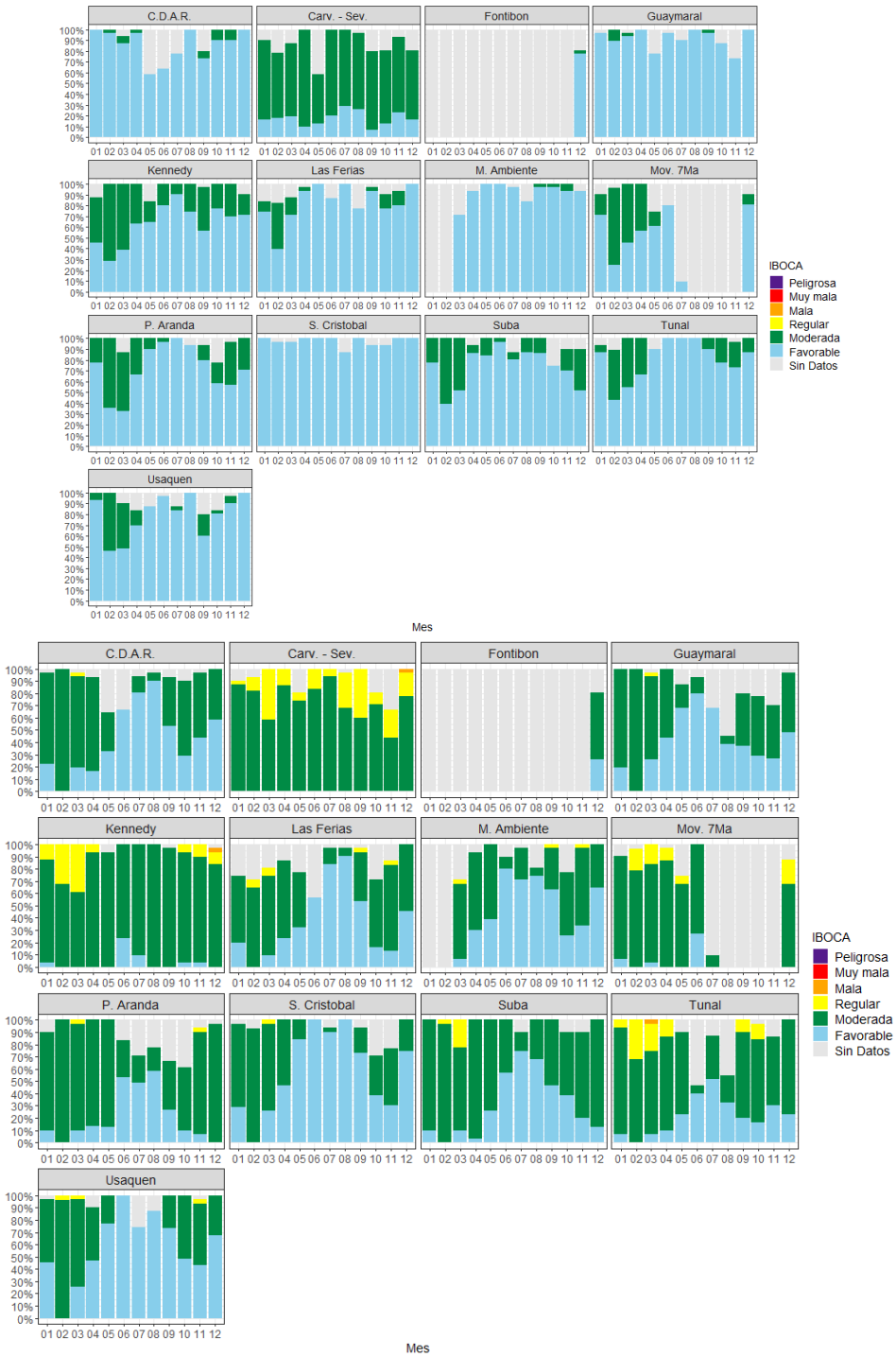


Figura 7-4. IBOCA por mes del año para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8. METEOROLOGÍA

8.1. PRECIPITACION

De acuerdo con (OMM, 2010) la precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, suponiendo que la superficie es totalmente horizontal, sin procesos de filtración o evaporación. (FOPAE, 2001). A esta medida se llama altura de precipitación y es expresada en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. Es un elemento meteorológico con gran variabilidad espacial y temporal.

La ciudad de Bogotá, presenta dos períodos con lluvias abundantes durante el año, denominados popularmente como “invierno”, y dos períodos menos abundantes reconocidos como verano. El primero, se inicia en marzo y dura todo abril y mayo; el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre. Así mismo, existen meses de transición entre los diferentes períodos como son: marzo, junio, septiembre y diciembre, los cuales se presentan con días alternados de lluvias y tiempo seco.

8.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN

De acuerdo con los registros de precipitación en la RMCAB, en 2018 los eventos de lluvia se presentaron con mayor frecuencia en horas de la tarde. De acuerdo con la Figura 8-1 las lluvias en 2018 fueron más frecuentes entre las dos y las cuatro la tarde. De este modo, el 12% de las precipitaciones ocurren alrededor de las tres de la tarde; en tanto, su frecuencia en las horas de la mañana y madrugada fue muy baja. No obstante, en horas de la noche también ocurrieron lluvias, pero con menor frecuencia que en horas de la tarde.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

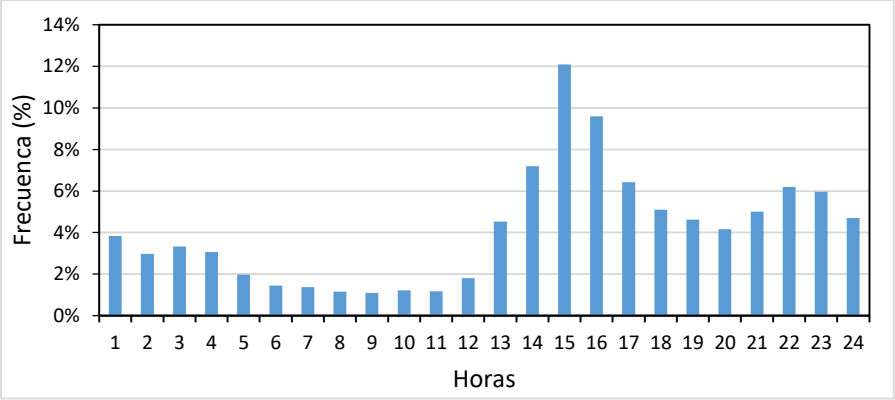


Figura 8-1. Comportamiento diurno de la precipitación a nivel ciudad

8.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

En cuanto al comportamiento mensual, en 2018 el sector de la ciudad que mayor cantidad de agua precipitada recibió estuvo representado por estación de Kennedy, seguido de CDAR, San Cristóbal y Usaquén. Asimismo, se observa que los sectores de la ciudad con menores acumulados se concentraron en inmediaciones de las estaciones de Las Ferias, Suba y Tunal. Ver Figura 8-2.

Tabla 8-1. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad (N.A. no cumple criterio de representatividad)

Fecha & Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total acumulado
Bolivia	33,7	73,1	30,6	111,2	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	139,5	0,1	388,2
Carvajal	26,6	16,2	128,5	145,8	99,6	13,2	69,1	44,9	20,9	128,4	108	1,2	802,4
CDAR	51,7	54,2	122,2	170,7	143,2	32,5	36,7	39,6	38,6	57,1	179,3	6,5	932,3
Fontibón	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	1,7	N.A
Guaymaral	83,3	49,8	99,3	126,2	103,5	48,8	44,6	43,3	44,3	48,3	103,1	1,9	796,4
Kennedy	41,4	31,7	96,1	205,2	210,4	81,1	143,5	100,4	51,8	167,6	150,4	0,6	1280,2
Las Ferias	41,3	43	138,9	87,2	0	2,8	18,9	20,6	28,9	28,7	85,2	0	495,5
MinAmbiente	N.A	N.A	0	17,3	100,6	26,4	5,5	0,2	0	3,3	1,8	13,4	168,5
Puente Aranda	37,1	22	91,6	167,3	131,5	30,2	51,2	37,8	27	70,3	118,9	1,1	786
San Cristóbal	97,4	38,9	94,9	171,3	112,2	54,8	74,1	54,2	40	61	113,4	3,5	915,7
Suba	35,5	47,3	107,5	110,4	134,6	17,3	0	0	0	0,1	0	0,9	453,6
Tunal	41,7	19,2	144,2	156,4	111,9	38,9	29	0	0	0	0	2,4	543,7
Usaquén	107,1	41,2	149,6	144,1	80	27,4	30,8	40,4	33,2	71,3	178,4	1,7	905,2

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

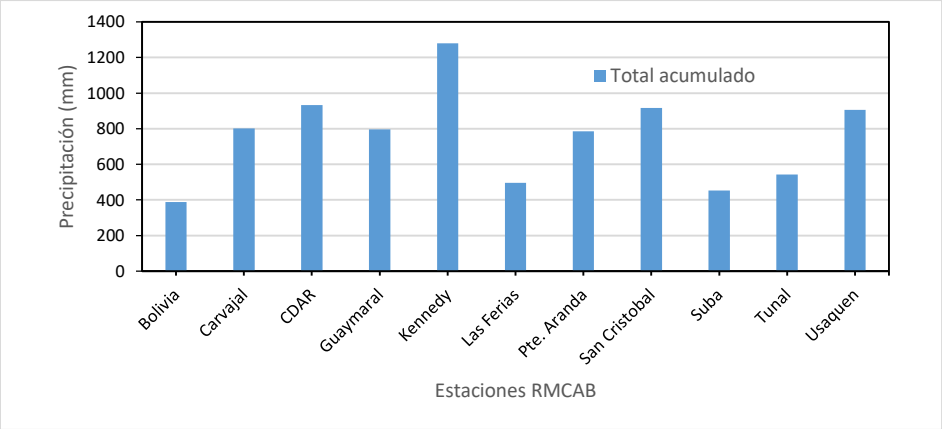


Figura 8-2. Total acumulado de precipitación por estación en 2018

La Tabla 8-2 se presenta un resumen del porcentaje de lluvias acumulado durante cada mes del año, así como a nivel trimestral y semestral. Como se puede apreciar, los meses de abril y mayo registraron los mayores acumulados durante todo el año; el segundo trimestre fue el que trajo consigo las mayores cantidades de lluvia, de lo cual se deduce que el semestre más lluvioso del año 2018 fue el comprendido entre enero a junio con un 63% de las lluvias.

Pese a lo anterior de acuerdo con la Figura 8-3 en el segundo semestre de 2018 se presentaron las lluvias más intensas. Por ejemplo, en el mes de noviembre se acumularon alrededor de 190 mm de lluvia mientras que el máximo acumulado en el en el mes de abril estuvo cercana a los 170 mm de lluvia.

Tabla 8-2. Distribución de las lluvias durante el año

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Promedio	60,7	41,2	100,0	148,1	126,2	50,0	50,6	39,1	36,4	75,4	94,6	10,7
% Anual	7%	5%	12%	18%	15%	6%	6%	5%	4%	9%	11%	1%
% Trimestral 1	24%			39%			15%			22%		
% Semestral	63%						37%					

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

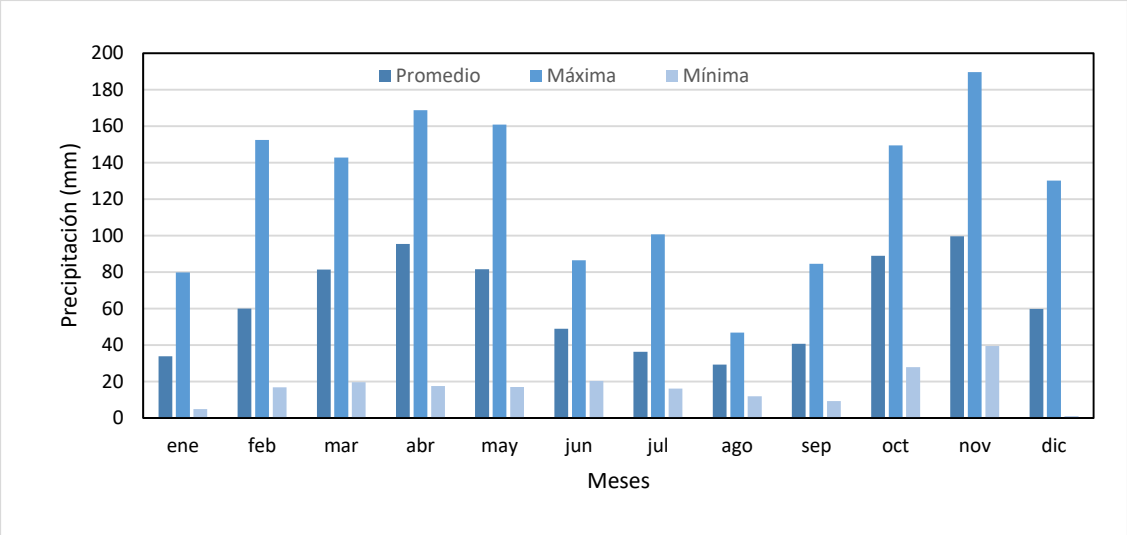


Figura 8-3. Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación durante 2018

8.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

En cuanto a la distribución espacial de la precipitación, la Figura 8-4 permite visualizar que en 2018 las lluvias se concentraron hacia el sur occidente de la ciudad, a diferencia del año 2017, donde el sector que mayor acumulado registró se localizó hacia el noroccidente, en áreas de influencia de la estación Bolivia.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

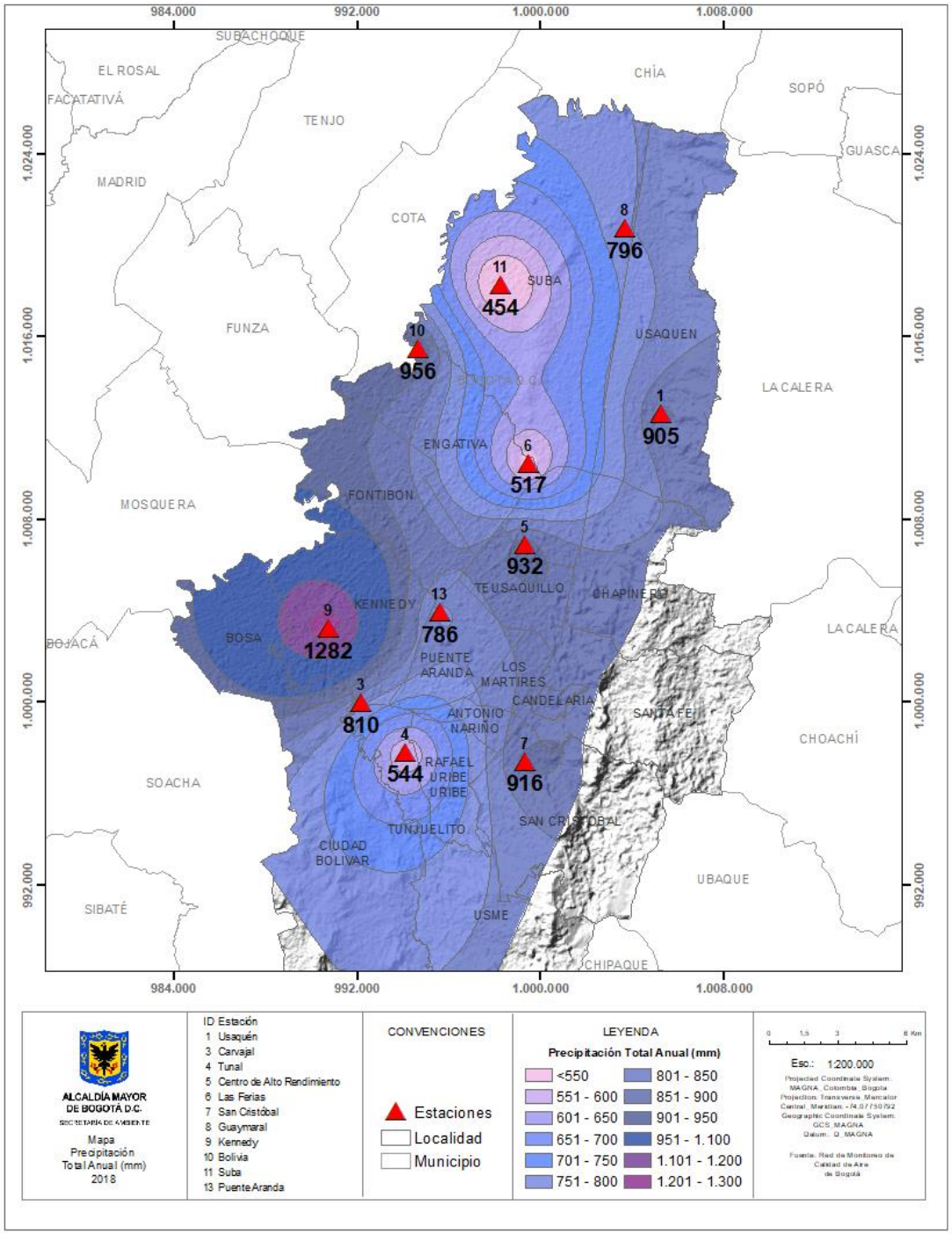


Figura 8-4. Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá - RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN

El comportamiento histórico de la RMCAB se encuentra consignado en la Tabla 8-3. En ésta se resume el comportamiento anual registrado en las distintas estaciones de la RMCAB desde 2000 a 2018.

Como se puede observar algunas estaciones fueron clausuradas; sin embargo, estas se presentan como parte del proceso histórico de la red de monitoreo.

Adicionalmente se presenta la Figura 8-5 que describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000 hasta 2018. De acuerdo con este perfil anual se evidencia una disminución en el total anual de la precipitación en 2018 con respecto al año anterior.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-3. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. RMCAB - 2018

ESTACION	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio 2018
Bolivia														755		558	961	1389	956	**916,2**
Cade Energía	754	525	812	551																**660,5**
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450	541	890	810	**643,2**
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703											**472,4**
Central de Mezclas	402	345																		
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608	803	1311	932	**979,4**
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980									**852,7**
Fontibón (antigua)	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392						**527,6**
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534	964	986	796	**818,4**
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453	723	1078	1282	**674,3**
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580	925	1055	517	**858,5**
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559	795	1033		**835,5**
Olaya	1138																			
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396	836	1003	786	**745,1**
San Cristóbal													938	865	1076	574	786	1073	916	**885,3**
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446	362	987	454	**712,4**
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510		1042	544	**750,9**
Univ. Nacional	863	542																		
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461	333	1141	905	**815,8**
USME							702	553	718											**657,7**
Vitelma							1087	803	839	652	922									**860,6**
Promedio	**768**	**498**	**711**	**540**	**648**	**669**	**747**	**646**	**838**	**668**	**1016**	**1098**	**761**	**768**	**827**	**506**	**707**	**1054**	**736**	**748,3**

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

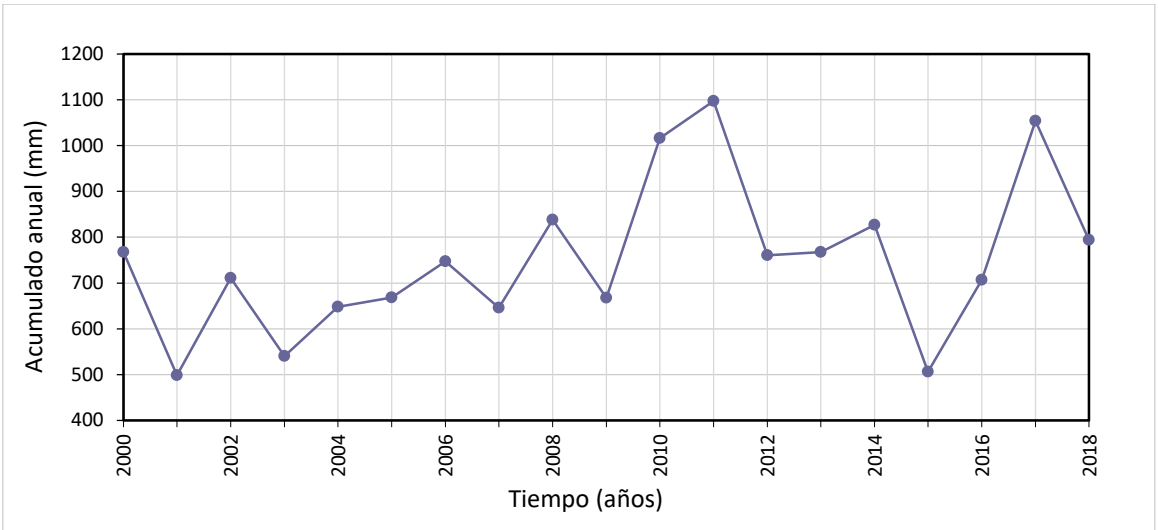


Figura 8-5. Variación anual de la precipitación en Bogotá - RMCAB 2000-2018

En la Tabla 8-4 se resume el comportamiento mensual multianual de la lluvia en la ciudad de Bogotá de acuerdo con los registros de la RMCAB desde 2000 hasta 2018. De acuerdo con esta tabla en 2018 las lluvias del primer semestre del año 2018 superaron al promedio histórico; contrariamente en el segundo semestre se presentó una disminución en las lluvias con respecto al promedio de referencia. Ver Figura 8-6

Tabla 8-4. Precipitación promedio histórica mensual. RMCAB 2000 - 2018

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	**779,7**
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	**496,2**
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	**712,5**
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	**649,3**
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	**641,4**
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	**621,9**
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	**684,6**
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	**659,2**
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	**848,7**
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	**621,9**
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	**1002,3**
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	**1122,0**
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	**816,5**
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	**795,6**
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	**811,6**
2015	38,9	31,9	95,9	58,9	17,1	52,4	30,6	18,6	30,8	44,1	59,0	1,1	**479,2**

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	**823,0**
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	**953,4**
2018	60,7	41,2	100,0	148,1	126,2	50,0	50,6	39,1	36,4	75,4	94,6	10,7	**833,0**
Promedio 2000-2018	**33,8**	**60,0**	**81,3**	**95,4**	**81,5**	**48,9**	**36,2**	**29,1**	**40,7**	**88,9**	**99,7**	**59,8**	**746,6**
Promedio 2000-2017	**32,3**	**61,0**	**80,3**	**92,4**	**79,0**	**48,8**	**35,4**	**28,6**	**40,9**	**89,7**	**100,0**	**62,6**	**748,8**

Fuente: RMCAB 2018

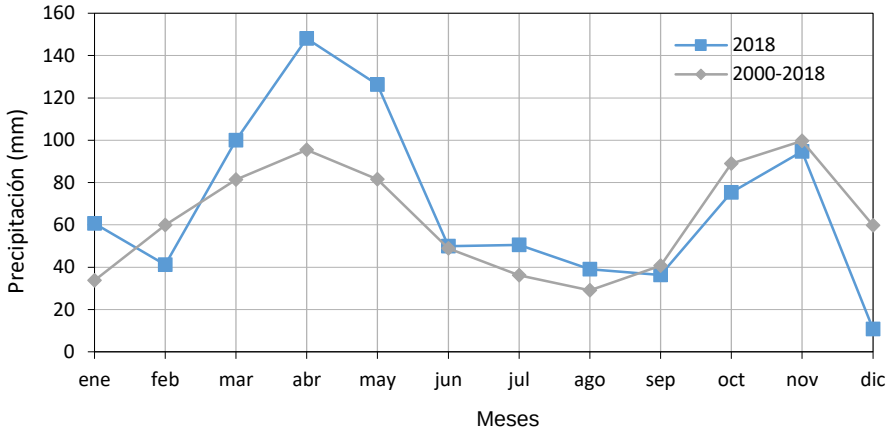


Figura 8-6. Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual de 2018. RMCAB 2000 - 2018

8.2. TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de la materia, definida por la cinética media de las moléculas. Esta se mide en virtud de la transferencia de calor entre los cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media. En el caso del aire, indica la cantidad de energía interna o sensible, acumulada en un momento y lugar determinado.

8.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA

En la Tabla 8-5 se resume el comportamiento de la temperatura horaria durante el año 2018 en cada una de las estaciones de la RMCAB. Así mismo en la Figura 8-7 se muestra el perfil promedio horario de la temperatura en la ciudad y sus variaciones espaciales a través de cada una de sus estaciones. Se destaca que las mayores temperaturas de la ciudad se registran en las estaciones Carvajal y Kennedy, ubicadas en la zona suroccidental. La estación San Cristóbal continúa registrando los valores más bajos de temperatura horaria durante el año.

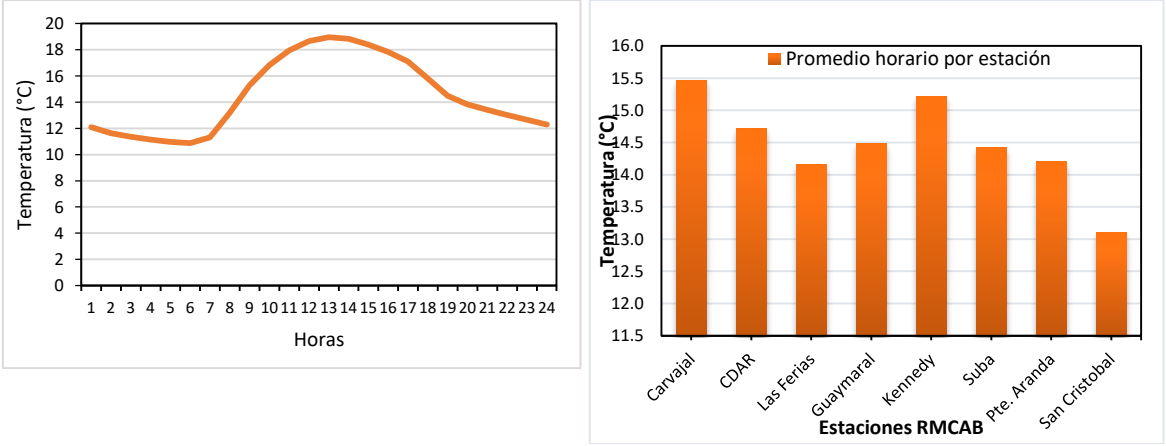
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-5. Comportamiento de la temperatura horaria durante el año 2018.

Hora	Carvajal	Las Ferias	Guaymaral	Kennedy	Suba	Puente Aranda	San Cristóbal
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1:00	13,1	11,9	11,3	13,3	11,2	12,4	10,9
2:00	12,8	11,6	10,9	13,0	10,8	12,2	10,6
3:00	12,5	11,3	10,6	12,7	10,6	11,9	10,4
4:00	12,3	11,1	10,4	12,5	10,4	11,7	10,2
5:00	12,1	10,9	10,2	12,3	10,2	11,6	10,1
6:00	12,0	10,9	10,0	12,2	10,0	11,5	10,0
7:00	12,5	11,5	10,7	12,3	10,2	11,8	10,3
8:00	14,2	13,2	13,8	13,4	12,0	13,0	12,0
9:00	16,0	15,3	16,4	15,1	14,9	14,4	13,8
10:00	17,5	16,6	17,8	16,7	17,3	15,7	15,0
11:00	18,6	17,4	18,7	17,8	18,9	16,7	16,0
12:00	19,3	18,0	19,3	18,6	19,9	17,3	16,7
13:00	19,5	18,2	19,7	18,9	20,3	17,4	17,0
14:00	19,4	18,0	19,4	18,8	20,1	17,2	16,9
15:00	19,1	17,5	18,9	18,5	19,6	16,9	16,6
16:00	18,6	17,0	18,4	18,1	18,8	16,4	16,1
17:00	17,8	16,3	17,7	17,4	17,9	15,9	15,3
18:00	16,6	15,1	16,1	16,4	16,4	15,2	14,1
19:00	15,6	14,0	14,3	15,5	14,5	14,4	13,1
20:00	15,1	13,5	13,6	15,0	13,5	14,1	12,6
21:00	14,7	13,2	13,0	14,7	12,9	13,8	12,2
22:00	14,4	12,8	12,5	14,4	12,4	13,4	11,9
23:00	14,0	12,5	12,1	14,0	11,9	13,1	11,5
24:00:00	13,5	12,2	11,7	13,7	11,5	12,8	11,2
Promedio	**15,5**	**14,2**	**14,5**	**15,2**	**14,4**	**14,2**	**13,1**

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Perfil horario anual *b) Promedio horario por estación*

Figura 8-7. Comportamiento de la temperatura horaria anual-2018: a) perfil horario; b) promedio por estación

○ *Promedios mensuales de temperatura*

En 2008 la temperatura ambiente se mantuvo estable con respecto al año anterior el promedio anual por ejemplo al igual que en 2017 estuvo alrededor de los 14. 5 °C. En cuanto las temperaturas medias mensuales, en el primer semestre se observó un incremento en el mes de febrero con respecto al valor medio multianual 2000 a 2018. En el segundo semestre se observaron incrementos en el mes de julio y en los meses de septiembre hasta diciembre con respecto al valor medio calculado para la ciudad con base en los registros históricos. Ver Figura 8-8

De acuerdo con la Tabla 8-6, en términos generales el año 2018 superó el promedio de temperatura desde 2000 a 2017. De la Figura 8-8 se puede visualizar que, del primer semestre del año, los meses de febrero y marzo presentaron los más altos niveles de temperatura; en tanto que, en el segundo semestre estos niveles se presentaron entre octubre y noviembre.

Por otra parte, al comparar el promedio de temperatura media mensual de 2000 a 2018 contra la media mensual de 2018 se observan anomalías positivas en los meses de noviembre, octubre, marzo y febrero.

Tabla 8-6. Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2018 RMCAB

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	**13,4**
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	**14,3**
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	**14,8**
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	**14,7**
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	**14,1**
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	**15,1**

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	**13,5**
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	**13,5**
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	**13,6**
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	**14,4**
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	**14,7**
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	**14,1**
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	**14,1**
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	**14,3**
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	**14,2**
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	**14,6**
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	**15,0**
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3	**14,5**
2018	14,1	14,9	14,8	14,1	14,5	14,2	14,3	13,9	14,5	14,8	15,0	14,5	**14,5**
Promedio 2000-2018	**14,1**	**14,3**	**14,7**	**14,5**	**14,6**	**14,2**	**13,9**	**14,0**	**14,2**	**14,4**	**14,3**	**14,1**	**14,3**
Desviación estándar	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	-
Anomalía	0,0	0,5	0,1	-0,5	-0,1	0,1	0,3	-0,2	0,3	0,4	0,7	0,3	-

Fuente: RMCAB 2018

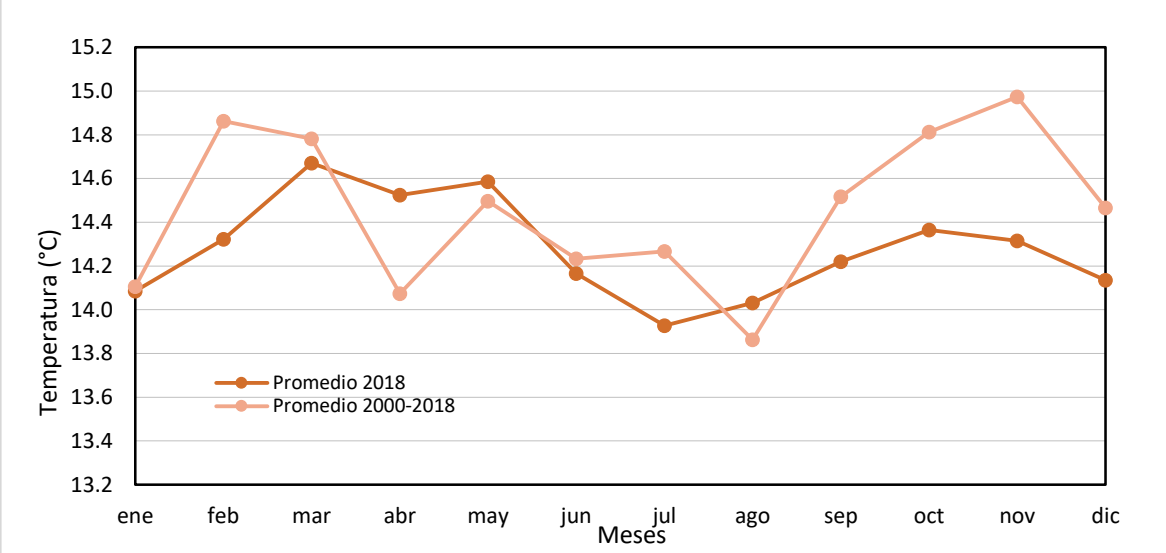


Figura 8-8. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2018 Vs 2018

En cuanto a al comportamiento de las temperaturas extremas, la Figura 8-9 resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o más bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2018. De estos valores extremos se

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

deduce que los sectores de la ciudad donde se registraron los valores más altos de temperatura fueron Tunal y CDAR; las más bajas en Guaymaral y Tunal.

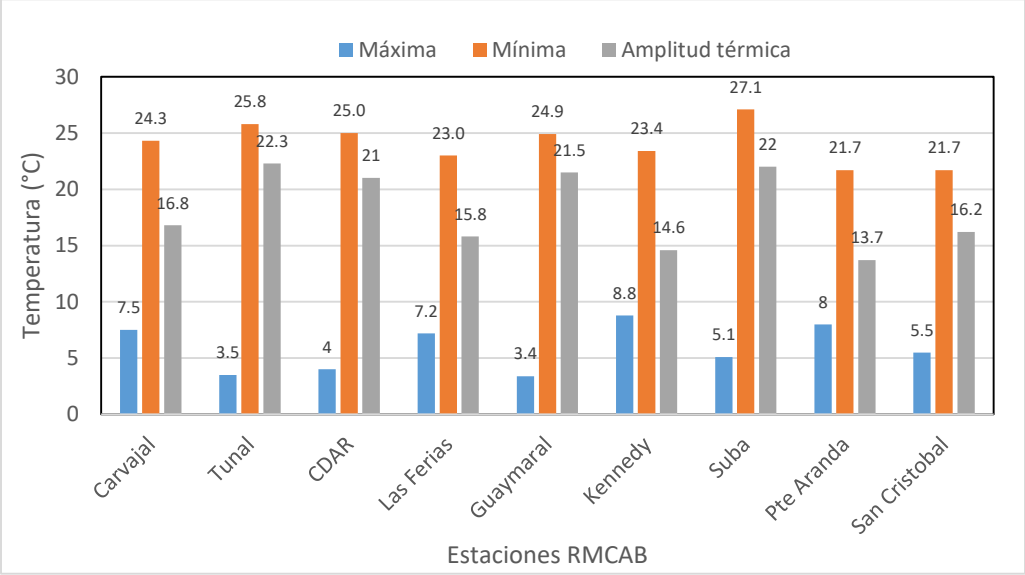


Figura 8-9. Temperaturas extremas absolutas año 2018

8.2.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

En la Figura 8-10 se presenta el mapa del comportamiento medio de la temperatura superficial del aire en la ciudad de Bogotá durante el año 2018, y el mapa de anomalías de temperatura del año 2018 con respecto al promedio de temperatura anual multianual de 2000 a 2018. Como se puede observar, en 2018 las mayores temperaturas se presentaron al sur occidente de la ciudad, y las menores al sur oriente. En el mapa de anomalías se pueden observar anomalías positivas al suroccidente y al noroccidente; esto significa que con respecto al promedio se presentaron incrementos de temperatura aproximadamente de entre 0,4 a 0,7 °C respecto del promedio multianual. Asimismo se puede inferir que en el centro geográfico de la ciudad, representado por estación de Las Ferias, hubo una ligera disminución de la temperatura media anual con respecto a la media multianual. El resto de la ciudad presentó una ligera disminución de temperatura.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

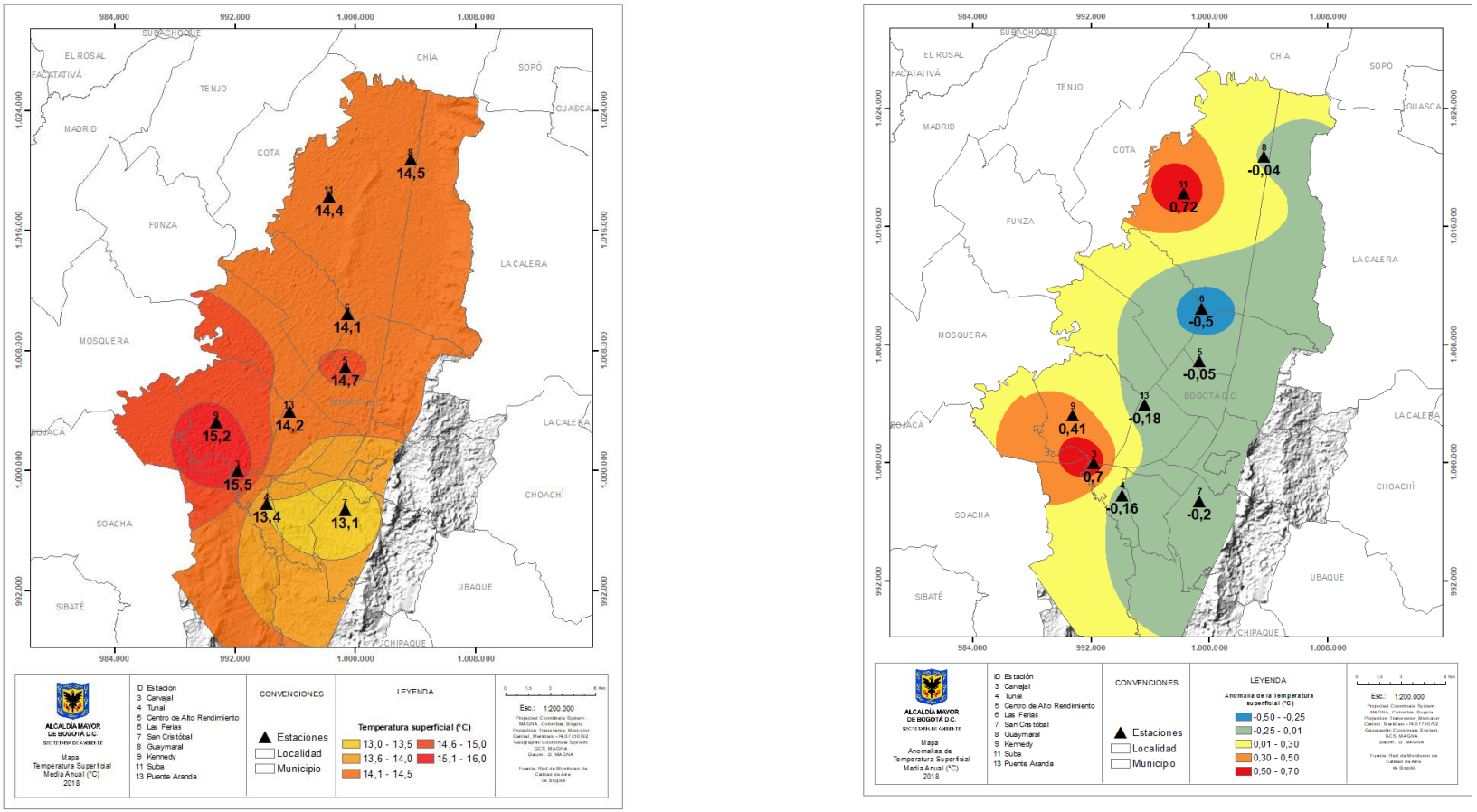


Figura 8-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2018. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2018 respecto al promedio de 2000 -2018.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

8.2.3. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA

En cuanto al comportamiento histórico de la temperatura superficial del aire de Bogotá la Tabla 8-7 presenta el resumen de los registros medios anuales por estación de la RMCAB desde 2000 a 2018. Como se puede observar en esta tabla, producto de la evolución de la RMCAB algunas estaciones han sido removidas o trasladadas razón por la cual, no todas presentan información. Sin embargo, tomando en cuenta que los promedios anuales de temperatura no presentan variaciones importantes, las estaciones que no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75% de acuerdo con el protocolo de vigilancia de la calidad de aire del ministerio de ambiente, se dejan a modo indicativo.

Así pues, tomando en cuenta lo anterior en la Figura 8-11 se muestra como ha variado en promedio la temperatura anual de la ciudad de Bogotá desde el año 2000 hasta el 2018.

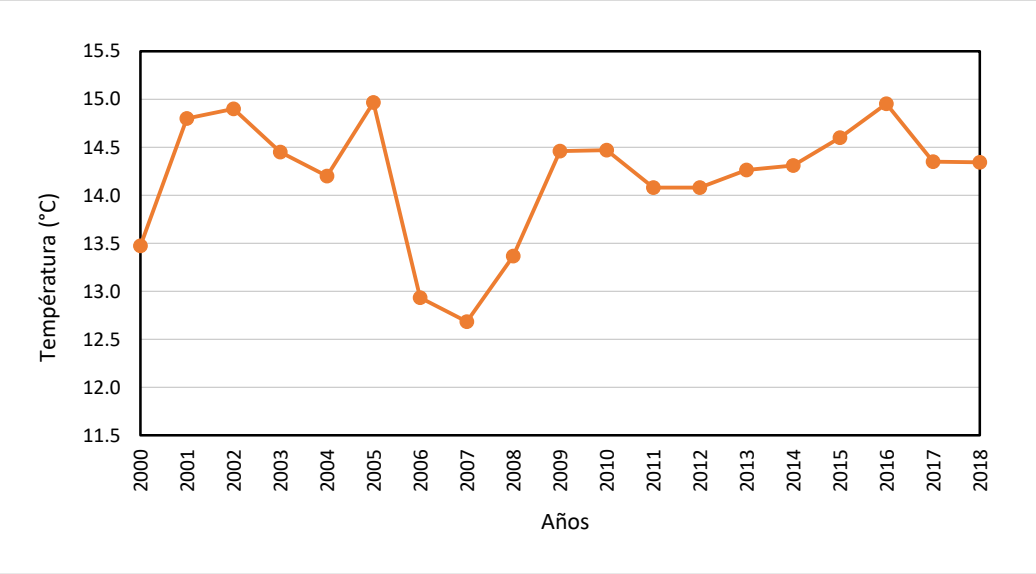


Figura 8-11. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-7. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2018

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	**Promedio (°C)**
Carvajal							12,2	11,2	14,1	15,4	15,5	15	15,2	15,5	15,5	15,8	16	15,6	15,5	**14,8**
Cazuca							12,3	11,7	13											**12,3**
CDAR									13,9	14,7	14,8	14,5	14,6	14,8	14,8	15,2	15,4	14,9	14,7	**14,8**
Fontibón (antigua)	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,2	14,1	13,9	14,1	14,7	14,5	13,6	13,8	14,1						**14,1**
Guaymaral									13,9	14,4	14,8	14,3	14,3	14,6	14,6	14,8	15,1	14,7	14,5	**14,5**
Kennedy									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5	14,8	14,9	15,3	15,3	15,1	15,2	**14,8**
Las Ferias	15,6	16	16			15,9			13,3	14	14,2	13,7	13,9	14,2	14,2	14,4	14,7	14,3	14,1	**14,6**
Puente Aranda	14,1	14,5	14,6	14,7	14,5	14,8	14,6	14,6	14	14,6	14,6	14	13,8	13,7	14	14,4	15	14,5	14,2	**14,4**
San Cristóbal											13,5	13,7	13	13,1	13	13,4	13,7	13,2	13,1	**13,3**
Suba	10,6						12,6	13,2	13,7	12,9			14	14,3	14,3	14,6	15	14,6	14,4	**13,7**
Tunal										14,6		13,2	13,4	13	13,1	13,5	14,4	13,4	13,4	**13,6**
Usaquén									11,9	14,5	15,1	14,4	14,4	14,8	14,7			13,2		**14,1**
USME							11,8	12,5	13,4											**12,6**
Vitelma								11,7	11,5		12,9									**12,0**
Promedio	**13,5**	**14,8**	**14,9**	**14,5**	**14,2**	**15,0**	**12,9**	**12,7**	**13,4**	**14,5**	**14,5**	**14,1**	**14,1**	**14,3**	**14,3**	**14,6**	**15,0**	**14,4**	**14,3**	**13,8**
Desviación estándar	2,1	1,1	1,0	0,4	0,4	0,9	1,1	1,3	0,9	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.3. VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO

El viento es el aire en movimiento. Este elemento meteorológico se debe principalmente al calentamiento diferencial que sufre la superficie de la tierra por parte de la radiación solar, a causa de los movimientos de rotación y de traslación terrestres. Esta radiación, que es transparente a la atmósfera, es absorbida por la superficie de la tierra de manera diferencial de acuerdo a sus capacidades de absorción (albedo). Así que, de acuerdo con sus propiedades térmicas cada superficie, conforme absorbe radiación, la transfiere al aire sobre yacente, como ondas de calor que son absorbidas de manera eficiente dada sus propiedades diatérmicas, lo que su vez genera diferencias de presión y estas a su vez propician el movimiento de las masas de aire de zonas con altas presiones hacia las zonas con bajas presiones, dando origen a los vientos.

El viento tiene magnitud y dirección, por lo cual su análisis se realiza desde el punto de vista vectorial, tomando en cuenta en sus componentes *u* y *v,* las cuales parametrizan el viento o en el plano horizontal.

8.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB, la velocidad del viento en 2018 presentó ligeros incrementos después de que en 2017 la velocidad del viento presentara reducciones considerables en su magnitud; incluso en el mes de agosto su comportamiento fue atípico, al punto que las velocidades del viento del mes de julio fueron mayores que las de agosto. Ver Figura 8-12

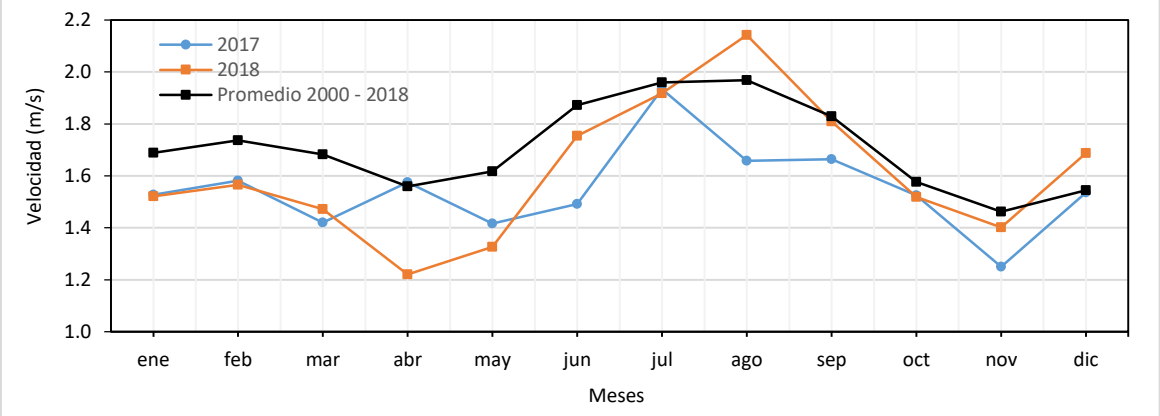


Figura 8-12. Comportamiento mensual de la velocidad del viento a nivel histórico (2000 – 2018) Vs. 2017 y 2018.

Por otra parte, al comparar el comportamiento de las velocidades del viento por estación entre los años 2000 y 2018, se observa que sólo en las estaciones de puente Aranda, Guaymaral, Suba, Tunal se presentaron ligeros incrementos, de los cuales el más importante es en la estación de

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

puente Aranda. Nótese que incluso la estación de San Cristóbal registró velocidades del viento inferiores en 2018 frente a 2017. Ver Figura 8-13.

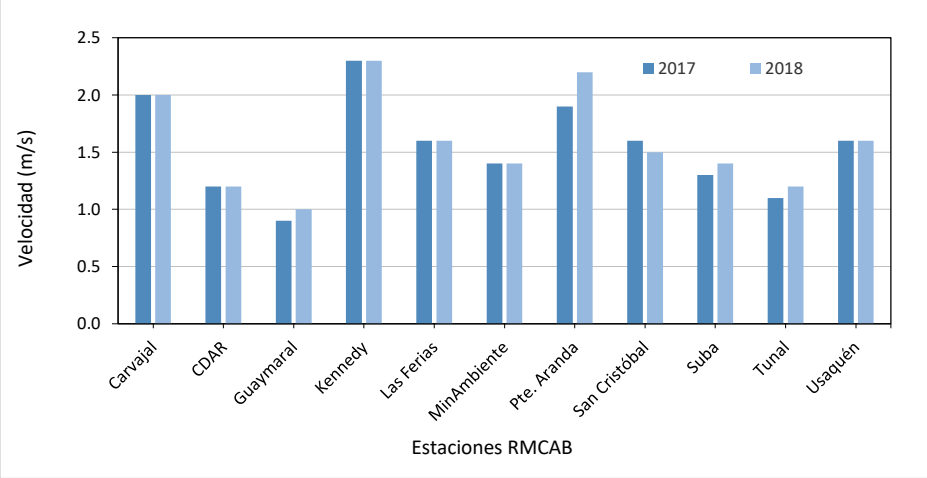


Figura 8-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2017 vs. 2018.

8.3.2. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB la velocidad del viento en un día normal del año, en promedio se comporta como se describe en la Tabla 8-8. En esta se resume tanto la velocidad como dirección, en diferentes fracciones de un día normal. A fin de identificar patrones de comportamiento en diferentes momentos del día dada la cantidad diferente de radiación solar que se recibe, se ha dividido el día en cuatro fracciones a saber: madrugada, mañana, tarde y noche. La dirección calculada a partir de los registros anuales de la red es un promedio vectorial, por consiguiente, es la resultante de todos los vientos registrados en cada fracción del día.

Tabla 8-8. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Guaymaral	0,4	1,1	1,8	0,7	15	52	136	76
Usaquén	1,1	1,5	2,3	1,7	94	109	153	124
Suba	0,7	1,7	2,2	0,9	19	42	123	17
Las Ferias	1,2	1,7	2,2	1,5	29	72	151	61
C.D.A.R.	0,7	1,2	2,0	1,0	29	125	64	16
MinAmbiente	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Puente Aranda	1,2	2,1	3,7	2,0	292	179	208	234
Kennedy	1,4	2,2	3,5	2,1	4	119	210	205
Carvajal -	1,1	2,0	3,1	1,7	164	139	184	167

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

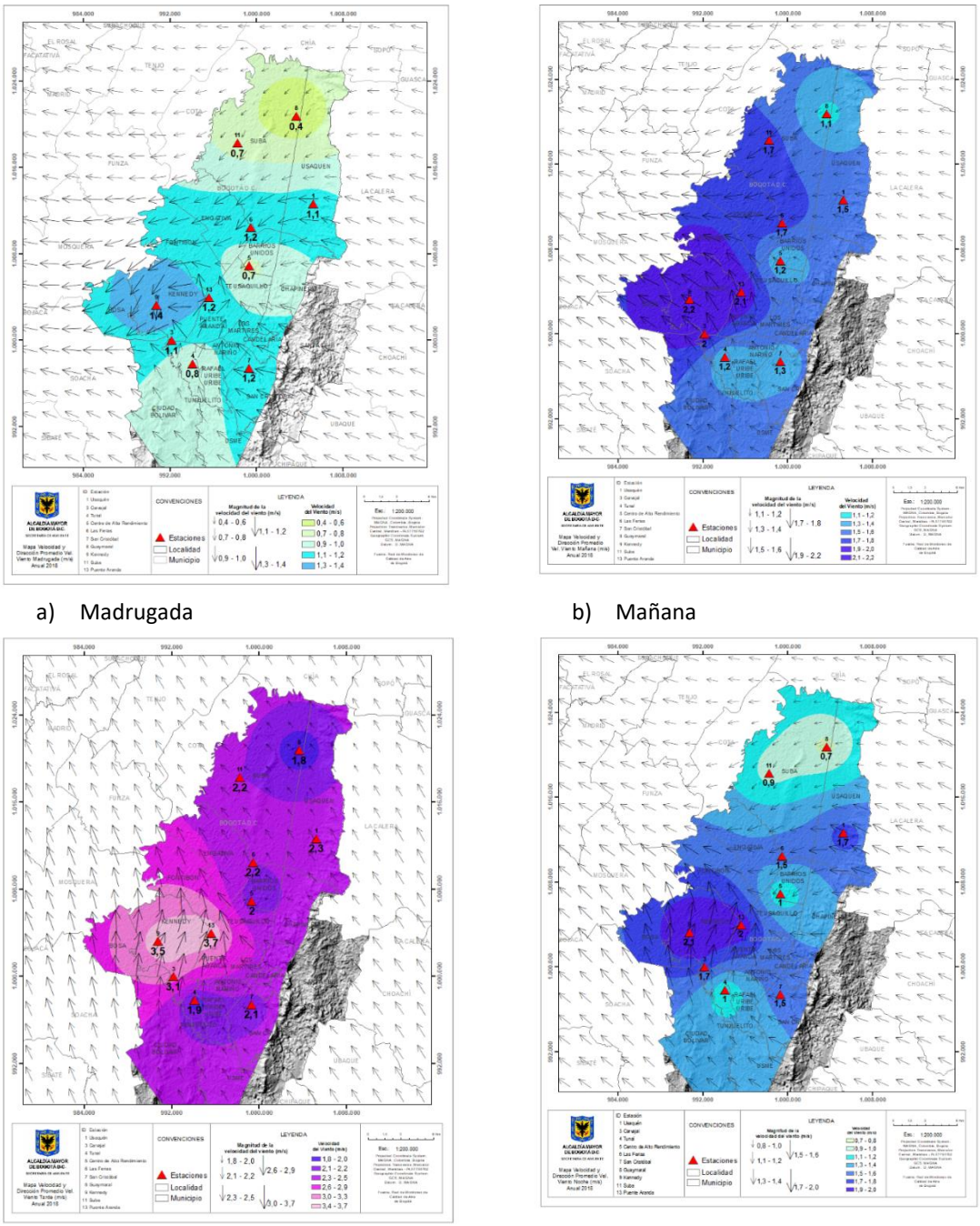
Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Sevillana								
Tunal	0,8	1,2	1,9	1,0	201	185	199	194
San Cristóbal	1,2	1,3	2,1	1,5	86	78	95	92
Promedio	**1,0**	**1,6**	**2,5**	**1,4**				

Fuente: RMCAB 2018

De manera complementaria, en la Figura 8-14 se presentan los mapas que permiten observar el comportamiento promedio de cada fracción del día durante el año. Las fracciones consideradas fueron así: de las 0 horas hasta las 6 am se consideró como madrugada; de las 6 am a las 12 m, se consideró como hora de la mañana; de las 12 m a las 6 pm, horas de la tarde; y de las 6 pm hasta las 12 pm o 0 horas, como horas de la noche. De acuerdo con esto, en las madrugadas hubo predominio de vientos del noreste; en las mañanas la componen este se hizo prevalente; en las tardes predominan los vientos alisios del sureste y en las noches volvieron a persistir los vientos del este.

Es importante anotar que en el transcurso del año puede presentarse variaciones de este comportamiento; sin embargo, en promedio la ciudad se ve favorecida por la influencia de los vientos alisios los cuales diariamente ejercen limpieza aerodinámica a través de los vientos predominantes del este. Como podrá observarse, en diferentes momentos del día los alisios pueden presentar variaciones en su predominancia; estas pueden obedecer a la posición relativa del sol durante el año haciendo que predominan los vientos alisios del sureste o los del noreste. En otras circunstancias que no se hacen evidente en los mapas representados, se tiene fuerte influencia de los vientos de escala local tales como las brisas de Valle que ascienden por el cañón del Magdalena y penetran la ciudad desde el suroeste, los cuales cuando vienen cargados de humedad y las condiciones de estabilidad son propicias favorecen la ocurrencia de fuertes eventos de lluvia. Sin embargo, son vientos que pueden ser desfavorables para la calidad del aire de la ciudad, toda vez que pueden transportar contaminantes de fuentes externas a la ciudad e introducirlos a la misma, incrementando las concentraciones de contaminantes principalmente material particulado.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Madrugada b) Mañana

c) Tarde d) Noche

Figura 8-14. Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche. RMCAB – 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.3.3. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En la Tabla 8-9 se presenta un resumen del comportamiento promedio mensual multianual de los vientos durante los años 2000 a 2018, de acuerdo con los registros de la RMCAB. A su vez, en la Figura 8-15 se representa el comportamiento de los vientos de 2018 frente al promedio multianual. En dicha figura se puede observar que aún en 2018 las velocidades se mantuvieron por debajo de la media de manera semejante a lo ocurrido en el año 2017. Sólo en agosto de 2018 y finales del mismo año, se observó un incremento en la velocidad del viento.

Tabla 8-9. Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2018.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	**1,3**
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	**1,5**
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	**1,4**
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	**1,7**
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	**1,8**
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	**1,8**
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	**1,8**
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	**1,8**
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	**1,7**
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	**1,8**
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	**1,8**
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	**1,8**
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	**1,9**
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	**1,9**
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	**1,8**
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	**1,8**
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	**1,6**
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	**1,5**
2018	1,5	1,6	1,5	1,2	1,3	1,8	1,9	2,1	1,8	1,5	1,4	1,7	**1,6**
Promedio 2000 - 2018	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**1,6**	**1,6**	**1,9**	**2,0**	**2,0**	**1,8**	**1,6**	**1,5**	**1,5**	**1,7**

Fuente: RMCAB 2018

Por otra parte, en la Figura 8-16 se resume los valores medios máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2018, por cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta gráfica se evidencia que para el período del estudio las máximas velocidades se registraron hacia el sector suroccidental de la ciudad. Además, las estaciones de Puente Aranda y Kennedy, en orden de importancia, registraron las mayores velocidades absolutas del viento en la ciudad. Estas velocidades máximas probablemente ocurrieron en horas de la tarde cuando mayor cantidad de energía se ha acumulado, las cuales como se observa la Figura 8-14 frecuentemente favorecen la dispersión de contaminantes en el aire con las mayores velocidades de la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

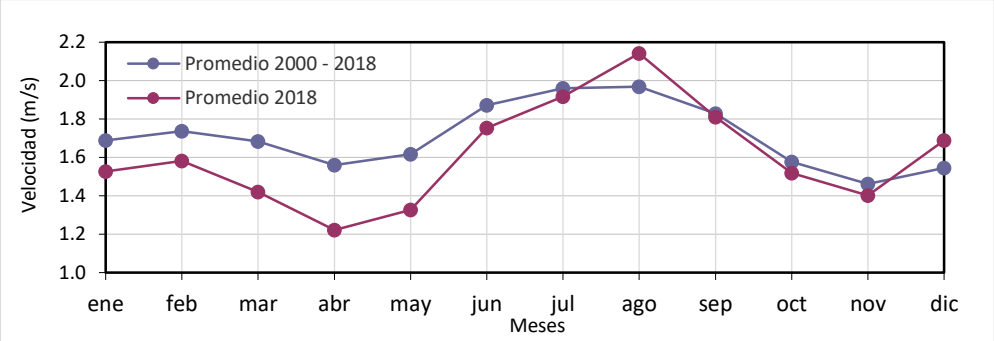
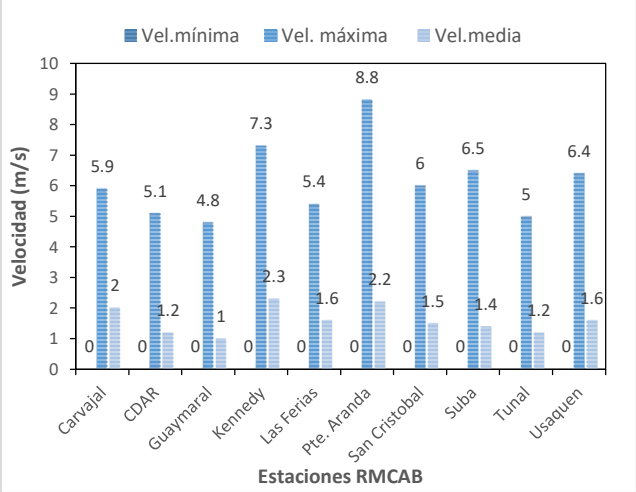


Figura 8-15. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2018 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2018

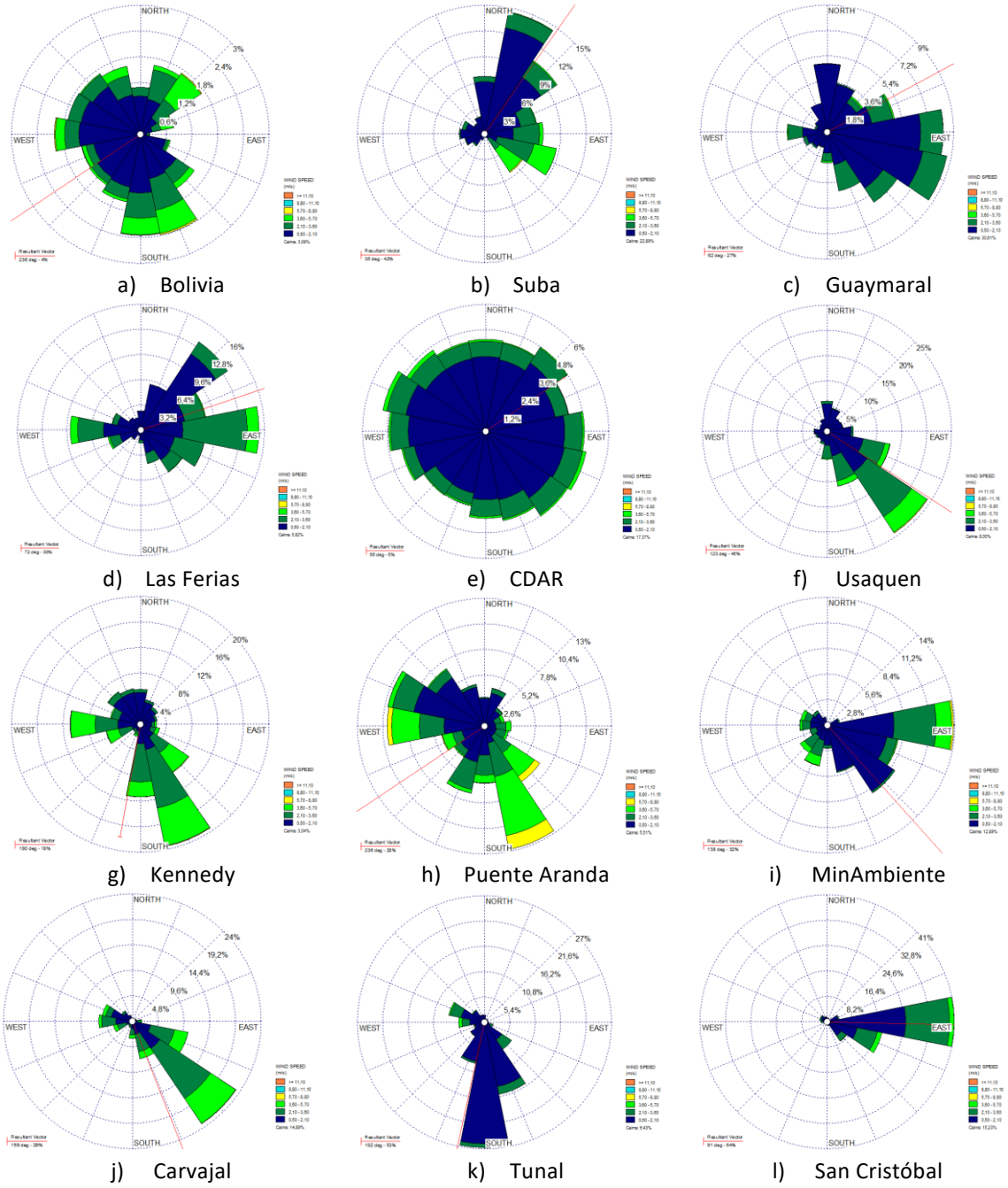


Estación	Vel. mínima	Vel. máxima	Vel. media
Bolivia	0	6,7	2,1
Carvajal	0	5,9	2
CDAR	0	5,1	1,2
Guaymaral	0	4,8	1
Kennedy	0	7,3	2,3
Las Ferias	0	5,4	1,6
MinAmbiente	0	7,7	1,4
Móvil 7ma	0	4,8	1,1
Puente Aranda	0	8,8	2,2
San Cristóbal	0	6	1,5
Suba	0	6,5	1,4
Tunal	0	5	1,2
Usaquén	0	6,4	1,6
Promedio Ciudad	**0,0**	**6,1**	**1,5**

Figura 8-16. Comportamiento promedio anual de la velocidad del viento - 2018

Sumado a lo anterior, en la Figura 8-17 se presenta el comportamiento de las direcciones predominantes del viento del año 2018. Las rosas de viento aquí representadas describen a cada una de las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal del 75%. Aunque estas representan una instantánea del ciclo anual, ofrecen no solo un panorama de las direcciones predominantes en la ciudad durante todo el año, sino su frecuencia y magnitud. De ellas se destaca la rosa de vientos de la estación Puente Aranda, en la cual se presentaron velocidades de entre 6,8 a 8,8 m/s predominantemente del sur y del sur este, así como del oeste, que probablemente ocurrieron durante el mes de agosto toda vez que el resto del año las velocidades del viento estuvieron por debajo de la media multianual.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Bolivia b) Suba c) Guaymaral

d) Las Ferias e) CDAR f) Usaquen

g) Kennedy h) Puente Aranda i) MinAmbiente

j) Carvajal k) Tunal l) San Cristóbal

Figura 8-17. Rosas de viento consolidadas por estación – 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO

En cuanto a su distribución espacial, en 2018 la ciudad presentó un patrón de velocidades del viento caracterizado por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del este con velocidades más bajas que el suroccidente, pero persistentes, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir de en el centro geográfico de la ciudad. Cabe anotar que este patrón no siempre se repite, pero es predominante, y es el que, en gran parte del año, hace favorable la remoción de la carga contaminante emitida a la atmosfera local por de las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito.

Así las cosas, en 2018 se mantuvo el patrón arriba descrito, presentándose los vientos más fuertes fue hacia el sector de Kennedy, Fontibón y Puente Aranda; los más débiles en Guaymaral, MinAmbiente y Tunal. Para más información ver Figura 8-18.

8.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En cuanto al comportamiento histórico de los vientos la Tabla 8-10 resume las mediciones anuales de la RMCAB desde el año 2000 hasta la fecha; Incluso se pueden apreciar estaciones que hicieron parte del diseño inicial de la red pero que la fecha, por distintas razones, han dejado de funcionar. Sin embargo, se tiene su registro como parte del proceso histórico de la misma. De esta tabla se puede deducir que entre 2000 y 2018 las mayores velocidades del viento se registraron entre 2004 2007 a partir de allí ha fluctuado entre 1,5 a 1,9 m/s. Para mayor detalle ver la Figura 8-19.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

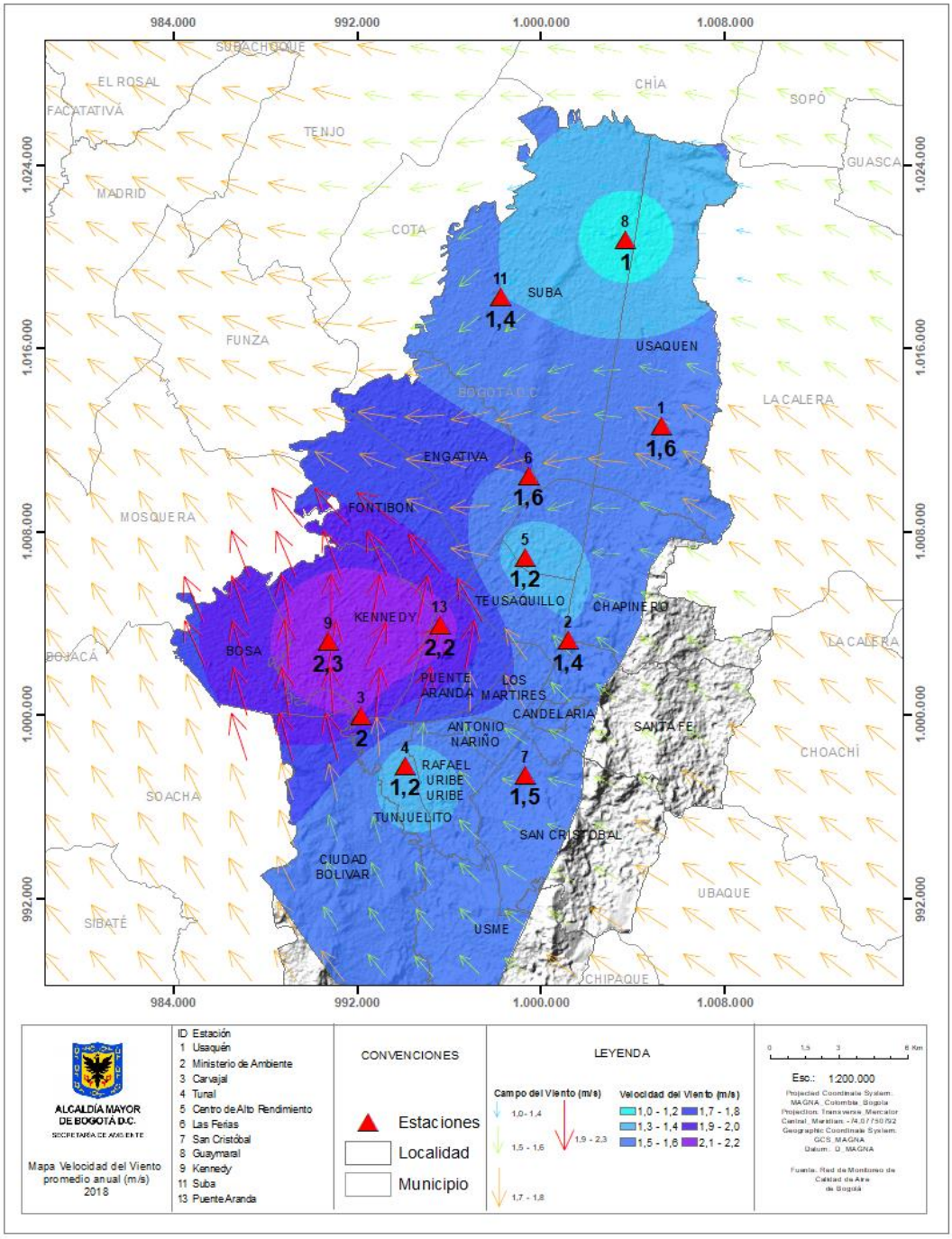


Figura 8-18. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-10. Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2018.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
Cade Energía	0,7	0,9	0,7	0,8																**0,8**
Carvajal - Sevilla	0,9	1,3	1,2	2,1				1,8	1,9	2,4	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,6	2,0	2,0	2,0	**2,0**
Cazuca	1,9	2,1	2,3		2,8	2,4	2,5	2,6	1,7											**2,3**
Central de Mezclas	2,0																			**2,0**
Centro de Alto Rendimiento					0,8	1,9		1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	**1,4**
Chico lago (Sto Tomas)	0,4	0,4	0,4																	**0,4**
Fontibón (antigua)	2,4	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	3,4	2,7	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0						**2,9**
Guaymaral			0,6					1,1	1,2	1,3		0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0	**1,0**
Kennedy							1,5	1,5	2,3	2,7	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,8	2,4	2,3	2,3	**2,3**
Las Ferias	1,7	1,7	1,6			1,5	1,4	1,4	1,9	2,1	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,7	1,6	1,6	**1,7**
Min Ambiente	0,4	0,5	0,5							1,2				1,8	1,8	1,8	1,5	1,4	1,4	**1,2**
Olaya	1,8																			**1,8**
Puente Aranda	1,9	2,4	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	2,1	2,1	2,3	2,1	1,9	2,2	**2,4**
San Cristóbal											1,1	1,7	1,8	2,2	1,8	1,2	1,7	1,6	1,5	**1,6**
Suba	1,4	1,4	1,3		1,6		1,3	1,5	0,5	0,9	1,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	1,4	1,3	1,4	**1,4**
Tunal								2,1	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,2	**1,2**
Univ. Nacional	0,5	0,6																		**0,6**
Usaquén	1,2	1,1	1,0	1,2		1,6	2,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,6	1,6	**1,4**
USME							2,6	2,7	3,5											**2,9**
Vitelma							1,6	1,5	1,7											**1,6**
Promedio	**1,3**	**1.4**	**1.3**	**1.9**	**2.1**	**2.2**	**2.1**	**2,0**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**1.9**	**1.9**	**1.7**	**1.8**	**1,6**	**1,5**	**1,6**	**1,6**

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

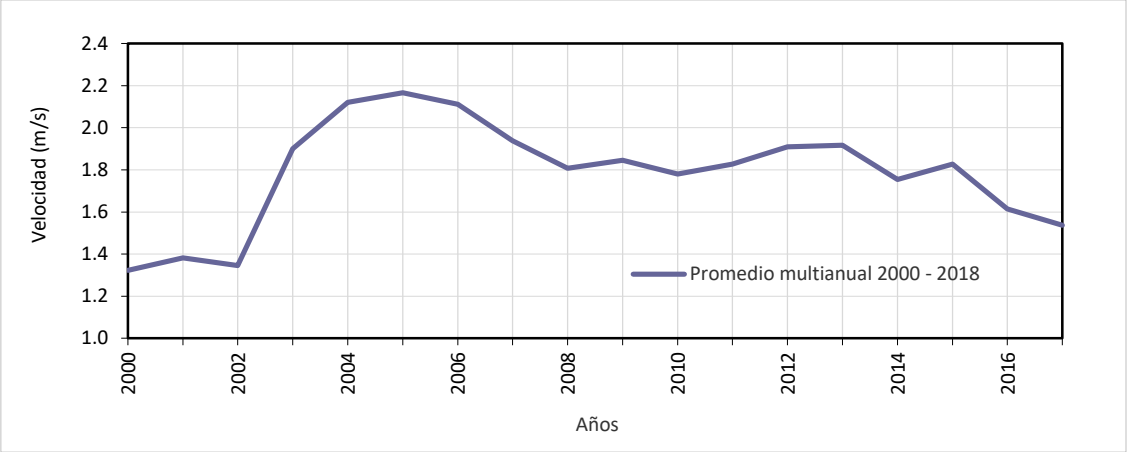


Figura 8-19. Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en la ciudad de Bogotá entre 2000 a 2018

8.4. RADIACION SOLAR

El sol es la fuente principal de energía para la mayor parte de los procesos que ocurren en sobre la Tierra. De acuerdo con (OMM - Guía N° 8 Edición 2010.pdf, s. f.) los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean, entre otras para estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, las variaciones en el tiempo y en el espacio, y analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera.

8.4.1. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR

En la Tabla 8-11 se resume el comportamiento medio horario anual de la cantidad de energía recibida en cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta se puede observar que en promedio la estación que mayor cantidad de energía acumuló durante el día fue la estación San Cristóbal con alrededor de 5012 W/m^2. Asimismo, se puede observar que la hora en la cual se acumula mayor cantidad de energía de la ciudad de Bogotá se encuentra entre las 11 AM y la 1 PM. En tanto que, en las horas de la madrugada y la noche esta cantidad de energía tiende a cero.

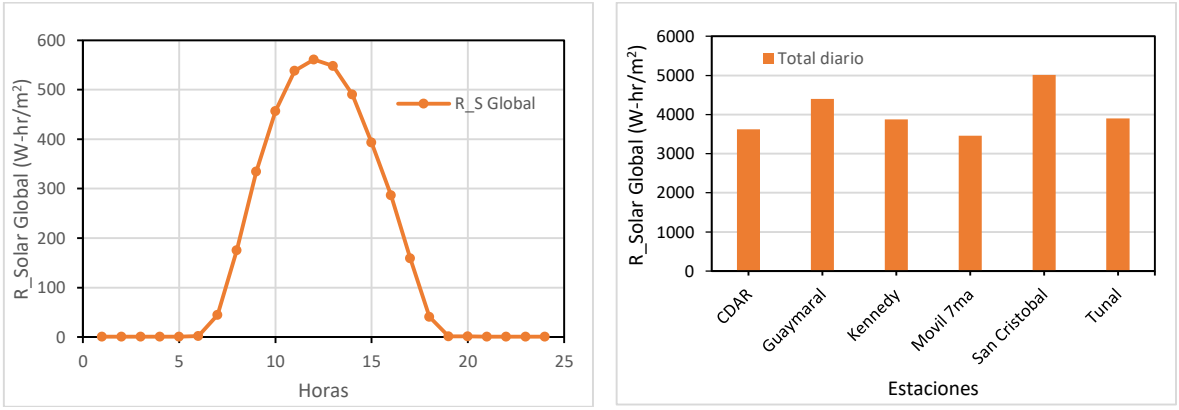
Tabla 8-11. Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones de la RMCAB en 2018

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	Móvil 7ma	Sn Cristóbal	Tunal	Promedio
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
1:00	0,0	0,4	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
2:00	0,0	0,4	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
3:00	0,0	0,3	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	Móvil 7ma	Sn Cristóbal	Tunal	Promedio
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
4:00	0,0	0,3	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
5:00	0,0	0,3	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
6:00	1,5	1,3	1,1	0,3	7,5	1,1	2,2
7:00	56,1	48,6	42,7	27,4	54,0	41,1	45,0
8:00	196,9	210,9	167,6	130,2	196,2	151,9	175,6
9:00	339,1	409,0	319,4	281,0	380,5	279,1	334,7
10:00	422,9	536,7	433,2	413,9	538,1	396,5	456,9
11:00	478,5	603,6	497,6	486,3	675,7	488,5	538,4
12:00	493,4	596,4	511,0	518,4	717,6	529,9	561,1
13:00	474,7	570,6	531,3	496,2	677,9	538,3	548,2
14:00	414,2	510,1	486,2	411,3	610,2	512,5	490,7
15:00	334,5	393,8	396,4	317,2	497,7	421,2	393,5
16:00	238,6	292,8	287,5	223,0	363,0	316,4	286,9
17:00	134,9	175,0	161,9	121,0	181,6	180,0	159,1
18:00	33,7	45,4	41,1	31,0	45,1	47,8	40,7
19:00	0,3	1,9	0,7	0,1	6,7	0,5	1,7
20:00	0,0	1,1	0,0	0,0	6,1	0,0	1,2
21:00	0,0	0,9	0,0	0,0	6,1	0,0	1,2
22:00	0,0	0,7	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
23:00	0,0	0,6	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
24:00:00	0,0	0,5	0,0	0,0	6,1	0,0	1,1
Total	3619,2	4401,6	3877,9	3457,4	5012,7	3905,0	4045,6

Fuente: RMCAB 2018



a) Perfil horario *b) Total acumulado por día*

Figura 8-20. Cantidad de radiación solar recibió en el día. a) perfil horario; b) radiación acumulada por cada estación.

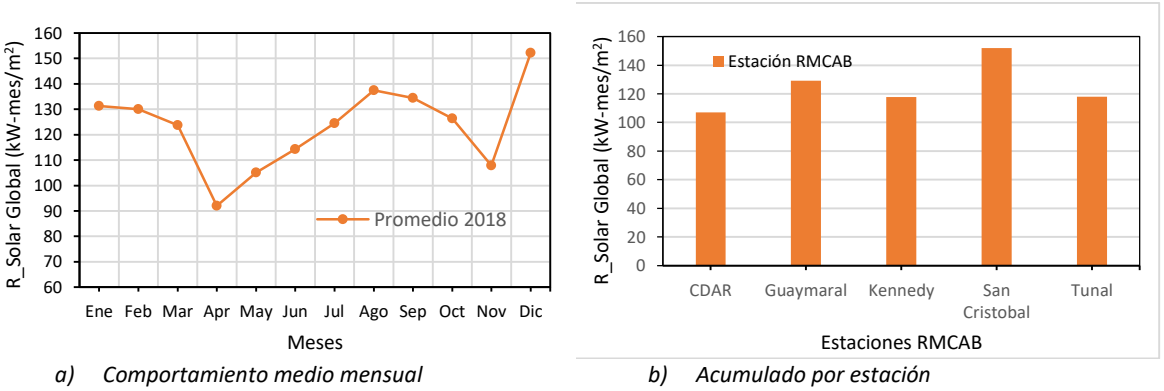
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

8.4.2. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

En cuanto a los totales acumulados mensualmente durante 2018, en la Tabla 8-12 se presenta un resumen de los acumulados por cada estación de la RMCAB. Complementariamente, en la Figura 8-21 se detallan las variaciones durante el mes, observándose los meses como las estaciones de la RMCAB, con menor y mayor acumulado en 2018.

Tabla 8-12. Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m²)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
CDAR	105,0	112,9	106,4	78,2	83,0	109,2	114,6	119,6	113,2	107,1	102,2	132,2	**1283,4**
Guaymaral	157,4	156,3	140,6	100,9	102,8	108,4	115,5	134,8	137,7	134,5	93,2	168,5	**1550,7**
Kennedy	132,3	133,0	129,4	90,6	101,7	100,5	114,5	134,4	122,0	116,7	103,1	133,8	**1412,1**
Móvil 7ma	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	132,6	-
San Cristóbal	162,3	142,6	146,0	103,5	129,6	132,8	151,1	167,7	178,4	162,4	149,2	198,0	**1823,6**
Tunal	123,6	128,2	119,2	87,1	108,4	120,6	126,6	130,6	120,5	111,4	91,9	147,9	**1415,9**
Promedio 2018	**131,3**	**130,0**	**123,7**	**92,0**	**105,1**	**114,3**	**124,4**	**137,4**	**134,4**	**126,4**	**107,9**	**152,2**	**1322,1**



a) Comportamiento medio mensual *b) Acumulado por estación*

Figura 8-21. Comportamiento mensual de la radiación en 2018 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados.

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2018 la ciudad de Bogotá acumuló aproximadamente 1.4 GW/m^2. Energía que fue acumulada de manera diferente durante el ciclo anual en virtud de todas trasformaciones que se dan a partir de este flujo energía. La mayor cantidad de energía en orden de magnitud, se recibió entre los meses de diciembre, agosto y septiembre, enero y febrero. Comparado con el año anterior, el total acumulado fue ligeramente superior, como se observa en la Figura 8-22.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

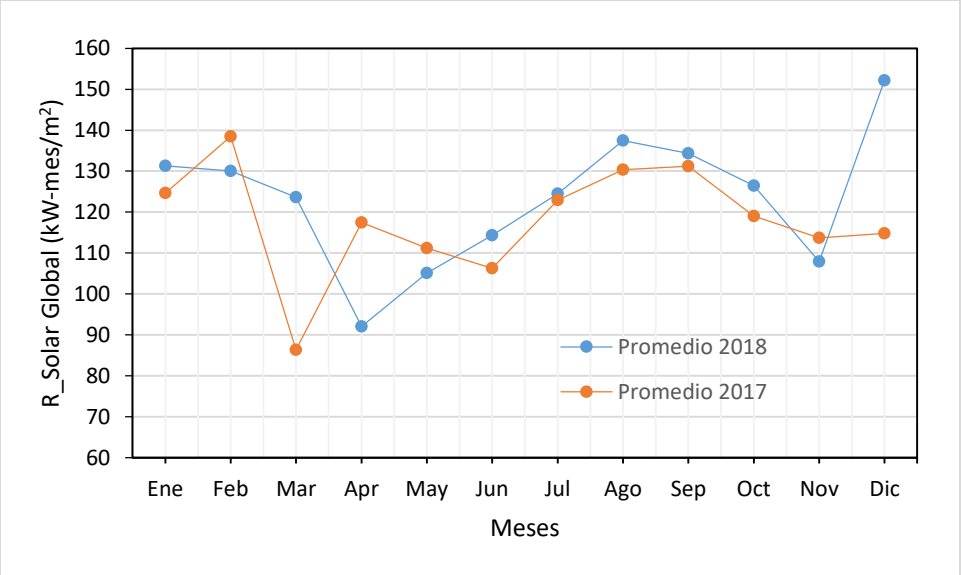


Figura 8-22. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2018 vs. 2017

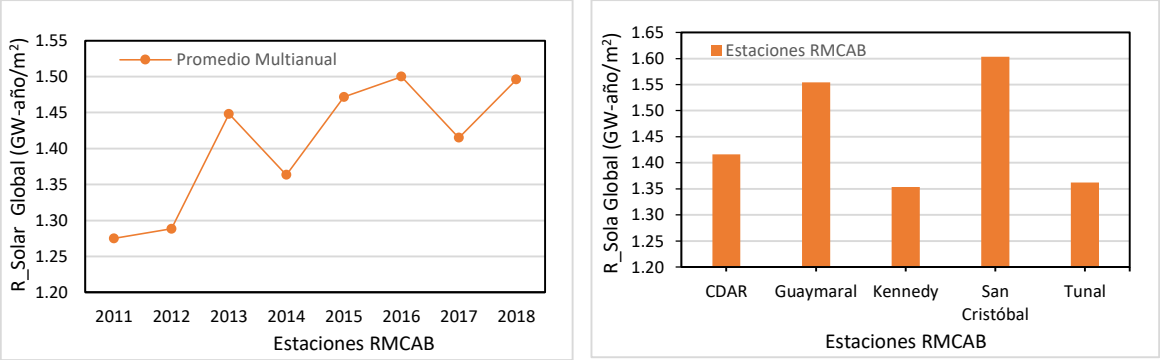
8.4.3. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR

Del mismo modo que en el ciclo mensual así también se resume en la Tabla 8-13 el comportamiento multianual de los totales anuales acumulados en la ciudad de Bogotá entre 2009 a 2018. Y de manera gráfica en la Figura 8-23 su distribución anual y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones de la red.

Tabla 8-13. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m² periodo 2009 - 2018

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
CDAR	1,48	1,29	1,34	1,47	1,47	1,41	1,52	1,55	1,35	1,28	**1,42**
Guaymaral	1,63	NA	1,36	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,55	**1,55**
Kennedy	N.A	1,26	1,06	1,30	1,39	1,44	1,52	1,33	1,47	1,41	**1,35**
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	0,84	N.A	1,48	1,87	1,87	1,74	1,82	**1,60**
Tunal	NA	1,21	1,34	1,40	1,39	1,37	1,38	1,47	1,28	1,42	**1,36**
PROMEDIO	**1,56**	**1,25**	**1,28**	**1,29**	**1,45**	**1,36**	**1,47**	**1,50**	**1,42**	**1,50**	**1,46**

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Comportamiento medio mensual *b) Acumulado por estación*

Figura 8-23. Comportamiento anual de la radiación en 2018 a) promedio anual; b) totales anuales acumulados.

8.5. PRESION ATMOSFERICA

La presión atmosférica es la presión ejercida por la atmósfera gaseosa de la tierra, en virtud de su peso, sobre la superficie terrestre. Esta presión es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por arriba de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmósfera. Es un factor determinante, para la ocurrencia de las lluvias, y para la dispersión de contaminantes en la atmósfera, toda vez que cuando el aire está frío, éste desciende, haciendo aumentar la presión y en consecuencia la estabilidad de la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire está caliente, asciende, provocando un descenso en la presión y por consiguiente la atmósfera se hace inestable.

8.5.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Como se puede observar en la Tabla 8-14 y la Figura 8-24, la presión en la ciudad de Bogotá varia regularmente entre las 10 de la mañana y las 10 de la noche aproximadamente, de allí la razón por la cual se considera que sus variaciones semi diurna. En cada período de 12 horas se tienen dos máximos y dos mínimos. El máximo más alto ocurre las 10 de la mañana y el mínimo más bajo ocurre a las cuatro de la tarde, con una amplitud de la presión de alrededor de 2,3 mmHg, lo cual está asociado al calentamiento del aire por acumulación de energía durante el día y por consiguiente al descenso de la presión, lo que su vez favorece la dispersión de los contaminantes.

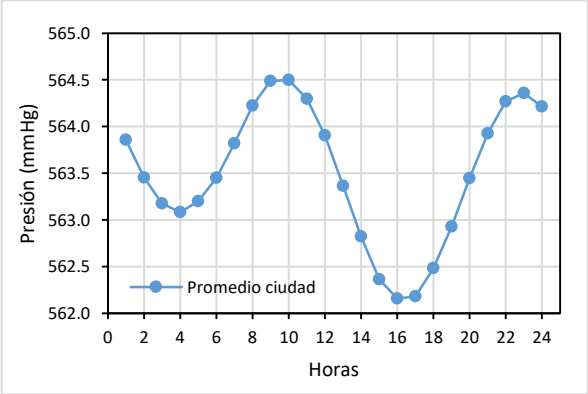
Tabla 8-14. Variación de la presión horaria en cada una de las estaciones de la RMCAB

Hora	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	
1:00	564,4	564,0	564,6	**563,9**
2:00	564,0	563,6	564,2	**563,5**
3:00	563,6	563,3	563,9	**563,2**

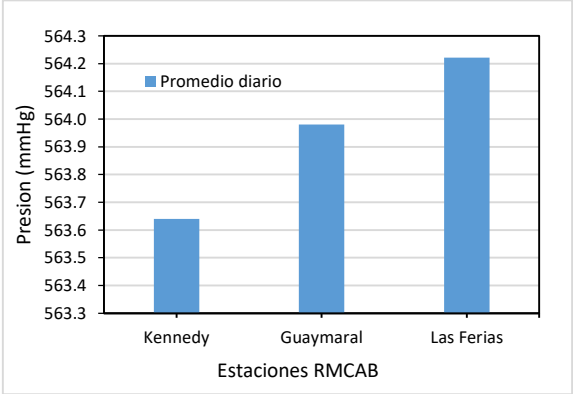
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Hora	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	
4:00	563,6	563,2	563,8	**563,1**
5:00	563,7	563,4	563,9	**563,2**
6:00	564,0	563,6	564,2	**563,4**
7:00	564,3	563,9	564,6	**563,8**
8:00	564,7	564,3	565,0	**564,2**
9:00	565,0	564,6	565,2	**564,5**
10:00	565,0	564,6	565,2	**564,5**
11:00	564,8	564,4	565,0	**564,3**
12:00	564,4	564,0	564,6	**563,9**
13:00	563,8	563,6	564,0	**563,4**
14:00	563,2	563,0	563,6	**562,8**
15:00	562,8	562,6	563,0	**562,4**
16:00	562,6	562,3	562,9	**562,2**
17:00	562,6	562,3	562,9	**562,2**
18:00	562,9	562,6	563,2	**562,5**
19:00	563,4	563,0	563,7	**562,9**
20:00	563,9	563,6	564,2	**563,4**
21:00	564,4	564,1	564,7	**563,9**
22:00	564,8	564,4	565,0	**564,3**
23:00	564,9	564,5	565,1	**564,4**
24:00:00	564,7	564,3	564,9	**564,2**
Promedio diario	**564,0**	**563,6**	**564,2**	**563,5**

Fuente: RMCAB 2018



a) Ciclo semi diurno de la presión



b) Promedio diario por estación

Figura 8-24. Comportamiento del ciclo diurno de la presión atmosférica

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

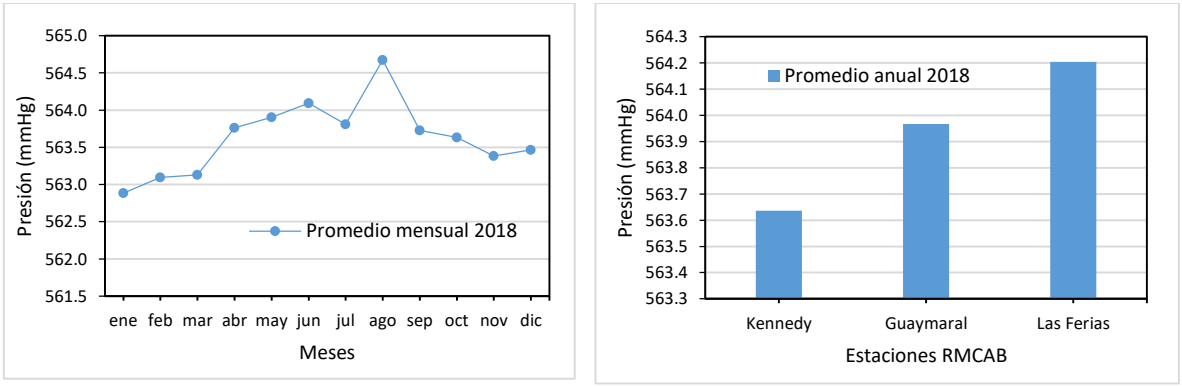
8.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El comportamiento mensual de la presión atmosférica registrada por la RMCAB durante el año 2018 se resume en la Tabla 8-15. Asimismo, en la Figura 8-25 se representa gráficamente su variación mensual y por estación de la red. Como se puede observar en dicha figura la presión tuvo un máximo en agosto y un mínimo en enero. Al revisar el comportamiento por estaciones se deduce que el sector de Kennedy presenta menores presiones del resto de la ciudad, con una diferencia de presión de 0,12 mmHg con respecto al sector de Las Ferias.

Tabla 8-15. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2018

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
Móvil 7ma	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	562,2	**562,2**
Kennedy	563,0	563,2	563,2	563,9	564,1	564,2	564,1	564,4	563,4	563,3	563,1	563,6	**563,6**
Guaymaral	563,4	563,5	563,6	564,2	564,3	564,6	564,5	564,7	563,8	563,7	563,4	564,0	**564,0**
Las Ferias	563,6	563,9	563,9	564,5	564,6	564,8	564,7	564,9	564,0	563,9	563,6	564,1	**564,2**
Promedio mensual 2018	**562,9**	**563,1**	**563,1**	**563,8**	**563,9**	**564,1**	**563,8**	**564,7**	**563,7**	**563,6**	**563,4**	**563,5**	**563,5**

Fuente: RMCAB



a) Promedio mensual ciudad *b) Promedio anual por estación*

Figura 8-25. Comportamiento mensual de la presión atmosférica en 2018. a) promedio ciudad; b) promedio por estación

De acuerdo con la Figura 8-26, la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá fue más baja que el promedio multianual consolidado a través de los registros de la RMCAB. Sólo en el mes de agosto, noviembre y diciembre se evidencia un incremento de las condiciones de presión acercándose al promedio histórico 2009 – 2018. Comparado con el año anterior, aún los tres primeros meses del año 2018, las presiones fueron más bajas que en 2017. Aunque si se observa la curva de presión de 2017, se puede apreciar que al término del este periodo, mostraba una reducción más amplia con respecto a la media multianual; sin embargo, entre diciembre de 2017 hasta agosto de 2018 comenzó su ascenso, con un ligero descenso en enero y julio de 2018. Ver Tabla 8-16

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 8-16. Comportamiento de la presión promedio mensual de 2018 frente a 2017 y el promedio multianual 2009 a 2018

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2017	563,4	563,5	563,5	563,7	564,1	564,1	564,5	564,1	564,0	563,4	562,8	563,1	**563,7**
2018	562,9	563,1	563,1	563,8	563,9	564,1	563,8	564,7	563,7	563,6	563,4	563,5	**563,6**
Promedio 2009- 2018	**563,8**	**563,6**	**563,9**	**564,1**	**564,5**	**564,6**	**564,6**	**564,6**	**564,5**	**564,0**	**563,4**	**563,6**	**564,2**

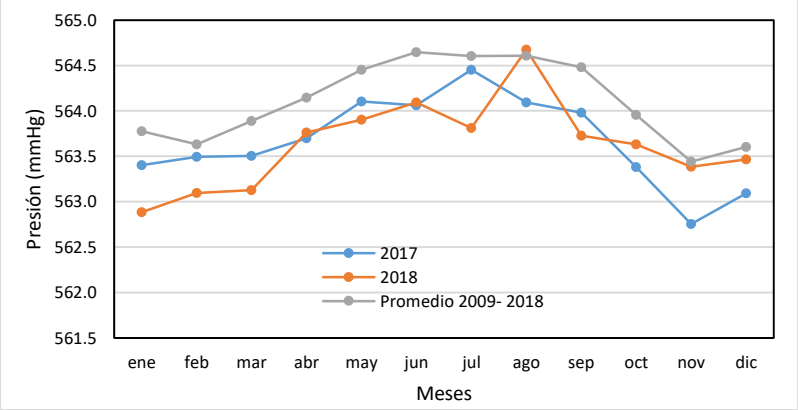


Figura 8-26. Comportamiento mensual de la presión durante 2018 frente al promedio multianual y el año 2017.

8.5.3. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

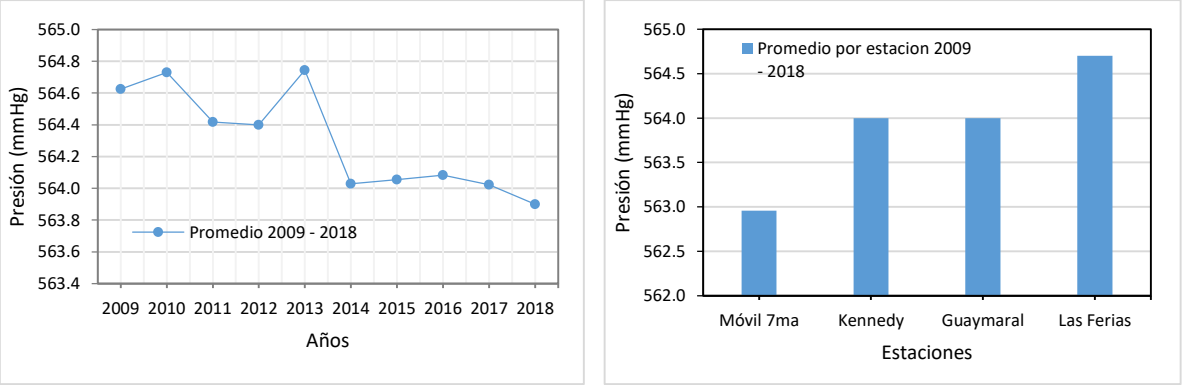
De acuerdo con lo observado en la Tabla 8-17 la presión atmosférica promedio anual presentó valores máximos en 2010 y 2013, con valores que alcanzaron los 564,7 mmHg. De 2014 a 2018 no se percibe alguna variación importante. En cuanto a su distribución en la ciudad, las estaciones Kennedy y Guaymaral registran las presiones más bajas de la ciudad.

Tabla 8-17. Promedios históricos de presión atmosférica – 2009 - 2018

Estación	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Prom.
Fontibón (antigua)	N.A	565,4	565	565	566	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**565,3**
Kennedy	N.A	564	564	564	564	564	564	564	564	564	**564,0**
Guaymaral	564	564	564	564	564	564	564	564	564	564	**564,0**
Las Ferias	565	565	564	564	565	565	565	565	565	564	**564,7**
Promedio	**564,5**	**564,6**	**564,3**	**564,4**	**564,6**	**563,8**	**563,9**	**563,9**	**563,8**	**563,5**	564,1

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Promedio multianual *b) Promedio multianual por estación*

Figura 8-27. Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2018

8.6. HUMEDAD

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad del aire tiene un rol importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire, basado en el hecho de que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o, en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los SOx y NOx, los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia acida.

8.6.1. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD

En cuanto al comportamiento diario anual de la humedad, dada su relación inversa con la temperatura, en las horas de la madrugada y la noche la atmósfera la atmósfera se satura conforme la temperatura desciende, logrando niveles de humedad por encima del 70%; entre tanto, conforme la atmósfera se calienta se hace más seca y la humedad relativa disminuye. Ver Figura 8-28 a). En cuanto a su distribución espacial, las estaciones de San Cristóbal y Guaymaral fueron las que, en promedio, registraron mayores cantidades de humedad durante el año 2018.

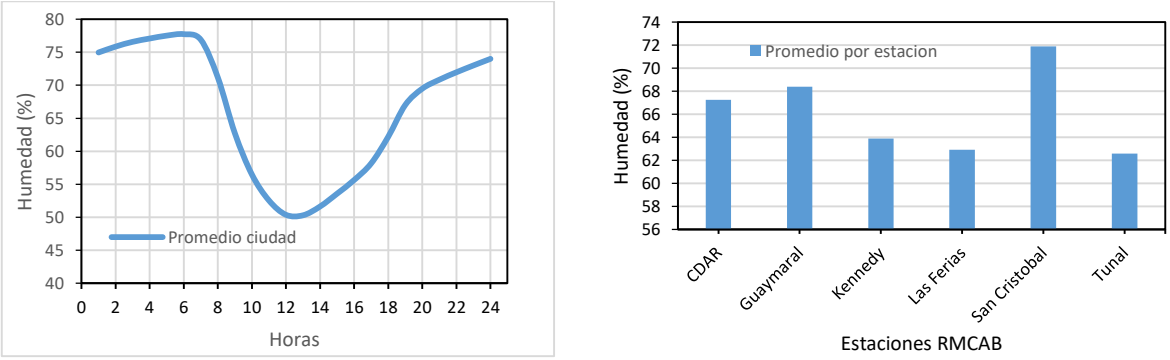
Tabla 8-18. Variación de la humedad horaria en 2018 la humedad promedio mensual las estaciones de la RMCAB

Hora	CDAR	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Móvil 7ma	San Cristóbal	Tunal	Promedio ciudad
	%	%	%	%	%	%	%	%	
01:00	77,9	N.A	79,5	69,7	71,3	N.A	79,2	72,3	**73,6**
02:00	79,0	N.A	80,5	70,6	72,5	N.A	79,8	72,9	**74,7**
03:00	79,5	N.A	81,2	71,5	73,4	N.A	80,6	73,2	**75,6**
04:00	79,8	N.A	81,7	72,2	74,0	N.A	81,1	73,7	**76,2**

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Hora	CDAR	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Móvil 7ma	San Cristóbal	Tunal	Promedio ciudad
	%	%	%	%	%	%	%	%	
05:00	80,2	N.A	82,1	72,7	74,4	N.A	81,5	74,2	**76,6**
06:00	80,5	N.A	82,5	73,0	74,3	N.A	81,6	74,6	**76,9**
07:00	78,5	N.A	82,8	73,1	72,4	N.A	80,6	74,0	**75,9**
08:00	69,2	N.A	78,4	71,1	65,8	N.A	75,9	66,6	**70,2**
09:00	59,1	N.A	66,1	65,3	57,9	N.A	69,8	58,1	**61,6**
10:00	53,7	N.A	57,1	57,9	52,8	N.A	65,2	52,1	**54,7**
11:00	50,7	N.A	52,4	52,7	49,7	N.A	61,6	48,1	**50,4**
12:00	48,9	N.A	49,6	50,5	47,8	N.A	59,3	46,0	**48,2**
13:00	49,4	N.A	48,4	51,2	47,7	N.A	58,9	46,1	**48,1**
14:00	51,3	N.A	49,8	52,8	49,2	N.A	59,5	47,1	**49,7**
15:00	53,8	N.A	52,3	54,2	51,6	N.A	60,8	48,7	**52,2**
16:00	56,3	N.A	54,4	56,2	54,0	N.A	62,5	50,3	**54,6**
17:00	59,4	N.A	56,6	58,3	56,4	N.A	65,5	52,7	**57,2**
18:00	64,3	N.A	61,0	60,9	60,1	N.A	69,0	57,8	**61,2**
19:00	69,6	N.A	67,7	64,0	64,2	N.A	72,5	64,2	**65,9**
20:00	72,1	N.A	71,7	65,6	66,1	N.A	74,0	67,4	**68,1**
21:00	73,5	N.A	74,0	66,3	67,0	N.A	75,2	69,1	**69,4**
22:00	74,7	N.A	75,7	67,1	68,0	N.A	76,2	70,1	**70,4**
23:00	75,9	N.A	77,2	67,9	69,0	N.A	77,0	71,0	**71,3**
00:00	76,9	N.A	78,4	68,7	70,1	N.A	78,3	71,6	**72,5**
TOTAL	**67,3**	N.A	**68,4**	**63,9**	**62,9**	N.A	**71,9**	**62,6**	64,8

Fuente: RMCAB 2018



a) Perfil horario anual *b) Promedio horario por estación*

Figura 8-28. Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2018: a) perfil horario; b) promedio por estación

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

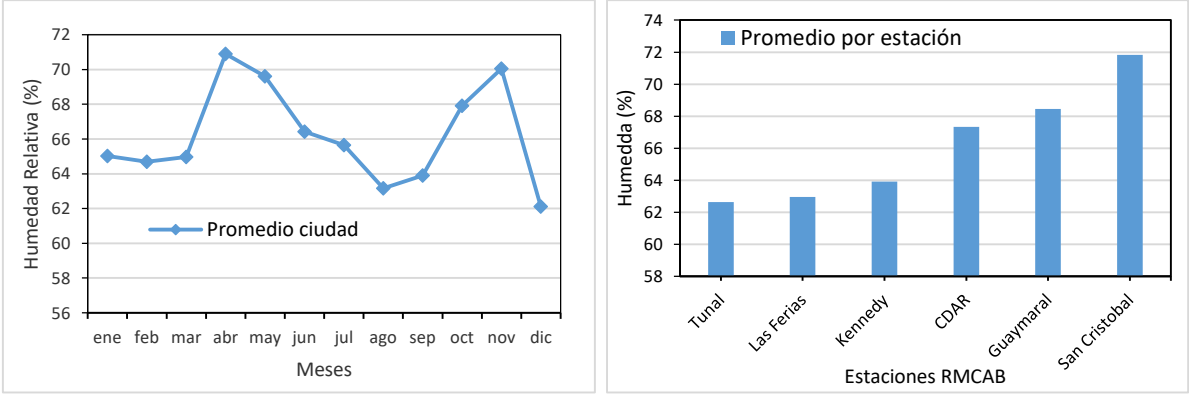
8.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2018 los meses más húmedos fueron abril y noviembre, y los más secos agosto y diciembre. De manera análoga al ciclo diurno, el promedio mensual con mayores valores de humedad fue registrado por las estaciones de San Cristóbal y Guaymaral. (Tabla 8-19)

Tabla 8-19. Comportamiento mensual de la humedad en 2018.

Humedad Relativa	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
Móvil 7ma	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	53	**53**
Tunal	62	61	61	68	67	64	62	60	60	64	65	57	**63**
Las Ferias	62	63	63	68	67	63	62	59	60	65	66	58	**63**
Kennedy	63	65	63	69	69	63	62	59	61	65	68	59	**64**
CDAR	68	67	68	73	72	66	65	63	65	69	70	63	**67**
Guaymaral	67	66	68	72	71	70	69	67	67	69	71	64	**68**
San Cristóbal	67	66	66	74	72	73	74	71	70	77	80	71	**72**
Bolivia	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A
Fontibón	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	N,A	63	**63**
Promedio	**65**	**65**	**65**	**71**	**70**	**66**	**66**	**63**	**64**	**68**	**70**	**62**	**66**

Fuente: RMCAB 2018



a) Perfil mensual de humedad *b) Promedio por estación*

Figura 8-29. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2018: a) promedia ciudad; b) promedio por estación

Como se observa en Figura 8-30, la atmósfera presentó condiciones relativamente secas en los tres primeros meses del año 2018 comparado con el promedio multianual de la humedad. Sin embargo, el contenido de vapor de agua en la atmósfera se incrementó en los meses de abril y mayo, alcanzando humedades por encima de la media muestral multianual. El resto del año las condiciones de humedad fueron muy semejantes al promedio de la ciudad con ligeros incrementos en el segundo semestre del año, aunque en diciembre mostró una disminución importante.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

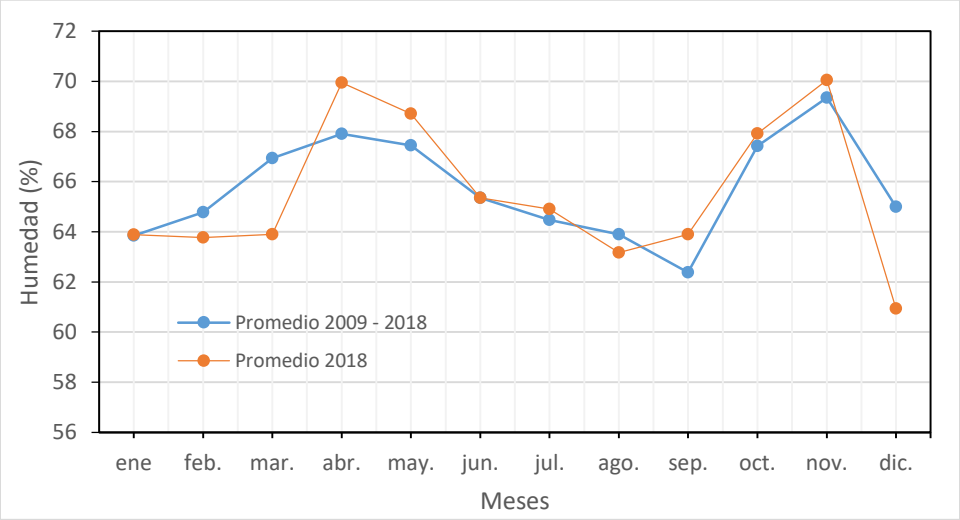


Figura 8-30. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2018 vs. Promedio mensual multianual 2017 2018

8.6.3. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD

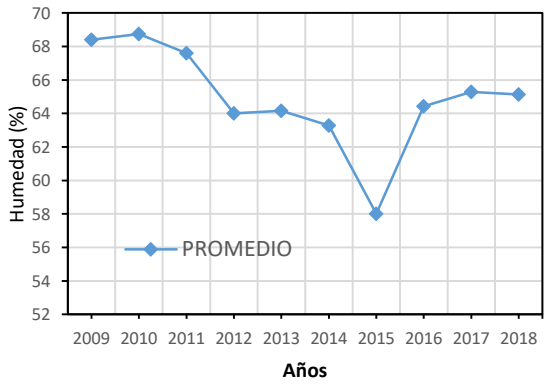
En cuanto al histórico anual de la humedad, se observa que el año 2018 presentó un comportamiento semejante al año anterior por estación (ver Tabla 8-20). De acuerdo con los registros de la RMCAB las mayores cantidades de vapor de agua se han registrado históricamente en inmediaciones del Centro De Alto Rendimiento, como se visualiza en la Figura 8-31 b)

Tabla 8-20. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.

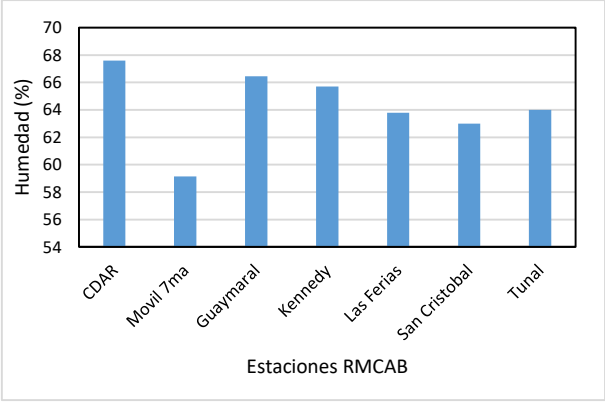
ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	PROMEDIO
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	96,6	N.A	N.A	N.A	N.A	No Data	96,6
CDAR	69	71	69	66	67	67	62	70	68	67	67,6
Guaymaral	72	N.A	65	63	63	66	64	69	68	68	66,4
Kennedy	68	69	70	66	66	65	57	67	65	64	65,7
Las Ferias	66	67	67	64	63	63	57	64	64	63	63,8
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	61	N.A	59	55	59	72	72	63,0
Tunal	67	68	67	64	64	63	58	64	62	63	64,0
Promedio	**68,4**	**68,8**	**67,6**	**64,0**	**64,2**	**63,3**	**58,0**	**64,4**	**65,3**	**65,1**	**64,2**

Fuente: RMCAB 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



a) Promedio multianual



b) Promedio multianual por estación

Figura 8-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa anual: a) promedia multianual; b) promedio por estación

9. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El día 24 de marzo de 2018 se declaró alerta amarilla por contaminación atmosférica en Bogotá, debido a los altos niveles de concentración de $PM_{2.5}$ durante el mes de marzo, la cual fue finalizada hasta el 29 de marzo de 2018, cuando se evaluó que las condiciones del aire fueron más favorables. En la Tabla 9-1 se relacionan los eventos y los documentos de la alerta amarilla:

Tabla 9-1. Documentos alertas contaminación atmosférica Marzo 2018

Evento	Fecha	Acto Administrativo	Informe Técnico
Declaración de alerta amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá D.C.	24/03/2018	Resolución No. 00831 de 2018	IT No. 00422 del 23 de marzo de 2018
Finalización de la declaratoria de alerta amarilla en el Distrito Capital ordenada mediante Res. 00831 del 24 de marzo de 2018	29/03/2018	Resolución No. 00888 de 2018	IT No. 00473 del 29 de marzo de 2018

Dentro de los factores principales por los cuales se dio lugar a la declaración de la alerta, se relaciona la disminución de la velocidad media de los vientos durante el mes en comparación a años anteriores, lo cual contribuyó a la disminución de la dispersión de contaminantes. Además se identificaron puntos calientes en la zona de la Orinoquía y en la zona suroriental del país, y por los vientos del oriente, se pudo causar el arrastre de material particulado de esta zona hacia la ciudad.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

De acuerdo a los puntos calientes observados en los satélites de la NASA, entre marzo 16 y 23 se registraron alrededor de 10991 puntos calientes sólo en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Meta, Vichada, Casanare y Arauca. El departamento del Vichada es el que registra el mayor número de puntos calientes en este periodo, con 1523 puntos; los vientos provenientes del este son los que pueden arrastrar el material particulado de estas zonas hacia la ciudad. (Figura 9-1)

En algunos aeropuertos se reportó bruma, por posible arrastre de contaminantes provenientes de incendios, con lo cual la contaminación también fue percibida por otros radares en otros sectores del país. (Figura 9-2)

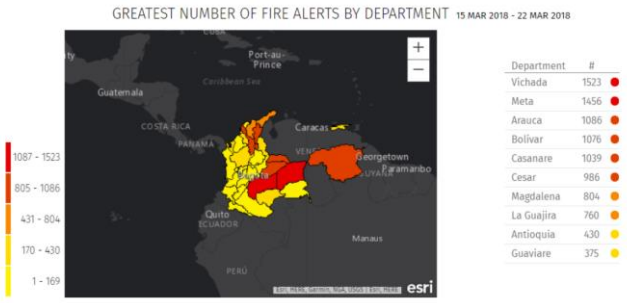


Figura 9-1. Puntos calientes por departamentos. Marzo 15 al 22 de 2018
Fuente: GLOBAL FOREST WATCH FIRES

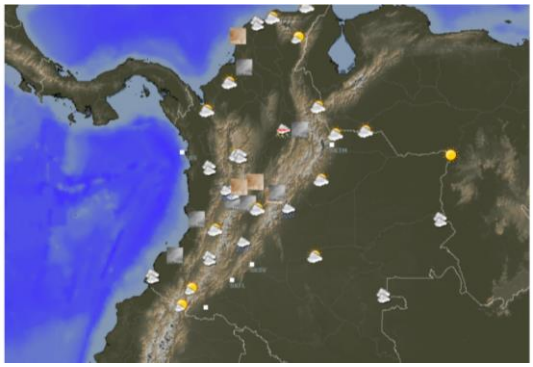


Figura 9-2. Reporte de bruma en aeropuertos de Colombia. 23 de marzo de 2018
Fuente: IDEAM

Entre el 22 y el 23 de marzo se observó un desplazamiento del polvo de Sahara arrastrado por los vientos alisios hacia Suramérica, con lo cual dicho fenómeno pudo influenciar la presencia de bruma en Colombia. (Figura 9-3).

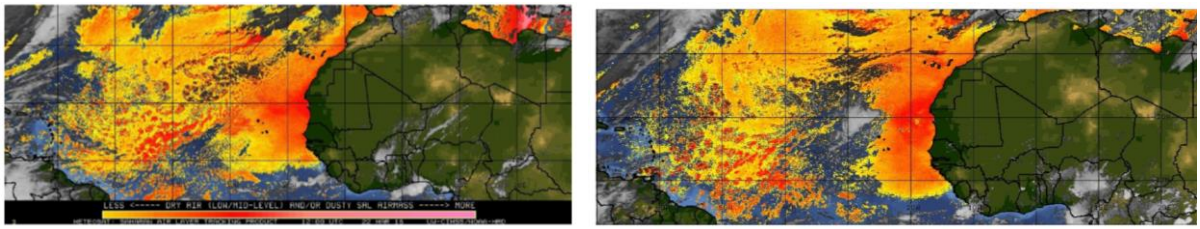


Figura 9-3. Arrastre de material particulado PM_{10} desde el Sahara. Marzo 22 y 23 de 2018
Fuente: Satélite GOES-16- NOAA

En la Figura 9-4 se representa la variación de las concentraciones media móvil 24 horas de $PM_{2.5}$ del 22 al 30 de marzo de 2018 y su comparación con los niveles del IBOCA. Se observa que entre el 22y el 24 de marzo varias estaciones mantuvieron sus concentraciones en una condición “regular”, solamente la estación San Cristóbal permaneció en una condición “moderada”. La estación Tunal

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

registró la condición más crítica (mala) durante 4 horas en la noche del día 23 de marzo. Dado que la condición "regular" se mantuvo por 48 horas, se realizó la declaratoria de la alerta amarilla a nivel ciudad. En los siguientes días (25 y 26 de marzo) descendieron las concentraciones debido a la dinámica de fin de semana, y se elevaron nuevamente los días 27 al 29 de marzo, descendiendo nuevamente el 30 de marzo, día que se finalizó la alerta amarilla en la ciudad.

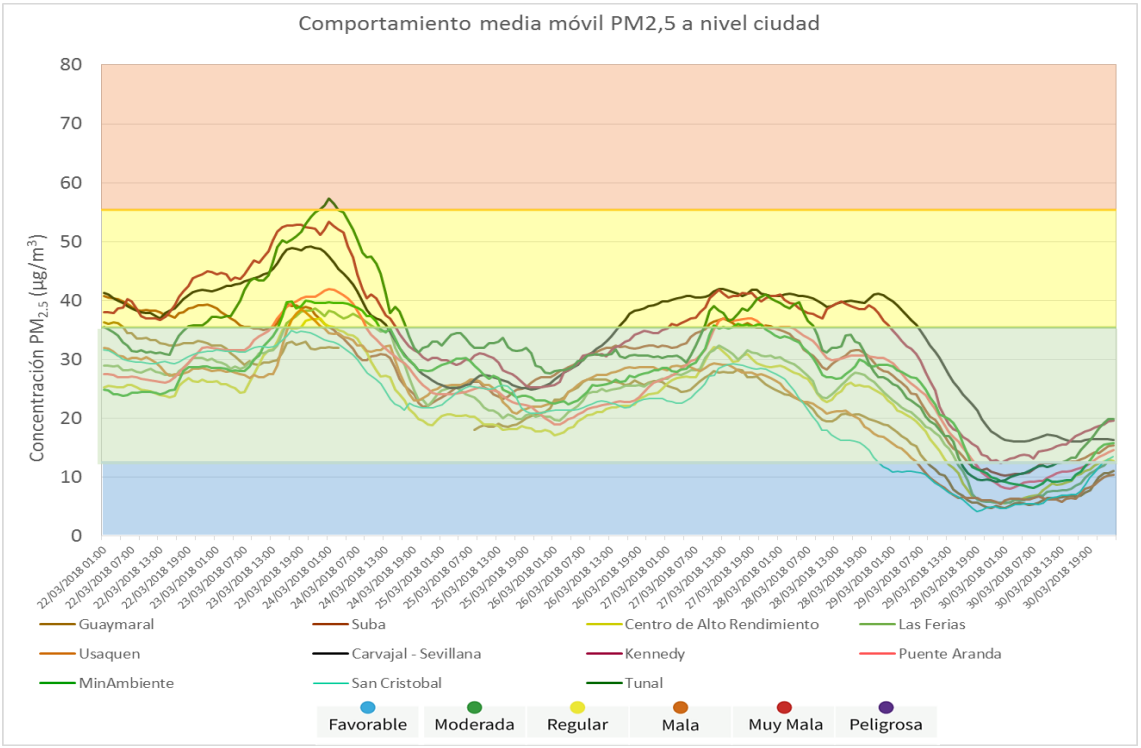


Figura 9-4. Concentraciones media móvil 24H $PM_{2.5}$ y colores IBOCA. Marzo 22 al 30 de 2018

La reducción de las concentraciones se vio influenciada por el aumento en las precipitaciones en el oriente y el centro del país, lo que contribuyó a disminuir los puntos calientes de los incendios en la Orinoquía y el material particulado aportado hacia la ciudad, además disminuyó la frecuencia del reporte de bruma en los aeropuertos. (Figura 9-5). Adicionalmente, las inversiones térmicas que se presentaban anteriormente se rompieron antes de las 7 AM, por lo cual la altura de la capa de mezcla era mayor, y esta condición favoreció la dispersión de contaminantes.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

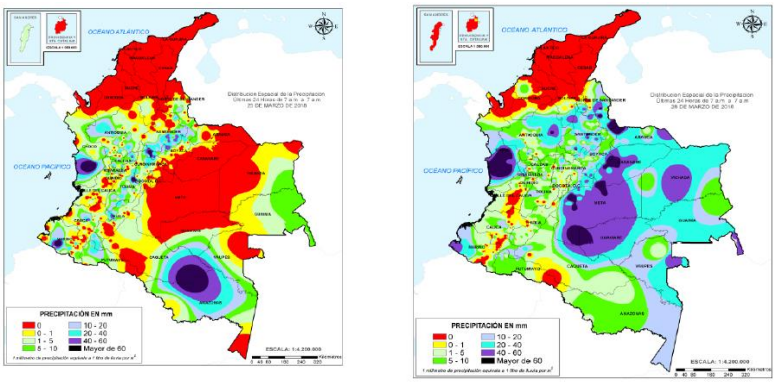


Figura 9-5. Mapa nacional de precipitación diaria acumulada para los días 25 (izq.) y 28 (der.) de marzo de 2018
Fuente: IDEAM

Adicionalmente, según lo pronosticado por el Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire de Bogotá (SIMCAB), se observó que la condición predominante de calidad del aire sería "moderada", con pocas zonas puntuales en condición "regular", por lo cual se esperaba que la condición de calidad del aire en la ciudad fuera más favorable en el transcurso del tiempo. (Figura 9-6 y Figura 9-7)

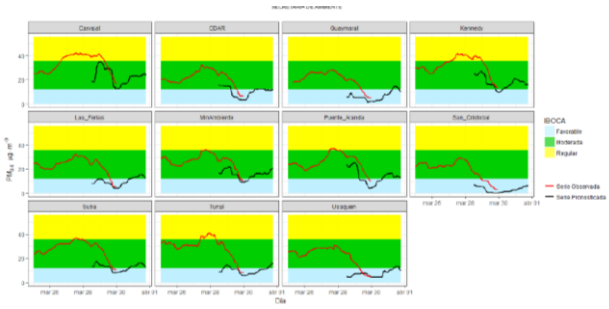


Figura 9-6. Series media móvil 24H de $PM_{2.5}$ observadas y pronosticadas entre marzo 25 y abril 1 de 2018

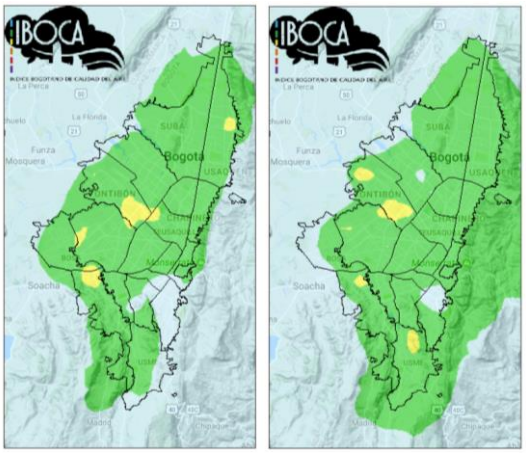


Figura 9-7. Pronóstico de IBOCA de $PM_{2.5}$ para Marzo 30 y 31 de 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

10.CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

La necesidad de un ambiente sano permite mejorar las condiciones de salud de la población, por esta razón desde la dimensión de salud ambiental propuesta en el Plan decenal de salud pública se establecen un conjunto de políticas desarrolladas de forma transectorial que pretenden promover la calidad de vida y salud de la población, materializando el derecho a un ambiente sano, a través de la transformación de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales usando la metodología de las fuerzas motrices, la cual muestra la relación entre factores ambientales y efectos en la salud; este método permite a los gobiernos determinar e identificar los factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal y plantear acciones sectoriales y transectoriales que permitan adoptar medidas preventivas y de intervención4.

Dicho plan comprende 8 dimensiones prioritarias, siendo una de ellas la de salud ambiental, donde uno de sus componentes es el hábitat saludable, buscando mejorar la calidad de vida y salud de la población, interviniendo de forma positiva los determinantes sociales y en salud que influyen en el desarrollo de un ser humano desde su nacimiento. Esto reúne una serie de entornos cotidianos como: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables.

Dentro de los objetivos del componente de hábitat saludable, se encuentra el intervenir con enfoque diferencial los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos.

Con base en lo anterior, el Decreto 596 de 2011 por el cual se adopta la Política Distrital de salud ambiental, establece que una de sus líneas de acción corresponde a las temáticas de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, y que se debe operar a través de las estrategias: Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental. Dentro de este contexto la línea, ha venido adelantado acciones intersectoriales con el propósito de analizar los factores de riesgo posiblemente asociados al desarrollo de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y personas mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre los factores de riesgo, con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá[1].

[4] Dimensión de Salud Ambiental, Plan decenal de Salud Publica 21021-2021. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad, por medio del decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 10-1.

Tabla 10-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura

NORTE	CENTRO ORIENTE	SUR OCCIDENTE	SUR
▪ Usaquén ▪ Chapinero ▪ Barrios Unidos ▪ Teusaquillo ▪ Engativá ▪ Suba	▪ Santa Fe ▪ La Candelaria ▪ Los Mártires ▪ San Cristóbal ▪ Rafael Uribe ▪ Antonio Nariño	▪ Fontibón ▪ Puente Aranda ▪ Kennedy ▪ Bosa	▪ Tunjuelito ▪ Ciudad Bolívar ▪ Usme

Fuente: Secretaría Distrital de Salud



10.1. GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL

En el marco de la implementación del Consejo Territorial de Salud Ambiental (COTSA) establecido por el CONPES 3550 de 2007, por el cual se adoptan los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química; en Bogotá se desarrolló la Mesa de Salud Ambiental de la Comisión Intersectorial de Protección Ambiental, Sostenibilidad Ambiental, Eco urbanismo y Ruralidad CISPAER, en donde participaron diferentes entidades de la administración distrital.

Dentro de los avances, la Secretaría Distrital de Ambiente realizó un análisis de series temporales de datos de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá – RMCAB, estableciendo las zonas de mayor contaminación del aire, las cuales se ubican al sur occidente de la ciudad, a fin que las entidades que realizan las acciones de inspección, vigilancia y control de las diferentes fuentes de

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

emisión (industrias, vehículos y vías en mal estado) intensifiquen sus acciones de control en esta zona y con ello reducir las emisiones en el sector.

10.2. VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL

La Secretaria Distrital de Salud de Bogotá desde el año 2012 realiza una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- Vigilancia Epidemiológica: Vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- Vigilancia Sanitaria: Contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a la contaminación del aire.
- Vigilancia Ambiental: Contempla el monitoreo de contaminación del aire intramural y análisis y seguimiento de contaminantes por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

10.2.1. ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD

Con el fin de documentar el impacto en la salud por la exposición a contaminación del aire en la ciudad, la Secretaria Distrital de Salud desde el año 2007 formuló y ejecutó un estudio epidemiológico encaminado a establecer relación entre la contaminación del aire intra y extramural y la enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá, el cual fue ejecutado hasta el año 2010. Dados los resultados y la necesidad sentida de la ciudad, se decidió a partir de este estudio, diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológico, ambiental y sanitario del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire. La implementación de la vigilancia se ha realizado de manera permanente y ha incrementado su cobertura de forma progresiva, actualmente tiene una cobertura del 100% en las localidades urbanas de la ciudad.

Los estudios han revelado que la contaminación del aire por material particulado se considera un factor asociado, más **no** un factor causal directo de morbilidad o mortalidad respiratoria. Al ser un factor asociado, en combinación con otros factores de riesgo como desnutrición, contaminación intramural, déficit de condiciones higiénico sanitarias, ausencia de vacunas, cambios climáticos, y presencia de enfermedades, sean hereditarias, genéticas, congénitas y/o infecciosas; se produce un aumento potencial del riesgo de presentar Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) especialmente en grupos vulnerables como lo son: menores de 5 años, mujeres embarazadas y personas mayores[5].

[5] Plan de Choque Segundo pico de infección respiratoria aguda. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Los estudios epidemiológicos actuales no establecen un umbral crítico por debajo del cual no se afecte la salud, lo que indica que el riesgo cero no existe. Al estar la población expuesta a diferentes niveles de contaminación del aire, el periodo de latencia o de inicio de presentación de síntomas relacionados con esta exposición oscila entre 3 y 7 días. Algunos de los síntomas relacionados son las sibilancias, la tos seca y en menor frecuencia la irritación ocular, todos ellos en ausencia de estados gripales y/o virales.

Cabe mencionar que las afecciones respiratorias no son los únicos efectos en salud por contaminación del aire, existen diferentes patologías relacionadas con la contaminación del aire; de acuerdo a un meta-análisis realizado en el año 2017, se encontró que con incrementos de 10µg /m^3 en $PM_{2,5}$ aumenta en 0,89% (IC del 95%:0,68-1,10%; número de ciudades, $n_{ciudades}$=114) la mortalidad por todas las causas, así mismo aumenta en 0,80% (IC del 95%: 0,41-1,20%; $n_{ciudades}$=89) la mortalidad cardiovascular y en 1,10% (IC 95%: 0,59-1,62%; $n_{ciudades}$=86) la mortalidad por enfermedades respiratorias[6]. Por otra parte, otro evento relacionado con la contaminación atmosférica es el bajo peso al nacer, en la actualidad se encontró que la exposición materna durante el embarazo a $PM_{2.5}$ está asociada con partos prematuros y bajo peso al nacer (OR = 1.03, IC 95%: 1.01-1.05 y OR = 1.03, IC 95%: 1.02-1.03 , respectivamente)[7].

Con respecto a enfermedades mentales como el Alzheimer, recientemente se halló que el polimorfismo *MTHFR* C677T se asoció con un mayor riesgo de desarrollo de la enfermedad de alzheimer, esto se debe a que "*los mecanismos epigenéticos que incluyen las toxinas ambientales de la contaminación del aire pueden afectar el desarrollo del alzheimer a través de la modificación de las expresiones de los genes en las vías de metilación*"[8]. Por último, en relación a posibles afecciones renales, en el año 2017 se evidenció que la exposición a material particulado ambiental puede estar asociada con un mayor riesgo de cáncer de parénquima renal[9]. Se aclara, que estas son solo algunas de las enfermedades asociadas a contaminación del aire, puesto que en el mundo se continúa realizando investigaciones con el propósito de observar otras posibles asociaciones.

10.3. VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos

[6] Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. Souzana Achilleos,Marianthi-Anna,Kioumourtzoglou. Disponible en: https://www-sciencedirect com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0160412016310418?via%3Dihub
[7] Association between ambient fine particulate matter and preterm birth or term low birth weight: An updated systematic review and meta-analysis. Xiangyu Li,Shuqiong Huang,Anqi Jiao. Disponible en: https://www-sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0269749116325507?via%3Dihub#bib20
[8] Meta-Prediction of the Effect of Methylenetetrahydrofolate Reductase Polymorphisms and Air Pollution on Alzheimer's Disease Risk. Suh-Mian Wu, Zhao-Feng Chen,Lufei Young and S. Pamela K. Shiao. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5295314/
[9] Outdoor air pollution and risk for kidney parenchyma cancer in 14 European cohorts. Raaschou-Nielsen, O Pedersen M, Stafoggia M. Disponible en: https://spiral.imperial.ac.uk:8443/handle/10044/1/46219

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos; que permite generar información oportuna, válida y confiable, y así orientar medidas de prevención, vigilancia y control en relación con el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

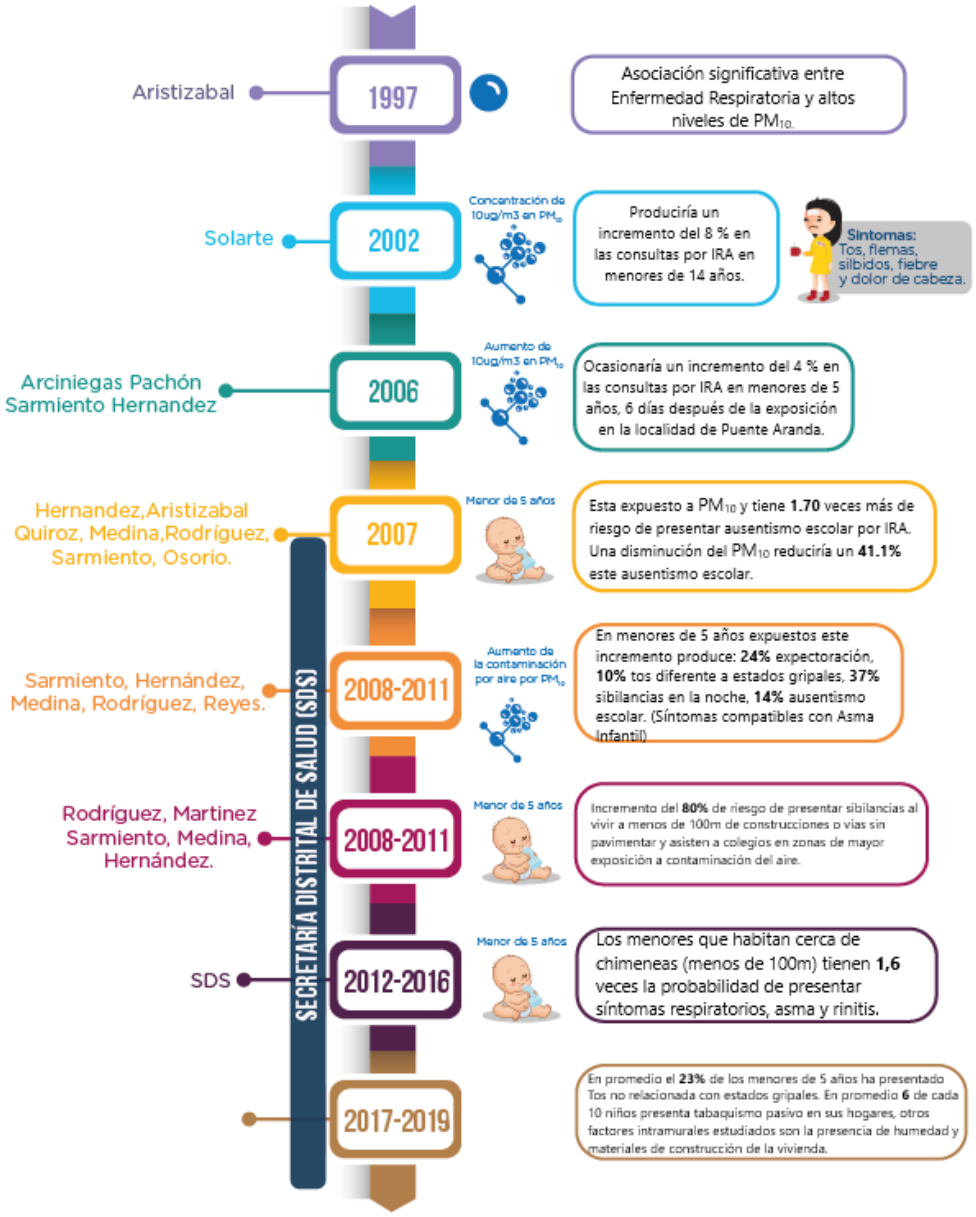


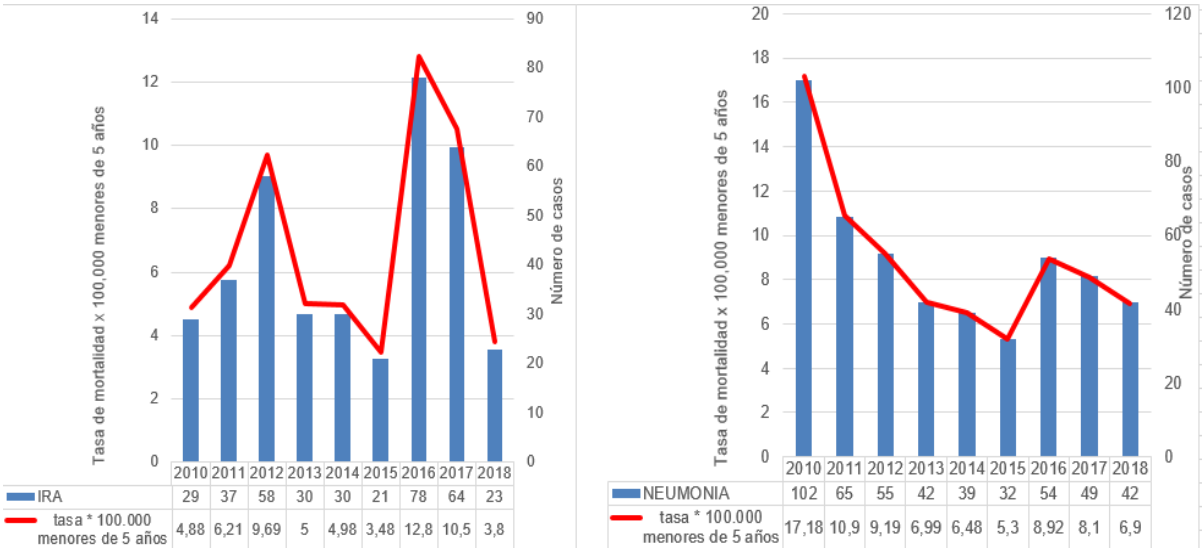
Figura 10-1. Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá
Fuente: Secretaría Distrital de Salud, 2018.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

10.3.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

La infección respiratoria aguda (IRA) se considera un factor de riesgo para desencadenar una patología broncopulmonar, como ocurre en el síndrome bronco-obstructivo en menores de 5 años; o exacerbar otras enfermedades del sistema respiratorio, como en el caso del EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica) en personas mayores. Estas infecciones pueden ser causadas por microorganismos virales, bacterianos o fúngicos y evolucionan en un tiempo menor a 15 días, representan una de las primeras causas de atención médica en todo el mundo y se encuentra entre las primeras 5 causas de mortalidad en América, según cifras de la Organización Panamericana de la Salud[10]. En cuanto a la carga ambiental atribuible, la Organización Mundial de la Salud determino que la exposición a contaminación del aire es responsable del 7,9% de la carga a la IRA en el año 2012 a nivel mundial[11].

La mortalidad por IRA en menores de cinco años en Bogotá presenta una tendencia creciente (con R^2 0.32), con un descenso del 25,0% en el número de casos en los últimos dos años con respecto al año 2016 en el que se observa el mayor número de casos desde el 2010. La neumonía es el evento secundario por IRA de mayor relevancia, por lo que internacionalmente se toma como un evento trazador y al igual que la IRA también se observa un descenso en los últimos años, correspondiente a un 14,8% en los casos, como se muestra en la Figura 10-2.



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
IRA	29	37	58	30	30	21	78	64	23
tasa * 100.000 menores de 5 años	4,88	6,21	9,69	5	4,98	3,48	12,8	10,5	3,8

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
NEUMONIA	102	65	55	42	39	32	54	49	42
tasa * 100.000 menores de 5 años	17,18	10,9	9,19	6,99	6,48	5,3	8,92	8,1	6,9

Figura 10-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2018 (* años 2015 al 2018* datos preliminares)*
Fuente: Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND, 2014, 2015*, 2016*,2017*y 2018 (*Preliminares)

[10] Disponible en: https://hiss.paho.org/pahosys/grp.php
[11] Preventing disease through healthy environments A global assessment of the burden of disease from environmental risks A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos an. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

En relación al comportamiento por localidades en Bogotá de la mortalidad por infección respiratoria aguda (IRA) en menores de 5 años durante el año 2018, Kennedy, Usme y Ciudad Bolívar son las localidades que presentan el mayor número de casos, por otra parte el 57% de los casos se presentó durante el primer semestre del año.

Por otro lado, la mortalidad infantil por neumonía, se presentó con mayor frecuencia en las localidades de Kennedy y Usme. Según cifras de la estimación de carga de la enfermedad para Colombia, en el año 2010 las infecciones respiratorias inferiores, representaron aproximadamente un 3.5% del total de muertes en Colombia en el año 2010[12], algunos factores ambientales como la contaminación del aire interior ocasionada por el uso de biomasa (como leña o excrementos) como combustible para cocinar o calentar el hogar, el hacinamiento en los hogares y el consumo de tabaco por los padres de los menores, aumentan en los niños el riesgo de padecer neumonía.

En relación con los niveles de contaminación del aire, se observa que 6 casos de mortalidad por IRA y 8 casos de mortalidad por neumonía se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición a contaminación del aire por material partículado $PM_{2.5}$, situación que corresponde también para material partículado PM_{10} como se muestra en la Figura 10-3.

Según los análisis de los determinantes de la mortalidad por IRA y neumonía en menores de 5 años realizados por la Secretaría Distrital de Salud se ha evidenciado que los factores de riesgo que mayor se correlacionan son: edad menor de 1 año, tiempo de gestación menor a 37 semanas, bajo peso al nacer, hijo de madre adolescente, pertenecer a estratos 1 y 2, residir en viviendas ubicadas cerca de un alto tráfico vehicular y hallarse fuentes de contaminación del aire al interior de la vivienda.

[12] Estimación de carga de la enfermedad para Colombia, 2010. Disponible en: http://www.javeriana.edu.co/documents/12789/4434885/Carga+de+Enfermedad+Colombia+2010.pdf/e0dbfe7b-40a2-49cb-848e-bd67bf7bc62e

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

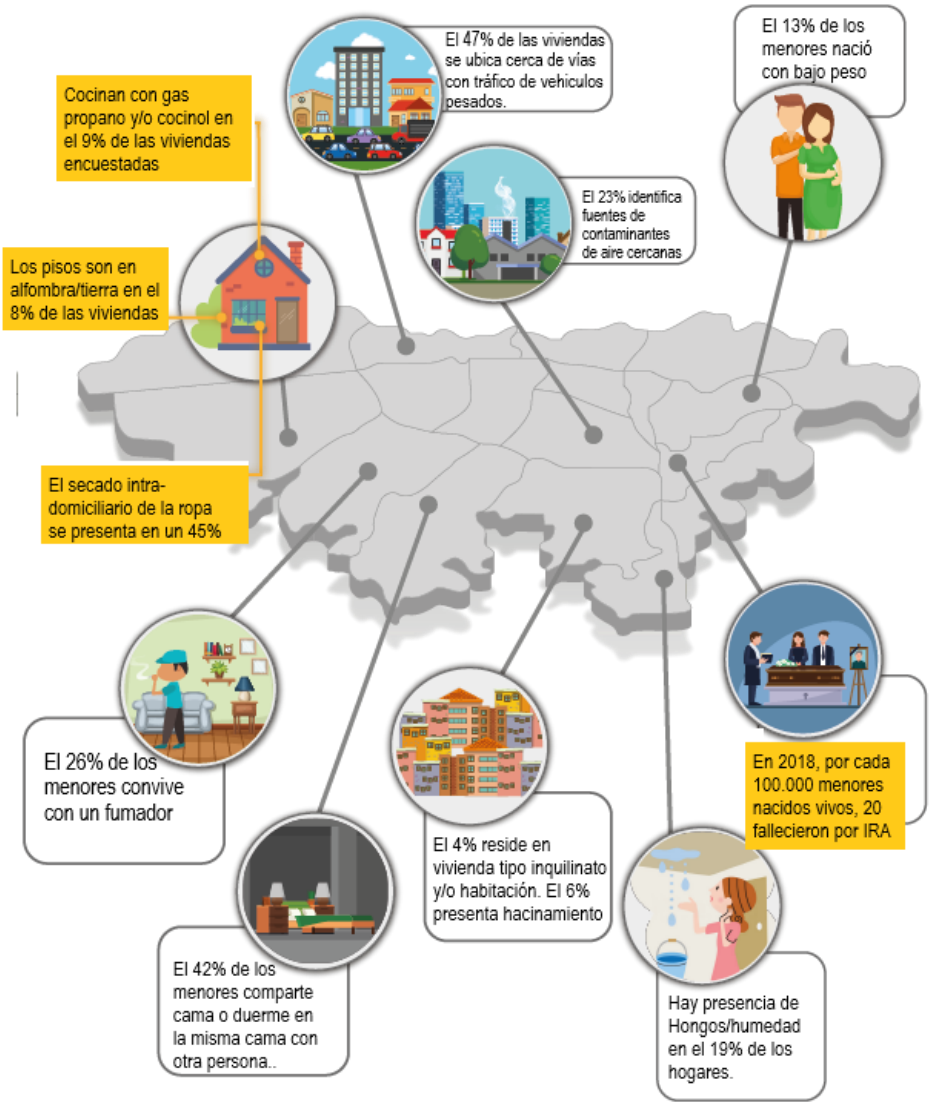


Figura 10-3. Factores de riesgo para Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años.
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y Rem, Informe plantilla ERA Secretaría Distrital de Salud, 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

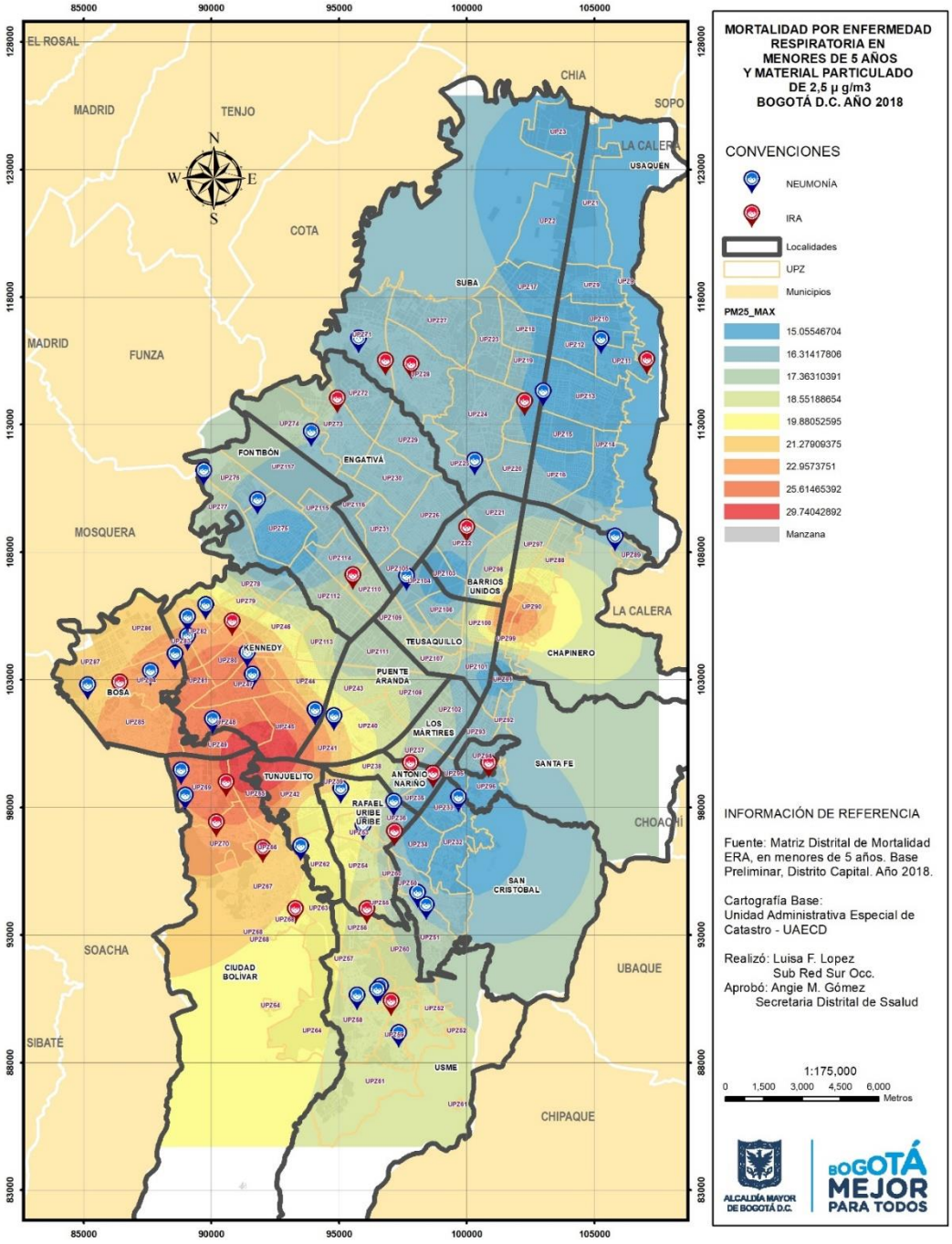


Figura 10-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material particulado 2.5 (µg/m³) en Bogotá, 2018.

Fuente: Niveles de contaminación Secretaría Distrital de Ambiente y mortalidad grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

10.3.2. MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaria de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Publica 2012-2021.

○ *a. Morbilidad Atendida*

En el mundo 3.600.000 muertes anuales son por causa de la IRA[13], en Colombia, el Instituto Nacional de Salud -INS- en su informe preliminar publicado de IRA, indicó que hasta la semana 52 del año 2018 se notificaron 6.996.552 casos de consulta externa y urgencias por Infección Respiratoria Aguda, 41.477 casos más que los notificados en el año 2017; lo que representó un incremento de la morbilidad en un 0,6%. La ciudad de Bogotá aportó el 25% de los casos en el país con 1.7782.425 casos de consulta externa y urgencias IRA; el 29% con 72.261 casos que requirieron hospitalización y un 34% con 7.717 casos que requirieron hospitalización en unidad de cuidados intensivos. Convirtiéndose así en la ciudad con mayor volumen de frecuencia, lo cual se puede relacionar eventualmente con la alta concentración de población que comprende al compararse con el resto de ciudades del país y adicionalmente con la dinámica de factores meteorológicos y ambientales que se presentan en la capital[14].

En consecuencia, la IRA en Bogotá es uno de los principales eventos de interés en salud pública que afecta a la población infantil de la ciudad. En la figura 10-5 se presenta los casos notificados al SIVIGILA de forma colectiva durante los años 2012 a 2018 correspondientes a menores de 5 años, dicha frecuencia representa en promedio el 30% de la población total, porcentaje que determina la magnitud y vulnerabilidad de la población en mención. a través de los años se observa una tendencia creciente en la notificación de casos de IRA en menores de cinco años en Bogotá siendo el año 2017 el año que mayor incremento se ha registrado con 553.970 caso que comparado con el año 2016 corresponde a un incremento del 6,9% en la notificación de IRA, presentándose el mayor incremento de estos casos en los meses de marzo a junio del año 2017. El 2018 declina la curva de tendencia al presentarse 35.965 casos menos que el año anterior, condición consecuente a las múltiples estrategias de prevención y las acciones de intervención aplicadas a la población menor de 5 años en todo el distrito.

[13] Vega-Briceño LE, Abarca K, Sánchez I. Flu vaccine in children: State of the art. Rev Chil Infectol [citado 02 nov 2017] 2006; 23 (2): 164-9. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182006000200011&lng=es. http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182006000200011.
[14] Vigilancia rutinaria 2018p –evento 995. Portal Web SIVIGILA 2018-2020. Disponible en: Infehttp://www.ins.gov.co/buscador-eventos/Informesdeevento/IRA%20PE%20XIII%202017.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

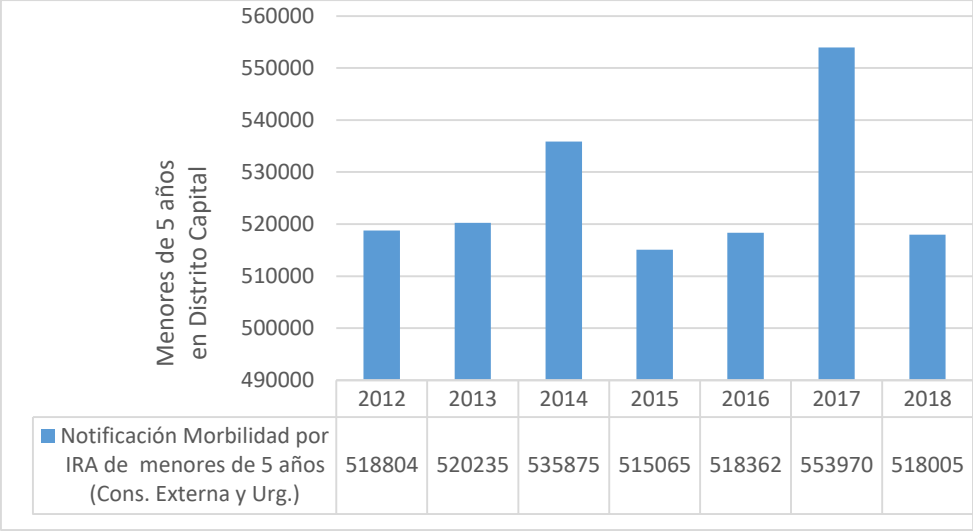


Figura 10-5. Morbilidad por IRA (evento 995- SIVIGILA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2018.
Fuente: Base de datos Sivigila. Vigilancia de IRA.2012-2018

Una estrategia de Atención Primaria en Salud para reducir el impacto de la IRA, es la atención de menores de 5 años son las Salas de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA), ubicadas en las diferentes instituciones prestadoras de servicio de salud; y sus respectivos planes de contingencia en periodos de pico respiratorio. Más de 80 Salas ERA reportan los menores de 5 años de edad atendidos, y su comportamiento en el volumen de atención indica una tendencia decreciente en los últimos tres años, al observarse en el año 2016 la atención de 52.168 menores, en el año 2017 la atención de 47.014 menores y en el año 2018 la atención de solo 36.003 menores. Eventualmente la causa de la disminución de casos en Salas ERA, puede atribuirse al auge de nuevas modalidades de atención medica domiciliaria y la conciencia que se ha generado en los cuidadores y padres al evitar exponer a los menores a ambientes con potencial riesgo como lo son las salas de urgencia. Los diagnósticos atendidos en salas ERA se muestran en la figura 10-6.

De los casos atendidos en menores de 5 años, el 35% se presentaron en menores de 1 año, en donde el diagnóstico más frecuente para este subgrupo de edad la presencia de bronquiolitis y Síndrome Bronco-obstructivo siendo los más graves de los atendidos en estas salas.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

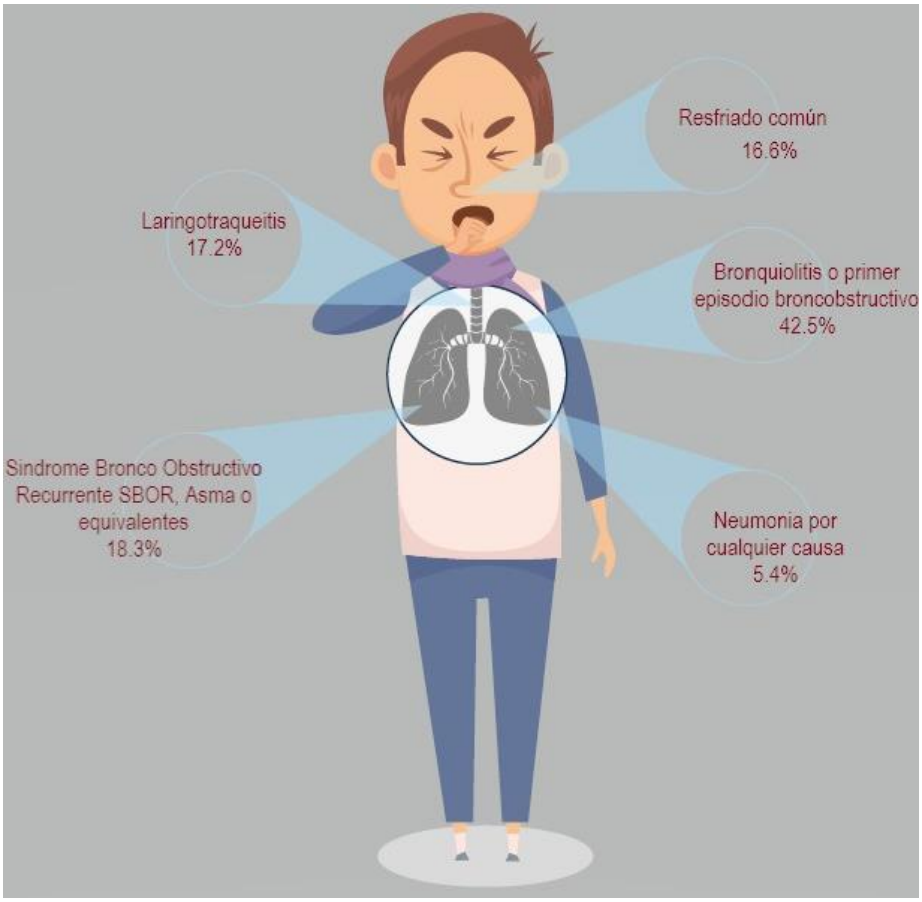


Figura 10-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2018
Fuente: Base de datos Salas ERA.2018

○ *b. Morbilidad Sentida*

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y personas mayores de 60 años, por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire.

En el año 2018 se encuestaron un total de 10.007 menores de 14 años, de los cuales el 45,2% corresponden a menores de 5 años y el 51,4% pertenecen al sexo masculino. El estudio epidemiológico que conlleva la vigilancia ha equiparado las muestras poblacionales para las zonas de exposición, por ende, las cargas para encuestas en zonas de mayor exposición comprenden el

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

50,9% y en menor exposición con el 49,1%. Como se observa en la Tabla 10-2, predominan los menores pertenecientes al estrato 2 con un 51,1%, seguido del estrato 3 con el 30,2% de representación.

Tabla 10-2. Estadísticas descriptivas según sexo y estrato socioeconómico de los menores de 14 años según la exposición a contaminación del aire.

	ESTRATOS							Total general	Porcentajes
	0	1	2	3	4	5	6		
Menores de 5 años								**4519**	45,2%
FEMENINO								**2172**	21,7%
MAYOR EXPOSICIÓN	2	221	606	275	17	5	5	1131	11,3%
MENOR EXPOSICIÓN		135	553	301	50	2		1041	10,4%
MASCULINO								**2347**	23,5%
MAYOR EXPOSICIÓN	1	192	692	279	16	4	3	1187	11,9%
MENOR EXPOSICIÓN		149	622	333	52	4		1160	11,6%
Niños de 5 a 14 años								**5488**	54,8%
FEMENINO								**2695**	26,9%
MAYOR EXPOSICIÓN	1	195	778	378	21	3		1376	13,8%
MENOR EXPOSICIÓN		227	532	526	27	7		1319	13,2%
MASCULINO								**2793**	27,9%
MAYOR EXPOSICIÓN		179	814	363	46	1		1403	14,0%
MENOR EXPOSICIÓN		250	519	570	44	7		1390	13,9%
Total general	**4**	**1548**	**5116**	**3025**	**273**	**33**	**8**	**10007**	
Porcentajes	0,0%	15,5%	51,1%	30,2%	2,7%	0,3%	0,1%		

Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y Rem, 2018

En el marco de la vigilancia de los efectos en salud por la exposición a material particulado se identifican los síntomas trazadores *sibilancias* (ruidos en el pecho) y *tos* (seca diferente de gripa) que generan los indicadores de seguimiento, así como el impacto de la enfermedad respiratoria por medio de la estimación del *ausentismo escolar* por presencia de la sintomatología. En la Tabla 10-3, se observan las prevalencias de sintomatología respiratoria en menores de 14 años posiblemente asociada a la contaminación del aire discriminada por los grupos de edad menores de 5 años y niños de 5 a 14 años.

Las prevalencias de los diferentes síntomas respiratorios en los menores de 14 años en la muestra 2018 en Bogotá fueron menores en el grupo de mayor exposición por lo cual, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre las variables mencionadas, por lo tanto, se hizo

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

necesario el análisis de otros posibles factores de riesgo que pueden estar asociados con la aparición de sintomatología respiratoria.

Tabla 10-3. Porcentaje de síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire

Síntomas	Exposición				Total	
	Mayor		Menor			
	No de Casos	Porcentaje	No de Casos	Porcentaje	No de Casos	Prevalencia por grupo de edad
Menores de 5 años						
Sibilancias en el último año	347	3,5%	293	2,9%	640	14,2%
Tos en el último. año diferente de gripa	545	5,4%	593	5,9%	1138	25,2%
Niños de 5 a 14 años						
Sibilancias en el último año	95	0,9%	111	1,1%	206	3,8%
Tos en el último. año diferente de gripa	518	5,2%	561	5,6%	1079	19,7%
Ausentismo escolar en menores de 0 a 14 años	912	9,1%	940	9,4%	1852	18,5%

Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y Rem, 2018

Dentro del análisis de las causas de los síntomas trazadores o sintomatología respiratoria asociada, la encuesta de prevalencia indaga acerca de los factores de riesgo de contaminación del aire a nivel intramural, teniendo en cuenta entonces la exposición a humo de tabaco como potencial factor de riesgo y tal como se observa en la figura 10-7, se han obtenido las prevalencias más relevantes. Según la Organización Mundial de la Salud –OMS- el tabaco se considera la principal causa de enfermedad y muerte evitable a nivel global, con una mortalidad aproximada en 7 millones de muertes por año[15]. El humo de tabaco está compuesto por gases, vapores y micropartículas que se trasladan en el aire con gran facilidad, se dispersan rápidamente en el ambiente y en ellas contienen al menos 40 carcinógenos reconocidos y cantidades importantes de monóxido de carbono[16]. Por tanto, no existen niveles seguros de exposición al humo de tabaco, así pues, aún en cantidades bajas del contaminante se producirían efectos nocivos a la salud.

La población infantil es particularmente vulnerable a la exposición al humo ambiental del tabaco, dada las características de su metabolismo y tasa de respiración. Esto hace que la dosis que reciben de humo de tabaco sea considerablemente mayor, lo que además propicia un aumento en

[15] Tomado de *Tabaco, Datos y cifras*. Centro de Prensa, 9 de marzo 2018 OMS. Consultado el 25/04/2019 en https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/tobacco
[16] Samet JM, Wang SS. Environmental tobacco smoke. En: M. Lippmann. Environmental toxicants: Human exposures and their health effects. 2nd Ed. New York: Wiley and Sons.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

la frecuencia de infecciones respiratorias y del oído[17]. De acuerdo a los hallazgos de la encuesta, 25 de cada 100 menores en el distrito convive con alguien que fuma.

Por otra parte, se sabe que la exposición a sustancias químicas nocivas del tabaco durante la gestación, está relacionada con la prematurez, el bajo peso al nacer y las malformaciones congénitas[18]. La encuesta ha revelado una proporción del 3% de mujeres que manifiestan haber fumado durante el embarazo.



Figura 10-7 .Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y Rem, 2018

Las personas de edad avanzada también se consideran vulnerables al presentar características anatómicas y funcionales muy particulares en su aparato respiratorio, que se relacionan con una menor capacidad de respuesta a infecciones, mayor prevalencia de patologías crónicas (diabetes

[17] Ídem
[18] Tomado del sitio web oficial OMS. Consultado el 25/04/2019 en https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/201660/WHO_NMH_PND_14.3_spa.pdf;jsessionid=EF19E22EDA67B69A8410882E20C91FD5?sequence=1

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

mellitus, cardiopatías, EPOC, insuficiencia renal crónica, neoplasias)[19], la situación de salud se complica si está presente el antecedente de haber fumado más de 10 paquetes de cigarrillo por año. De 2.625 personas mayores de 60 años encuestados, el 14% presentó tabaquismo pesado.

Según la OMS, ocurren más de 500.000 muertes al año por infecciones respiratorias atribuidas a la contaminación del medio ambiente en el mundo. En relación a la contaminación del aire, se estima que la quema de carbón o biomasa en interiores, aumenta el riesgo de padecer cáncer de pulmón; el estudio de carga de la enfermedad estimó que el 14% de los cánceres de pulmón son atribuibles a la contaminación del aire, el 17% a contaminación del aire en el hogar, 6.5% al radón, 1.8% al humo de tabaco de segunda mano y el 6,6% a riesgos ocupacionales. Adicionalmente se encontró que la exposición a la contaminación del aire puede reducir la esperanza vida de la población hasta varios años, este factor es responsable de aproximadamente el 24% de la carga mundial por enfermedad isquémica del corazón. Por otro lado, en el año 2012, el 25% de la carga de la enfermedad por accidente cerebrovascular (en DALYs) fue atribuible a la contaminación del aire exterior.[20]

De acuerdo al análisis multivariado, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre la exposición (mayor / menor) a la contaminación atmosférica en la que se encuentran los menores y la ocurrencia de síntomas trazadores. Sin embargo, si se logró determinar una asociación positiva de impacto mediante la obtención del riesgo relativo en los siguientes factores de riesgo:

Factores de riesgo intrínsecos

- La probabilidad de presentar Sibilancias en el último año es 2,56 veces superior en los menores de 5 años que en el grupo de niños de 5 a 14 años (RR 2,56 con IC 95% de 2,23 a 2,94).
- La probabilidad de presentar Tos (seca diferente de gripa) es 1,44 veces mayor en los menores de 5 años que han tenido un diagnóstico previo de enfermedad en bronquios o pulmones (RR 1,44 con IC 95% de 1,30 a 1,59).
- La probabilidad de presentar Sibilancias (alguna vez en la vida) es 1,29 veces mayor en los menores de 5 años que nacieron con peso <2.500 gr. (RR 1,29 con IC 95% de 1,17 a 1,42).

Factores de riesgo ambiental

[19] Valdivia, C. (2005). Epidemiología de la neumonía del adulto adquirida en la comunidad. Revista chilena de infectología, 22, s11-s17.
[20] Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks. A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos and M Neira. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

- La probabilidad de presentar Sibilancias en el último año es 1,15 veces superior en los menores de 5 años que están en contacto con fumadores durante sus dos primeros años (RR 1,15 con IC 95% de 1,01 a 1,32).
- La probabilidad de presentar Tos (seca diferente de gripa) es 1,15 veces mayor cuando el menor convive con alguien que fuma (RR 1,15 con IC 95% de 1,06 a 1,24).
- La probabilidad de presentar Tos (seca diferente de gripa) es 1,18 veces mayor cuando el menor vive cerca de construcciones o vías sin pavimentar (RR 1,18 con IC 95% de 1,28 a 1,38).
- La probabilidad de presentar Tos (seca diferente de gripa) es 1,14 veces superior cuando hay humedad en la habitación que duerme el menor (RR 1,14 con IC 95% de 1,04 a 1,26).

Dados los resultados se concluye que, a menor edad, mayor riesgo existe de presentar los síntomas trazadores (sibilancias y tos). También se evidencia con una asociación estadísticamente significativa que el bajo peso al nacer y los antecedentes de enfermedad broncopulmonar aumentan la probabilidad de presentar los síntomas trazadores que posiblemente asociados a la contaminación del aire.

En cuanto a los factores de riesgo ambiental, existe evidencia estadísticamente significativa que asocia el contacto de los menores con fumadores (tabaquismo pasivo) y la presencia de sibilancias en el último año. Adicionalmente la tos (seca diferente de gripa) presenta significancia estadística que asocia su presencia a factores de riesgo como la cercanía de la vivienda a vías sin pavimentar u obras en construcción, y cuando existe humedad en la habitación donde duerme el menor.

10.4. VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaria Distrital de Salud realiza el análisis y seguimiento de los reportes dados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB y de los niveles establecidos por el índice de calidad del aire en la ciudad IBOCA con base en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS.

Para el año 2018 la RMCAB reporto un total de 91077 datos válidos de material particulado PM_{10}. Los datos fueron reportados por 12 estaciones las cuales fueron: Guaymaral, Suba, Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Min Ambiente, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal - Sevillana, Tunal, San Cristóbal y Fontibón esta última a partir del 6 de diciembre; las estaciones que mayor representatividad de datos reportados de PM_{10} fueron Ministerio de Ambiente con 98,1%(n=8592), San Cristóbal 97,8%(n=8569) y Kennedy 96,7%(n=8467).

Se realizó análisis estadístico de los datos de PM_{10} reportados en las estaciones evaluando la cobertura temporal de la información, correspondiente a los datos analizados para la determinación de la media móvil de 24 horas (promedio diario) para cada estación los 365 días del año, que debe ser mayor de 75% para asegurar la representatividad del manejo estadístico. A

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

partir de este análisis se determinó que en la ciudad se presentaron 929 excedencias teniendo como referencia la guía Organización Mundial de la Salud, la cual sugiere concentraciones de 50 µg/m^3 representando un 25,3% respecto al total de días analizados con los datos reportados en el año; las estaciones que mayor porcentaje de excedencias presentaron respecto al total reportadas en los datos de la RMCAB fueron Carvajal 29% (n=269), Kennedy 17,8% (n=165), Suba Corpas con 13% (n=121) y Puente Aranda con un 11,8% (n=110), como se muestra en la Figura 10-8.

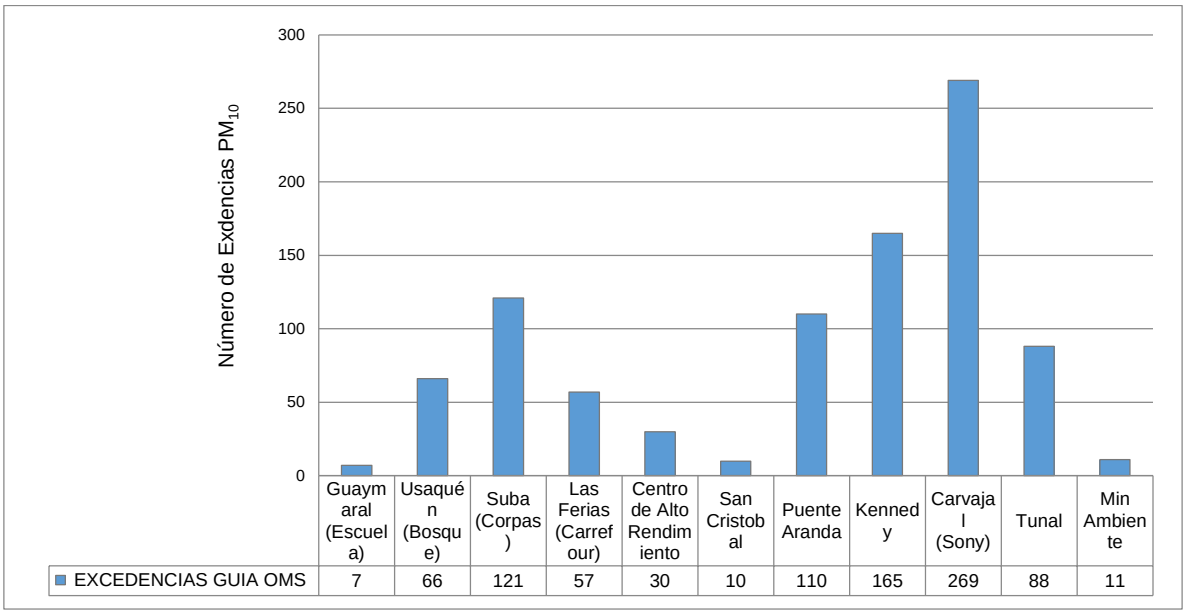


Figura 10-8. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá año 2018
Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

De igual forma, para $PM_{2.5}$ se reportaron en el distrito se un total de 90581 datos las estaciones que mayor representatividad de datos reportados fueron Centro de Alto Rendimiento con 98,8%(n=8652), Kennedy 97,5%(n=8537), y Ministerio de Ambiente 97,2%(n=8515). A partir de la representatividad del manejo estadístico y el análisis para media móvil de 24 horas (promedio diario) se logró determinar que se presentaron 799 excedencias de los promedios diarios de $PM_{2.5}$ respecto a la guía OMS de 25µg/m^3 representando un 22% respecto al total de días analizados con los datos reportados en el año, las estaciones que mayor porcentaje de excedencias presentaron respecto al total reportadas en los datos de la RMCAB fueron Carvajal 7,2% (n=260), Kennedy 4,2% (n=153), y Tunal con un 2,5% (n=90) como se muestra en la Figura 10-9.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

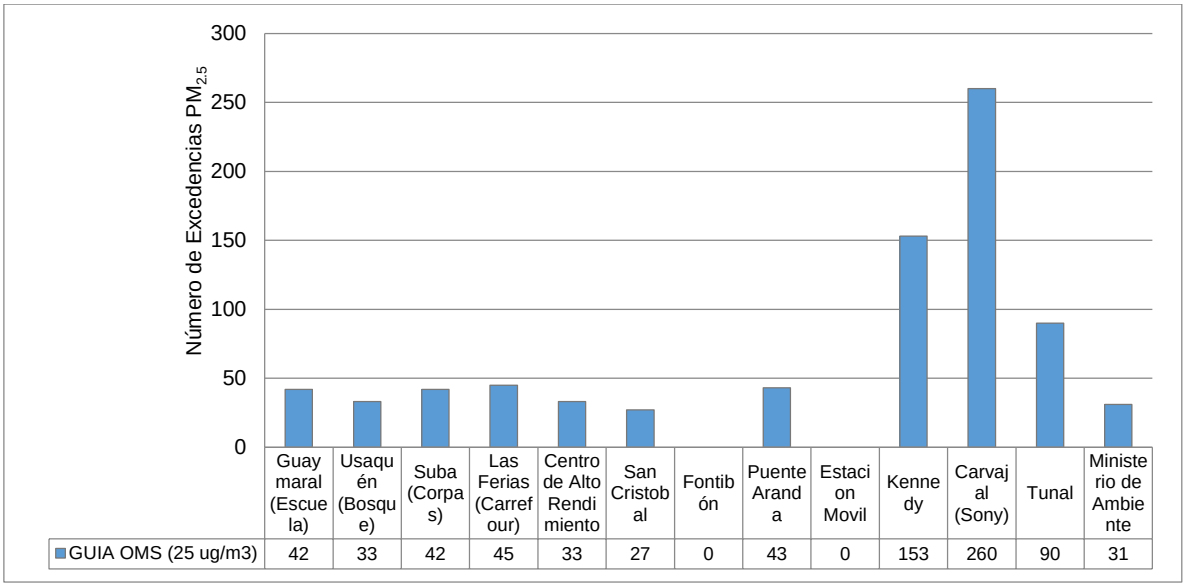


Figura 10-9. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá año 2018
Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, se realizó análisis estadístico de los datos de PM_{10} reportados en las estaciones contando con la temporalidad de la información y la representatividad para el manejo estadístico, correspondiente a los datos analizados para la determinación de la media móvil anual para cada estación los 365 días del año (promedio anual), como se observa en la figura 10-10 en la ciudad se presenta excedencias en todas las estaciones con respecto a los niveles máximos establecidos en la Guía OMS anual de (20µg/m^3) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 (50µg/m^3) la estación de Carvajal supera los niveles máximos permitidos y la estación de Kennedy reporta su concentración promedio muy cerca del valor referencia.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

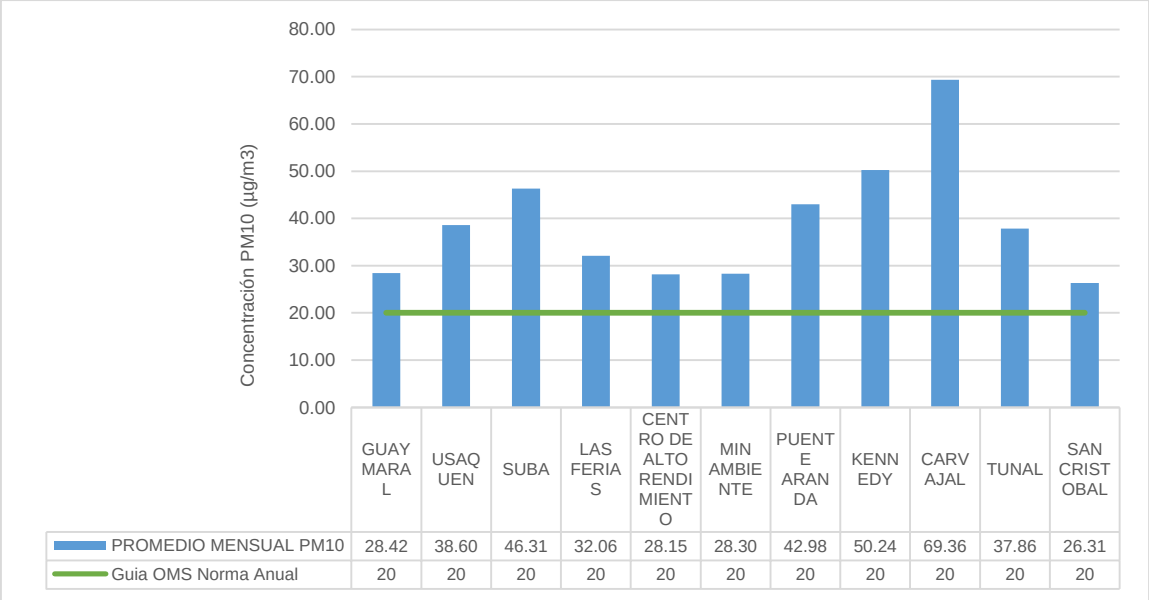
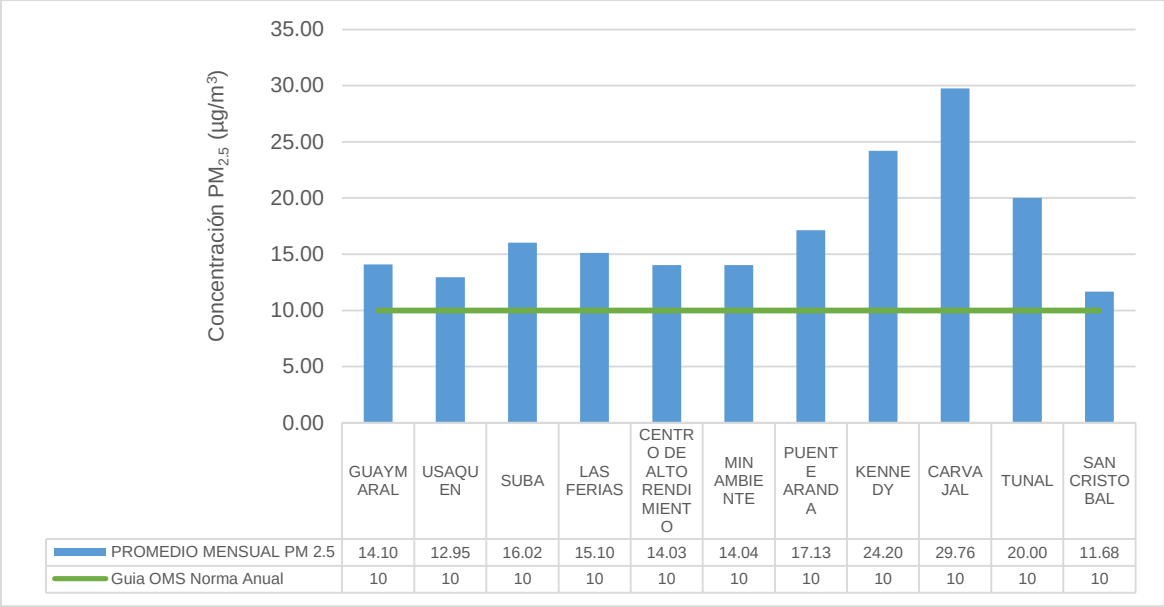


Figura 10-10. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá año 2018
Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

De igual forma se realizó análisis estadístico de los datos de $PM_{2.5}$ reportados en las estaciones contando con la temporalidad de la información y la representatividad para el manejo estadístico, correspondiente a los datos analizados para la determinación de la media móvil anual para cada estación los 365 días del año (promedio anual), como se observa en la figura 10-11 en la ciudad se presenta excedencias en todas las estaciones con respecto a los niveles máximos establecidos en la Guía OMS anual de ($10\mu g/m^3$) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 ($25\mu g/m^3$), de igual forma que con el PM_{10} la estación de Carvajal supera los niveles máximos establecidos y la estación de Kennedy reporta su concentración promedio muy cerca del valor dado por la norma.

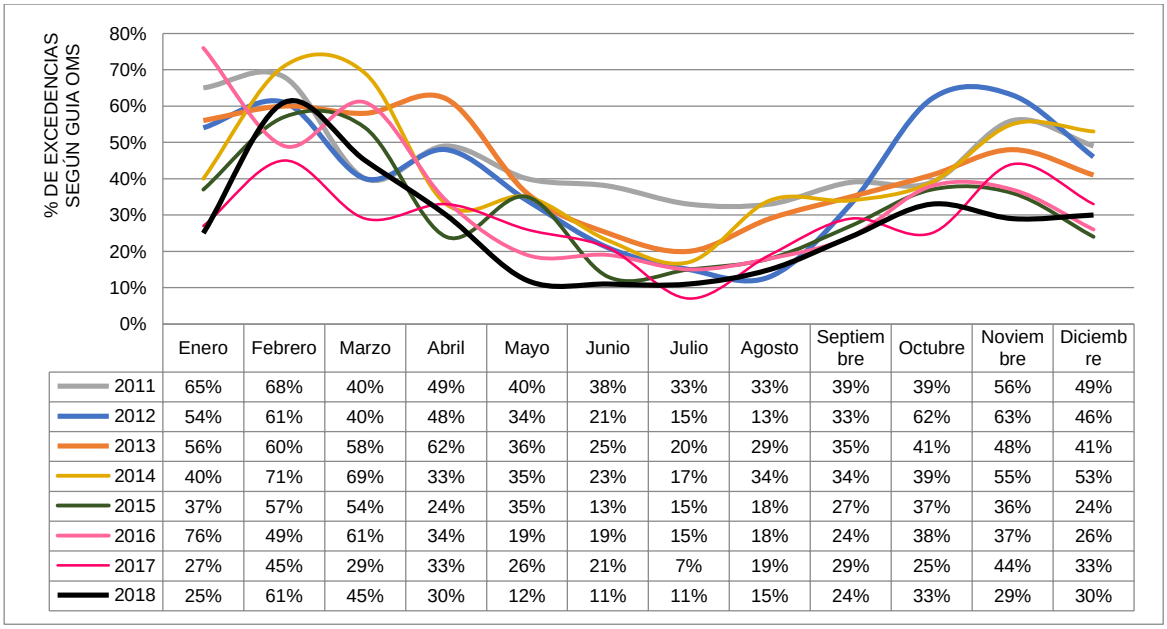
Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



	GUAYMARAL	USAQUEN	SUBA	LAS FERIAS	CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO	MIN AMBIENTE	PUENTE ARANDA	KENNEDY	CARVAJAL	TUNAL	SAN CRISTOBAL
PROMEDIO MENSUAL PM 2.5	14.10	12.95	16.02	15.10	14.03	14.04	17.13	24.20	29.76	20.00	11.68
Guia OMS Norma Anual	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 10-11. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado $PM_{2.5}$ en Bogotá en el año 2018

Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente



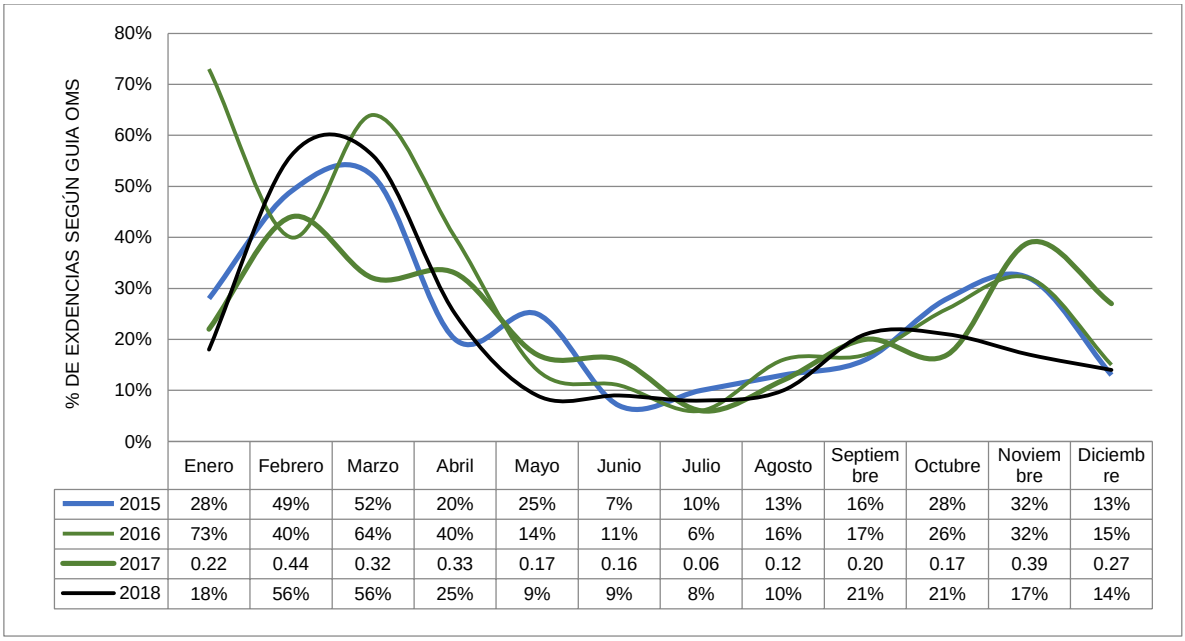
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2011	65%	68%	40%	49%	40%	38%	33%	33%	39%	39%	56%	49%
2012	54%	61%	40%	48%	34%	21%	15%	13%	33%	62%	63%	46%
2013	56%	60%	58%	62%	36%	25%	20%	29%	35%	41%	48%	41%
2014	40%	71%	69%	33%	35%	23%	17%	34%	34%	39%	55%	53%
2015	37%	57%	54%	24%	35%	13%	15%	18%	27%	37%	36%	24%
2016	76%	49%	61%	34%	19%	19%	15%	18%	24%	38%	37%	26%
2017	27%	45%	29%	33%	26%	21%	7%	19%	29%	25%	44%	33%
2018	25%	61%	45%	30%	12%	11%	11%	15%	24%	33%	29%	30%

Figura 10-12. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM_{10} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2018

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Continuando con el análisis a la exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado ($PM_{2.5}$) en Bogotá, en donde como se observa en la Figura 10-12 de forma histórica se presenta un pico de excedencias, el primero en los meses de enero a marzo y un aumento prolongado en las concentraciones en los meses de septiembre a noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. Es así que, en los 365 días del año, en el 2018 el 22% de los días se exceden la recomendación dada por la OMS de 25ug/m^3.



	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2015	28%	49%	52%	20%	25%	7%	10%	13%	16%	28%	32%	13%
2016	73%	40%	64%	40%	14%	11%	6%	16%	17%	26%	32%	15%
2017	0.22	0.44	0.32	0.33	0.17	0.16	0.06	0.12	0.20	0.17	0.39	0.27
2018	18%	56%	56%	25%	9%	9%	8%	10%	21%	21%	17%	14%

Figura 10-13. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2018

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

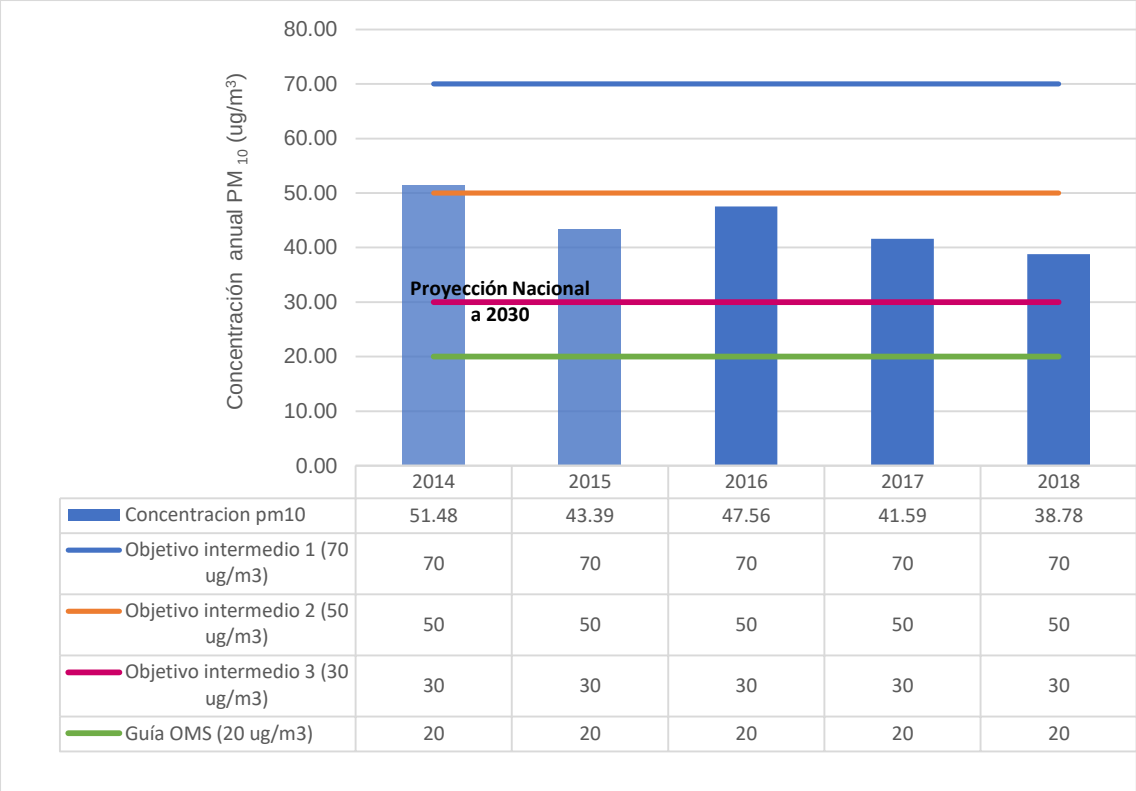
Tomando como línea base los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, se evidencia que para el caso del material particulado PM_{10} para el año 2018 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo de 70 µg/m^3, siendo la segunda vez en los últimos 4 años que se logra, sin embargo y aunque se ha mejorado los niveles de calidad para el objetivo intermedio 2 las diferentes acciones establecidas en la ciudad permiten estar más cerca del cumplimiento de este objetivo, para el caso de las metas establecidas 3 todavía falta trabajar en la implementación de diferentes aspectos que permitan alcanzar el nivel de cumplimiento.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Tabla 10-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM10 establecidos por la Organización Mundial de la Salud

AÑO	Cumplimiento objetivo Intermedio 1 (70 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 2 (50 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 3 (30 µg/m³)	Guía de Calidad del Aire (20 µg/m³)
2014	83%	50%	0%	0%
2015	91%	73%	27%	0%
2016	91%	55%	9%	0%
2017	100%	73%	27%	0%
2018	100%	82%	36%	0%

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.



	2014	2015	2016	2017	2018
Concentracion pm10	51.48	43.39	47.56	41.59	38.78
Objetivo intermedio 1 (70 ug/m3)	70	70	70	70	70
Objetivo intermedio 2 (50 ug/m3)	50	50	50	50	50
Objetivo intermedio 3 (30 ug/m3)	30	30	30	30	30
Guía OMS (20 ug/m3)	20	20	20	20	20

Figura 10-14. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2014-2018

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

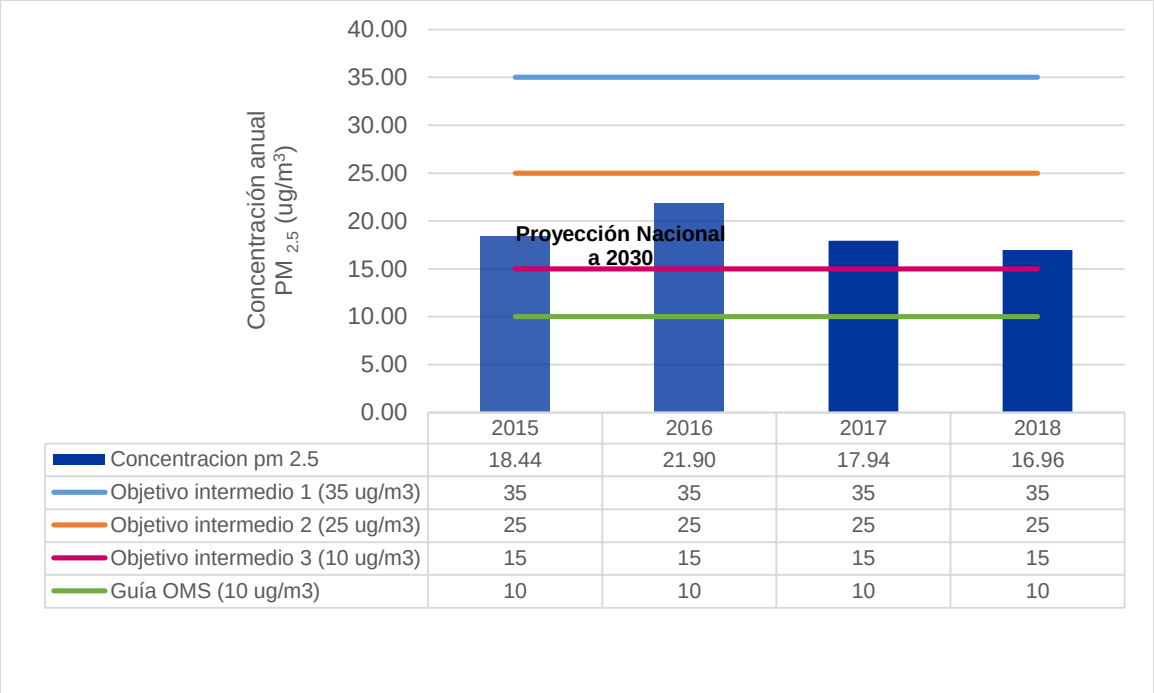
Para el caso del material particulado $PM_{2.5}$ para el año 2018 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo 35 µg/m^3, sin embargo, aunque falta aumentar los esfuerzos para cumplir con los objetivos se evidencia un aumento en el nivel de cumplimiento en el objetivo 2 y una disminución para dar cumplimiento al objetivo 3 este último llegando a un 45%, cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud.

Tabla 10-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado $PM_{2.5}$ establecidos por la Organización Mundial de la Salud

AÑO	Cumplimiento objetivo Intermedio 1	Cumplimiento objetivo Intermedio 2	Cumplimiento objetivo Intermedio 3	Guía de Calidad del Aire
	(35 µg/m^3)	(25 µg/m^3)	(15 µg/m^3)	(10 µg/m^3)
2015	100%	80%	40%	0%
2016	100%	100%	30%	0%
2017	100%	80%	50%	0%
2018	100%	91%	45%	0%

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



	2015	2016	2017	2018
Concentracion pm 2.5	18.44	21.90	17.94	16.96
Objetivo intermedio 1 (35 ug/m3)	35	35	35	35
Objetivo intermedio 2 (25 ug/m3)	25	25	25	25
Objetivo intermedio 3 (10 ug/m3)	15	15	15	15
Guía OMS (10 ug/m3)	10	10	10	10

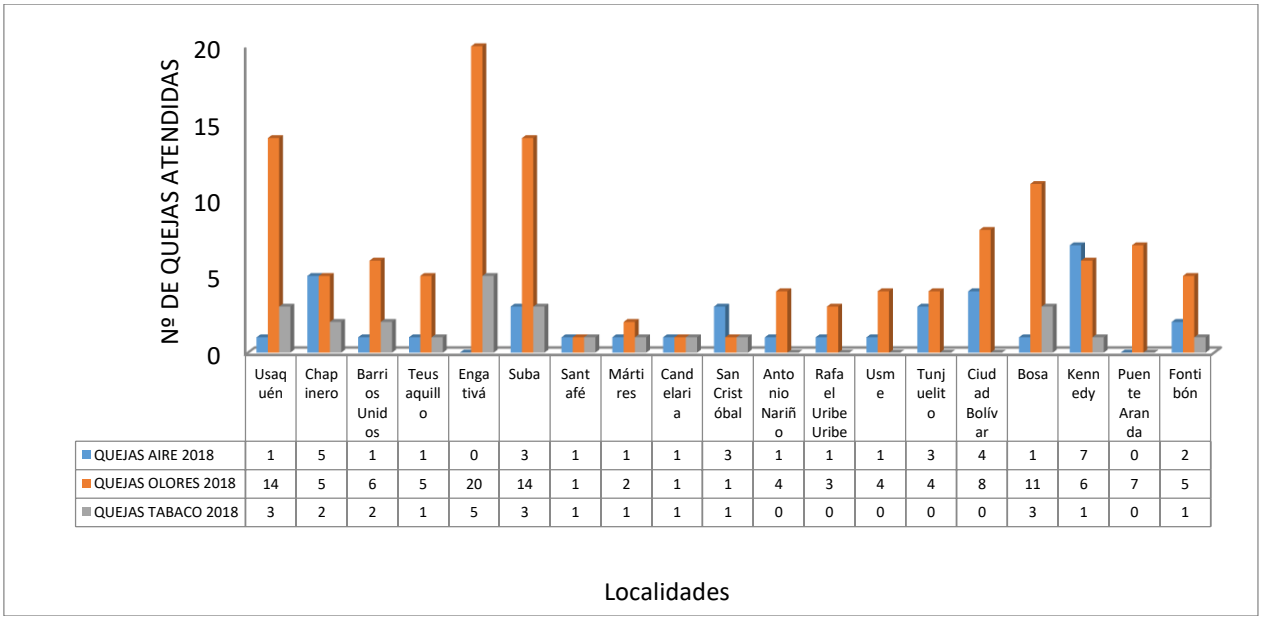
Figura 10-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2014-2018

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente

10.5. VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta del reporte de las quejas notificadas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que posiblemente están afectando la salud; para el año 2018 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 37 quejas relacionadas con contaminación del aire por material particulado y 121 por contaminación generada por olores ofensivos y 25 por exposición a humo de tabaco para un total de 183 solicitudes realizadas por la comunidad. Las 183 quejas atendidas en el año 2018 equivalen a una reducción del 44% con respecto a las quejas atendidas en el año 2017. Ver Figura 10-16.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



	Usaquén	Chapinero	Barrios Unidos	Teusaquillo	Engativá	Suba	Santafé	Mártires	Candelaria	San Cristóbal	Antonio Nariño	Rafael Uribe Uribe	Usme	Tunjuelito	Ciudad Bolívar	Bosa	Kennedy	Puente Aranda	Fontibón
QUEJAS AIRE 2018	1	5	1	1	0	3	1	1	1	3	1	1	1	3	4	1	7	0	2
QUEJAS OLORES 2018	14	5	6	5	20	14	1	2	1	1	4	3	4	4	8	11	6	7	5
QUEJAS TABACO 2018	3	2	2	1	5	3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	3	1	0	1

Figura 10-16. Quejas atendidas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco en Bogotá 2018
Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2018

Las localidades donde se presentó la mayor frecuencia de reporte de quejas fueron: Engativá con un 13,7% del total de quejas (n=25), Suba con 10,9% del total de quejas (n=20) y Usaquén con un 9,8% del total de quejas (n=18).

De las 37 quejas atendidas y relacionadas con contaminación del aire por material particulado las localidades que más notificaron quejas en su orden fueron: Kennedy 19% (7/37), Chapinero 13% (5/37), Ciudad Bolívar 10% (4/37), San Cristóbal 8% (3/37), 8% Suba (3/37) y Tunjuelito 8% (3/37); En el proceso de atención se encuestaron a 141 personas con edades entre los 24 a 82 años, quienes manifestaron que la principal fuente de contaminación identificada es de tipo fija en 83%(31/37), un 5% (2/37) área fuente y 2.7% (1/37) fuentes móviles, en relación a la percepción por contaminación del aire dentro del hogar el 41,1% (58/141) lo percibe en forma de humo y olor, el 39,7% (56/141) en forma de polvo y el 4,2% (6/141) en vapor y gas. En relación al lugar dentro de la vivienda en donde se percibe la contaminación se encontró que el 68,8% (97/141) se encuentra en la habitación principal, seguido de la cocina con el 66,6% (94/141), sala 65,9% (93/141), otras habitaciones en el 61,0% (86/141); el 15,6% (22/141) reporta presencia de humedad y hongos al interior de la vivienda en donde el 9,2% (13/141) la presenta en los dormitorios y un 34,7%(49/141) refieren tener animales en las viviendas, en cuanto al horario de percepción de la exposición a la problemática el 47,5% (67/141) refiere que se encuentra diurno, el 22,7% (32/141) nocturno y el 6,4% (9/141) nocturno encontrándose la afectación hace más de un año en el del lugar en el 58,8% (83/141).

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas, se encontró que el 58,1% (82/141) considera que la contaminación del aire le ha afectado de alguna manera el estado de salud principalmente por el aumento en síntomas respiratorios como tos, estornudos, alergias y otros como irritación ocular, dolor de cabeza, náuseas, vómito, estrés y aumento en la frecuencia de episodios de gripa, adicionalmente factores intradomiciliarios incrementan el riesgo para presentar enfermedad respiratoria.

Así mismo de las 121 solicitudes de quejas atendidas por contaminación generada por olores ofensivos, se encuestaron un total de 574 personas, de las cuales 460 manifestaron percibir olores ofensivos en el domicilio o en el lugar de la intervención; respecto al estado de salud, el 92% de los encuestados considera que los olores ofensivos pueden afectarle su salud, dentro de los síntomas evaluados las personas manifestaron con mayor frecuencia en el estado de ánimo: estrés el 48% (276/574); irritación de mucosas: 46% (261/574) ardor en los ojos, 45% (258/574) picazón en la nariz; vías respiratorias: 42% (240/574) tos, 41% (236/574) dolor de garganta; gastrointestinal: 27% (153/574) nauseas; piel: 14% (79/574) erupciones en la piel y un 14% (82/574) irritación de la piel; en otros síntomas, los encuestados que manifestaron sentir malestar general fueron un 36% (206/574).

Dentro de las acciones que realizan las personas para protegerse de los olores ofensivos se encuentra el uso de tapabocas con un 18% (101/574) y al indagar sobre los grupos etarios más afectados, el 83% (479/574) considera que los niños son el grupo más vulnerable seguido de los adultos mayores de 60 años con un 80% (457/574). Respecto a las características del olor, las cuales están dadas por la fuente y teniendo en cuenta la metodología FIDO (Frecuencia, Intensidad, Duración y Ofensividad), se encontró que el 60% (460/574) tienen percepción diaria o semanal en la mayoría de los casos de olores ofensivos.

Con respecto a la atención a las quejas presentadas por exposición a humo de tabaco se encuestaron 98 personas de la comunidad de las cuales el 70%(n=69/98) corresponden al sexo femenino, y el 30%(n=29/98) con edades entre los 20 a 82 años con un promedio de tiempo de residencia de 10 años y una duración diaria en la vivienda de 14 horas promedio, quienes refieren que las principales fuentes de contaminación por humo de tabaco identificadas son de tipo fija. El tipo de actividad desarrollada en los lugares referidos a las quejas son habitacional con un 18%(n=18/98), comercial 78%(n=77/98) e industrial 3%(n=3/98); por otra parte, se puede mencionar que, de las 25 quejas interpuestas, el 48%(n=47/98) fueron presentadas y atendidas por peticionarios, 8%(n=8/98) de ellas por otra fuente y el 44%(43/98) restante por otras fuentes de información como vecinos o comunidad del entorno. En lo relacionado a la percepción por contaminación por humo de tabaco dentro del hogar el 51%(n=50/98) percibe el olor, el 49%(n=49/98) no lo percibe.

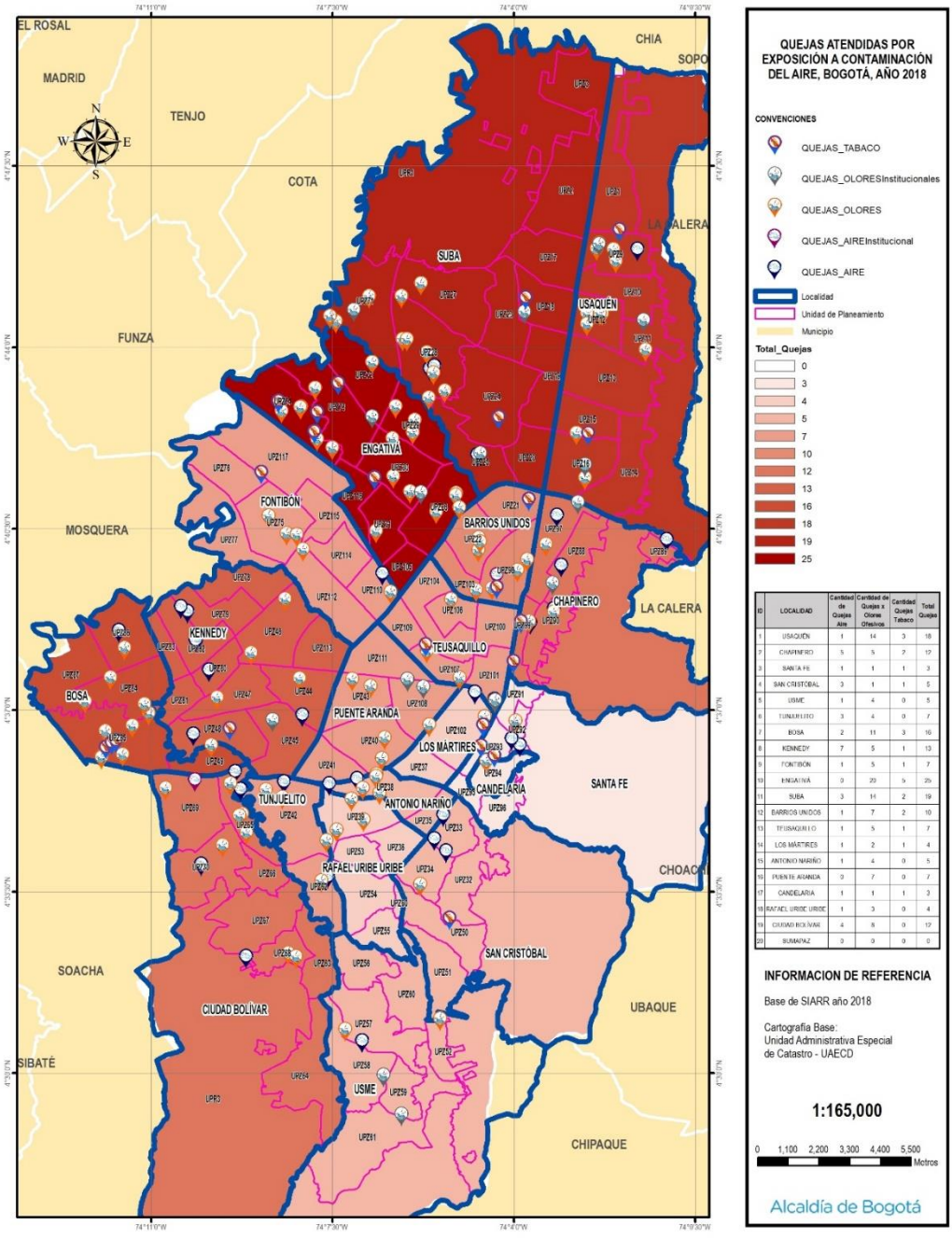
Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas, se encontró que 18%(n=18/98) manifiesta presentar alguna enfermedad por el humo de tabaco y considera que esta contaminación le ha afectado de alguna manera el estado de salud principalmente por el aumento

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

en síntomas respiratorios como dolor de garganta, estrés, asfixia y aumento en la frecuencia de episodios de gripa.

Mediante el análisis del comportamiento espacial de las solicitudes se logra determinar que los requerimientos asociados a esta problemática se presentaron con mayor frecuencia al norte de la ciudad, ya que del total de las quejas interpuestas en el año, 13 se presentaron en localidades comprendidas en la Subred Norte E.S.E, lo que corresponde al 52% de las solicitudes atendidas y las localidades en que no se presentaron peticiones y/o quejas, corresponden a las localidades de la Subred Sur E.S.E en el Distrito Capital. Comparando el número de quejas reportadas se evidencia un incremento del 38% (n=25/18) lo que representa 7 quejas más que en el 2017 principalmente en las localidades de Engativá y Bosa. Con respecto al año que mayor reporte de quejas reportadas 2014 con 41 se evidencia una reducción del 64% (n= 41/25) para el 2018, como se observa en la figura 10-16.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



ID	LOCALIDAD	Cantidad de Quejas Aire	Cantidad de Quejas x Olores Ofensivos	Cantidad Quejas Tabaco	Total Quejas
1	USAQUEN	1	14	3	18
2	CHAPINERO	5	5	2	12
3	SANTA FE	1	1	1	3
4	SAN CRISTOBAL	3	1	1	5
5	USME	1	4	0	5
6	TUNJUELITO	3	4	0	7
7	BOSA	2	11	3	16
8	KENNEDY	7	5	1	13
9	FONTIBON	1	5	1	7
10	ENGATIVÁ	0	20	5	25
11	SUBA	3	14	2	19
12	BARRIOS UNIDOS	1	7	2	10
13	TEUSAQUILLO	1	5	1	7
14	LOS MÁRTIRES	1	2	1	4
15	ANTONIO NARIÑO	1	4	0	5
16	PUENTE ARANDA	0	7	0	7
17	CANDELARIA	1	1	1	3
18	RAFAEL URIBE URIBE	1	3	0	4
19	CIUDAD BOLÍVAR	4	8	0	12
20	SUMAPAZ	0	0	0	0

Figura 10-17. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en Bogotá, 2018
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

10.5.1. ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION

La Secretaría Distrital de Salud suscribió con la Secretaría Distrital de Ambiente el Convenio Interadministrativo 1353 de 2015, el cual tiene por objeto "Aunar esfuerzos entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Salud, para articular el desarrollo de acciones de cooperación técnica e investigativa, como parte de las estrategias de implementación de la Política Distrital de Salud Ambiental y del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá – PDDAB".

Producto de este convenio se cuenta con la expedición de la Resolución 2410 de 2015 "Por medio de la cual se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA– para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones" y de la Resolución 595 de 2015 "Por el cual se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire"

De acuerdo con las disposiciones establecidas en la Resolución 2410 de 2015 en relación con la "*Estrategia pedagógica, de comunicación y de divulgación del Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA–",* esta Secretaría en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente elaboró el Manual de identidad del Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA (disponible para su consulta en el link http://201.245.192.252:81/App_AQI/AQI.es-CL.pdf).

Por otra parte la Secretaría Distrital de Salud desarrollo piezas comunicativas, a través de las cuales se realiza la divulgación del IBOCA, así como las recomendaciones en salud para prevenir la exposición a contaminación del aire en el marco de las acciones de Salud Urbana contratadas por medio del Plan de Intervenciones Colectivas –PIC- en el espacio público, es así que para el 2018 se socializó el Índice Bogotano de Calidad del Aire a 202.879 personas, mediante diferentes actividades lúdicas, entrega de material POP a niños y jóvenes que se dinamizan a través de la estrategia "Cuídate y Se Feliz", orientada a dar una respuesta integral a la comunidad en materia de prevención de enfermedades cardiovasculares generados por diferentes factores de riesgo tales como el tabaquismo, la inactividad física y la contaminación del aire, dando información sobre el acceso y uso del pronóstico del IBOCA; complementando esta estrategia y siendo conscientes de la necesidad de hacer partícipe a la ciudadanía en la prevención y el control de los factores que ponen en riesgo la calidad del aire y por ende la afectación en su salud, en el proceso de vigilancia de la línea de aire, ruido y radiación electromagnética se realizan las actividades de comunicación, educación e información del riesgo de la exposición a contaminación del aire a nivel extramural e intramural con la (disminución de intoxicaciones por monóxido de carbono y reducción del consumo de tabaco) que van encaminadas al cambio de comportamiento, actitudes y prácticas de la comunidad y cuidados en la salud.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Es así que para dar alcance a estas necesidades en el 2018 se abordaron 7.007 personas en intervenciones de movilización social, siendo 3.092 en actividades cotidianas de comunicación social del riesgo y 3.915 en las jornadas de profundización como el *"Día sin carro y sin moto", "día mundial sin tabaco" y la "Semana Ambiental"*, y de igual manera se socializa el Índice Bogotano de Calidad del Aire – IBOCA.

Este abordaje inicio en el segundo mes del año con la institucionalización de la jornada del día sin carro el primer jueves de febrero de cada año entre las 5:00am y las 7:30pm bajo el decreto 054 de 2017; para el año 2018, se llevó a cabo el 1 de febrero, en donde por parte de la Secretaria de Salud se adelantaron actividades de pedagógicas en el marco de la promoción y prevención de efectos en salud asociados a contaminación atmosférica, fomentando el uso de otros medios de transporte con el fin de contribuir al mejoramiento del medio ambiente y la salud, así como informando a la población sobre el estado de la calidad del aire a través de la socialización del IBOCA, entre la Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética y la Estrategia Cuídate y se Feliz, en 18 puntos de la ciudad ubicados 16 localidades de la ciudad e donde se logró abordar 1.427 personas a las cuales se les indago sobre la forma cotidiana que utilizan como medio de transporte en la ciudad y el 39% respondió que usa el sistema Transmilenio, 21% usa el SITP y un 13% bicicleta de igual manera se preguntó sobre el medio de trasporte utilizado el día sin carro (1 de febrero) y el 30% utilizó el sistema integrado Transmilenio, un 25% uso bicicleta mientras que un 23% se desplazó caminando.

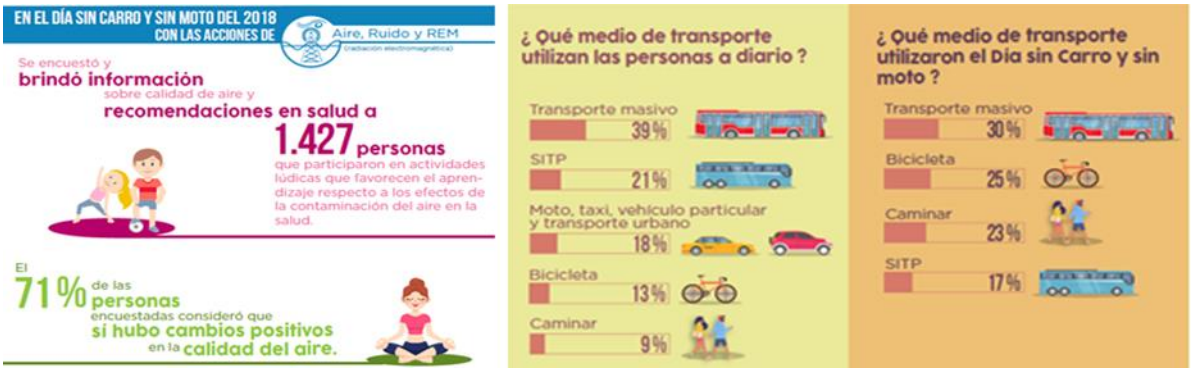


Figura 10-18. Infografía Día sin carro y son Moto Secretaría Distrital de Salud 2018.
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Todos los años, el 31 mayo la Organización Mundial de la Salud (OMS) y sus asociados, celebran el Día Mundial Sin Tabaco, con el fin de dar a conocer los riesgos asociados al tabaquismo. Este año el lema principal de este día será "*Tabaco y cardiopatías*", el cual tiene diferentes metas dentro de las cuales se encuentran resaltar la relación entre el tabaco y las cardiopatías y otras enfermedades cardiovasculares, aumentar la concienciación de la población frente al tema y reforzar la aplicación de la estrategia MPOWER.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Para el 2018, la Secretaria de Salud por medio de la Línea de Aire, Ruido y REM, realizo en 13 localidades la jornada de profundización conmemorando el Día Mundial sin Tabaco, logrando una participación de 1552 personas, 799 mujeres y 753 hombres en edades entre 18 y 26 años, en esta jornada se estableció como objetivo socializar a la comunidad académica los efectos en salud asociados el consumo y la exposición a humo de tabaco, teniendo en cuenta el slogan "Tabaco y Cardiopatías" y las metas establecidas por la OMS para el presente año y las diferentes disposiciones establecidas en la normatividad nacional referente a la temática, estas actividades se realizaron con el apoyo de Ministerio de Salud y con la convocatoria con centros educativos de educación superior, quienes se unieron al desarrollo de actividades dentro de las instituciones, de igual manera se contó con la gestión y articulación con el componente GESA y espacio público quienes apoyaron las jornadas en los diferentes puntos establecidos.



Figura 10-19. Infografía Día Mundial Sin Tabaco Secretaría Distrital de Salud 2018
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

En el mes de junio del 2018 se realizó la jornada en conmemoración de la semana ambiental, en el Bogotá se declaró mediante el acuerdo 197 de 2005, la primera semana del mes de junio como la semana del Medio Ambiente, la cual tiene como objetivo sensibilizar a los Bogotanos en el cuidado de los recursos naturales, agua, aire y tierra como factores fundamentales; la semana ambiental se celebró en 8 localidades de la ciudad y se contó con la participación de 936 personas, en donde las Subredes Integradas de Servicios de Salud Centro Oriente, Norte, Sur y Sur Occidente realizaron acercamiento, concertación y gestión en las diferentes instituciones educativas, articulándose con el espacio público y GESA; y desarrollaron actividades participativas en los puntos "CUIDATE Y SE FELIZ".

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia



Figura 10-20. Infografía Semana Ambiental Secretaría Distrital de Salud 2018
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Plan_de_Choque.pdf [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf
2. OMS | Neumonía [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/es/
3. circular-23-de-2017.pdf [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/circular-23-de-2017.pdf
4. OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

5. Johansson C, Lövenheim B, Schantz P, Wahlgren L, Almström P, Markstedt A, et al. Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. Sci Total Environ. 15 de abril de 2017;584-585:55-63.
6. Helen E. Wood, N. M. (2015). Effects of Air Pollution and the Introduction of the London Low Emission Zone on the Prevalence of Respiratory and Allergic Symptoms in Schoolchildren in East London: A Sequential Cross-Sectional Study. Journal PLoS ONE, 1-12.

FOPAE. (2001). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Rio Tunjuelito. Bogotá D.C.
OMM. (2010). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (Vols. OMM-No 8). Ginebra, Suiza: OMM.

12.ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

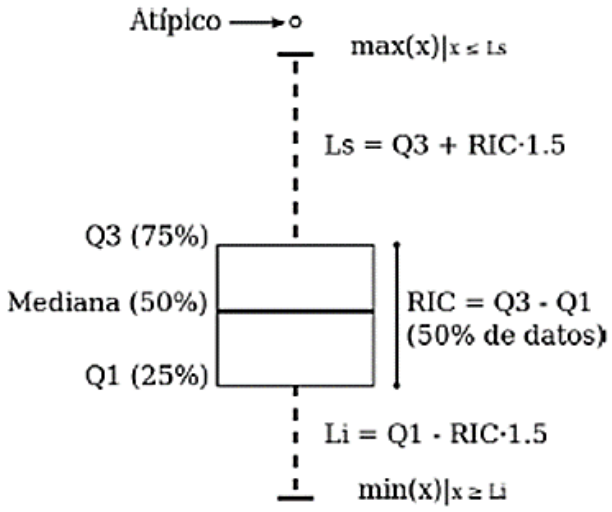


Figura 12-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y µg/m^3, respectivamente:

Tabla 12-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y µg/m^3) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{\mathrm{M} * \mathrm{P}}{\overline{\mathrm{R}} * \mathrm{T}} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{\mathrm{R}}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{\mathrm{Pa.m^3}}{\mathrm{mol.K}}$
T: temperatura absoluta [K]

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

C. Promedios mensuales de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 para el año 2018

Tabla 12-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación de monitoreo

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	66	29	-	32	54	38	-	-	46	26	48	39	38
Feb	70	41	-	42	65	56	-	-	61	40	60	56	60
Mar	72	35	-	36	58	46	-	-	59	37	54	50	52
Abr	74	31	-	25	52	36	34	-	50	35	45	47	44
May	-	-	-	22	49	27	29	-	40	27	41	29	34
Jun	64	-	-	18	41	17	21	-	29	17	39	24	27
Jul	63	16	-	22	41	17	21	-	27	20	41	26	39
Ago	65	15	-	27	47	15	19	-	25	17	46	25	36
Sep	70	28	-	31	52	29	26	-	38	21	43	35	44
Oct	74	32	-	28	46	36	33	-	44	27	-	43	31
Nov	78	34	-	-	50	39	33	-	52	28	45	44	32
Dic	66	30	40	28	50	32	33	39	48	22	53	39	28

Tabla 12-3. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo. Año 2018

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	29	16	-	16	26	-	-	-	18	15	18	22	13
Feb	30	23	-	22	33	-	-	-	24	25	26	32	24
Mar	33	21	-	21	32	24	-	-	23	20	26	28	21
Abr	29	17	-	14	27	18	19	-	19	15	18	24	14
May	27	-	-	9	21	14	14	-	16	8	13	16	9
Jun	29	-	-	8	17	-	8	-	11	4	12	-	7
Jul	27	8	-	-	17	8	11	-	-	5	10	12	-
Ago	30	7	-	-	20	8	9	-	10	5	11	-	6
Sep	33	14	-	14	22	15	15	-	-	10	13	19	11
Oct	27	15	-	16	23	-	15	-	-	-	14	23	15
Nov	-	14	-	-	25	19	16	-	20	13	15	16	15
Dic	31	11	14	13	28	13	12	29	18	10	16	16	11

Tabla 12-4. Concentraciones mensuales de O_3 por estación de monitoreo. Año 2018

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	14	-	-	24	10	16	-	-	11	18	28	21	27

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Feb	22	-	-	35	22	20	-	-	15	30	40	-	34
Mar	20	-	-	33	-	-	-	-	14	50	38	23	40
Abr	12	-	-	20	-	14	18	-	9	31	26	16	22
May	8	-	-	16	10	10	13	-	-	19	-	-	16
Jun	-	-	-	-	-	9	20	-	-	24	15	23	23
Jul	11	-	-	-	-	15	25	-	-	-	18	29	28
Ago	15	-	-	27	21	31	33	-	-	-	22	-	37
Sep	16	-	-	-	24	27	33	-	-	-	26	-	39
Oct	17	-	-	32	-	-	24	-	10	-	-	27	33
Nov	13	22	-	-	-	-	-	-	12	28	24	-	26
Dic	14	27	21	23	22	24	28	-	14	32	19	-	33

D. Boxplot por contaminante y por meses del año 2018

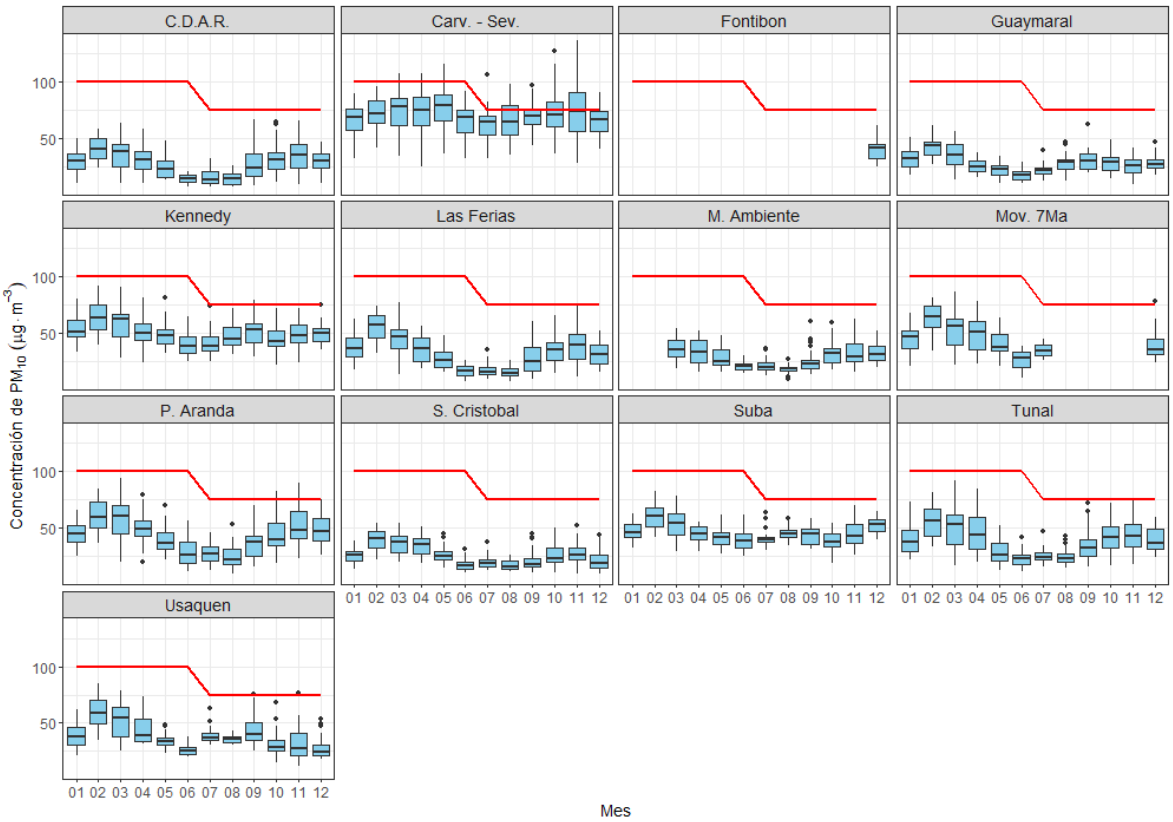


Figura 12-2. Boxplot de concentraciones diarias de PM_{10} por mes. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

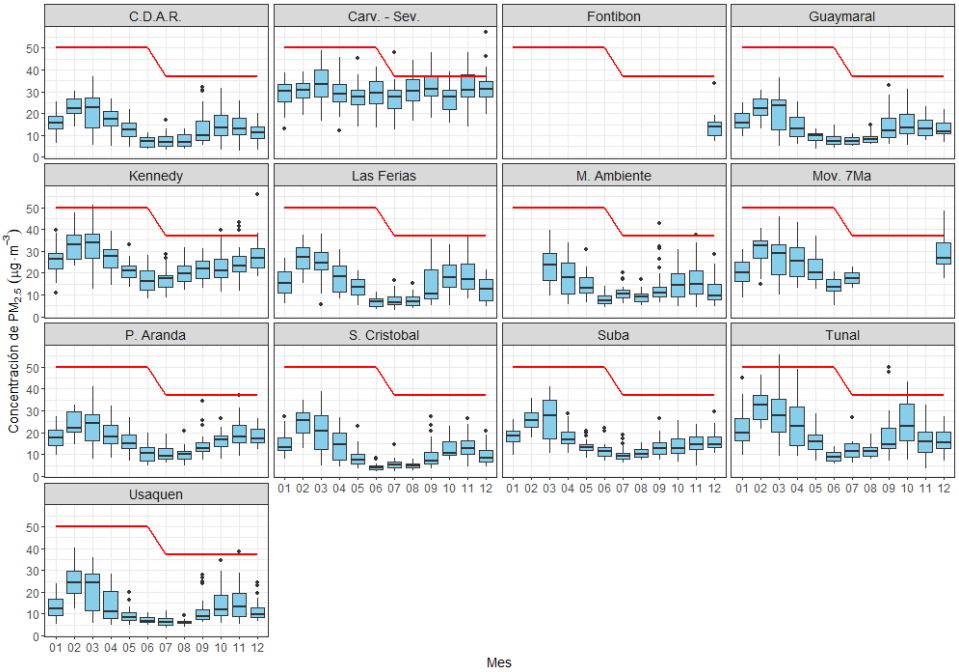


Figura 12-3. Boxplot de concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes. Año 2018

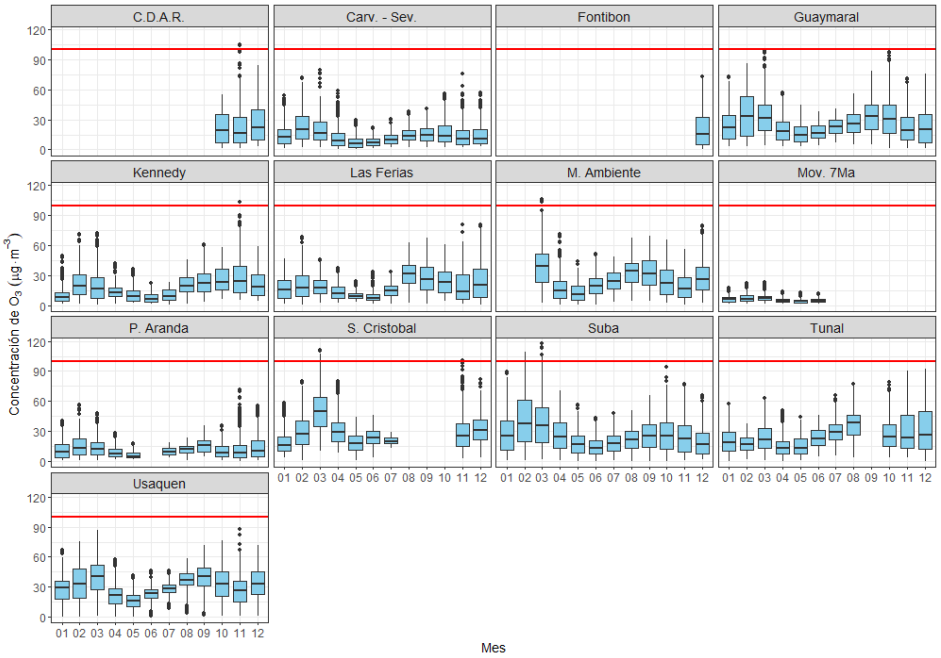


Figura 12-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O_3 por mes. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

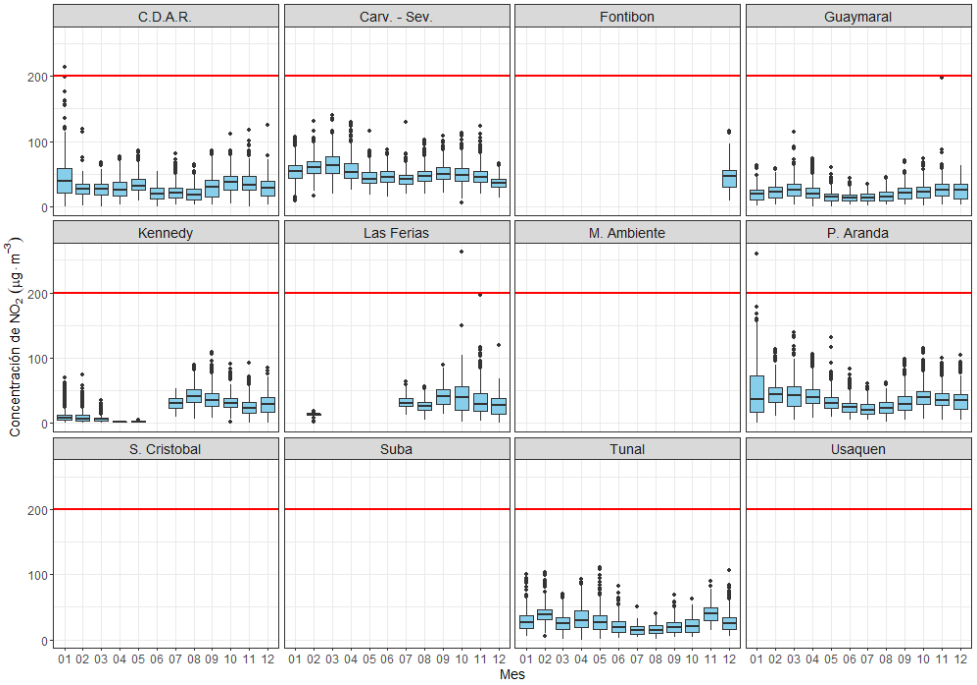


Figura 12-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO_2 por mes. Año 2018

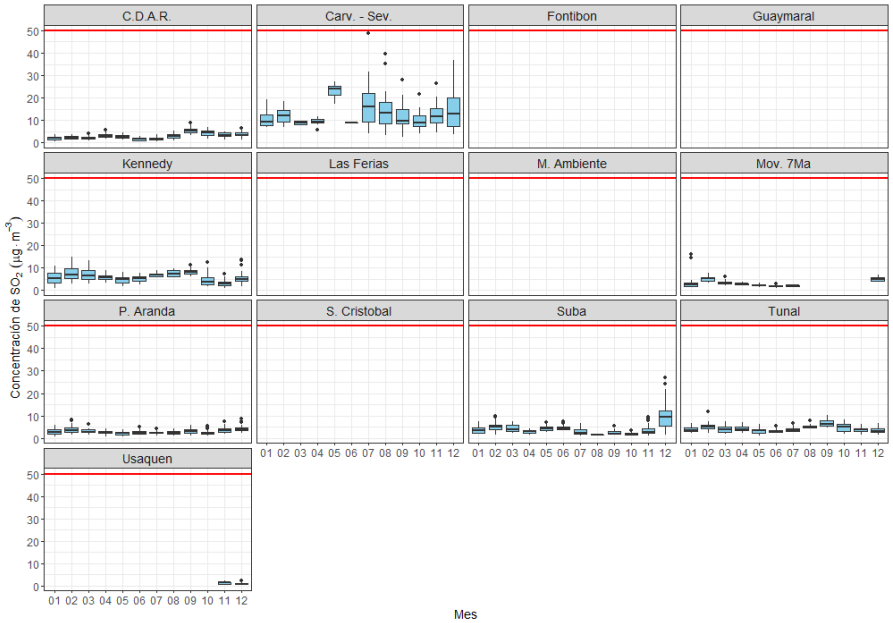


Figura 12-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO_2 por mes. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

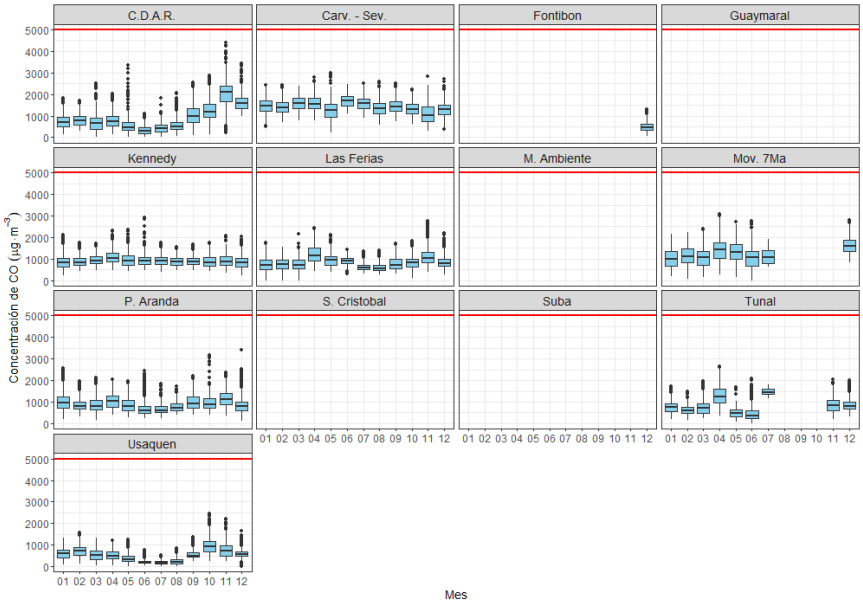


Figura 12-7. Boxplot de concentraciones 8 horas de CO por mes. Año 2018

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

E. Calendar plot del contaminante $PM_{2.5}$ para el año 2018

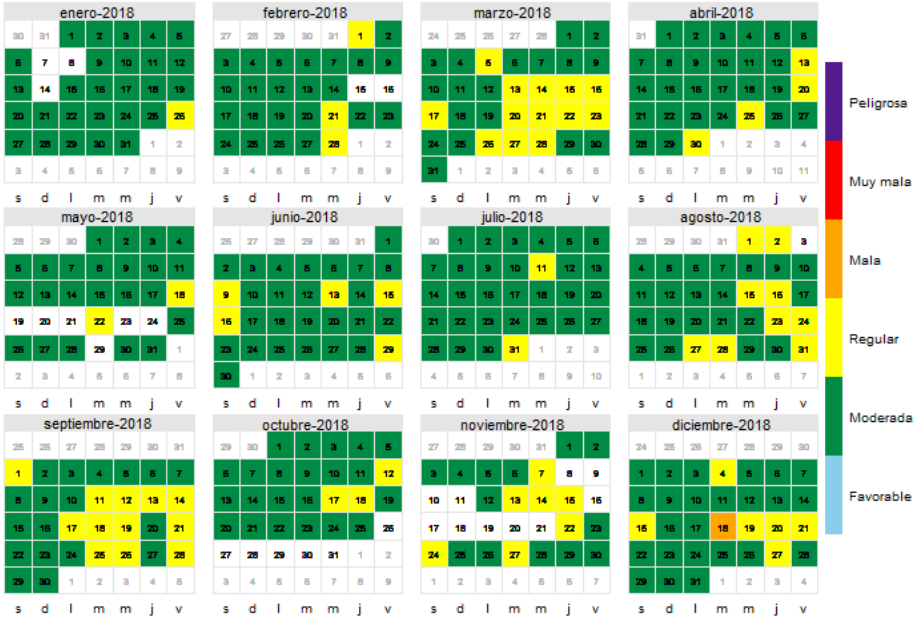


Figura 12-8. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Carvajal-Sevillana

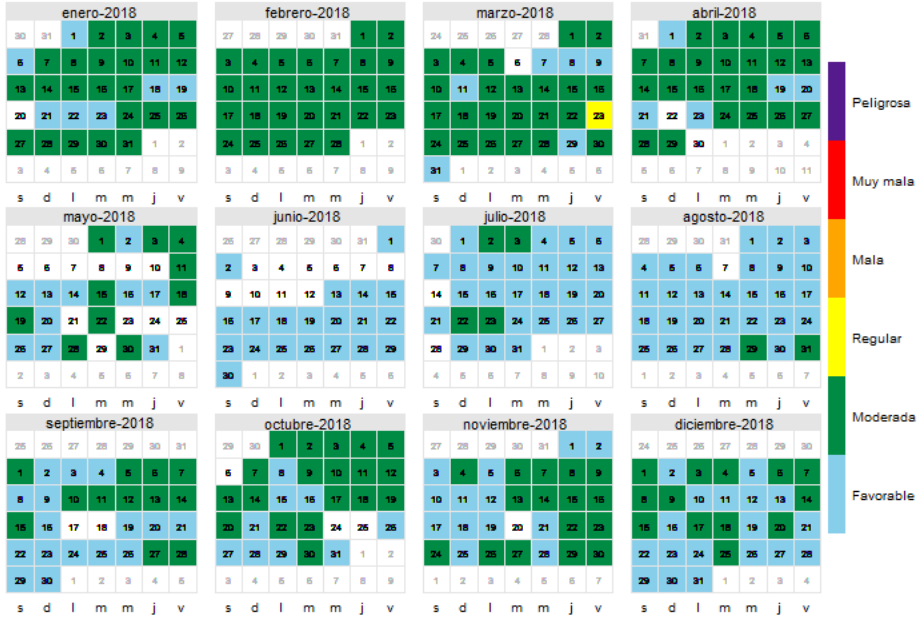


Figura 12-9. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Centro de Alto Rendimiento

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

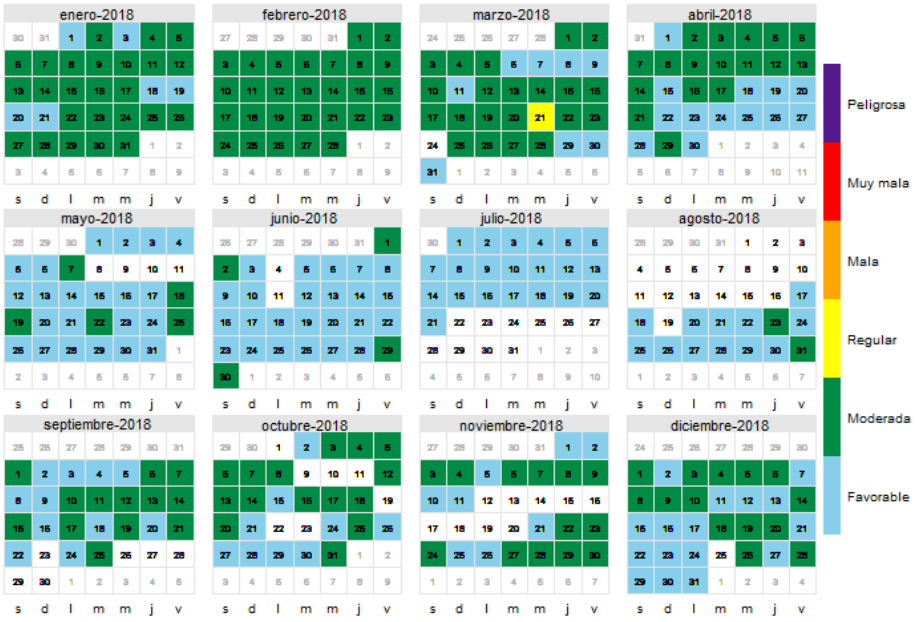


Figura 12-10. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Guaymaral

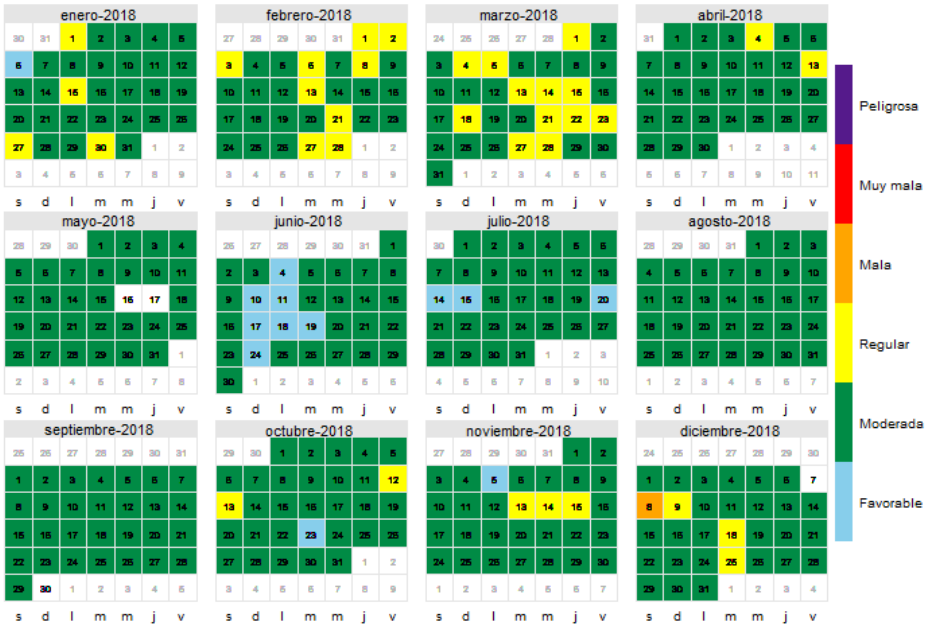


Figura 12-11. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Kennedy

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

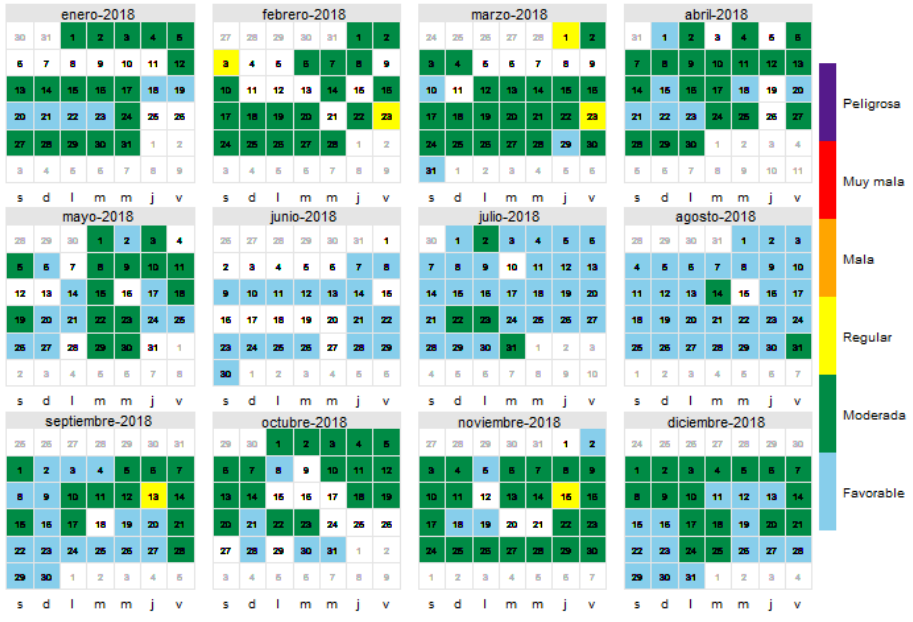


Figura 12-12. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Las Ferias

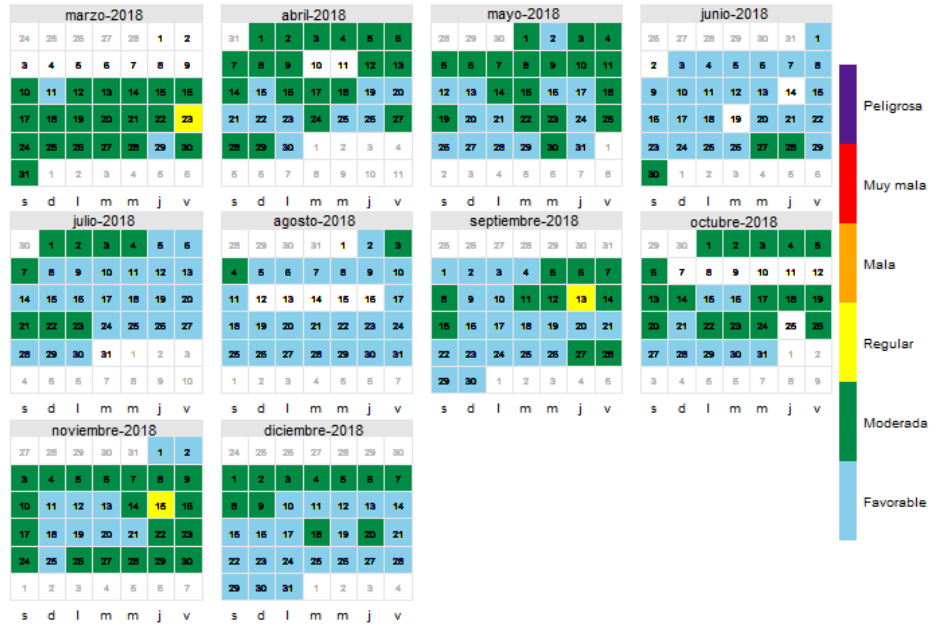


Figura 12-13. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación MinAmbiente

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

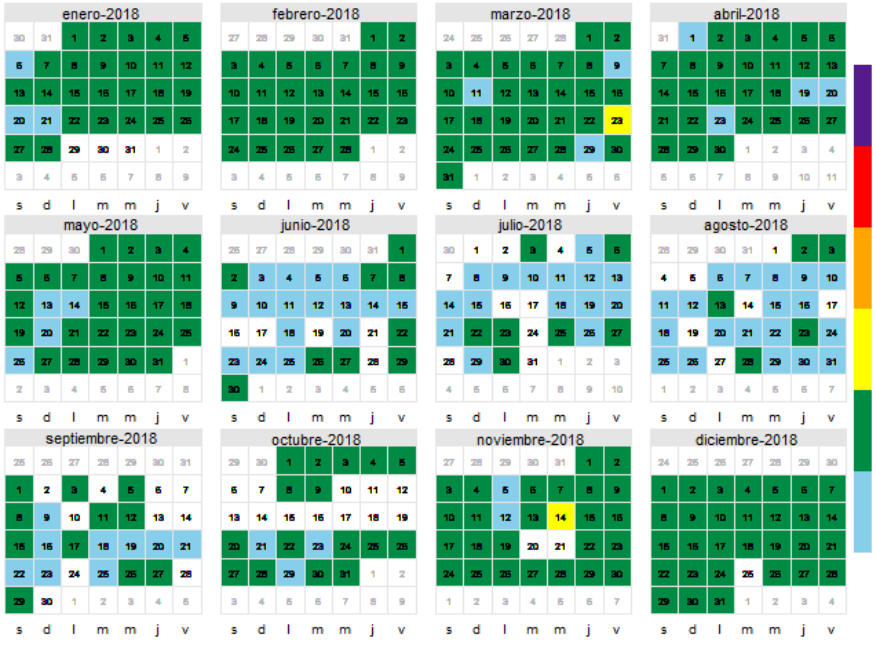


Figura 12-14. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Puente Aranda

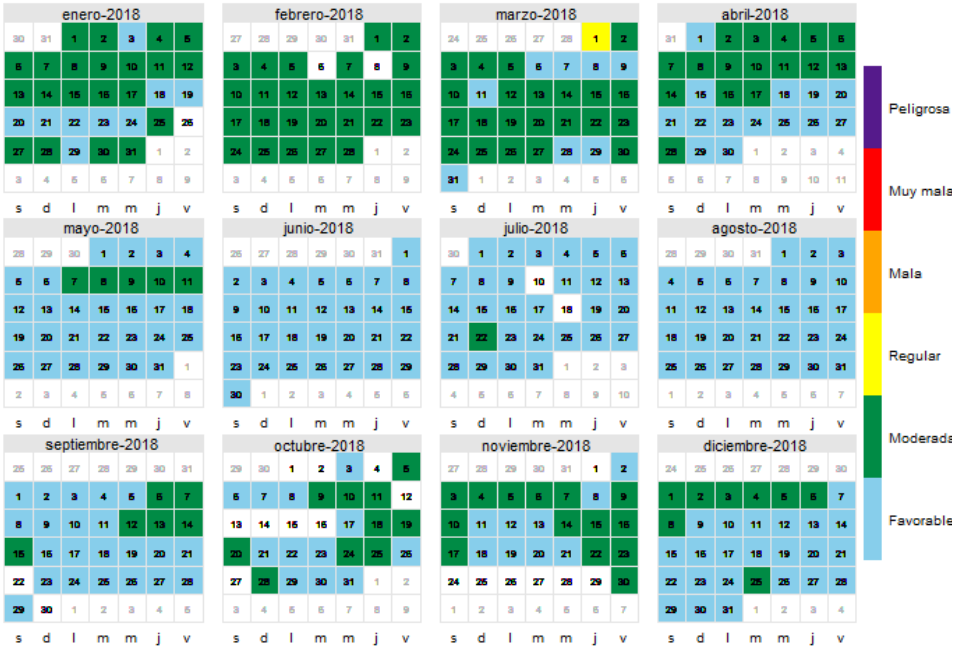


Figura 12-15. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación San Cristóbal

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

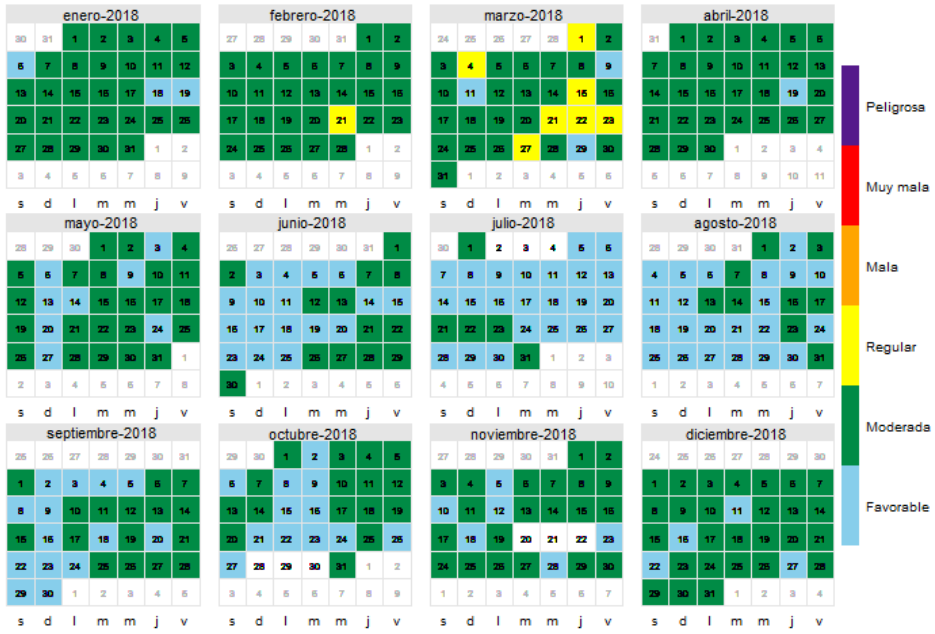


Figura 12-16. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Suba

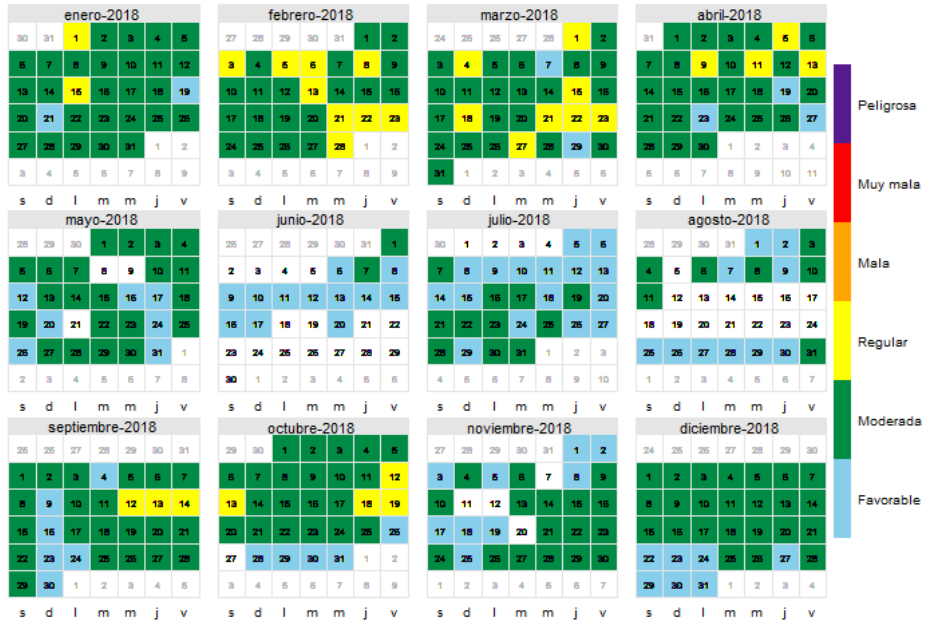


Figura 12-17. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Tunal

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

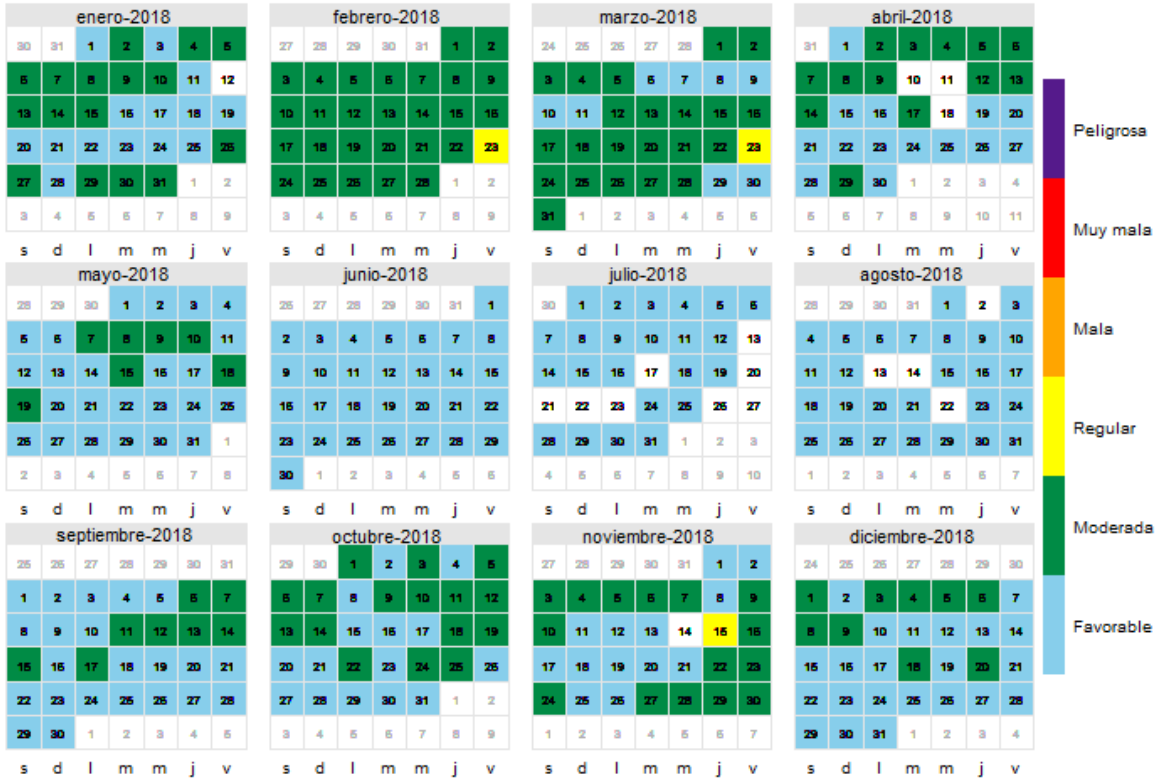


Figura 12-18. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Usaquén

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

NOTA

El análisis realizado en el presente informe mensual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 1 y el 31 de Diciembre de 2018, y adicionalmente los resultados del informe sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes periódicos de la RMCAB establecido en el procedimiento interno 126PM04-PR84 Generación y Control de Informes de la RMCAB (v. 4.0). Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno 126PM04-PR87 - Validación de datos de la RMCAB (v. 2.0).

Adicionalmente, los procesos de monitoreo de contaminantes en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos:

126PM04-PR04 (v. 9.0)	Operación de la Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
126PM04-PR101 (v. 5.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de PM_{10} y $PM_{2.5}$
126PM04-PR102 (v. 4.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación de los analizadores de los gases NOx, SO_2, CO y O_3

Elaboró:
Eaking Alberto Ballesteros Urrutia – PROFESIONAL RMCAB - SDA
Edna Lizeth Montealegre Garzón - – PROFESIONAL RMCAB - SDA
Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez– PROFESIONAL RMCAB - SDA
Edison Yesid Ortiz Durán – PROFESIONAL SIMCAB – SDA
Ana Cecilia Gálvez Lozada - PROFESIONAL SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA - SDS
Erika Milena Castillo – PROFESIONAL ESPECIALIZADO - SDS
Pedro Andrés Morales– PROFESIONAL ESPECIALIZADO - SDS

Revisó:
Leonardo Quiñones Cantor – PROFESIONAL ESPECIALIZADO SATAB - SDA
Luis Álvaro Hernández González – PROFESIONAL RMCAB - SDA

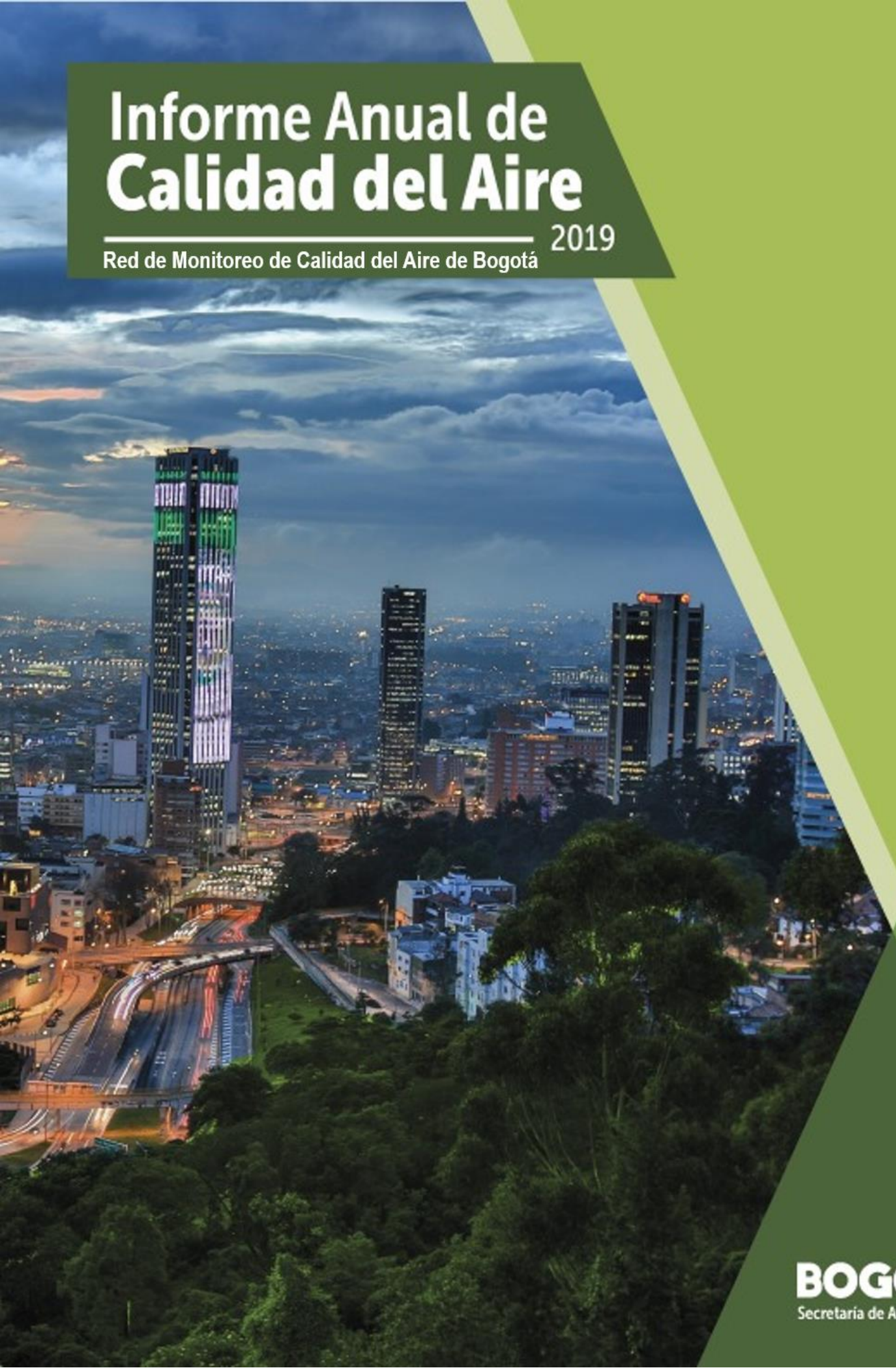
Autorizó:
Oscar Alexander Ducuara Falla - SUBDIRECTOR DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL - SDA

FIN DEL INFORME

Secretaría Distrital de Ambiente
Av. Caracas Nº 54-38
PBX: 3778899
www.ambientebogota.gov.co
Bogotá D.C. Colombia

Informe Anual de Calidad del Aire 2019

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá



BOGOTÁ
Secretaría de Ambiente

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2019

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C 2020

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE AMBIENTE

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Claudia Nayibe López Hernández
Alcaldesa Mayor de Bogotá D.C.

Carolina Urrutia Vásquez
Secretaria Distrital de Ambiente

Julio Cesar Pulido Puerto
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Camilo Alexander Rincón Escobar
Director de Control Ambiental

Hugo Enrique Saenz Pulido
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

José Hernán Garavito Calderón
Profesional Especializado de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB

Luis Álvaro Hernández González
Coordinador Técnico de la Red de Monitoreo de Caldiad del Aire de Bogotá - RMCAB

Leonardo Quiñones Cantor
Profesional Especializado del Sistema de Alertas Tempranas de Bogotá Componente Aire - SATAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
Edna Lizeth Montealegre Garzón
Grupo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Jesús Alberto Herrera Dallos
Grupo de Operación de la RMCAB

Edison Yesid Ortiz Durán
Coordinador del Sistema Integrado del Modelación de Calidad de Aire de Bogotá – SIMCAB

Cristian Dario Arango Chacón
July Andrea Vasquez Ramirez
Profesionales del SIMCAB

Edna Katalina Medina Palacios
Profesional Especializado -
Política Distrital de Salud Ambiental
Subdirección de Determinantes en Salud
Secretaría Distrital de Salud

Ana Cecilia Gálvez Lozada
Profesional Especializado -
Línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Roger Alexander Gómez Gómez
Yaneth Rocio Pineda García
Línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subred Integrada de Servicios de Salud Centro Oriente

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Junio de 2020, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.
Año 2019.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE AMBIENTE

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 15
2. RESUMEN EJECUTIVO 16
3. OBJETIVOS 17
3.1. OBJETIVO GENERAL 17
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 17
4. CARACTERÍSTICAS DE LA RED 18
4.1. NORMATIVIDAD 22
5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 23
5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 23
5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS 25
6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS) 27
6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10}) 27
6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN 27
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN 30
6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM_{10} POR ESTACIÓN 31
6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$) 31
6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 32
6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 34
6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 35
6.3. OZONO (O_3) 35
6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE O_3 POR ESTACIÓN 36
6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN 38
6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O_3 POR ESTACIÓN 39
6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2) 39
6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN 39
6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN 40
6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO_2 POR ESTACIÓN 41
6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 42
6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE SO_2 POR ESTACIÓN 42

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN 43
6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO_2 POR ESTACIÓN 44
6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO) 45
6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE CO POR ESTACIÓN 45
6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN 46
6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE CO POR ESTACIÓN 47
7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON 49
7.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN 49
7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN 50
7.3. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN 52
8. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE 54
8.1. ICA 54
8.2. IBOCA 57
9. METEOROLOGÍA 62
9.1. PRECIPITACION 62
9.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN 62
9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN 63
9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN 65
9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN 65
9.2. TEMPERATURA 69
9.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA 69
9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA 71
9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA 73
9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA 75
9.3. VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO 77
9.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 77
9.3.2. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 79
9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 82
9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO 85
9.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 87
9.4. RADIACION SOLAR 89
9.4.1. PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR 89
9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR 90

9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR 91
9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR 92
9.5. PRESION ATMOSFERICA 93
9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 93
9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 94
9.5.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 95
9.5.2. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 97
9.6. HUMEDAD 98
9.6.1. PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD 98
9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD 99
9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD 100
9.6.4. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD 101
10. INVENTARIOS DE EMISIÓN 103
10.1. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES 103
10.1.1. Fuentes Móviles 103
10.1.2. Fuentes Fijas Industriales 106
10.2. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES 108
10.2.1. Inventario general 108
10.2.2. Degradación espacial de emisiones 110
10.2.3. Perfil horario de emisiones 112
10.3. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS UNDUSTRIALES 113
10.3.1. Inventario general 113
10.3.2. Degradación espacial de emisiones 115
10.3.3. Perfil horario de emisiones de PM 117
11. MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD 119
11.1. GENERALIDADES 119
11.1.1. MODELO METEOROLÓGICO 120
11.1.2. MÓDULO DE EMISIONES 120
11.1.3. MODELO FOTOQUÍMICO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES 120
11.1.4. MODELO DE EMERGENCIAS Y RESPUESTA RÁPIDA 120
11.2. RESULTADOS DEL MODELO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES 121
11.2.1. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA EL MATERIAL PARTICULADO 121
11.2.2. RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA GASES 123

11.3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS 125
11.3.1. GENERALIDADES EN LA VALIDACIÓN 125
11.3.2 VALIDACIÓN DEL MODELO METEOROLÓGICO WRF 127
11.3.2.1 Temperatura 127
11.3.2.2 Humedad relativa 129
11.3.2.3 Velocidad y dirección del viento 130
11.3.2.4 Radiación 132
11.3.2.5 Presión Atmosférica 133
11.3.2.6 Precipitación 134
11.3.2. Validación del modelo de transporte 135
12. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 143
13. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD 151
13.1. GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL 152
13.2. VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL 155
13.3. VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA 156
13.3.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA 156
13.3.2. MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA 158
13.4. VIGILANCIA AMBIENTAL 167
13.4.1. Material Particulado PM_{10} En Bogotá 2019 167
13.4.2. Material Particulado $PM_{2.5}$ En Bogotá 2019 170
13.5. VIGILANCIA SANITARIA 174
13.5.1. ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION 178
13.5.2. Acciones de Información y Comunicación en Salud Ambiental en los espacios de vida cotidiana 183
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 184
15. ANEXOS 186

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2019 20
Figura 5-1. Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2019 24
Figura 5-2. Porcentaje de datos capturados por estación. Año 2019 24
Figura 5-3. Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2019 25
Figura 5-4. Porcentaje de datos válidos por estación año 2019 25
Figura 6-1. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging 29
Figura 6-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación. Año 2019 30
Figura 6-3. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de PM_{10} en el 2019 31
Figura 6-4. Concentraciones anuales de PM_{10} años 2015 a 2019 31
Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging 33
Figura 6-6. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación. Año 2019 34
Figura 6-7. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2019 35
Figura 6-8. Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2015 a 2019 35
Figura 6-9. Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging 37
Figura 6-10. Concentraciones mensuales de O_3 por estación. Año 2019 38
Figura 6-11. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de O_3 en el 2019 39
Figura 6-12. Concentraciones anuales de O_3 años 2015 a 2019 39
Figura 6-13. Concentraciones mensuales de NO_2 por estación. Año 2019 41
Figura 6-14. Comportamiento semanal y horario de las concentraciones de NO_2 en el 2019 41
Figura 6-15. Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2015 a 2019 42
Figura 6-16. Concentraciones mensuales de SO_2 por estación. Año 2019 44
Figura 6-17. Comportamiento semanal y diario de las concentraciones de SO_2 en el 2019 44
Figura 6-18. Concentraciones anuales de SO_2 años 2015 a 2019 45
Figura 6-19. Concentraciones mensuales de CO por estación. Año 2019 47
Figura 6-20. Comportamiento semana y día promedio de las concentraciones de CO en el 2019 . 47
Figura 6-21. Concentraciones anuales de CO años 2015 a 2019 48
Figura 7-1. Comportamiento mensual, diario y horario de las concentraciones de Black Carbon y Brown carbon en 2019 52
Figura 7-2. Concentraciones anuales de Brown Carbon años 2018 a 2019 53
Figura 7-3. Concentraciones anuales de Black Carbon años 2018 a 2019 53
Figura 8-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ año 2019 55
Figura 8-2. ICA por mes del año y por estación para PM_{10}. Año 2019 56
Figura 8-3. ICA por mes del año y por estación para $PM_{2.5}$. Año 2019 57
Figura 8-4. ICA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO. Año 2019 57
Figura 8-5. IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2019 59
Figura 8-6. IBOCA por mes del año para PM_{10}. Año 2019 60
Figura 8-7. IBOCA por mes del año para $PM_{2.5}$. Año 2019 61
Figura 8-8. IBOCA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO. Año 2019 61

Figura 9-1. Comportamiento diurno de la precipitación - 2019 63
Figura 9-2. Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación durante 2019 64
Figura 9-3. Total acumulado por estación en 2019 65
Figura 9-4. Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá - RMCAB 2019 66
Figura 9-5. Variación anual de la precipitación en Bogotá - RMCAB 2000-2019 68
Figura 9-6. Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual de 2019. RMCAB 2000 - 2019 69
Figura 9-7. Comportamiento de la temperatura horaria anual-2019: a) perfil horario; b) promedio por estación 71
Figura 9-8. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2019 Vs 2019 72
Figura 9-9. Temperaturas extremas absolutas año 2019 73
Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB -2019 74
Figura 9-11. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2019 77
Figura 9-12. Comportamiento mensual de la velocidad del viento a nivel histórico (2000 – 2019) Vs. 2018 y 2019. 78
Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2018 vs. 2019. 79
Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2019 vs. el promedio mensual multianual 2000 - 2019 80
Figura 9-15. Comportamiento promedio anual de la velocidad del viento - 2019 81
Figura 9-16. Rosas de viento consolidadas por estación – 2019 82
Figura 9-17. Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche. RMCAB – 2019 85
Figura 9-18. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2019 86
Figura 9-19. Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en la ciudad de Bogotá entre 2000 a 2018 89
Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2019 vs. 2018 90
Figura 9-21. Cantidad de radiación solar recibida en promedio día durante el año 2019. a) perfil horario; b) radiación acumulada por cada estación. 91
Figura 9-22. Comportamiento mensual de la radiación en 2019 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados. 92
Figura 9-23. Comportamiento anual de la radiación en 2019 a) promedio anual; b) totales anuales acumulados. 93
Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2018 frente al promedio mensual multianual 2010-2019 94
Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica en 2019. a) promedio ciudad; b) promedio por estación 95
Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica - 2019 97
Figura 9-27. Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2019 98
Figura 9-28. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019 vs. Promedio mensual multianual 2010-2019 99
Figura 9-29. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019: a) promedia ciudad; b) promedio por estación 100
Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2018: a) perfil horario; b) promedio por estación 101

Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa anual: a) promedia multianual; b) promedio por estación 102
Figura 10-1. Porcentaje de cantidad de vehículos que transitan en Bogotá por categoría 105
Figura 10-2. Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen. 106
Figura 10-3. Distribución por tipo de fuente de combustión 107
Figura 10-4. Distribución por tipo de combustible 108
Figura 10-5. Participación en generación de emisiones de PM 109
Figura 10-6. Participación por tipología en emisión de contaminantes criterio, inventario 2018. 110
Figura 10-7. Distribución espacio temporal de PM 2.5 para Fuentes Móviles 111
Figura 10-8. Distribución espacio temporal de PM10 para 111
Figura 10-9. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Móviles 111
Figura 10-10. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Móviles 111
Figura 10-11. Distribución espacio temporal de SO2 para Fuentes Móviles 112
Figura 10-12. Distribución horaria para Fuentes Móviles en días hábiles y no hábiles 113
Figura 10-13. Participación por categoría en emisión por contaminante 115
Figura 10-14. Distribución espacio temporal de $PM_{2.5}$ para Fuentes Puntuales. Día Hábil 116
Figura 10-15. Distribución espacio temporal de $PM_{2.5}$ para Fuentes Puntuales. Día Hábil 116
Figura 10-16. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Puntuales. 116
Figura 10-17. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Puntuales. 116
Figura 10-18. Distribución espacio temporal de SO_2 para Fuentes Puntuales 117
Figura 10-19. Distribución horaria para Fuentes Puntuales en días hábiles y no hábiles 118
Figura 11-1 Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá 119
Figura 11-2 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM_{10} ajustadas a observaciones para el 2019 122
Figura 11-3 Promedio Anual para concentraciones simuladas de $PM_{2.5}$ ajustadas a observaciones para el 2019 122
Figura 11-4 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO_2 ajustadas a observaciones para el 2019 123
Figura 11-5 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO_2 ajustadas a observaciones para el 2019 124
Figura 11-6 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2019 125
Figura 11-7 Validación de la temperatura a nivel ciudad y mensual 128
Figura 11-8 Validación de la temperatura por estación 128
Figura 11-9 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad 129
Figura 11-10 Validación de la humedad relativa por estación 130
Figura 11-11 Validación del viento a nivel ciudad 131
Figura 11-12 Validación del viento por estación 131
Figura 11-13 Validación de la radiación solar a nivel ciudad 132
Figura 11-14 Validación de la radiación solar por estaciones 133
Figura 11-15 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad 134
Figura 11-16 Validación de la presión atmosférica por estaciones 134
Figura 11-17 Validación de la precipitación por estaciones 135
Figura 11-18 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{10} 137
Figura 11-19 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para $PM_{2.5}$ 137

Figura 11-20 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO_2 138
Figura 11-21 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO_2 138
Figura 11-22 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO 139
Figura 11-23 Diagramas de Taylor por mes para PM_{10} 140
Figura 11-24 Diagramas de Taylor por mes para $PM_{2.5}$ 141
Figura 11-25 Diagramas de Taylor por mes para CO 141
Figura 11-26 Diagramas de Taylor por mes para SO_2 142
Figura 11-27 Diagramas de Taylor por mes para NO_2 142
Figura 12-1. Concentraciones medias móvil PM2.5 febrero 12 al 20 de 2019 144
Figura 12-2. Modelación del viento para febrero 14 y 15 de 2018 y 2019 145
Figura 12-3. Puntos calientes relacionados con incendios Forestales. Febrero 1 al 15 de 2019. .. 145
Figura 12-4. Concentraciones media móvil $PM_{2.5}$ Marzo 04 al 12 de 2019 147
Figura 12-5. a) Modelación de vientos de marzo 7 de 2019. b) Puntos calientes registrados en Colombia para marzo 7 de 2019 c) Retrotrayectorias del viento en Hysplit. Marzo 7 de 2019 147
Figura 12-6. Concentraciones media móvil $PM_{2.5}$ Marzo 26 a Abril 03 de 2019 149
Figura 12-7. a) Modelación de vientos para el 28 de marzo de 2019. b) Puntos caliente registrados en Colombia y Venezuela - Marzo 28 de 2019 c) Mapa de precipitaciones de Marzo 26 de 2019 150
Figura 13-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud 152
Figura 13-2. Localización de estación de monitoreo de calidad del aire Bogotá Región 153
Figura 13-3. Estratégico de Respuesta de Gestión Integral del Riesgos en Salud Relacionados con la Calidad del Aire en Bogotá 154
Figura 13-4. Página web de la campaña Breathelife para Bogotá 155
Figura 13-5. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2015 a 2019 datos preliminares 157
Figura 13-6. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años y material particulado 2,5 (µg/m3) en Bogotá, 2019 159
Figura 13-7. Morbilidad por IRA (evento 995- SIVIGILA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2019 160
Figura 13-8. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2019 161
Figura 13-9. Distribución por sexo según grupo etario. Bogotá 2019 162
Figura 13-10. Distribución por estrato socioeconómico según grupo etario. Bogotá 2019 163
Figura 13-11. Distribución por régimen de seguridad social según grupo etario. Bogotá 2019 163
Figura 13-12. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años 165
Figura 13-13. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM10 en Bogotá año 2019 168
Figura 13-14. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2019 169
Figura 13-15. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2019 169
Figura 13-16. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2015-2019 170
Figura 13-17. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá año 2019 171

Figura 13-18. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá en el año 2019 172
Figura 13-19. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2019 173
Figura 13-20. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2019 174
Figura 13-21. Quejas atendidas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco en Bogotá 2019. 175
Figura 13-22. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en Bogotá, 2019 177
Figura 13-23. Jornada Día sin carro y moto 2019 179
Figura 13-24. Jornada de Profundización del Día Mundial sin Tabaco, Caminata Menos Cigarrillos Más Pasos 180
Figura 13-25. Jornada Semana Ambiental en las Localidades de Antonio Nariño, La candelaria, mártires, Rafael Uribe, San Cristóbal y Santa Fe, junio 2019. 182
Figura 13-26. Socialización de recomendaciones IBOCA 183
Figura 15-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes. 186
Figura 15-2. Boxplot de concentraciones diarias de PM_{10} por mes. Año 2019 189
Figura 15-3. Boxplot de concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes. Año 2018 190
Figura 15-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O_3 por mes. Año 2019 191
Figura 15-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO_2 por mes. Año 2018 191
Figura 15-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO_2 por mes. Año 2019 192
Figura 15-7. Boxplot de concentraciones 8 horas de CO por mes. Año 2019 193
Figura 15-8. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Carvajal-Sevillana 194
Figura 15-9. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Centro de Alto Rendimiento 194
Figura 15-10. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Fontibón 195
Figura 15-11. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Guaymaral 195
Figura 15-12. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Kennedy 196
Figura 15-13. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Las Ferias 196
Figura 15-14. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación MinAmbiente 197
Figura 15-15. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Móvil 7ma 197
Figura 15-16. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Puente Aranda 198
Figura 15-17. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación San Cristóbal 198
Figura 15-18. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Suba 199
Figura 15-19. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Tunal 199
Figura 15-20. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Usaquén 200

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA..... 19
Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2019..... 21
Tabla 4-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS. 22
Tabla 5-1. Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2019 24
Tabla 5-2. Porcentaje de datos validados por estación y parámetro – Año 2019..... 26
Tabla 6-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} registradas en el año 2019..... 28
Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ registradas en el año 2019 32
Tabla 6-3. Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 registradas en el año 2019..... 36
Tabla 6-4. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 registradas en el año 2019 40
Tabla 6-5. Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 registradas en el año 2019 43
Tabla 6-6. Estadísticas de las concentraciones anuales de CO registradas en el año 2019 46
Tabla 7-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de Black Carbon registradas en el año 2019 49
Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS 54
Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015..... 58
Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año 63
Tabla 9-2. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad_2019 (N.A. no cumple criterio de representatividad) 64
Tabla 9-3. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. RMCAB - 2019 67
Tabla 9-4. Precipitación promedio histórica mensual. RMCAB 2000 – 2019 68
Tabla 9-5. Comportamiento de la temperatura horaria durante el año 2019. 70
Tabla 9-6. Promedio mensual de temperatura multianual RMCAB 2000 – 2019 71
Tabla 9-7. Temperaturas extremas año 2018 72
Tabla 9-8. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2019 .. 76
Tabla 9-9. Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2019..... 78
Tabla 9-10. Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2018..... 79
Tabla 9-11. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día. 83
Tabla 9-12. Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2019..... 88
Tabla 9-13. Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones de la RMCAB en 2019..... 90
Tabla 9-14. Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m^2) - 2019..... 92
Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m^2 periodo 2009 - 2019 92
Tabla 9-16. Comportamiento de la presión media mensual de 2019 y 2018 frente al promedio multianual 2010 - 2019 94
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2019 95
Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB - 2019..... 96

Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2019 97
Tabla 9-20. Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2019..... 99
Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad en 2018. 99
Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2019..... 100
Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente. 102
Tabla 10-1. Inventario de emisiones por fuentes móviles por categoría..... 108
Tabla 10-2.. Inventario de emisiones de fuentes fijas industriales año 2019 113
Tabla 11-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones 139
Tabla 12-1. Alertas por contaminación atmosférica declaradas en el 2019 143
Tabla 13-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura .. 152
Tabla 13-2. . Porcentaje de síntomas respiratorios según grupo etario..... 164
Tabla 13-3. Factores relacionados con la presencia de sibilancias y tos seca en el último año en menores de 5 años..... 166
Tabla 13-4. Factores relacionados con la presencia de tos en los niños de 5 a 14 años 166
Tabla 15-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.. 187
Tabla 15-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación de monitoreo. Año 2019 187
Tabla 15-3. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo. Año 2019..... 188
Tabla 15-4. Concentraciones mensuales de O_3 por estación de monitoreo. Año 2019 188

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares de la ciudad. El proceso inicia con la medición de los parámetros en cada estación y el almacenamiento de los mismos en un datalogger, luego cada hora se actualizan los datos y son transmitidos hacia el servidor central, donde se almacena la información en una base de datos. Esta información es validada desde su captura en los equipos, hasta su revisión en la sede central, con el fin de obtener los datos para la elaboración de los informes periódicos de calidad del aire. En dichos reportes se evalúa el cumplimiento de los niveles máximos permisibles definidos por la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Para el año 2019 la RMCAB estaba conformada por catorce (14) estaciones de monitoreo de las cuales doce (12) son fijas, una (1) meteorológica y una (1) móvil. Están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

En el presente informe, se incluye el análisis del comportamiento de los contaminantes registrados por la RMCAB durante el año 2019, las tendencias y la distribución espacial, y la determinación de las excedencias de los contaminantes respecto a la norma; el análisis de los datos de la Red de Monitoreo de Black Carbon RMBC, el análisis del comportamiento de los parámetros meteorológicos, el análisis de los resultados del Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire de Bogotá-SIMCAB y el reporte realizado por la Secretaría Distrital de Salud, sobre los datos de morbilidad y mortalidad asociados a contaminación del aire.

2. RESUMEN EJECUTIVO

Comportamiento de la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Las concentraciones promedio anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el 2019 tuvieron un comportamiento similar a años anteriores con respecto a la distribución espacial, las concentraciones más altas se mantuvieron al suroccidente de la ciudad y las más bajas en la zona nororiental. En comparación con las concentraciones de años anteriores, para PM10 hay una tendencia a la disminución de las concentraciones en el tiempo, pero para $PM_{2.5}$ las concentraciones tienden a aumentar en algunas zonas de la ciudad. Solamente la estación Carvajal-Sevillana registró excedencias sobre la norma anual, con un promedio de 56 µg/m^3 para PM_{10} y un promedio de 36 µg/m^3 para $PM_{2.5}$. Con las mediciones en la estación Fontibón, se evidenció que también se registran altos niveles de concentración de este contaminante en la zona occidental de la ciudad (PM_{10}: 56 µg/m^3, $PM_{2.5}$: 18 µg/m^3) dada la influencia de aportes de emisiones de fuentes móviles en las vías principales y de contaminación generada en regiones aledañas.

Comportamiento de la concentración de ozono (O_3)

La estación Usaquén registró el promedio anual de O_3 más alto de la ciudad, con 33 µg/m^3, en la zona nororiental de la ciudad, mientras que la estación Puente Aranda registró los niveles más bajos, con un promedio anual de 16 µg/m^3, en la zona centro-occidental. Sin embargo, la estación MinAmbiente registró el mayor número de excedencias, con 118 datos en el año. El comportamiento de este contaminante ha variado con los años, aunque históricamente el norte de la ciudad ha registrado las concentraciones más altas, en el último trimestre del año la zona aledaña a la estación Kennedy presentó un aumento de las concentraciones.

Comportamiento de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2)

En 2019, ocho estaciones registraron mediciones de NO_2, de las cuales solamente la estación Kennedy tuvo un porcentaje de datos válidos menor al 75%. Las concentraciones más altas de NO_2, se registraron en el suroccidente de la ciudad, en la estación Carvajal-Sevillana, con 47 µg/m^3 y la menor concentración se obtuvo en la estación Tunal, con 26 µg/m^3. No se registraron excedencias a los límites máximos en resolución anual y horaria. Con respecto a años anteriores, las concentraciones se mantienen similares en la mayoría de las estaciones desde el año 2015.

Comportamiento de la concentración de dióxido de azufre (SO_2)

En el 2019, nueve estaciones monitorearon el contaminante SO_2, solamente la estación Móvil 7ma registró datos válidos con un porcentaje del 45%. El promedio anual más alto se registró en la estación Carvajal-Sevillana con un valor de 15.6 µg/m^3 y el menor promedio se obtuvo en Usaquén con 2.2 µg/m^3. No se registraron excedencias al límite de la norma diaria, pero si se registraron 18 excedencias a la norma horaria, de las cuales 14 ocurrieron en Carvajal-Sevillana. En general, desde

el 2015 ha habido ligeras reducciones de las concentraciones con el paso de los años en la mayoría de las estaciones.

Comportamiento de la concentración de monóxido de carbono (CO)

Nueve estaciones monitorearon el contaminante CO en el 2019 y todas registraron datos válidos en un porcentaje mayor al 75%. La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio más alto, con 1337 µg/m^3, y la estación Fontibón registró la concentración anual más baja, con 554 µg/m^3. Las concentraciones de CO en 2019 aumentaron en algunas estaciones en relación a años anteriores, aunque en las estaciones del suroccidente hubo una ligera disminución para el 2019.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009 del Concejo de Bogotá, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por catorce (14) estaciones de las cuales trece (13) son fijas y una (1) estación móvil.

La Tabla 4-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 4-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

Durante el año 2019 se realizó la instalación de equipos de Black Carbon en nueve estaciones de la RMCAB, conformando la primera red de monitoreo de este contaminante en América Latina, que evalúa el comportamiento del black carbon con el fin de definir una línea base en la ciudad, y determinar los posibles impactos por las variaciones en las concentraciones de dicho contaminante.

La elaboración de informes de calidad del aire se realiza teniendo en cuenta uno de los componentes de la misionalidad de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), como autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, se tiene en cuenta lo establecido en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 con respecto a la elaboración de los reportes del laboratorio, y teniendo en cuenta que los informes de calidad del aire de la RMCAB se elaboran con base en los procedimientos asociados a las funciones del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales se incluyen dentro de del proceso de apoyo de la SDA denominado “Metrología, Monitoreo y Modelación”.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin. Adicionalmente se realizan periódicamente las calibraciones y verificaciones de los equipos de monitoreo, con el fin de garantizar que la medición de contaminantes se realice de acuerdo a los estándares establecidos en los métodos de medición.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en diciembre de 2019[1]. Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR[2].

[1] United States Environmental Protection Agency. List of designated reference and equivalent methods. December 15, 2019. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/designated_reference_and-equivalent_methods.pdf

[2] 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

Tabla 4-1. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087	D
		EQOA-0193-091	
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
		RFNA-0118-249	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
		RFCA-0915-228	
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

En la Figura 4-1 se muestra el mapa con la ubicación de las 14 estaciones de monitoreo de la RMCAB presentes durante el año 2019.

En la Tabla 4-2 se muestra la tabla que contiene las características de cada estación, los monitores de calidad del aire y meteorológicos que posee y su denominación.

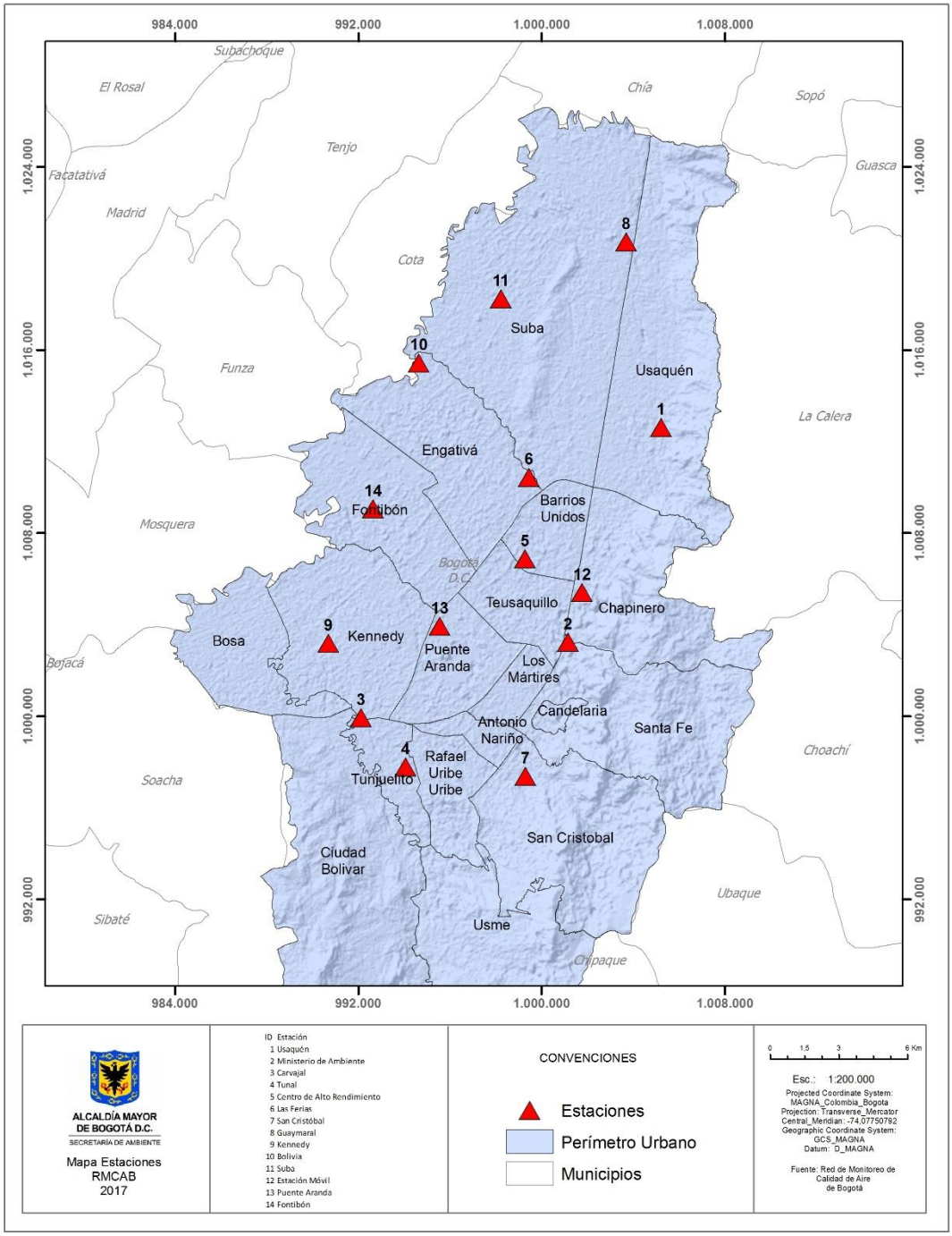


Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2019

Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2019

Característica		Bolivia	Carvajal-Sevillana	Centro de Alto Rendimiento	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Min. Ambiente	Móvil 7ma	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunal	Usaquén
Ubicación	Sigla	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
	Código	100210	60303	120305	90314	110308	80309	100306	170302	20312	160313	40307	110311	30304	10301
	Latitud	4°44'9.12"N	4°35'44.22"N	4°39'30.48"N	4°40'41.67"N	4°47'1.52"N	4°37'30.18"N	4°41'26.52"N	4°37'31.75"N	4°38'32.75"N	4°37'54.36"N	4°34'21.19"N	4°45'40.49"N	4°34'34.41"N	4°42'37.26"N
	Longitud	74°7'33.18"W	74°8'54.90"W	74°5'2.28"W	74°8'37.75"W	74°2'39.06"W	74°9'40.80"W	74°4'56.94"W	74°4'1.13"W	74°5'2.28"W	74°7'2.94"W	74°5'1.73"W	74° 5'36.46"W	74°7'51.44"W	74°1'49.50"W
	Altitud	2574 m	2563 m	2577 m	2551 m	2580 m	2580 m	2552 m	2621 m	2583 m	2590 m	2688 m	2571 m	2589 m	2570 m
	Altura del suelo	0 m	3 m	0 m	11 m	0 m	3 m	0 m	15 m	0 m	10 m	0 m	6 m	0 m	10 m
	Localidad	Engativá	Kennedy	Barrios Unidos	Fontibón	Suba	Kennedy	Engativá	Santa Fe	Chapinero	Puente Aranda	San Cristóbal	Suba	Tunjuelito	Usaquén
	Dirección	Avenida Calle 80 #121-98	Autopista Sur # 63-40	Calle 63 #59A-06	Carrera 104 #20 C - 31	Autopista Norte #205-59	Carrera 80 #40-55 sur	Avenida Calle 80 #69Q-50	Calle 37 #8-40	Carrera 7 con calle 60	Calle 10 #65-28	Carrera 2 Este #12-78 sur	Carrera 111 # 159A-61	Carrera 24 #49-86 sur	Carrera 7B Bis # 132-11
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Suburbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	De fondo	Tráfico / Industrial	De fondo	De tráfico	De fondo	De fondo	De tráfico	De tráfico	De tráfico	Industrial	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Andén	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Azotea
	Altura punto de muestra	4.6 m	4.2 m	4.05m	15 m	4.8 m	7.71 m	4.02m	4.67 m	4 m	18.7 m	4.88 m	11.4 m	3.62	16.45m
	Altura del sensor de viento	10 m	13 m	10 m	17.4 m	10 m	10 m	10 m	19 m	12.3 m	20 m	10 m	10 m	10 m	19 m
Contaminantes	PM_{10}		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	$PM_{2.5}$		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	O_3		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
	NO_2		X	X	X	X	X	X			X			X	
	CO		X	X	X		X	X		X	X			X	X
	SO_2		X	X	X		X			X	X		X	X	
	Black Carbon		X	X	X		X	X	X					X	X
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar			X		X	X			X		X		X	
	H. Relativa			X	X	X	X	X		X		X		X	
	Presión Atm.					X		X		X				X	

4.1. NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual inició su vigencia desde el 1 de enero de 2018, y deroga la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. La Tabla 4-3 presenta los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio definidos en la norma vigente.

Tabla 4-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo
PM_{10}	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	100	1 hora	Concentración promedio horaria
NO_2	60	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	100	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
CO	5000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	35000	1 hora	Concentración promedio horaria

Parágrafo 1: *A partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75 µg/m³ y 37 µg/m³ respectivamente.*

Parágrafo 2. *Para verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la Tabla 1 la concentración de los contaminantes del aire deberá evaluarse por cada punto de monitoreo. El promedio de concentraciones de diferentes puntos de monitoreo no será válido para evaluar el cumplimiento de dichos niveles.*

5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2019. En la primera sección se determinó el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presenta el porcentaje de datos validados, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2019, la captura de datos de todos los parámetros fue mayor o igual al 75%. Los parámetros meteorológicos registraron valores superiores al 91% excepto el parámetro de presión barométrica, debido a que el sensor de la estación de Kennedy fue trasladado a finales del mes de febrero a la estación Tunal y solo alcanzo a obtener un porcentaje de captura de datos del 17%. En cuanto a los parámetros de concentraciones de contaminantes se registraron valores superiores al 86%, el parámetro que reporto un menor porcentaje de captura de datos fue el SO_2, esto se atribuye también a un traslado del equipo de la estación Móvil 7ma a la estación de Carvajal en el mes de mayo.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de las estaciones es superior al 89%, exceptuando las estaciones de Bolivia y Móvil 7ma. Es de aclarar que la estación Bolivia quedo fuera de operación a finales del mes de septiembre por obras locativas de restauración, teniendo en cuenta que actualmente se están instalando equipos analizadores para medir parámetros de calidad del aire. Adicionalmente la estación Móvil 7ma no estuvo en funcionamiento aproximadamente por tres meses debido a un daño de gran magnitud en la acometida eléctrica.

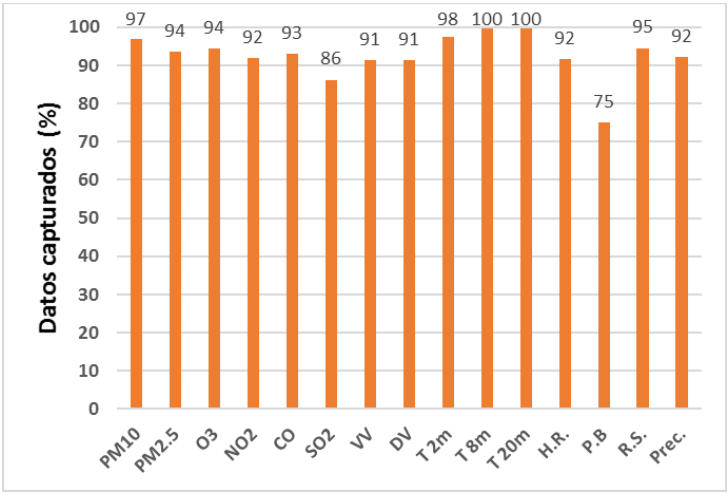


Figura 5-1. Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2019

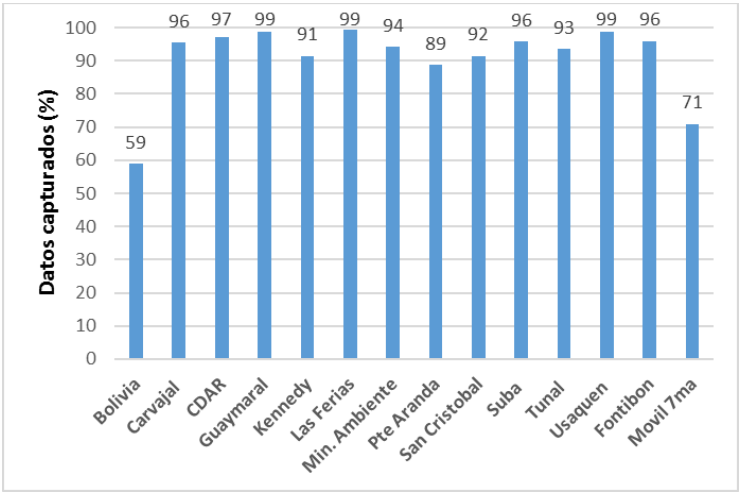


Figura 5-2. Porcentaje de datos capturados por estación. Año 2019

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se disponía del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado.

Tabla 5-1. Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2019

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S	Prec.	Prom
Bolivia							59	58							60	59
Carvajal	96	98	90	94	96	82	100	100	100						100	96
CDAR	100	100	99	99	99	98	89	89	100			100		94	100	97
Guaymaral	99	100	96	90			100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	99	100	95	81	99	99	100	100	100			100	17	100	100	91
Las Ferias	99	100	96	99	98		100	100	100			100	99		100	99
Min. Ambiente	99	98	95				99	99							75	94
Pte Aranda	99	77	99	98	94	99	62	62	100						100	89
San Cristóbal	99	73	95				100	100	99			59		99	99	92
Suba	100	98	98			97	100	100	100						75	96
Tunal	99	100	82	85	85	86	97	97	100			100	84	100	100	93
Usaquén	99	100	99		94		100	100	98						100	99
Fontibón	100	99	87	88	98	88	100	100	100			100				96
Móvil 7ma	75	75			75	41	75	75	75			75	75	75		71
Promedio	97	94	94	92	93	86	91	91	98	100	100	92	75	95	92	93

5.2. PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación, compuesto por cuatro fases (validación en equipos, en el sistema, validación manual y validación previa al análisis) busca validar o invalidar datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por motivos de fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos validos de la RMCAB para el año 2019 fue del 91% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validos por tipo de instrumento. Al comparar la Figura 5-3 con la Figura 5-1 se puede observar que el porcentaje de variación de los parámetros meteorológicos fue máximo del 1%, mientras que en los contaminantes fue máximo del 3%.

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos invalidados por estación de monitoreo, al compararla con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de datos validados fue igual o menor al 4% de los datos capturados.

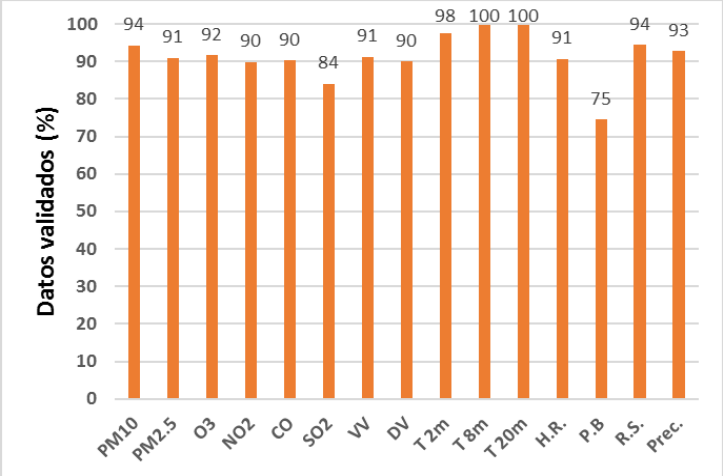


Figura 5-3. Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2019

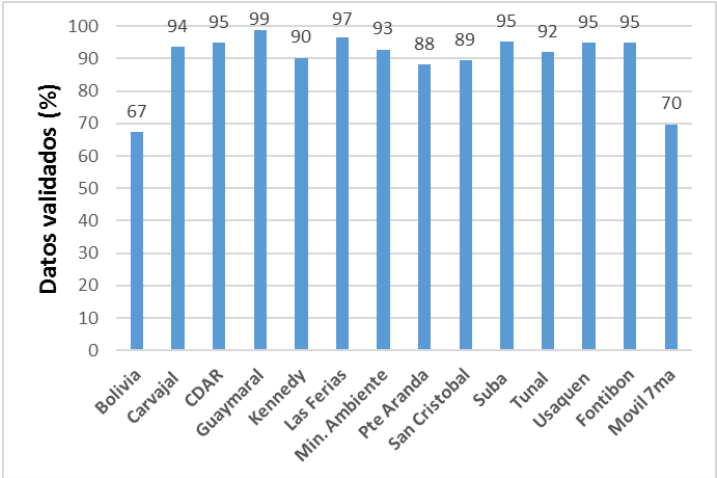


Figura 5-4. Porcentaje de datos válidos por estación año 2019

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2019 se exponen en la Tabla 5-2. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se disponía del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2019 fue del 91%.

Tabla 5-2. Porcentaje de datos validados por estación y parámetro – Año 2019

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S	Prec.	Prom
Bolivia							65	67							69	67
Carvajal	91	95	89	88	96	79	100	100	100						99	94
CDAR	97	97	98	98	93	90	82	89	100			100		94	100	95
Guaymaral	98	97	96	95			100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	98	97	94	72	99	99	100	100	100			100	15	100	100	90
Las Ferias	97	95	96	99	98		100	83	100			96	99		98	97
Min. Ambiente	97	98	90				99	99							74	93
Pte Aranda	98	73	98	97	95	98	61	61	100						100	88
San Cristóbal	97	69	88				99	99	99			56		99	99	89
Suba	97	97	96			98	100	100	100						75	95
Tunal	98	98	74	83	82	83	97	97	100			100	84	100	100	92
Usaquén	88	98	97		79		100	100	98						100	95
Fontibón	99	98	84	88	97	84	100	100	100			100				95
Móvil 7ma	71	72			75	41	75	65	75			75	75	75		70
Promedio	94	91	92	90	90	84	91	90	98	100	100	91	75	94	93	91

6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

En este capítulo se muestra el análisis realizado a partir de los datos de concentraciones de contaminantes registrados por los equipos de la RMCAB durante el año 2019. Este análisis incluye datos representados en tablas y gráficas, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 8 horas, según corresponda y la evaluación con los niveles máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 2254 de 2017 del MADS). El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10})

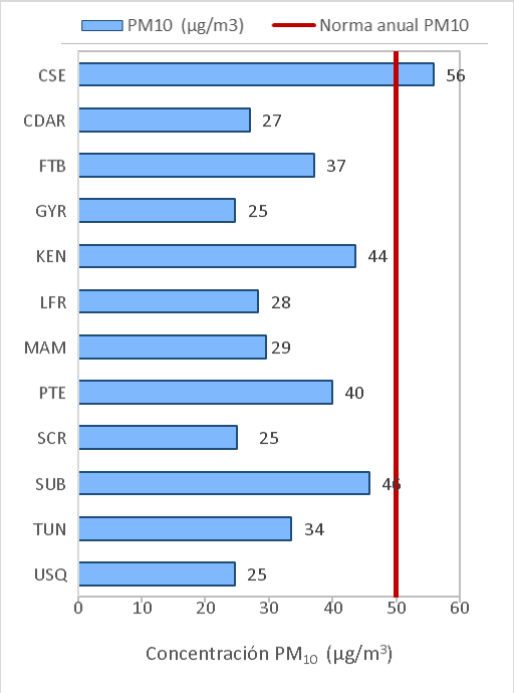
El PM_{10} representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, que se componen de sustancias inorgánicas y orgánicas, las cuales provienen de las fuentes de emisión móviles y fijas, en procesos de combustión, y procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} registrados por las estaciones de la RMCAB durante el 2019, además de incluir las estadísticas respecto a promedios, valores máximos diarios y excedencias a la norma. Solamente la estación Carvajal-Sevillana excedió el valor de la norma anual, con 56.0 µg/m^3, siendo además la concentración más alta registrada en la ciudad; por otro lado, las estaciones Guaymaral y Usaquén, ubicadas en la zona norte de la ciudad, registraron las concentraciones más bajas, con 24.7 µg/m^3.

Con respecto a las excedencias 24h de las concentraciones diarias, la estación Carvajal-Sevillana registró 39 datos sobre la norma, seguida de la estación Móvil 7ma con 22 excedencias, y Puente Aranda con 14 excedencias. La estación Móvil 7ma fue la única que registró un porcentaje de datos válidos menor al 75%, debido a un fallo en el suministro eléctrico por dos meses.

Tabla 6-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual PM_{10} (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 50 µg/m³ Norma diaria: 75 µg/m³				
CSE	56.0	86%	125.4	39
CDAR	27.0	98%	87.5	1
FTB	37.1	100%	92.8	5
GYR	24.7	98%	70.3	0
KEN	43.7	98%	97.7	12
LFR	28.3	97%	95.1	2
MAM	29.5	97%	76.6	1
MOV*	51.6	70%	114.8	22
PTE	40.0	99%	100.6	14
SCR	25.0	98%	67.1	0
SUB	45.8	99%	95.3	5
TUN	33.6	98%	85.0	3
USQ	24.7	89%	85.7	1

* Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

El mapa con la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de PM_{10} por estación se representan en la Figura 4-1, el cual está elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. De acuerdo a esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con un rango de concentraciones entre 50 y 57 µg/m^3, aunque también la zona de influencia de la estación Móvil 7ma registra concentraciones del mismo orden. Las menores concentraciones se registraron en la zona nororiental, con concentraciones menores a 30 µg/m^3. En la mayoría del año, se observa la influencia de los vientos provenientes del oriente, que contribuyen a dispersar la contaminación, hacia el occidente de la ciudad, aunque la zona suroccidental también se encuentra influenciada por las concentraciones provenientes de las regiones aledañas a la ciudad.

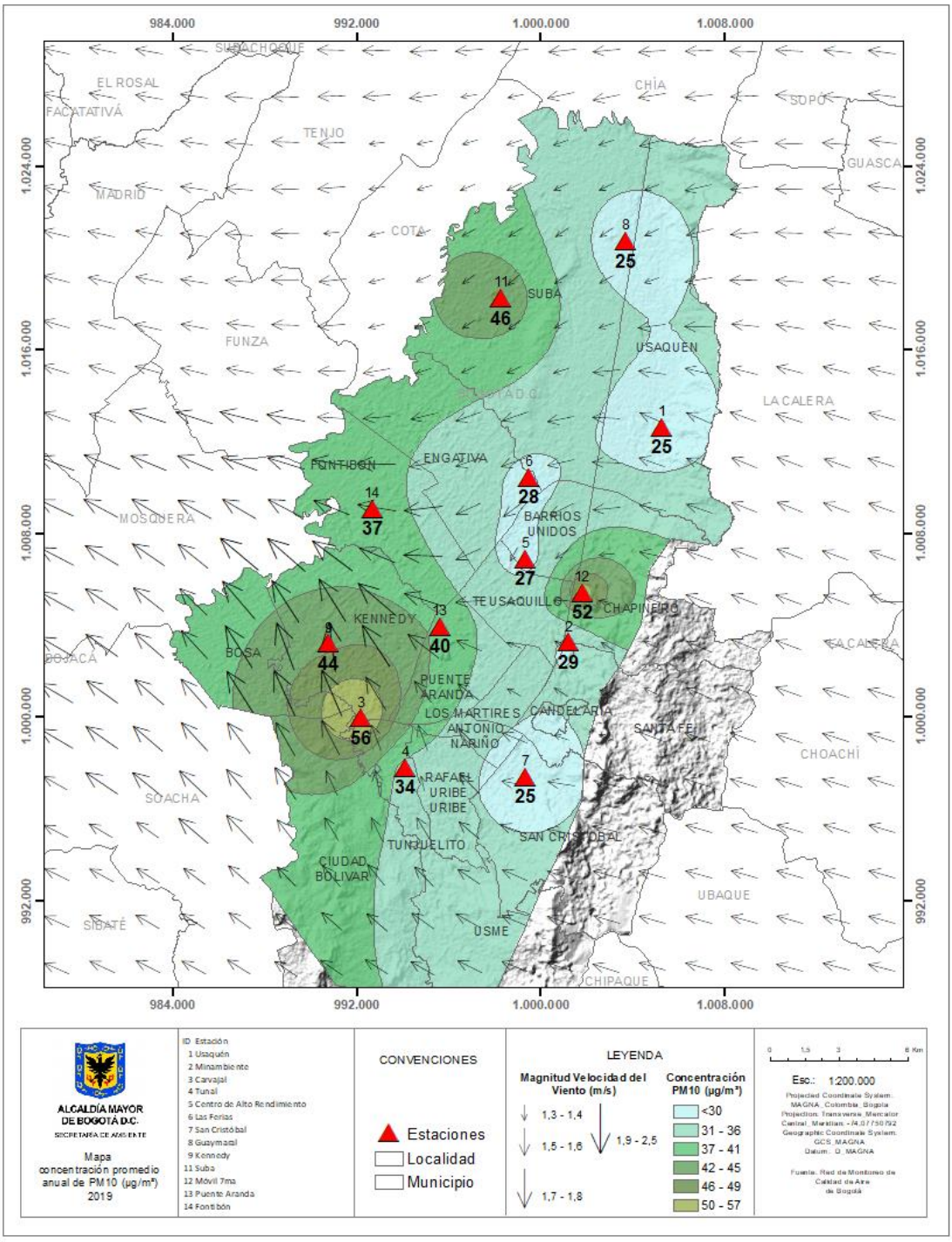


Figura 6-1. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging

6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

La Figura 6-2 muestra el comportamiento de las concentraciones mensuales de PM_{10} por cada estación de monitoreo. Se observa que hay dos picos de concentración, el mayor entre los meses de febrero y marzo, y el segundo en los meses de octubre y noviembre. El pico del primer trimestre es más alto en las estaciones del suroccidente de la ciudad, con lo cual se observa que en esta zona son más desfavorables las condiciones de calidad del aire para dicho periodo.

El comportamiento del PM_{10} está ligado a las variaciones en la meteorología de cada mes del año, el primer trimestre se caracteriza por ser un periodo seco, por lo cual hay reducción en la velocidad de los vientos y mayor frecuencia de inversiones térmicas; en el segundo trimestre inicia la temporada de lluvias, por lo que se favorece de cierto modo la disminución de concentraciones; la segunda temporada seca coincide con los meses de septiembre y octubre, en los que aumentan nuevamente las concentraciones, y descienden nuevamente en diciembre, por la reducción de la actividad de varias fuentes de emisión.

En la Figura 6-3 se evidencia el comportamiento del contaminante PM_{10} durante una semana y un día típico del año para cada estación de monitoreo. Durante la semana, las concentraciones van en aumento con el paso de los días, desde el lunes hasta el jueves, cuando se ha acumulado la contaminación emitida durante los días hábiles, en la mayoría de las estaciones disminuye en el fin de semana, dado que no todas las fuentes de emisión se encuentran en funcionamiento, y la hora de inicio de actividad es posterior a la hora de inicio en días hábiles.

Durante un día típico, las concentraciones son bajas en la madrugada, y se incrementan rápidamente hasta alcanzar el pico entre las 7 y las 8 de la mañana, debido al inicio de la actividad de las fuentes de emisión, principalmente asociada al tránsito de vehículos en las vías de la ciudad. Debido a que la diferencia de temperatura entre el día y la noche en la superficie es mayor en horas de la mañana, la dispersión de contaminantes es baja, sin embargo, conforme avanza el día, la temperatura en superficie aumenta, lo cual favorece la velocidad del viento, y la dispersión de contaminantes durante el resto del día. En horas de la tarde se observa un ligero aumento de concentraciones, asociado a la actividad vehicular al final de la jornada laboral.

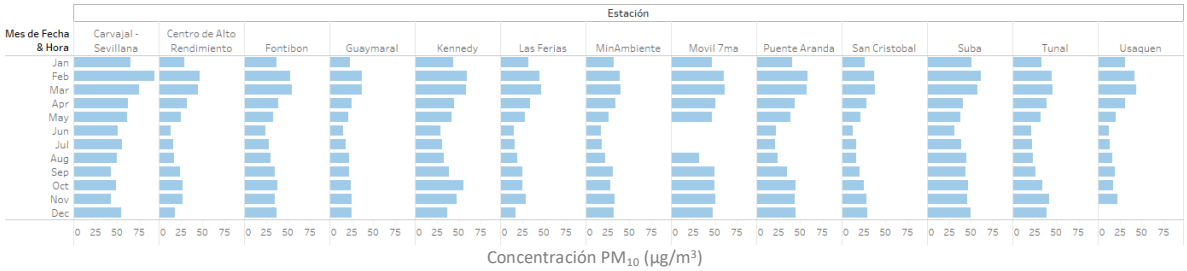


Figura 6-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación. Año 2019

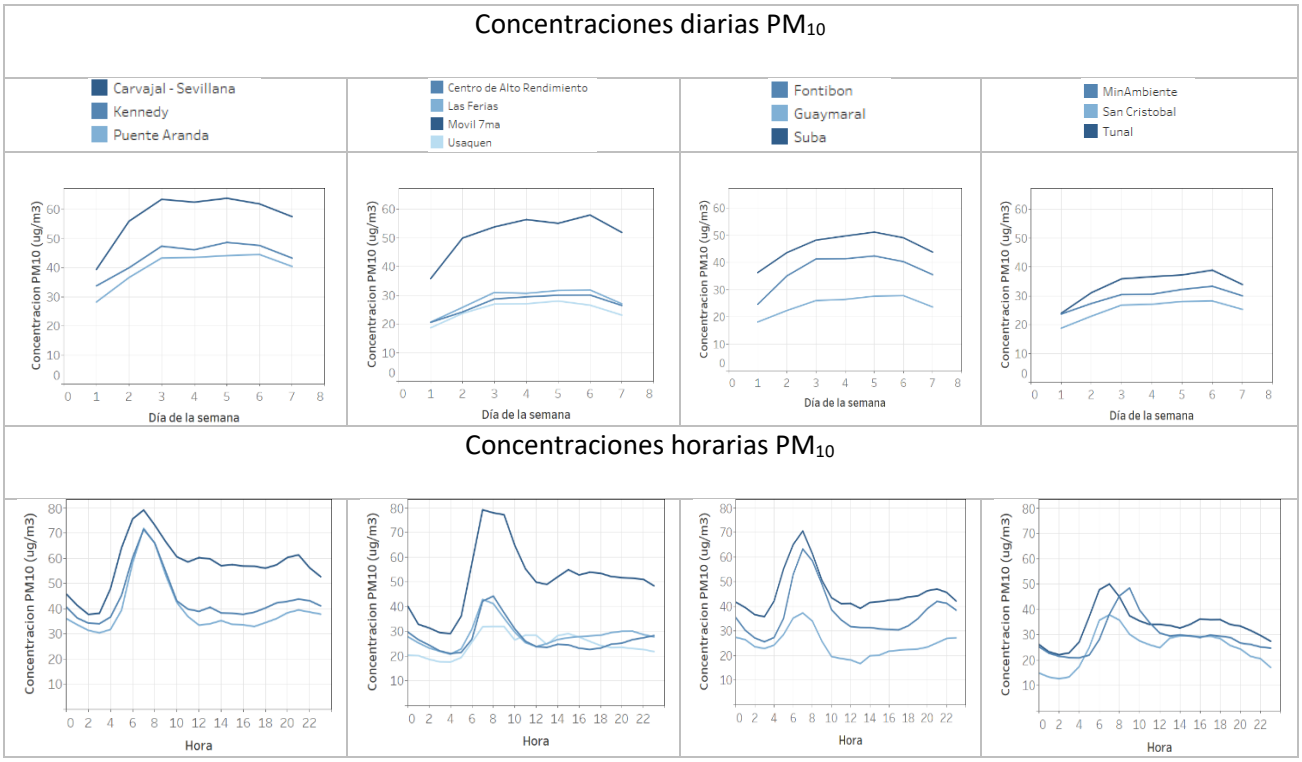


Figura 6-3. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de PM_{10} en el 2019

6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM_{10} POR ESTACIÓN

Los promedios anuales de concentración de PM_{10} se muestran en la Figura 6-4. Se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, pasando de tres estaciones que excedieron la norma en 2015 a una sola en 2019, aunque la estación Carvajal-Sevillana ha excedido la norma los últimos cinco años. El registro anual más alto de PM_{10} de los últimos cinco años se presentó en Carvajal-Sevillana en el año 2015 (87 µg/m^3), y el más bajo en las estaciones San Cristóbal, Guaymaral y Usaquén en el año 2019 (25 µg/m^3).

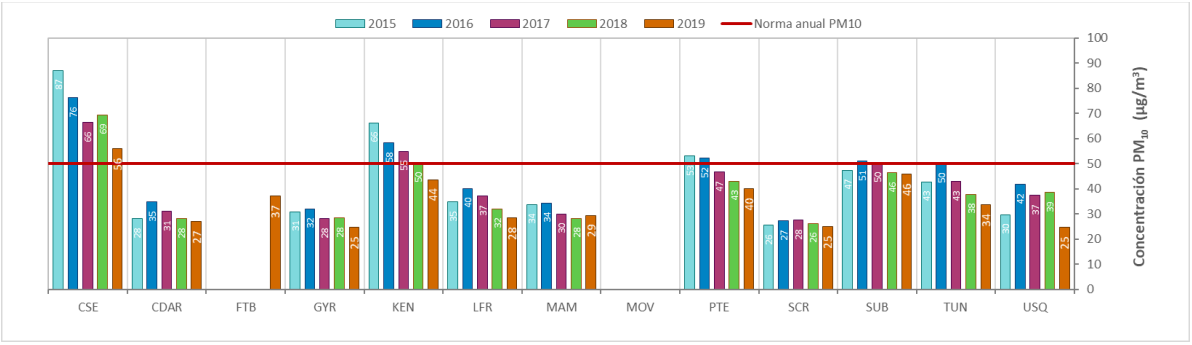


Figura 6-4. Concentraciones anuales de PM_{10} años 2015 a 2019

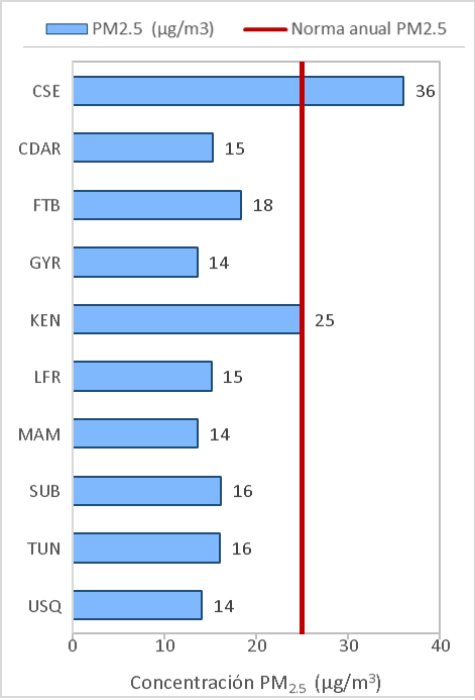
6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$)

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es inferior a 2.5 µm, compuestas de diferentes sustancias tales como metales pesados u hollín, las cuales provienen de todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales. Para el año 2019, diez (10) estaciones reportaron datos de $PM_{2.5}$ con una representatividad temporal mayor al 75%, la estación Móvil 7ma tuvo un porcentaje de datos válidos menor al 75%, debido a fallas en el suministro eléctrico, y los monitores de $PM_{2.5}$ de las estaciones Puente Aranda y San Cristóbal fueron sustituidos por equipos actualizados en el tercer trimestre del año, por lo cual no se tuvo registro del parámetro durante algunos días por el proceso de instalación de los nuevos monitores.

6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-2 se relacionan los promedios anuales de $PM_{2.5}$ registrados en el año 2019, los valores máximos, porcentaje de datos válidos y excedencias al nivel máximo permisible en resolución temporal diaria. Las concentraciones más altas corresponden a las estaciones del suroccidente de la ciudad, Carvajal-Sevillana y Kennedy, registrando una excedencia a la norma anual en la primera estación. Carvajal-Sevillana también registró el mayor número de excedencias diarias, con lo cual el 40% del año la concentración diaria superó los 37 µg/m^3 permitidos. El promedio anual más bajo fue de 14.1, en la estación Usaquén.

Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual $PM_{2.5}$ (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m^3)	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m^3 Norma diaria: 37 µg/m^3				
CSE	36.1	96%	78.5	149
CDAR	15.3	100%	59.0	6
FTB	18.4	98%	46.3	7
GYR	13.6	98%	53.4	3
KEN	25.1	98%	66.9	44
LFR	15.1	94%	59.0	5
MAM	13.7	98%	52.7	4
MOV*	28.3	72%	73.1	64
PTE*	18.1	73%	50.5	4
SCR*	11.9	68%	50.0	2
SUB	16.2	98%	56.5	5
TUN	16.0	97%	50.8	11
USQ	14.1	99%	50.6	6

La Figura 6-5 muestra la representación de la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de $PM_{2.5}$, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Según

esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental, en donde confluyen las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con concentraciones mayores a 34 µg/m^3. Las concentraciones más bajas se registraron al suroriente y nororiente de la ciudad. Debido al régimen de vientos predominante durante el año, las concentraciones se acumulan en mayor medida en la zona suroccidente, por influencia de la densidad de fuentes de emisión, y los aportes externos de contaminación.

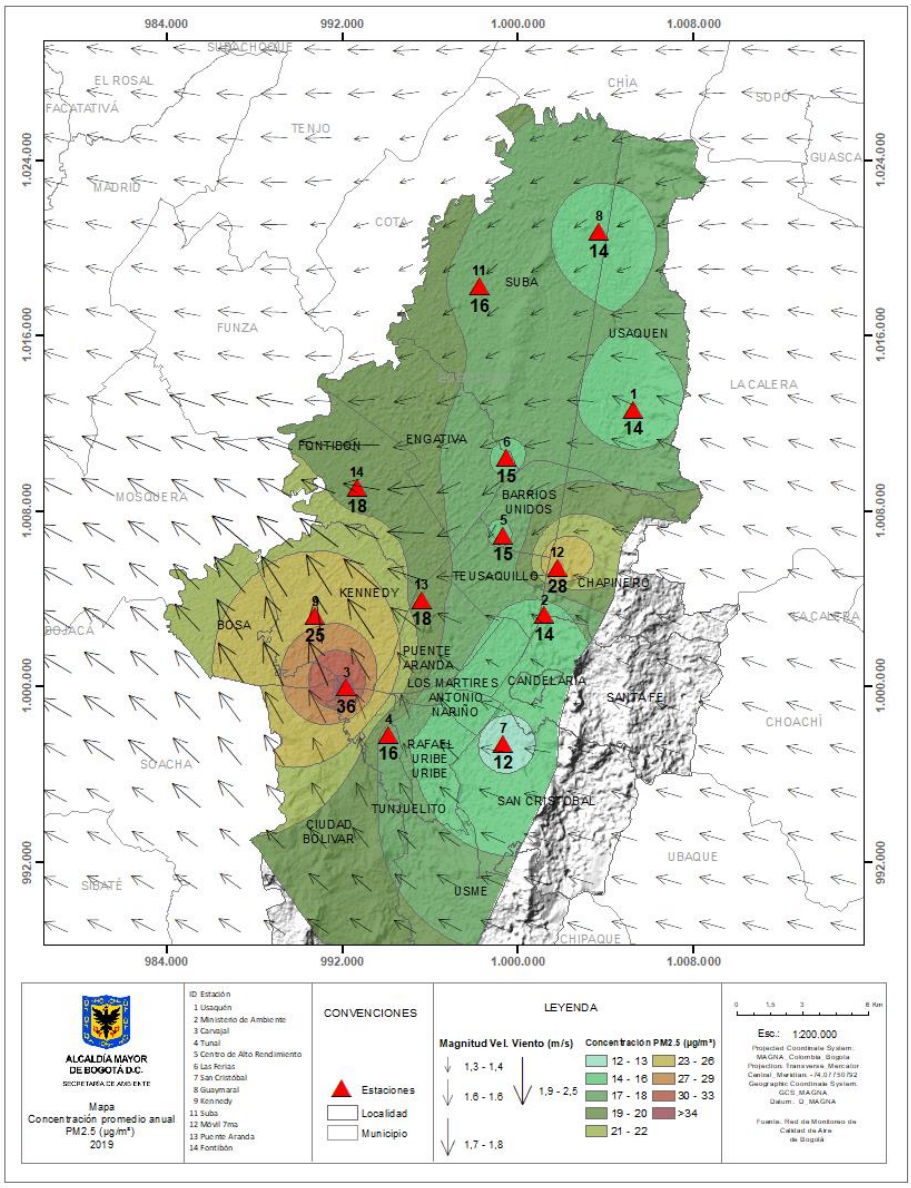


Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging

6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

Las concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$, al igual que las de PM_{10}, se encuentran influenciadas por los cambios en las variables meteorológicas durante el año. En el 2019, la época más crítica de contaminación por $PM_{2.5}$ fue en el primer trimestre del año, ya que la época seca contribuyó al aumento de los incendios forestales, los cuales aportaron material particulado a la ciudad, transportado por vientos provenientes del oriente del país. Durante el resto del año en general las condiciones de calidad del aire fueron mejores, aunque se registró un aumento en el mes de octubre en algunas estaciones, por la segunda temporada seca del país.

El comportamiento de una semana promedio y un día promedio se encuentra representado en las gráficas de la Figura 6-7. En la semana se observa que las concentraciones son bajas el día lunes, y se incrementan gradualmente hasta alcanzar el pico los días jueves y viernes, y descienden durante el fin de semana. La actividad de las fuentes de emisión durante los días hábiles son los que influyen en el aumento de las concentraciones, dada la acumulación de contaminantes en la atmósfera por las emisiones constantes a lo largo de la semana.

En un día promedio, las concentraciones son bajas en horas de la madrugada, y se incrementan notablemente entre las 6 y 8 de la mañana, con picos más evidentes en las estaciones Carvajal-Sevillana y Móvil 7ma. Luego descienden las concentraciones hasta el mediodía, y nuevamente se incrementan hacia las 6 de la tarde, aunque en la zona suroccidental el pico se registra entre las 8 y 9 de la noche, debido a que la afluencia de transporte se mantiene en la noche ya que recorre más distancia desde el centro de la ciudad.

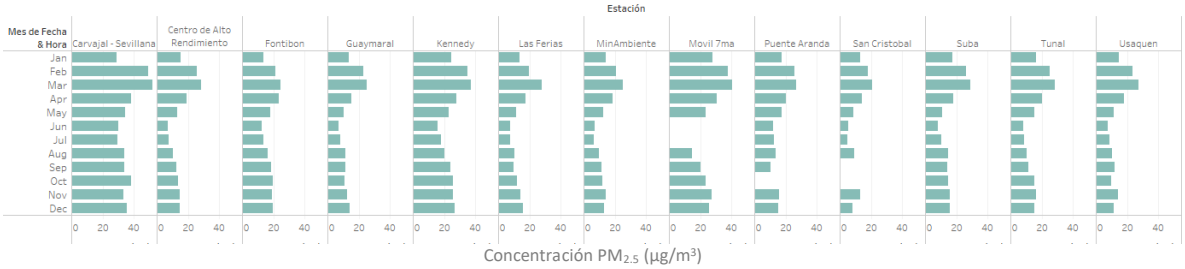
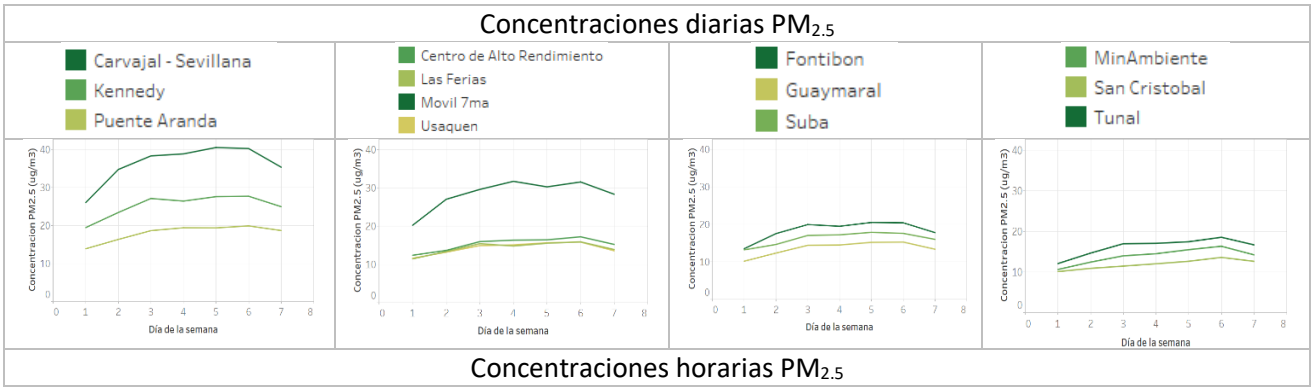


Figura 6-6. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación. Año 2019



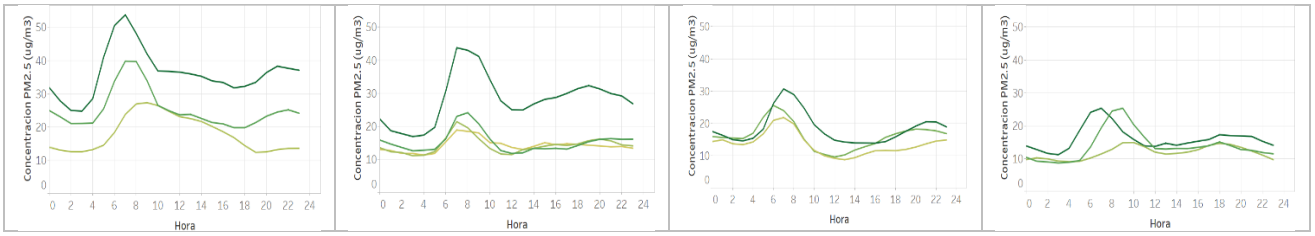


Figura 6-7. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el 2019

6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

De acuerdo a la Figura 6-8, se observa que en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Centro de Alto Rendimiento aumentaron las concentraciones en relación a los datos de años anteriores. Sin embargo, la concentración del 2019 en la estación Carvajal-Sevillana es la más alta en la ciudad para los últimos cinco años además de que se ha excedido la norma anual durante todo este periodo. Aunque las concentraciones de PM_{10} tienden a disminuir, en la zona suroccidental las concentraciones de $PM_{2.5}$ se han mantenido o incluso aumentado, por lo cual puede inferirse que hay un aumento de la influencia de las emisiones de fuentes de combustión, del transporte regional en las zonas aledañas a la ciudad y por el incremento de los incendios forestales especialmente en la región oriental del país.

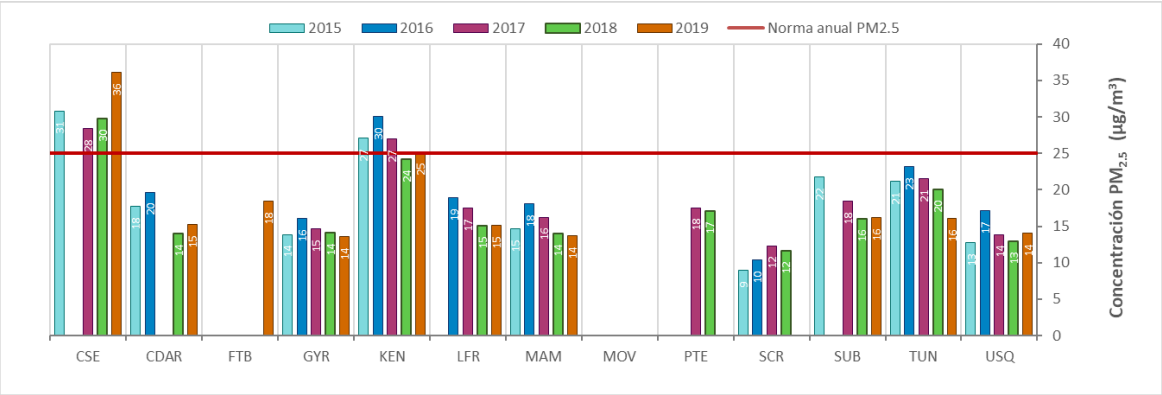


Figura 6-8. Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2015 a 2019

6.3. OZONO (O_3)

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas (tropósfera) de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, sino que es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos

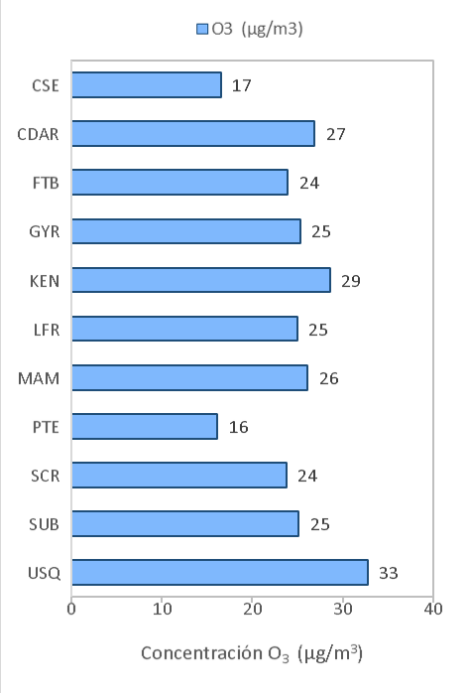
precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE O_3 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 contiene los promedios anuales de concentración de ozono para el año 2019, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, el porcentaje de datos válidos, valores máximos y número de excedencias a la norma. Solamente el sensor de O_3 de la estación Tunal tuvo un porcentaje de datos válidos menor al 75%, debido a que no se registraron datos desde el mes de septiembre, pues el equipo tuvo que suspender su funcionamiento debido a sobrecalentamiento, por daño en el aire acondicionado.

La estación Usaquén, ubicada al norte de la ciudad, registró el promedio anual más alto, con 33 µg/m^3, mientras que la concentración más baja se obtuvo en la estación Puente Aranda, al suroccidente de la ciudad, con 16 µg/m^3. La estación MinAmbiente registró el mayor número de excedencias a la norma 8 horas, con 58 datos.

Tabla 6-3. Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual O_3 (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m^3)	No. Exced. 8h
Norma media móvil 8 horas: 100 µg/m^3				
CSE	17	89%	69	0
CDAR	27	99%	95	0
FTB	24	84%	103	2
GYR	25	96%	105	7
KEN	29	94%	111	10
LFR	25	96%	102	3
MAM	26	90%	180	58
PTE	16	99%	73	0
SCR	24	88%	72	0
SUB	25	96%	103	2
TUN*	21	74%	74	0
USQ	33	97%	96	0

La Figura 6-9 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de O_3 registradas durante el 2019, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. La zona de influencia de la estación Usaquén, al nororiente de la ciudad, registra las concentraciones más altas, como se ha observado históricamente. En el resto del norte de la ciudad, y en la zona oriental, se registran concentraciones un poco más bajas, entre 25 y 28 µg/m^3. Sin embargo, la estación Kennedy registró altas concentraciones en relación a su ubicación, teniendo

un aumento notable en los últimos meses del año, por un posible aumento de compuestos precursores de ozono en la zona de influencia de la estación.

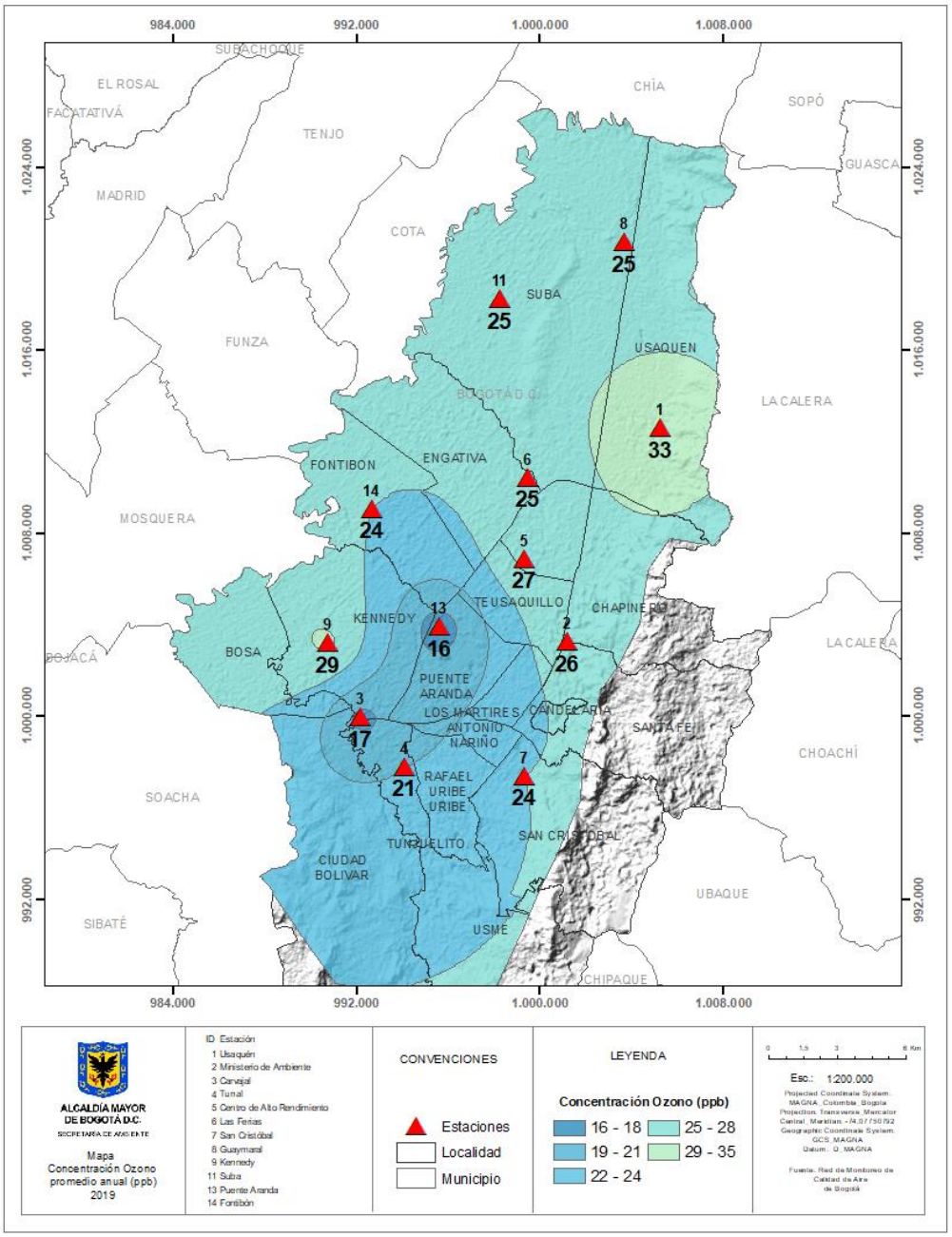


Figura 6-9. Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging

6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN

El comportamiento del O_3 a través de los meses del año se observa en la Figura 6-10. La estación Usaquén registró las concentraciones más altas en la ciudad durante los meses de febrero y marzo, mientras que las concentraciones más bajas se evidenciaron en los meses de junio y julio en la estación Carvajal-Sevillana. En el segundo semestre del año se registraron algunos picos entre agosto y septiembre en estaciones del norte y el centro de la ciudad, pero más bajos que los del primer trimestre del año.

El comportamiento de ozono de una semana promedio (Figura 6-11) inicia con altas concentraciones durante el lunes, y desciende hasta el miércoles. Hay un ligero aumento el jueves, y una disminución hacia el sábado, con aumento gradual del domingo. Debido a que el O_3 es un contaminante secundario, las variaciones en concentración están determinadas por las concentraciones y la magnitud de los factores precursores de O_3, tales como la variación de la radiación solar durante el año, que predomina en las temporadas secas, o los cambios en las concentraciones de NO_2 y COV.

En la Figura 6-11 también se observa el comportamiento del O_3 en un día promedio del año 2019. Los niveles de concentración se hallan influenciados por la variación de la radiación solar durante el día, registrando los picos más altos hacia la 1 PM. En la mañana las concentraciones son bajas, y descienden hacia las 6 AM, por influencia en el aumento de las concentraciones de NO_2, aumentan hasta el pico después de mediodía, y descienden nuevamente tras la reducción de la radiación solar.

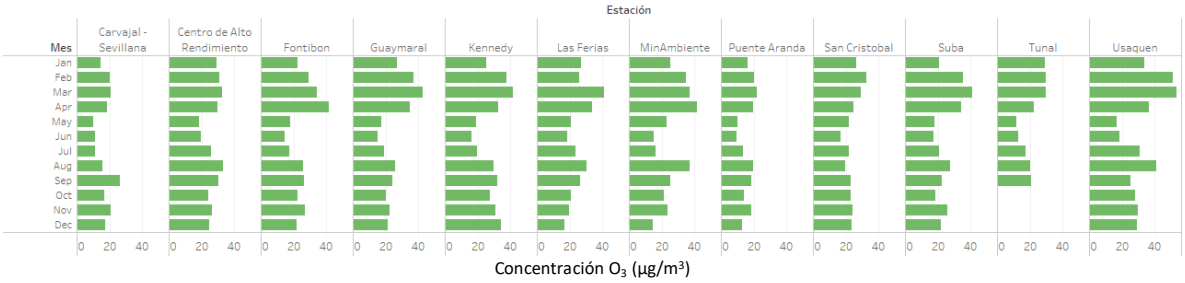
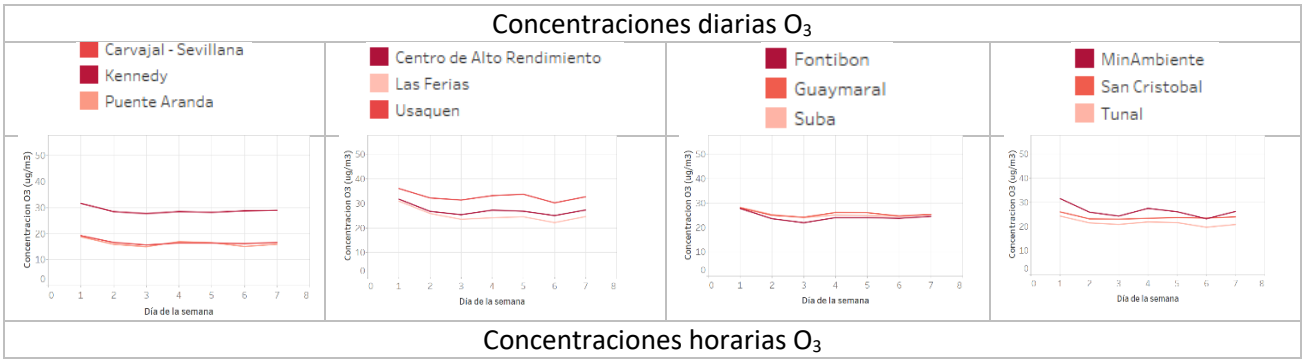


Figura 6-10. Concentraciones mensuales de O_3 por estación. Año 2019



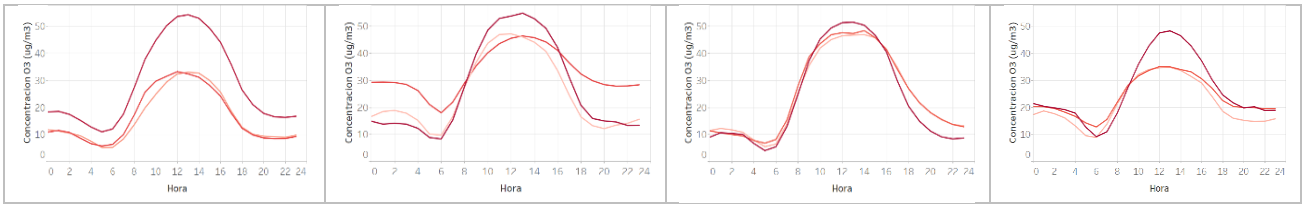


Figura 6-11. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de O_3 en el 2019

6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O_3 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-12 se observan las concentraciones anuales de O_3 de los últimos cinco años. La estación Usaquén ha registrado las concentraciones más altas de la ciudad, y ha registrado un aumento gradual desde el 2017. En general las concentraciones de 2019 se mantienen o han aumentado en relación a las concentraciones registradas en años anteriores, posiblemente por el aumento de la temperatura y la radiación solar en temporada seca. La concentración más alta desde el 2015 se registró en Usaquén, con 47 µg/m^3.

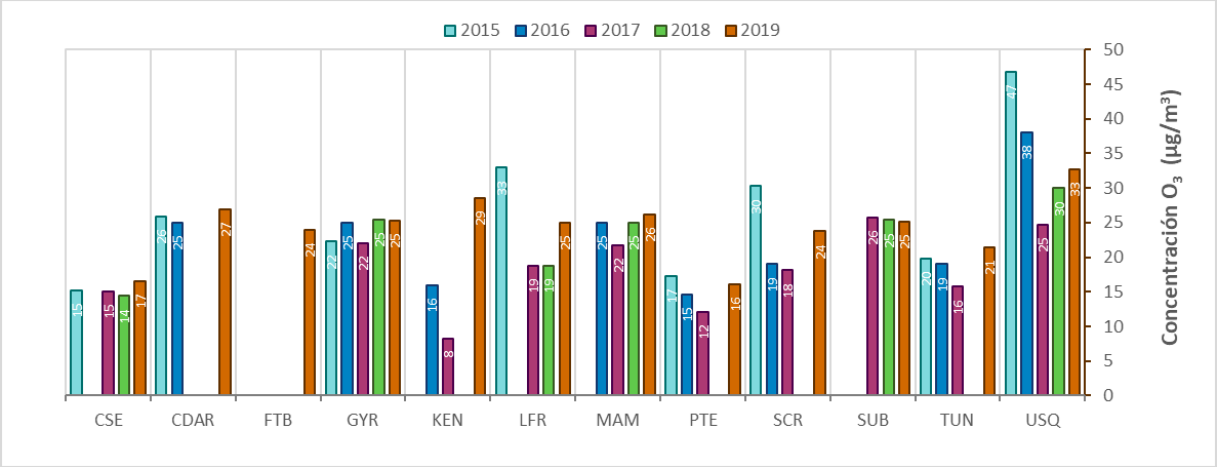


Figura 6-12. Concentraciones anuales de O_3 años 2015 a 2019

6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2)

El NO_2 es uno de los gases de los óxidos de nitrógeno. Es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias, además de contribuir a la formación del smog fotoquímico.

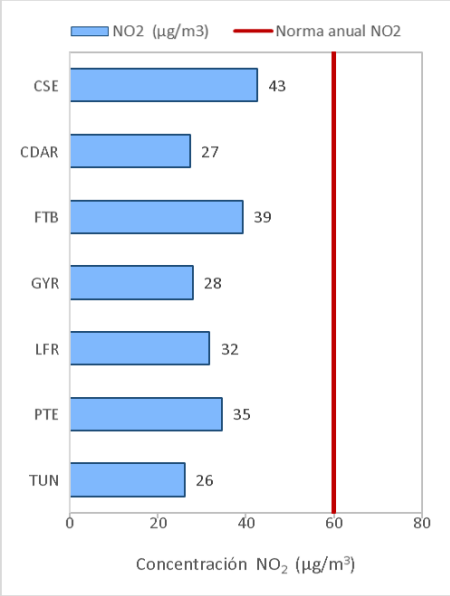
6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-4 resume los parámetros calculados de concentraciones promedio anuales de NO_2 para el año 2019, porcentaje de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma horaria. Solamente el sensor de NO_2 de la estación Kennedy reportó datos en un porcentaje menor al 75%, con datos intermitentes entre abril y junio, debido a que el equipo estuvo en

mantenimiento y se realizó el cambio de la bomba de muestra, por lo que se invalidaron algunos datos hasta que se estabilizaron las mediciones.

La estación Carvajal-Sevillana registró la concentración más alta de NO_2 en 2019, con 43 µg/m^3, en la zona suroccidente, mientras que la estación Tunal registró la concentración más baja, con 26 µg/m^3. No se presentaron excedencias con respecto a la norma horaria durante el 2019.

Tabla 6-4. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual NO_2 (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m^3)	No. Exced. 1h
Norma anual: 60 µg/m^3 Norma horaria: 200 µg/m^3				
CSE	43	88%	146	0
CDAR	27	98%	117	0
FTB	39	88%	121	0
GYR	28	95%	151	0
KEN*	38	72%	151	0
LFR	32	99%	130	0
PTE	35	97%	164	0
TUN	26	83%	157	0

6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN

La Figura 6-13 muestra las concentraciones mensuales de NO2 en el año 2019. Se evidencia que las concentraciones más elevadas predominan en los meses de marzo y abril, se reducen a mitad de año, y se incrementan nuevamente entre septiembre y octubre. La variación en las concentraciones de NO_2 coincide con las épocas de alta concentración de material particulado, dado que el impacto de las emisiones provenientes de procesos de combustión es más notable en temporada seca, ya que se disminuye la capacidad de dispersión de las concentraciones.

El comportamiento del NO_2 de una semana promedio en el año 2019 se representa en la Figura 6-14. Las concentraciones son más bajas el lunes, y se incrementan gradualmente el miércoles, luego disminuyen en los días siguientes, hasta el sábado cuando se presentan las concentraciones más altas de la semana. El aumento de la concentración en días hábiles puede estar influenciado por la acumulación de contaminación durante la semana, además de las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera. En el sábado no hay restricciones de movilidad, por lo cual se pueden evidenciar incrementos en las concentraciones por emisiones asociadas a fuentes móviles.

En la misma figura se observa el comportamiento del ciclo horario de las concentraciones de NO_2 para el 2019. Se detallan dos picos de concentración durante el día, uno en la mañana hacia las 7 AM, y uno en la tarde hacia las 8 PM. En la estación Las Ferias el pico de la tarde es más alto que el

pico de la mañana, posiblemente asociado al aumento en el tráfico en horas de la tarde sobre corredores principales del occidente, tales como Calle 80 o Avenida Boyacá.

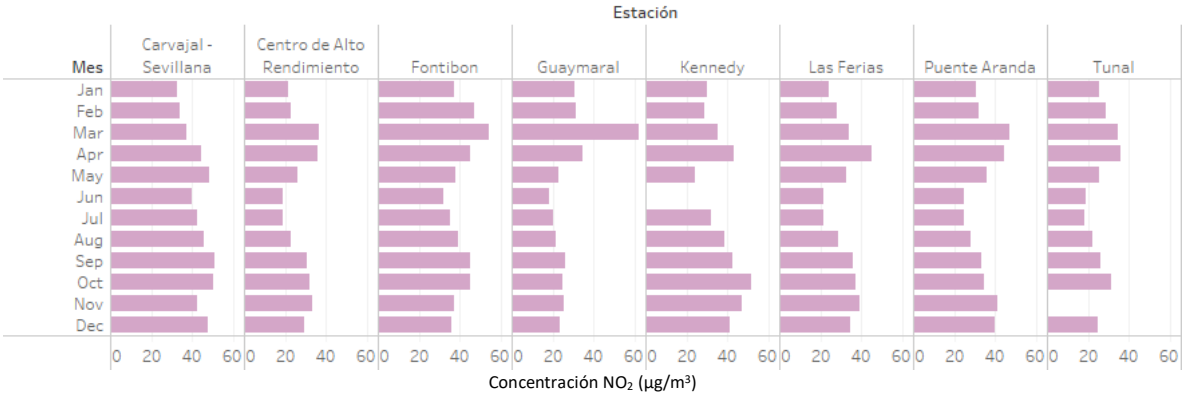


Figura 6-13. Concentraciones mensuales de NO_2 por estación. Año 2019

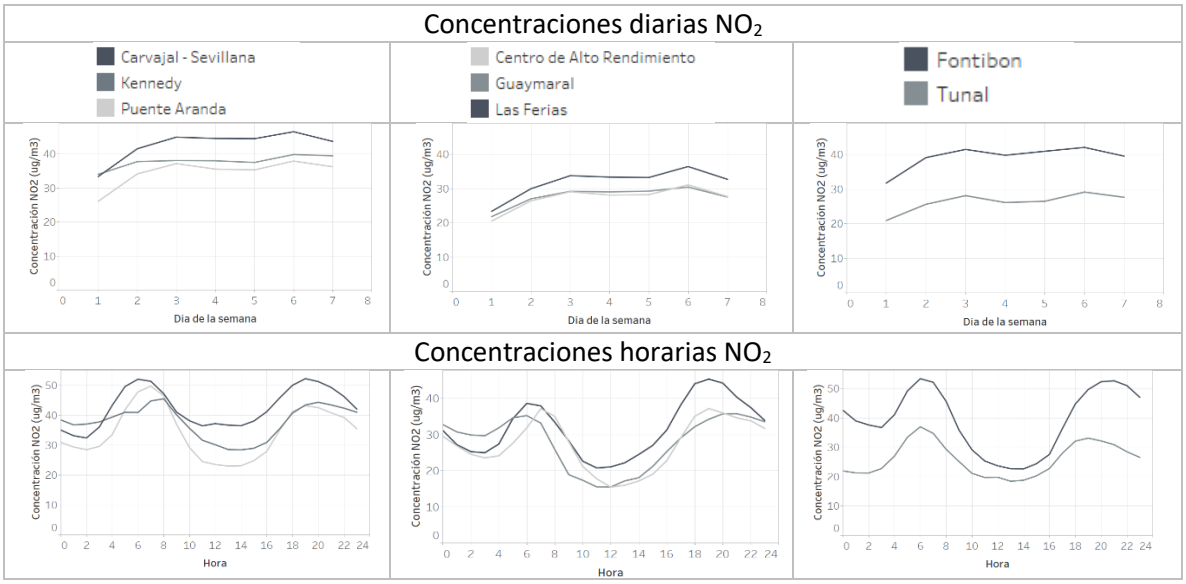


Figura 6-14. Comportamiento semanal y horario de las concentraciones de NO_2 en el 2019

6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO_2 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-15 se representan las concentraciones promedio anual de NO_2 de los años 2015 a 2019. Se observa que las concentraciones del año 2019 se redujeron levemente en relación a las concentraciones registradas en años anteriores. Las concentraciones más altas se han registrado en la estación Carvajal-Sevillana, y el valor más alto corresponde a 53 µg/m^3, para el año 2015. A partir de 2018 la norma anual se hizo más estricta, sin embargo, ninguna estación ha sobrepasado en los últimos cinco años el límite de 60 µg/m^3.

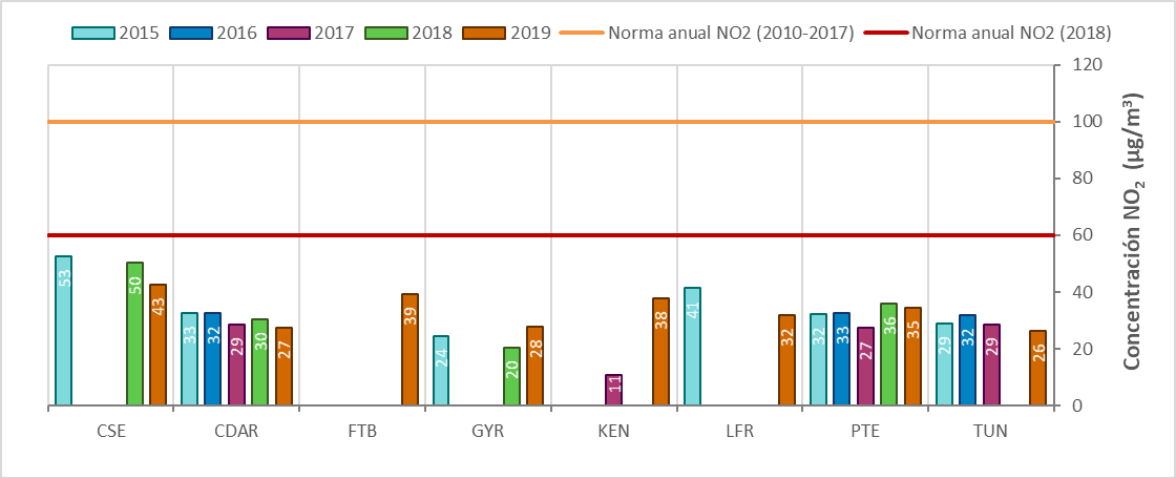


Figura 6-15. Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2015 a 2019

6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2)

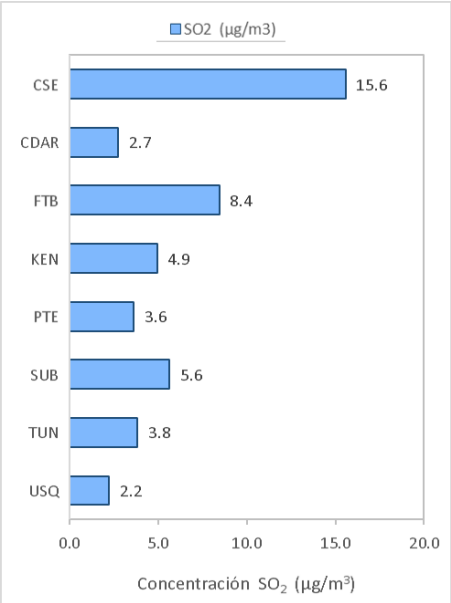
El SO_2 es un contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. La exposición permanente a este contaminante puede producir problemas respiratorios.

6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE SO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-5 muestra las concentraciones promedio anual de SO_2 en el año 2019, concentraciones máximas, datos válidos y excedencias. La estación Móvil 7ma es la única que registró un porcentaje de datos menor al 75%, puesto que el sensor de SO_2 suspendió su funcionamiento desde el mes de junio, debido a que requería mantenimiento por registrar varios datos atípicos.

La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio anual más alto en 2019, con 15.6 µg/m^3, en la zona suroccidente, mientras que en la zona norte la estación Usaquén tuvo el valor más bajo, con 2.2 µg/m^3. Este comportamiento se debe a que en el suroccidente circula una flota vehicular con mayor uso del diesel, tanto transporte de carga como transporte público, por lo cual se observa una mayor incidencia de este contaminante en la atmósfera. En el año 2019 no se registraron excedencias a la norma 24 horas, pero si se registraron en total 18 excedencias a la norma horaria, de las cuales 14 se obtuvieron en la estación Carvajal-Sevillana.

Tabla 6-5. Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual SO_2 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m³)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 37 µg/m³ Norma horaria: 100 µg/m³					
CSE	15.6	79%	46.2	0	14
CDAR	2.7	89%	7.8	0	0
FTB	8.4	85%	31.3	0	3
KEN	4.9	100%	17.2	0	0
MOV*	4.3	41%	8.0	0	0
PTE	3.6	99%	13.2	0	0
SUB	5.6	98%	22.5	0	1
TUN	3.8	84%	10.9	0	0
USQ	2.2	91%	7.2	0	0

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-16 se encuentran representados los promedios mensuales de concentración de SO_2 por estación. Las concentraciones en la ciudad son relativamente bajas, a excepción de las registradas en Carvajal-Sevillana y Fontibón, que registran los niveles más altos de SO_2 en la ciudad, especialmente en el periodo entre febrero y abril. En el suroccidente, las concentraciones se elevaron nuevamente en julio, y empezaron a descender gradualmente hasta noviembre. En Fontibón, las concentraciones más bajas se registraron de junio a agosto, y se incrementaron en los siguientes meses.

El comportamiento del SO_2 de una semana promedio en el 2019, se muestra en la Figura 6-17. En la mayoría de las estaciones las concentraciones son estables a lo largo de la semana, en las estaciones Carvajal-Sevillana y Fontibón hay aumentos hacia la mitad de la semana y en los días viernes y sábado, y las concentraciones más bajas se observan los domingos. El comportamiento se ve influenciado por la actividad de las fuentes de emisión en la semana, y en fin de semana ya que hay aumento de tráfico en algunos sectores, por la salida de vehículos de la ciudad.

En la misma figura también se observan las concentraciones en un día promedio. Las concentraciones más bajas se registran en la madrugada, y aumentan sucesivamente hasta alcanzar un pico en la mañana, entre las 6 y 8 AM. En las estaciones Carvajal y Fontibón las concentraciones alcanzaron los 20 µg/m^3. Después de la mañana se reducen las concentraciones hacia el mediodía, alcanzando niveles similares a los de la madrugada. En la zona suroccidente hubo un nuevo aumento hacia las 8 PM, en la zona centro-oriental las concentraciones permanecen estables después de mediodía, y en la zona occidental las concentraciones son más bajas en el mediodía y la tarde, y tienden a aumentar después de las 7 PM.

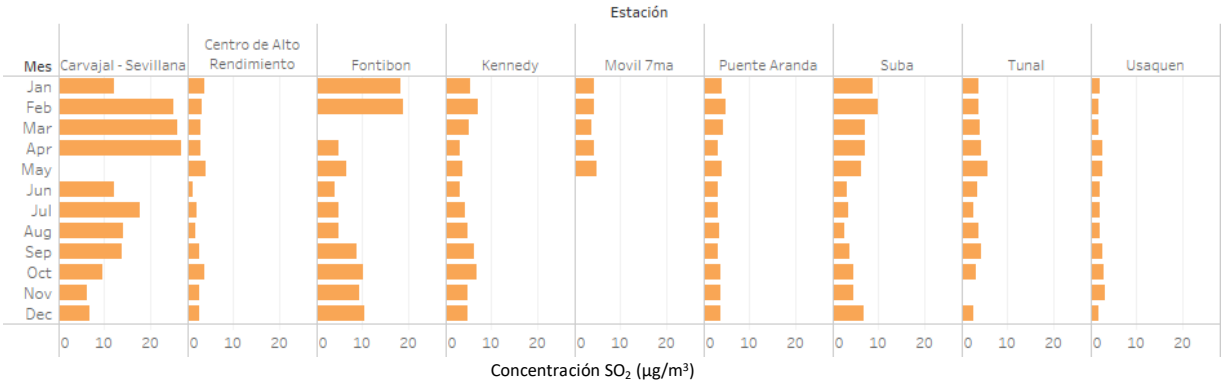


Figura 6-16. Concentraciones mensuales de SO_2 por estación. Año 2019

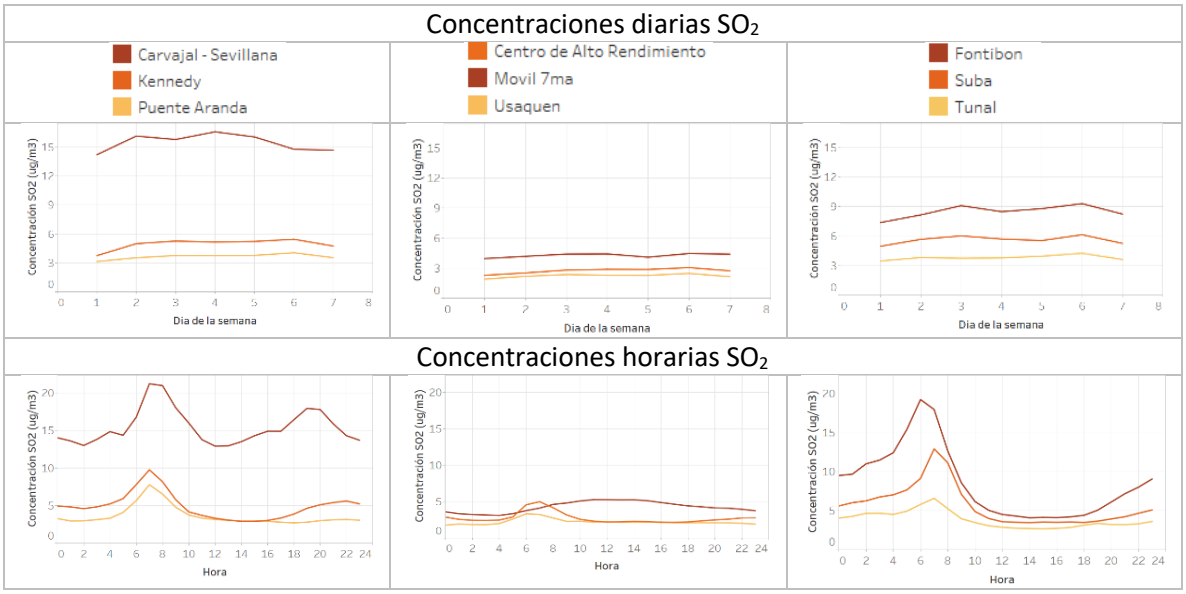


Figura 6-17. Comportamiento semanal y diario de las concentraciones de SO_2 en el 2019

6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO_2 POR ESTACIÓN

La Figura 6-18 representa las concentraciones promedio anual de SO_2 para los años 2015 a 2019, y la comparación con la norma anual establecida Resolución 610 de 2010 del MAVDT, vigente hasta el 31 de diciembre de 2017, ya que en la normatividad vigente no se definió nivel máximo permisible en resolución temporal anual. De acuerdo a esta norma se observa que las concentraciones han permanecido en niveles bastante bajos, y no se han registrado excedencias en los últimos cinco años.

Las concentraciones más altas se han registrado en la estación Carvajal-Sevillana, en 2017 y 2019. En las demás estaciones los promedios no sobrepasan los 8 µg/m^3, aunque en las estaciones Puente Aranda y Suba se han registrado aumentos en las concentraciones con el paso de los años, posiblemente por el aumento de la flota vehicular que circula en la zona occidental de la ciudad.

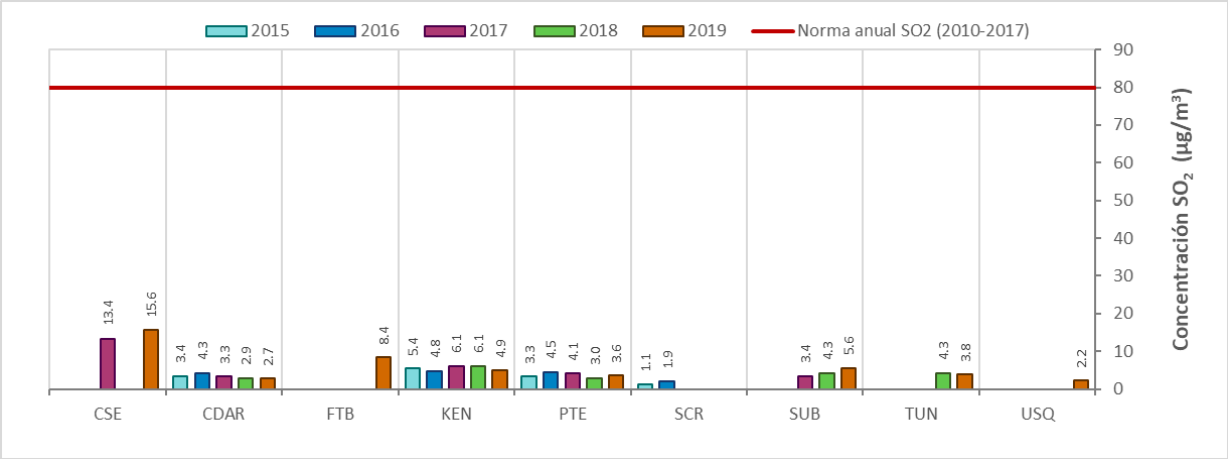


Figura 6-18. Concentraciones anuales de SO_2 años 2015 a 2019

6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

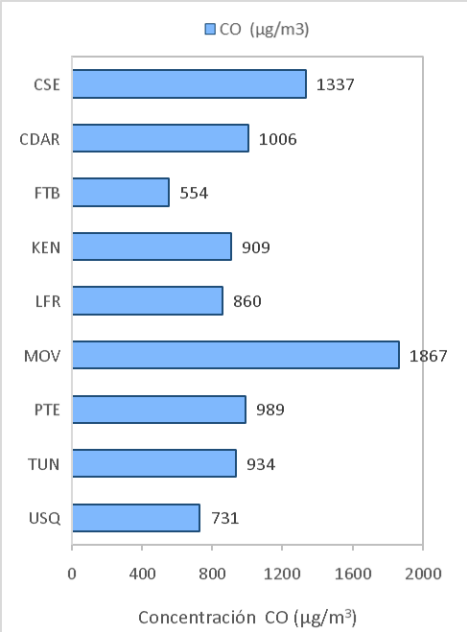
El CO es un gas inflamable, inodoro, incoloro e insípido. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre. Una proporción del CO es emitida directamente por la naturaleza, y otra parte proviene de emisiones antropogénicas, por parte de procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles (petróleo, carbón, entre otros).

6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE CO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-6 muestra las estadísticas de las concentraciones promedio anual calculadas con base en los datos media móvil 8 horas registrados durante el año 2019, incluyendo los porcentajes de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma 8 horas. Todas las estaciones que monitorearon el contaminante durante el año 2019 registraron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%.

La estación Móvil 7ma, ubicada al centro-oriente de la ciudad, registró la concentración más alta para el 2019, con 1866.6 µg/m^3, mientras que la estación Fontibón, al occidente de la ciudad registró la concentración más baja, con 554.3 µg/m^3. Se observa que las estaciones ubicadas cerca de las vías principales más transitadas de la ciudad, son las que registran los niveles más altos de CO, especialmente por influencia de la flota vehicular más antigua. Con respecto a los niveles máximos permisibles establecidos por la norma, durante el año 2019 no se registró ninguna excedencia de los datos horarios y media móvil 8 horas.

Tabla 6-6. Estadísticas de las concentraciones anuales de CO registradas en el año 2019



Est.	Promedio anual CO (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máxima 8 h (µg/m³)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 µg/m³ Norma horaria: 35000 µg/m³					
CSE	1336.9	96%	3291.6	0	0
CDAR	1005.9	93%	4279.1	0	0
FTB	554.3	97%	1932.0	0	0
KEN	908.5	100%	2733.4	0	0
LFR	859.7	99%	3305.9	0	0
MOV	1866.6	75%	4923.1	0	0
PTE	989.1	95%	3663.7	0	0
TUN	933.9	82%	2375.7	0	0
USQ	730.7	79%	2418.6	0	0

6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-19 muestra la representación de los promedios mensuales de concentración de CO en el año 2019. Las estaciones Las Ferias y Usaquén, en la zona norte de la ciudad, la estación Móvil 7ma en el centro-oriente y la estación Puente Aranda, en el centro-occidente, presentan un comportamiento con picos de concentración en los meses de abril y septiembre, asociadas a las temporadas secas, lo cual evidencia la influencia de las emisiones causadas por los incendios forestales en estas fechas para varias zonas de la ciudad. Las estaciones del sur de la ciudad, Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, no muestran un comportamiento claro durante el año, con periodos de concentración estable y aumentos en los últimos meses, posiblemente por aportes permanentes de emisiones por combustión incompleta en la zona y por fuentes ubicadas en las regiones aledañas.

El comportamiento de las concentraciones de CO para una semana promedio se encuentra representado en la Figura 6-20. Se observa que las concentraciones tienden a aumentar en el transcurso de la semana, iniciando con las menores concentraciones el lunes y aumentando gradualmente hasta el miércoles, hay un ligero descenso el viernes, y aumentan nuevamente el sábado. Este comportamiento está asociado a la actividad de las fuentes de emisión que usan combustibles fósiles, especialmente las fuentes móviles, cuya actividad se incrementa durante el día sábado, especialmente en la zona centro-oriental de la ciudad.

En un día promedio, las concentraciones de CO son más altas en la mañana entre las 6 y 8 AM, y durante el final de la tarde y la noche, entre las 5 y 10 PM; las concentraciones más bajas se registran alrededor del mediodía. En la zona suroccidente el pico de la mañana es mayor al de la noche,

alcanzando hasta los 2500 µg/m^3, mientras que en el resto de estaciones son de la misma magnitud. Este comportamiento también se encuentra influenciado por el aumento de la actividad de las fuentes móviles, en horas de la mañana y la tarde.

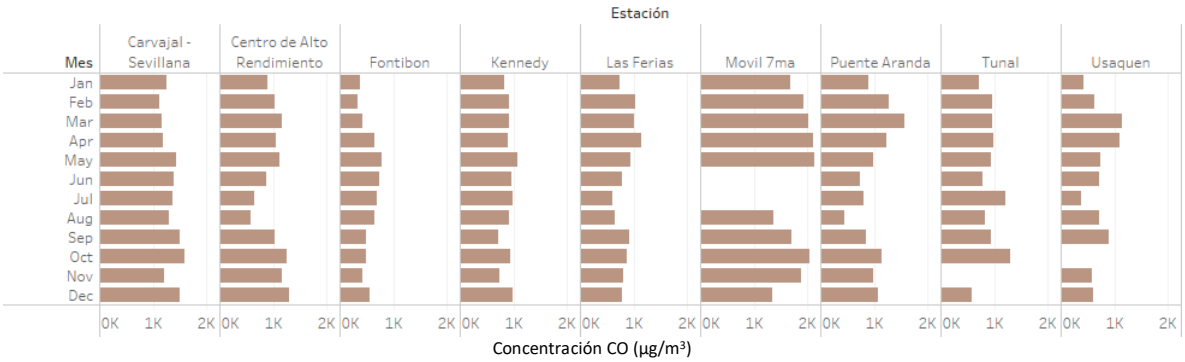


Figura 6-19. Concentraciones mensuales de CO por estación. Año 2019

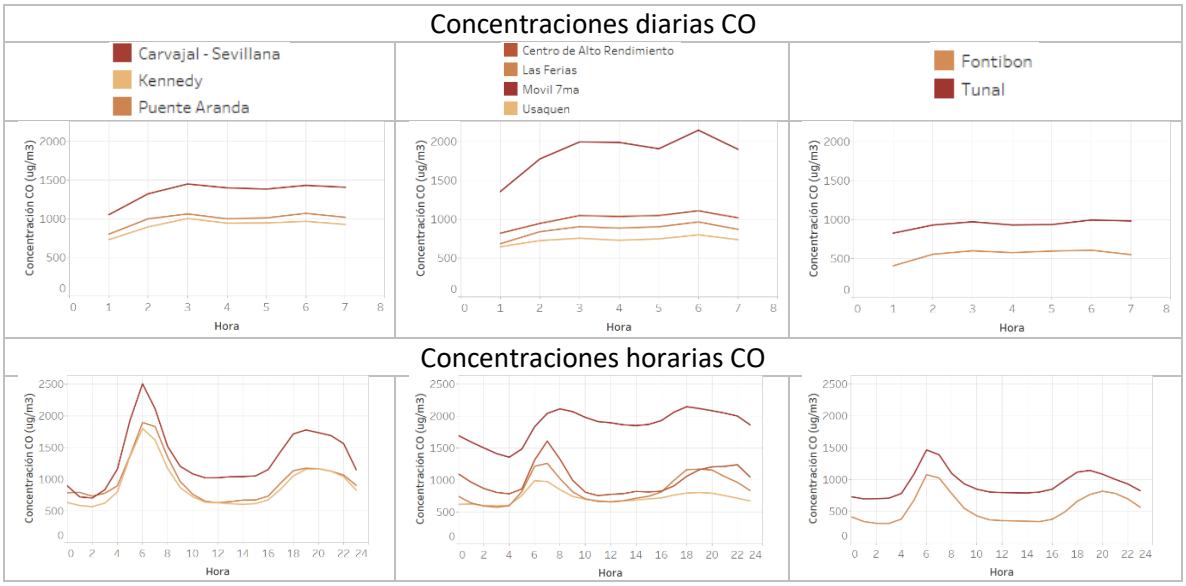


Figura 6-20. Comportamiento semana y día promedio de las concentraciones de CO en el 2019

6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-21 representa las concentraciones promedio anual de CO para los años 2015 a 2019. Se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Tunal y Usaquén las concentraciones registradas en 2019 son mayores a las de años anteriores, siendo el mayor aumento el registrado en Usaquén con 193 µg/m^3, con esto se observa la evidencia del aumento de incendios forestales con el paso del tiempo, pues las temporadas secas se han intensificado en los últimos años. Aunque la estación Carvajal-Sevillana ha registrado las concentraciones más altas de los últimos cinco años, la concentración obtenida en la estación Móvil 7ma fue la más alta de este periodo.

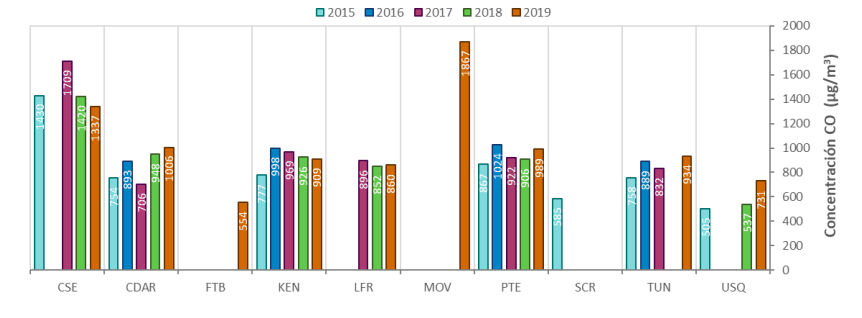


Figura 6-21. Concentraciones anuales de CO años 2015 a 2019

7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON

El Black Carbon (BC) es un componente de partículas finas, el cual está formado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, especialmente diésel, así como de emisiones industriales, domésticas y por quema de biomasa. El reporte de estos datos se realiza en dos longitudes de onda; la primera proporciona una medida del "componente UV", es decir, para medir concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) del aerosol proveniente de la quema directa de biomasa, ya sea por la ocurrencia de incendios forestales, así como de la combustión de madera y carbono para la calefacción doméstica y la liberación biogénica de materia húmica, restos vegetales y de hongos. La segunda proporciona la concentración de Black Carbon (BC) total, es decir, el producto de diversas fuentes como bioaerosoles y quema incompleta de combustibles fósiles.

Para el año 2019, cinco (5) de las nueve (9) estaciones reportaron datos de black carbon con una representatividad mayor al 75%, esto se debe a que tres (3) estaciones iniciaron su operación durante el segundo semestre del año. Adicionalmente, la estación de San Cristóbal suspendió su monitoreo desde el diciembre de 2018 debido a que el cabezal de $PM_{2.5}$, el cual es el que se encarga de recolectar la muestra, fue hurtado de la estación.

7.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN

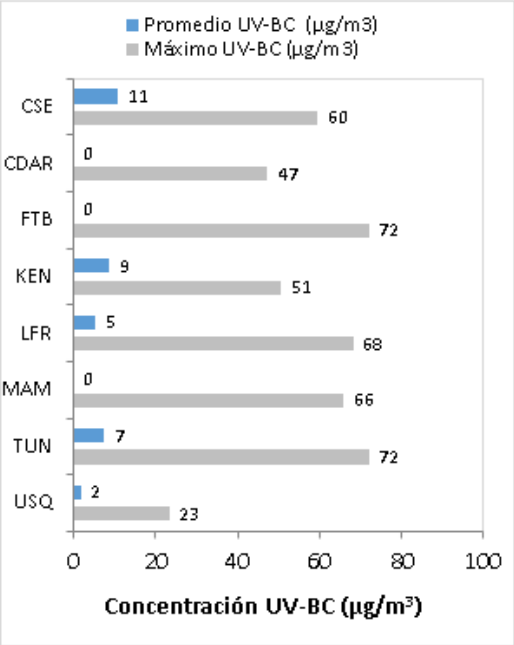
En la tabla 7-1 se registran los promedios anuales de Black Carbon en el 2019, los valores máximos, porcentaje de datos capturados. Con respecto a los promedios anuales registrados de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC), los más altos se presentaron en la estación de Carvajal – Sevillana, con un valor de 11 µg/m^3 respectivamente; las demás concentraciones se encuentran por debajo de 8 µg/m^3 y el registro anual más bajo se presentó en la estación de Usaquén con 2 µg/m^3.

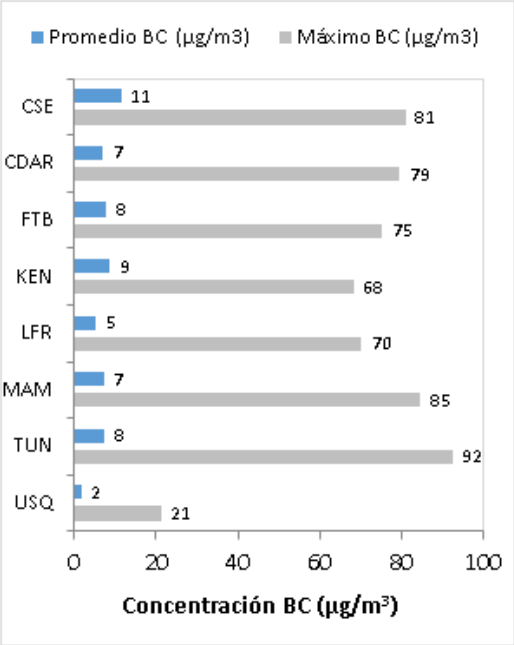
Las concentraciones máximas más altas registradas de Brown Carbon (UV-BC) se presentaron en las estaciones de Fontibón y Tunal, con un valor de 72 µg/m^3, mientras que las concentraciones máximas de Black Carbon (BC) se presentaron en la estación de Tunal con 92 µg/m^3.

Tabla 7-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de Black Carbon registradas en el año 2019

Estación	Promedio anual UV-BC (µg/m^3)	Conc. Max UV-BC (µg/m^3)	Promedio anual BC (µg/m^3)	Conc. Max BC (µg/m^3)	Datos capturados (%)
Carvajal - Sevillana	11	60	11	81	82%
CDAR*	7	47	7	79	35%
Fontibón*	8	72	8	75	35%
Kennedy	9	51	9	68	90%
Las Ferias	5	68	5	70	96%
Min Ambiente*	6	66	7	85	36%
Tunal	7	72	8	92	89%
Usaquén	2	23	2	21	83%

* Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%





7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN

En la Figura 7-1 se registra el comportamiento de las concentraciones de Black Carbon para una temporalidad mensual, diaria y horaria. Con respecto al comportamiento mensual, se evidencia que el mes de febrero presenta las concentraciones más altas de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) en la mayoría de las estaciones mientras que entre los meses de junio y agosto se registran las concentraciones más bajas. Los registros mensuales más altos corresponden a las estaciones de Carvajal – Sevillana con 14 µg/m^3 y Kennedy con 9 µg/m^3 en los meses de febrero y marzo, y los registros mensuales más bajos corresponden a las estaciones de Las Ferias con 4 µg/m^3 y Usaquén con 1 µg/m^3 para los meses de junio y julio.

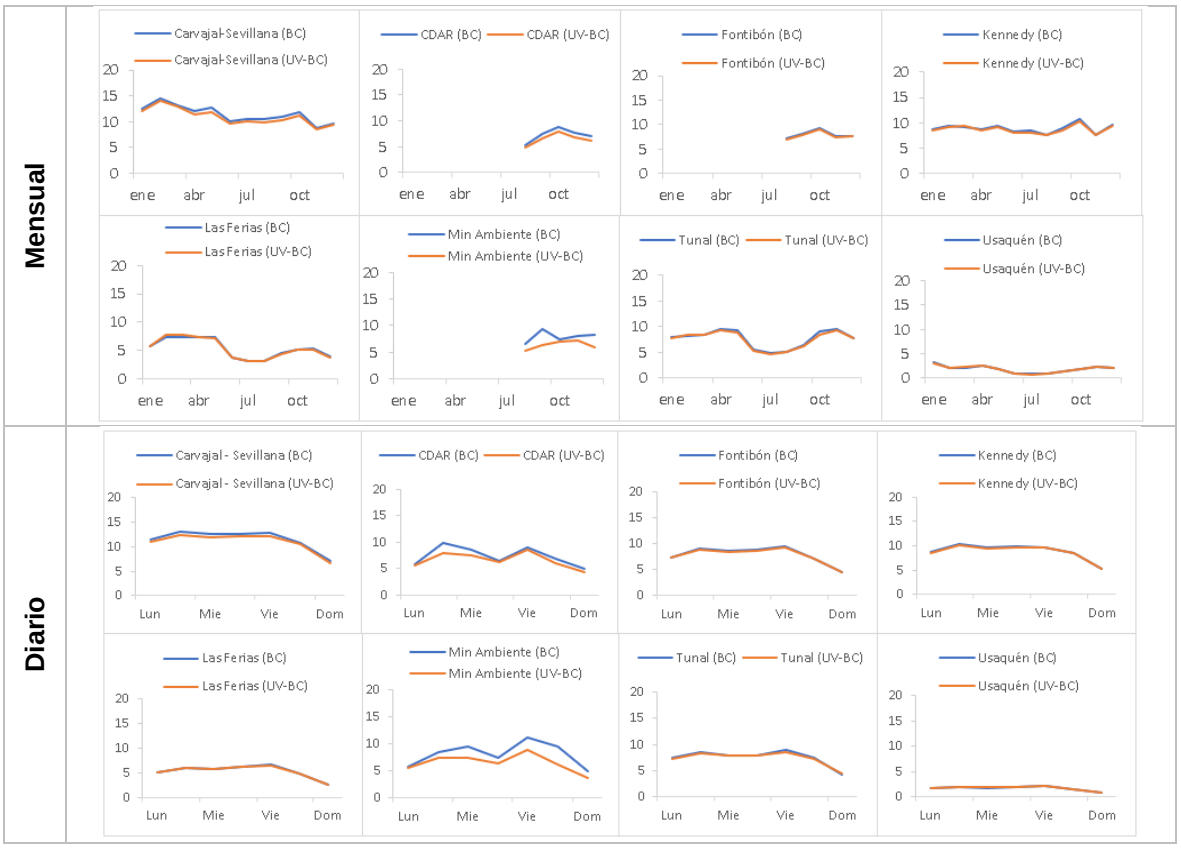
En cuanto al comportamiento diario de las concentraciones de Black Carbon, se evidencia que las concentraciones más altas de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) se registran el día martes para las estaciones de Carvajal – Sevillana, Centro de Alto Rendimiento y Kennedy; cabe resaltar que la estación de Centro de Alto Rendimiento solo cuenta con mediciones desde el mes de agosto, por lo cual el comportamiento no incluye las fluctuaciones presentadas a principio de año.

Por otro lado, las estaciones de Fontibón, Las Ferias, MinAmbiente, Tunal y Usaquén registran las concentraciones más altas de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) el día viernes; las estaciones de Fontibón y MinAmbiente solo cuentan con mediciones desde el mes de agosto, por lo cual el comportamiento no incluye las fluctuaciones presentadas a principio de año.

De igual forma, se evidencia que la dinámica del contaminante es mayor durante los días entre semana, además de verse influenciada por las actividades de diversas fuentes emisoras como es el

caso de las estaciones de Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, que cuentan con un entorno de mayor tráfico vehicular. El promedio más alto corresponde a la estación de Carvajal – Sevillana con un valor de 13 µg/m^3, y el promedio más bajo corresponde a la estación de Usaquén con 1 µg/m^3.

En relación al comportamiento horario, el pico de contaminación se presenta entre las 5 y 8 AM, y después se presenta un descenso en las concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) hasta el mediodía, luego se ve un incremento hacia las 7 PM, especialmente en las estaciones de la zona suroccidental. El pico de concentración que se presenta en las mañanas se relaciona con el inicio de las actividades de diferentes fuentes emisora como las industrias y el aumento del tráfico vehicular.



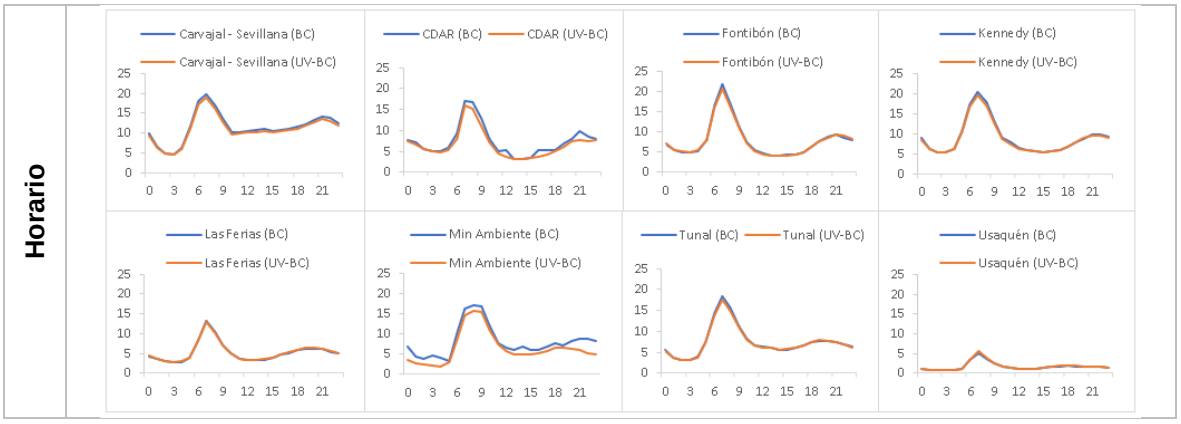


Figura 7-1. Comportamiento mensual, diario y horario de las concentraciones de Black Carbon y Brown carbon en 2019

7.3. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE BLACK CARBON POR ESTACIÓN

De acuerdo con la Figura 7-2 y la Figura 7-3, las mayores concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) se presentan en las estaciones de Carvajal - Sevillana y Kennedy. De igual forma, se evidencia que estaciones como Tunal y Las Ferias redujeron sus concentraciones con respecto al año anterior. Cabe resaltar que los datos de 2018 son indicativos debido a que la medición de los primeros equipos de Black Carbon inicio a finales del año 2018 y en el año 2019 las estaciones de Centro de Alto Rendimiento (CDAR), Fontibón y Min Ambiente presentan datos indicativos debido a que la medición de estos equipos inicio en el segundo semestre del año.

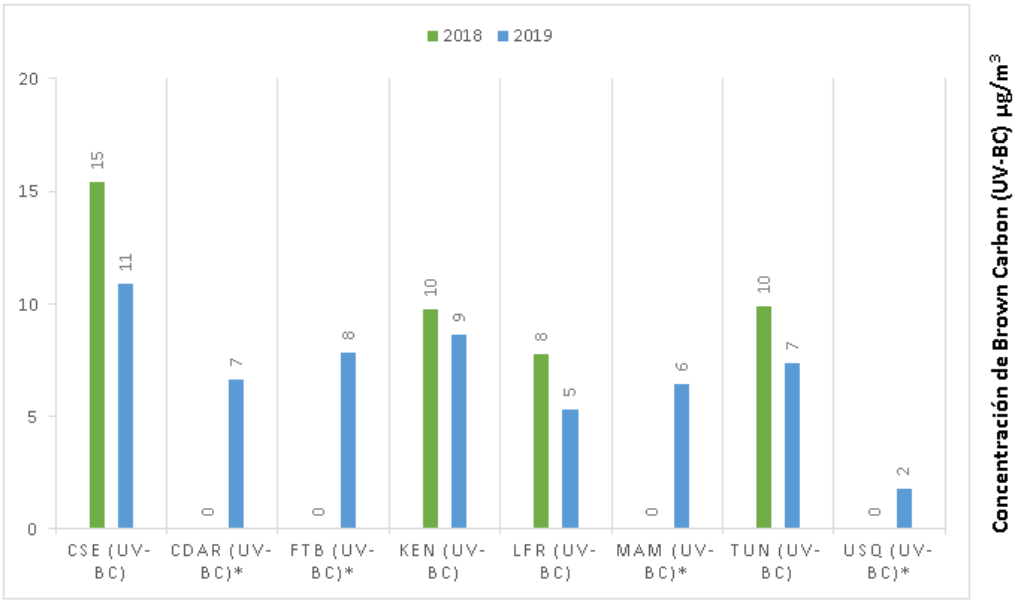


Figura 7-2. Concentraciones anuales de Brown Carbon años 2018 a 2019

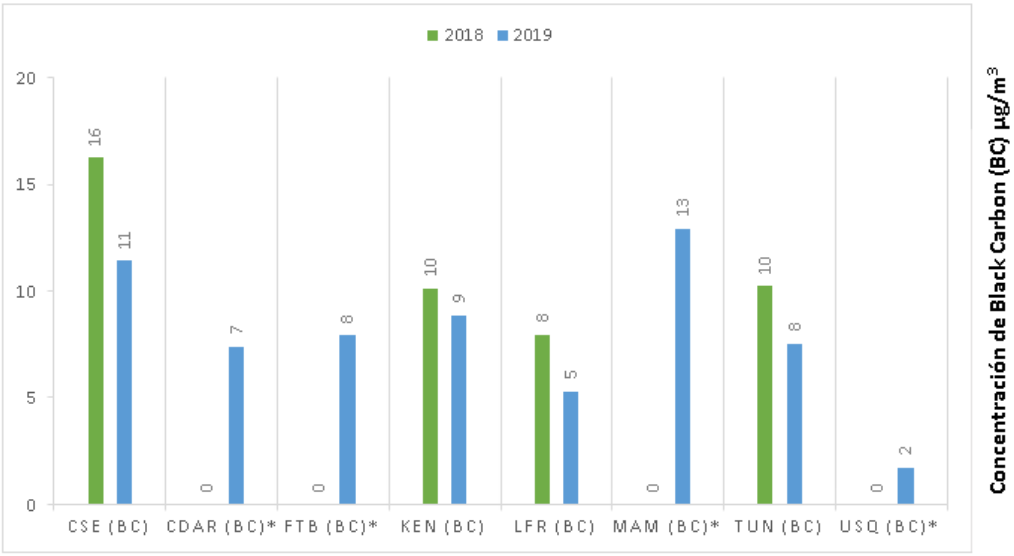


Figura 7-3. Concentraciones anuales de Black Carbon años 2018 a 2019

8. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE

La RMCAB se encarga de realizar mediciones puntuales de las concentraciones de contaminantes criterio en cada estación de monitoreo, con el fin de evaluar la contaminación en un área determinada influenciada por las fuentes de emisión, las condiciones meteorológicas y la influencia de la contaminación de las regiones aledañas a la ciudad. A través de los índices de calidad del aire se puede conocer en términos generales el estado de la calidad del aire en términos cualitativos, para dar a conocer la condición de la calidad del aire a la ciudadanía de una manera más eficiente, y así poder establecer y ejecutar las acciones de acuerdo a las condiciones registradas a corto plazo.

8.1. ICA

El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 que representa el grado de contaminación del aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

Este índice permite ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países.

La metodología de cálculo se basa en la definida en la Resolución 2254 de 2017 del MADS, en el Artículo 19 se definen los puntos de corte del ICA, y la descripción de cada condición de calidad del aire. A su vez, dicha metodología está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)", versión de septiembre de 2018, donde se describen las categorías del AQI, se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso).[3]. En la Tabla 8-1 se observan los puntos de corte de cada contaminante, para los diferentes tiempos de exposición.

Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1 hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora
0 – 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	--------
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	--------
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323

[3] https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1 hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora
151 – 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 – - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 – 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 – - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394	795 - 1185

El cálculo del ICA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$ICAp = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

ICA_p: Índice de calidad del aire para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
PC_{alto}: Punto de corte mayor o igual a C_p
PC_{bajo}: Punto de corte menor o igual a C_p
I_{alto}: Valor del ICA para PC_{alto}
I_{bajo}: Valor del ICA para PC_{bajo}

En la Figura 8-1 se muestran los porcentajes por condición de calidad del aire del ICA para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el año 2019, las franjas en gris indican el porcentaje de datos faltantes en la estación. Se puede observar que para el PM_{10} predominan las condiciones *Buena* y *Aceptable* en la mayoría de las estaciones. Carvajal-Sevillana presentó el estado más desfavorable, con un 43% del año en la condición *Aceptable*, mientras que la estación Guaymaral presentó la mejor condición durante el año, con un 97% en condición *Buena*. Para el caso del $PM_{2.5}$, los límites de cada condición son más restrictivos, dados sus efectos adversos en la salud, por lo cual se observa que se registró la condición *Dañina a la salud* durante un 5% del año en la estación Carvajal-Sevillana, y en todas las estaciones se registró entre un 1 a 33% de la *condición Dañina a la salud para grupos sensibles*, en especial en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Móvil 7ma.

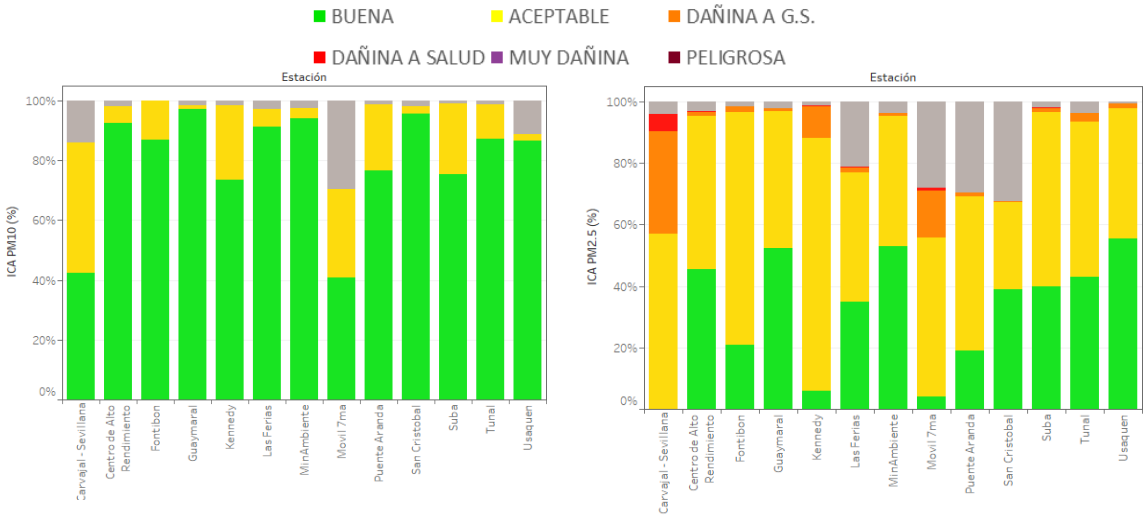
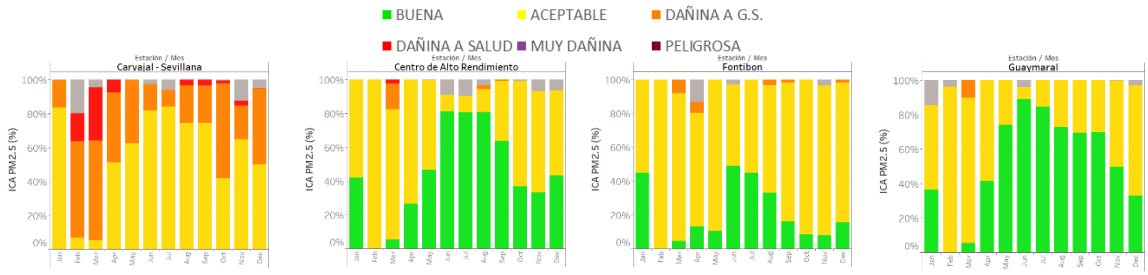


Figura 8-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ año 2019

En la Figura 8-2 y la Figura 8-3 se representan los porcentajes de tiempo para cada condición del ICA por mes del año, para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente. Se observa que en la mayoría de estaciones en los meses de febrero y marzo se presentaron las condiciones más adversas de calidad del aire durante la mayor parte del tiempo. Carvajal-Sevillana registró las condiciones más adversas la mayor parte del tiempo, la condición más crítica la registró para $PM_{2.5}$, con un 31% para *Dañina a la salud* en el mes de marzo. Por otro lado, Usaquén registro la mejor condición (*Buena*) en el mes de julio, con un 90% del tiempo.



Figura 8-2. ICA por mes del año y por estación para PM_{10}. Año 2019



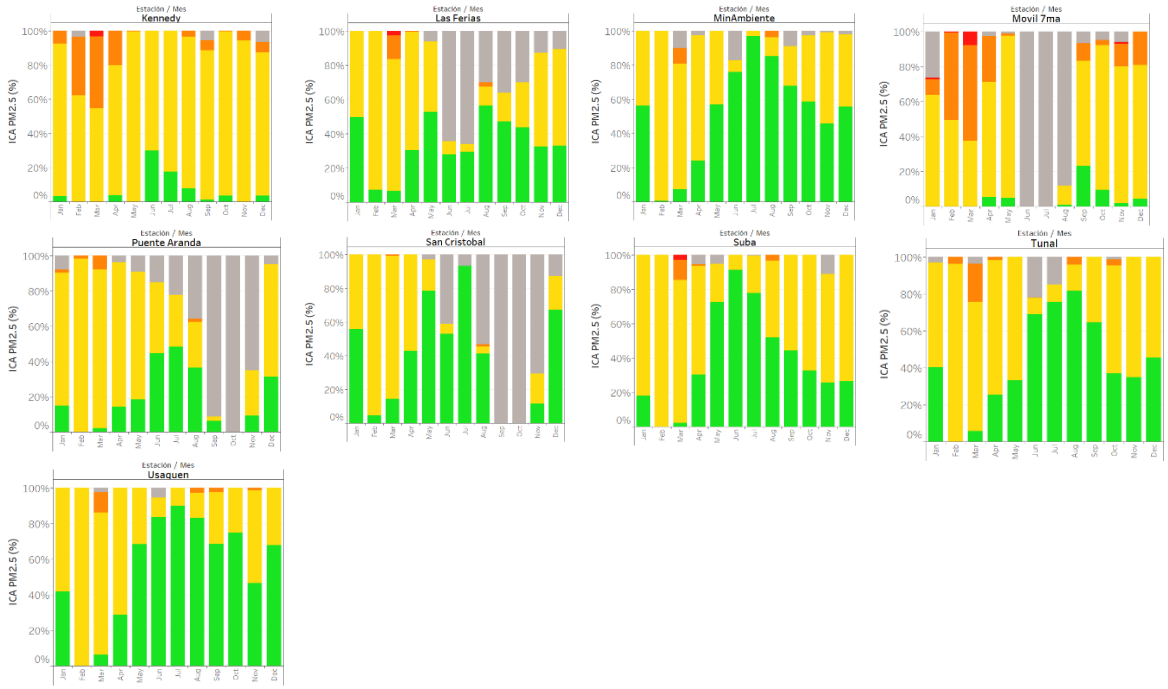


Figura 8-3. ICA por mes del año y por estación para $PM_{2.5}$. Año 2019

La Figura 8-4 muestra las gráficas de los porcentajes de tiempo en que se registraron las condiciones del ICA para los gases. Se evidencia que en todas las estaciones y para todos los gases prevaleció la condición *Buena* durante todo el año, con lo cual las concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera no incidieron en ser un factor de riesgo para la salud de las personas.

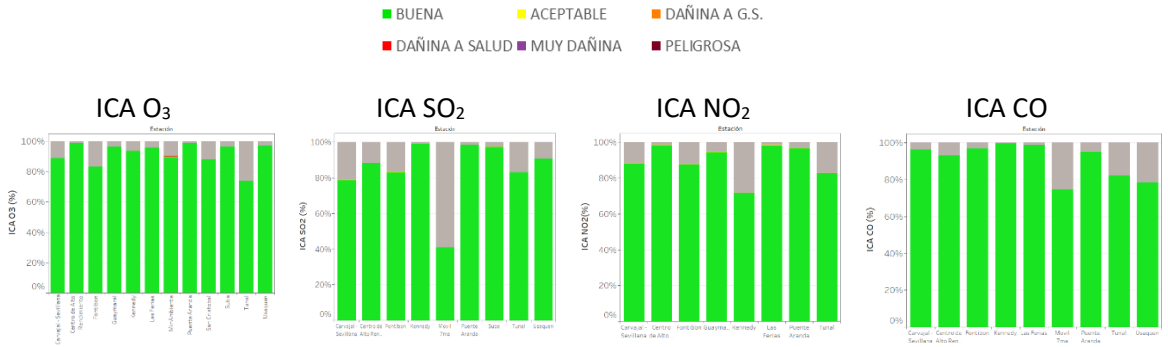


Figura 8-4. ICA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO. Año 2019

8.2. IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución Conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá, y comunica de forma sencilla,

oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –", Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios epidemiológicos locales. Además, cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterio, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana ante la exposición a los diferentes contaminantes, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-2 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

El cálculo del IBOCA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$IBOCAp = \frac{I_{mayor} - I_{menor}}{C_{mayor} - C_{menor}} * (C_p - C_{menor}) + I_{menor}$$

Donde:

$IBOCA_p$: Índice para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
C_{mayor}: Concentración mayor o igual a C_p
C_{menor}: Concentración menor o igual a C_p
I_{mayor}: Valor del IBOCA para C_{mayor}
I_{menor}: Valor del IBOCA para C_{menor}

En la Figura 8-5 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados durante el año 2019, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de la calidad del aire. Para el PM_{10}, se observa que predominaron en

todas las estaciones las condiciones *Favorable* y *Moderada*, Carvajal Sevillana y Móvil 7ma presentaron la condición *Moderada*, un mayor porcentaje del año, con 45% y 30% respectivamente. De otro lado, las estaciones Guaymaral y San Cristóbal registraron la condición Favorable en un porcentaje más alto de tiempo, con 97% y 96% respectivamente.

Del mismo modo que se observa en el ICA, para el $PM_{2.5}$ se observan categorías más críticas debido a que los niveles son más restrictivos. La condición Regular fue registrada en las estaciones Carvajal-Sevillana (41%), Kennedy (14%) y Móvil 7ma (19%), y la condición Mala en un 5% en Carvajal-Sevillana, y en porcentajes menores al 1% en Centro de Alto Rendimiento, Kennedy, Las Ferias, Móvil 7ma y Suba.

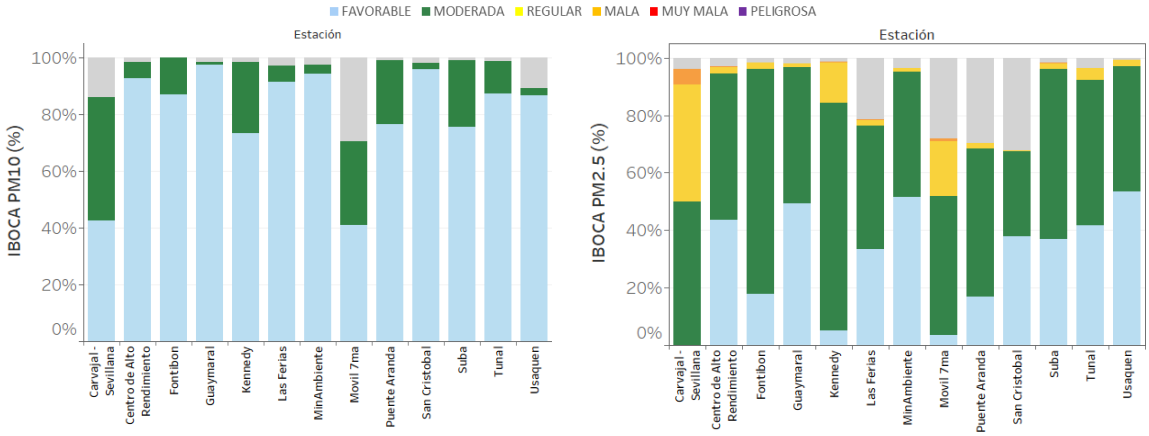
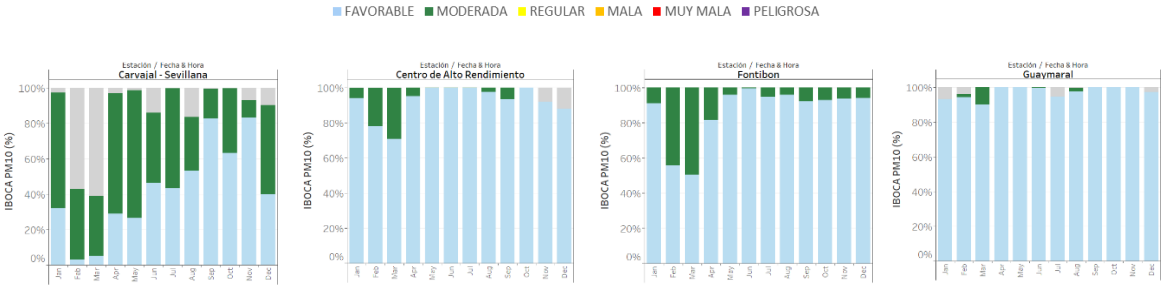


Figura 8-5. IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$. Año 2019

En la Figura 8-6 y la Figura 8-7 se presenta el IBOCA de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para cada estación de monitoreo y por mes. En los meses de febrero y marzo se registraron las condiciones más adversas de calidad del aire, principalmente para el $PM_{2.5}$, por lo cual se realizó la declaración de alertas ambientales dado que se excedió el tiempo en el cual se registraron las condiciones *Regular* y *Mala*. Carvajal-Sevillana, Kennedy y Móvil 7ma registraron estas condiciones la mayor parte del tiempo durante dichos meses. Por otro lado, la calidad del aire fue más favorable en los meses de mitad de año, en junio en la estación Guaymaral, con 84%, y San Cristóbal en el mes de julio, con 93% del tiempo.



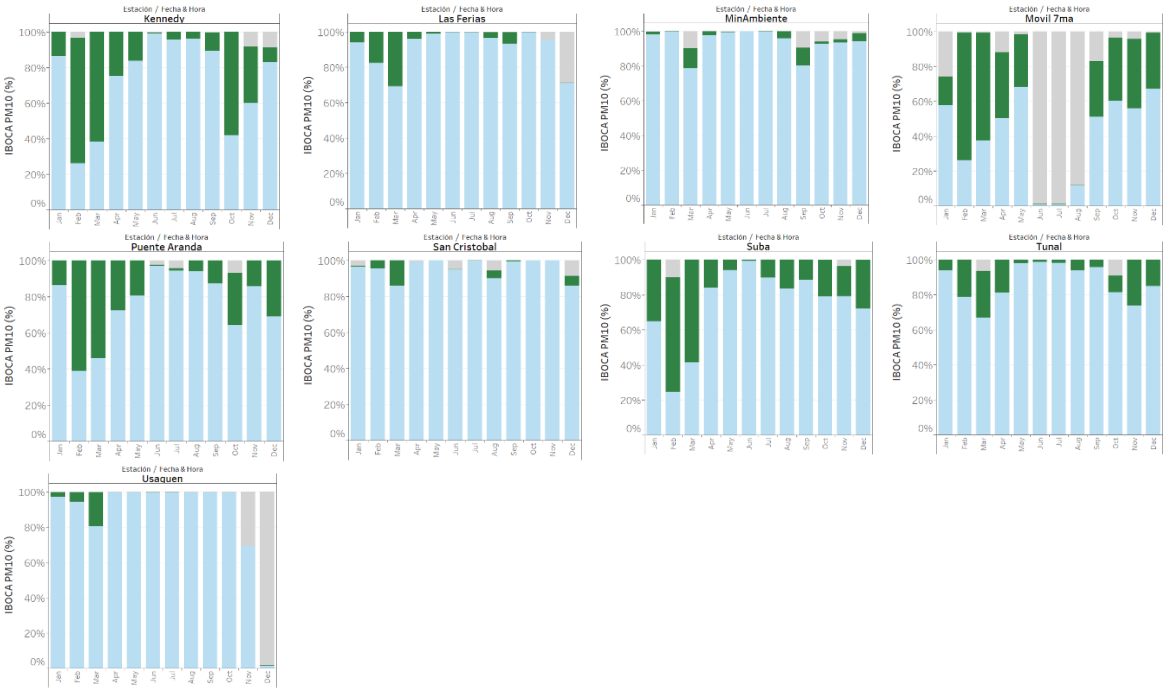
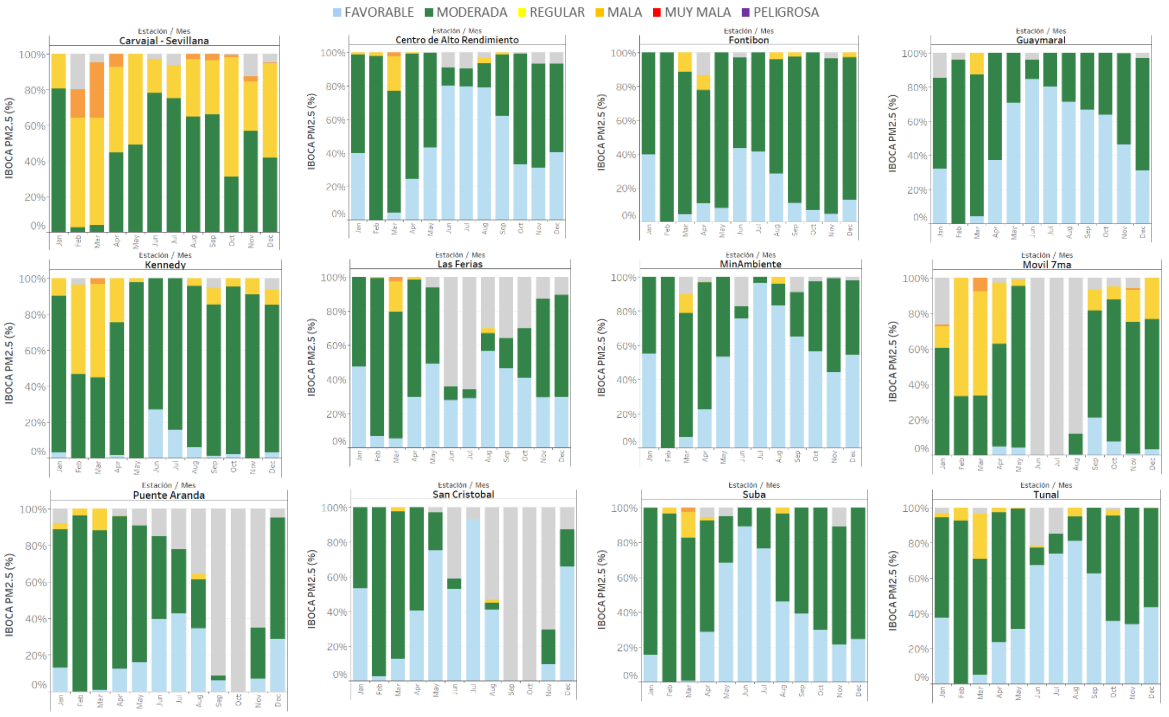


Figura 8-6. IBOCA por mes del año para PM_{10}. Año 2019



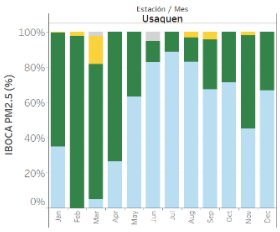


Figura 8-7. IBOCA por mes del año para $PM_{2.5}$. Año 2019

En la Figura 8-8 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo para los gases contaminantes, en el año 2019. Se observa que la mayor parte del tiempo el IBOCA asociado a estos gases muestra una condición *Favorable* en todas las estaciones. Solamente la estación MinAmbiente registró condiciones más desfavorables para el O_3, pero se registraron en un porcentaje menor al 0.2% del año.

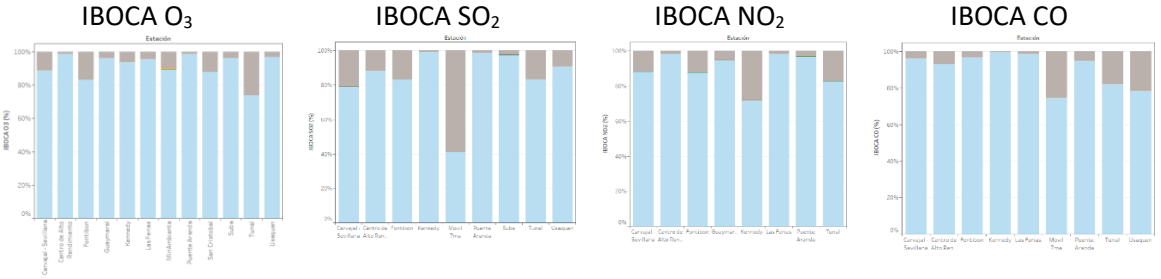


Figura 8-8. IBOCA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO. Año 2019

9. METEOROLOGÍA

9.1. PRECIPITACION

De acuerdo con (OMM, 2010) citado por (FOPAE, 2001) la precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, supuesto perfectamente horizontal, sino se filtrase, evaporase, ni escurriese.

A esta medida se llama altura de precipitación y es expresada en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. Es un elemento meteorológico con gran variabilidad espacial y temporal.

Por encontrarse en la zona andina la ciudad de Bogotá presenta dos períodos con lluvias abundantes durante el año, denominados popularmente como “invierno”, y dos períodos menos abundantes reconocidos como verano. El primero, se inicia en marzo y dura todo abril y mayo; el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre. Así mismo, existen meses de transición entre los diferentes períodos como son: marzo, junio, septiembre y diciembre, los cuales se presentan con días alternados de lluvias y tiempo seco.

La lluvia ejerce una labor muy importante en la limpieza de la atmósfera, toda vez que al tener un diámetro mayor que el tamaño de las partículas contaminantes, puede producir arrastre de muchas partículas presentes en la atmósfera, generando un lavado atmosférico y contribuyendo con la descontaminación de la ciudad, mayormente cuando se presentan lluvias intensas.

9.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN

Históricamente se ha identificado que en la ciudad de Bogotá las lluvias ocurren con mayor frecuencia en horas de la tarde. De acuerdo con los datos de precipitación de 2019 registrados en la RMCAB, el comportamiento histórico antes descrito fue confirmado como se observa en la Figura 9-1, donde se puede apreciar que las lluvias en 2019 se presentaron con mayor frecuencia entre las 3 P.M. y 4 P.M. Así pues, de manera idéntica que, en 2018, el 12% de las lluvias registradas en la ciudad ocurrieron alrededor de las 3 P.M.; entre tanto, en las horas de la mañana y madrugada la ocurrencia de eventos de lluvia fue muy baja. No obstante, se observa que en horas de la noche se presentaron eventos de lluvias, aunque con menor frecuencia que en horas de la tarde.

De acuerdo con Montoya & Eslava (2000), el comportamiento antes descrito obedece a la acumulación de energía durante el día que ocurre entre la 1 y las 3 de la tarde, es decir, cuando las temperaturas alcanzan su máximo valor y con ella el desarrollo convectivo, y a la interrupción del flujo básico del nororiente y suroriente para darle paso a las masas de aire cálidas y húmedas provenientes del valle del Magdalena los cuales ascienden por el suroccidente cargados de humedad y al encontrarse con los cerros orientales son forzados a ascender y formar nubes productoras de lluvia, si las condiciones de estabilidad de la atmósfera son favorables.

Sin embargo, las lluvias en la ciudad de Bogotá no sólo están influenciadas por fenómenos de forzamiento convectivo sino por lluvias de tipo advectivas que trasladan nubosidad desde el occidente que con frecuencia depositan su lluvia en el flanco occidental del distrito.

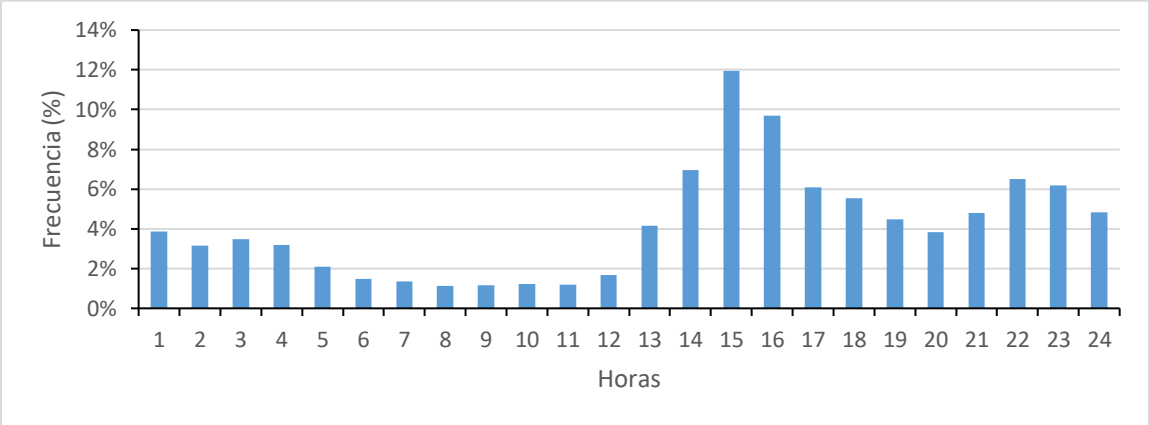


Figura 9-1. Comportamiento diario de la precipitación - 2019

9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

En cuanto al comportamiento mensual, como es sabido la ciudad de Bogotá está marcada por dos periodos de lluvia y dos períodos secos. De este modo, tal como se observa en las Tabla 9-2 donde se presenta el comportamiento mensual de las lluvias por cada estación y Tabla 9-1 donde se resumen el comportamiento de las lluvias durante cada mes, así como a nivel trimestral y semestral. En dichas tablas se puede apreciar que los meses de abril – mayo y octubre-noviembre, se registraron los mayores acumulados durante todo el año. De hecho, el 34% de las lluvias ocurrieron en el segundo y cuarto trimestre del año para un total acumuladodel 68%. Entre tanto, en los dos períodos secos, el primer trimestre del año registró un total acumulado del 17%, ligeramente superior al segundo trimestre que alcanzó un 15% de las lluvias de todo el año. Así pues, en 2019 el primer semestre del año reportó mayores acumulados de lluvia que el segundo semestre.

Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	18,5	50,8	87,3	124,8	122,7	74,9	44,3	35,6	62,7	97,3	180,0	48,2
% Anual	2%	5%	9%	13%	13%	8%	5%	4%	7%	10%	19%	5%
% Trimestral	17%			34%			15%			34%		
% Semestral	51%						49%					

Fuente: RMCAB 2019

No obstante, de acuerdo con la Figura 9-2 en el segundo semestre de 2019 se presentaron las lluvias más intensas. Por ejemplo, en el mes de noviembre se acumularon alrededor de 450 mm de lluvia mientras que el máximo acumulado en el en el mes de abril estuvo ligeramente por encima de los 250 mm de lluvia.

Cabe anotar que en 2018 el segundo trimestre fue donde se presentaron las lluvias más abundantes del año. El 63% de las lluvias se presentaron en el primer semestre de los cuales sólo el mes de abril registró el 18% las lluvias de todo el año, seguido por el mes de mayo con un 15%.

Tabla 9-2. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad_2019 (N.A. no cumple criterio de representatividad)

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acumulado (mm)
BOL	0	N.A	N.A	35,2	181,6	110,4	48,3	39,2	15,6	N.A	N.A	N.A	N.A
CSE	8,4	82,7	84,6	145,8	26,2	56,4	43,1	42,2	35,9	78,6	129,4	42,8	776,1
CDAR	14,2	34,9	122,3	168,2	120,2	52,5	27,5	33,5	76,4	108,6	160,2	61,3	979,8
FTB	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
GYR	33	61,8	96,8	168,9	131	54,8	43,8	29,2	89,4	79,3	119,5	16,4	923,9
KEN	0	1,3	0	28,5	250,7	142,3	108,9	85,6	95,7	221,4	462,3	168,8	1565,5
LFR	21	62,4	87,7	108,4	70,6	33,4	15,6	18,1	46,8	1,4	53,6	39,5	558,5
MAM	27	N.A	N.A	N.A	93,7	55,2	32	32,1	90,6	89,1	195,3	61,2	N.A
MOV	45,1	87,3	81,6	135,1	69,1	N.A	N.A	2,4	34,7	80,2	136,8	15,3	687,6
PTE	25,7	41,1	104,7	149	131,1	39,6	27	28,4	41,5	97,3	120,2	37,8	843,4
SCR	29,1	34,5	120,7	184,3	101,3	96	54,7	48,6	80,6	86,2	208,8	20,7	1065,5
SUB	0	N.A	N.A	N.A	173,8	108	42,4	32	83	130,4	213,5	18,3	N.A
TUN	5,1	38,7	87,5	137,2	108,6	60,2	40,7	42,4	53,9	80,1	138,3	21,9	814,6
USQ	21,2	66,3	139,3	157	96	75,5	34,2	25,8	81	78,7	235,1	95,5	1105,6

Fuente: RMCAB

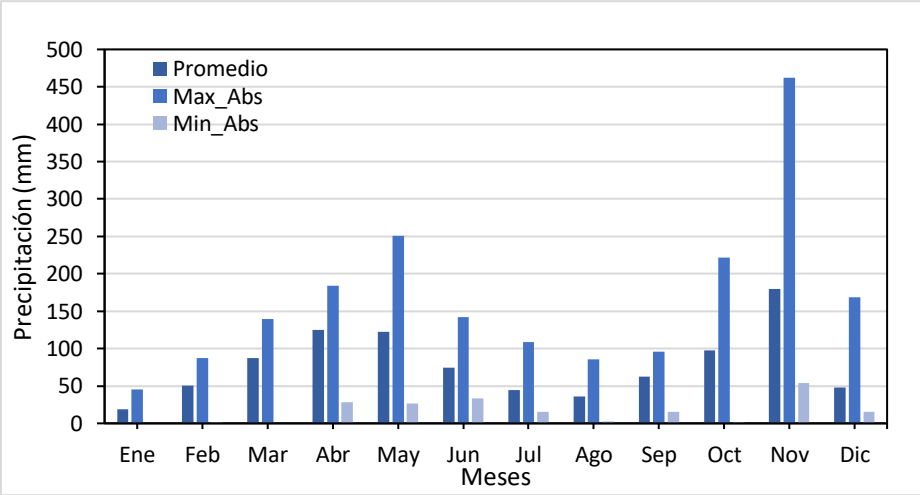


Figura 9-2. Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación durante 2019

En cuanto a la distribución espacial de las lluvias, los mayores niveles de precipitación se presentaron hacia el occidente de la ciudad, representado por la estación de Kennedy, donde se registró un total de 1566 mm de lluvia aproximadamente. Sin embargo, hacia el flanco oriental de la ciudad, donde se tiene influencia de los cerros orientales, se registraron importantes volúmenes

de lluvia como los que se reportan en las estaciones de San Cristóbal y Usaquén. Ver la Figura 9-3 y la Figura 9-4.

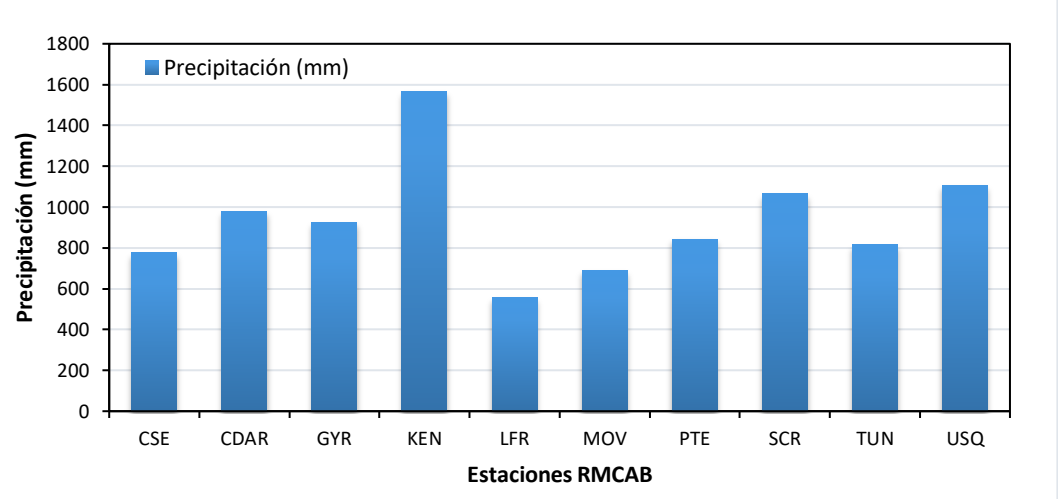


Figura 9-3. Total acumulado por estación en 2019

9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

Complementariamente, en el mapa de la Figura 9-4 se permite visualizar espacialmente como se distribuyó la lluvia en toda la ciudad. Como se puede apreciar en esta figura el suroccidente de la ciudad recibió las mayores cantidades de lluvia, aspecto que debió haber sido favorable para los procesos de remoción de la carga contaminante que se presenta en este sector de la ciudad, a través del lavado atmosférico.

9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN

En la Tabla 9-3 se presenta el registro histórico de la RMCAB, donde se resume el comportamiento anual registrado en las distintas estaciones de la RMCAB desde 2000 a 2019. Aunque algunas estaciones suspendieron su funcionamiento, estas se presentan como parte del proceso histórico de la red de monitoreo.

Adicionalmente se presenta la Figura 9-5 que describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000 hasta 2019. De acuerdo con este perfil anual se evidencia un ligero incremento en el total anual de la precipitación de 2019 con respecto al año anterior.

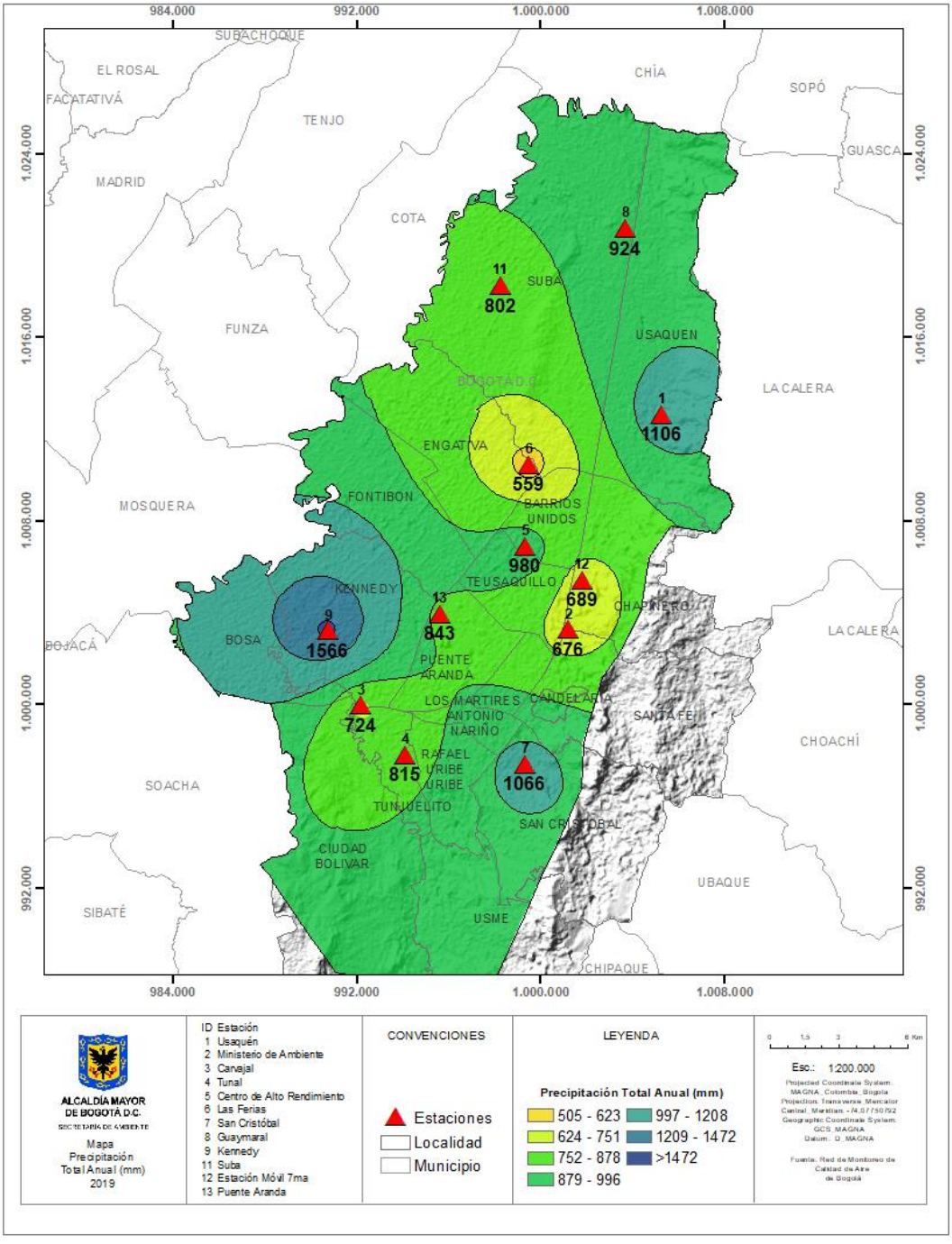


Figura 9-4. Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá - RMCAB 2019

Tabla 9-3. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. RMCAB - 2019

ESTACION	BOL	CEN	CSE	CZC	CME	CDAR	CLST	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	OLY	PTE	SCR	SUB	TU	UNAL	USQ	USM	VIT	Promedio
1998																						1150
1999																						940
2000		754	585	551	402		884	687			606	851	1138			650		863	1242			**767,8**
2001		525	317	339	345		588	471			592	636		564		496		542	563			**498,2**
2002		812	580	485			913	653	578		667	874		901		489			867			**710,8**
2003		551	421	142				574	709					891					495			**540,4**
2004			577	525		739	756	684						248		1007						**648,0**
2005				326		752	797	545			882			431					947			**668,6**
2006			692	674			1095	520		611	861			580		573			825	702	1087	**747,3**
2007			669	507		707	915	559	646	546	654			701		460	539		780	553	803	**645,6**
2008				703		848	841		821	839	695			1547		575	686		946	718	839	**838,2**
2009			620			815	758	382	656	559	759	812		857		646	542		624		652	**667,8**
2010			970			1523	980	522	1048	644	1321			881		1023	1071		1292		922	**1016,4**
2011			1024			1710		520	1394	587	1429			812		1156	1066		1277			**1097,5**
2012			638			891		350	639		931	940		679	938	866	668		828			**760,7**
2013	755,4		678			964		392	828	688	855	940		660	865	930	711		703			**767,8**
2014			639			1062			836	689	925	915		680	1076	732	674		869			**827,0**
2015	558,4		450			608			534	453	580	559		396	574	446	510		461			**506,5**
2016	961,4		540,8			802,6			964,4	723,4	924,6	795		835,5	786,4	362			333			**706,8**
2017	1389,4		890,2			1310,7			986,3	1078,1	1054,7	1032,8		1002,9	1072,6	986,6	1041,8		1140,8			**1054,3**
2018	955,7		809,7			932,3			796,2	1281,5	517,3			786	916,1	453,6	543,7		905,2			**794,2**
2019	989,4		723,5			979,8			923,9	1565,5	558,5	676,2		843,4	1065,5	801,7	814,6		1105,6			**914,4**
Promedio 2019	**935,0**	**660,5**	**643,2**	**472,4**		**979,4**	**852,7**	**527,6**	**818,4**	**674,3**	**858,5**	**835,5**		**745,1**	**885,3**	**712,4**	**750,9**		**815,8**	**657,7**	**860,6**	**748,3**

Fuente: RMCAB 2019

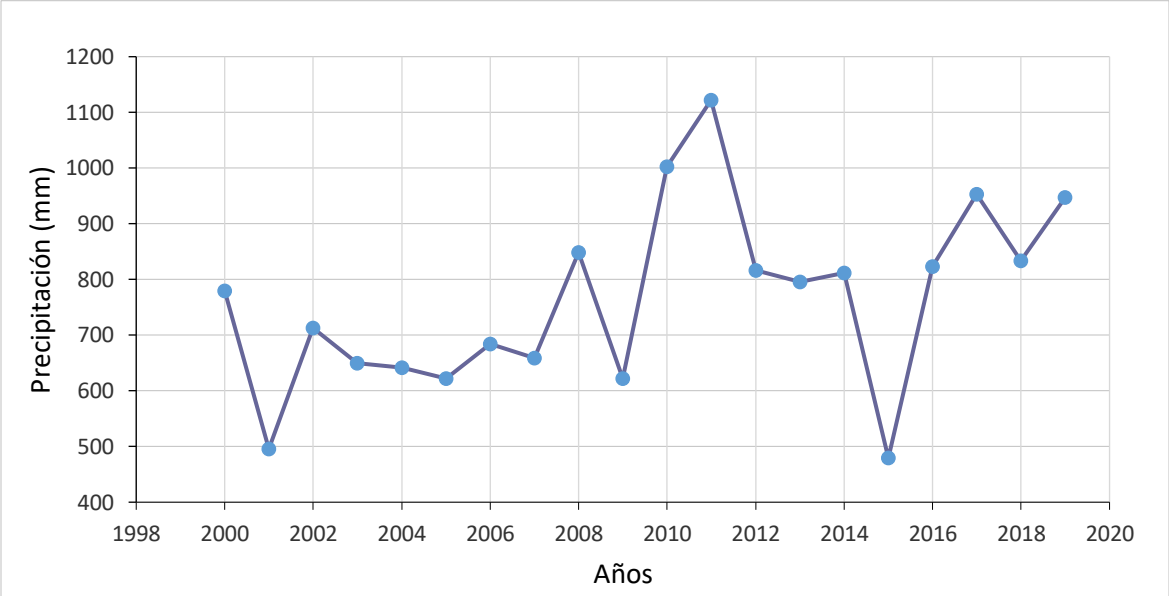


Figura 9-5. Variación anual de la precipitación en Bogotá - RMCAB 2000-2019

En la Tabla 9-4 se resume el comportamiento mensual multianual de la lluvia en la ciudad de Bogotá de acuerdo con los registros de la RMCAB desde 2000 hasta 2019. De acuerdo con esta tabla en 2019 las lluvias superaron al promedio histórico durante gran parte del año; sólo durante los dos primeros meses del año y a finales de diciembre las precipitaciones totales de 2019 se redujeron con respecto al promedio histórico multianual. Ver Figura 9-6.

Tabla 9-4. Precipitación promedio histórica mensual. RMCAB 2000 – 2019

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	**Promedio**
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	**779,7**
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	**496,2**
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	**712,5**
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	**649,3**
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	**641,4**
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	**621,9**
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	**684,6**
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	**659,2**
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	**848,7**
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	**621,9**
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	**1002,3**
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	**1122,0**
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	**816,5**
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	**795,6**
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	**811,6**
2015	38,9	31,9	95,9	58,9	17,1	52,4	30,6	18,6	30,8	44,1	59,0	1,1	**479,2**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	**Promedio**
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	**823,0**
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	**953,4**
2018	60,7	41,2	100,0	148,1	126,2	50,0	50,6	39,1	36,4	75,4	94,6	10,7	**833,0**
2019	18,5	50,8	87,3	124,8	122,7	74,9	44,3	35,6	62,7	97,3	180,0	48,2	**947,0**
Promedio 2000-2019	**33,0**	**59,5**	**81,6**	**96,8**	**83,6**	**50,2**	**36,6**	**29,5**	**41,8**	**89,3**	**103,7**	**59,3**	**746,6**

Fuente: RMCAB 2019

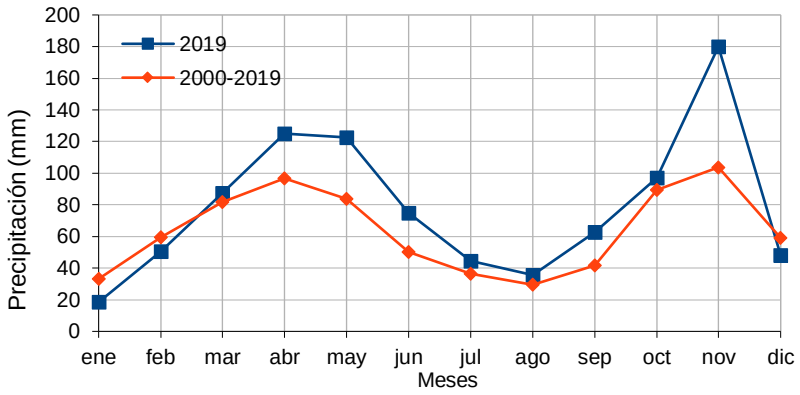


Figura 9-6. Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual de 2019. RMCAB 2000 - 2019

9.2. TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de la materia, definida por la cinética media de las moléculas. Esta se mide en virtud de la transferencia de calor entre los cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media. En el caso del aire, indica la cantidad de energía interna o sensible, acumulada en un momento y lugar determinado.

La temperatura del aire ambiente determinada la ocurrencia de los procesos de difusión de contaminantes por su contribución al incremento de los flujos turbulentos que son claves para el ascenso a niveles por encima del suelo y el consecuente transporte y mezcla de los contaminantes, que diariamente se descargan en la ciudad ya sea por fuentes propias o por fuentes externas como las quemas regionales que son recurrentes en los primeros meses del año.

En la RMCAB la temperatura ambiente se mide en estaciones distribuidas estratégicamente en la ciudad, para caracterizar sus variaciones espaciales y en diferentes resoluciones temporales de manera que y contribuya con la toma de decisiones asociadas a esta variable.

9.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA

En la Tabla 9-5 se resume el perfil promedio horario anual de la temperatura durante el año 2019, por cada una de las estaciones de la RMCAB. Así pues, en un día normal del año, en promedio las

temperaturas más bajas se presentan en horas de la madrugada y de la noche. Así mismo, conforme el sol calienta el suelo y éste a su vez el aire en contacto la temperatura del aire comienza a incrementarse alcanzando su máximo entre las 12 horas y las 14 horas, posiblemente incluso hasta las 15 horas. Este incremento de temperatura máxima se corresponde con la hora en la que ocurre la mayor convección térmica en un día normal en la ciudad de Bogotá, que podría propiciar no sólo la mayor dispersión de contaminantes de la atmósfera, sino, favorecer la convección profunda y la ocurrencia de lluvias con tormentas.

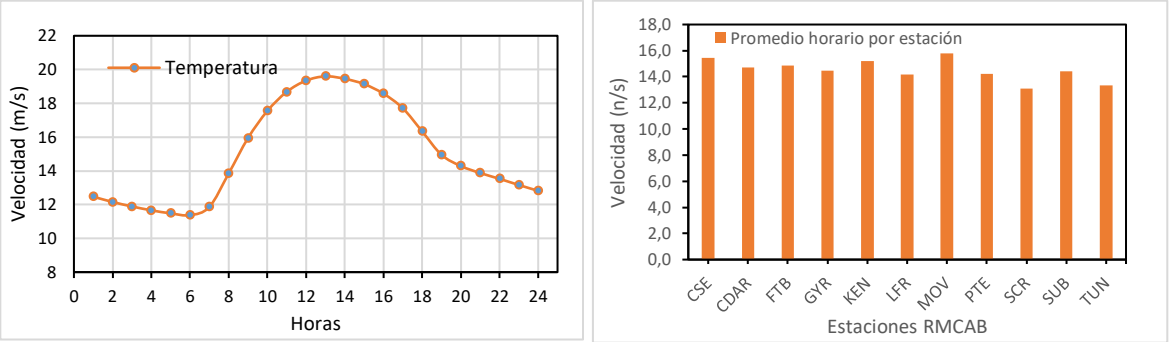
En la

Figura 9-7 se muestra el perfil promedio horario de la temperatura en la ciudad y sus variaciones espaciales a través de cada una de sus estaciones. Durante el año 2019 las mayores temperaturas de la ciudad se presentaron en estaciones de Carvajal, Kennedy hacia el sur occidente y la estación móvil al centro oriente de la ciudad. El sector de San Cristóbal continúa registrando los valores más bajos de temperatura horaria durante el año.

Tabla 9-5. Comportamiento de la temperatura horaria durante el año 2019.

Hora	Usaquén	Carvajal - Sevillana	Tunal	Tunal	CDAR	Las Ferias	Guaymaral	Kennedy	Suba	Puente Aranda	San Cristóbal	Móvil 7ma
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
1:00	12,3	13,6	12,3	11,3	11,8	12,3	11,6	14,4	11,4	12,5	11,3	14,0
2:00	12,0	13,2	12,1	11,0	11,5	12,0	11,3	14,0	11,1	12,2	11,0	13,6
3:00	11,8	12,9	11,8	10,7	11,3	11,7	11,0	13,7	10,9	11,9	10,8	13,4
4:00	11,6	12,7	11,6	10,4	11,1	11,5	10,8	13,5	10,7	11,7	10,6	13,1
5:00	11,5	12,5	11,3	10,1	10,9	11,4	10,6	13,3	10,5	11,5	10,5	12,9
6:00	11,4	12,5	11,2	10,0	10,7	11,3	10,5	13,2	10,3	11,4	10,4	12,8
7:00	11,8	12,9	11,6	10,9	11,7	11,9	11,2	13,4	10,6	11,8	10,7	13,1
8:00	13,7	14,5	14,0	14,1	14,9	13,7	14,2	14,8	12,5	13,0	12,4	14,1
9:00	15,7	16,3	16,5	16,6	17,3	15,6	16,6	16,9	15,3	14,3	14,1	16,1
10:00	17,0	17,8	18,4	18,4	18,8	16,9	18,0	18,7	17,6	15,7	15,4	18,2
11:00	18,2	18,8	19,7	19,7	19,7	17,7	19,0	20,0	19,2	16,7	16,3	19,6
12:00	18,8	19,4	20,4	20,3	20,2	18,2	19,8	20,6	20,2	17,2	16,9	20,5
13:00	19,1	19,7	20,8	20,6	20,2	18,4	20,1	20,9	20,7	17,3	17,2	20,8
14:00	18,8	19,7	20,7	20,6	20,0	18,2	19,9	20,7	20,5	17,2	17,2	20,6
15:00	18,3	19,6	20,5	20,3	19,6	17,9	19,5	20,5	19,9	17,0	16,9	20,2
16:00	17,7	19,0	19,9	19,6	18,9	17,3	19,0	20,0	19,3	16,5	16,4	19,4
17:00	16,7	18,3	19,1	18,5	17,9	16,5	18,0	19,4	18,3	16,0	15,6	18,4
18:00	15,4	17,1	17,4	16,3	16,3	15,4	16,3	18,1	16,6	15,2	14,5	17,3
19:00	14,3	16,0	15,2	14,2	14,7	14,3	14,7	16,6	14,8	14,4	13,4	16,2
20:00	13,8	15,4	14,2	13,3	13,9	13,8	13,9	16,0	13,8	14,0	12,9	15,6
21:00	13,5	15,1	13,6	12,8	13,3	13,5	13,4	15,7	13,2	13,7	12,5	15,3
22:00	13,2	14,7	13,3	12,4	13,0	13,2	12,9	15,4	12,7	13,4	12,2	15,0
23:00	12,9	14,4	12,9	11,9	12,6	12,9	12,4	15,1	12,2	13,1	11,9	14,7
24:00:00	12,6	14,0	12,6	11,6	12,2	12,6	12,0	14,7	11,8	12,7	11,6	14,4
Promedio	**14,7**	**15,8**	**15,5**	**14,8**	**15,1**	**14,5**	**14,9**	**16,6**	**14,8**	**14,2**	**13,5**	**16,2**

Fuente: RMCAB 2019



a) Perfil horario anual *b) Promedio horario por estación*

Figura 9-7. Comportamiento de la temperatura horaria anual-2019: a) perfil horario; b) promedio por estación

9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA

En lo que corresponde a la temporalidad mensual, con base en los datos registrados en la RMCAB se pudo estimar que en 2019 los meses más cálidos fueron febrero, marzo y abril. Este comportamiento puede obedecer a que en presencia de nubosidad las temperaturas medias están sujetas a menores amplitudes térmicas, es decir, es menos propicio para que se presenten temperaturas cercanas a cero o por debajo de cero, como podría ocurrir durante los primeros meses del año cuando se hacen más frecuentes las heladas debido a la predominancia de cielos despejados que permiten que la energía calórica del suelo de la ciudad, se pierda con mayor facilidad propiciando la ocurrencia de temperaturas muy bajas. Para mayor detalle ver la Tabla 9-3 y la Figura 9-8.

Por otra parte, al comparar el promedio de temperatura media mensual de 2000 a 2019 contra la media mensual de 2019 se observa que el promedio mensual de 2019 fue superior el promedio multianual durante todo el año 2019. Así mismo, se puede observar que con respecto a la media multianual las anomalías de temperatura fueron positivas y que se presentaron principalmente en los meses de febrero y diciembre.

Tabla 9-6. Promedio mensual de temperatura multianual RMCAB 2000 – 2019

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	13,4
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	14,3
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	14,8
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	14,7
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	14,1
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	15,1
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	13,5
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	13,5
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	13,6
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	14,4
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	14,7
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	14,1

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	14,1
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	14,3
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	14,2
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	14,6
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	15,0
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3	14,5
2018	14,1	14,9	14,8	14,1	14,5	14,2	14,3	13,9	14,5	14,8	15,0	14,5	14,5
2019	14,7	15,5	15,5	15,5	15,2	14,8	14,6	14,5	15,1	14,7	15,2	15,4	15,1
Promedio 2000-2019	**14,1**	**14,4**	**14,7**	**14,6**	**14,6**	**14,2**	**14,0**	**14,1**	**14,3**	**14,4**	**14,4**	**14,2**	**14,3**
Desvest	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	
Anomalía	0,6	1,2	0,8	0,9	0,6	0,6	0,7	0,4	0,8	0,3	0,9	1,2	

Fuente: RMCAB 2019

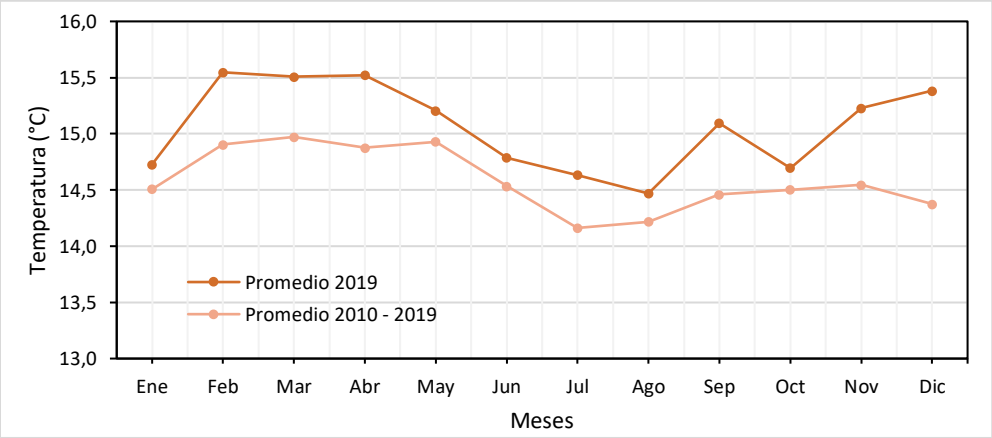


Figura 9-8. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2019 Vs 2019

En cuanto al comportamiento de las temperaturas extremas la Figura 9-9 resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o más bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2019. De estos valores extremos se deduce que los sectores de la ciudad donde se registraron los valores más altos de temperatura fueron Kennedy y Tunal, mientras que las más bajas se presentaron en Guaymaral y Tunal. De la misma tabla se puede deducir que las mayores amplitudes térmicas se presentaron hacia los sectores de la ciudad representados por las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral y Tunal. La ocurrencia de temperaturas bajas en los sectores de CDAR y Guaymaral contribuye con la saturación e incremento de la humedad relativa.

Tabla 9-7. Temperaturas extremas año 2019

ESTACIÓN	MÁXIMA (°C)	MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
BOL	N.A	N.A	N.A
CSE	26	8,7	17,3
CDAR	26,4	4,8	21,6
FTB	24,5	8,5	16
GYR	25,7	3,9	21,8

ESTACIÓN	MÁXIMA (°C)	MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
KEN	29,7	9,3	20,4
LFR	23,6	8	15,6
MAM	N.A	N.A	N.A
MOV	26,2	9,8	16,4
PTE	23,1	8,4	14,7
SCR	22,8	6,7	16,1
SUB	26,8	5,9	20,9
TUN	27,4	5,2	22,2
USQ	24,4	7,3	17,1

Fuente: RMCAB 2019

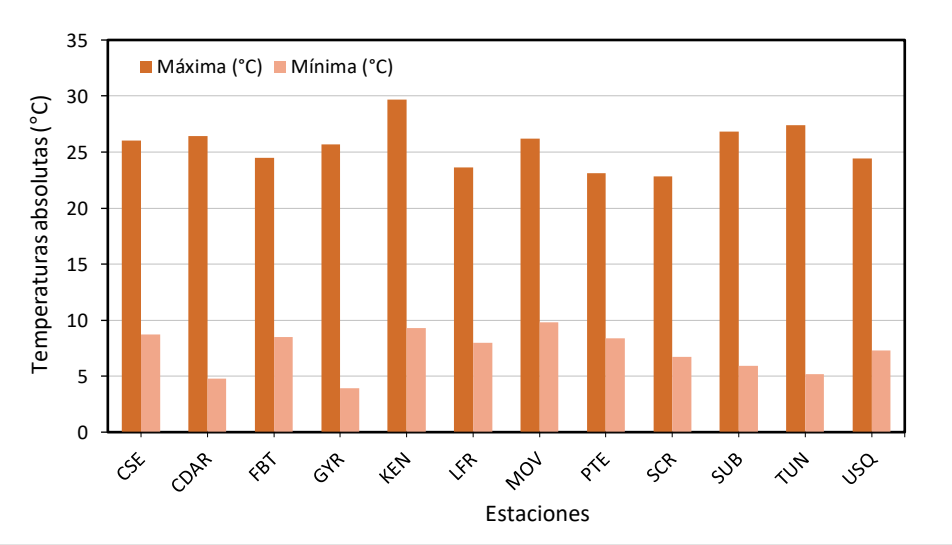


Figura 9-9. Temperaturas extremas absolutas año 2019

9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

Para la representación espacial de la variación de la temperatura en la ciudad de Bogotá se presenta el mapa del comportamiento medio de la temperatura superficial del aire en la ciudad, durante el año 2019. Asimismo, el mapa de anomalías de temperatura del año 2019 con respecto al promedio de temperatura anual multianual de 2000 a 2019. Como se puede observar, en 2019 las mayores temperaturas se presentaron al sur occidente de la ciudad, y las menores al sur oriente y centro sur del distrito. Ver Figura 9-10.

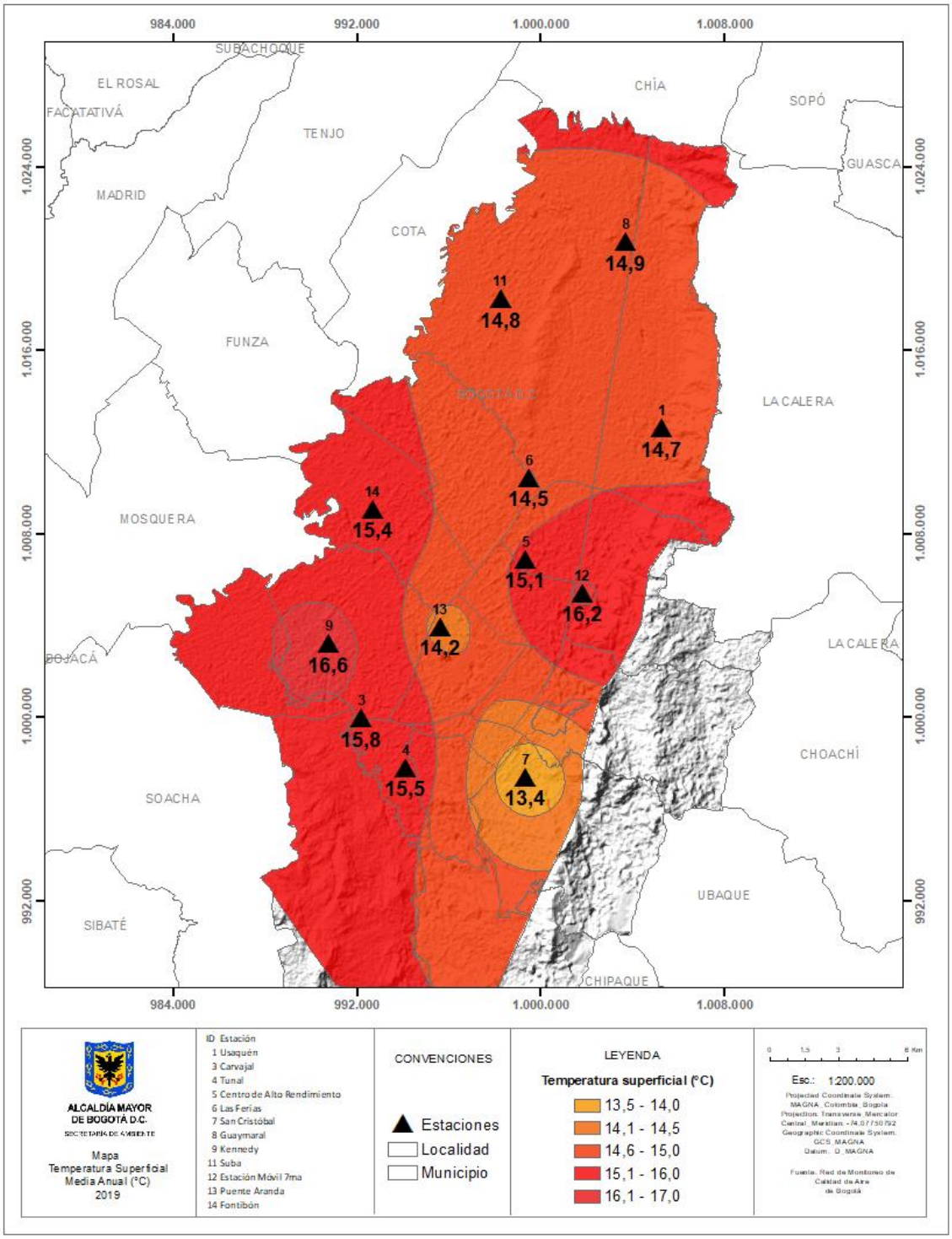


Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB -2019

9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA

En cuanto al comportamiento histórico de la temperatura superficial del aire de Bogotá la Tabla 9-8 presenta el resumen de los registros medios anuales por estación de la RMCAB desde 2000 a 2019. Como se puede observar en esta tabla, producto de la evolución de la red algunas estaciones han sido removidas o trasladadas razón por la cual, no todas presentan información. Sin embargo, tomando en cuenta que los promedios anuales de temperatura no presentan variaciones importantes, salvo cuando se presentan condiciones extremas fuertes como los eventos El Niño o La Niña. Las estaciones que no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75% de acuerdo con el protocolo de vigilancia de la calidad de aire del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se dejan a modo indicativo.

En la Figura 9-11 se muestra como ha variado en promedio la temperatura anual de la ciudad de Bogotá desde el año 2000 hasta el 2019. Esta representación es importante porque permite visualizar cómo ha evolucionado la temperatura del aire la ciudad de Bogotá, durante las aproximadamente dos décadas. En esta figura se aprecia que con respecto al año 2018 las temperaturas en 2019 presentaron un incremento cercano al del año más calientes de la última década, es decir el año 2016.

Tabla 9-8. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2019

Estaciones	CSE	CZC	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	VIT	Promedio
2000				13,6			15,6	14,1		10,6					**13,5**
2001				13,9			16	14,5							**14,8**
2002				14,1			16	14,6							**14,9**
2003				14,2				14,7							**14,5**
2004				13,9				14,5							**14,2**
2005				14,2			15,9	14,8							**15,0**
2006	12,2	12,3		14,1				14,6		12,6			11,8		**12,9**
2007	11,2	11,7		13,9				14,6		13,2			12,5	11,7	**12,7**
2008	14,1	13	13,9	14,1	13,9	13,6	13,3	14		13,7		11,9	13,4	11,5	**13,4**
2009	15,4		14,7	14,7	14,4	14,8	14	14,6		12,9	14,6	14,5			**14,5**
2010	15,5		14,8	14,5	14,8	14,8	14,2	14,6	13,5			15,1		12,9	**14,5**
2011	15		14,5	13,6	14,3	14,4	13,7	14	13,7		13,2	14,4			**14,1**
2012	15,2		14,6	13,8	14,3	14,5	13,9	13,8	13	14	13,4	14,4			**14,1**
2013	15,5		14,8	14,1	14,6	14,8	14,2	13,7	13,1	14,3	13	14,8			**14,3**
2014	15,5		14,8		14,6	14,9	14,2	14	13	14,3	13,1	14,7			**14,3**
2015	15,8		15,2		14,8	15,3	14,4	14,4	13,4	14,6	13,5				**14,6**
2016	16		15,4		15,1	15,3	14,7	15	13,7	15	14,4				**15,0**
2017	15,6		14,9		14,7	15,1	14,3	14,5	13,2	14,6	13,4	13,2			**14,4**
2018	15,5		14,7		14,5	15,2	14,1	14,2	13,1	14,4	13,4				**14,3**
2019	15,8		15,1	15,4	14,9	16,6	14,5	14,2	13,4	14,8	15,5	14,7			**15,0**
Promedio (°C)	14,9	12,3	14,8	14,1	14,6	14,9	14,6	14,4	13,3	13,8	13,8	14,2	12,6	12,0	**13,9**

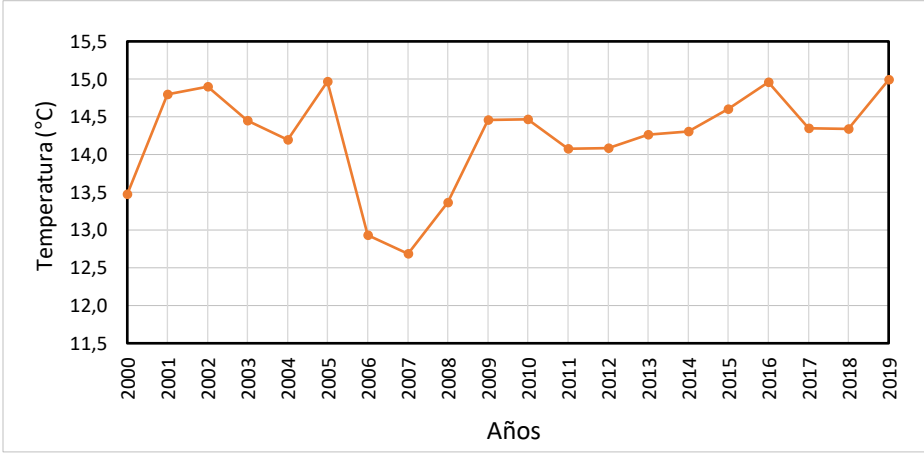


Figura 9-11. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2019

9.3. VELOCIDAD Y DIRECCION DEL VIENTO

El viento es el aire en movimiento. Este elemento meteorológico se debe principalmente al calentamiento diferencial que sufre la superficie de la Tierra por parte de la radiación solar, a causa de los movimientos de rotación y de traslación terrestres. Esta radiación, que es transparente a la atmósfera, es absorbida por la superficie de la Tierra de manera diferencial de acuerdo con sus capacidades de absorción (albedo). Así que, de acuerdo con sus propiedades térmicas cada superficie, conforme absorbe radiación, la transfiere al aire en la superficie, como ondas de calor que son absorbidas de manera eficiente dada sus propiedades diatérmicas, lo que a su vez genera diferencias de presión las cuales propician el movimiento de las masas de aire de zonas con altas presiones hacia las zonas con bajas presiones, dando origen a los vientos.

El viento no sólo tiene magnitud sino también dirección, por lo cual su análisis se realiza desde el punto de vista vectorial, tomando en cuenta en sus componentes *u* y *v,* las cuales parametrizan el viento o en el plano horizontal.

En los procesos de dispersión de contaminantes de la ciudad juega un papel muy importante en la medida que las partículas se encuentran en suspensión y dependiendo de las condiciones sinópticas y la circulación local de las masas de aire pueden ayudar en mayor o menor grado con los procesos de mezcla y transporte de los contaminantes. Sin embargo, también pueden contribuir de manera desfavorable cuando arrastran o transportan contaminantes provenientes de fuentes externas, ya sean de nivel local o regional y los introducen a la ciudad cuando su trayectoria está así determinada.

9.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB la velocidad del viento en 2019 presentó incrementos por encima de la media multianual mostrando un incremento importante después de que en 2018 su magnitud estuviera por debajo de la media multianual, sobrepasándola sólo durante los meses de agosto y diciembre. Ver Figura 9-12.

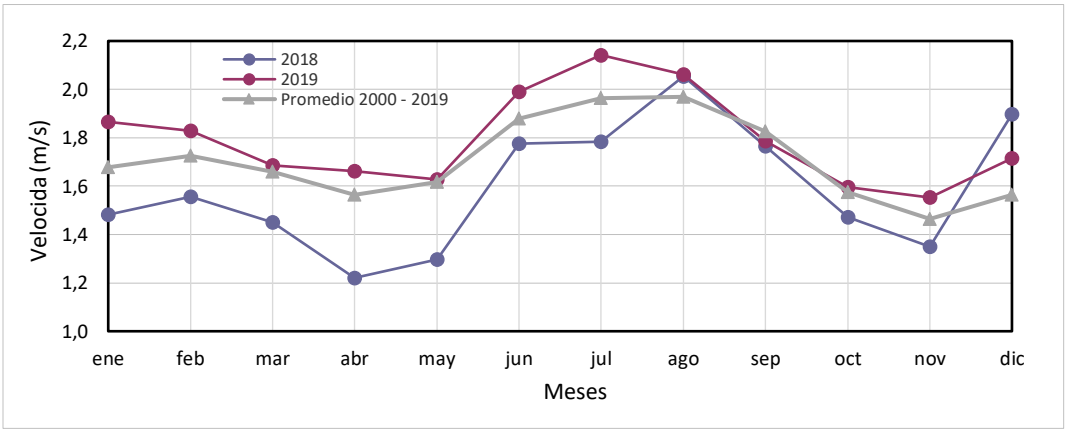


Figura 9-12. Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2019) Vs. 2018 y 2019.

De otro lado, si se compara el comportamiento de las velocidades del viento por estación entre los años 2000 y 2019 se observa que sólo en las estaciones de Kennedy, Guaymaral, Tunal y Usaquén, se presentaron ligeros incrementos con respecto a la media multianual. Ver Figura 9-9**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 9-13. Los valores no disponibles obedecen al incumplimiento del porcentaje de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-9. Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2019

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2000	0,9	N.A	N.A	N.A	1,7	0,4	1,9	N.A	1,4	N.A	1,2
2001	1,3	N.A	N.A	N.A	1,7	0,5	2,4	N.A	1,4	N.A	1,1
2002	1,2	N.A	0,6	N.A	1,6	0,5	2,4	N.A	1,3	N.A	1,0
2003	2,1	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	2,6	N.A	N.A	N.A	1,2
2004	N.A	0,8	N.A	N.A	N.A	N.A	2,7	N.A	1,6	N.A	N.A
2005	N.A	1,9	N.A	N.A	1,5	N.A	2,8	N.A	N.A	N.A	1,6
2006	N.A	N.A	N.A	1,5	1,4	N.A	2,8	N.A	1,3	N.A	2,4
2007	1,8	1,1	1,1	1,5	1,4	N.A	2,7	N.A	1,5	2,1	1,8
2008	1,9	1,4	1,2	2,3	1,9	N.A	2,7	N.A	0,5	1,3	0,7
2009	2,4	1,7	1,3	2,7	2,1	1,2	2,9	N.A	0,9	1,2	0,9
2010	2,1	1,5	N.A	2,5	1,7	N.A	2,7	1,1	1,0	1,2	1,2
2011	2,1	1,3	0,9	2,4	1,8	N.A	2,7	1,7	1,8	1,1	1,4
2012	2,4	1,4	1,0	2,6	1,9	N.A	2,2	1,8	2,0	1,1	1,6
2013	2,4	1,4	1,0	2,5	1,9	1,8	2,1	2,2	2,0	1,1	1,6
2014	2,4	1,4	1,1	2,6	1,8	1,8	2,1	1,8	1,9	1,0	1,4
2015	2,6	1,5	1,1	2,8	2,0	1,8	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7
2016	2,0	1,2	0,9	2,4	1,7	1,5	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7
2017	2,0	1,2	0,9	2,3	1,6	1,4	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6
2018	2,0	1,2	1,0	2,3	1,6	N.A	2,2	1,5	1,4	1,2	1,6
2019	1,6	1,3	1,4	2,4	1,6	1,3	N.A	1,5	1,2	1,4	1,6

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Prom 2010 - 2019	2,0	1,4	1,0	2,3	1,7	1,2	2,4	1,6	1,4	1,2	1,4

Fuente: RMCAB-2019

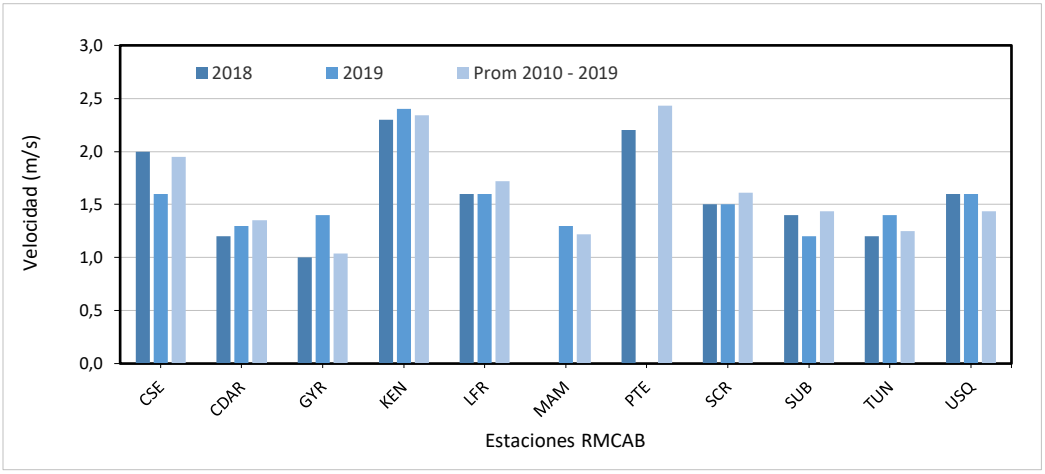


Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2018 vs. 2019.

9.3.2. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En la Tabla 9-10 se presenta un resumen del comportamiento promedio mensual multianual de los vientos durante las últimas décadas. De acuerdo con los registros de la RMCAB, se confirma lo dicho anteriormente cuando se realizó el análisis del comportamiento de la velocidad del viento por estación, es decir, que en 2019 las velocidades superaron los valores medios mensuales multianuales. Ver Figura 9-14

Tabla 9-10. Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2019.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	**Promedio**
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	**1,3**
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	**1,5**
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	**1,4**
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	**1,7**
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	**1,8**
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	**1,8**
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	**1,8**
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	**1,8**
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	**1,7**
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	**1,8**
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	**1,8**
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	**1,8**
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	**1,9**
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	**1,9**
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	**1,8**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	**Promedio**
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	**1,8**
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	**1,6**
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	**1,5**
2018	1,5	1,6	1,5	1,2	1,3	1,8	1,9	2,1	1,8	1,5	1,4	1,7	**1,6**
2019	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	2,0	2,1	2,1	1,8	1,6	1,6	1,7	**1,5**
Promedio 2000 - 2019	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,6	**1,7**

Fuente: RMCAB 2019

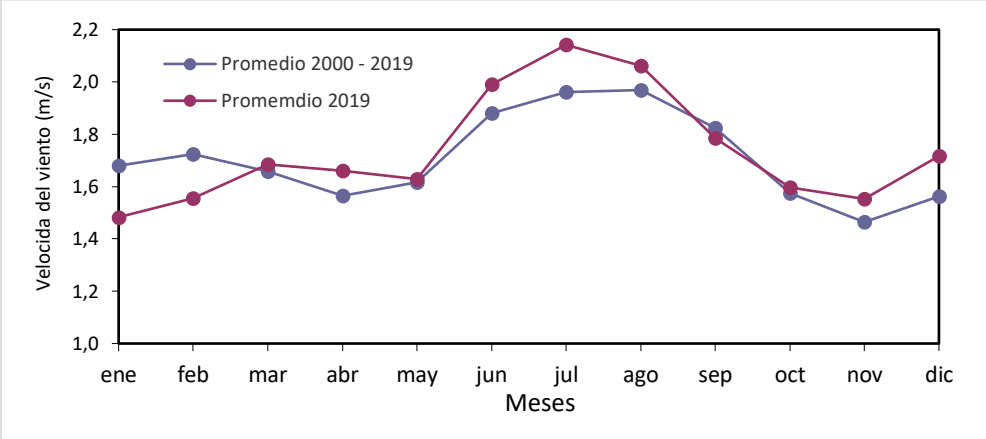
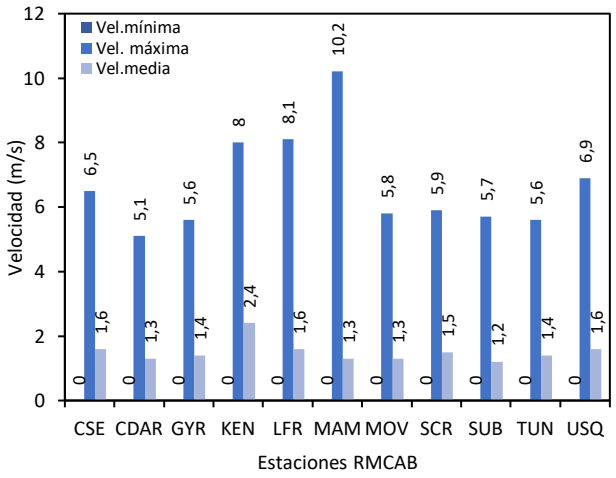


Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2019 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2019

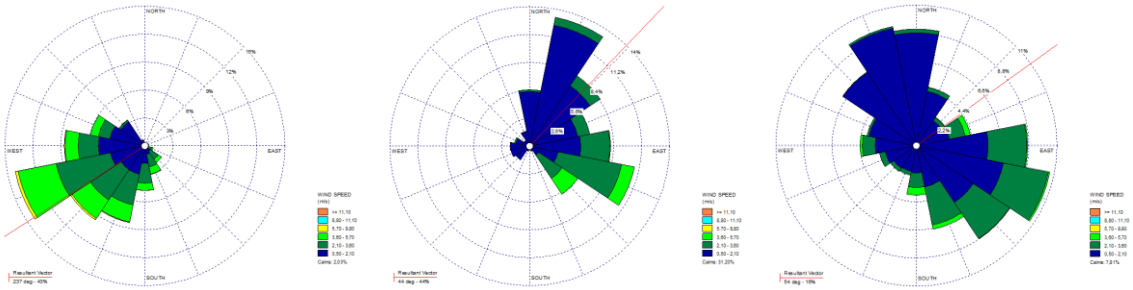
Como información adicional se presenta en la Figura 9-15 los valores medios máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2019, por cada una de las estaciones de la RMCAB. De esta figura se sustrae que para el período del estudio las máximas velocidades absolutas se registraron, hacia los sectores de MinAmbiente, Las Ferias y Kennedy. Estas velocidades máximas probablemente ocurrieron en horas de la tarde cuando mayor cantidad de energía se ha acumulado, las cuales como se observa la Figura 9-17 frecuentemente favorecen la limpieza de la ciudad con las mayores velocidades de la ciudad, que tiene la capacidad de mezclar y transportar los contaminantes que de manera continua se descargan en la misma, ya sea por fuentes locales o externas.



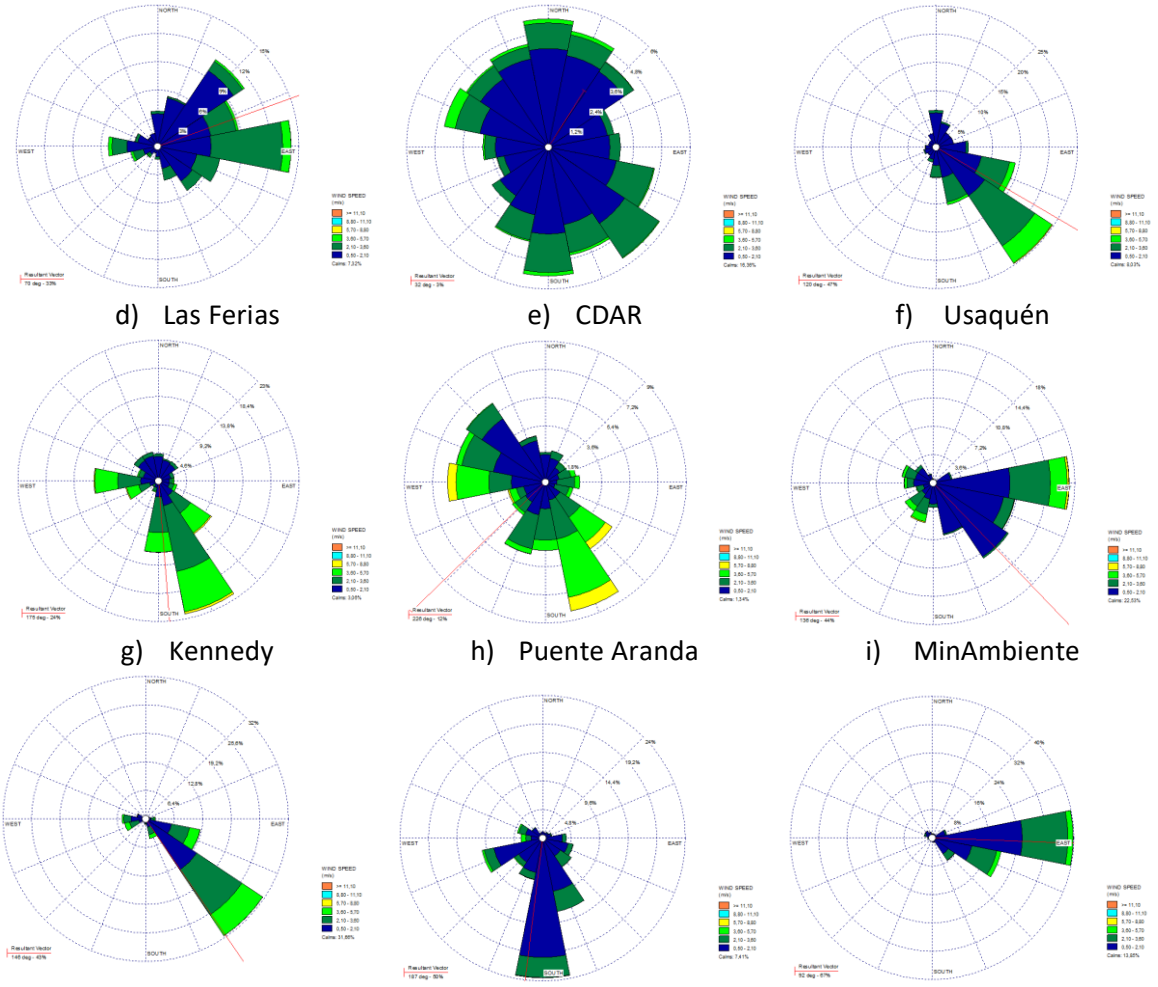
Estación	Vel. mínima	Vel. máxima	Vel. media
BOL	0	7	2,4
CSE	0	6,5	1,6
CDAR	0	5,1	1,3
FTB			
GYR	0	5,6	1,4
KEN	0	8	2,4
LFR	0	8,1	1,6
MAM	0	10,2	1,3
MOV	0	5,8	1,3
PTE	0	8	2,5
SCR	0	5,9	1,5
SUB	0	5,7	1,2
TUN	0	5,6	1,4
Promedio Ciudad	**0**	**6,9**	**1,6**

Figura 9-15. Comportamiento promedio anual de la velocidad del viento - 2019

Sumado a lo anterior, en la Figura 9-16 se presentan las rosas de los vientos construidas a partir de los registros de dirección y velocidad del viento durante el año 2019, las cuales describen cada una de las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal del 75%. Aunque estas representan una instantánea del ciclo anual, ofrecen no solo un panorama de las direcciones predominantes en la ciudad durante todo el año, sino su frecuencia y magnitud. Semejante a los años anteriores se destaca la rosa de vientos de la estación de Puente Aranda donde se presentaron velocidades de entre 5,7 m/s a 8,8 m/s predominantemente del sur y del sur oriente, así como del occidente; las cuales como se pudo observar anteriormente, probablemente ocurrieron durante el mes de agosto toda vez que el resto del año las velocidades del viento estuvieron por debajo de la media multianual. Ver además el mapa del campo del viento presentado en la Figura 9-18.



a) Bolivia b) Suba c) Guaymaral



d) Las Ferias e) CDAR f) Usaquén

g) Kennedy h) Puente Aranda i) MinAmbiente

j) Carvajal k) Tunal l) San Cristóbal

Figura 9-16. Rosas de viento consolidadas por estación – 2019

9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Como quiera que la magnitud de la velocidad de los vientos depende del ciclo diurno del sol, es importante conocer su comportamiento en diferentes horas del día tanto en velocidad como dirección a fin de hallar patrones durante el día que podrían determinar la forma en que los contaminantes son dispersados. Así pues, en 2019 y de acuerdo con los registros de la RMCAB la velocidad del viento en un día normal del año, en promedio se comportó como se describe en la Tabla 9-11. En esta se resume tanto la velocidad como dirección, en diferentes fracciones de un día normal. A fin de identificar patrones de comportamiento en diferentes momentos del día dada la cantidad diferente de radiación solar que se recibe, se ha dividido el día en cuatro fracciones a saber: madrugada, mañana, tarde y noche. La dirección calculada a partir de los registros anuales de la red es un promedio vectorial, por consiguiente, es la resultante de todos los vientos registrados en cada fracción del día.

De la Tabla mencionada anteriormente es deducible que las mayores velocidades del viento se presentaron entre las horas de la mañana y la tarde como es natural que ocurra, en tanto que las velocidades más bajas en la madrugada y en la noche. En cuanto a las direcciones se puede apreciar con mayor detalle en la Figura 9-17.

Tabla 9-11. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Bolivia	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Guaymaral	0,8	1,5	2,1	1,0	352	53	147	64
Usaquén	1,1	1,5	2,2	1,6	92	111	149	124
Suba	0,6	1,5	1,9	0,8	20	44	127	17
Las Ferias	1,1	1,6	2,2	1,4	36	70	136	61
C.D.A.R.	0,7	1,3	2,1	1,0	342	29	162	10
MinAmbiente	0,7	1,3	2,2	1,1	138	157	151	123
Puente Aranda	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Kennedy	1,4	2,2	3,7	2,2	54	126	203	188
Carvajal - Sevillana	0,7	1,6	2,7	1,3	141	132	174	149
Tunal	0,9	1,4	2,1	1,2	187	182	196	190
San Cristóbal	1,2	1,4	2,1	1,5	87	81	94	92
Promedio	**0,9**	**1,5**	**2,3**	**1,3**	-	-	-	-

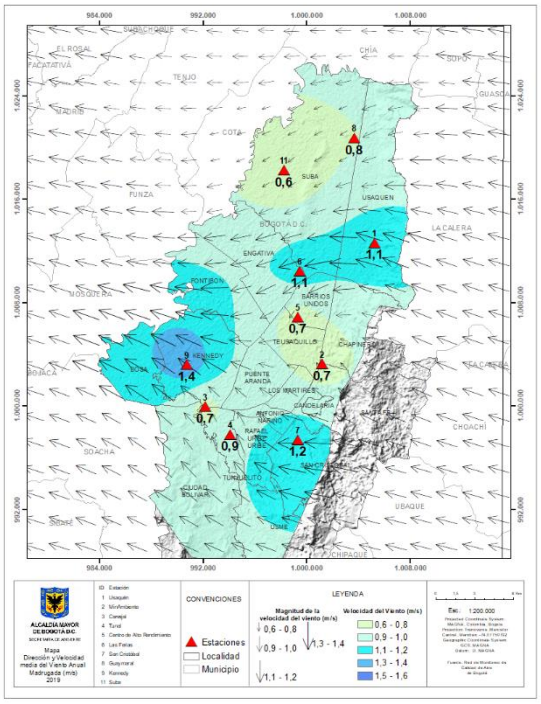
Fuente: RMCAB 2019

En la Figura 9-17 se presentan los mapas que permiten observar el comportamiento promedio de cada fracción del día durante el año. Las fracciones consideradas fueron así: de las 0 horas hasta las 6 am se consideró como madrugada; de las 6 am a las 12 m, se consideró como hora de la mañana; de las 12 m a las 6 pm, horas de la tarde; y de las 6 pm hasta las 12 pm o 0 horas, como horas de la noche. De acuerdo con esto, el comportamiento de los vientos en las diferentes facciones del día, durante el año 2019, fueron como a continuación se describe:

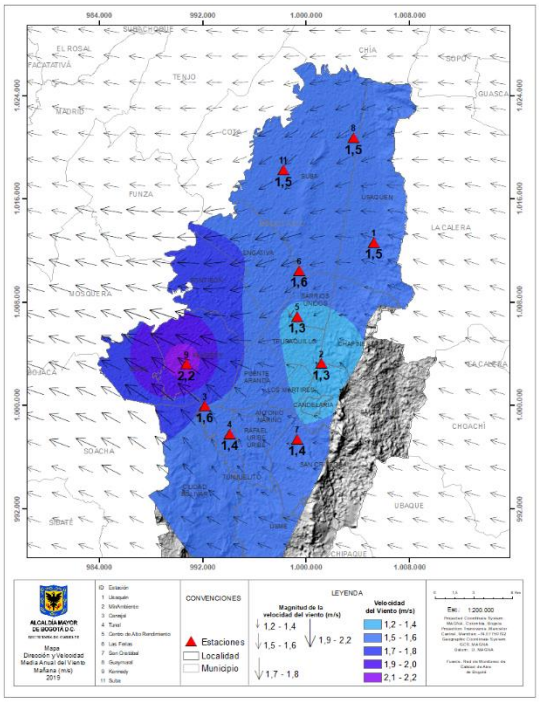
En las madrugadas hubo predominio de vientos del oriente; en las mañanas las condiciones se mantuvieron idénticas que en horas de la madrugada, es decir, prevalecieron los vientos del oriente; en las tardes predominan los vientos alisios del sur oriente en el flanco oriental de la ciudad, y vientos del sur en el corredor occidental de la ciudad; ya en horas nocturnas la componente del oriente volvió a tomar su predominio.

Cabe anotar que en el transcurso del año pueden presentarse variaciones del comportamiento antes descrito, sin embargo, en promedio la ciudad se ve favorecida por la influencia de los vientos alisios los cuales diariamente ejercen limpieza aerodinámica a través de los vientos predominantes del oriente. Como podrá observarse, en diferentes momentos del día los alisios pueden presentar variaciones en su dirección; estas pueden obedecer a la posición relativa del sol durante el año haciendo que predominan los vientos alisios del suroriente o los del nororiente. En otras circunstancias que no se hacen evidente en los mapas representados, se tiene fuerte influencia de los vientos de escala local tales como las Brisas de Valle que ya se mencionó anteriormente ascienden por el cañón del Magdalena y penetran la ciudad desde el suroccidente, los cuales cuando

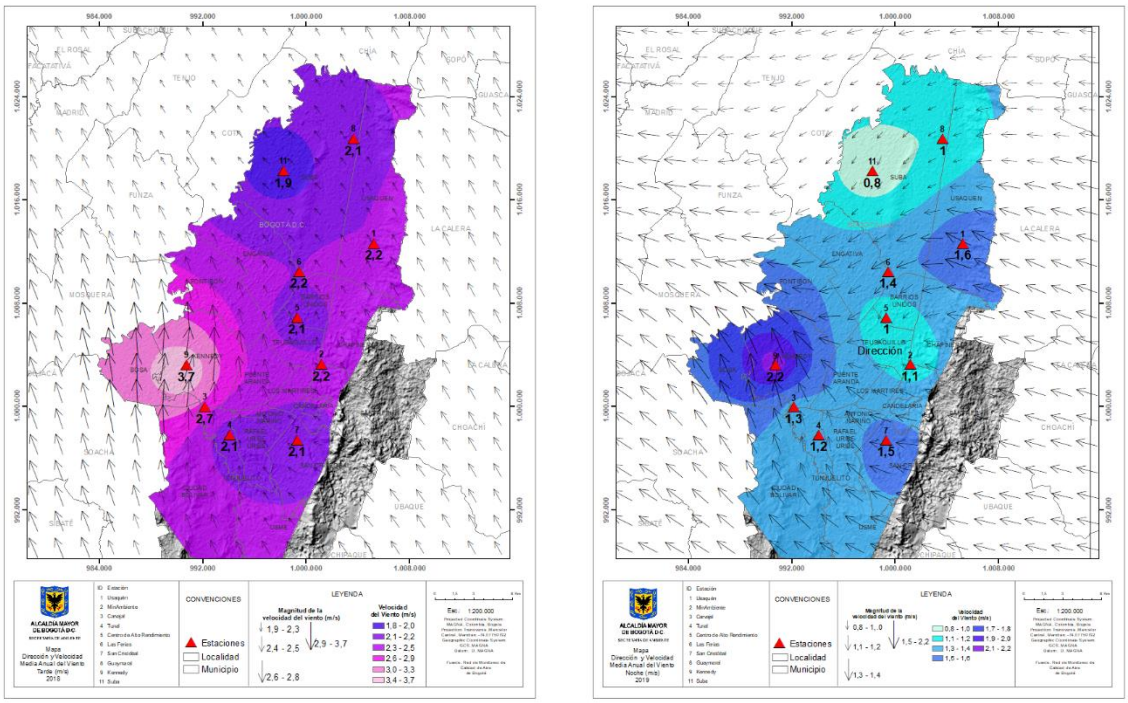
vienen cargados de humedad y las condiciones de estabilidad son propicias favorecen la ocurrencia de fuertes eventos de lluvia. Sin embargo, son vientos que pueden ser desfavorables para la calidad del aire de la ciudad, toda vez que pueden transportar contaminantes de fuentes externas a la ciudad ya sea a nivel local o regional, e introducirlos a la misma, incrementando las concentraciones de contaminantes principalmente material particulado.



a) Madrugada



b) Mañana



c) Tarde d) Noche

Figura 9-17. Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche. RMCAB – 2019

9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO

Como complemento a la información que podrían aportar las rosas de los vientos se presenta el mapa de la Figura 9-18 donde se puede confirmar que las mayores velocidades de los vientos se presentaron hacia el flanco occidental de la ciudad con velocidades con dirección oriente que estuvieron entre 1,7 a 2,5 m/s y en el resto de la ciudad con velocidades entre 1,2 y 1,6 m/s.

También se observa la ocurrencia del patrón de flujo característico de los vientos alisios en la ciudad los cuales se caracterizan por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del oriente con velocidades más bajas que el suroccidente, pero persistentes, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir de en el centro geográfico de la ciudad para continuar su trayectoria hacia el noroccidente, limpiando la ciudad.

Este patrón no siempre se repite, pero persiste durante gran parte del año ayudando, con la remoción de la carga contaminante emitida a la atmosfera local por de las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito. Ver Figura 9-18.

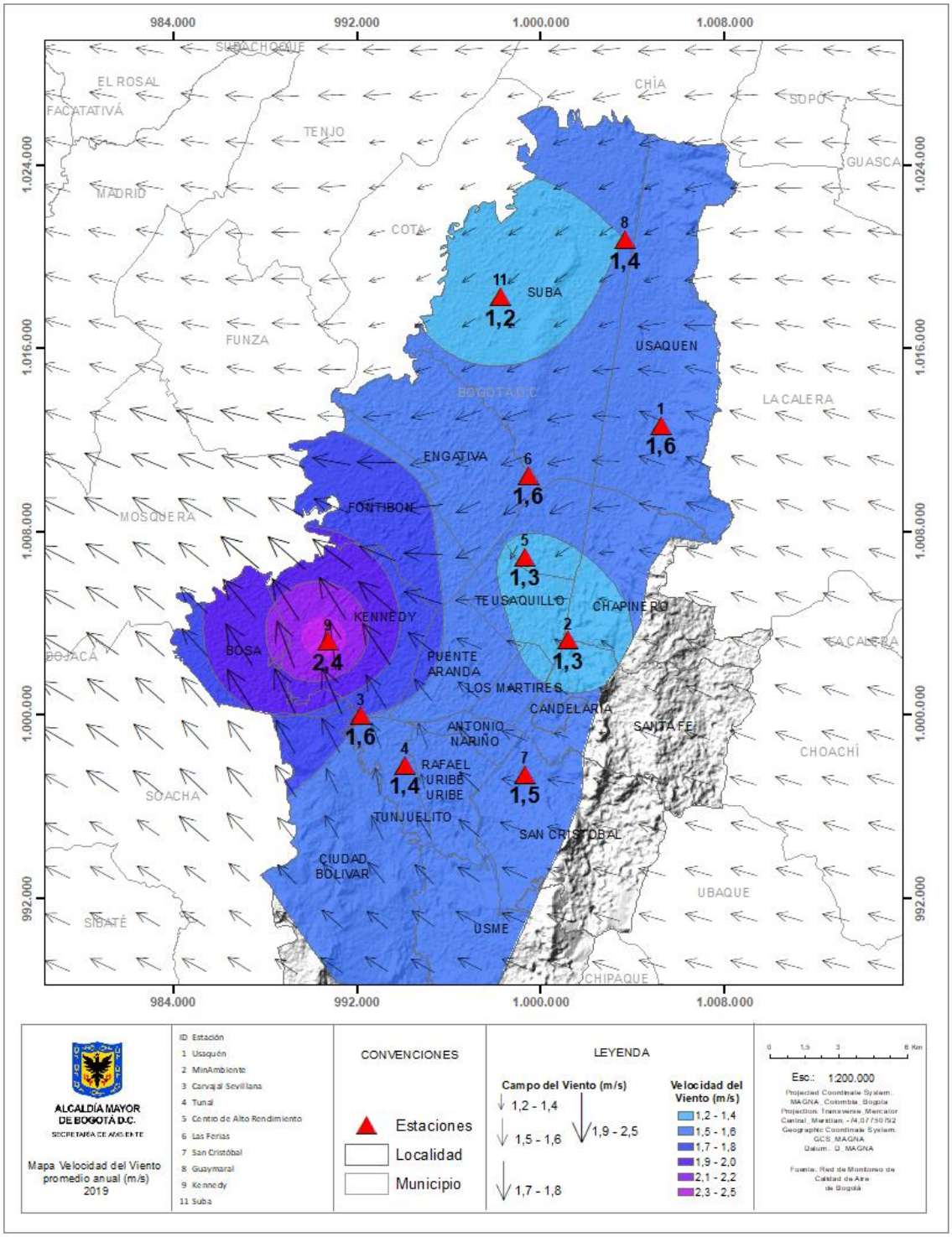


Figura 9-18. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2019

9.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En cuanto al comportamiento histórico de los vientos la Tabla 9-12 resume los promedios anuales de velocidad del viento desde el año 2000 hasta el 2019; Incluso se pueden apreciar estaciones que hicieron parte del diseño inicial de la RMCAB pero que la fecha, por distintas razones, han dejado de funcionar. Sin embargo, se tiene su registro como parte del proceso histórico de la misma. De esta tabla se puede deducir que entre 2000 y 2019 las mayores velocidades del viento se registraron entre 2004 y 2007, y a partir de allí ha descendido fluctuando entre 1,5 a 1,9 m/s. Ver Figura 9-19.

Tabla 9-12. Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2019.

Estación	CEN	CSE	CZC	CME	CDAR	CST	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	OLY	PTE	SCR	SUB	TUN	UNAL	USA	USM	VIT	Promedio
2000	0,7	0,9	1,9	2,0		0,4	2,4			1,7	0,4	1,8	1,9		1,4		0,5	1,2			**1,3**
2001	0,9	1,3	2,1			0,4	2,8			1,7	0,5		2,4		1,4		0,6	1,1			**1.4**
2002	0,7	1,2	2,3			0,4	2,8	0,6		1,6	0,5		2,4		1,3			1,0			**1.3**
2003	0,8	2,1					2,8						2,6					1,2			**1.9**
2004			2,8		0,8		2,7						2,7		1,6						**2.1**
2005			2,4		1,9		2,8			1,5			2,8					1,6			**2.2**
2006			2,5				2,9		1,5	1,4			2,8		1,3			2,4	2,6	1,6	**2.1**
2007		1,8	2,6		1,1		3,4	1,1	1,5	1,4			2,7		1,5	2,1		1,8	2,7	1,5	**2**
2008		1,9	1,7		1,4		2,7	1,2	2,3	1,9			2,7		0,5	1,3		0,7	3,5	1,7	**1.8**
2009		2,4			1,7		3,0	1,3	2,7	2,1	1,2		2,9		0,9	1,2		0,9			**1.8**
2010		2,1			1,5		2,8		2,5	1,7			2,7	1,1	1,0	1,2		1,2			**1.8**
2011		2,1			1,3		2,9	0,9	2,4	1,8			2,7	1,7	1,8	1,1		1,4			**1.8**
2012		2,4			1,4		3,0	1,0	2,6	1,9			2,2	1,8	2,0	1,1		1,6			**1.9**
2013		2,4			1,4		3,0	1,0	2,5	1,9	1,8		2,1	2,2	2,0	1,1		1,6			**1.9**
2014		2,4			1,4			1,1	2,6	1,8	1,8		2,1	1,8	1,9	1,0		1,4			**1.7**
2015		2,6			1,5			1,1	2,8	2,0	1,8		2,3	1,2	1,9	1,2		1,7			**1.8**
2016		2,0			1,2			0,9	2,4	1,7	1,5		2,1	1,7	1,4	1,2		1,7			**1,6**
2017		2,0			1,2			0,9	2,3	1,6	1,4		1,9	1,6	1,3	1,1		1,6			**1,5**
2018		2,0			1,2			1,0	2,3	1,6			2,2	1,5	1,4	1,2		1,6			**1,6**
2019		1,6			1,3			1,4	2,4	1,6	1,3			1,5	1,2	1,4		1,6			**1,5**
Prom	**0,8**	**2,0**	**2,3**	**2,0**	**1,4**	**0,4**	**2,9**	**1,0**	**2,3**	**1,7**	**1,2**	**1,8**	**2,4**	**1,6**	**1,4**	**1,2**	**0,6**	**1,4**	**2,9**	**1,6**	**1,6**

Fuente: RMCAB 2019

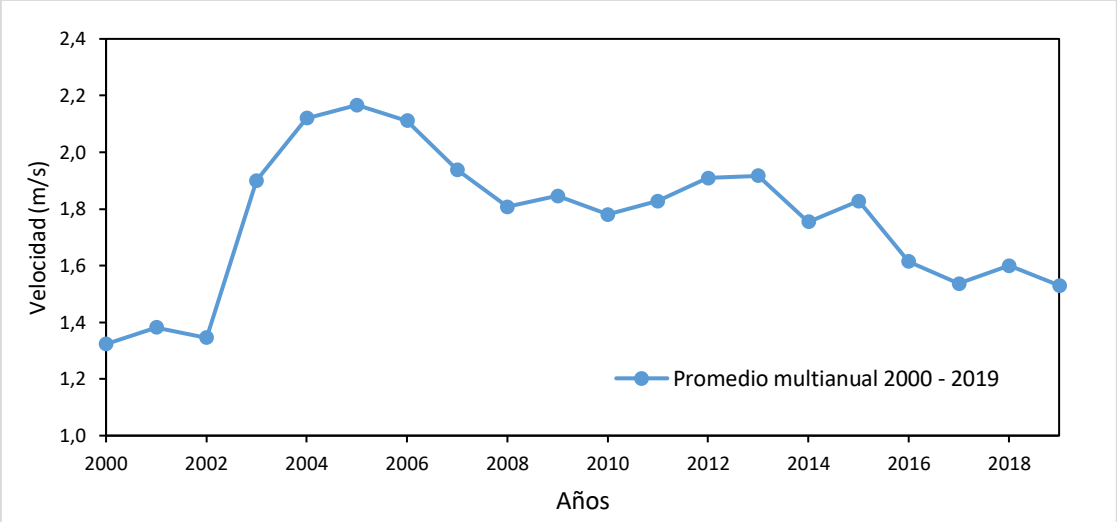


Figura 9-19. Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá entre 2000 a 2019

9.4. RADIACION SOLAR

El Sol es la fuente principal de energía para la mayor parte de los procesos que ocurren en sobre la Tierra. De acuerdo con (OMM - Guía N° 8 Edición 2010.pdf, s. f.) los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean, entre otras para:

a) estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio;
b) analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera, como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono.

La radiación solar es de máxima importancia para la vida sobre la Tierra. Los distintos flujos de radiación, hacia y desde la superficie de la Tierra, permiten deducir el balance de calor de la Tierra en su totalidad, y de cualquier lugar particular sobre el globo. El conocimiento de la radiación solar es de gran valor para la ciencia, la industria, la agricultura y otras actividades del ser humano.

9.4.1. PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2019 la ciudad de Bogotá acumuló aproximadamente 1.37 GW/m^2. Energía que fue acumulada de manera diferente durante el ciclo anual, en virtud de todas trasformaciones que se dan a partir de este flujo. La mayor cantidad de energía en orden de magnitud, se recibió durante el mes de julio y septiembre. Comparado con el año anterior, el total acumulado fue inferior, como se observa en la Figura 9-20.

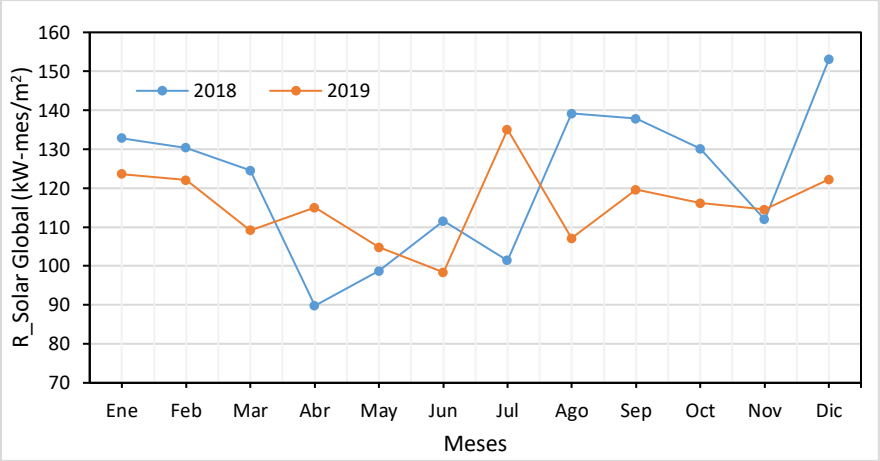


Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2019 vs. 2018

9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR

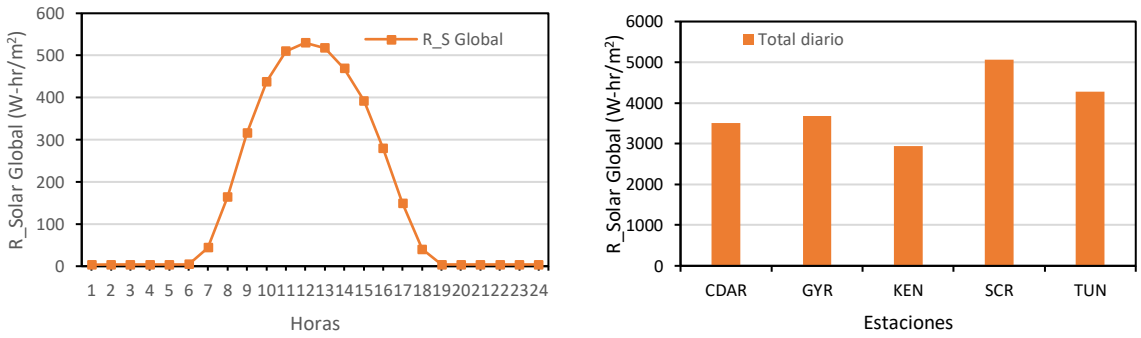
En la Tabla 9-13 se resume el comportamiento medio horario anual de la cantidad de energía recibida en cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta se puede observar que en promedio la estación que mayor cantidad de energía acumuló durante el día fueron las estaciones de San Cristóbal, Tunal y La Móvil como se puede apreciar en la Figura 9-21. Como es normal y de acuerdo con el ciclo de radiación solar, el sistema tierra atmosfera y las particularidades locales, la hora en la cual se acumula mayor cantidad de energía de la ciudad de Bogotá se encuentra entre las 11 am y la 1 pm. En tanto que, en las horas de la madrugada y la noche esta cantidad de energía tienden a cero. Es importante precisar que los valores de radiación registrados en las estaciones de San Cristóbal, Tunal y Móvil, en horas de la madrugada y noche, obedecen a radiación difusa de fuentes artificiales tales como luminarias que se encuentran en cercanía de las estaciones y posiblemente son registradas por nuestros sensores. Sin embargo, en el hipotético caso que los datos de la madrugada y la noche fueran llevados a cero, las estaciones que continúan registrando las mayores cantidades de radiación solar son las antes indicadas.

Tabla 9-13. Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones de la RMCAB en 2019

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	Promedio
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
1:00	0,0	0,0	0,0	4,7	11,3	6,7	3,6
2:00	0,0	0,0	0,0	4,6	11,4	6,7	3,6
3:00	0,0	0,0	0,0	4,6	11,4	6,7	3,6
4:00	0,0	0,0	0,0	4,5	11,3	6,7	3,6
5:00	0,0	0,0	0,0	4,4	11,4	6,7	3,6
6:00	1,0	0,2	0,5	5,4	12,9	7,7	4,5
7:00	47,4	36,6	26,0	52,1	58,8	51,8	44,1
8:00	180,5	159,0	110,3	208,5	202,6	172,0	164,9
9:00	315,6	304,0	254,6	387,8	394,7	310,5	315,9
10:00	404,6	407,6	376,7	506,8	576,4	425,1	438,1
11:00	452,3	473,1	430,9	568,5	684,0	511,1	510,3
12:00	463,3	483,7	443,4	576,5	708,4	551,2	530,0

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	Promedio
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
13:00	447,4	501,0	410,0	529,4	651,7	577,2	517,5
14:00	410,7	460,8	343,7	478,9	585,5	543,4	468,8
15:00	347,8	388,2	277,4	401,0	490,1	458,6	392,4
16:00	253,5	275,1	168,0	286,8	358,1	341,5	279,2
17:00	141,3	154,2	78,9	164,3	171,0	201,0	149,3
18:00	38,0	35,6	19,9	45,6	50,6	58,1	40,4
19:00	0,3	0,2	0,2	5,4	12,0	7,3	4,0
20:00	0,0	0,0	0,0	4,8	11,3	6,8	3,6
21:00	0,0	0,0	0,0	4,8	11,3	6,8	3,6
22:00	0,0	0,0	0,0	4,8	11,3	6,8	3,6
23:00	0,0	0,0	0,0	4,8	11,3	6,8	3,6
24:00	0,0	0,0	0,0	4,8	11,3	6,7	3,6
Total	**3503,9**	**3679,3**	**2940,6**	**4263,7**	**5069,8**	**4283,8**	

Fuente: RMCAB 2019



a) Perfil horario *b) Total acumulado por día*

Figura 9-21. Cantidad de radiación solar recibida en promedio día durante el año 2019. a) perfil horario; b) radiación acumulada por cada estación.

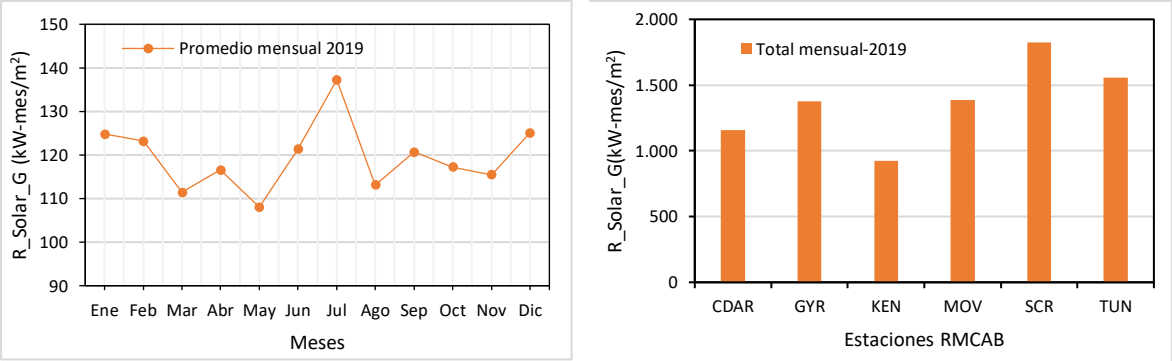
9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

En relación con a los totales acumulados mensualmente durante 2019, en la Tabla 9-14 se presenta un resumen de los acumulados por cada estación de la RMCAB. Asimismo, en la Figura 9-22 se detallan las variaciones mensuales durante el año, observándose que los meses con mayores acumulados consistentemente fueron enero y febrero y el mes de julio registrando la mayor cantidad de radiación solar. Este comportamiento está asociado con la presencia o ausencia de nubosidad en la bóveda celeste que cubre la ciudad de Bogotá. Así pues, en ausencia de vapor de agua la posibilidad de formación de nubes se reduce y viceversa, lo cual está estrechamente relacionada con el ciclo anual de la zona de confluencia intertropical.

Tabla 9-14. Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m²) - 2019

Estación	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
CDAR	110	109	90	99	84	N.A	122	117	104	102	102	117	**1.156,0**
GYR	141	111	107	110	98	118	116	121	116	110	114	117	**1.377,7**
KEN	116	97	78	87	86	104	N.A	16	88	78	82	94	**923,7**
MOV	100	126	118	124	115	N.A	135	134	131	136	132	137	**1.388,3**
SCR	151	168	154	155	141	135	167	148	159	155	144	146	**1.822,8**
TUN	130	129	123	124	124	129	146	143	126	123	120	139	**1.556,5**
Promedio 2019	**125**	**123**	**111**	**117**	**108**	**121**	**137**	**113**	**121**	**117**	**115**	**125**	1.370,8

Fuente: RMCAB 2019



a) Comportamiento medio mensual *b) Acumulado por estación*

Figura 9-22. Comportamiento mensual de la radiación en 2019 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados.

9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR

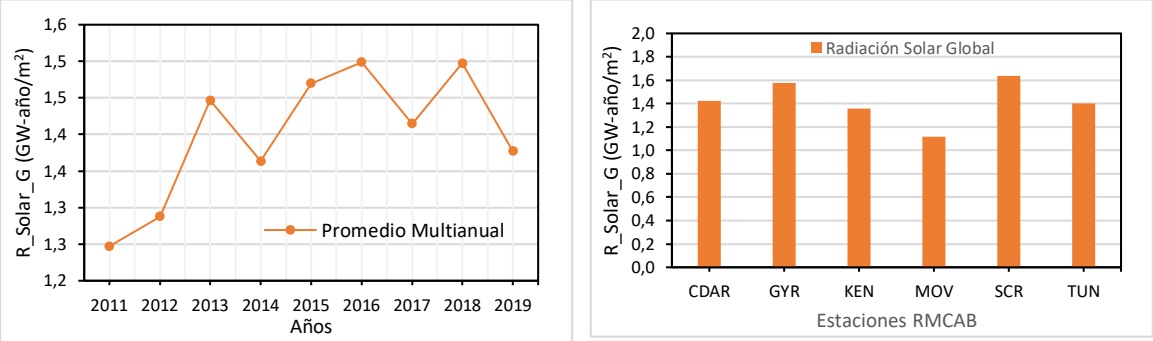
Del mismo modo que en el ciclo mensual así también se resume en la Tabla 9-15 el comportamiento multianual de los totales acumulados en la ciudad de Bogotá entre 2009 a 2019. Y de manera gráfica en la Figura 9-23Figura 9-23 su distribución anual, y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones de la RMCAB. De acuerdo con la figura referida, en 2019 en las cantidades de radiación solar se redujeron respecto a los años 2015 – 2018. No obstante, la estación Móvil tuvo un porcentaje de representatividad temporal del 75%; esto significa que un 25% de los datos no están sumando al promedio de todas las estaciones de la ciudad. En este orden de ideas, si se excluyera el dato de la estación Móvil 7ma el promedio resultante de las cinco estaciones restantes sería de 1.49 GW-año/m^2.

Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m² periodo 2009 - 2019

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio
CDAR	1,48	1,29	1,34	1,47	1,47	1,41	1,52	1,54	1,35	1,28	1,19	**1,42**
GYR	1,63	NA	NA	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,41	1,34	**1,58**
KEN	NA	1,26	1,06	1,30	1,38	1,44	1,52	1,33	1,46	NA	0,80	**1,36**
MOV	NA	NA	NA	1,14	1,44	0,97	1,05	1,10	1,01	1,55	1,55	**1,12**
SCR	NA	NA	NA	0,83	NA	1,48	1,86	1,87	1,74	1,82	1,82	**1,63**

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio
TUN	NA	1,21	1,34	1,40	1,39	1,37	1,38	1,47	1,28	1,42	1,56	**1,40**
PROMEDIO	**NA**	**1,26**	**1,25**	**1,29**	**1,45**	**1,36**	**1,47**	**1,50**	**1,41**	**1,50**	**1,38**	**1,42**

Fuente: RMCAB 2019



a) Comportamiento medio mensual *b) Acumulado por estación*

Figura 9-23. Comportamiento anual de la radiación en 2019 a) promedio anual; b) totales anuales acumulados.

9.5. PRESION ATMOSFERICA

La presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera gaseosa de la tierra, en virtud de su peso, sobre la superficie terrestre. Esta presión es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por arriba de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmósfera.

La importancia del conocimiento de las condiciones de presión radica en que es un factor determinante, no solamente para la ocurrencia de las lluvias, sino, para la dispersión de contaminantes en la atmósfera, toda vez que cuando el aire está frío, éste desciende, haciendo aumentar la presión y en consecuencia la estabilidad de la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire está caliente, asciende, provocando un descenso en la presión y por consiguiente la atmósfera se hace inestable.

La presión atmosférica, en un lugar determinado, varía continuamente de manera regular e irregular. Las variaciones irregulares se deben principalmente a la presencia de sistemas meteorológicos cuyo desarrollo, fortalecimiento, debilitamiento o ubicación pueden originar esos cambios de presión.

9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión es la variable relativamente homogénea en el espacio, su variación está asociada al calentamiento del aire por parte del flujo radiativo solar, el cual determina su variabilidad durante el día.

En 2019 el comportamiento de la presión atmosférica mostró una reducción con respecto al promedio mensual multianual durante la mayor parte del año. Ahora bien, comparado con el año

anterior se observa que las mayores presiones durante el año se registraron durante el mes de agosto, a diferencia de 2019 en el cual los mayores niveles de presión se produjeron en los meses de junio y julio superando el promedio de la década. Ver Figura 9-24 y la Tabla 9-16. Asimismo, en 2018 las menores presiones se registraron en el primer trimestre del año, donde ha típicamente se presentaron eventos de lluvia con tormenta. Tabla 9-16

Tabla 9-16. Comportamiento de la presión media mensual de 2019 y 2018 frente al promedio multianual 2010 - 2019

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
2010	564,3	564,2	564,5	564,8	565,0	565,4	565,1	565,1	564,7	564,6	563,8	563,6	**564,6**
2011	563,5	564,0	564,0	564,3	564,4	564,8	564,6	565,1	565,1	564,1	563,8	563,6	**564,3**
2012	563,8	563,6	563,9	564,3	564,5	565,0	564,7	565,1	565,3	564,2	564,1	563,9	**564,4**
2013	564,3	563,9	564,5	564,6	565,0	564,8	565,1	564,7	564,7	564,4	563,2	563,6	**564,4**
2014	563,5	563,3	563,8	564,1	564,3	564,4	564,8	564,2	563,9	563,6	563,3	563,8	**563,9**
2015	563,9	563,5	563,5	563,6	564,0	564,2	564,2	564,0	564,0	564,0	563,1	563,7	**563,8**
2016	563,8	563,5	564,2	563,8	564,5	564,7	564,3	564,3	564,3	563,3	563,1	563,2	**563,9**
2017	563,4	563,5	563,5	563,7	564,1	564,1	564,5	564,1	564,0	563,4	562,8	563,1	**563,7**
2018	562,9	563,1	563,1	563,8	563,9	564,1	563,8	564,7	563,7	563,6	563,4	563,5	**563,6**
2019	563,6	563,3	563,5	563,7	563,7	564,8	564,7	564,4	564,1	563,2	562,7	562,9	**563,7**
PROMEDIO 2010 - 2019	**563,7**	**563,6**	**563,8**	**564,0**	**564,3**	**564,6**	**564,5**	**564,5**	**564,4**	**563,8**	**563,3**	**563,5**	**564,0**

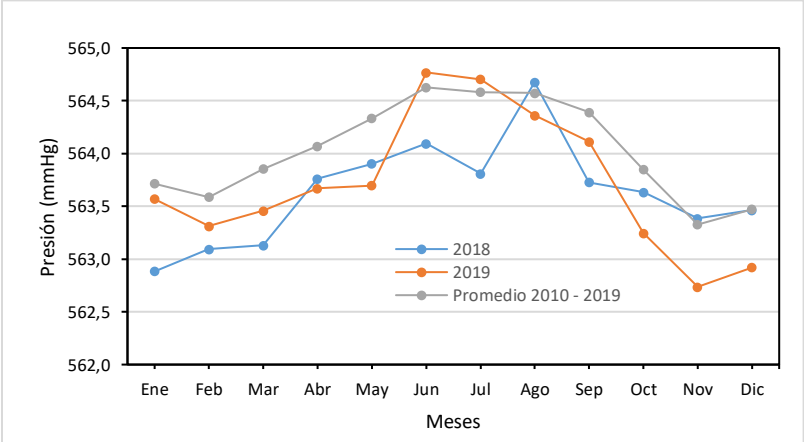


Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2018 frente al promedio mensual multianual 2010-2019

9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En cuanto al comportamiento medio mensual de 2019 la presión atmosférica registrada por la RMCAB se resume en la Tabla 9-17. Asimismo, en la Figura 9-25 se representa gráficamente su variación mensual y por estación de la red.

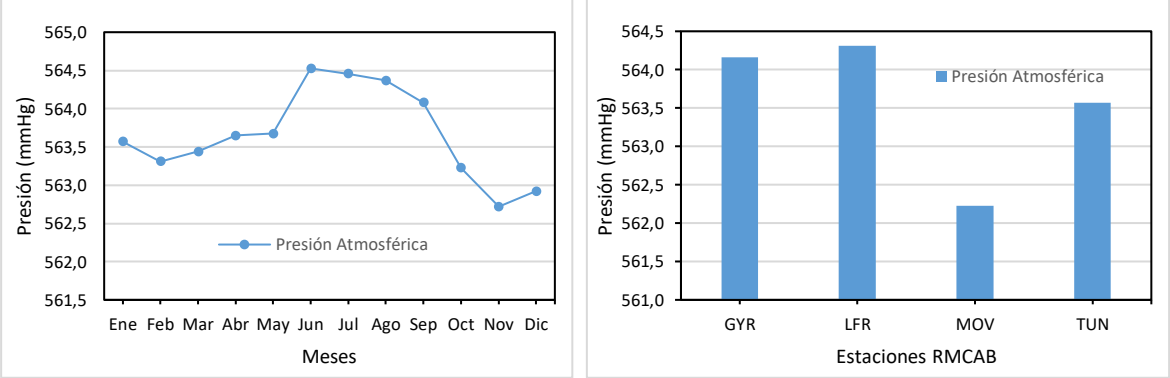
Como es consistente con el ciclo de la radiación solar, en el mes de noviembre se presentaron las más bajas presiones con una media mensual a nivel ciudad de 562,6 mmHg, lo cual se correlaciona

con las abundantes lluvias ocurridas durante el mes de noviembre de 2019, las cuales superaron los 450 mm. Sin embargo, durante el segundo trimestre del año, típicamente lluvioso, los niveles de presión atmosférica no alcanzaron valores tan bajos como los reportados durante el mes de noviembre. De allí que los niveles de precipitación, aunque abundantes, se distribuyeron de madera más uniforme a diferencia de lo ocurrido en el cuarto trimestre del año donde en el mes de noviembre las precipitaciones fueron casi equivalentes a lo registrado durante los dos meses de lluvia más intensos del segundo trimestre del año.

Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2019

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	**Promedio**
FTB	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**N.A**
GYR	564,1	563,8	564,0	564,2	564,3	564,7	564,6	565,1	564,7	563,8	563,2	563,5	**564,2**
KEN	563,7	563,5	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,6**
LFR	564,2	564,0	564,2	564,4	564,4	564,8	564,8	565,2	564,8	564,0	563,5	563,5	**564,3**
MOV	562,3	562,0	562,2	562,4	562,4	N.A	N.A	562,8	562,8	562,0	561,5	561,7	**562,2**
TUN	N.A	N.A	563,4	563,6	563,6	564,0	564,0	564,4	564,0	563,2	562,7	562,9	**563,6**
Promedio mes 2019	**563,7**	**563,6**	**563,8**	**564,0**	**564,3**	**564,6**	**564,5**	**564,5**	**564,4**	**563,8**	**563,3**	**563,5**	**564,0**

Fuente: RMCAB 2019



a) *Promedio mensual ciudad* b) *Promedio anual por estación*

Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica en 2019. a) promedio ciudad; b) promedio por estación

9.5.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Tal como se mencionó anteriormente la presión atmosférica tiene variaciones regulares e irregulares. Las variaciones regulares tienen distintos períodos, siendo la más importante la que tiene un período natural y propio de aproximadamente 12 horas, que recibe el nombre de variación semi-diurna de la presión. (FOPAE, 2001).

Como se puede observar en la Tabla 9-18 y la Figura 9-26, la presión en la ciudad de Bogotá varia regularmente entre las 10 de la mañana y las 10 de la noche aproximadamente, de allí la razón por la cual se considera que su variación es semi-diurna. En cada período de 12 horas se tienen dos

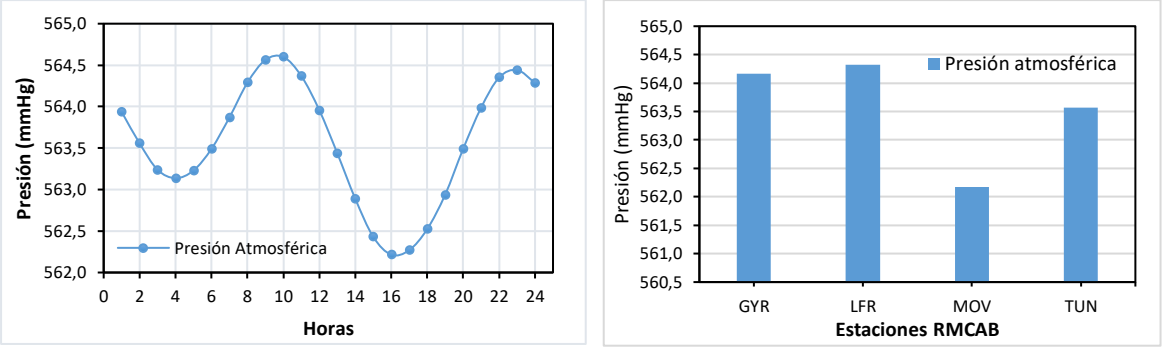
máximos y dos mínimos. El máximo más alto ocurre las 10 de la mañana y el mínimo más bajo ocurre a las cuatro de la tarde, con una amplitud de la presión de alrededor de 2,4 mmHg, lo cual está asociado al calentamiento del aire por acumulación de energía durante el día y por consiguiente al descenso de la presión, lo que su vez favorece la dispersión de los contaminantes, porque la atmósfera se hace inestable y se propician los fenómenos de turbulencia mecánica y la turbulencia convectiva, que son las fuerzas que contribuyen con la mezcla y transporte de los contaminantes que se encuentran en la baja atmósfera.

En cuanto al comportamiento espacial de la presión, de acuerdo con los registros de la RMCAB, las presiones más bajas, en promedio día durante el año, se localizaron hacia el flanco oriental de la ciudad representados por la estación móvil, mientras que las más altas se presentaron en el sector de Las Ferias y Guaymaral.

Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB - 2019

Hora	GYR	LFR	MOV	TUN	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	
1:00	564,6	563,9	564,7	562,5	**563,9**
2:00	564,2	563,5	564,3	562,1	**563,6**
3:00	563,9	563,3	564,0	561,8	**563,3**
4:00	563,7	563,2	563,9	561,7	**563,2**
5:00	563,9	563,3	564,0	561,8	**563,2**
6:00	564,1	563,4	564,3	562,1	**563,5**
7:00	564,5	563,9	564,6	562,5	**563,9**
8:00	564,9	564,3	565,1	562,9	**564,2**
9:00	565,2	564,6	565,3	563,2	**564,5**
10:00	565,2	564,7	565,3	563,2	**564,6**
11:00	564,9	564,4	565,1	563,0	**564,4**
12:00	564,5	564,0	564,7	562,6	**564,0**
13:00	564,0	563,5	564,2	562,1	**563,5**
14:00	563,4	563,0	563,6	561,4	**563,0**
15:00	563,0	562,5	563,2	561,0	**562,4**
16:00	562,8	562,3	563,0	560,8	**562,2**
17:00	562,8	562,4	563,0	560,9	**562,2**
18:00	563,1	562,6	563,3	561,1	**562,5**
19:00	563,5	562,9	563,7	561,5	**563,0**
20:00	564,1	563,5	564,2	562,1	**563,5**
21:00	564,6	563,9	564,8	562,6	**564,0**
22:00	565,0	564,4	565,1	563,0	**564,3**
23:00	565,0	564,5	565,2	563,1	**564,4**
24:00	564,9	564,3	565,0	562,9	**564,3**
Promedio diario	**564,2**	**563,6**	**564,3**	**562,2**	**563,6**

Fuente: RMCAB 2019



a) Ciclo semi diurno de la presión *b) Promedio diario por estación*

Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica - 2019

9.5.2. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

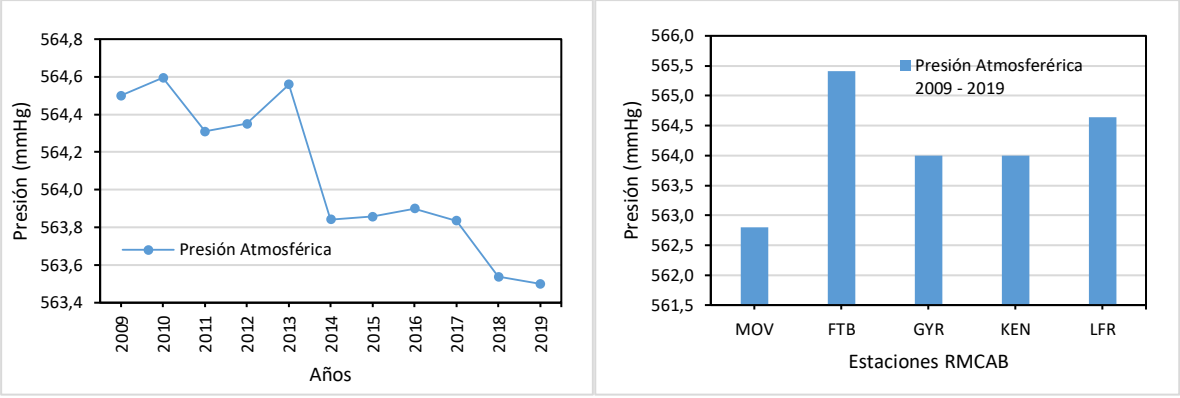
De acuerdo con los registros históricos de la presión atmosférica en 2019 se observó un ligero descenso con respecto al año anterior. A diferencia del 2018 donde se presentó un descenso fuerte con respecto al año 2017, en 2019 el descenso en la presión fue menos brusco.

En cuanto al comportamiento espacial en la ciudad, Fontibón registró los mayores valores de presión. Sin embargo, teniendo en consideración que la estación ha dejado de reportar este parámetro los niveles de presión representativos de la ciudad están dados por las estaciones de Kennedy, Guaymaral, la estación Móvil 7ma y Las Ferias. Así las cosas, se estima que los niveles de presión en la ciudad varían entre los 562 mmHg y los 565 mmHg.

Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2019

Estación	Móvil 7ma	Fontibón	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias	Tunal	Promedio
2009	N.A	N.A	564	N.A	565	N.A	**564,5**
2010	N.A	565	564	564	565	N.A	**564,6**
2011	N.A	565	564	564	564	N.A	**564,3**
2012	564	565	564	564	564	N.A	**564,4**
2013	564	566	564	564	565	N.A	**564,6**
2014	562	N.A	564	564	565	N.A	**563,8**
2015	562	N.A	564	564	565	N.A	**563,9**
2016	563	N.A	564	564	565	N.A	**563,9**
2017	562	N.A	564	564	565	N.A	**563,8**
2018	562	N.A	564	564	564	N.A	**563,5**
2019	562	N.A	564	N.A	564	564	**563,3**
Promedio	**562,8**	**565,4**	**564,0**	**564,0**	**564,6**	N.A	**564,2**

Fuente: RMCAB 2019



a) Promedio multianual *b) Promedio multianual por estación*

Figura 9-27. Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2019

9.6. HUMEDAD

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

La humedad del aire juega un papel importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire. Su rol se sustenta en el hecho de que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los SOx y NOx, los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia acida.

9.6.1. PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD

Asociado al ciclo anual de la zona de confluencia intertropical se encuentran las cantidades de vapor de agua en la ciudad de Bogotá. Cuando este sistema de producción de lluvias se encuentra en su posición más austral ocurre una disminución en la cantidad de vapor de agua en la ciudad mientras que, conforme ocurre su ascenso relativo se da un primer incremento en la proporción de vapor de agua alcanzando su máximo durante los meses de abril y mayo, y una consecuente disminución durante la mitad del año cuando alcanza su posición más septentrional. En su viaje de retorno o de descenso relativo, se da un nuevo incremento en las cantidades de vapor de agua, que alcanza su máximo entre los meses de octubre y noviembre. De esta manera, como se observa en Figura 9-28 la atmósfera presentó condiciones relativamente secas en los dos primeros meses de 2019 comparado con el promedio multianual de la humedad, sin embargo, el contenido vapor de agua se incrementó en los meses de abril y mayo alcanzando humedades por encima de la media mensual multianual. Por otra parte, la humedad relativa en el año 2019, fue inferior al promedio mensual multianual durante la segunda mitad del año.

Tabla 9-20. Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2019.

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	60,5	64,4	65,3	73,1	72,5	69,9	70,7	67,1	69,3	68,8	73,7	69,8
2011	65,9	67,7	68,6	70,6	68,0	65,3	65,1	62,4	63,5	69,6	72,7	67,4
2012	66,2	64,2	65,1	68,7	64,1	60,3	63,3	63,6	60,0	64,0	65,1	64,0
2013	62,0	67,1	64,9	65,8	68,0	62,6	61,7	63,6	62,7	64,3	69,0	67,8
2014	65,9	62,6	63,9	62,1	63,9	64,4	62,1	61,7	60,5	65,3	66,6	65,2
2015	60,9	62,1	64,7	62,6	62,0	63,9	61,9	60,7	57,6	59,9	64,5	58,1
2016	61,1	59,0	61,8	66,8	65,0	61,6	61,4	60,7	61,7	64,1	68,8	64,5
2017	63,5	60,2	68,7	62,1	66,5	66,5	64,2	61,9	61,0	63,8	68,9	65,2
2018	63,9	63,8	63,9	70,0	68,7	65,4	64,9	63,2	63,9	67,9	70,1	60,7
2019	62,5	63,2	66,6	67,7	65,7	64,6	59,7	60,0	61,3	63,6	66,4	63,6
PROMEDIO	**63,2**	**63,4**	**65,3**	**66,9**	**66,4**	**64,4**	**63,5**	**62,5**	**62,1**	**65,1**	**68,6**	**64,6**

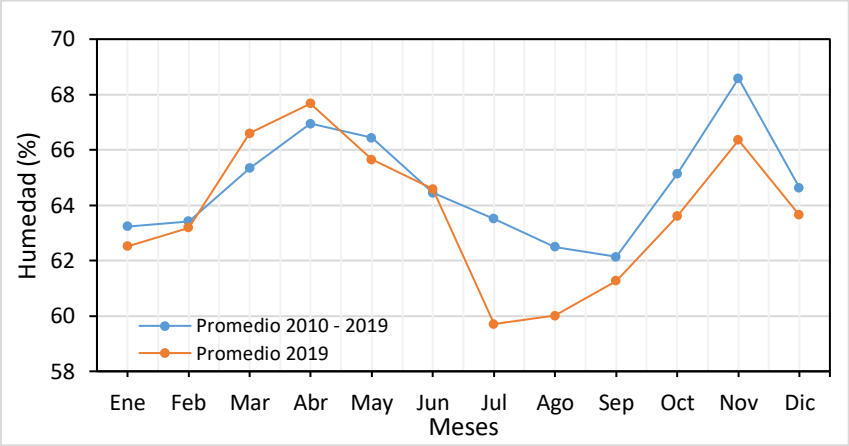


Figura 9-28. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019 vs. Promedio mensual multianual 2010-2019

9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2019 los meses más húmedos fueron abril y noviembre como es usual que ocurra, y los más secos enero y julio.

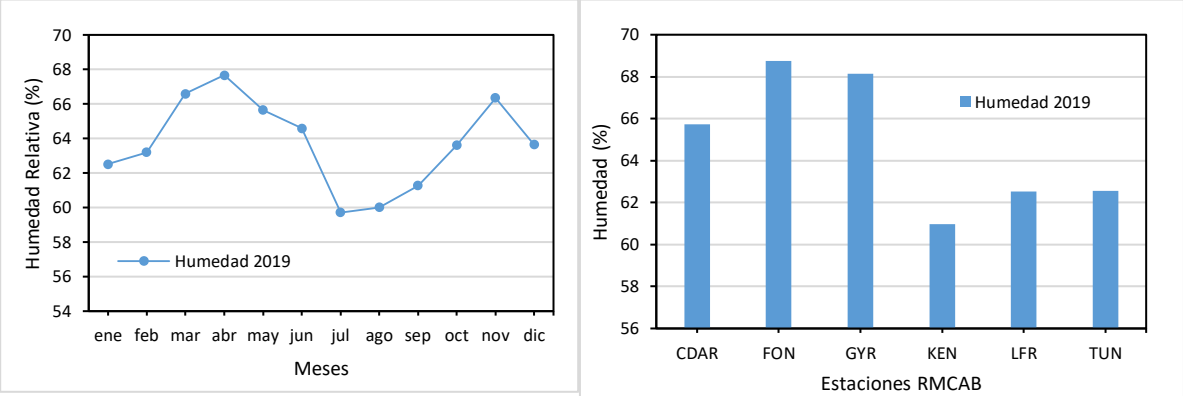
A nivel espacial, los sectores de la ciudad donde mayores cantidades de humedad se registraron fueron Fontibón y Guaymaral.

Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad en 2019.

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
CDAR	66	66	68	70	69	64	61	61	63	65	69	67	**66**
FTB	68	70	71	74	72	68	65	64	65	69	71	68	**69**
GYR	67	67	69	70	71	69	67	67	68	68	70	67	**68**
KEN	61	63	65	67	67	63	56	54	55	59	62	59	**61**

LFR	61	61	64	66	66	63	60	59	61	63	66	61	**63**
MOV	57	56	60	62	60	N.A	N.A	54	56	58	61	57	**58**
SCR	60	63	72	66	55	61	49	N.A	N.A	N.A	N.A	69	**62**
TUN	60	60	63	65	65	64	61	61	61	63	65	62	**63**
Promedio	**63**	**63**	**67**	**68**	**66**	**65**	**60**	**60**	**61**	**64**	**66**	**64**	**64**

Fuente: RMCAB 2019



a) Promedio mensual 2019 *b) Promedio por estación 2019*

Figura 9-29. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019: a) promedia ciudad; b) promedio por estación

9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD

Respecto al comportamiento diario anual de la humedad, dada su relación inversa con la temperatura, en las horas de la madrugada y la noche la atmósfera es normal que se sature por el descenso de la temperatura, alcanzando el pico más alto de humedad conforme ocurre el pico más bajo de temperatura, es decir, entre las cinco y las seis de la madrugada. De manera contraria, conforme el aire se calienta se hace más seca y la humedad relativa disminuye. Ver Tabla 9-22 y Figura 9-28 a).

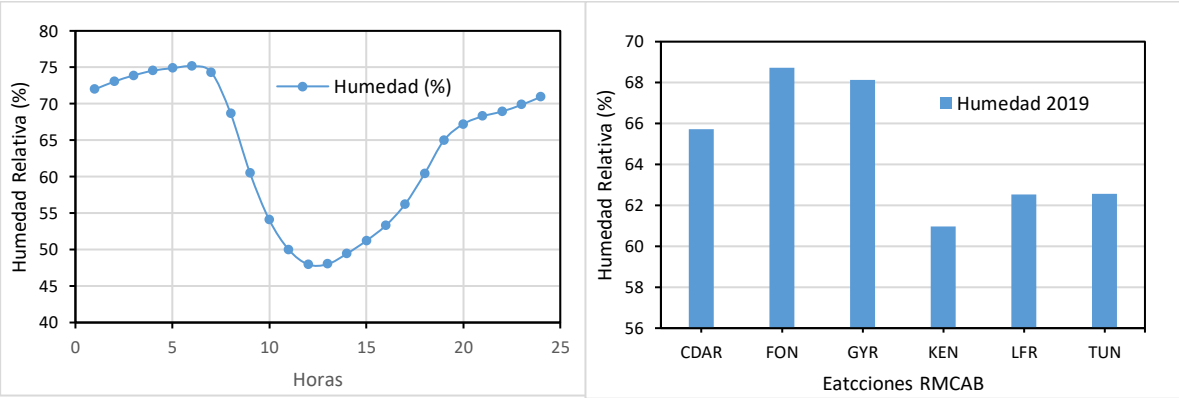
En cuanto a la distribución espacial de la humedad, las estaciones de Fontibón y Guaymaral fueron las que, en promedio, registraron mayores cantidades de humedad durante el año 2019.

Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2019

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	
1:00	76	78	79	67	71	65	67	72	**72**
2:00	77	80	80	68	72	66	68	73	**73**
3:00	77	81	81	69	73	67	69	73	**74**
4:00	78	82	81	70	73	68	70	74	**75**
5:00	78	82	82	71	74	68	70	74	**75**
6:00	79	83	82	71	74	68	70	75	**75**
7:00	77	80	82	71	72	68	69	74	**74**
8:00	68	73	77	69	66	65	65	67	**69**
9:00	58	64	65	62	58	58	60	58	**61**

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	
10:00	53	57	57	54	53	51	56	52	**54**
11:00	49	52	52	49	50	46	54	48	**50**
12:00	48	50	49	47	48	44	52	46	**48**
13:00	48	52	48	48	48	44	51	46	**48**
14:00	50	54	49	49	49	45	52	47	**49**
15:00	52	56	51	50	51	48	53	48	**51**
16:00	54	58	54	52	53	51	55	50	**53**
17:00	58	61	57	54	56	54	57	53	**56**
18:00	63	65	62	57	60	58	60	57	**60**
19:00	68	70	68	62	64	61	63	64	**65**
20:00	71	72	72	64	66	62	64	68	**67**
21:00	72	73	74	64	67	62	64	69	**68**
22:00	73	74	76	64	68	63	65	70	**69**
23:00	74	75	77	65	68	63	66	71	**70**
24:00	75	76	78	66	69	64	67	72	**71**
Promedio diario	**66**	**69**	**68**	**61**	**63**	**59**	**62**	**63**	**64**

Fuente: RMCAB 2019



a) Perfil horario anual *b) Promedio horario por estación*

Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2019: a) perfil horario; b) promedio por estación

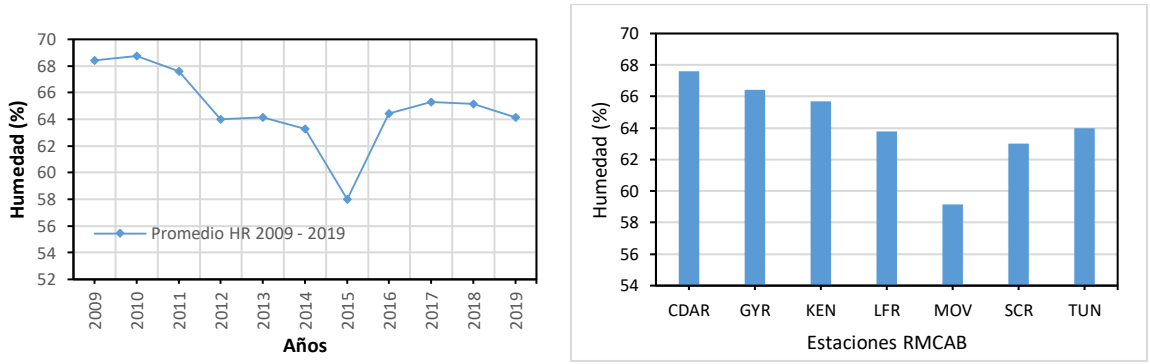
9.6.4. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD

En cuanto al comportamiento histórico anual de la humedad se observa que 2019 presentó un ligero descenso con respecto al año anterior como se puede observar en la Tabla 9-23. Si se evalúa por estación la que históricamente registra los mayores promedios de humedad son las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Guaymaral. Este comportamiento puede estar asociado a la vegetación dominante en las inmediaciones de estas estaciones donde las temperaturas podrían descender mucho más que en el resto de la ciudad propiciando una saturación y en consecuencia altos valores de humedad. Ver Figura 9-31 b)

Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.

ESTACIÓN	BOL	CDAR	FON	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	PROMEDIO
2009	N.A	69	N.A	72	68	66	N.A	N.A	67	**68**
2010	N.A	71	N.A	N.A	69	67	N.A	N.A	68	**69**
2011	N.A	69	N.A	65	70	67	N.A	N.A	67	**68**
2012	N.A	66	N.A	63	66	64	64	61	64	**64**
2013	N.A	67	N.A	63	66	63	62	N.A	64	**64**
2014	N.A	67	N.A	66	65	63	60	59	63	**63**
2015	N.A	62	N.A	64	57	57	53	55	58	**58**
2016	N.A	70	N.A	69	67	64	58	59	64	**64**
2017	N.A	68	N.A	68	65	64	58	72	62	**65**
2018	N.A	67	N.A	68	64	63	59	72	63	**65**
2019	N.A	66	69	68	61	63	59	N.A	63	**64**
PROMEDIO	**N.A**	**68**	**N.A**	**66**	**66**	**64**	**59**	**63**	**64**	**64**

Fuente: RMCAB 2019



a) Promedio multianual RMCAB 2009 - 2019 *b) Promedio multianual por estación 2009 - 2019*

Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa anual: a) promedia multianual; b) promedio por estación

10. INVENTARIOS DE EMISIÓN

Los inventarios de emisión de contaminantes atmosféricos permiten cuantificar las emisiones de una ciudad o región generadas por las diferentes fuentes contaminantes. Proporcionan información técnica que sirve a la autoridad ambiental para los siguientes propósitos: herramienta de diagnóstico para gestionar la calidad del aire de su región, respaldo técnico para la formulación de políticas y estrategias de mitigación de la contaminación, información de entrada para la evaluar la efectividad de acciones a través de modelación de calidad del aire, generación periódica de pronóstico de calidad del aire, entre otros propósitos.

La Secretaría Distrital de Ambiente ha elaborado cada dos (2) años la actualización de los inventarios de emisiones de las fuentes contaminantes más relevantes de la ciudad desde el año 2008. Ejercicios que se han llevado a cabo en varias ocasiones a través de convenios con diferentes entidades (nacionales y locales) y contratos de consultoría.

Los inventarios de emisiones estimados para Bogotá contemplan las siguientes fuentes de emisión identificadas hasta el momento: fuentes móviles (vehículos), fuentes móviles fuera de carretera (maquinaría amarrilla, maquinaria agrícola y maquinaria industrial), fuentes fijas industriales, fuentes fijas comerciales, fuentes de área (centros de almacenamiento de combustibles), fuentes de generación de material particulado resuspendido (vías pavimentadas y no pavimentadas) y fuentes de emisión que obedecen a una temporalidad como son los incendios forestales.

En este capítulo se presenta de forma resumida los inventarios de las emisiones generadas por procesos de combustión de las fuentes móviles (inventario del año 2014 y 2018) y fuentes fijas industriales (inventario del año 2018), ya que se identifican como unas de las fuentes de mayor relevancia para la ciudad. En una publicación más especializada en inventarios de emisiones, se espera abordar con detalle las estimaciones para todas las fuentes de emisión identificadas en Bogotá.

En este capítulo también se presentan de forma general las metodologías utilizadas para la estimación de los inventarios de emisión que contemplan enfoques Top-Down y Bottom-Up. Mientras que el primer enfoque utiliza información en un rango de tiempo y zona específica (lo cual es ideal para tener un panorama general del estado de las emisiones a nivel ciudad); el segundo permite desagregar temporal y espacialmente las emisiones, útil para ejercicios de modelación detallada de la calidad del aire.

10.1. *METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES*

10.1.1. Fuentes Móviles

Como se mencionó anteriormente, existen dos metodologías para la estimación de inventarios de emisiones, que corresponden a los enfoques Top-Down y Bottom-Up. Estas dos metodologías son implementadas para la estimación de las emisiones de las fuentes móviles en Bogotá. Sin embargo,

su estado de actualización corresponde a diferentes fechas, dada la diferencia de complejidad en la información requerida para su. Por esta razón, el inventario de emisiones de fuentes móviles Top-Down de este documento se encuentra actualizado a 2018 y el inventario Bottom- Up al año 2014.

○ *Inventario Top-Down año 2018*

El inventario de emisiones generado a partir de la metodología Top-Down, se calculó utilizando la ecuación presentada continuación:

$$E_{ij} = FE_{ij} * FA_j * N_j * 1X10^6$$

Dónde:

E	=	Emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). **(Toneladas/año)**
FE	=	Factor de emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). **(g/km)**
FA	=	Factor de Actividad (rodamiento en km por año) para cada categoría (j). **(km/año)**
N	=	Cantidad de vehículos por cada categoría (j). **(Número de vehículos)**
1x10^6	=	Factor de conversión a toneladas de cada contaminante

La descripción de las variables que constituyen la ecuación 1 así como sus fuentes de información para el inventario de emisiones del año 2018, se presentan a continuación:

Cantidad de Vehículos: Para la estimación del número de vehículos que transitan en la ciudad durante el año 2018, se realizó el procesamiento de bases de datos vehiculares como lo es el Registro Distrital Automovilístico – RDA (corte a diciembre 31 de 2018), reportes de los Centros Distritales Automotriz y la información referente a la matriz de origen destino de transporte de carga de 2015. Del uso de esta metodología se obtuvieron en total 2’217.970 vehículos, en donde se establecieron diez (10) categorías vehiculares. Estas categorías pueden ser discriminadas dependiendo del grado de detalle de la información obtenida tanto del número de vehículos como la de los factores de actividad y factores de emisión. En este inventario la discriminación de las categorías se realiza a partir de: la tipología vehicular, tipo de motor, tipo de servicio prestado, combustible utilizado, estándar de emisión, capacidad de carga, cilindraje, año modelo, entre otros.

En la Figura 10-1 se muestra la distribución porcentual por categoría, evidenciando que aproximadamente el 90% de participación vehicular pertenece a automóviles, camperos, camionetas y motocicletas; y en la Tabla se presentan los valores respectivos.

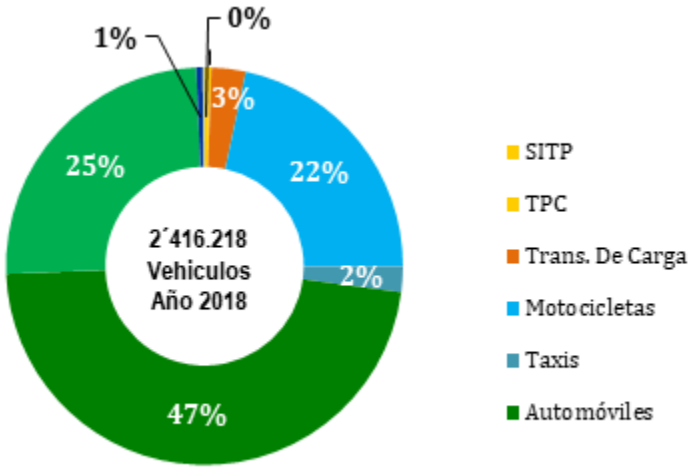


Figura 10-1. Porcentaje de cantidad de vehículos que transitan en Bogotá por categoría

Factor de Actividad: Para la estimación del factor de actividad se utiliza información de kilometrajes que hacen parte de los reportes de los Centros Diagnóstico Automotor CDA de Bogotá, la cual se constituye en una muestra representativa de los vehículos que se mueven en la ciudad, de allí se hace una desagregación por categoría vehiculares y se establece el kilometraje medio anual de cada categoría, para esto se toma de cada vehículo el kilometraje anual y se divide en la cantidad de años en operación según el año modelo (asumiendo que todos los años circulan similar kilometraje); para el transporte de carga la información base es la "Matriz origen-destino de carga" que publicó la Secretaría Distrital de Movilidad.

Factores de emisión: Por su parte el factor de emisión corresponde a la velocidad en g/km de generación de cada contaminante i para la categoría vehicular j. Los factores de emisión utilizados en el cálculo del inventario de fuentes móviles a corte 2018 corresponden a una recopilación de los factores de emisión estimados para Bogotá por la Universidad de la Salle (Salle & Ambiente, 2013) utilizando el software MOVES y aquellos medidos y ajustados por la SDA de mediciones realizadas en campo en el marco de convenios con la Universidad Nacional de Colombia.

- ***Inventario Bottom-Up año 2014***

Para la estimación de emisiones del inventario de emisiones de fuentes móviles con la metodología Bottom – Up, se presenta a continuación:

$$E_{ij} = FE_{ij} * F_{jk} * L_k$$

Donde,

E = Emisiones totales del contaminante (i) para la categoría (j). **(g/h)**
FE = Factor de emisión del contaminante (i) para la categoría vehicular (j). **(g/km-vehículo)**
FA = Flujo vehicular de la categoría vehicular (j) en la categoría de malla vial (k). **(vehículos/h)**
L = Longitud de la vía para la categoría de malla vial (k). **(km)**

La descripción de las variables que constituyen la Ecuación 2, así como sus fuentes de información para el inventario de emisiones del año 2014 Bottom-Up, se presentan a continuación:

Factores de emisión: Los factores de emisión utilizados para este inventario de emisiones provienen de diferentes estudios realizados para el distrito capital ((Rodríguez & Behrentz, 2009); (Peñaloza & Rojas, 2010); (SDA, 2010); (Hernandez-Gonzalez & Jiménez, n.d.); (SDA & UNAL, 2013)). Para establecer los factores de emisión de aquellas categorías agrupadas en los conteos vehiculares, se realiza una ponderación de acuerdo al número de vehículos reportados por el Registro Distrital Automotor (RDA).

Actividad vehicular y número de vehículos: Para estas variables se requiere del procesamiento de la información de los aforos vehiculares realizados en intersecciones de vías arteriales de la ciudad. Para establecer la actividad vehicular en cada tipo de vía se usa información del uso del suelo determinado en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). En la Figura 10-2 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de volúmenes vehiculares y la respectiva distribución de polígonos de Thiessen para llevar el número de vehículos a las vías secundarias

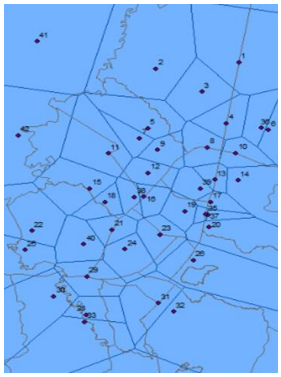


Figura 10-2. Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen.

La desagregación espacio temporal: La desagregación espacio temporal del inventario de emisiones para fuentes móviles Bottom- Up, se realiza en una malla de 3025 celdas de 1km^2 ubicada sobre el área urbana de Bogotá, para cada hora del día. Haciendo distinción el tipo de día (hábil y no hábil).

10.1.2. Fuentes Fijas Industriales

Las fuentes fijas industriales, corresponden aquellas fuentes de tipo industrial como hornos, calderas, ladrilleras, entre otras que funcionan indistintamente en diferentes actividades económicas de la ciudad. Su estimación se realiza utilizando únicamente la metodología Bottom-up, dado que al contar con la información de cada una de las fuentes (incluida su ubicación y horas de trabajo), además de su naturaleza estacionaria y puntual, no requiere de una estimación Top-Down para suplir los requerimientos de la aplicación dada por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Su última estimación se desarrolló para el año 2018, en donde se utilizó la siguiente ecuación referencia el documento AP – 42 de la EPA:

$$E = A\ x\ EF\ x\ \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

E = Emisión. **(Toneladas/año)**
A = Tasa de actividad. **(Consumo de combustible/año)**
EF = Factor de emisión. (
ER = Eficiencia de sistemas de control (%)

A continuación, se presenta la descripción de las variables de entrada para la estimación de este inventario de emisiones:

Fuentes de emisión: Conforme al inventario de fuentes fijas industriales del Distrito, realizado puerta a puerta realizado en el año 2018, se identificaron 2046 fuentes en operación, de las cuales 2030 fuentes corresponden a equipos de combustión externa teniendo que, de estas fuentes de combustión, el 47% corresponden a calderas, el 35% a hornos y el 18% restante a otro tipo de fuentes como estufas industriales, ramas de termofijado, torres de secado, tostadoras, entre otras. (Figura 10-3)

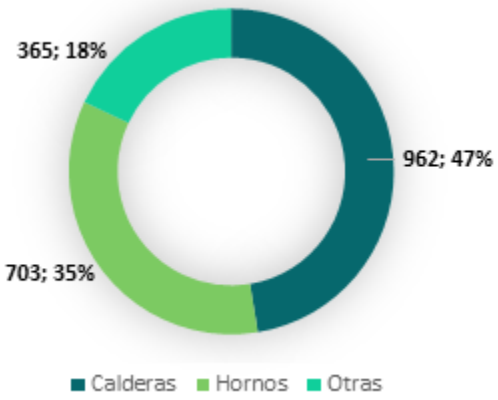


Figura 10-3. Distribución por tipo de fuente de combustión

Respecto a la distribución de uso de combustibles en las fuentes fijas industriales, se tiene que el gas natural es el de mayor uso, con una participación del 87%, seguido del carbón con un 4%, el diésel y el gas licuado de petróleo con un 3% cada uno, madera con un 1%, aceite usado sin tratamiento también con un 1% y el 1% restante con otros combustibles como biogás y otras fuentes de energía como la eléctrica. (Figura 10-4).

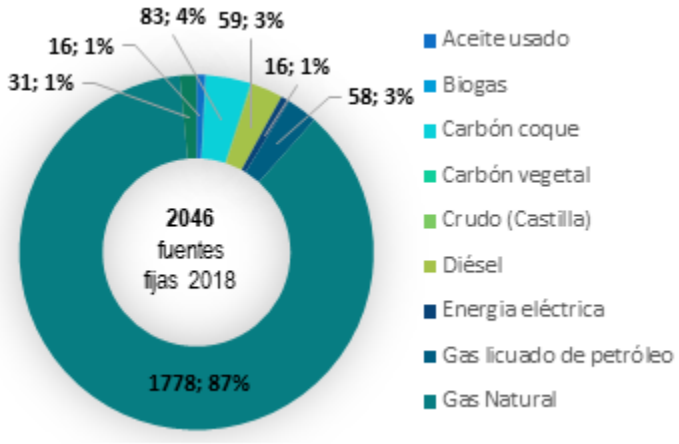


Figura 10-4. Distribución por tipo de combustible

Factor de emisión: Para el cálculo de emisiones atmosféricas la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con factores de emisión que fueron definidos en el proceso de formulación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá, algunos de ellos actualizados en el año 2018, conforme a los resultados y a la identificación de otras fuentes fijas de emisión del inventario. Así mismo, a partir del año 2018 las emisiones de las fuentes fijas han sido estimadas desde el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas - SIIFF con el que cuenta la Entidad, el cual permite la captura y gestión de la información de las fuentes industriales por combustión que se encuentran instaladas en el área de jurisdicción de la SDA.

Eficiencia del Sistema de Control de Emisiones: Es importante aclarar que la estimación de emisiones de las fuentes fijas industriales no contempló la variable de eficiencia de sistemas de control, teniendo en consideración que no todas las fuentes cuentan con dichos sistemas y a que, aunque se tienen datos teóricos de eficiencia, no es posible determinar la eficiencia efectiva de los mismos por razones de mantenimiento de los equipos y condiciones de instalación.

10.2. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

10.2.1. Inventario general

El inventario de emisiones del año 2018 por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 10-1.

Tabla 10-1. Inventario de emisiones por fuentes móviles por categoría

Categoría	EMISIÓN (Ton/año)					
	PM $_{10}$	**PM $_{2.5}$**	**NOx**	**CO**	**THC**	**SOX**
SITP - Troncal	23	21	2949	3636	30	22
SITP - Alimentadores y Zonal	73	67	6366	6095	58	16
SITP Provisional	123	113	9955	9141	98	9

Transporte de Carga	708	648	10008	50428	3258	95
Taxis	18	15	6288	23582	7318	44
Motocicletas	149	131	6138	266081	24746	434
Automóviles	307	275	18028	114152	24393	790
Camperos y Camionetas	310	280	15233	104714	3458	425
Transporte Especial	129	119	8633	14545	761	31
Otros	8	6	592	3281	215	5
TOTAL 2018	1847	1677	84191	595655	64336	1872

Por su parte la contribución porcentual por categoría vehicular para PM y los demás contaminantes se presenta en la Figura 10-5 y Figura 10-6, respectivamente.

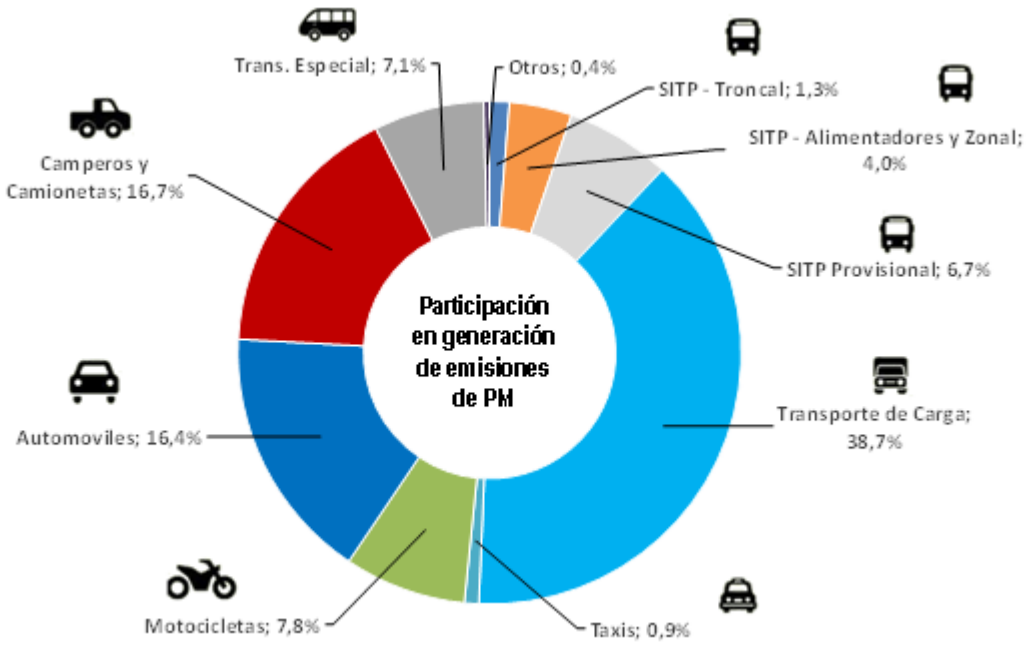


Figura 10-5. Participación en generación de emisiones de PM

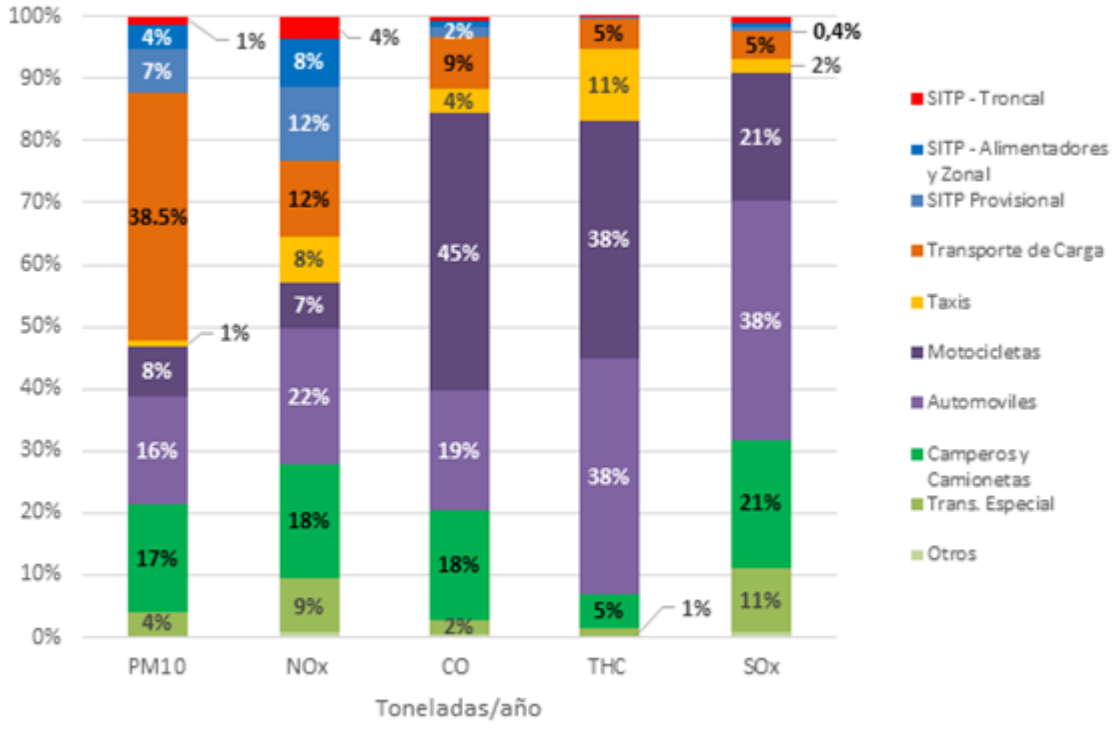


Figura 10-6. Participación por tipología en emisión de contaminantes criterio, inventario 2018.

De la Figura 10-5 y se puede concluir lo siguiente, para cada contaminante criterio:

- Para el contaminante Material Particulado (PM) la categoría que presenta mayor contribución corresponde al transporte de carga con el 38,7% de participación, seguida de los camperos y camionetas con una participación del 16,7% y los automóviles con 16,4%.
- Los mayores aportantes en la generación de Óxidos de Nitrógeno (NOx) son los automóviles con una contribución del 22%, el SITP con su componente zonal (incluidos alimentadores) y Provisional, que en conjunto suman 20% de participación; seguido de los camperos y camionetas con un 18%, de los vehículos
- Las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) tienen como principal aportante las motocicletas con una contribución del 45%, seguido de los automóviles con un aporte del 19%.
- Por su parte los Hidrocarburos Totales (THC) son emitidos principalmente por las motocicletas y automóviles, ambas categorías contribuyendo con el 38%.

10.2.2. Degradación espacial de emisiones

En las siguientes imágenes se observan los mapas de distribución espacial resultante de las emisiones diarias de los contaminantes criterio ($PM_{2.5}$, PM_{10}, SO_2, CO y NOx) provenientes de las fuentes móviles de emisión, durante un día hábil para la ciudad de Bogotá.

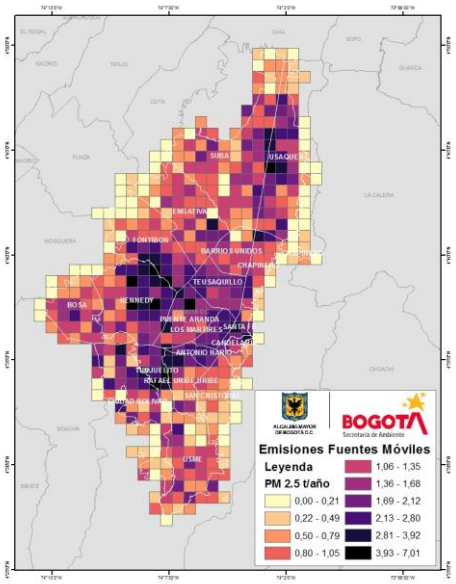


Figura 10-7. Distribución espacio temporal de PM 2.5 para Fuentes Móviles

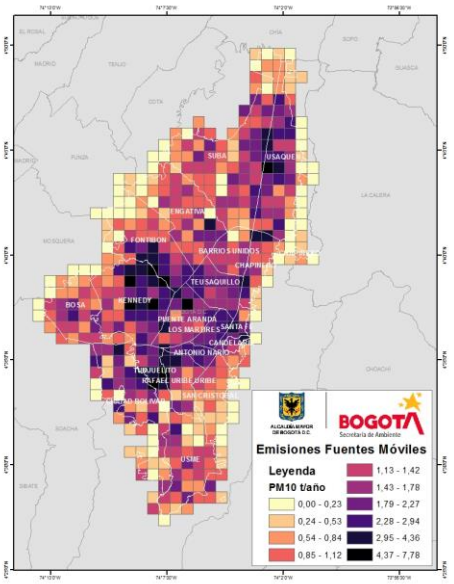


Figura 10-8. Distribución espacio temporal de PM10 para

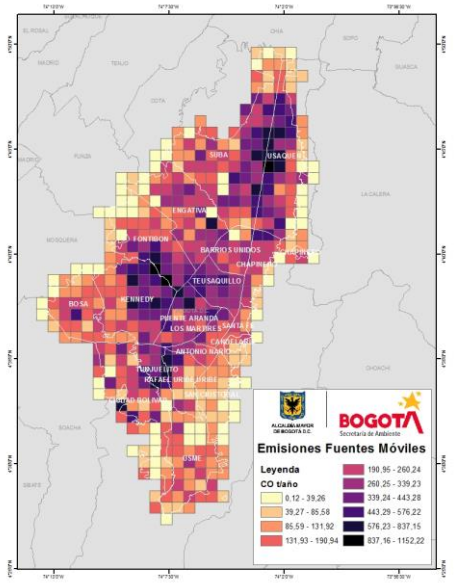


Figura 10-9. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Móviles

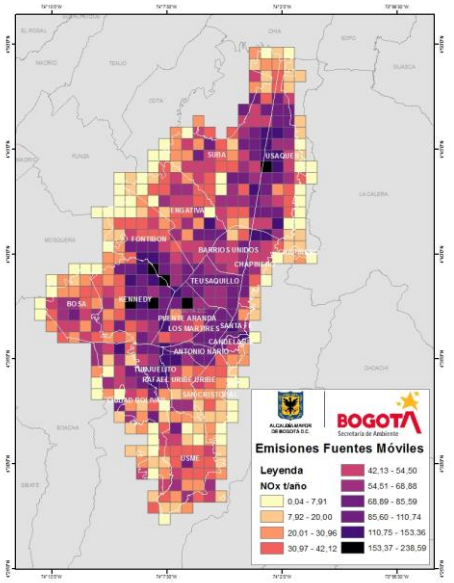


Figura 10-10. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Móviles

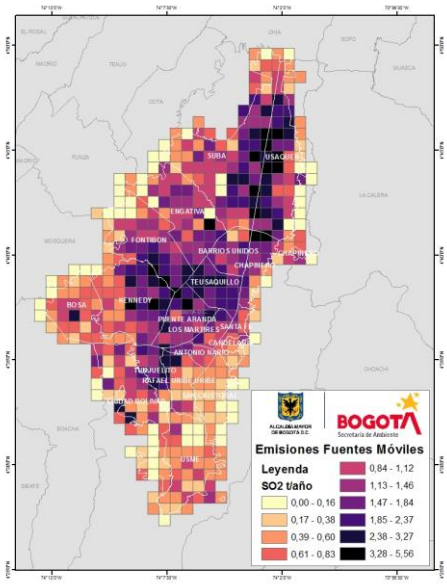


Figura 10-11. Distribución espacio temporal de SO2 para Fuentes Móviles

Según los resultados y como se observa en los mapas anteriores los puntos críticos de emisión de $PM_{2.5}$ se concentran en las zonas cercanas a los puntos de monitoreo con mayor volumen vehicular dentro de la ciudad, como los son: Autopista Norte x Calle 170, Autopista Norte x Calle 127, Av. Ciudad de Cali x Calle 80, Av. Ciudad de Cali x Calle 13, Avenida Carrera 68 x AC26, Av. Boyacá x AC13, Av. NQS x AC53, AK68 x Av. américas.

10.2.3. Perfil horario de emisiones

Finalmente, a partir de la información de frecuencias y localización, las emisiones se llevaron a una resolución horaria, en donde podemos ver por medio de los perfiles horarios, el comportamiento de los contaminantes criterios para cada hora según el día hábil, el cual corresponde a los días entre semana y los días no hábiles, que corresponden a fin de semana y festivos. Esto con el fin de analizar el impacto horario de las empresas para la toma de decisiones y medidas de control de emisiones para la mejora de la calidad de aire de Bogotá.

Como se puede observar en la Figura 10-12, los impactos más representativos de fuentes móviles se ven representados en las horas picos de 6 am a 9am y de 5pm a 7pm que son los horarios donde hay mayor movilización de vehículos.

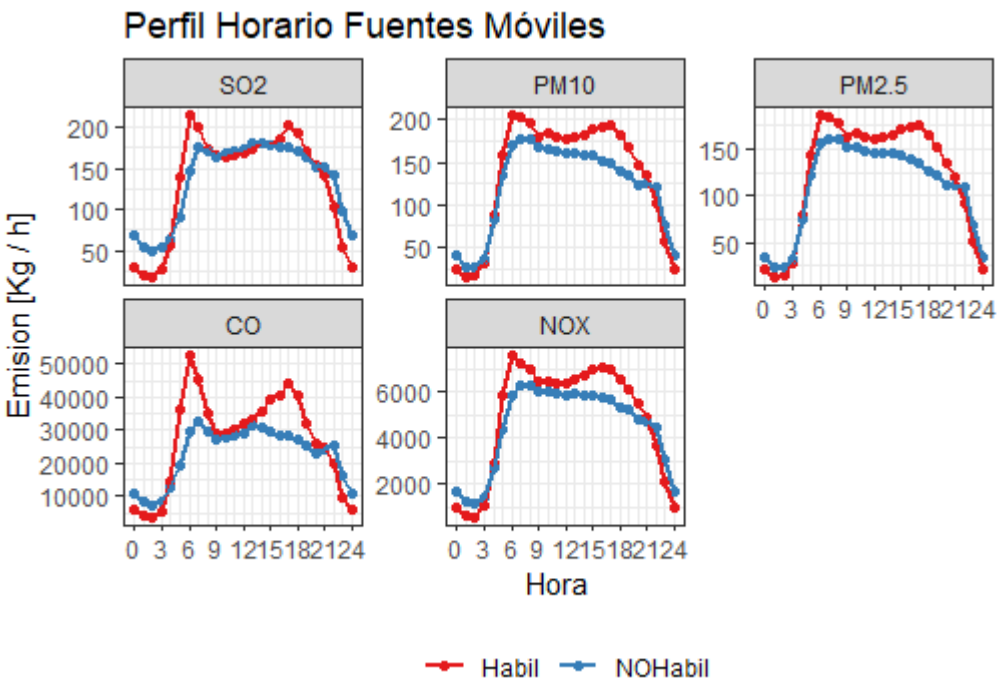


Figura 10-12. Distribución horaria para Fuentes Móviles en días hábiles y no hábiles

10.3. INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES

10.3.1. Inventario general

En la Tabla 10-2 se presentan los resultados de las emisiones atmosféricas de cada una de las categorías y en la Figura 6 la participación de cada categoría por contaminante.

Tabla 10-2.. Inventario de emisiones de fuentes fijas industriales año 2019

Categoría	Emisión Tonelada/año				
	MP_{10}	NO_X	SO_2	CO	COV´s
ACD	1,1321	3,2346	2,4260	0,8087	0,0653
ACF	0,0273	0,1499	0,0471	0,0136	0,0039
AGG	0,0007	0,0086	0,0001	0,0036	0,0005
AHF	0,0615	0,2768	0,2202	0,0769	0,0387
BOG	0,0019	0,0239	0,0002	0,0102	0,0014
CBI	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CC1	109,8966	122,1989	355,0326	4,8130	2,4065
CC2	1,6973	0,7243	1,8784	0,0486	0,0243
CG1	44,9917	509,2100	2,0381	102,5901	13,4344
CG2	4,9963	14,6403	0,0106	28,3117	3,7075
CG3	12,8335	215,2500	1,5578	93,0650	11,8692

Categoría	Emisión Tonelada/año				
	MP_{10}	NO_X	SO_2	CO	COV´s
CGL	0,2646	4,9613	0,0053	2,7784	0,0000
CM	3,2710	4,4522	0,2272	5,4517	0,1545
CRG	0,2017	2,4951	0,0159	1,0618	0,1460
CTA	3,5200	2,4340	15,4490	0,3503	0,0701
CUG	0,1208	1,4938	0,0095	0,6357	0,0874
EGL	0,5467	10,2500	0,0109	5,7400	0,0000
ESG	0,0764	0,9450	0,0060	0,4021	0,0553
EXG	0,0031	0,0389	0,0002	0,0165	0,0023
GLP	5,7931	545,7621	0,2897	91,9661	28,9657
HC	30,8720	11,0808	29,3295	15,1747	1,1756
HFA	0,1749	0,0656	0,1254	0,0352	0,0070
HG1	2,6589	22,6859	0,0022	13,9713	3,8421
HG2	1,3316	11,1487	0,6362	5,8450	1,6074
HG3	3,0151	38,2033	0,2439	16,2567	4,4706
HL	246,1381	88,3454	233,8402	120,9860	9,3730
HLG	1,4947	11,4483	0,0731	4,8716	1,3397
HM	0,0105	0,0143	0,0007	0,0175	0,0005
IGL	0,1205	2,2588	0,0024	1,2649	0,0000
IMG	3,6782	45,4933	0,2904	19,3588	2,6618
ING	0,0012	0,0147	0,0001	0,0063	0,0009
LAG	0,0003	0,0039	0,0000	0,0017	0,0002
MGL	0,0873	1,6376	0,0017	0,9171	0,0000
MRG	0,0578	0,7149	0,0046	0,3042	0,0418
OTG	0,0178	0,2206	0,0014	0,0939	0,0129
PED	0,0020	0,0882	0,6957	0,0245	0,0000
PLG	0,0005	0,0065	0,0000	0,0028	0,0004
QGL	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
QMG	1,2167	15,0492	0,0961	6,4039	0,8805
RTA	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
RTG	0,0948	1,1730	0,0075	0,4991	0,0686
SEG	0,0430	0,5319	0,0034	0,2263	0,0311
TOD	0,0000	0,0012	0,0093	0,0003	0,0000
TOG	0,2923	3,6156	0,0231	1,5385	0,2115
TSG	0,5643	6,9793	0,0445	2,9699	0,4084
VGL	1,1133	20,8746	0,0223	11,6898	0,0000
VUG	0,0025	0,0306	0,0002	0,0130	0,0018
ICG	0,4765	5,8936	0,0376	2,5079	0,3448
ICM	0,0001	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000

Categoría	Emisión Tonelada/año				
	MP_{10}	NO_X	SO_2	CO	COV´s
Total	482,9014	1726,1297	644,7164	563,1249	87,5137

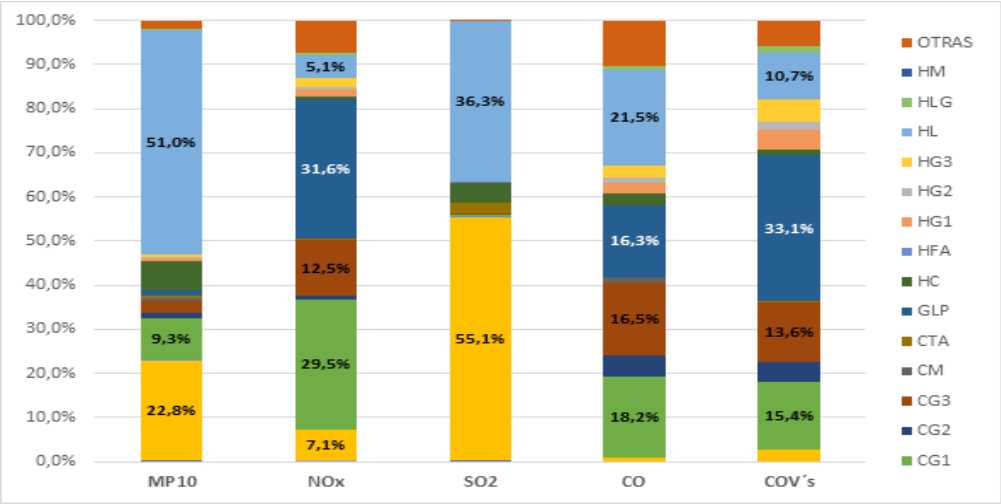


Figura 10-13. Participación por categoría en emisión por contaminante

Como se observa en la Figura 10-13, las emisiones de material particulado son principalmente generadas por el sector de Cerámicos y Vítreos – Sector Ladrillero (HL), con un 51%, el cual es el mayor consumidor de carbón en sus procesos, seguido de las calderas con capacidad mayor a 100 BHP (CC1) que operan con carbón, con una participación del 23%.

Para los óxidos de nitrógeno NOx los mayores aportantes son los hornos y calderas que operan con gas licuado de petróleo (GLP), con una participación del 31,6% y calderas a gas natural de gran capacidad (CG1), con un aporte del 29,5%.

Para el dióxido de azufre SO2 se encuentra que su generación está fuertemente asociada a las emisiones de hornos crematorio y de fundición que operan con gas natural (HG3), con un aporte del 55,1%, seguido de los hornos ladrilleros que operan con carbón (HL), con un aporte del 36,3%.

Respecto a las emisiones de CO, los principales aportantes son los hornos ladrilleros que operan a carbón (HL) con un 21,5%, calderas a gas natural de gran capacidad (CG1) con un 18,2% y las calderas a gas natural de con capacidad inferior a 100 BHP (CG3) con un 16,5%.

10.3.2. Degradación espacial de emisiones

En las siguientes imágenes se representan espacialmente, los contaminantes CO, NOx, $PM_{2.5}$, PM_{10} y SO_2. En donde se observa que la mayor representatividad de contaminación pertenece a las localidades Usme, Ciudad Bolívar, San Cristóbal, seguida de la parte norte de la ciudad de Bogotá.

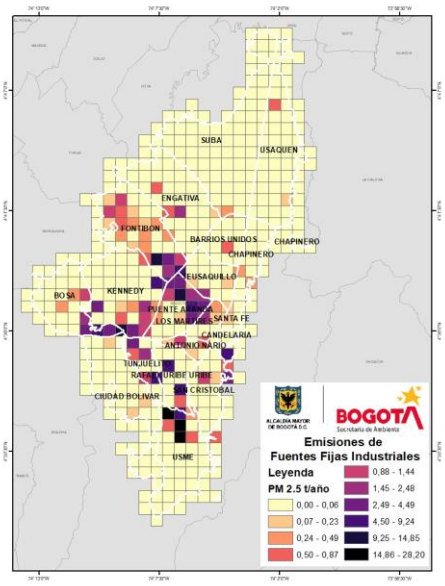


Figura 10-14. Distribución espacio temporal de $PM_{2.5}$ para Fuentes Puntuales. Día Hábil

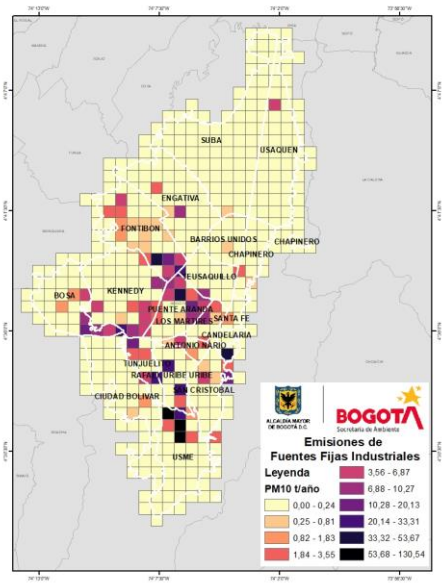


Figura 10-15. Distribución espacio temporal de $PM_{2.5}$ para Fuentes Puntuales. Día Hábil

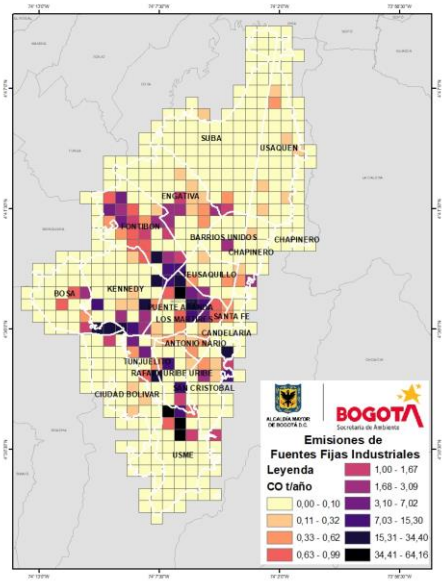


Figura 10-16. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Puntuales.

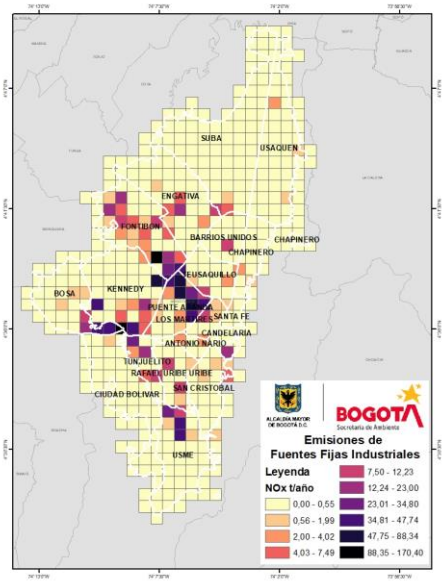


Figura 10-17. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Puntuales.

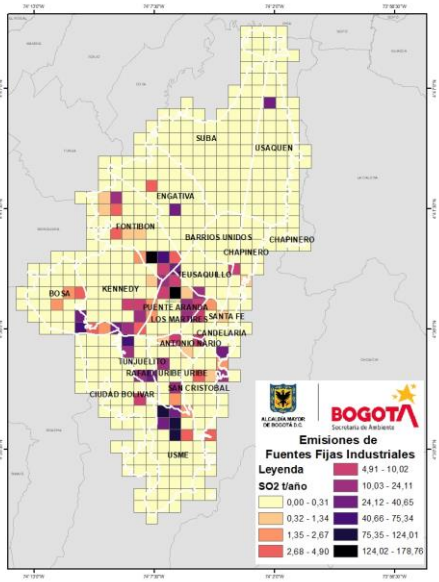


Figura 10-18. Distribución espacio temporal de SO_2 para Fuentes Puntuales

10.3.3. Perfil horario de emisiones de PM

En los perfiles horarios de las fuentes puntuales podemos observar en la Figura 10-19 los impactos más representativos se dan entre las 6 am y las 5pm en los días hábiles, los cuales corresponden a los horarios de operación productiva que la mayoría de las industrias manejan en la ciudad de Bogotá.

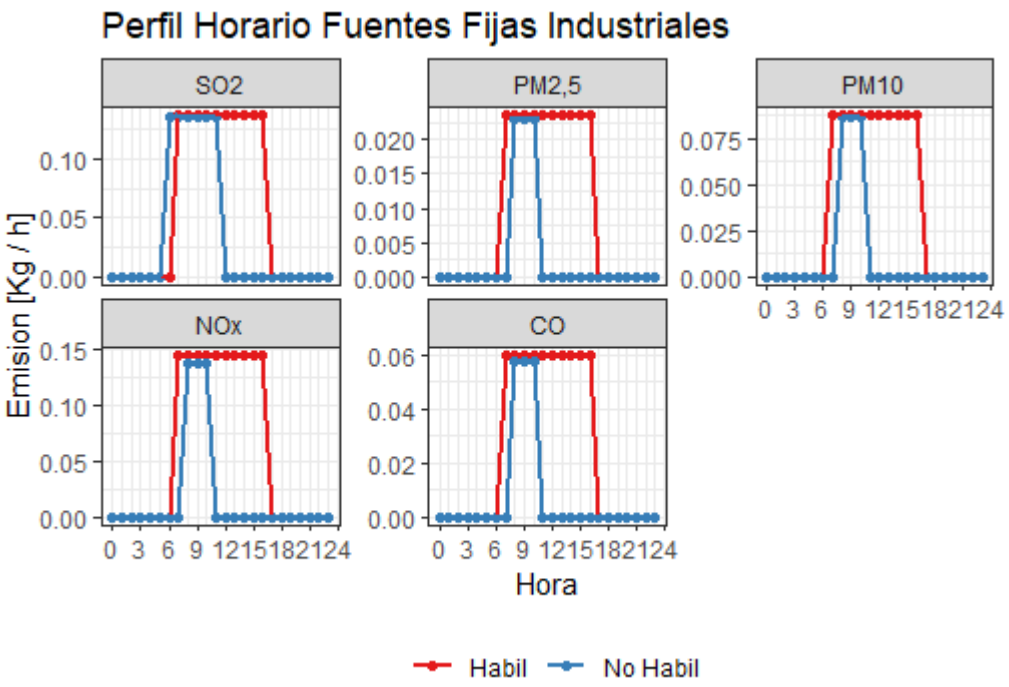


Figura 10-19. Distribución horaria para Fuentes Puntuales en días hábiles y no hábiles

11. MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD

11.1. GENERALIDADES

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), a través de la Subdirección de Calidad de Aire, Auditiva y Visual, realiza la modelación del transporte y transformación de contaminantes en la ciudad a través del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá (SIMCAB). Con el SIMCAB se busca estimar el destino y la distribución de concentración de contaminantes atmosféricos inventariados en la ciudad de forma horaria a una resolución espacial de 1 km², complementando la tarea de monitoreo desarrollada por la RMCAB.

Los resultados obtenidos por este sistema de modelamiento dependen, como en todos los modelos, de la calidad de información introducida al modelo, entre ellas, meteorología global, calidad del inventario local de emisiones, entre otras variables. Es necesario destacar que todos los modelos de dispersión son una aproximación a muchos fenómenos en la atmósfera, pero no los representan totalmente, por tal motivo, todos los productos generados por el SIMCAB no son sustitutos a la información suministrada por la RMCAB.

El SIMCAB integra varios modelos y metodologías esquematizados en la Figura 11-1, los cuales se describen a continuación:

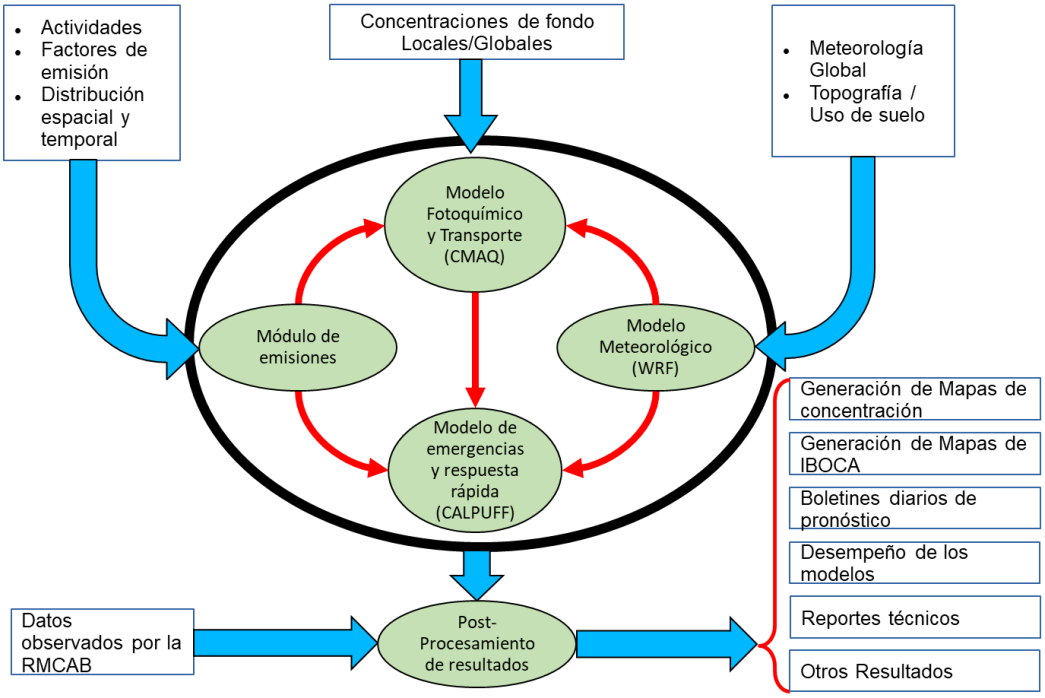


Figura 11-1 Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá

11.1.1. MODELO METEOROLÓGICO

El modelo meteorológico que se emplea en la SDA es el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model), el cual utiliza información del modelo global GFS (Global Forecast System), la topografía y el uso de suelo para realizar la predicción local de las condiciones meteorológicas sobre la ciudad. Los resultados de este modelo son transformados por medio del aplicativo MCIP al formato requerido por el modelo fotoquímico, y por medio de los aplicativos MMIF-CALMET para obtener la información meteorológica requerida por el Modelo de Emergencia y Respuesta Rápida de la ciudad.

11.1.2. MÓDULO DE EMISIONES

Se implementan los inventarios de emisiones de la ciudad, con el fin de definir la cantidad de contaminantes que se emiten por km² en cada hora del día. Este módulo estima emisiones de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, y material particulado. Dichos inventarios dependen de las actividades sujetas a estimación, factores de emisión de contaminantes, y la distribución espacial y temporal de dichas emisiones. Adicionalmente, el módulo de emisiones permite estimar emisiones de fuentes no inventariadas que pueden incidir en la calidad de aire de la ciudad, como, por ejemplo, el aporte de contaminantes generados por incendios en la ciudad o sus alrededores.

11.1.3. Modelo fotoquímico de transporte de contaminantes

El modelo fotoquímico utilizado es CMAQ (Community Multi-scale Air Quality), modelo desarrollado por la US-EPA (Agencia de Protección de Medioambiente de Estados Unidos) y es soportado y distribuido por la Community Modeling and Analysis (CMAS). Este modelo utiliza las salidas de los modelos meteorológicos y de emisiones y concentraciones de fondo globales y locales, en combinación con un conjunto de mecanismos químicos y físicos parametrizados dentro del modelo, para simular las transformaciones que ocurren en la atmósfera y la influencia de la dinámica meteorológica en estos procesos. Este modelo genera una distribución horaria de las concentraciones de diversos contaminantes sobre la ciudad, almacenados en formato NetCDF. El modelo fotoquímico es empleado con dos principales propósitos: (1) realizar el pronóstico diariamente de la calidad de aire sobre la ciudad con una ventana de prognosis de 48 horas, y (2) simular escenarios de emisiones para estimar sus impactos en la calidad de aire de la ciudad.

11.1.4. Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida

El SIMCAB tiene a su disposición como Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida de Bogotá (MODERA) el modelo CALPUFF v6.42, instalado específicamente para simular eventos cuyas emisiones sean considerables para afectar la calidad de aire de la ciudad, pero que no hacen parte del inventario de emisiones, como incendios y quemas a cielo abierto. Este modelo permite ver, con base en la estimación de emisiones de dicho evento y las condiciones meteorológicas del día de ocurrencia, el movimiento de los contaminantes generados por dicho evento y, en conjunto con los

resultados obtenidos con el modelo fotoquímico, se estiman las concentraciones de calidad de aire sobre la ciudad, incluyendo dicho evento.

11.2. RESULTADOS DEL MODELO DE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES

El modelo de transporte de contaminantes pudo estimar la concentración de contaminantes criterio para 7680 horas durante el 2019, obteniendo una cobertura temporal de 87%. Los resultados de la simulación sobre Bogotá se presentan a continuación con fines informativos y por ser uno de los modelos regionales del país en contar con información simulada para un periodo cercano al anual, y para mostrar el comportamiento de los contaminantes sobre la ciudad. Para la estimación de las concentraciones reportadas a continuación, se ajustaron los resultados del modelo a las mediciones realizadas por la RMCAB durante el 2019.

11.2.1. Resultados de simulación para el material particulado

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2019 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para el PM_{10} y el $PM_{2.5}$, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de material particulado sobre la ciudad y un promedio de material particulado representativo por localidad[4]. En el caso del PM_{10}, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Puente Aranda y Fontibón, con promedios anuales superiores a 45 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de PM10, el cual se encuentra por encima de 50 µg/m³, le siguen Bosa, Puente Aranda y Fontibón con promedios anuales de concentración entre 45 µg/m³ y 50 µg/m³ (Ver Figura 11-2). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para PM10 en el 2019 fue de 39,2 µg/m³.

Para $PM_{2.5}$, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 17 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa y Kennedy son las localidades con el mayor promedio anual de concentraciones de $PM_{2.5}$, el cual se encuentra por encima de 20 µg/m³, le siguen Tunjuelito con promedios anuales de concentración superiores a 18 µg/m³ (Ver Figura 11-3). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estimó que el promedio anual de la ciudad para PM2.5 es de 15,5 µg/m³.

4 El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

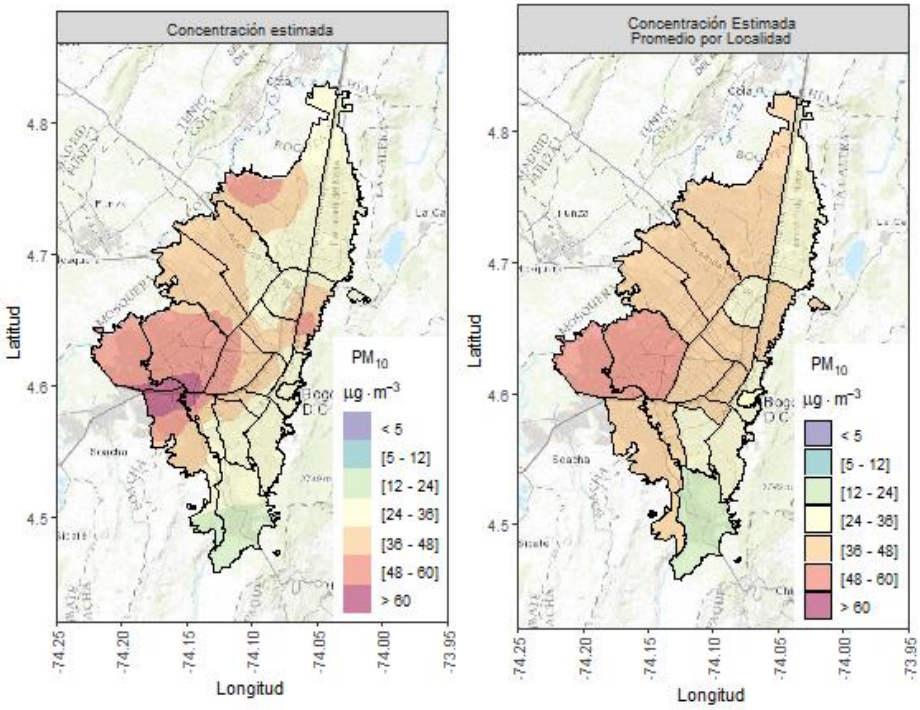


Figura 11-2 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM_{10} ajustadas a observaciones para el 2019

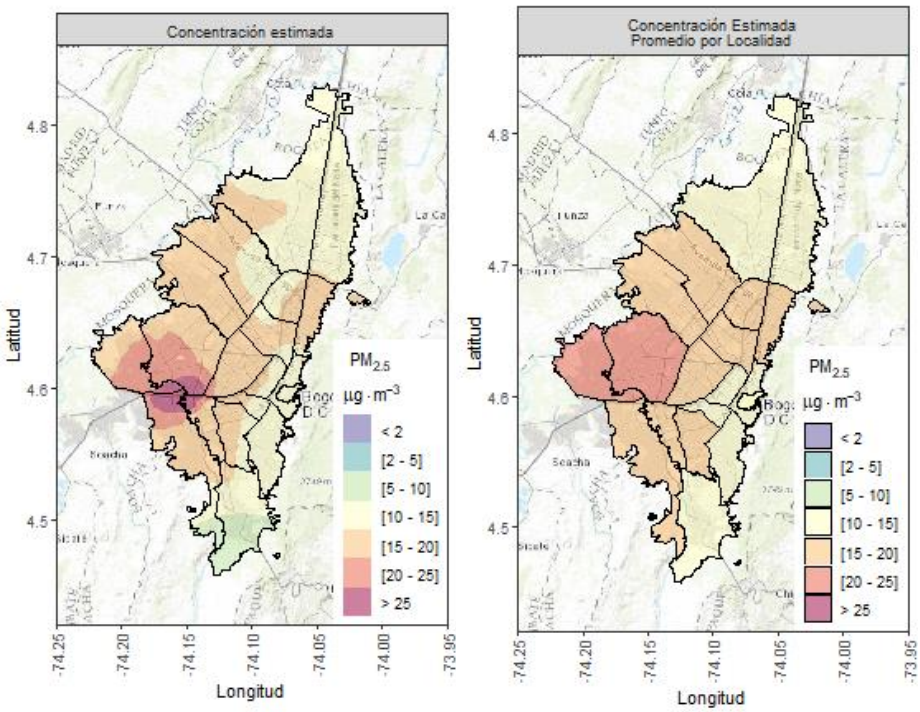


Figura 11-3 Promedio Anual para concentraciones simuladas de $PM_{2.5}$ ajustadas a observaciones para el 2019

11.2.2. Resultados de simulación para gases

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2017 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para los gases criterio, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de los distintos gases sobre la ciudad y un promedio para cada uno de los gases, representativo por localidad[5].

Para NO_2, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad y en el centro geográfico de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Fontibón y Puente Aranda, con promedios anuales superiores a 30 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de NO_2, el cual se encuentra entre 42 µg/m³, le sigue Kennedy con 39 µg/m³, Fontibón con 34 µg/m³ y Puente Aranda 32 con µg/m³ (Ver Figura 11-4). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para NO_2 en el 2019 fue de 30 µg/m³.

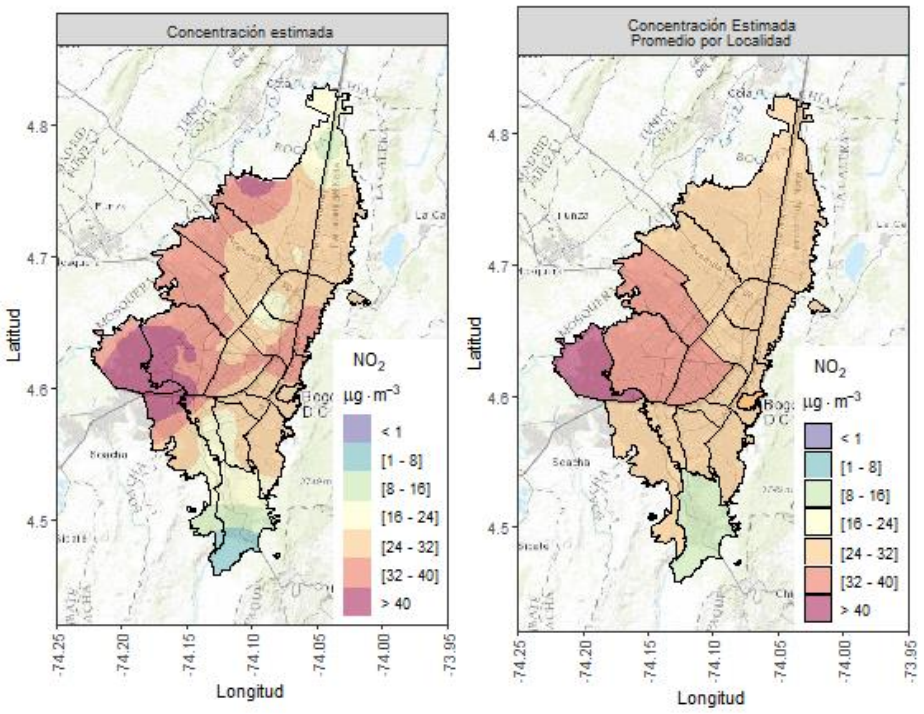


Figura 11-4 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO_2 ajustadas a observaciones para el 2019

En cuanto a SO_2, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar, Fontibón,

5 El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

Santa Fe y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 5 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de SO_2, los cuales son cercanos a 6 µg/m³, le sigue Fontibón, con promedio anual de concentración de 5,8 µg/m³ y Ciudad Bolívar con un promedio de concentración anual de 5,5 µg/m³ (Figura 11-5). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para SO_2 en el 2019 fue de 4 µg/m³)

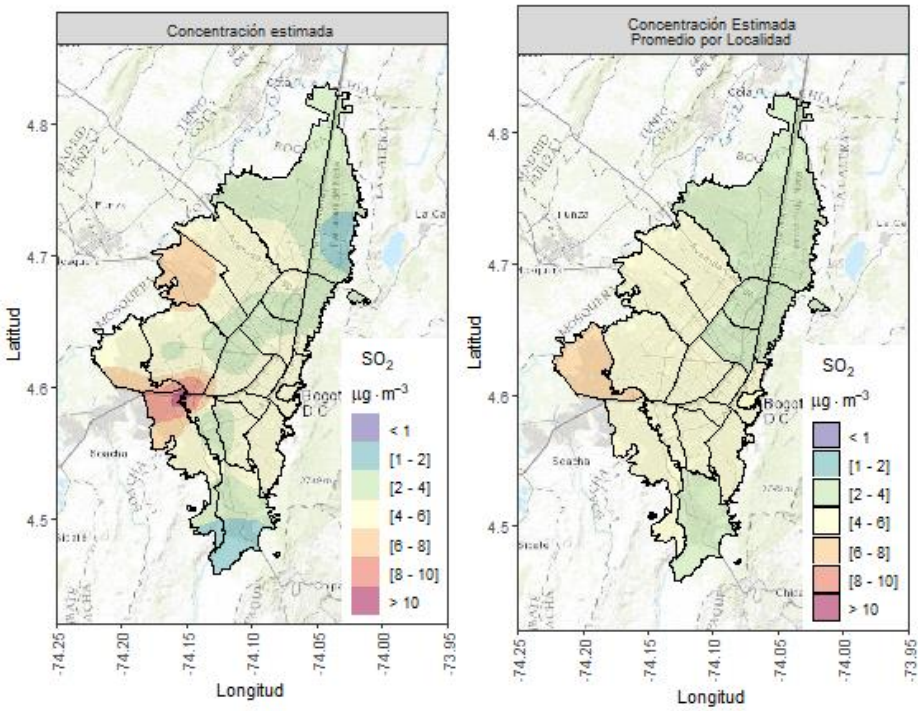


Figura 11-5 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO_2 ajustadas a observaciones para el 2019

Para el CO, se determinaron las series, para cada receptor de los promedios móviles en 8 horas, y dichos valores fueron promediados para estimar el comportamiento anual de CO. Las zonas con mayor promedio de medias móviles se encuentran entre las localidades de Chapinero y Teusaquillo, S, con promedios de medias móviles superiores a 1000 µg/m³. (Ver Figura 11-6). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que las medias móviles de CO en promedio para la ciudad en el 2019 fueron de 885 µg/m³.

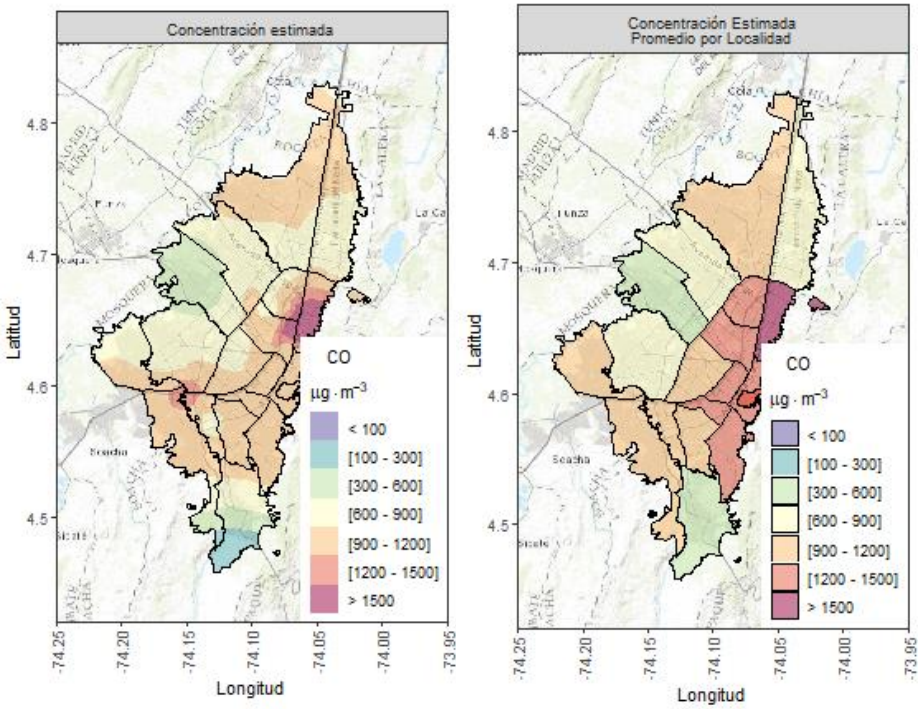


Figura 11-6 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2019

11.3. VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS

11.3.1. Generalidades en la validación

La validación de un modelo permite evaluar el desempeño de dicho modelo, al comparar los resultados obtenidos con el mismo, con datos medidos. Estas comparaciones entre datos observados y modelados pueden realizarse a través de análisis de gráficas de comparación (Diagramas de Taylor, Diagramas de Cajas, Diagramas Q-Q, etc), o a través de un conjunto de pruebas estadísticas (tests).

A continuación, se describen cada uno de los test, teniendo en cuenta que O_i es el 'i-ésimo' dato observado y M_i es el 'i-ésimo' dato modelado para un contaminante. La descripción de los test no implica que se apliquen totalmente a los modelos.

FAC2: Es la fracción de datos modelados que se encuentran dentro de un factor de 2 con respecto a los datos observados. Se considera que el modelo está representando satisfactoriamente las predicciones cuando:

$$\mathbf{0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0}$$

NMB: El promedio del sesgo es un indicador del grado de sobreestimación o subestimación del modelo, al normalizar este indicador, se pueden comparar contaminantes que se encuentran en distintas escalas de concentraciones y de unidades.

$$\mathbf{NMB} = \frac{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{O_i}}$$

NMGE: El promedio del error grueso normalizado indica el promedio del error entre los datos observados y modelados, sin importar si el modelo sobreestima o subestima las emisiones; este indicador se calcula de la siguiente forma:

$$\mathbf{NMGE} = \frac{\sum_{i=1}^{N} |\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{O_i}}$$

RMSE: La raíz del error cuadrático medio representa principalmente la relación entre las relaciones estándar promedio de los datos medidos, y las desviaciones estándar obtenidas con los datos simulados. Este indicador es comúnmente usado para determinar qué tan cerca están los valores modelados de los valores medidos

$$\mathbf{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} (\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i})^2}{\mathbf{N}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Estos valores son determinados en las unidades en las cuales se miden las concentraciones de los contaminantes, y muestran que tan amplia es la diferencia entre las series temporales observadas y simuladas.

r: El coeficiente de correlación (de Pearson) es la medida de la bondad de ajuste lineal entre dos variables, en el caso de la validación, entre los datos observados y modelados; una correlación lineal perfecta conlleva a valores iguales a 1 para correlaciones con pendiente positiva, y a -1 para correlaciones con pendiente negativa, mientras que dicho coeficiente es igual a 0 cuando los datos comparados no están correlacionados. Dicho coeficiente se calcula con la siguiente expresión:

$$\mathbf{r} = \left(\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{N-1}}\right) \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\mathbf{M_i} - \bar{\mathbf{M}}}{\boldsymbol{\sigma_M}}\right)\left(\frac{\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}}{\boldsymbol{\sigma_O}}\right)$$

COE: El coeficiente de eficiencia toma un valor de 1 cuando el modelo representa perfectamente las observaciones, este criterio también establece que un modelo es efectivo cuando dicho coeficiente es mayor a 0. Este coeficiente se calcula como:

$$\mathbf{COE} = \mathbf{1} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} (|\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|)\right)}{\sum_{i=1}^{N} (|\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}|)}$$

IOA: El índice de concordancia es un indicador que se encuentra entre -1 y +1, y entre más se acerté a +1, el modelo tiene un mejor desempeño; este indicador se define como:

$$\mathbf{IOA} = \begin{matrix} \mathbf{1} - \frac{\left(\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|)\right)}{\mathbf{c} \cdot \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}|)}, \mathbf{cuando} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|) \leq \mathbf{c} \cdot \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}|) \\ \frac{\left(\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}|)\right)}{\sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|)} - \mathbf{1}, \mathbf{cuando} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{M_i} - \mathbf{O_i}|) > \mathbf{c} \cdot \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{N}}(|\mathbf{O_i} - \bar{\mathbf{O}}|) \end{matrix}$$

11.3.2 VALIDACIÓN DEL MODELO METEOROLÓGICO WRF

La validación del modelo WRF se realizó con datos de febrero a diciembre de 2019, ya que durante el mes de enero no estuvo en funcionamiento el modelo debido a una actualización de los modelos. La validación para la precipitación se realiza de manera categórica, teniendo en cuenta solamente si llueve o no llueve al día, por medio de tablas de contingencia.

11.3.2.1 Temperatura

En términos generales, la validación de la temperatura (Figura 11-7) muestra que la correlación estuvo cercana a 0,8, siendo febrero, marzo y julio los meses con mejor correlación, mientras que noviembre fue el mes de menor correlación.

En cuanto el RMSE se observa en el diagrama de Taylor que la temperatura tiene un valor levemente por encima de 2 °C para el rango anual, y en los gráficos de barras se evidencia que mensualmente los meses con RMSE más bajos fueron marzo y junio, mientras que los meses con RMSE más alto fueron noviembre y diciembre en los que el estadístico alcanzó valores por encima de 3 °C. Adicionalmente, el Mbias y el boxplot muestran que la temperatura estuvo subestimada por el modelo, especialmente en los meses de noviembre y diciembre. A nivel horario, las horas con mayor subestimación son entre las 7 y 11 am. Finalmente, el IOA indica la buena modelación de la temperatura con un valor cercano a 0.7 siendo los meses de febrero y marzo los que mejor IOA tuvieron, mientras que noviembre fue el mes con IOA más bajo.

Al analizar la validación por estaciones (Figura 11-8) se establece que las estaciones presentan una correlación muy homogénea, siendo Kennedy la de menor correlación con un R de 0.73 y suba la de mejor correlación con un R de 0.88. Por su parte, las estaciones con menor RMSE fueron Las Ferias y San Cristóbal, mientras que las estaciones con mayor error fueron Kennedy y la Móvil de la séptima. Como se dijo anteriormente, en casi todas las estaciones la tendencia fue subestimar la temperatura excepto en Las Ferias, Puente Aranda y San Cristóbal, estaciones que presentaron un Bias positivo. Finalmente, con respecto al IOA, aunque la mayoría de estaciones estuvieron cerca de 0,7, estación móvil séptima presentó un valor muy bajo (por debajo de 0,3, a pesar de la buena correlación).

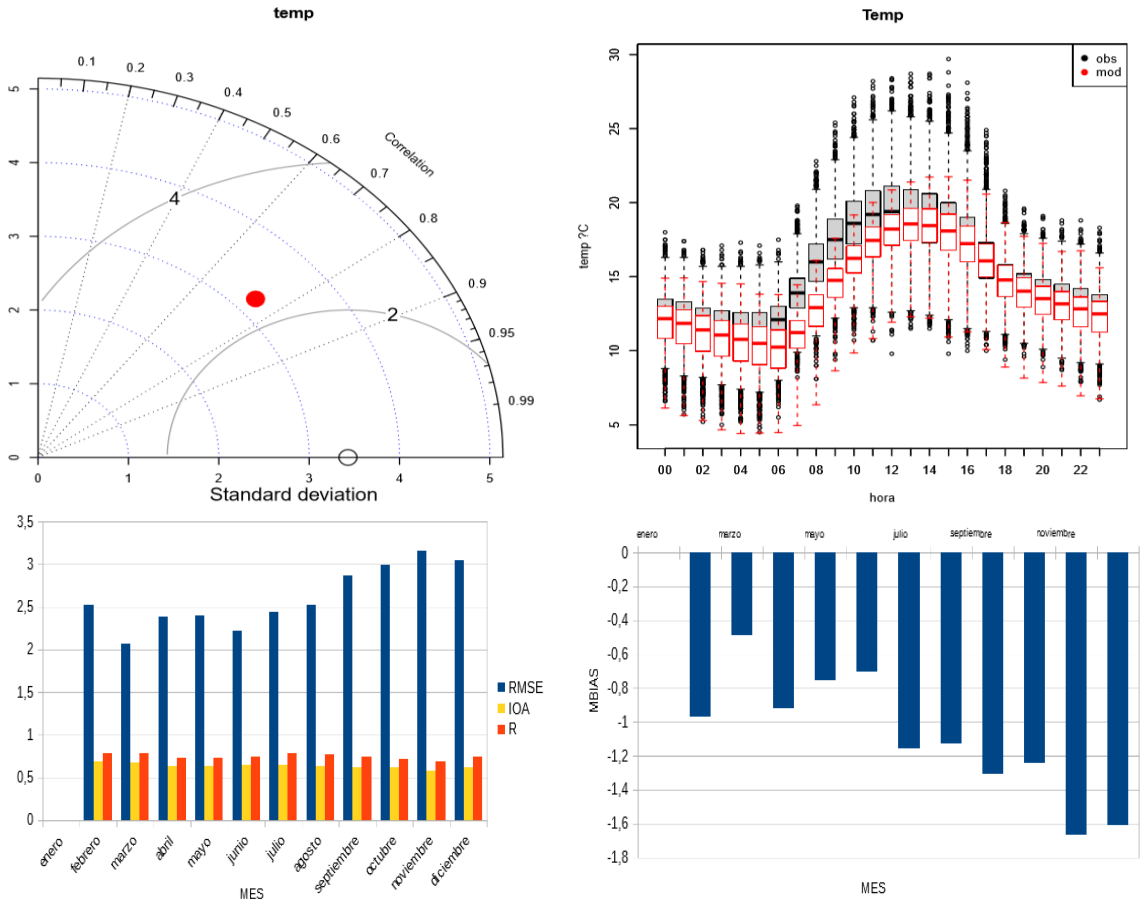


Figura 11-7 Validación de la temperatura a nivel ciudad y mensual

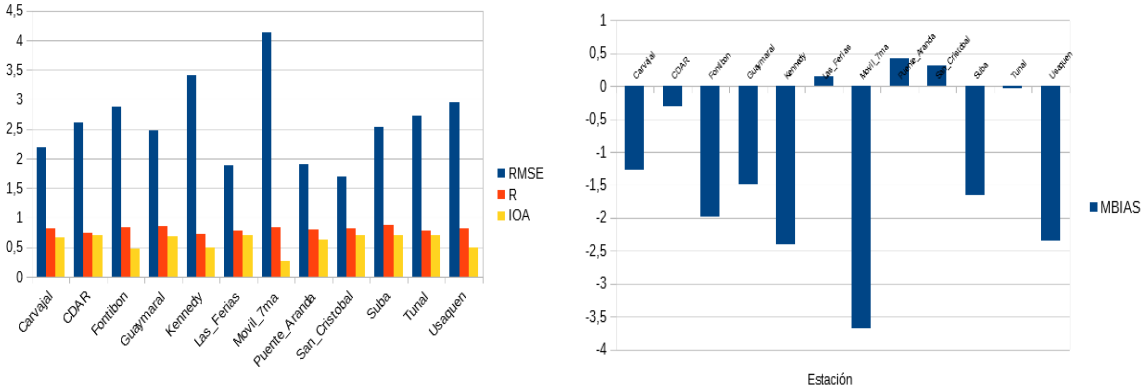


Figura 11-8 Validación de la temperatura por estación

11.3.2.2 Humedad relativa

La validación a nivel ciudad de la humedad relativa (*Figura 11-9*) muestra que esta variable también presenta una buena correlación, ya que su valor anual fue alrededor de 0.7, siendo los meses de agosto y septiembre los meses con mejor correlación y el mes de octubre el de la correlación más baja. La humedad relativa tiene un RMSE que varía entre el 12%, en el mes de agosto, y el 18% para los meses de octubre y diciembre. El Bias muestra que el modelo sobrestimó la variable, con un sesgo entre 7% (para el mes de agosto) y 14% (para el mes de diciembre). Las mayores sobrestimaciones se presentan en horas de la madrugada y las primeras horas de la mañana. El IOA, en términos generales, estuvo por debajo de 0.5, siendo octubre y noviembre los meses con IOA más bajo.

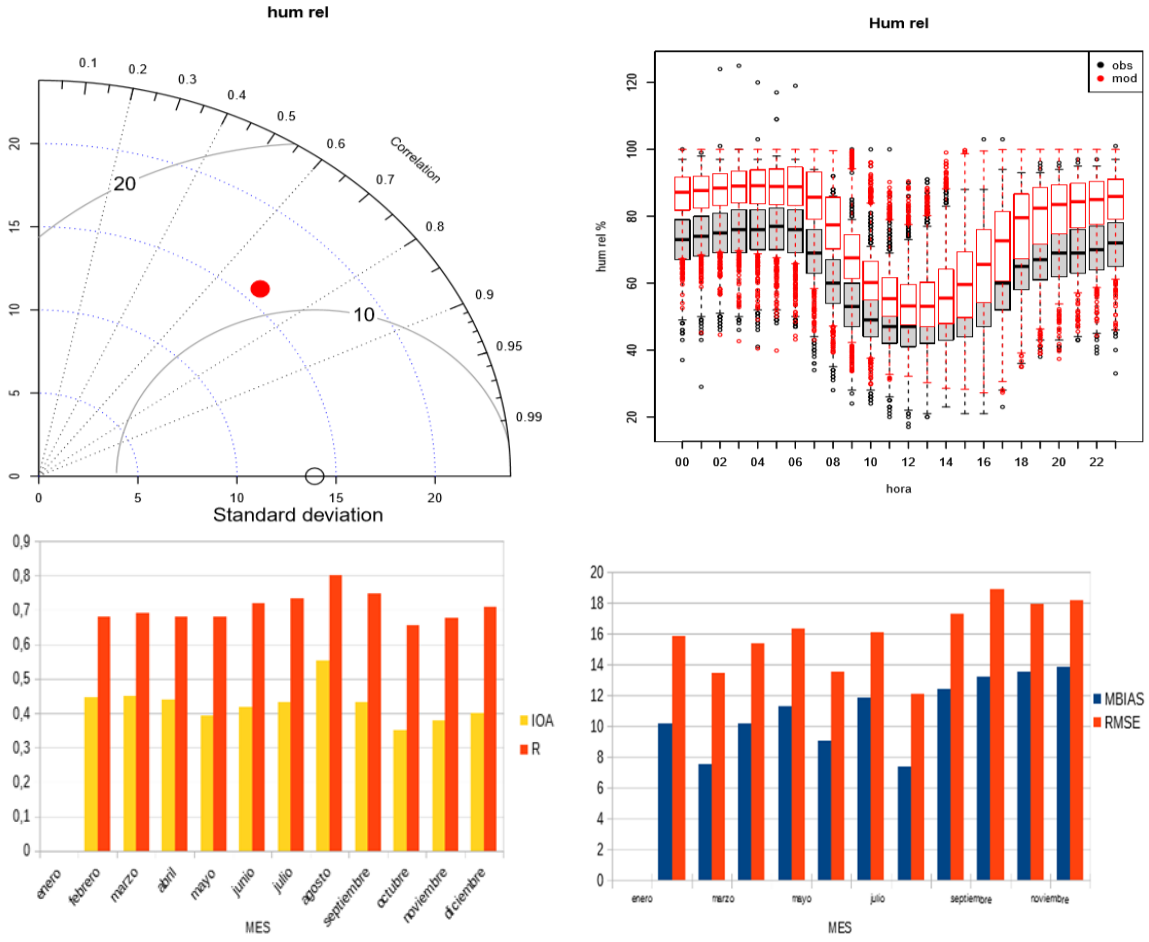


Figura 11-9 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad

La validación de la humedad relativa por estaciones (Figura 11-10) muestra que las estaciones con menor error fueron CDAR y Tunal, tanto en RMSE como en BIAS, estas estaciones también presentan el IOA más alto. Las estaciones con mejor correlación fueron Guaymaral y Fontibón. Por otro lado,

la estación Móvil séptima fue la que tuvo el error más alto, tanto en RMSE como en Bias, y presentó un IOA por debajo de 0, lo cual indica que hubo una mala simulación. La estación con la correlación más baja fue San Cristóbal.

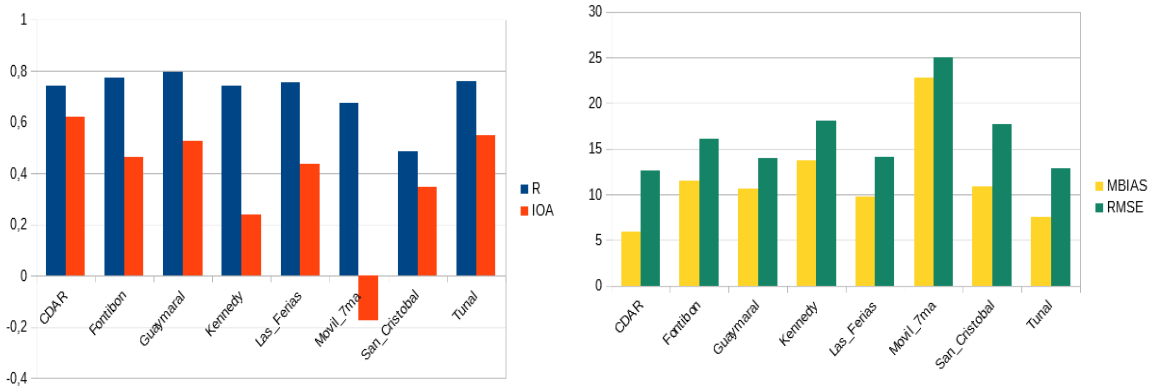


Figura 11-10 Validación de la humedad relativa por estación

11.3.2.3 Velocidad y dirección del viento

La validación del viento (Figura 11-11) muestra que es la variable más difícil de modelar, debido a que tiene un comportamiento muy variable hora a hora, en ese sentido, la correlación de la velocidad del viento fue la más baja de las variables evaluadas con un valor por debajo de los 0,4 a nivel ciudad, esto a pesar de que el boxplot muestra que el modelo tiende a seguir, en promedio, el ciclo diurno observado. Los meses con correlación más alta son marzo y noviembre, mientras que febrero es el peor correlacionado con un valor cercano a 1. En términos de RMSE, la velocidad del viento anual a nivel ciudad arroja un valor de 2 m/s, siendo agosto el mes con el RMSE más alto (alrededor de 2.90 m/s) y marzo el mes con el RMSE más bajo (alrededor de 1.98 m/s). El bias indica que el modelo tiende a sobrestimar la velocidad del viento, especialmente en Junio y Julio, con valores por encima de 1 m/s, lo cual es un valor aceptable para una variable que promedio tiene valores por debajo de 5 m/s, por su parte, el bias más bajo se alcanzó en abril con un valor de 0.56 m/s.

Para evaluar la dirección y velocidad del viento en un solo estadístico se utilizó el RMSVE, el cual tiene un comportamiento muy similar al RMSE de la velocidad del viento, con valores que oscilan alrededor de 3 m/s, es decir, alrededor de 1 por encima del RMSE, lo que indica que los errores debido a la dirección del viento son menores que los atribuibles a la velocidad del viento.

La validación de viento por estaciones (Figura 11-12) muestra que las estaciones con menor error, tanto en RMSE como en Bias y RMSVE, fueron Kennedy y Puente Aranda; las estaciones que mayor error presentaron fueron Usaquén y Fontibón. Es importante mencionar que las estaciones Fontibón y puente Aranda tienen un Bias negativo, lo que indica que subestimaron la intensidad del viento. El IOA fue negativo en varias estaciones, especialmente del oriente de la ciudad, lo que indica que este año la simulación de la intensidad del viento no fue tan buena en esa zona. Por otro lado,

al analizar la correlación de la velocidad del viento por estaciones se observa que las correlaciones oscilan entre 0.4 y 0.6 (excepto San Cristóbal y Usaquén que estuvieron por debajo), siendo las de mayor correlación Carvajal, Kennedy y Suba.

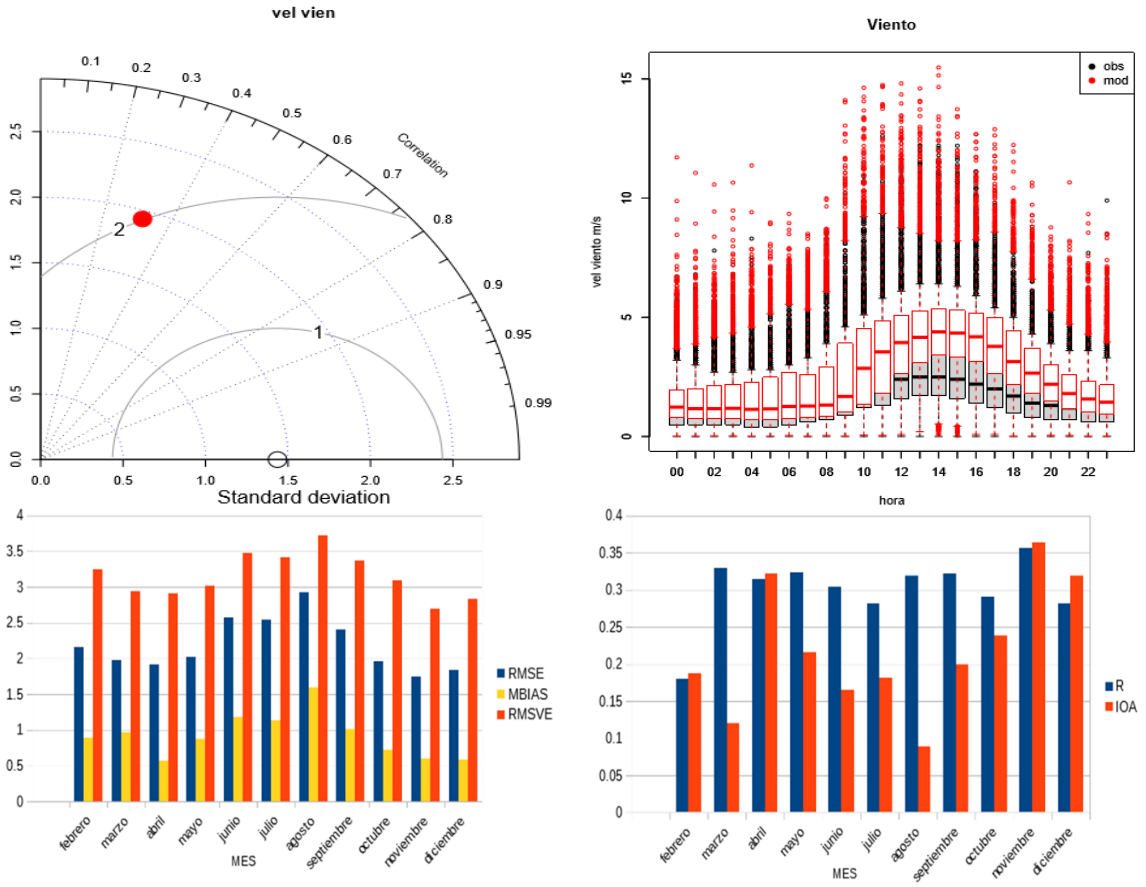


Figura 11-11 Validación del viento a nivel ciudad

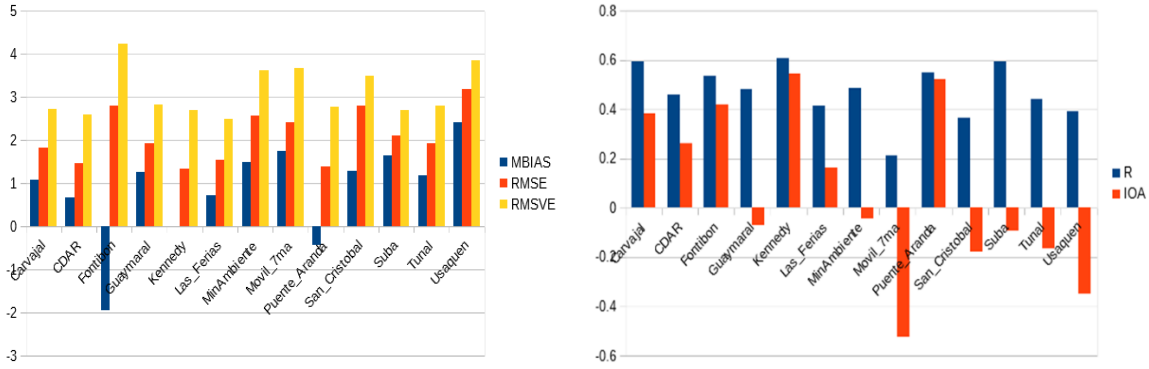


Figura 11-12 Validación del viento por estación

11.3.2.4 Radiación

En general, la validación de la radiación solar (Figura 11-13) muestra que también es una variable bien modelada en términos de correlación la cual estuvo en promedio, durante el año, alrededor de 0.8, siendo los meses de julio y agosto los mejor correlacionados mientras que marzo y abril fueron los meses con correlaciones más bajas. El IOA también muestra un buen comportamiento, ya que oscilo entre 0.5 y 0.7 durante todo el año, siendo febrero el mes con IOA más alto y mayo el mes con IOA más bajo.

De igual manera, la radiación solar presenta un RMSE a nivel ciudad anual cercano a 250 W/m², mientras que el mean Bias osciló entre 80 y poco más de 120 W/m², lo cual no es un valor muy grande teniendo en cuenta el orden de magnitud de la radiación solar. Como el Bias lo indica, el modelo tiende a sobrestimar la radiación, especialmente en los meses de mayo, junio y octubre, meses en que también se obtuvo el error más alto. Los meses con sesgo y error más bajo fueron febrero y diciembre.

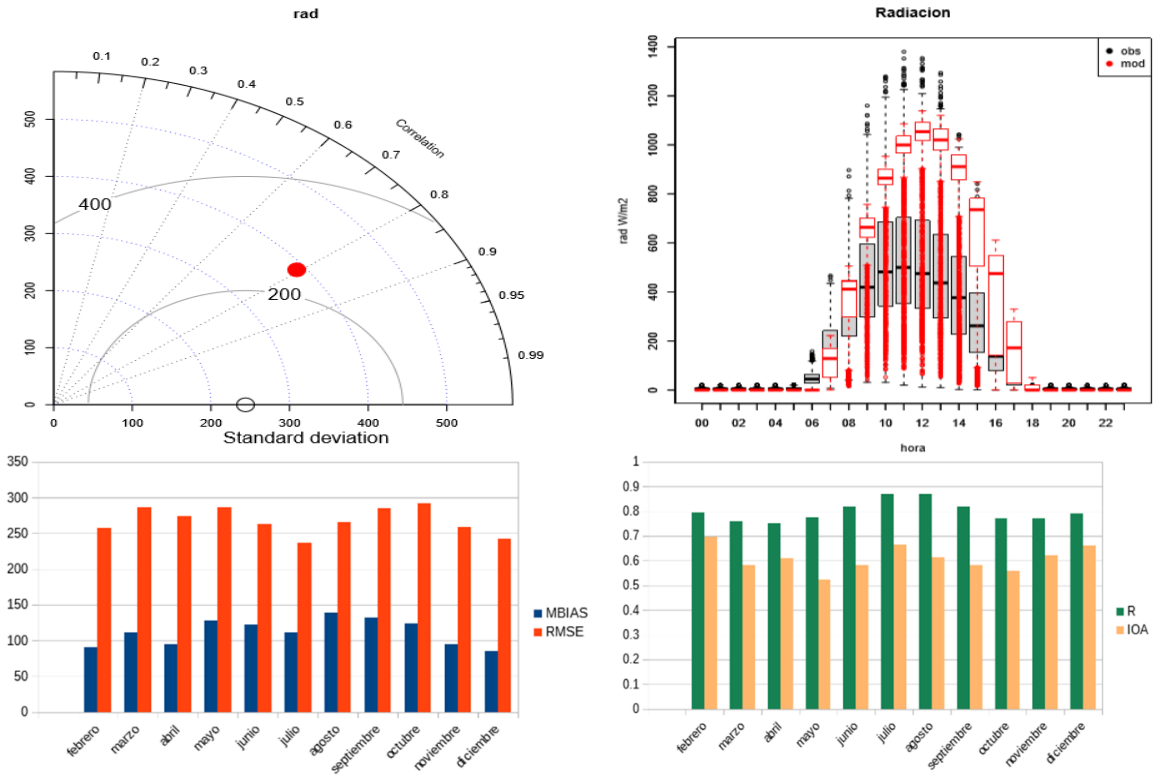


Figura 11-13 Validación de la radiación solar a nivel ciudad

Al evaluar la radiación solar por estaciones (Figura 11-14) se evidencia que el comportamiento de la validación es muy estable espacialmente, ya que la variación en el valor de los estadísticos es poca y los resultados entre estaciones son muy similares a los valores a nivel ciudad. En términos

generales, las estaciones del oriente fueron mejor simuladas, especialmente San Cristóbal, y exceptuando a la móvil séptima, que precisamente fue la más castigada en la validación de esta variable.

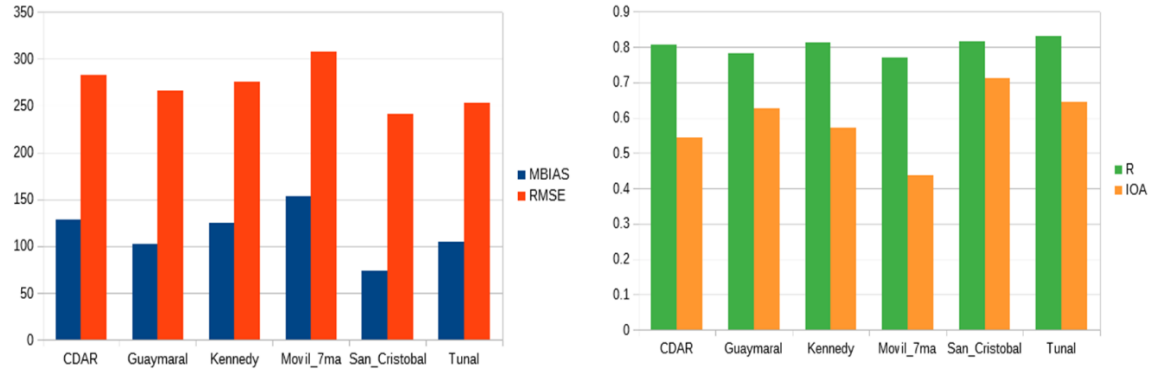


Figura 11-14 Validación de la radiación solar por estaciones

11.3.2.5 Presión Atmosférica

A pesar de que la presión atmosférica no presenta mayores variaciones diarias en los datos observados ni modelados, y de que la correlación a nivel ciudad es alrededor de 0,6, el IOA no presentó un buen comportamiento, con valores negativos, especialmente al finalizar el año, entre septiembre y diciembre (Figura 11-15). Los meses que presentan una mejor correlación están entre marzo y mayo, mientras que el mes con la correlación más baja fue agosto.

Por su parte, con respecto al RMSE del modelo oscila entre 1 mmHg y 6 mmHg, lo cual es bajo teniendo en cuenta el orden de magnitud de la presión, pero tiene sentido teniendo en cuenta la variabilidad de la misma. En términos mensuales, se observa una vez más que el modelo tiende a subestimar, especialmente al finalizar el año que el modelo presenta la mayor subestimación y los valores más altos de RMSE. Un aspecto importante a señalar es que la desviación estándar de los datos modelados, es mucho mayor que los datos observados, es decir es mucho más variable.

Ahora bien, en términos de estaciones es necesario recordar que la RMCAB solo cuenta con 5 estaciones para medir presión, de las cuales Kennedy recolectó pocos datos durante el 2019 (alrededor de 600 datos horarios) Al analizar la validación de estas estaciones (Figura 11-16) se evidencia que la estación Móvil Séptima fue la peor modelada, ya que tiene una correlación muy baja, un bias y un RMSE muy alto y un IOA negativo. Por su parte, la estación Tunal fue la que mejor se comportó durante la modelación; Kennedy también presentó buenos resultados durante la validación, pero se debe tener en cuenta la salvedad previamente mencionada.

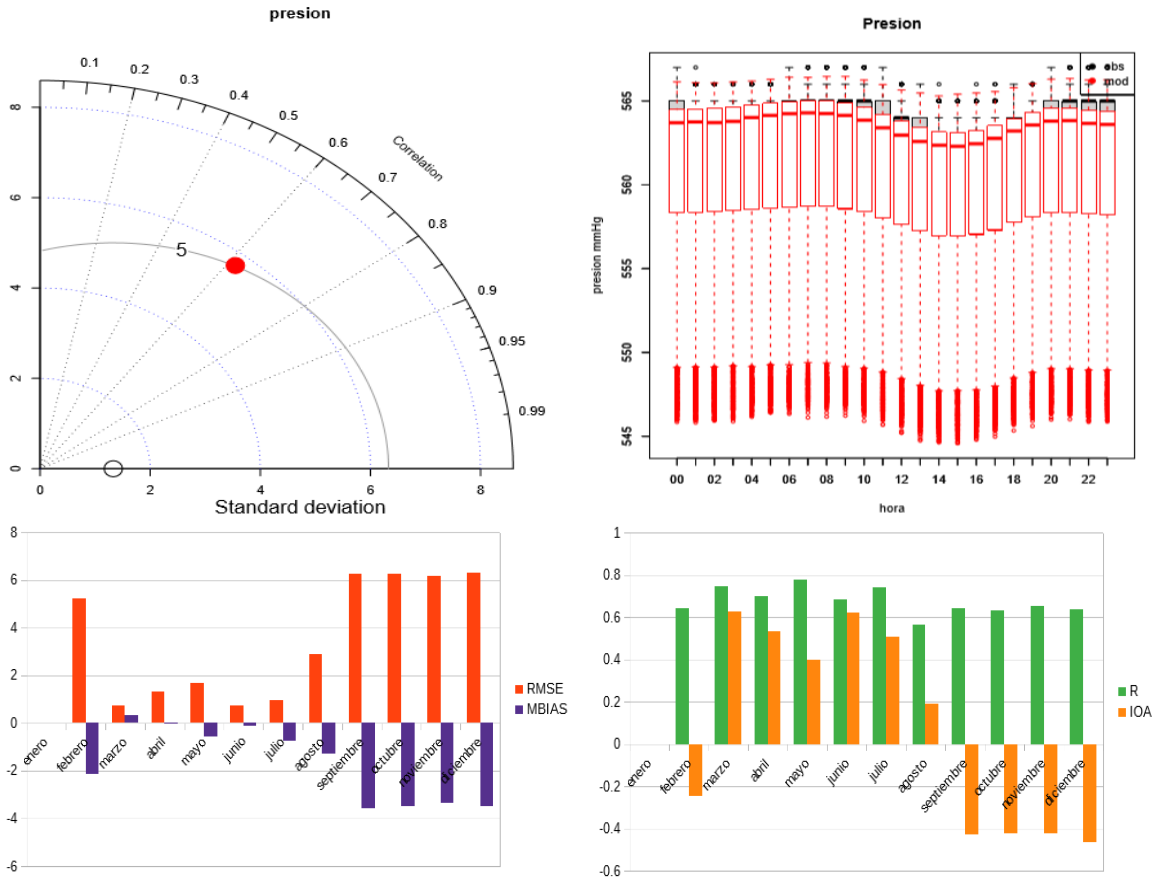


Figura 11-15 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad

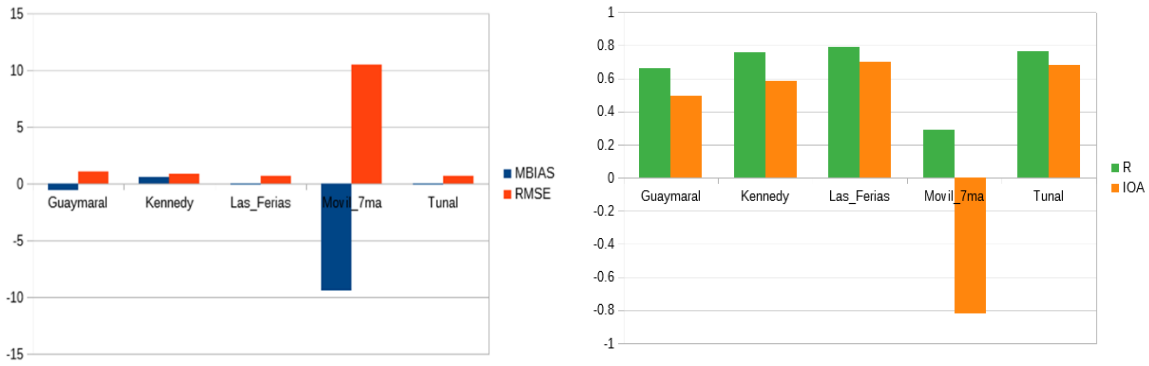


Figura 11-16 Validación de la presión atmosférica por estaciones

11.3.2.6 Precipitación

Como se mencionó anteriormente, la validación de la precipitación de los datos de la RMCAB se realiza de manera categórica ya que no es una variable continua, en este sentido se realiza por

medio de tablas de contingencia por medio de las cuales se hallan unos estadísticos que permiten validar el modelo en términos de lluvia/no lluvia.

La Figura 11-17 nos muestra el resultado de la validación de la precipitación por medio de tablas de contingencia por estación. Lo primero que salta a la vista es que el Bias tiene un valor por encima de 1, lo que indica que el modelo tiende a simular más días con lluvias que los que realmente ocurren, especialmente en las estaciones Móvil Séptima y Suba. Por otro lado, se observa que la probabilidad de detección (POD) es cercana a 1, lo que indica que el modelo simula bien los días en que si se observó lluvia, sumado a esto, la POD es mayor que el False Alarm Ratio (FAR), es decir que hay menor probabilidad de que el modelo simule lluvia cuando no fue observada. Las estaciones CDAR, Guaymaral y San Cristóbal fueron las que tuvieron un POD más alto tuvo versus un bajo FAR, éstas también fueron las estaciones con Percent Correct (PC) más alto, es decir fueron las mejor modeladas para lluvia.

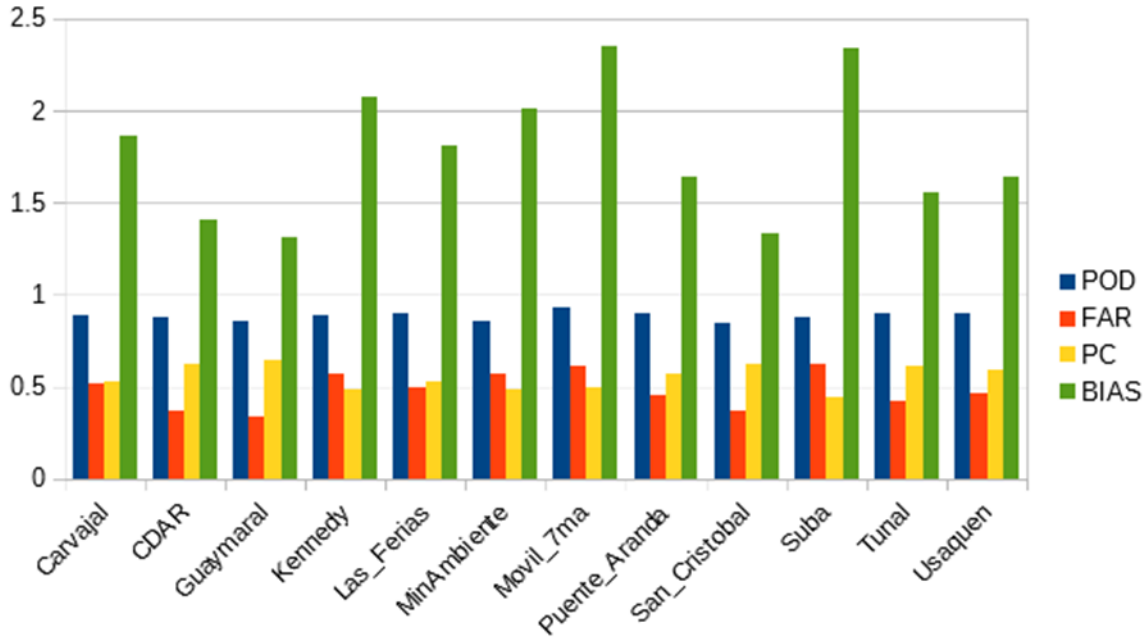


Figura 11-17 Validación de la precipitación por estaciones

11.3.2. Validación del modelo de transporte

Comparación entre concentraciones observadas y modeladas

Con el propósito de realizar el pronóstico diario, el modelo se ajustó diariamente a las observaciones a través de técnicas geoestadísticas, donde se trata de ajustar las concentraciones horarias estimadas por el modelo con base en el comportamiento histórico, tanto del modelo como de las observaciones registradas por la RMCAB.

A continuación se hace el análisis sobre las concentraciones horarias medidas y simuladas sobre la ciudad, se debe tener en cuenta que estas diferencias entre las observaciones y las simulaciones pueden deberse a la estimación y desagregación espacial y temporal de los inventarios de emisiones, la estimación de distintas variables meteorológicas con el modelo meteorológico, principalmente la altura de capa de mezcla, velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y radiación solar, y la influencia de fuentes de emisión regionales no contempladas en la modelación de calidad de aire en la ciudad.

En la Figura 11-18 se muestra el comportamiento horario de las concentraciones anuales de PM_{10} para cada hora del día, en todas las estaciones. En dicha gráfica se puede observar que las medianas de las concentraciones modeladas son levemente más altas que las medianas de las concentraciones de las observaciones en horas de la tarde y de la noche. En cuanto al Material Particulado $PM_{2.5}$, éste tuvo un comportamiento similar al descrito para PM10, con una sobre-estimación en horas de la tarde (Ver Figura 11-19).

En cuanto a los gases, las concentraciones horarias simuladas de NO_2 para el año 2019 se estimaron de una forma similar a las observadas, sin embargo, el modelo tendió a sobreestimar en horas de la noche, posiblemente por una sobre-estimación de las emisiones de NO_2 en los inventarios (Ver Figura 11-20). Esta sobre-estimación de concentraciones también es visible en el comportamiento del SO2, teniendo concentraciones simuladas muy por encima de las concentraciones medidas en la ciudad (Ver Figura 11-21).

Las concentraciones de CO tienen un comportamiento similar a cualquier hora, sin embargo, se menciona que las medianas de los datos modelados de CO son ligeramente superiores a las medianas de los datos medidos de CO (Ver Figura 11-22).

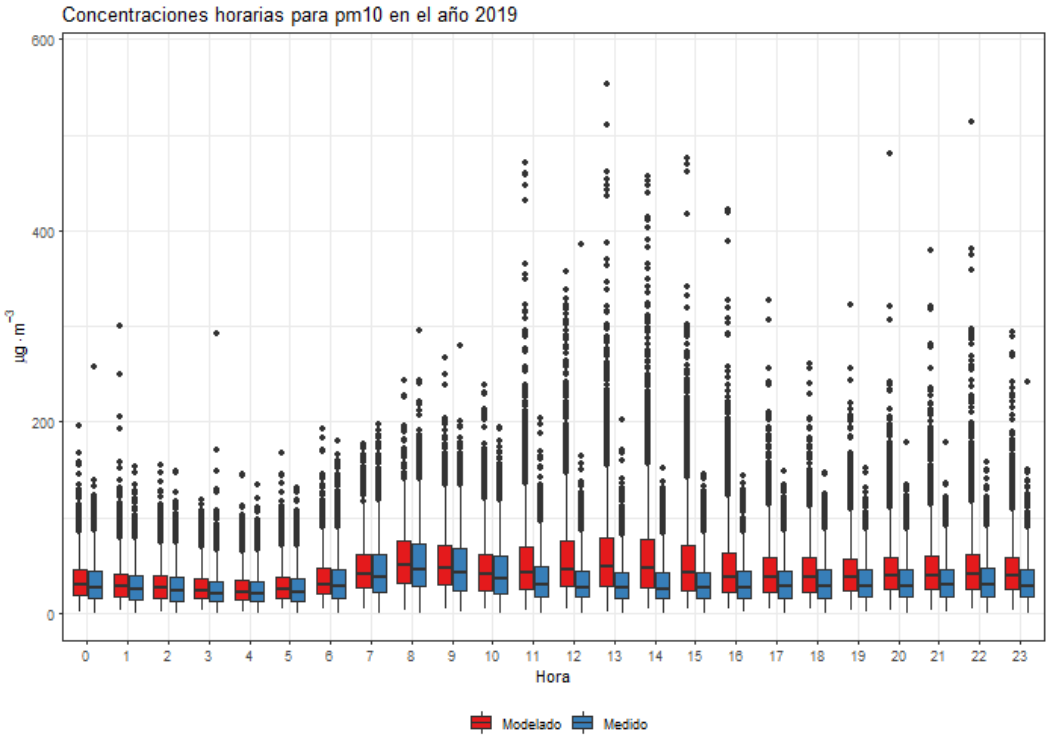


Figura 11-18 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{10}

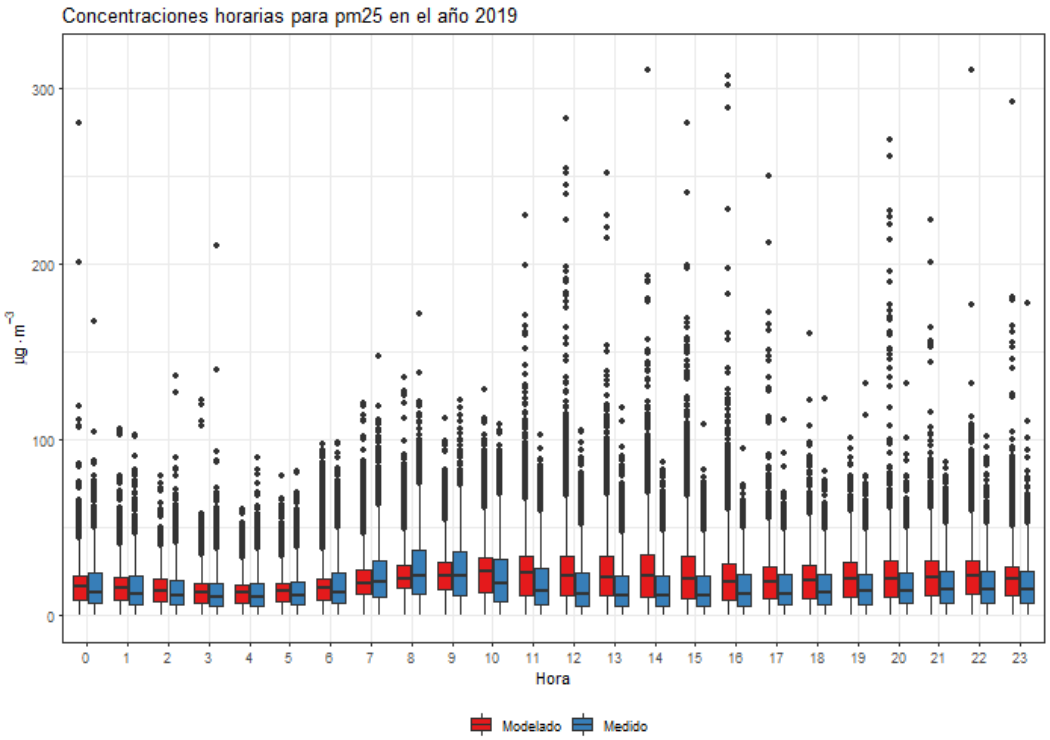


Figura 11-19 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para $PM_{2.5}$

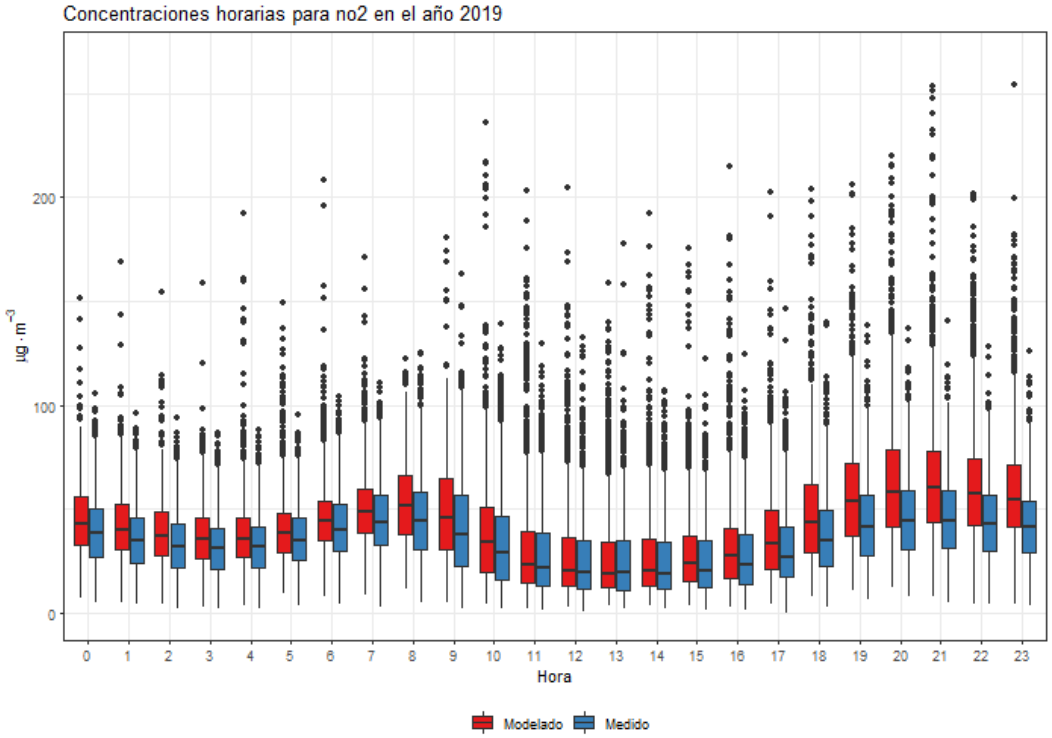


Figura 11-20 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO_2

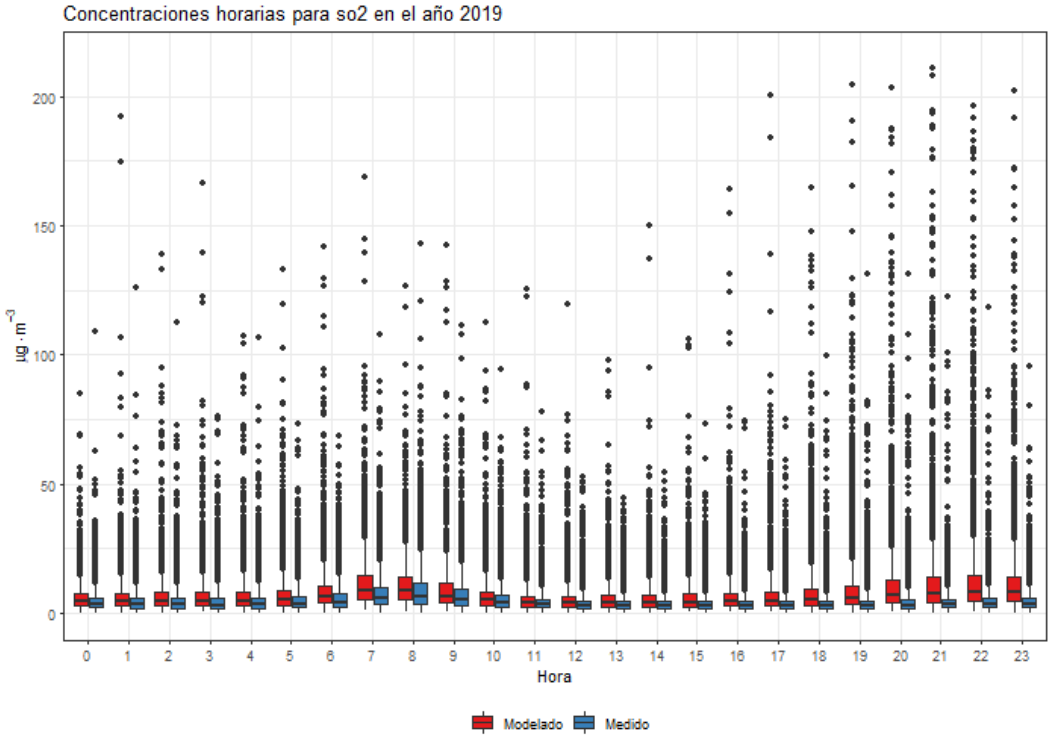


Figura 11-21 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO_2

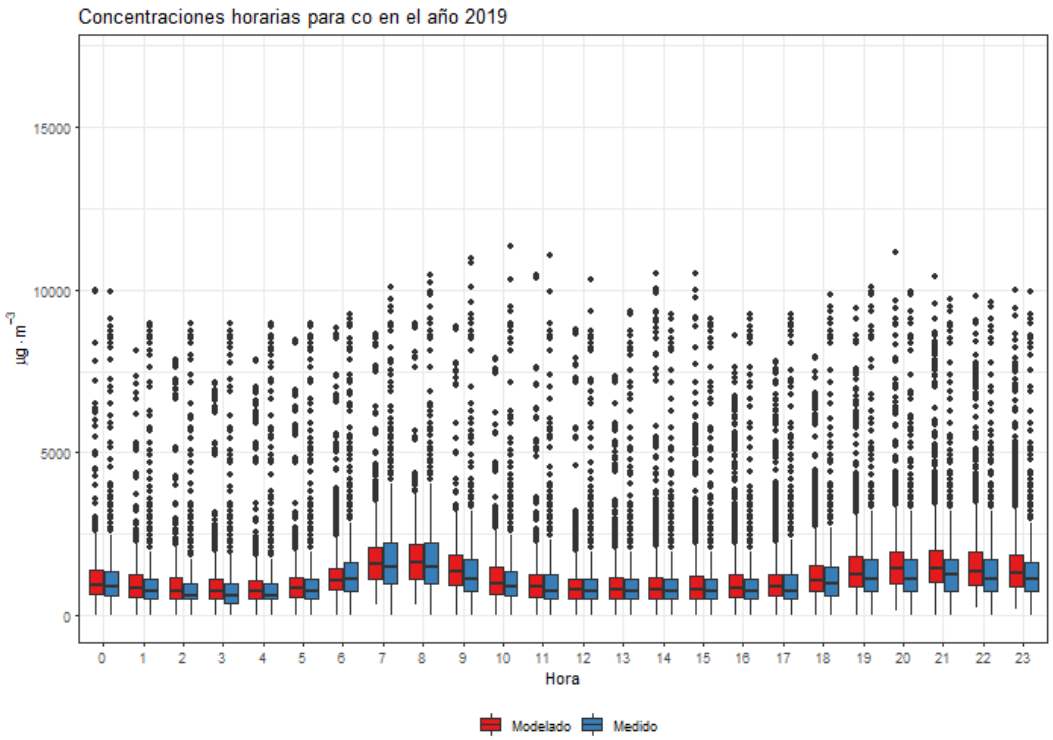


Figura 11-22 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO

Indicadores de desempeño del modelo de transporte

A continuación se muestran distintos indicadores estadísticos que indican el desempeño del modelo de dispersión empleado en Bogotá.

Tabla 11-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones

	N	FAC2	NMB	NMGE	RMSE	r	COE	IOA
CO	63619	0.87	0.06	0.32	603.79	0.80	0.40	0.70
NO_2	52695	0.87	0.14	0.34	19.15	0.63	0.21	0.61
PM_{10}	89155	0.73	0.32	0.56	31.41	0.54	-0.03	0.48
$PM_{2.5}$	85510	0.65	0.24	0.59	18.89	0.46	0.09	0.54
SO_2	56915	0.70	0.44	0.77	11.63	0.50	-0.05	0.48

Los indicadores presentados en la anterior tabla muestran, para cada contaminante, el número de datos (N), la fracción de predicciones dentro de un factor de dos (FAC2), el valor promedio normalizado del sesgo (NMB), el valor promedio normalizado del error grueso (NMGE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el coeficiente de correlación (r), el coeficiente de eficiencia (COE) y el Índice de concordancia (IOA).

Diagramas de Taylor

En la Figura 11-23 se encuentran los diagramas de Taylor que describen la bondad de ajuste de las concentraciones estimadas de PM_{10}, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.4 y 0.6, con valores de RMSE entre 20 y 35 µg/m^3.

En la Figura 11-24 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de $PM_{2.5}$, con respecto a las observaciones; en dicho diagrama se puede observar que los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.4 y 0.6, con valores de RMSE frecuentemente entre 15 y 25 µg/m^3.

En la Figura 11-25 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de CO, con respecto a las observaciones; en dicho diagrama se puede observar que los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.6 y 0.7, con valores de RMSE frecuentemente entre 500 y 800 µg/m^3.

Adicionalmente, en la Figura 11-26 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de SO_2, con respecto a las observaciones; en dicho diagrama se puede observar que los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.3 y 0.4, con valores de RMSE frecuentemente entre 5 y 15 µg/m^3.

Finalmente, para NO_2, se puede observar que los coeficientes de correlación se encuentran entre 0.5 y 0.65, con valores de RMSE frecuentemente entre20 y 25 µg/m^3. (Ver Figura 11-27).

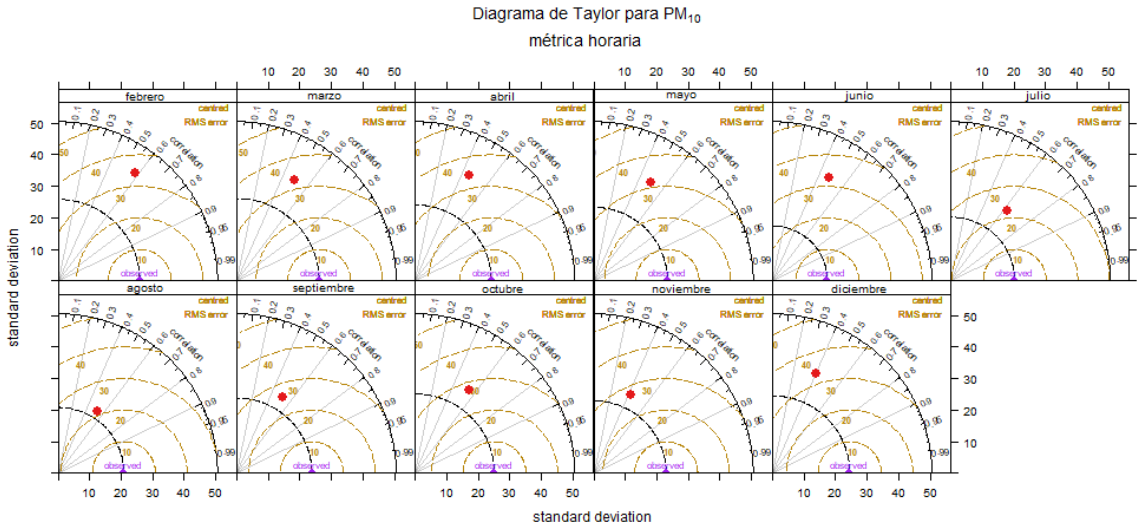


Figura 11-23 Diagramas de Taylor por mes para PM_{10}

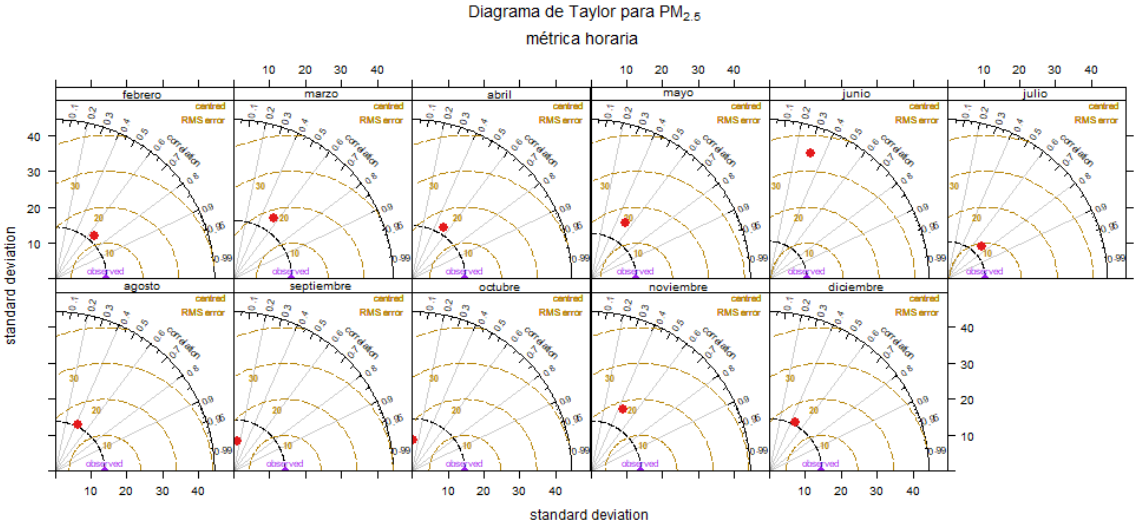


Figura 11-24 Diagramas de Taylor por mes para $PM_{2.5}$

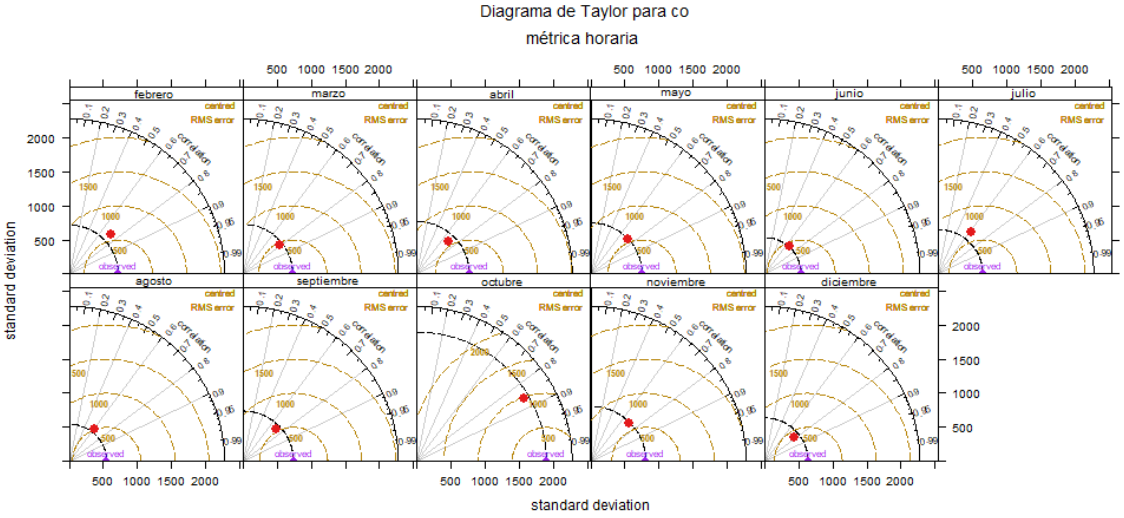


Figura 11-25 Diagramas de Taylor por mes para CO

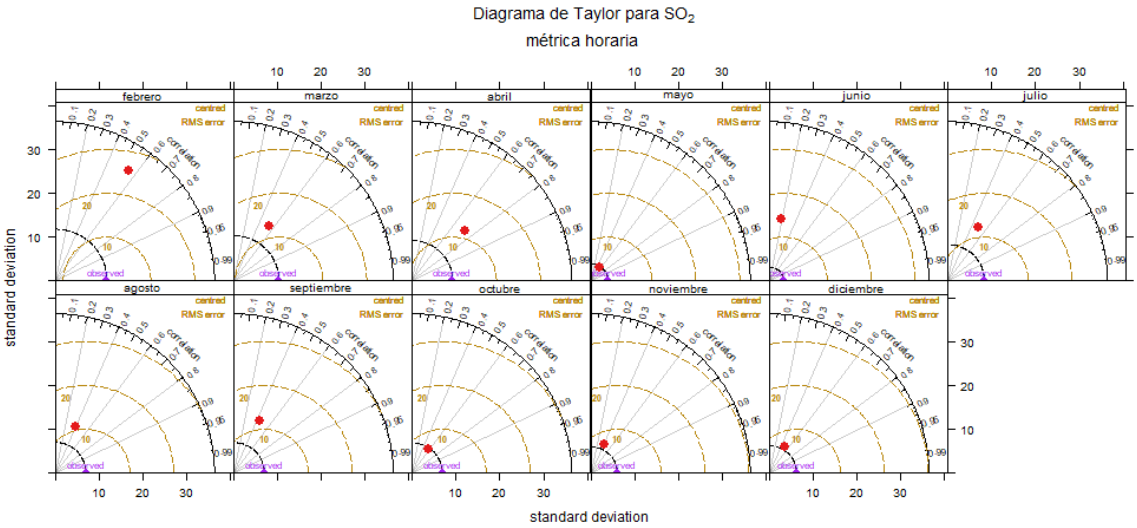


Figura 11-26 Diagramas de Taylor por mes para SO_2

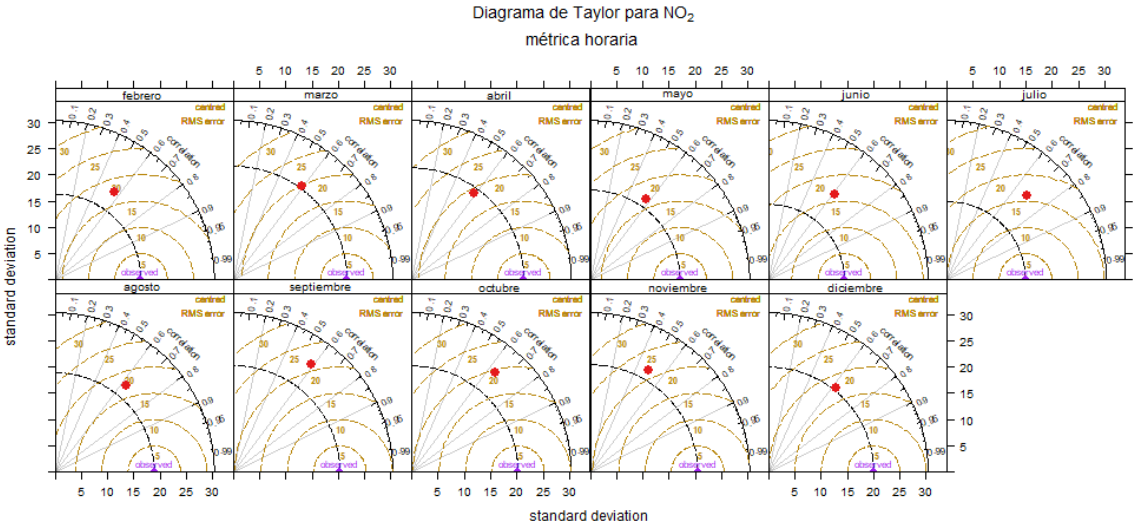


Figura 11-27 Diagramas de Taylor por mes para NO_2

12. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En la ciudad de Bogotá, el primer trimestre del año es el periodo más crítico con relación al aumento de las concentraciones de material particulado, debido al inicio de la temporada seca, con lo cual predominan las condiciones meteorológicas que favorecen la estabilidad de la atmósfera, por lo cual se registran inversiones térmicas y cambios en la dirección del viento. Asimismo, a causa de la disminución de la precipitación, se incrementan los incendios forestales registrados en diferentes regiones, lo cual incide en el material particulado que puede ser transportado desde diferentes lugares del país hacia la ciudad.

En el primer trimestre de 2019 se registraron cuatro alertas por contaminación atmosférica, el 14 de febrero, el 15 de febrero, el 7 de marzo y el 28 de marzo, periodos en los cuales se observaron concentraciones que alcanzaron las condiciones *Regular* y *Mala* por más de 48 horas, con lo que se cumplieron los requerimientos para la declaración de las alertas y la ejecución de medidas tendientes a reducir las concentraciones de material particulado. En la Tabla 12-1 se relacionan las alertas declaradas durante el primer trimestre de 2019.

Tabla 12-1. Alertas por contaminación atmosférica declaradas en el 2019

Alerta	Fecha	Acto administrativo	Informe Técnico
Febrero 2019			
Alerta Amarilla en las localidades de Kennedy, Bosa y Tunjuelito	14/02/2019	Resolución No. 298 de 2019	IT No. 0224 del 14 de febrero de 2019
Alerta Amarilla en la ciudad de Bogotá D.C Alerta Naranja en el Suroccidente de la Ciudad	15/02/2019	Resolución No. 302 de 2019	IT No. 0254 del 15 de febrero de 2019
Finalización de la alerta amarilla en la ciudad y naranja en el suroccidente de Bogotá.	19/02/2019	Resolución No. 312 de 2019	IT No. 0259 de 19 de febrero de 2019
Marzo 2019			
Alerta Amarilla en la ciudad de Bogotá D.C. Alerta Naranja en el Suroccidente de la Ciudad	07/03/2019	Resolución No. 0383 de 2019	IT No. 0340 del 07 de marzo de 2019
Finalización de la declaratoria de alerta amarilla en el Distrito Capital	10/03/2019	Resolución No. 415 de 2019	CT No. 0348 del 10 de marzo de 2019
Alerta Amarilla en la ciudad de Bogotá D.C. Se mantiene la	28/03/2019	Resolución No. 0510 de 2019	IT No. 0398 del 28 de marzo de 2019

alerta naranja en las localidades del suroccidente			
Abril 2019			
Finaliza la Alerta Amarilla en Bogotá D.C. y Alerta Naranja en las localidades del suroccidente	01/04/2019	Resolución No. 632 del 2019	IT No. 0420 del 01 de abril de 2019

A continuación, se describen las generalidades de los eventos registrados en el primer trimestre de 2019:

- ***Febrero 14 – 19 de 2019***

En la Figura 12-1 se observan las concentraciones medias móvil de $PM_{2.5}$ registradas entre el 12 y el 20 de febrero de 2019, y las fechas en las que iniciaron y finalizaron las alertas amarillas a nivel ciudad y naranja en la zona suroccidente. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana registró las condiciones más desfavorables de calidad del aire, con una condición "mala" por 44 horas continuas, y las estaciones Kennedy y Móvil 7ma por un tiempo aproximado de 4 días. Se observa además que después de la declaración de la alerta naranja las concentraciones disminuyeron hasta la condición "moderada" el día 17 de febrero.

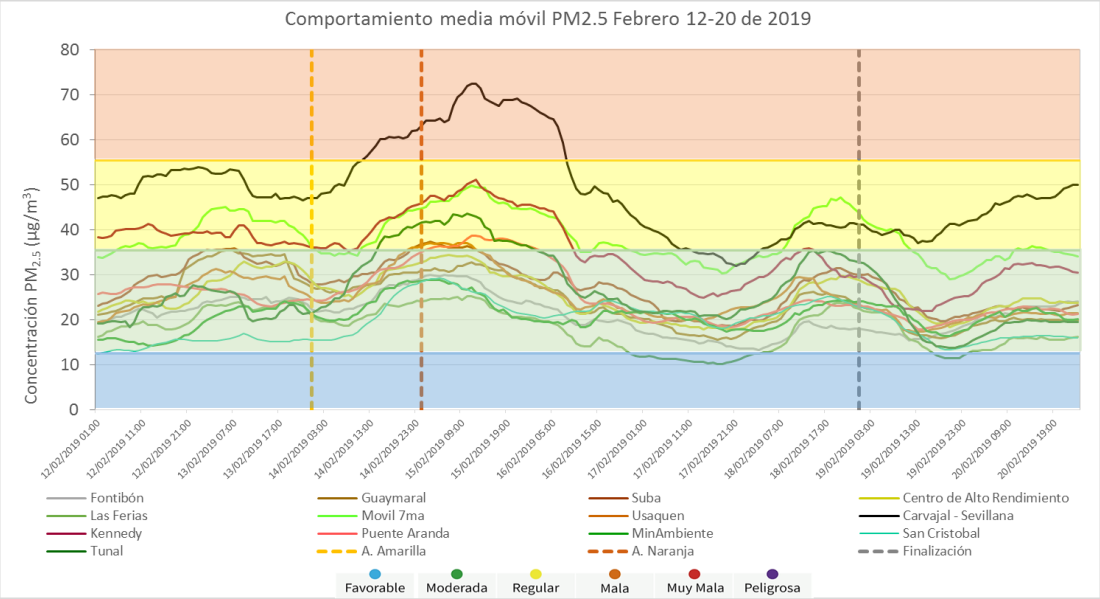


Figura 12-1. Concentraciones medias móvil PM2.5 febrero 12 al 20 de 2019

Este episodio de contaminación atmosférica se vio influenciado por cambios en la dirección del viento, con vientos provenientes del occidente que a nivel regional podían influir en la dispersión de contaminantes, por lo cual los contaminantes permanecían en la atmósfera de la ciudad, además en las mañanas se presentaron inversiones térmicas, lo cual disminuye la dispersión de contaminantes en la hora pico de generación de emisiones.

En la Figura 12-2 se observa que los vientos registrados en el 2019, fueron de menor intensidad a los registrados en el año 2018, además, se evidenció un debilitamiento de los vientos al oriente de la ciudad, lo que facilitó el ingreso de vientos de occidente, y contribuyó al aumento de las concentraciones de material particulado. También se registraron vientos provenientes de la cuenca del Río Magdalena, que predominaron sobre los vientos locales del oriente, modificando el mecanismo de ventilación en la ciudad.

Vientos febrero 14 y 15 de 2019 Vientos febrero 14 y 15 de 2018

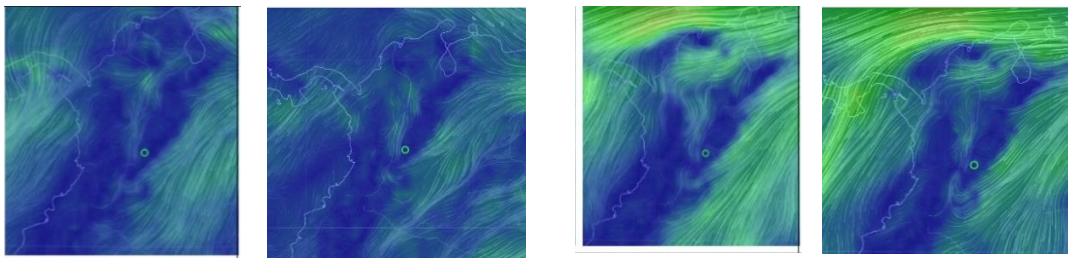


Figura 12-2. Modelación del viento para febrero 14 y 15 de 2018 y 2019
Fuente: Earth Wind Map

En la primera mitad del mes de febrero se registraron incendios forestales al suroriente de Cundinamarca, estos fueron causados por la época de sequía al inicio del año en los llanos orientales de Colombia y de Venezuela, siendo el foco más cercano a la ciudad el del municipio de Quetame, que consumió alrededor de 350 hectáreas de bosque. Por consiguiente, los vientos regionales pudieron arrastrar material particulado de la zona de incendios, e incidir en el aumento de la contaminación en la ciudad. En la Figura 12-3 se observan los puntos calientes registrados durante el periodo entre el 1 y el 15 de febrero de 2019, los cuales predominan en la zona de la Orinoquía colombiana.

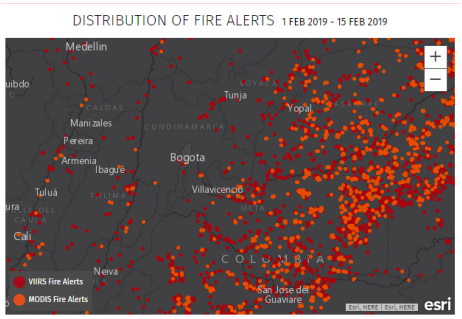


Figura 12-3. Puntos calientes relacionados con incendios Forestales. Febrero 1 al 15 de 2019.
Fuente: Global Forest Watch Fires

De acuerdo con lo establecido en la Resolución No. 302 de 2019 de la SDA, se definen las siguientes medidas para las zonas definidas en la alerta naranja declarada el 15 de febrero:

- **Medidas Voluntarias para toda la Ciudad de Bogotá:** utilizar transporte público, en vez de carro particular, hacer uso racional del vehículo particular, apagar los vehículos de carga mientras se encuentran en espera, Seguir las recomendaciones de Ecoconducción como evitar acelerar y frenar bruscamente, realizar cambios de marcha a bajas revoluciones,

viajar a velocidades constantes y optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de la casa de ser posible.

- **Medidas Restrictivas para el área objeto de la Alerta Naranja:** Restricciones en el Sector Transporte y Movilidad y Restricción en la operación de fuentes fijas industriales que operan con combustibles sólidos y con combustibles líquidos.

Por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad se definieron las siguientes restricciones, establecidas en el **Decreto Distrital 057 de febrero de 2019**

Artículo 1. Restricción transitoria para los fines de semana. Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, con placas pares, entre las 6:30 y las 18:00 horas el día sábado, en todo el perímetro urbano de la ciudad.
Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, con placas impares entre las 6:30 y las 15:00 horas el domingo, en todo el perímetro urbano de la ciudad.

Artículo 2. Restricción transitoria entre semana. Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, de acuerdo con el último dígito del número de placa nacional del automotor, así: En los días pares hábiles del calendario, los vehículos cuya placa termine en dígito par, incluido el número cero (0), y en los días impares hábiles del calendario, los vehículos cuya placa termine en dígito impar, entre las 06:00 y las 19:30 horas.

Artículo 3. Restricción transitoria para vehículos de transporte de carga. Restringir la circulación de vehículos de carga de más de dos toneladas, de lunes a domingo, entre las 6:00 y las 19:30 horas, en el siguiente polígono: Límite sur: Autopista sur. Límite norte: Avenida Centenario (Calle 13). Límite occidental: Río Bogotá. Límite oriental: Desde la Avenida Ciudad Villavicencio con Carrera 51, hasta la Carrera 51 con Avenida Boyacá, y de la Carrera 33 con Avenida Boyacá pasando por la Carrera 30 hasta la Avenida NQS con Avenida Centenario (Calle 13).

- ***Marzo 7 – 10 de 2019***

En la Figura 12-4 se observan las concentraciones media móvil de $PM_{2.5}$ registradas entre el 4 y el 12 de marzo de 2019, y las fechas de inicio y finalización de la alerta naranja del 7 de marzo. Se evidencia que la estación Carvajal registró aproximadamente por 5 días la condición “mala”, con un pico de concentración de 79 µg/m^3 el 8 de marzo, momento a partir del cual se redujeron las concentraciones, hasta alcanzar la condición “moderada” el 10 de marzo, después de la finalización de la alerta.

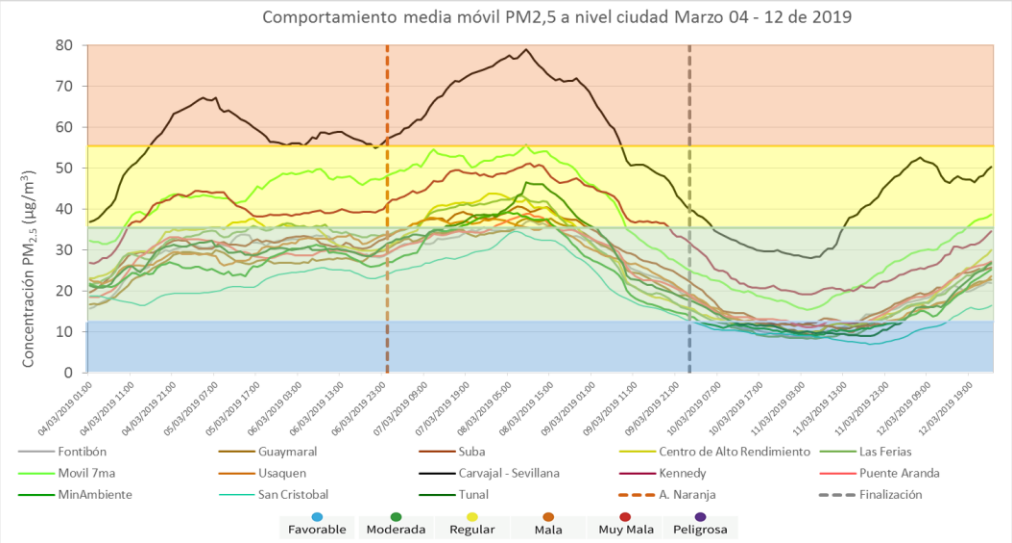
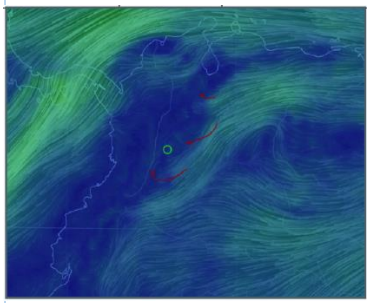


Figura 12-4. Concentraciones media móvil $PM_{2.5}$ Marzo 04 al 12 de 2019

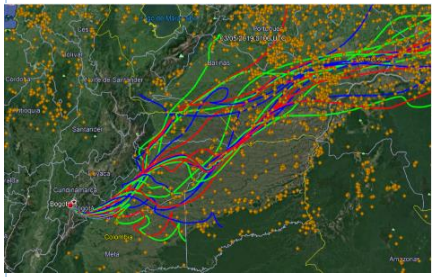
Dentro de las causas que contribuyeron con el aumento de las concentraciones de material particulado, se evidenció la influencia de vientos provenientes del oriente del país, los cuales arrastraron material particulado generado en los incendios en la zona de la Orinoquía y Venezuela, representado en las retrotrayectorias del viento (c). Adicionalmente se observó un debilitamiento en la intensidad de los vientos, por lo cual se redujo la dispersión de los contaminantes durante el día. (Figura 12-5)



Fuente: Earth Wind Map



Fuente: Satélite MODIS - VIIRS



Fuente: Modelación en Hysplit de retrotrayectorias del viento

Figura 12-5. a) Modelación de vientos de marzo 7 de 2019. b) Puntos calientes registrados en Colombia para marzo 7 de 2019 c) Retrotrayectorias del viento en Hysplit. Marzo 7 de 2019

De acuerdo con lo establecido en la Resolución No. 0383 de 2019 de la SDA, se definen las siguientes medidas para las zonas definidas en la alerta naranja en la zona suroccidente y la alerta amarilla a nivel ciudad, declaradas el 07 de marzo:

- **Medidas Voluntarias:** utilizar transporte público, en vez de carro particular, hacer uso racional del vehículo particular, apagar los vehículos de carga mientras se encuentran en espera, Seguir las recomendaciones de Eco-conducción como evitar acelerar y frenar bruscamente, realizar cambios de marcha a bajas revoluciones, viajar a velocidades

constantes y optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de la casa de ser posible.

- **Medidas Restrictivas para el área objeto de la Alerta Naranja:** Restricciones en el Sector Transporte y Movilidad y Restricción en la operación de fuentes fijas industriales que operan con combustibles sólidos y con combustibles líquidos.

- Prohíbase a los Establecimientos Industriales y Comerciales del área donde ha sido declarada la Alerta Naranja, la utilización u operación de las fuentes fijas industriales que operen con combustibles sólidos (carbón madera, biomasa etc.) o con combustibles líquidos.

Por parte de la Secretaría Distrital de Movilidad se definieron las siguientes restricciones, establecidas en el **Decreto Distrital 088 de marzo de 2019**

Artículo 1. Restricción transitoria para los fines de semana. Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, de acuerdo con el último dígito del número de placa nacional del automotor, entre las 6:30 y las 18:00 horas el día sábado, en todo el perímetro urbano de la ciudad.
Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, de acuerdo con el último dígito del número de placa nacional del automotor entre las 6:30 y las 15:00 horas el día domingo y festivos, en todo el perímetro urbano de la ciudad. La restricción establecida en el presente artículo operará en los días pares del calendario para los vehículos cuya placa termine en dígito par, incluido el número cero (0), y en los días impares del calendario para los vehículos cuya placa termine en dígito impar.

Artículo 2. Restricción transitoria entre semana. Restringir la circulación de vehículos automotores y motos particulares, de acuerdo con el último dígito del número de placa nacional del automotor, así: En los días pares hábiles del calendario, los vehículos cuya placa termine en dígito par, incluido el número cero (0), y en los días impares hábiles del calendario, los vehículos cuya placa termine en dígito impar, entre las 6:00 y las 19:30 horas.

Artículo 3. Restricción transitoria para vehículos de transporte de carga. Restringir la circulación de vehículos de carga de más de dos toneladas, de lunes a domingo, entre las 6:00 y las 19:30 horas, en el siguiente polígono:
Límite sur: Autopista sur. / Límite norte: Avenida Centenario (Calle 13). / Límite occidental: Río Bogotá. / Límite oriental: Desde la Avenida Ciudad Villavicencio con Carrera 51, hasta la Carrera 51 con Avenida Boyacá, y de la Carrera 33 con Avenida Boyacá pasando por la Carrera 30 hasta la Avenida NQS con Avenida Centenario (Calle 13).

Cabe resaltar que en la Resolución No. 415 del 10 de marzo de 2019 de la SDA se dio finalización solamente a la alerta amarilla a nivel ciudad, por lo cual las restricciones establecidas de alerta naranja para la zona suroccidente se mantuvieron vigentes hasta la siguiente alerta.

- ***Marzo 28 de 2019 a Abril 1 de 2019***

En la Figura 12-6 se presentan las concentraciones media móvil de $PM_{2.5}$ del 26 de marzo al 03 de abril de 2019, y las fechas de inicio y fin de la alerta naranja en zona suroccidente y de la alerta amarilla a nivel ciudad. Se observa que la estación Carvajal registró la condición "mala" durante 5 días aproximadamente, hasta el 30 de marzo, cuando las concentraciones descendieron y se mantuvieron en condición "regular", hasta el 02 de abril, cuando aumentaron nuevamente, debido a que se normalizó la dinámica de la ciudad en cuanto al comportamiento de las emisiones. Sin embargo, en los primeros días de abril se inició la temporada de lluvias, por lo que las condiciones atmosféricas fueron más favorables para la dispersión de contaminantes con el paso de los días.

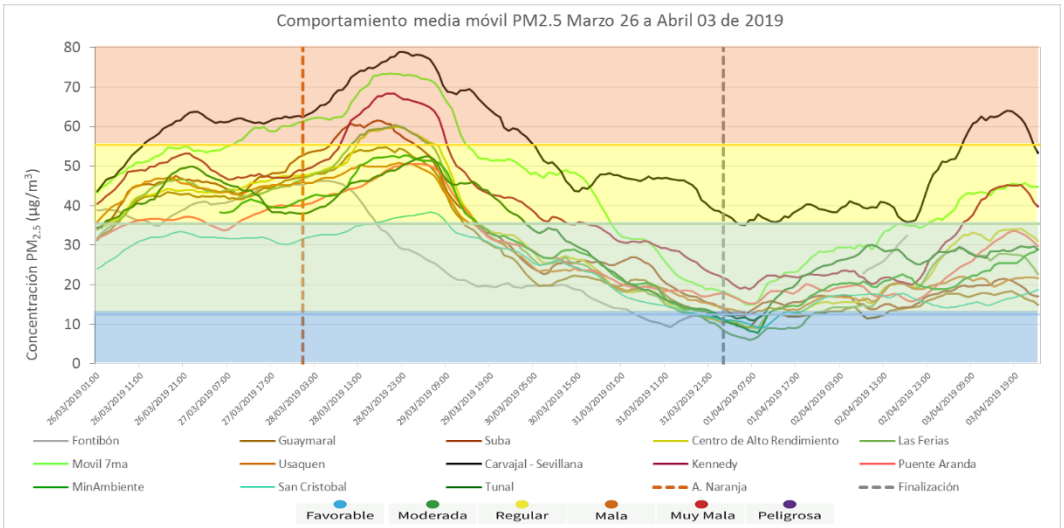


Figura 12-6. Concentraciones media móvil $PM_{2.5}$ Marzo 26 a Abril 03 de 2019

Dentro de los factores influyentes en el incremento de las concentraciones en este periodo, se tienen las inversiones térmicas por la diferencia de temperatura en la atmósfera en las mañanas; vientos con menor intensidad de lo habitual, lo cual incidía en la reducción de la dispersión de contaminantes; incendios localizados en la región occidental de Cundinamarca, los cuales generaban material particulado que podía ser transportado por arrastre hacia el distrito. En la Figura 12-7 a) se observa que los vientos registrados en los alrededores de Bogotá tenían baja intensidad, en b) se muestran los puntos calientes relacionados con incendios, los cuales se ven en mayor proporción en la Orinoquía colombiana y en Venezuela, y en c) se muestra el régimen de precipitaciones para Colombia, en el cual se evidencia que la zona de la Amazonía y del oriente colombiano tienden a registrar más precipitaciones, dado que se acercaba la primera temporada de lluvias del 2019.

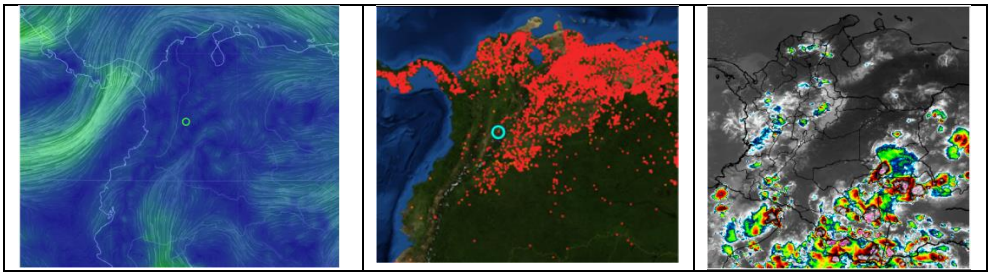


Figura 12-7. a) Modelación de vientos para el 28 de marzo de 2019. b) Puntos caliente registrados en Colombia y Venezuela - Marzo 28 de 2019 c) Mapa de precipitaciones de Marzo 26 de 2019

De acuerdo con lo establecido en la Resolución No. 0510 de 2019 de la SDA, se definen las siguientes medidas para las zonas definidas en la alerta amarilla a nivel ciudad, declarada el 28 de marzo, y se mantienen vigentes las recomendaciones definidas para la alerta naranja en la zona suroccidente declarada el 7 de marzo por la resolución 383 de 2019:

1. Medidas voluntarias ciudadanas para la Alerta amarilla a nivel ciudad y Naranja en zona sur occidental: La Alerta amarilla a nivel ciudad y Naranja en la zona suroccidente, conllevan la aplicación de medidas voluntarias para los ciudadanos, que consisten en:
a) Utilizar transporte público en vez de carro particular.
b) Hacer uso racional del vehículo particular.
c) Apagar los vehículos de carga y que operen con Diésel mientras se encuentran en espera.
d) Seguir las recomendaciones de Eco-Conducción como evitar acelerar y frenar bruscamente, realizar cambios de marcha a bajas revoluciones, viajar a velocidades constantes.
e) Optar por el teletrabajo y postergar las actividades fuera de la casa de ser posible.

2. Medidas Restrictivas para la zona suroccidental: Mantener las medidas restrictivas en el polígono occidental conforme a la Resolución SDA 415 de 2019, que mantiene la alerta naranja en la zona suroccidental, las cuales fueron adoptadas mediante Decreto Distrital 090 de marzo de 2019, el cual modifica las restricciones establecidas en el Decreto 088 de 2019.

13.CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

La necesidad de un ambiente sano permite mejorar las condiciones de salud de la población, por esta razón desde la dimensión de salud ambiental propuesta en el Plan decenal de salud pública se establecen un conjunto de políticas desarrolladas de forma transectorial que pretenden promover la calidad de vida y salud de la población, materializando el derecho a un ambiente sano, a través de la transformación de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales usando la metodología de las fuerzas motrices, la cual muestra la relación entre factores ambientales y efectos en la salud; este método permite a los gobiernos determinar e identificar los factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal y plantear acciones sectoriales y transectoriales que permitan adoptar medidas preventivas y de intervención6.

Dicho plan comprende 8 dimensiones prioritarias, siendo una de ellas la de salud ambiental, donde uno de sus componentes es el hábitat saludable, buscando mejorar la calidad de vida y salud de la población, interviniendo de forma positiva los determinantes sociales y en salud que influyen en el desarrollo de un ser humano desde su nacimiento. Esto reúne una serie de entornos cotidianos como: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables.

Dentro de los objetivos del componente de hábitat saludable, se encuentra el intervenir con enfoque diferencial los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos.

Con base en lo anterior, el Decreto 596 de 2011 por el cual se adopta la Política Distrital de Salud ambiental, establece que una de sus líneas de acción corresponde a las temáticas de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, y que se debe operar a través de las estrategias: Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental. Dentro de este contexto la línea, ha venido desarrollando acciones intersectoriales con el propósito de analizar los factores posiblemente relacionados con la presencia de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y personas mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre estos factores con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá[1].

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad, por medio del Decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 13-1.

[6] Dimensión de Salud Ambiental, Plan decenal de Salud Pública 2012-2021. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf

Tabla 13-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura

Norte	Centro Oriente	Sur Occidente	Sur
▪ Usaquén	▪ Santa Fe	▪ Fontibón	▪ Tunjuelito
▪ Chapinero	▪ La Candelaria	▪ Puente Aranda	▪ Ciudad Bolívar
▪ Barrios Unidos	▪ Los Mártires	▪ Kennedy	▪ Usme
▪ Teusaquillo	▪ San Cristóbal	▪ Bosa	
▪ Engativá	▪ Rafael Uribe		
▪ Suba	▪ Antonio Nariño		

Fuente: Secretaría Distrital de Salud



Figura 13-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud

13.1. GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL

En el marco de la implementación del Consejo Territorial de Salud Ambiental (COTSA) establecido mediante CONPES 3550 de 20087, que adopta los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, en Bogotá se desarrolló la Mesa de Salud Ambiental de la Comisión Intersectorial de Protección Ambiental, Sostenibilidad Ambiental, Eco urbanismo y Ruralidad CISPAER. Es así que se establecieron mesas temáticas para avanzar en la gestión de los componentes de la Política Distrital de Salud Ambiental, siendo una de ellas la Mesa Regional de Calidad del Aire Bogotá-Cundinamarca en donde participaron diferentes entidades de la administración distrital, regional y Nacional.

Dentro de los avances, de la gestión de esta mesa se tienen:

- Se realizaron 28 operativos de fuentes móviles conjuntos en el año 2019, en los cuales se revisaron 424 vehículos. Sin embargo, el 65% (277) de estos fueron rechazados, emitiendo 260 comparendos e inmovilizando 215 vehículos (51%).

[7] Documento Conpes 3550 de 2008. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Evaluaci%C3%B3n_Ambiental_Estrategica/documento_conpes.pdf

- Se realizaron operativos conjuntos a 27 fuentes fijas en 6 zonas limítrofes entre Bogotá y Cundinamarca, de las localidades de Fontibón, Kennedy, Bosa y Ciudad Bolívar, donde se definieron jurisdicciones para la vigilancia y control.
- Se realizó la propuesta de integración de las redes de monitoreo de Calidad del Aire de la Secretaría Distrital de Ambiente y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR-de la siguiente manera (Figura 13-2):

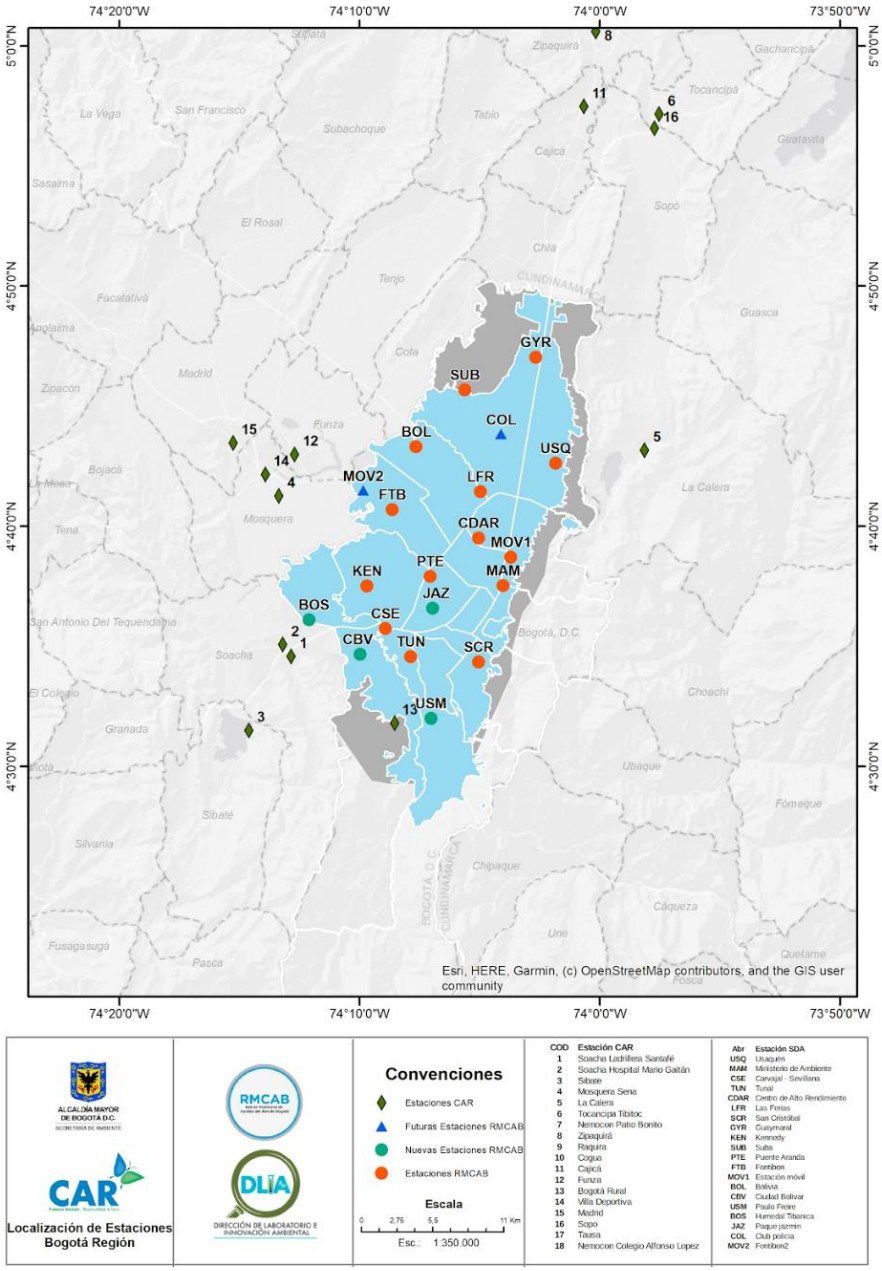


Figura 13-2. Localización de estación de monitoreo de calidad del aire Bogotá Región
Fuente: Corporación Autónoma Regional -CAR

De otra parte, se formuló en conjunto con la Organización Panamericana de la Salud y la Universidad de Los Andes, el Plan Estratégico de Respuesta de Gestión Integral del Riesgos en Salud Relacionados con la Calidad del Aire en Bogotá en el contexto de la Política de Atención Integral en Salud en Salud y el Modelo de Acción Territorial en Salud (MAITE), el cual se fundamenta en 4 pilares estratégicos (Figura 13-3) como se muestra a continuación:

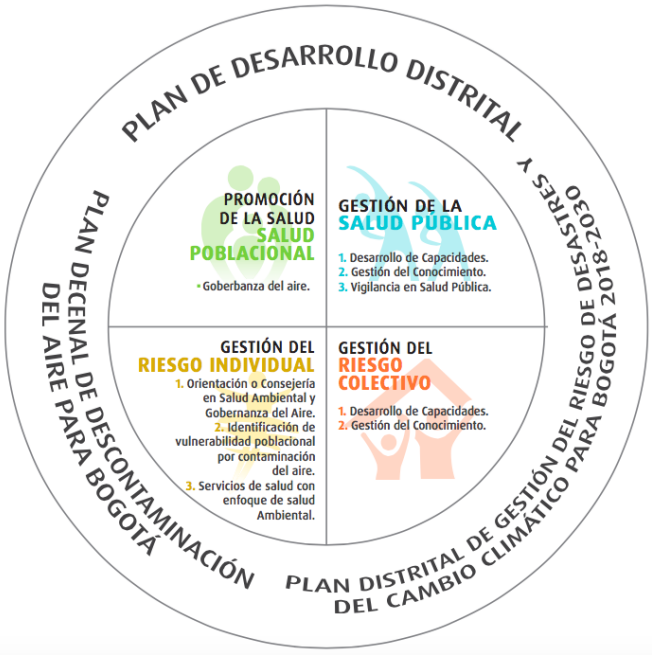


Figura 13-3. Estratégico de Respuesta de Gestión Integral del Riesgos en Salud Relacionados con la Calidad del Aire en Bogotá

Fuente: Universidad de Los Andes-Organización Panamericana de la Salud (OPS)-Secretaría Distrital de Salud 2019

Por último, se gestionó por parte de las Secretarías de Salud, Ambiente, Movilidad y Transmilenio S.A. la inscripción de Bogotá en la campaña BREATHELIFE (Respira la Vida). Esta es una iniciativa liderada por la Coalición de Clima y Aire Limpio, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente), con el objeto de sensibilizar al público acerca del impacto de la contaminación del aire en la salud y en el planeta, y crear una red de ciudadanos, dirigentes urbanos y nacionales y profesionales de la salud para impulsar el cambio en la población (Figura 13-4).



Figura 13-4. Página web de la campaña Breathelife para Bogotá
Fuente. https://breathelife2030.org/news/bogota-health-environment-transport-sectors-tackle-air-quality-together/

13.2. VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL

La Secretaria Distrital de Salud de Bogotá desde el año 2012 realiza una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- Vigilancia Epidemiológica: vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- Vigilancia Sanitaria: contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a la contaminación del aire.
- Vigilancia Ambiental: Contempla el monitoreo de contaminación del aire intramural y análisis y seguimiento de contaminantes por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

Con la industrialización y aumento de la población el aire se está volviendo peligrosamente contaminado: nueve de cada diez personas están respirando ahora aire contaminado, el cual mata a 7 millones de personas cada año. Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud son graves: un tercio de las muertes por accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y cardiopatías se deben a la contaminación del aire [8]

Los efectos más habituales sobre la salud son la irritación de las mucosas (ojos, nariz y esófago), afectaciones en el sistema respiratorio (irritación, inflamación, asma y reducción de la función pulmonar) y afectaciones en el sistema cardiovascular (vasoconstricción y alteración del ritmo cardíaco).

[8] Organización Mundial de la Salud. Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud. Disponible en: https://www.who.int/es/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health

En los efectos a corto plazo se destaca que cada 10 µg/m^3 de elevación del PM_{10} provocan un aumento del 0,31% de mortalidad cardiopulmonar diaria. En un estudio similar, realizado en 29 países de Europa, se demostró que cada aumento de 10 µg/m^3 de PM_{10} incrementaba la mortalidad cardiovascular un 0,69%.

A largo plazo, los efectos están más relacionados con el $PM_{2,5}$. Así, en una cohorte de mujeres en Estados Unidos., se demostró que aumentan un 24% los eventos cardiovasculares y un 76% las muertes por causa cardiovascular por cada 10 µg/m^3 de aumento[9]

Para abordar el problema de la contaminación del aire se han desarrollado investigaciones en Bogotá que analizan los efectos en la salud de las personas, en 1997 Aristizábal documentó una asociación significativa entre Enfermedad respiratoria y altos niveles de PM_{10}. Solarte en 2002 sustentó que un incremento de 10 µg/m^3 produce un aumento del 8% en las consultas por IRA en los menores de 14 años. Arciniegas *et al*. 2006, identificaron que el aumento de PM_{10} ocasiona un incremento del 4% en las consultas por IRA en menores de 5 años 6 días después de la exposición en la localidad de Puente Aranda.

Con el fin de documentar el impacto en la salud por la exposición a contaminación del aire en la ciudad, la Secretaria Distrital de Salud desde el año 2007 formuló y ejecutó un estudio epidemiológico encaminado a establecer relación entre la contaminación del aire intra y extramural y la enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá, el cual fue ejecutado hasta el año 2010. Dados los resultados y la necesidad sentida de la ciudad, se decidió a partir de este estudio, diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológico, ambiental y sanitario del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire. La implementación de la vigilancia se ha realizado de manera permanente y ha incrementado su cobertura de forma progresiva, actualmente tiene una cobertura del 100% en las localidades urbanas de la ciudad.

13.3. VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos; que permite generar información oportuna, válida y confiable, y así orientar medidas de prevención, vigilancia y control en relación con el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

13.3.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son consideradas una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo, y se estima que las infecciones respiratorias bajas causan casi

[9] Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324752458

4 millones de muertes al año y es la causa principal de muertes entre niños menores de 5 años de edad[10]

En Colombia la IRA es la quinta causa de mortalidad en población general y se ubica entre las tres primeras causas en menores de cinco años. Históricamente el comportamiento de la IRA en Colombia presenta dos incrementos de consultas y hospitalizaciones por esta enfermedad; el primer incremento se observa entre marzo a junio, mayo y junio los que concentran el mayor número de casos. El segundo incremento se presenta entre septiembre a diciembre, con un número de casos menor comparado con lo registrado durante el primer semestre del año[5]

En el año 2019 se presentaron 23 muertes por IRA en menores de 5 años en Bogotá, número similar al año 2018; disminuyendo en 64% con respecto a 2017 y en 70% con relación al año 2016 siendo el año que reportó más muertes. Con respecto a la neumonía, en 2019 ocurrieron 41 muertes disminuyendo en un caso con respecto al año 2018 lo que corresponde al 3%. Con respecto a 2017 disminuyó en 16% y en 24% con relación a 2016 (Figura 13-5)

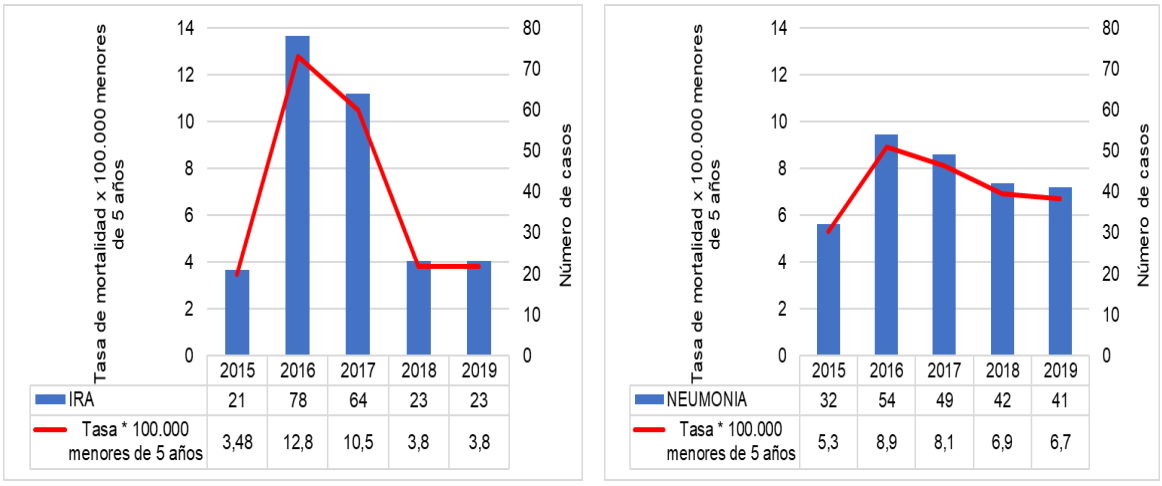


Figura 13-5. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2015 a 2019 datos preliminares
Fuente: Base de datos SDS- información para mapeo semana 52 -2019

La localidad de Bosa presentó el mayor número de muertes por IRA con 5 casos lo que representa el 21,7% y le sigue Engativá con 3 decesos lo que corresponde el 13%.

La neumonía mató a 920.136 niños menores de 5 años en 2015 en el mundo, representando el 15% de las muertes en este grupo de edad. También es la segunda causa principal de años de vida perdidos debido a la mortalidad prematura y una de las razones más frecuentes de hospitalización. Los lactantes y los niños pequeños son particularmente susceptibles. Nueve millones de niños menores de 5 años mueren anualmente, y la neumonía es la principal causa de muerte en el mundo de estos niños [11]. De igual manera, la localidad de Bosa registró el mayor número de muertes por

[10] Boletín epidemiológico semanal: Infección Respiratoria Aguda. Disponible en: https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2019_Boletin_epidemiologico_semana_40.pdf
[11] El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. Disponible en: https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf

Neumonía con 8 casos lo que corresponde al 19,5% siguiéndole Ciudad Bolívar con 6 muertes (14,6%).

Por su parte, la Figura 13-6 muestra la ubicación geográfica de los casos de mortalidad por IRA y Neumonía en menores de 5 años, así como las concentraciones anuales de material particulado, identificándose que los casos se concentraron en las localidades de Kennedy y Bosa donde las concentraciones anules se encontraron entre 22 y 36 µg/m^3.

13.3.2. MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaria de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021.

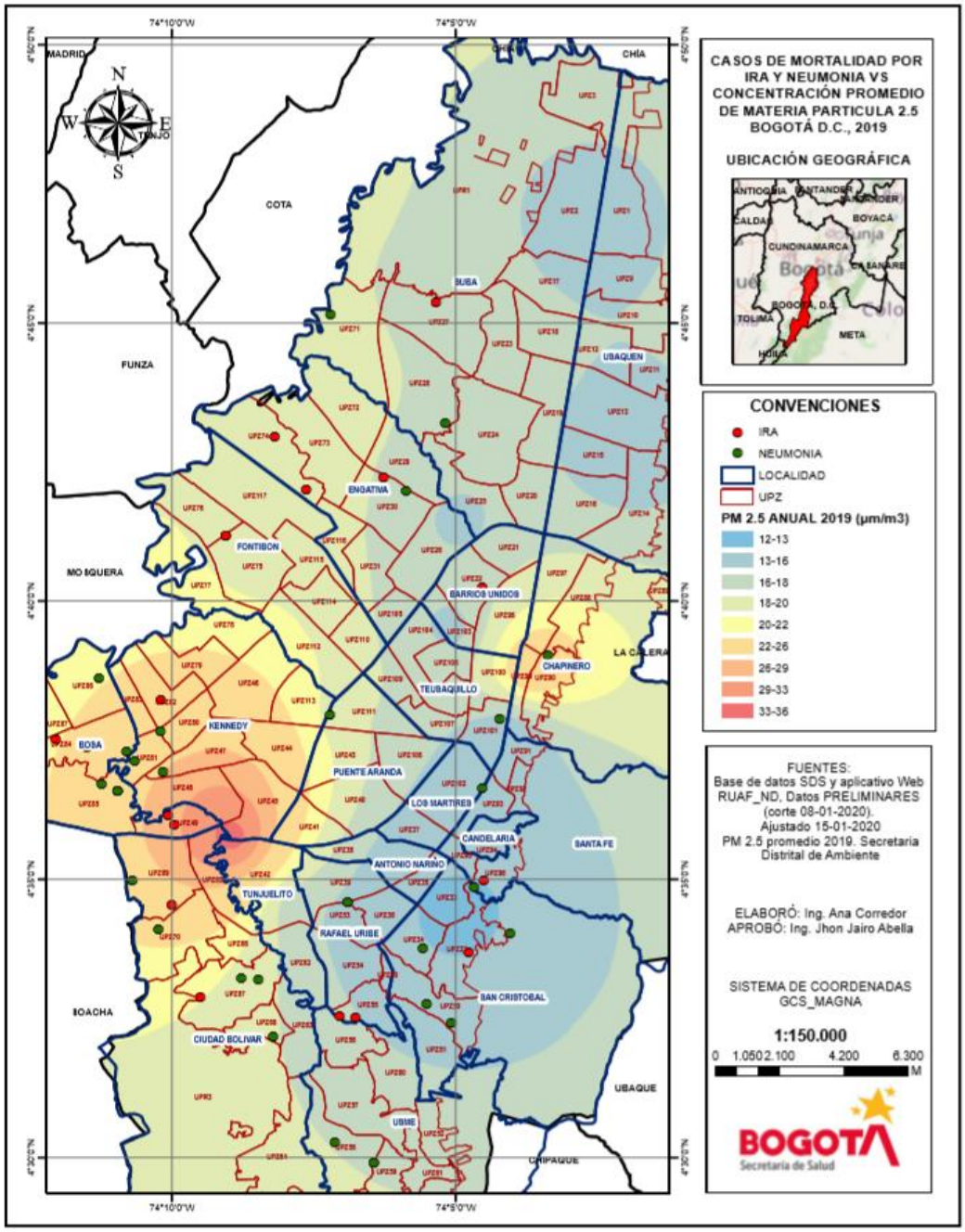


Figura 13-6. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años y material particulado 2,5 (µg/m3) en Bogotá, 2019

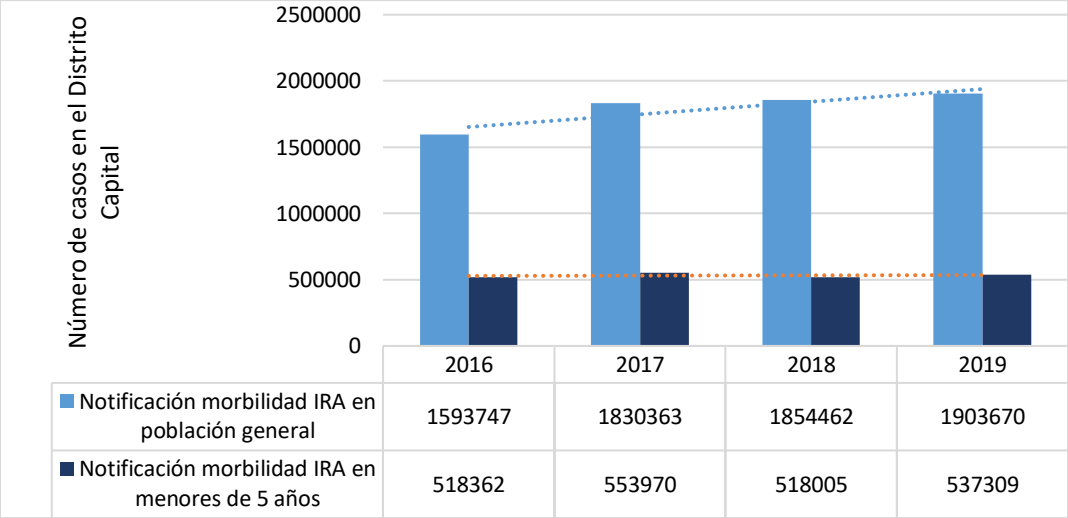
Fuente: Niveles de contaminación Secretaría Distrital de Ambiente y mortalidad grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

○ *a. Morbilidad Atendida*

La infección respiratoria aguda (IRA) constituye un grupo de enfermedades que afectan el aparato respiratorio alto y bajo; pueden ser causadas por diferentes microorganismos como virus y bacterias, entre otros, con evolución menor a 15 días; puede causar desde un resfriado común hasta complicaciones más severas como neumonía e incluso puede ocasionar la muerte. Las enfermedades de transmisión respiratoria emergentes representan un riesgo substancial para la humanidad, debido a su elevado potencial de diseminación. La infección respiratoria aguda (IRA) se considera como una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo, pues, en promedio, cada año suceden 3.460.000 muertes por esta enfermedad, que afectan a todas las poblaciones del mundo.[12]

La Figura 13-7 muestra el comportamiento de la notificación por IRA evento 995 en la población general y en menores de 5 años; en la población general se evidencia una tendencia hacía el aumento y con una variación del 79% (R^2=079). En los menores de 5 años el comportamiento se mantuvo regular con una tendencia a la estabilización sin una variación importante (R^2=0,02).

En 2019 se notificaron 1.903.670 casos en la población general de los cuales 537.309 fueron en menores de 5 años lo que corresponde a 28,2 %. Los casos en menores de 5 años aumentaron en 4% con respecto al año 2018 y disminuyeron en 3% con relación al año 2017.



	2016	2017	2018	2019
Notificación morbilidad IRA en población general	1593747	1830363	1854462	1903670
Notificación morbilidad IRA en menores de 5 años	518362	553970	518005	537309

Figura 13-7. Morbilidad por IRA (evento 995- SIVIGILA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2019
Fuente: Base de datos SIVIGILA. Vigilancia de IRA.2016-2019

Una estrategia de Atención Primaria en Salud para reducir el impacto de la IRA, es la atención de menores de 5 años en las Salas de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA), son salas ubicadas en un servicio hospitalario de urgencias o de consulta externa, para la atención de pacientes menores de 5 años con un cuadro respiratorio agudo o con algún componente de dificultad respiratoria leve, que puedan ser manejados con esquemas terapéuticos básicos, sin los requerimientos de una sala

[12] Informe del comportamiento de la infección respiratoria aguda. Disponible en: https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/informes

de observación en urgencias u hospitalización, y que no requieren, para el manejo de su cuadro agudo, una estancia de más de cuatro o seis horas. [13]

En 2019 se atendieron 31.890 casos residentes en Bogotá en 70 instituciones; disminuyendo en 12% con respecto al año anterior (n= 36.003), el mes más concurrido fue abril con 4445 casos lo que corresponde al 14%. La localidad de Suba fue la más frecuentada con 6204 casos representando el 19%. Los menores de 1 año representaron el 34,6 % de los casos.

La Figura 13-8 resume los diagnósticos atendidos en las Salas ERA, siendo la bronquiolitis el más frecuente con 44,3% y le sigue Síndrome Bronco obstructivo recurrente (SBOR), asma o equivalentes. De igual manera, el 23,3% de los casos requirió hospitalización por la complejidad del cuadro clínico.

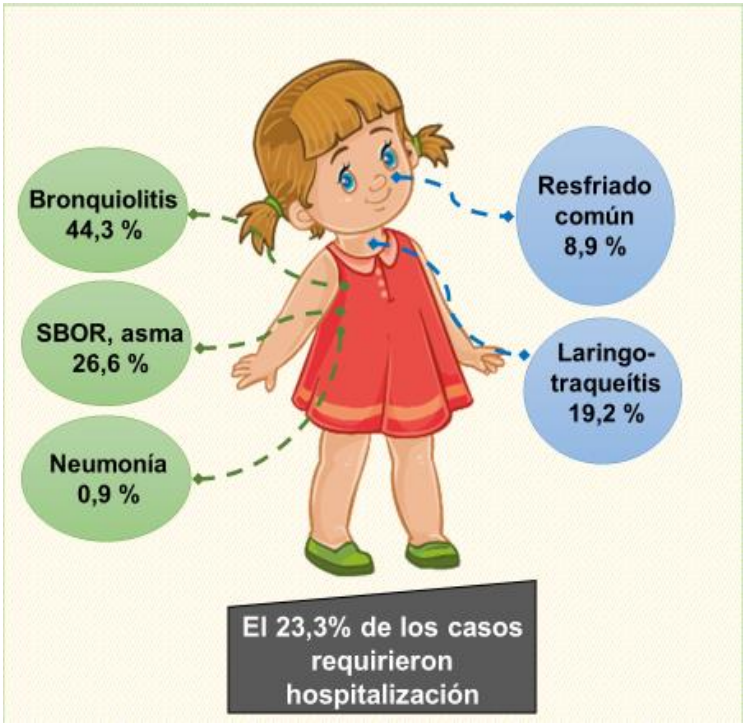


Figura 13-8. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2019
Fuente: Base de datos Salas ERA.2019

○ *b. Morbilidad Sentida*

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y personas mayores de 60 años, por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire.

[13] Guía de promoción atención en enfermedad respiratoria aguda (ERA). Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Guia%20de%20Atenci%C3%B3n%20ERA.pdf

En el año 2019 se aplicaron 11225 encuestas de prevalencia de sintomatología respiratoria a población vulnerable, de las cuales 28,1% fueron aplicadas a menores de 5 años, 48,9% a niños de 5 a 14 años, y 23% a personas mayores de 60 años.

En la población menor de 14 años no hubo diferencia importante diferencia importante en la proporción según sexo, mientras que en los adultos mayores predominó el sexo femenino (Figura 13-9).

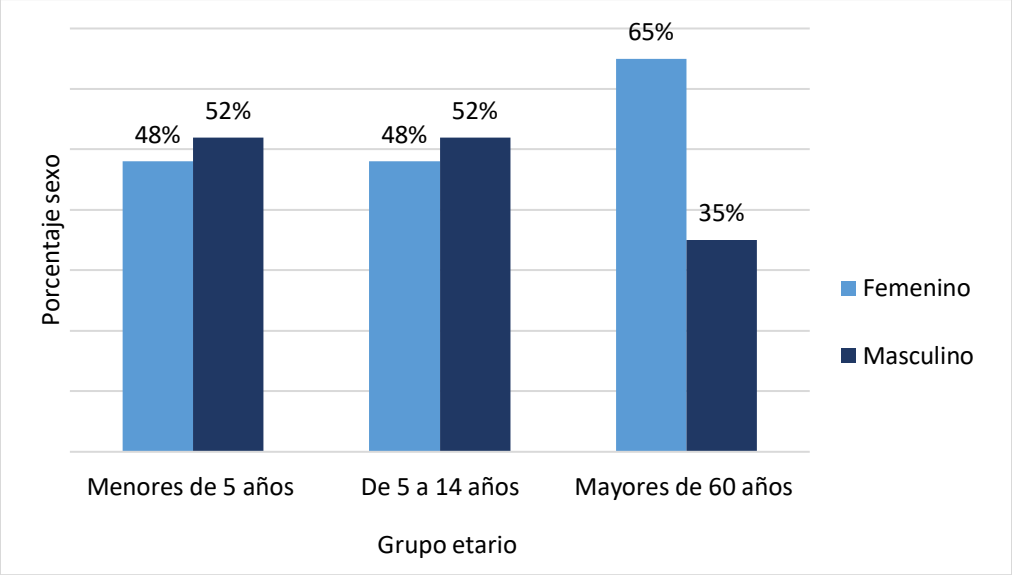


Figura 13-9. Distribución por sexo según grupo etario. Bogotá 2019
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

La Figura 13-10 muestra la distribución de la población según estrato socioeconómico prevaleciendo el estrato 2 y le sigue el estrato 3.

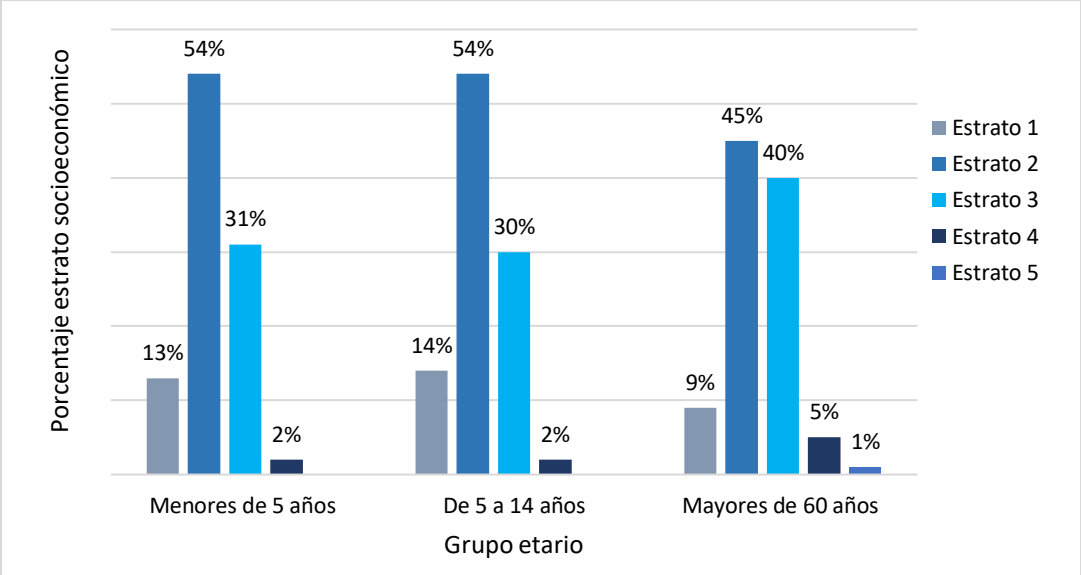


Figura 13-10. Distribución por estrato socioeconómico según grupo etario. Bogotá 2019
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

Con respecto a la seguridad social, predominó el régimen contributivo siendo más frecuente en los menores de 5 años (67%) y el régimen subsidiado fue más frecuente en la población mayor de 60 años (Figura 13-11).

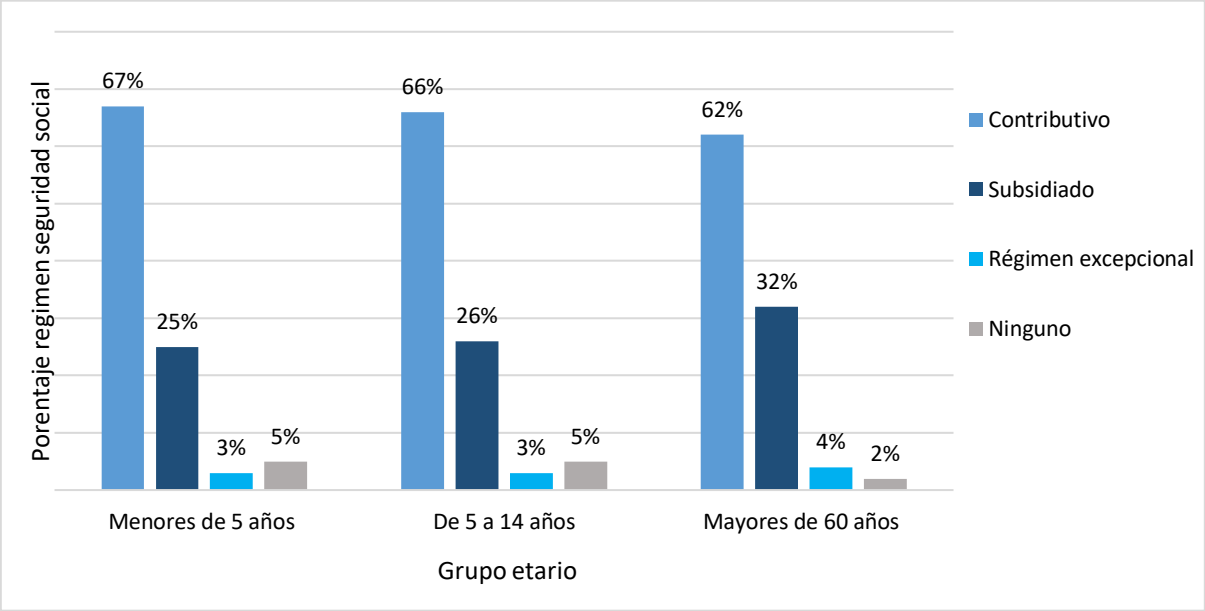


Figura 13-11. Distribución por régimen de seguridad social según grupo etario. Bogotá 2019
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

En el marco de la vigilancia de los efectos en salud por contaminación del aire se identifican síntomas trazadores *sibilancias* (ruidos en el pecho) y *tos* (seca diferente de gripa) que son objeto de seguimiento a través del comportamiento de indicadores. De tal manera se calculan indicadores de

impacto de la enfermedad respiratoria como *despertar por tos, ausentismo escolar* y *ausentismo laboral* del cuidador del niño.

La Tabla 13-2 expone la prevalencia de la sintomatología respiratoria, así como la proporción del impacto de la enfermedad respiratoria, donde se identifica que la prevalencia de los síntomas fue mayor en los niños de 5 a 14 años principalmente *tos seca* con 23%, resultado similar al año 2018, mientras que la proporción del impacto (despertar por tos, ausentismo escolar y ausentismo laboral) fue mayor en los menores de 5 años. La proporción de despertar por tos disminuyó 10 puntos porcentuales con respecto al año 2018.

Tabla 13-2. . Porcentaje de síntomas respiratorios según grupo etario

Síntomas	Menores de 5 años (n=3160)		Niños de 5 a 14 años (n= 5484)		Total menores de 14 años (n=8644)	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Sibilancia en el último año	374	12	216	13	590	7
Tos seca sin gripa en el último año	418	13	1255	23	1673	19
Despertar por tos	413	13	447	8	860	10
Ausentismo escolar	325	21	701	13	1026	12
*Ausentismo laboral	246	8	237	4	483	6

*Ausentismo laboral del padre o cuidador del niño.
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

En los adultos mayores, el síntoma *sibilancia en el último mes* alcanzó una proporción del 9% (232/2581) disminuyendo 1 punto porcentual con respecto al año 2018 y el indicador de impacto *despertar por tos* fue de 8% (212/2581).

Por otra parte, la vigilancia realiza seguimiento al consumo de tabaco en los hogares y a la exposición al humo de tabaco, como factor intramural relacionado con la presencia de enfermedad respiratoria y cardiovascular. La Figura 13-12 resume la prevalencia de este comportamiento, identificándose que el 6,2% de los menores de 14 años se encuentran expuestos al humo de tabaco en sus hogares, anotándose que esta proporción aumentó 1,2 puntos porcentuales con respecto al año 2018; aumentando el riesgo de padecer algunas enfermedades como infecciones de vías respiratorias, asma, otitis y síntomas respiratorios como la tos, también se ha asociado causalmente la exposición al humo de tabaco con un aumento de la mortalidad por enfermedad cardiaca y con el síndrome de muerte súbita del lactante [14].

El 2,2% de los niños estuvieron expuestos al tabaco durante la gestación; la exposición al tabaco en el útero se asocia con un menor crecimiento fetal, mayor irritabilidad e hipertonicidad infantil,

[14] Asociación entre determinantes socioeconómicos y exposición al humo ambiental del tabaco en niños. Disponible en: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S021391111930038X

alteraciones en la estructura o función del cerebro, mayor riesgo de síndrome de muerte súbita infantil, alteraciones en la función pulmonar, riesgo aumentado de asma, bronquitis y sibilancias en el recién nacido [15]. Este indicador disminuyó con relación al año anterior donde se alcanzó el 3%.

En los adultos mayores se obtuvo una prevalencia de tabaquismo pesado de 16,4% este indicador es utilizado para calcular el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y diabetes tipo II. En el caso de Colombia, el 7,0% de la población nacional consume tabaco y las enfermedades relacionadas con el consumo de tabaco representan un costo directo anual al sistema de salud de más de 4,5 billones de pesos, la recaudación del impuesto por la venta de cigarrillos cubre solamente un 10% de este gasto[16]. Es de anotar que esta prevalencia aumentó en más de 2 puntos porcentuales con respecto al año anterior cuando se obtuvo una proporción de 14%.



Figura 13-12. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM. 2019

[15] Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v36n2/2215-5287-mlcr-36-02-68.pdf
[16] Hoja informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. Disponible en: https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202019.pdf

Al aplicarse el análisis multivariado entre los síntomas respiratorios y las variables de riesgo se identificó lo siguiente para los menores de 14 años.

Menores de 5 años:

La Tabla 13-3 muestra los resultados del análisis multivariado o análisis con varios factores, donde se puede identificar que las variables explicativas relacionadas para *sibilancias en el último año*, fueron: colecho (dormir en la misma cama con otra persona), humedad en la habitación, presencia de roedores en la vivienda y tenencia de mascotas, es decir que los niños que tienen estos factores o condiciones tienen mayor probabilidad de presentar el síntoma.

El síntoma *tos seca* mostró relación estadística con malnutrición, contacto con tóxicos por parte de alguien que convive con el niño, humedad en la vivienda y presencia de tráfico pesado cerca de la vivienda.

Tabla 13-3. Factores relacionados con la presencia de sibilancias y tos seca en el último año en menores de 5 años

Menores de 5 años			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Sibilancias en el último año			
Colecho	0,004	1,2	1,07-1,52
Humedad habitación	0,01	1,4	1,09-2,00
Presencia de roedores	0,04	1,3	1,06-1,78
Tenencia de mascotas	0,03	1,1	1,05-1,38
Tos seca			
Malnutrición	0,004	2	1,26-3,37
Familiar que convive con el niño tiene contacto con tóxicos	0,01	1,5	1,07-2,15
Humedad en la vivienda	0,00	2	1,57-2,57
Tráfico pesado cerca de la vivienda	0,01	1,3	1,06-1,66

Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM. 2019

Niños de 5 a 14 años:

En los niños de 5 a 14 el análisis multivariado identificó (por los valores OR) que la probabilidad de presentar *tos seca* es mayor cuando el niño tiene o tuvo malnutrición, humedad en la habitación y construcciones cerca. Por su parte, el niño que vive cerca de construcciones y además se encuentra expuesto a humo de tabaco (tabaquismo pasivo) aumenta la probabilidad de *despertar por tos* (Tabla 13-4).

Tabla 13-4. Factores relacionados con la presencia de tos en los niños de 5 a 14 años

Niños de 5 a 14 años			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Tos seca			
Malnutrición	0,003	2,2	1,30-3,8
Humedad en la habitación	0,02	1,3	1,03-1,84
Construcciones cerca de la vivienda	0,01	1,5	1,09-2,2
Tráfico pesado cerca de la vivienda	0,01	1,3	1,06-1,66
Despertar por tos			
Construcciones cerca de la vivienda	0,01	1,5	1,07-2,2

Tabaquismo pasivo	0,007	1,7	1,15-2,51

Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM. 2019

Mayores de 60 años

En esta población se aplicó análisis bivariado donde se presentó relación estadística entre *sibilancias el último mes* y contacto con fumadores en el presente (tabaquismo pasivo) con una RP (Razón de prevalencias) de 1,6 (IC 95 % 1,2- 2,0), es decir que la prevalencia de este síntoma es 1,6 veces mayor en los fumadores pasivos con respecto a los no expuestos a humo de tabaco.
De los resultados anteriores se puede concluir que en los niños menores de 5 años las condiciones intramurales presentaron relación estadística, es decir que existe mayor probabilidad de presentar los síntomas cuando hay factores de riesgo intramurales y puede corresponder con el tiempo que el niño se encuentra en su vivienda.

En los mayores de 5 a 14 años las condiciones intra y extramurales presentaron relación estadística y se incluyó la exposición a humo de tabaco, resultados que se pueden relacionar con la dinámica de los niños de mayor edad (desplazamiento a la institución educativa, relaciones sociales, entre otras).

13.4. VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaria Distrital de Salud desde la línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética realiza el análisis y seguimiento el Índice Bogotano de Calidad del Aire -IBOCA a partir de los reportes dados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB y su relación con los valores Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – GCA OMS.

13.4.1. Material Particulado PM_{10} En Bogotá 2019

Para el año 2019 la RMCAB reporto un total de 101.042 datos válidos de material particulado PM_{10}, reportados en 12 estaciones las cuales fueron: Guaymaral, Usaquén, Suba, Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias, Carvajal – Sevillana, Kennedy, Fontibón, Puente Aranda, Tunal, San Cristóbal y Min. Ambiente; las estaciones que mayor representatividad de datos reportados de PM_{10} fueron Fontibón 99,2%(n=8.694), Tunal 98,4% (8.623), Kennedy 98,3%(n=8.609) y Guaymaral 98,2%(n=8604).

Se realizó análisis estadístico de los datos de PM_{10} reportados en las estaciones, evaluando la cobertura temporal de la información, correspondiente a los datos analizados para el cálculo de la media móvil de 24 horas (promedio diario) para cada estación los 365 días del año, que debe ser mayor de 75% para asegurar la representatividad del manejo estadístico.

A partir de este análisis se determinó que en la ciudad se presentaron 733 excedencias teniendo como referencia la guía Organización Mundial de la Salud, la cual sugiere concentraciones de 50 $\mu g/m^3$ representando un 17,4% respecto al total de días analizados con los datos reportados en el año (n=4.206); las estaciones que mayor porcentaje de excedencias presentaron respecto al total

reportadas en los datos de la RMCAB fueron Carvajal 51% (n=183), Kennedy 31,8% (n=114), Suba Corpas con 27,3% (n=98) y Puente Aranda con un 26,5% (n=95), como se muestra en la Figura 13-13.

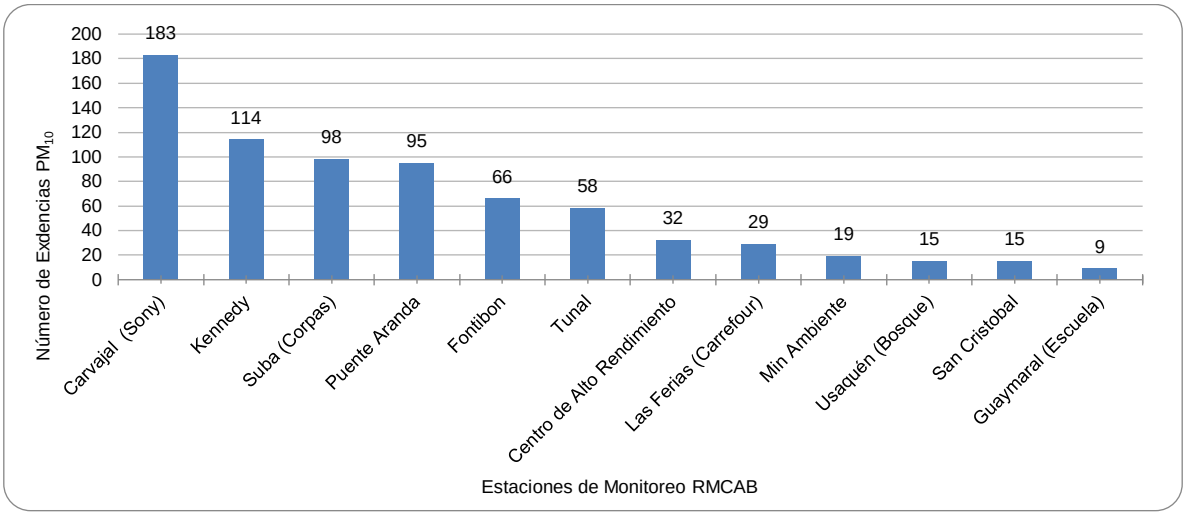


Figura 13-13. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM10 en Bogotá año 2019
Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, se realizó análisis estadístico de los datos de PM_{10} reportados en las estaciones contando con la temporalidad de la información y la representatividad para el manejo estadístico, correspondiente a los datos analizados para la determinación de la media móvil anual para cada estación los 365 días del año (promedio anual), como se observa en la Figura 13-14 en la ciudad se presenta excedencias en todas las estaciones con respecto a los niveles máximos establecidos en la Guía OMS anual de (20µg/m^3) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 (50µg/m^3), la estación de Carvajal supera los niveles máximos permitidos, las estaciones más próximas a la dar cumplimiento del valor guía son San Cristóbal, Guaymaral y Usaquén.

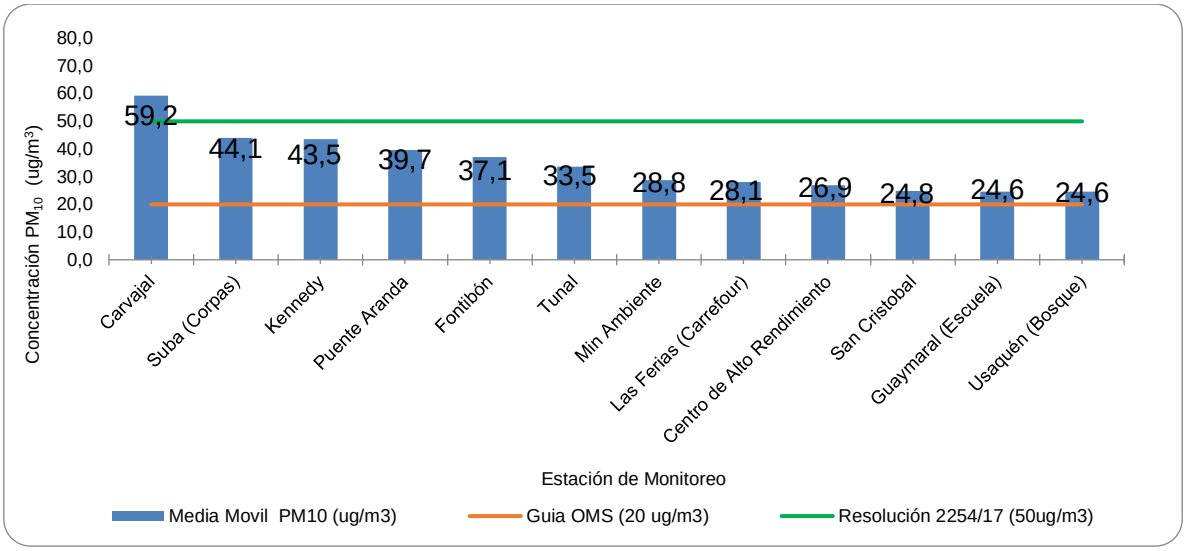


Figura 13-14. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2019

Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente

Continuando con el análisis a la exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM_{10}) en Bogotá, en donde como se observa en la Figura 13-15 de forma histórica se presenta un pico de excedencias; el primero en los meses de enero a marzo y un leve aumento en las concentraciones en octubre y noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. Es así que, en los 365 días del año, en el 2019 el 17% de los días se exceden la recomendación dada por la OMS de 20ug/m^3.

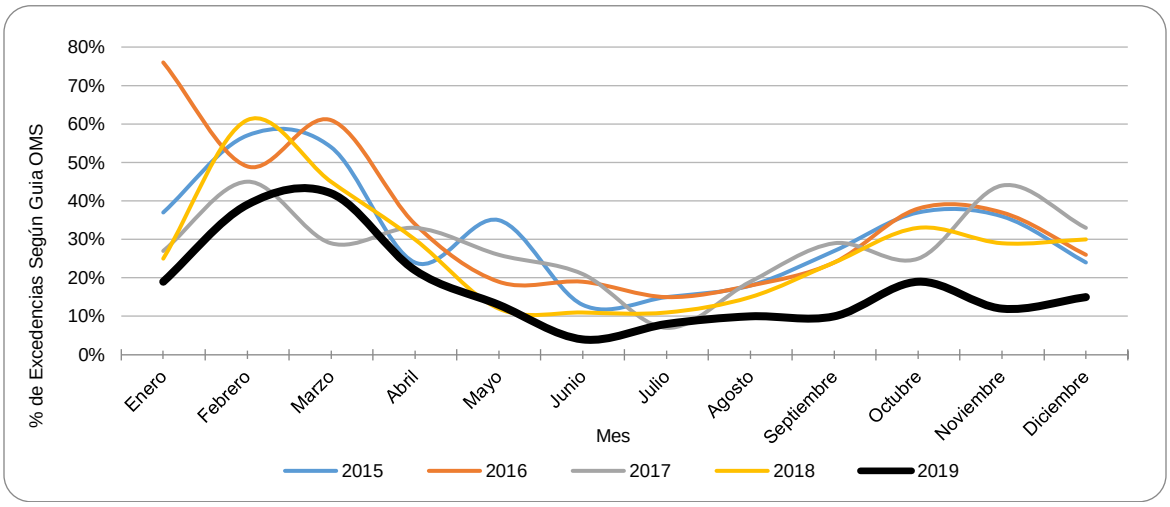


Figura 13-15. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2019

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Con respecto a la Figura 13-16 de material particulado PM $_{10}$, se resaltan los siguientes resultados: Las barras azules muestran cuál es el nivel de concentración de material particulado, año tras año, en Bogotá. La línea anaranjada representa la concentración mínima de material particulado que debería tener la ciudad según la OMS. El gráfico refleja que ese objetivo ha sido superado ampliamente. La línea azul representa un segundo objetivo que también ha sido superado por la ciudad. Frente al cumplimiento del objetivo 3 las concentraciones se encuentran cerca del valor recomendado de 30 ug/m^3 el cual viene mejorando respecto a años anteriores, al presentarse una leve tendencia a la reducción desde 2017 en adelante apuntándole al cumplimiento del objetivo intermedio 3, el cual se tiene como objetivo a 2030.

El ideal de la OMS es que la ciudad llegue a una concentración de 20 microgramos de material particulado PM $_{10}$ por metro cúbico de aire. En 2019, la concentración rondó los 35 microgramos.

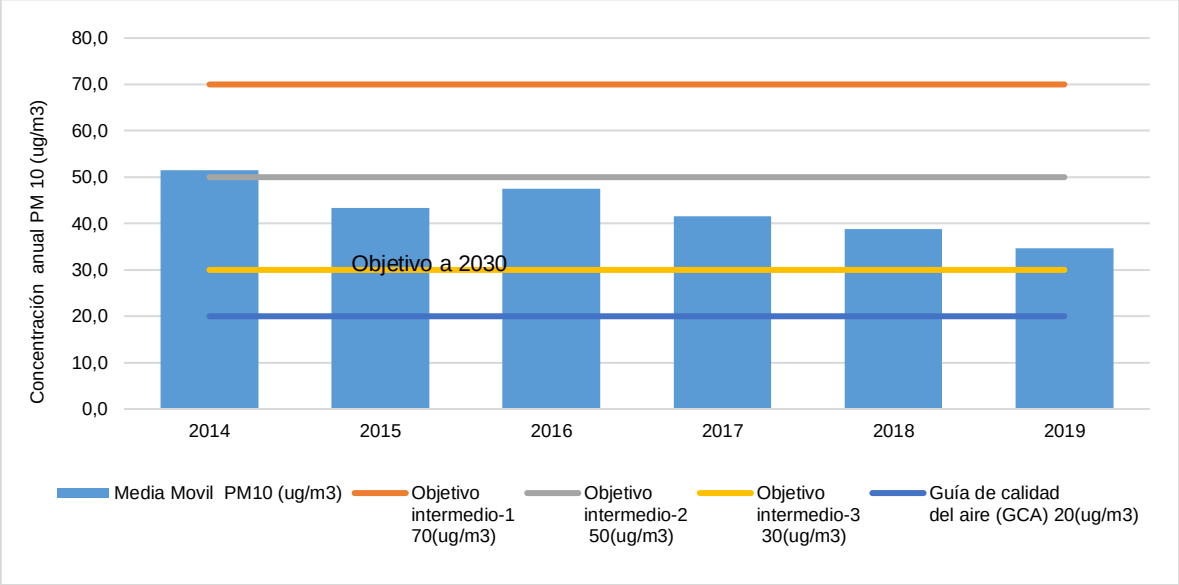


Figura 13-16. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2015-2019
Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente

13.4.2. Material Particulado PM$_{2.5}$ En Bogotá 2019

Por otra parte, para el material particulado PM$_{2.5}$ se reportaron en el distrito un total de 96.695 datos las estaciones que mayor representatividad de datos reportados fueron Kennedy con 97,9%(n=8.576), Usaquén 97,6(n=8575), Fontibón 97,7%(n=8559). A partir de la representatividad del manejo estadístico y el análisis para media móvil de 24 horas (promedio diario) se logró determinar que se presentaron 917 excedencias de los promedios diarios de PM$_{2.5}$ respecto a la guía OMS de 25µg/m^3 representando un 22,5% respecto al total de días analizados con los datos reportados en el año, las estaciones que mayor porcentaje de excedencias presentaron respecto al

total reportadas en los datos de la RMCAB fueron Carvajal 32,1% (n=294), Kennedy 18,4% (n=169), y Tunal con un 7,2% (n=66) como se muestra en la Figura 13-17.

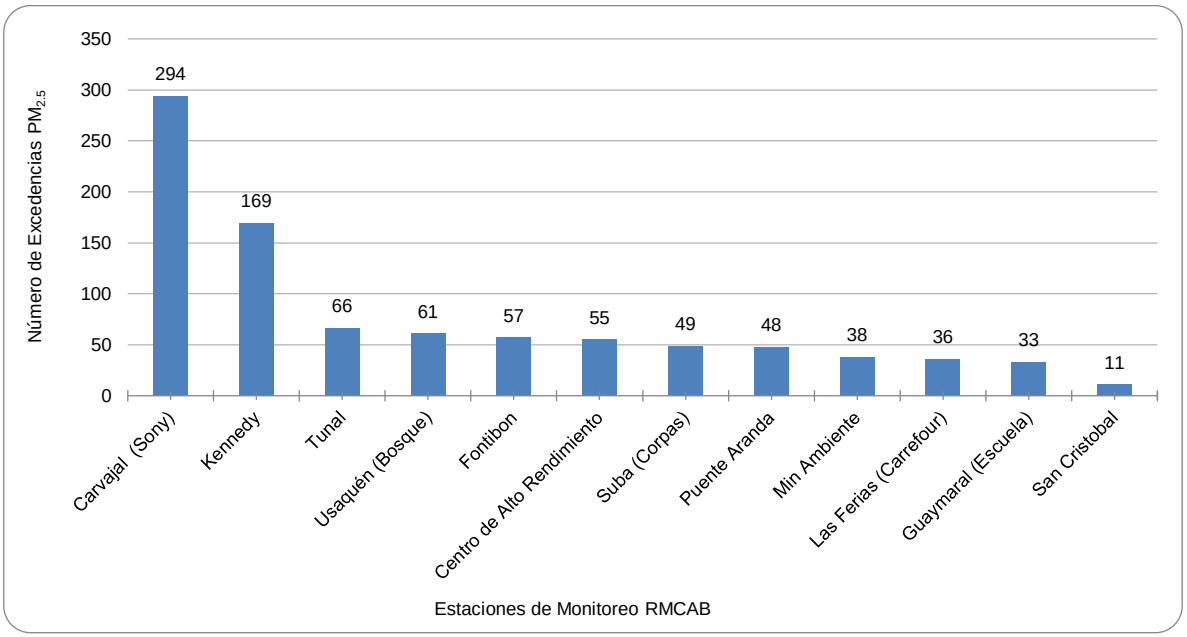


Figura 13-17. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá año 2019
Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.

De igual forma se realizó análisis estadístico de los datos de $PM_{2.5}$ reportados en las estaciones contando con la temporalidad de la información y la representatividad para el manejo estadístico, correspondiente a los datos analizados para la determinación de la media móvil anual para cada estación los 365 días del año (promedio anual), como se observa en la Figura 13-18 en la ciudad se presenta excedencias en todas las estaciones con respecto a los niveles máximos establecidos en la Guía OMS anual de ($10\mu g/m^3$) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 ($25\mu g/m^3$), de igual forma que con el PM_{10} la estación de Carvajal supera los niveles máximos establecidos y la estación de Kennedy reporta su concentración promedio muy cerca del valor dado por la norma, así la estación más cerca de cumplir con valor guía fue la estación San Cristóbal.

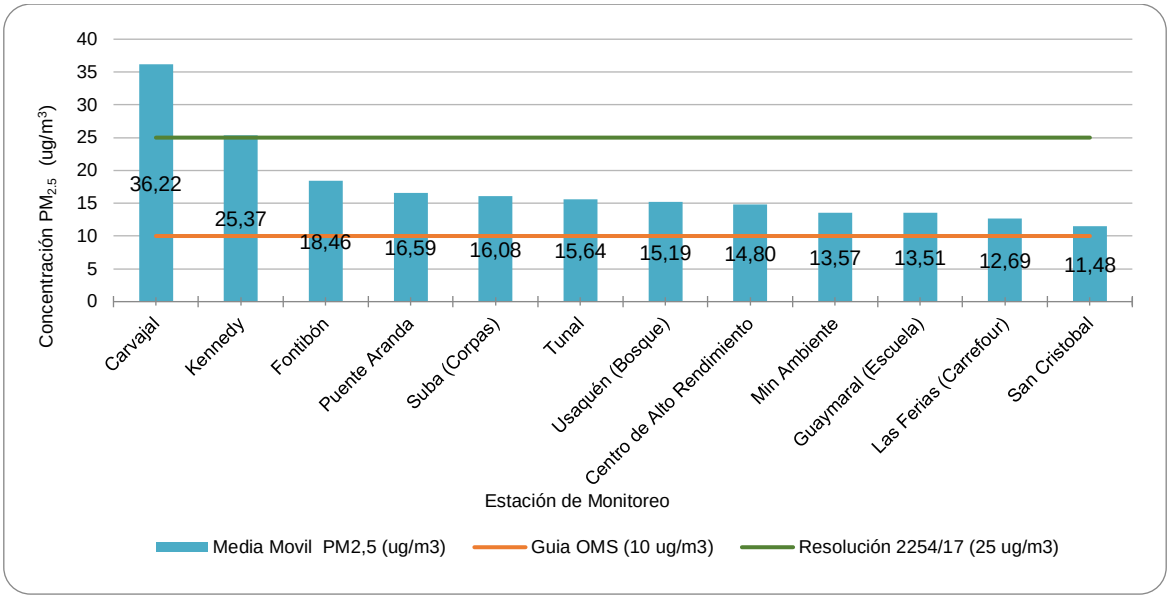


Figura 13-18. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM2.5 en Bogotá en el año 2019

Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente

Tomando como línea base los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, para el caso del material particulado $PM_{2.5}$ para el año 2019 se observa una reducción del porcentaje de excedencias entre octubre y diciembre, respecto a años anteriores, sin embargo, hace falta trabajar en la implementación de diferentes estrategias que permitan alcanzar el nivel de cumplimiento. (Figura 13-19)

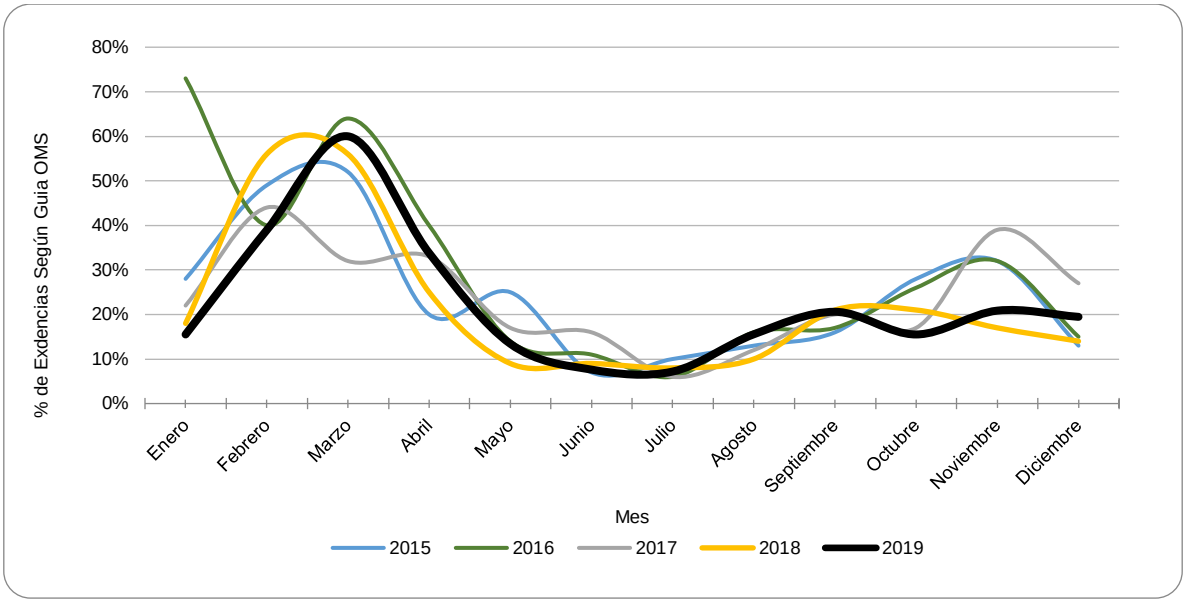


Figura 13-19. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2019

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente.

Con respecto a los niveles de concentración de material particulado PM $_{2,5}$, se observa una leve tendencia a la reducción de 2017 en adelante, lo que se refleja en un cumplimiento en la ciudad de los objetivos 1 y 2 ampliamente. En la actualidad, en Bogotá se trabaja para llegar al nivel de concentración ideal recomendado por la OMS, aunque falta aumentar los esfuerzos para cumplir con los objetivos 3 y GCA, se evidencia un aumento en el nivel de cumplimiento respecto al valor Guía de 10 ug/m^3 cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud; En 2019, se cerró con una concentración de alrededor de 17 microgramos. (Figura 13-20)

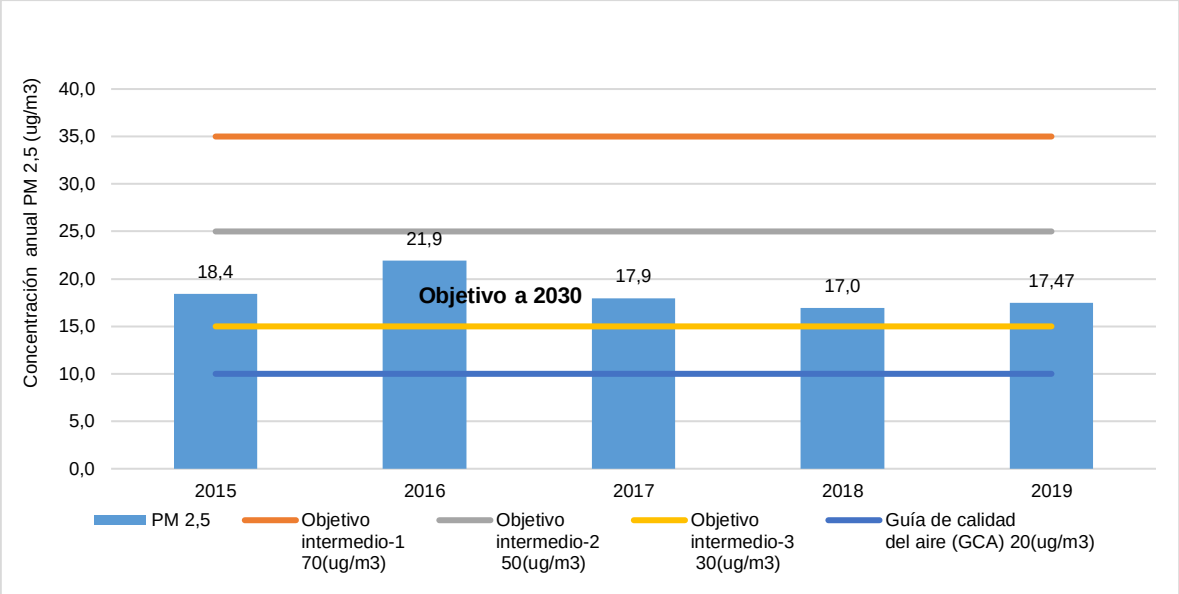


Figura 13-20. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2019

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente

13.5. VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta del reporte de las quejas notificadas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que posiblemente están afectando la salud de las personas; para el año 2019 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 49 quejas relacionadas con contaminación del aire por material particulado y 151 por contaminación generada por olores ofensivos y 26 por exposición a humo de tabaco para un total de 226 solicitudes realizadas por la comunidad. Las 226 quejas atendidas en el año 2019 equivalen a un aumento del 24,2% con respecto a las quejas atendidas en el año anterior. Ver Figura 13-21.

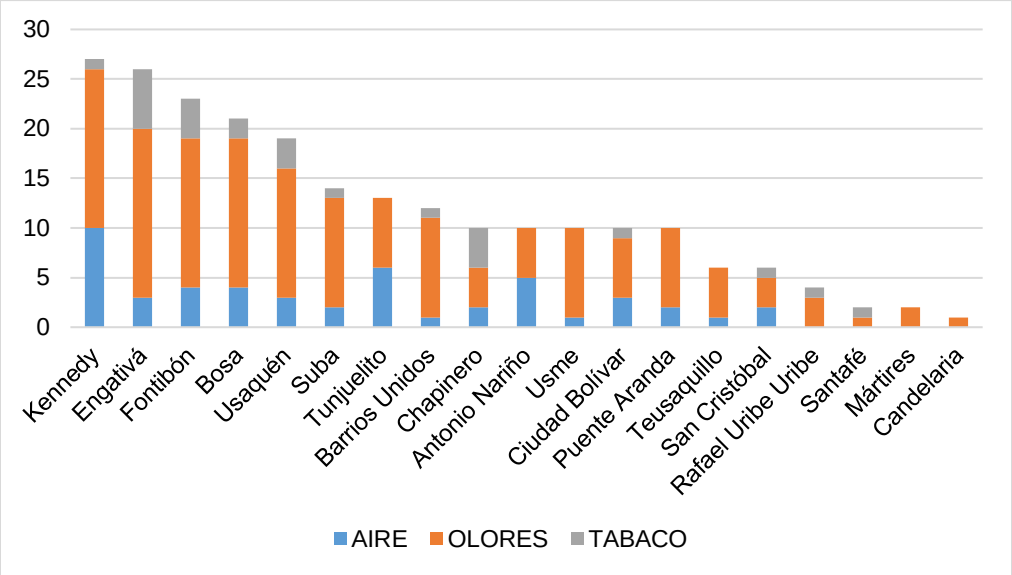


Figura 13-21. Quejas atendidas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco en Bogotá 2019.
Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2019

Las localidades donde se presentó la mayor frecuencia de reporte de quejas fueron: Kennedy con un 11,9% (n=27), Engativá con un 11,5% (n=26) y Fontibón con un 10,2% (n=23), Bosa 9% (n=21). De las 49 quejas atendidas y relacionadas con contaminación del aire por material particulado las localidades que más notificaron quejas en su orden fueron: Kennedy 20% (n=10), Tunjuelito 12% (n=6) y Antonio Nariño 10% (n=5) Ver Figura 13-22.

En el proceso de atención se encuestaron a 157 personas con edades entre los 18 a 86 años, quienes refirieron dentro de los motivos de queja que establecimientos con chimeneas, industrias de muebles, de textiles contaminación por vehículos en parqueaderos, obras de construcción, y fabricas entre otras, son las causantes y generadoras de emisiones atmosféricas (Polvo, humo, hollín), y que la principal fuente de contaminación identificada es de tipo fija en 82%(40/49), un 16% (8/49) área fuente y 2% (1/49) fuentes móviles.

De las personas encuestadas 72% (113 /157) percibe la contaminación y de estos, lo percibe en forma de humo el 59,3% (67/113), en forma de polvo el 51,3% (58/113), el 8,8% (10/113) en vapores y el 8% (9/113) en forma de gas. En cuanto al tiempo de percepción de la contaminación del aire o la problemática objeto de la queja, un 13% (15/113) lo considero mayor a 10 años, un 11%(13/113) considero mayor a un año y 24%(28/113) lo percibe entre 1 y 7 meses, de igual manera el 74%(84/113) percibe la contaminación en horario diurno, adicionalmente el 28%(32/113) de las personas comentaron percibir otra fuente de contaminación tales como empresas de químicos, residuos sólidos domiciliarios o quema de llantas.

Respecto la percepción de salud en las personas encuestadas en la atención de las quejas, se tiene que al 57% (89/157) le han diagnosticado alguna enfermedad respiratoria o cardiovascular y el 93% (146/157) considera que ha afectado su estado de salud a casusa de la contaminación del aire. En cuanto a los síntomas percibidos producto de la contaminación del aire, el 38,1% (43/113) manifestó

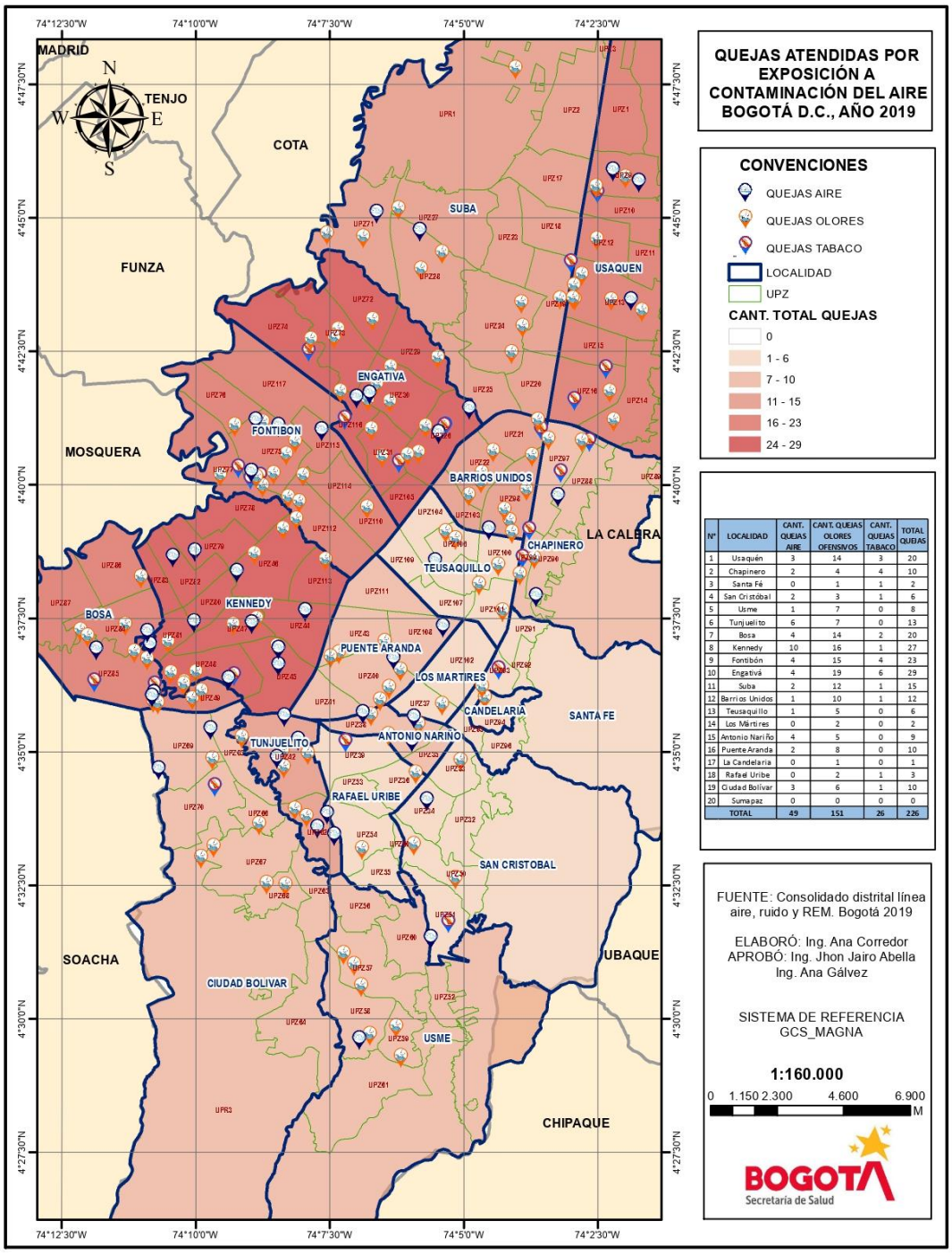
sentir garganta irritada, el 34,5% (39/113) manifestó sentir irritación en ojos en mayor medida mientras que la fiebre en menor medida con un 4,4% (5/113).

Así mismo de las 151 solicitudes de quejas atendidas por contaminación generada por olores ofensivos, se encuestaron un total de 486 personas, de las cuales el 73%(355/486) manifestaron percibir olores ofensivos en el domicilio o en el lugar de la intervención; respecto al estado de salud, el 93%(330/355) de los encuestados considera que los olores ofensivos pueden afectarle su salud, dentro de los síntomas evaluados las personas manifestaron con mayor frecuencia en el estado de ánimo: estrés el 55% (195/355); Enojado 48% (172/355), Cansado 41% (146/355), dificultad respiratoria 38% (134/355), Flujo nasal 38%(132/355), irritación en la piel 13%(47/355), erupción en la piel 8%(30/355) entre otros síntomas.

Dentro de las acciones que realizan las personas para protegerse de los olores ofensivos se encuentra el encubrir el olor 33%(117/355), el uso de tapabocas con un 30% (105/355) o alejarse del lugar 10%(36/355); Respecto a las características del olor, las cuales están dadas por la fuente y teniendo en cuenta la metodología FIDO (Frecuencia, Intensidad, Duración y Ofensividad), se encontró que el 96% considera inaceptable el olor, el 49% considera que la intensidad del olor el fuerte y que un 57% se considera que los olores percibidos son muy ofensivos.

Con respecto a la atención a las quejas presentadas por exposición al humo de tabaco durante 2019 fueron atendidas 26 quejas, donde fueron encuestados 63 personas de las cuales el 63,5%(n=40/63) corresponden al sexo femenino, y el 36,5%(n=17/63) fueron hombres con edades entre los 20 a 80 años con un promedio de tiempo de residencia de 10 años y una permanencia diaria en la vivienda de 14 horas promedio, quienes refieren que las principales fuentes de contaminación por humo de tabaco identificadas son de tipo fija.

Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas, se encontró que 21%(n=13/63) manifiesta presentar alguna enfermedad por el humo de tabaco y considera que esta contaminación le ha afectado de alguna manera el estado de salud principalmente por el aumento en síntomas respiratorios como dolor de garganta, estrés, asfixia y aumento en la frecuencia de episodios de gripa, así mismo el 62% considera que la exposición a humo de tabaco le ha agravado de alguna manera la enfermedad diagnosticada, el 54% considera tener alguna percepción de humo de tabaco en el área de trabajo o residencia, el 27% considera que de alguna manera el humo de tabaco le ha generado alguna molestia, y el 21% le han diagnosticado alguna enfermedad como rinitis, asma, enfermedad cardiovascular o neumonía.



N°	LOCALIDAD	CANT. QUEJAS AIRE	CANT. QUEJAS OLORES OFENSIVOS	CANT. QUEJAS TABACO	TOTAL QUEJAS
1	Usaquén	3	14	3	20
2	Chapinero	2	4	4	10
3	Santa Fé	0	1	1	2
4	San Cristóbal	2	3	1	6
5	Usme	1	7	0	8
6	Tunjuelito	6	7	0	13
7	Bosa	4	14	2	20
8	Kennedy	10	16	1	27
9	Fontibón	4	15	4	23
10	Engativá	4	19	6	29
11	Suba	2	12	1	15
12	Barrios Unidos	1	10	1	12
13	Teusaquillo	1	5	0	6
14	Los Mártires	0	2	0	2
15	Antonio Nariño	4	5	0	9
16	Puente Aranda	2	8	0	10
17	La Candelaria	0	1	0	1
18	Rafael Uribe	0	2	1	3
19	Ciudad Bolívar	3	6	1	10
20	Sumapaz	0	0	0	0
	TOTAL	49	151	26	226

Figura 13-22. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en Bogotá, 2019
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

13.5.1. ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION

Promoción de Entornos Ambientalmente Saludables

La promoción de Entornos Saludables busca proveer herramientas a la comunidad para la disminución de la exposición a la contaminación del aire, así como concientizar sobre los posibles efectos en la salud.
Es así, que se desarrollan actividades de comunicación, educación e información de la siguiente manera:

- Acciones informativas desde la vigilancia del riesgo frente a la exposición a contaminación del aire a nivel intramuros (disminución de intoxicaciones por monóxido de carbono y del consumo de tabaco) y extramural, control de niveles de ruido, disminución a la exposición a radiaciones electromagnéticas, que van encaminadas al cambio de comportamiento, actitudes y prácticas de la comunidad y cuidados en salud; Es así que para dar alcance a estas necesidades en el 2019 se abordaron 9.093 personas en intervenciones de movilización social, en 97 talleres y 2 jornadas de profundización en la temática de calidad de aire, 13 talleres y 1 jornada en olores ofensivos y 48 talleres y 1 jornada de conmemoración del día mundial sin tabaco.
- Celebración de fechas ambientales relacionadas con calidad del aire:

Jornada del Día sin carro y sin moto



Para este año, el mensaje de divulgación para la Jornada del Día sin carro y sin moto fue Bogotá, capital mundial de la Bici, y desde la Línea de Aire, Ruido y REM la Jornada de Profundización contribuyó con acciones de divulgación, promoción y sensibilización en lo que respecta a los beneficios en salud que trae consigo un ambiente atmosférico menos contaminado y con menos ruido, además de motivar a la actividad física.

Es así que, se instalaron en 11 localidades puntos de valoración de condiciones de riesgos cardiovascular y juegotecas en las que se desarrollaron actividades lúdico-pedagógicas, presentando al IBOCA como herramienta de consulta de la calidad del aire abordando a 836 personas. Se aplicó un Test de percepción de la jornada a un total de 774 ciudadanos, y los resultados indicaron una percepción positiva de disminución del ruido (88%) y de la calidad del aire

(70%) y se incrementó el uso de la bicicleta un 21% con respecto a un día cotidiano y la opción de caminar en un 19% (Figura 13-23).



Figura 13-23. Jornada Día sin carro y moto 2019

Fuente: Portal El Dorado AC 26 TV 93 - Localidad Fontibón, línea Aire, Ruido y REM – Jornada Distrital Día sin Carro, Febrero 7 de 2019, Subred Sur Occidente

- ***Jornada Día Mundial sin Tabaco***



Siguiendo la iniciativa de la Organización de Naciones Unidas ONU, la Organización Mundial de la Salud (OMS) desde el año 1987 celebra el Día Mundial sin Tabaco, con el fin de reducir el consumo de tabaco y con ello las muertes ocasionadas por este; Adherida a los compromisos del **Convenio Marco de la OMS para el Control del Tabaco (CMCT)**, la Secretaria Distrital de Salud (SDS) viene desarrollando dentro de la estrategia **"Bogotá Vital, es salud urbana**" su acción prioritaria **"¿Qué aspiras para tu futuro?"** que aplica directamente al consumo de tabaco. Por otra parte, la Línea de Aire, componente de la Vigilancia de Salud Ambiental de SDS; históricamente se ha encargado de liderar, gestionar y desarrollar la conmemoración del Día Mundial sin Tabaco en el Distrito, a través de una Jornada de Profundización en la temática en mayo de 2019, en un trabajo mancomunado entre Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud y la Secretaria

Distrital de Salud y otras instituciones distritales como el Instituto Distrital para la Protección de la Niñez y la Juventud (IDIPRON), Defensoría del Espacio Público, Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte (IDRD), se llevó a cabo el domingo 26 de mayo de 2019, la caminata desde el parque Nacional hasta el parque El Virrey a la cual se le denominó como "10.000 pasos" para el Día Mundial Sin Tabaco (Figura 13-24).

La Jornada de Profundización del Día Mundial sin Tabaco contó con la participación de 622 ciudadanos inscritos previamente en la actividad a través de la inscripción en el link: http://cort.as/-IIt o el día del evento en las carpas ubicadas en el Parque Nacional. Entre los participantes se cuentan funcionarios de la Secretaria de Salud representantes de los espacios de Vivienda, Escolar, Publico y Laboral, las Líneas de la Vigilancia de salud ambiental, representantes del Ministerio de Protección Social y representantes de la Alcaldía Mayor de Bogotá. Se contó con recursos publicitarios e informativos de la estrategia **"Bogotá Vital, es salud urbana**", así mismo el día del evento se entregaron 2.500 manillas con mensaje alusivo, material informativo 500 camisetas con el logo alusivo del Día Mundial sin Tabaco y 500 medallas como incentivo a quienes finalizaron el reto de los 1000 pasos.



Figura 13-24. Jornada de Profundización del Día Mundial sin Tabaco, Caminata Menos Cigarrillos Más Pasos
Fuente: Subdirección Salud Publica, Vigilancia epidemiológica Aire Ruido REM, mayo 2019.

- ***Jornada Semana Ambiental***



La Jornada de la Semana Ambiental se desarrolló en la ciudad de Bogotá en el mes de junio de 2019, se contó con la participación de un total de 1869 personas de las cuales el 46,4% pertenecen al sexo femenino, la población que mayor participación en la jornada fueron los menores de 14 a 17 años, se encuesto al 97,7% de estas personas, quienes refirieron que el 50,4% se moviliza caminando, otro 10,5% lo hace en bicicleta, el 69,2% de ellos apaga las luces como ayuda para proteger el medio ambiente y 517 de estas personas se comprometieron a plantar árboles y sembrar plantas como aporte a su cuidado, dado esto se realizaron acciones de participación en 15 instituciones educativas; también se realizaron actividades en 3 terminales portuarios (Figura 13-25).

Si bien la población en general asocia muchos aspectos del entorno que pueden generan afectación a la salud por la contaminación atmosférica, como lo respondieron 987 encuestados; la Semana Ambiental es la oportunidad para dar a conocer estrategias y metodologías pedagógicas que permitan posicionar, sensibilizar y enfocar adecuadamente el tema de calidad del aire por parte del equipo técnico de la línea en las Subredes Integradas de Servicios de Salud a la población en general.



Figura 13-25. Jornada Semana Ambiental en las Localidades de Antonio Nariño, La candelaria, mártires, Rafael Uribe, San Cristóbal y Santa Fe, junio 2019.

Fuente: Subredes Centro Oriente, Línea Aire, Ruido y REM, Jornada Semana Ambiental, junio 2019.

- ***Jornada Olores Ofensivos***



Los olores ofensivos pueden ser generados a nivel intramural o extramural (ambiental), por ende, es necesario identificar la(s) fuente(s) de donde provienen y tener presente recomendaciones para el cuidado de la salud. La línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética desde el año 2013 ha realizado diferentes intervenciones relacionadas con olores ofensivos como son: atención a quejas habitacionales e institucionales, comunicaciones sociales de riesgo, monitoreos intramurales de gases odoríferos y atención de emergencias por este tipo de contaminación.

La actividad fue llevada a cabo durante el mes de septiembre de 2019, en la que se contó con la participación de 17 Colegios y 2 Instituciones de educación superior donde participaron 1960 personas, de las cuales el 48% (932/1960) pertenecen al sexo femenino, con la mayor participación en el grupo de 14 a 17 años con 1182 jóvenes.

El equipo interdisciplinario en cada una de las Subredes de servicios de salud, realizó actividades y acciones lúdico-participativas con la finalidad de sensibilizar a la población, sobre el concepto y características de olor ofensivo, así mismo se aplicó un test de conocimiento sobre la temática, finalmente se socializaron medidas de prevención y recomendaciones para reducir las molestias asociadas a las fuentes de olores ofensivos así como las acciones realizadas en dicha temática y la ruta de atención de quejas y peticiones, dentro de las disposiciones normativas vigentes y las competencias institucionales.

13.5.2. Acciones de Información y Comunicación en Salud Ambiental en los espacios de vida cotidiana

Por medio de los diferentes espacios de vida (Educativo, Publico, vivienda y laboral) se desarrollan acciones informativas de la relación entre calidad del aire y Salud. Para el año 2019 se abordaron 9.200 personas en todas las localidades de la ciudad de Bogotá; así mismo, en el marco de las acciones de valoración de condiciones de riesgo cardiovascular de la estrategia Cuídate Se Feliz, se socializa las recomendaciones en salud de acuerdo al índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA) y para el año 2019 se logró abordar a 204.444 personas en el Espacio Público (Figura 13-26)



Figura 13-26. Socialización de recomendaciones IBOCA
Fuente: Subredes Centro Oriente, Línea Aire, Ruido y REM, Jornada Semana Ambiental, 2019.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baeza, M.T. (Julio 2018) Entendiendo el origen y evolución del monóxido de carbono en el aire que respiramos. Revista Técnica de Medio Ambiente. España. Recuperado de: https://www.retema.es/articulo/entendiendo-el-origen-y-evolucion-del-monoxido-de-carbono-en-el-aire-que-respiramos-1AF4C

Chinchilla Araya, Tamara y Durán Monge, María del Pilar. Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Revista Medicina Legal de Costa Rica. Vol 36 (2). Setiembre de 2019. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000200068

Consejo Nacional de Política Económica y Social. República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación Documento Conpes 3550 de 2008. Consultado el día 27 de abril de 2020. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Evaluaci%C3%B3n_Ambiental_Estrategica/documento_conpes.pdf

FOPAE. (2001). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Rio Tunjuelito. Bogotá D.C.

Foro de las sociedades respiratorias internacionales. El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. Segunda edición. Consultado el día 2 de mayo de 2020. Disponible en: https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf

Gobernación de Boyacá. Informe del comportamiento de la infección respiratoria aguda 2019. Consultado el día 2 de mayo de 2020. Disponible en: https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/informes

Instituto Nacional de Salud. Boletín epidemiológico semanal: Infección Respiratoria Aguda. Consultado el día 27 de abril de 2020. Disponible en: https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/BoletinEpidemiologico/2019_Boletin_epidemiologico_semana_40.pdf

Instituto Nacional de Cancerología. Hoja informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. Consultado el día 29 de abril de 2020. Disponible en: https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202019.pdf

I. Fernández-Álvarez, M. Pérez-Ríos y A. Montes Asociación entre determinantes socioeconómicos y exposición Alabama humo ambiental del tabaco en niños. Gac Sanit 2019. Disponible en: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S021391111930038X

Ministerio de Salud y protección social. Plan decenal de Salud Pública. Dimensión de Salud Ambiental. Consultado el día 02 de mayo de 2020. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.

Montoya, G. d., & Eslava, J. (2000). Análisis de las condiciones que favorecen el desarrollo de la actividad convectiva de las tormentas eléctricas en la Sabana de Bogotá. Geofísica Colombiana, 25.

N. Soldevila Bacardita, E. Vinyoles Bargallóa, J. Agudo Ugenaay L. Camps Vila. Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. 2018. Vol. 35 (4). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324752458

OMM. (2010). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (Vols. OMM-No 8). Ginebra, Suiza: OMM.

Organización Mundial de la Salud. Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud. Consultado el día 27 de abril de 2020. Disponible en: https://www.who.int/es/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is destroying-our-health

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. Guía de promoción atención en enfermedad respiratoria aguda (ERA) 2019. Consultado el día 02 de mayo de 2020. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Guia%20de%20Atenci%C3%B3n%20ERA.pdf

Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). (Septiembre 2018). U.S. Environmental Protection Agency. United States of América. Recuperado de https://www3.epa.gov/airnow/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf

15.ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

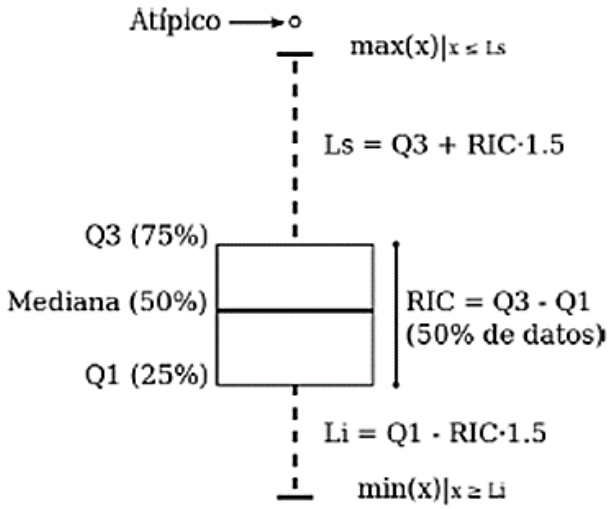


Figura 15-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu g/m^3$, respectivamente:

Tabla 15-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m³ y µg/m³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1144,9	ppm a µg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{M * P}{\overline{R} * T} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{R}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{Pa.m^3}{mol.K}$
T: temperatura absoluta [K]

C. Promedios mensuales de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 para el año 2019

Tabla 15-2. Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación de monitoreo. Año 2019

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	65	29	37	24	44	32	32	-	41	27	51	33	32
Feb	-	47	53	37	60	45	39	61	59	37	61	45	42
Mar	-	45	55	37	59	47	40	61	57	39	58	46	44
Abr	63	33	40	25	45	34	34	51	44	28	42	39	32
May	61	25	33	21	42	28	27	47	40	21	38	32	21
Jun	51	14	25	16	30	16	18	-	23	13	31	21	13
Jul	56	16	29	18	32	17	19	-	22	16	39	23	14
Ago	50	18	31	22	34	20	22	-	24	17	45	24	17
Sep	43	25	35	22	39	26	31	50	36	20	44	26	19
Oct	49	27	38	24	56	26	29	50	45	25	46	34	17
Nov	43	27	35	26	48	29	33	51	44	28	42	42	-
Dic	54	19	37	25	37	-	32	48	45	29	50	39	-

Tabla 15-3. Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo. Año 2019

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	29	15	14	14	25	13	14	-	18	13	17	16	15
Feb	49	26	22	23	35	20	21	38	25	18	26	25	24
Mar	52	28	25	25	37	28	25	40	27	21	29	28	27
Abr	38	19	24	15	28	19	18	30	20	14	18	20	18
May	34	13	18	10	23	12	13	23	18	9	11	15	12
Jun	30	7	13	7	16	8	7	-	12	-	8	8	8
Jul	30	8	14	8	18	8	7	-	12	5	10	8	9
Ago	34	10	16	12	20	-	10	-	-	-	15	11	10
Sep	34	12	18	11	24	10	11	20	-	-	14	12	12
Oct	38	14	20	11	26	12	12	23	-	-	14	15	10
Nov	33	15	19	13	26	14	14	27	-	-	16	17	14
Dic	35	14	20	14	27	16	13	25	15	8	16	15	12

Tabla 15-4. Concentraciones mensuales de O_3 por estación de monitoreo. Año 2019

Mes	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
Ene	15	29	22	27	25	27	25	16	N.R.	21	29	34
Feb	20	31	-	37	37	26	35	20	32	35	30	51
Mar	21	32	-.	42	41	41	37	22	29	41	30	53
Abr	18	30	41	35	33	34	42	20	25	34	22	36
May	10	18	18	17	19	21	23	10	22	18	12	17
Jun	11	19	15	15	16	18	15	10	17	17	13	19
Jul	-	26	18	19	20	23	16	13	22	21	17	31
Ago	16	33	26	26	30	30	37	20	20	28	20	41
Sep	-.	30	26	24	32	26	-.	19	23	23	21	25
Oct	17	24	23	20	28	21	21	14	23	18	-.	28
Nov	21	26	27	22	-	19	24	18	-.	-.	-.	30
Dic	17	25	22	21	34	17	-.	13	24	22	-.	-.

D. Boxplot por contaminante y por meses del año 2019

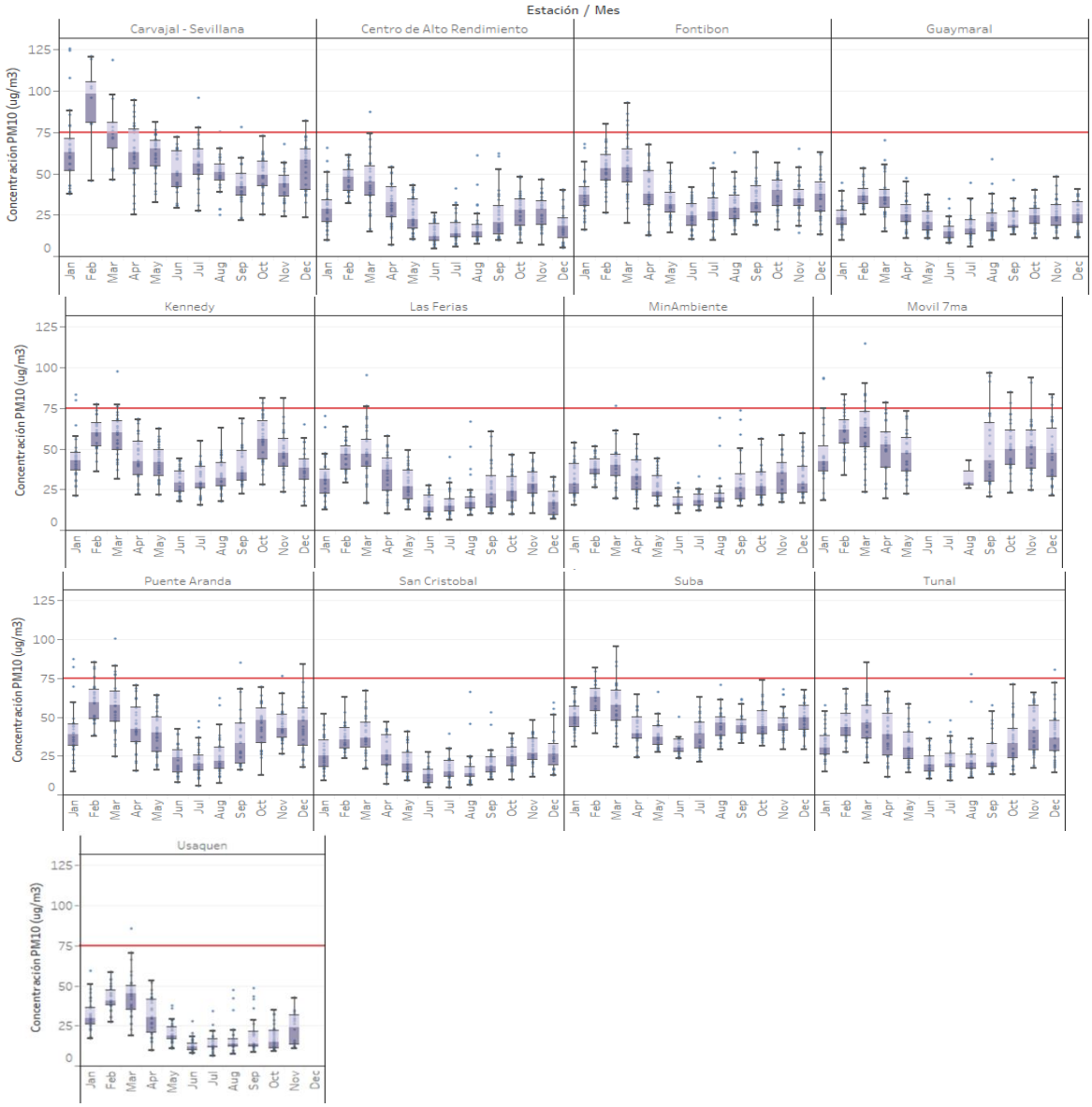
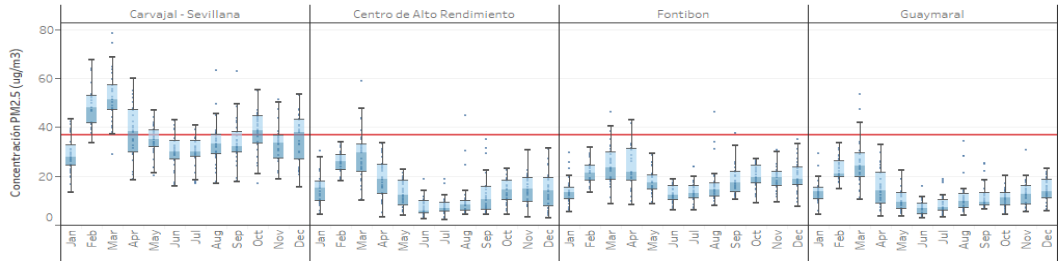


Figura 15-2. Boxplot de concentraciones diarias de PM_{10} por mes. Año 2019



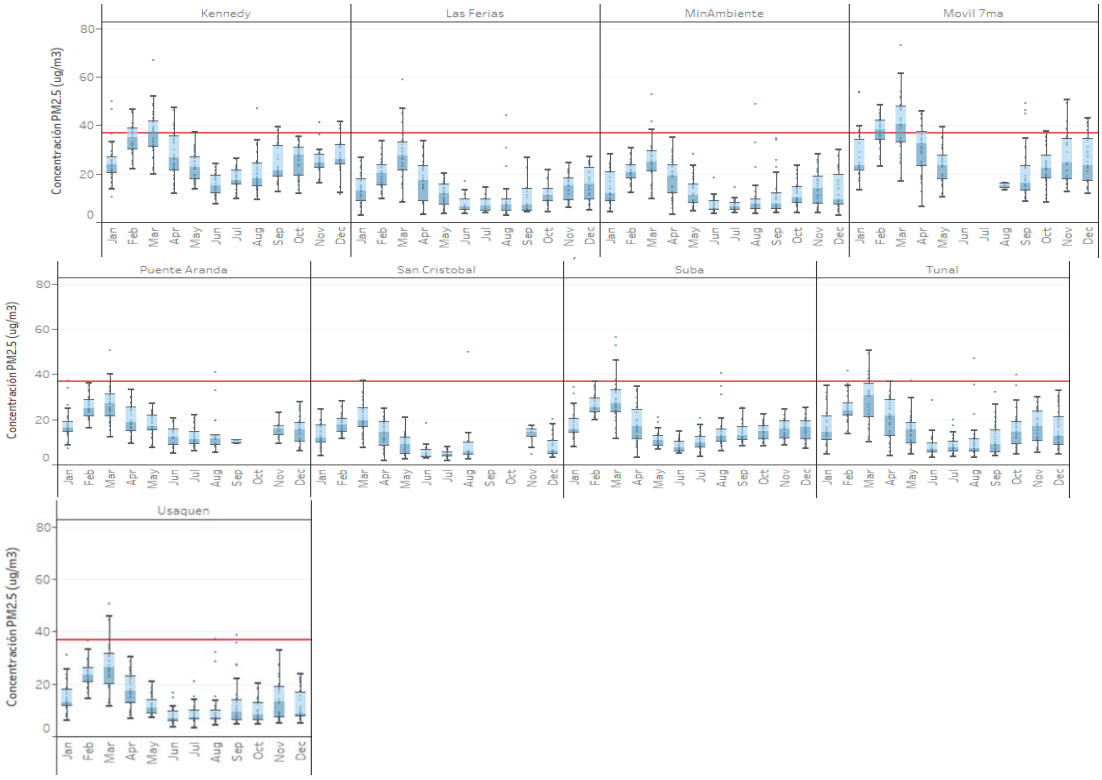


Figura 15-3. Boxplot de concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes. Año 2018



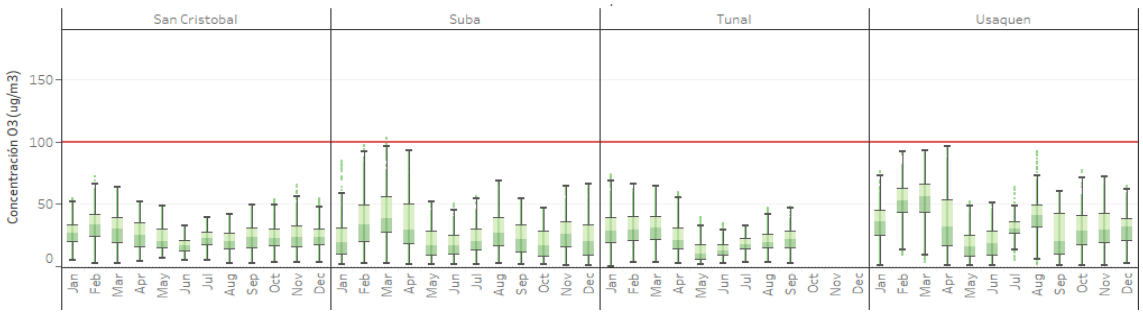


Figura 15-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O_3 por mes. Año 2019

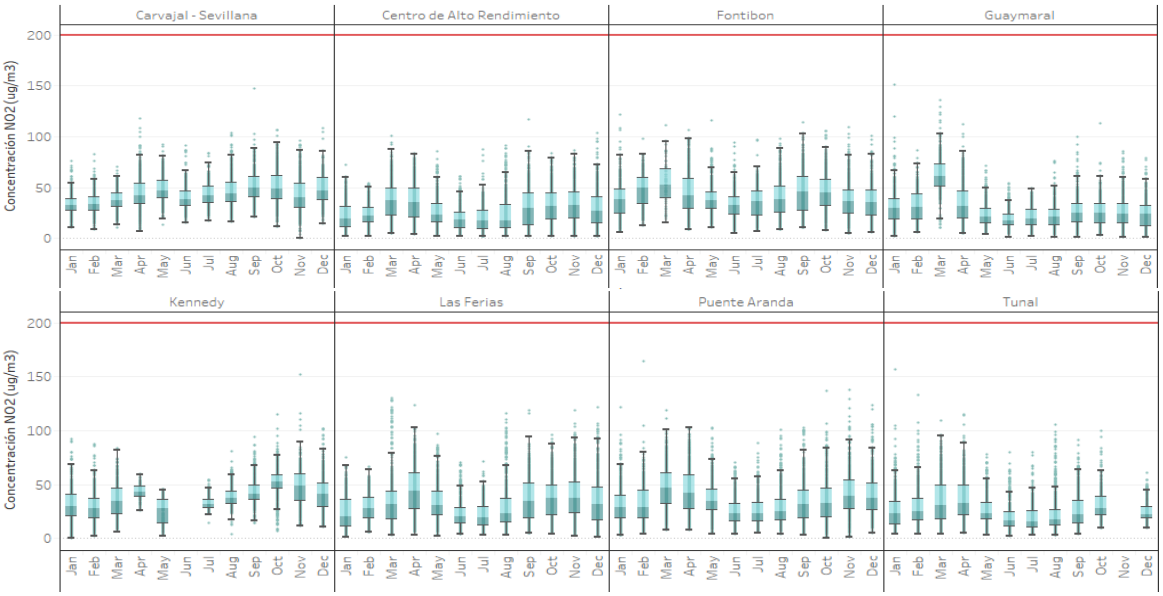
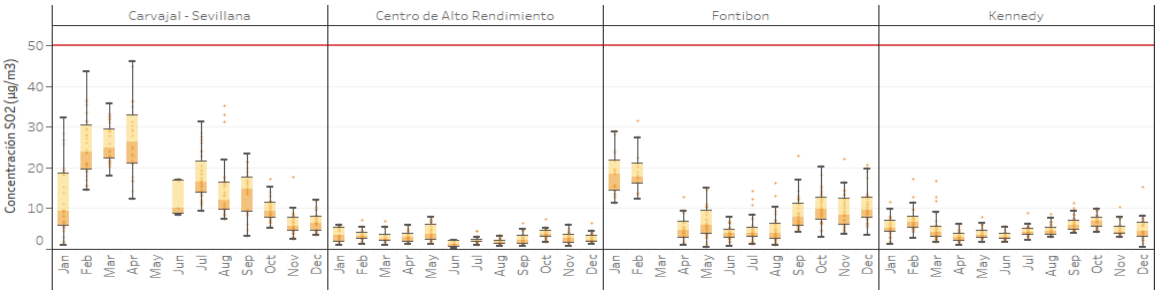


Figura 15-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO_2 por mes. Año 2018



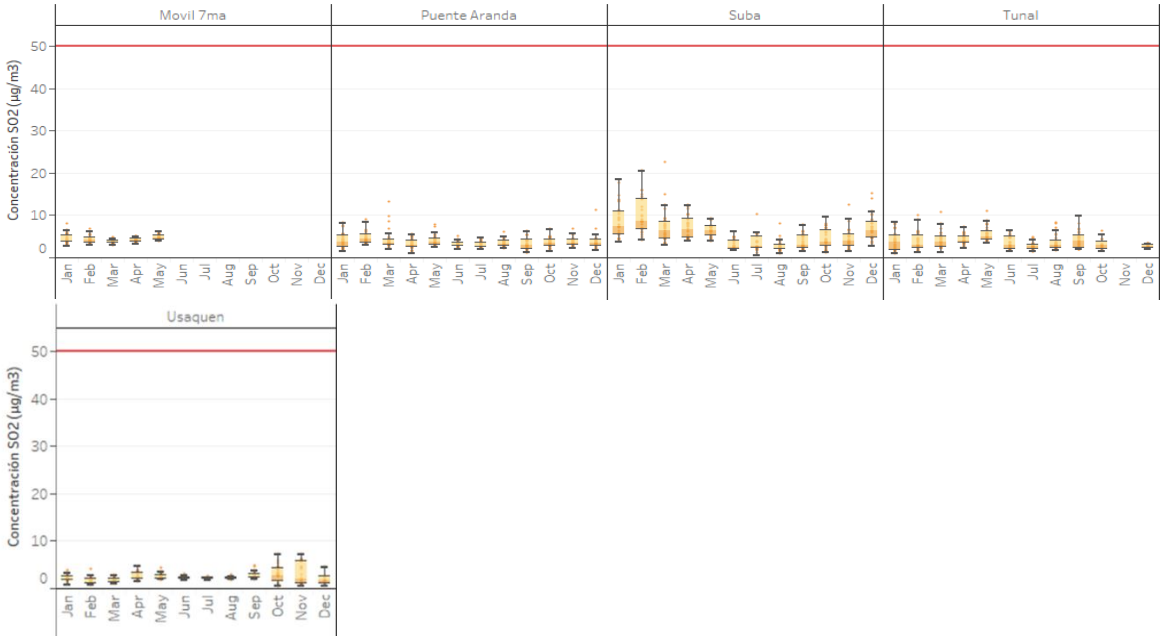


Figura 15-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO_2 por mes. Año 2019

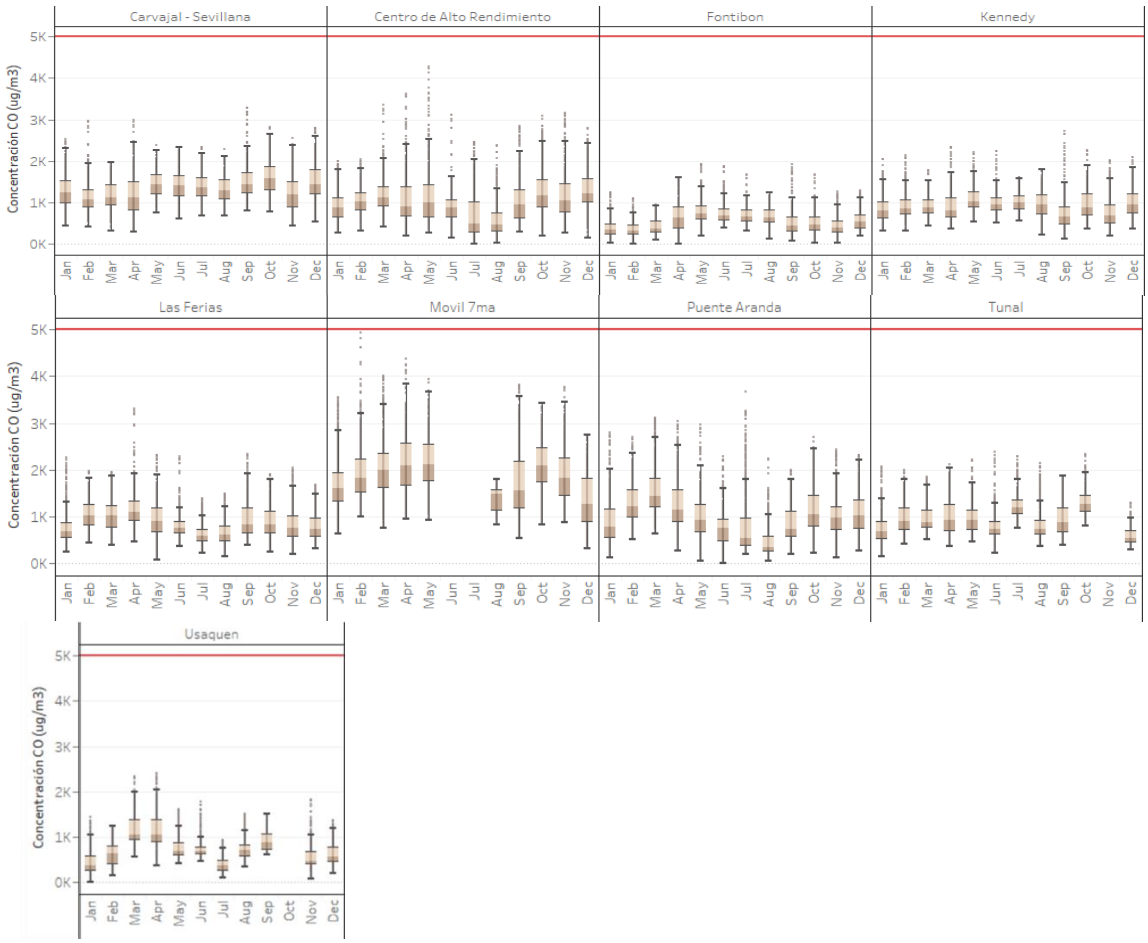


Figura 15-7. Boxplot de concentraciones 8 horas de CO por mes. Año 2019

E. Calendar plot del contaminante $PM_{2.5}$ para el año 2019

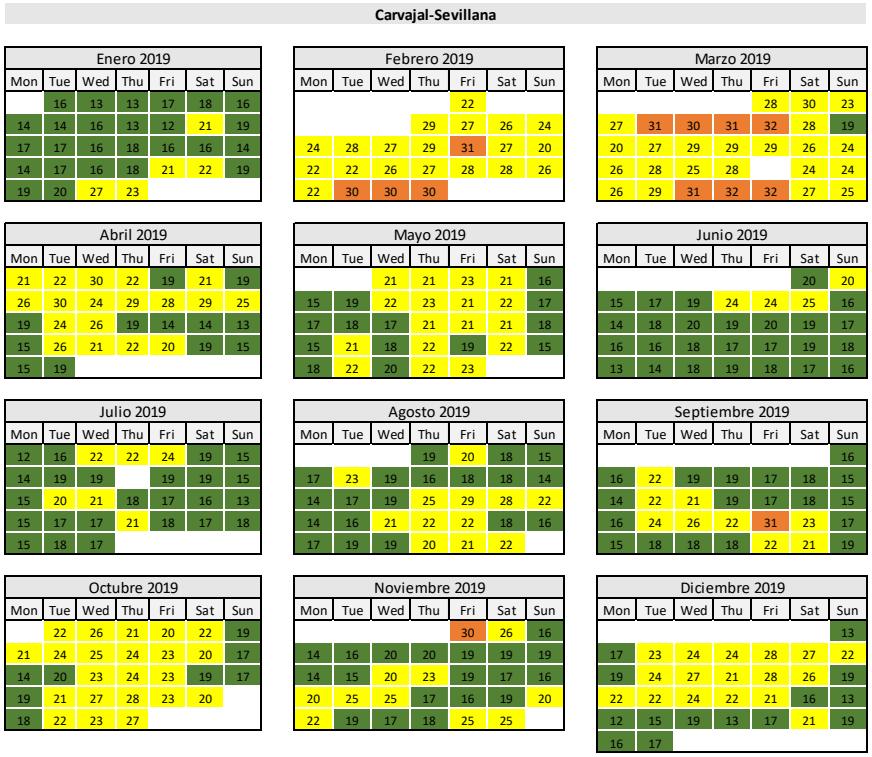


Figura 15-8. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Carvajal-Sevillana

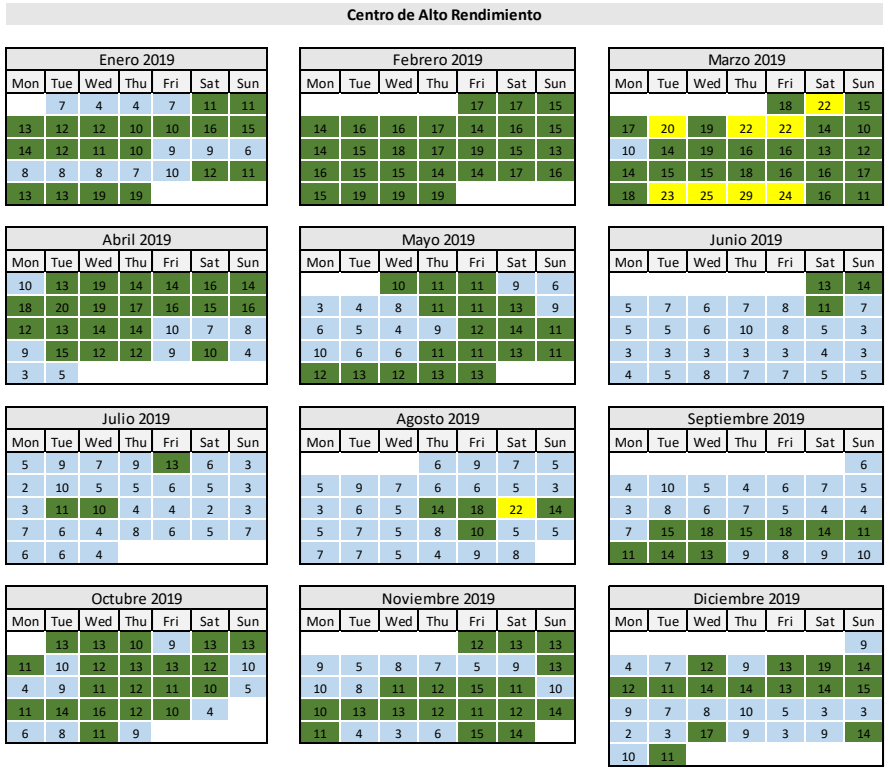


Figura 15-9. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Centro de Alto Rendimiento

Fontibón

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11	6	6	7	10	10
11	11	10	7	7	14	13
13	12	11	11	10	8	6
8	10	9	8	11	11	11
11	11	17	17			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				14	14	13
12	14	15	15	13	13	13
13	14	16	16	17	14	11
12	12	14	14	14	15	13
12	17	18	18			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	18	13
15	18	18	19	20	16	10
9	13	15	15	15	14	12
14	14	14	16	13	13	14
16	20	21	25	20	14	12

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
10		16			15	14
21	25	20	18	19	19	20
14	15	18	15	11	10	9
11	17	14	14	13	13	9
9	12					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		15	15	16	14	10
10	11	12	12	12	13	10
10	11	10	13	14	13	11
11	12	11	12	12	15	12
13	17	15	14	13		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					14	13
10	11	10	11	12	12	9
8	10	11	13	12	12	7
9	8	9	8	9	9	7
6	10	14	12	12	10	9

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
8	11	11	14	16	11	8
8	12	11	11	12	11	6
8	14	13	12	10	8	6
8	9	9	12	11	10	11
9	11	11				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			12	13	13	9
10	13	11	10	11	11	8
8	10	11	16	21	23	15
9	10	10	13	13	9	9
11	12	10	10	13	13	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						10
11	13	11	12	10	11	10
8	12	12	12	11	10	10
11	17	17	14	20	15	14
12	14	13	12	13	14	13

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	16	14	13	14	16	14
13	13	14	18	14	13	12
9	13	14	15	13	12	10
12	14	18	15	13	11	
11	13	15	14			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	15	13
10	9	13	13	13	12	13
14	11	14	14	15	13	12
11	13	13	11	12	14	15
14	11	12	12	17	15	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						10
10	13	16	16	16	21	15
16	16	15	14	15	16	14
13	13	12	14	12	11	8
8	10	17	11	10	13	14
12	12					

Figura 15-10. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Fontibón

Guaymaral

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	6	4	5		12	10
11	10	12	11	11	12	
10	10	11	11	11	10	6
7	9	8	9	10	10	10
12	12	16	15			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				15	15	15
13	15	13	14	13	14	13
13	16	19	17	18	15	12
15	13	13	13	14	16	15
13	17	17	16			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				15	17	13
15	17	17	19	20	15	11
9	13	15	13	16	11	12
14	14	15	15	13	15	17
17	22	24	28	22	14	12

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
10	11	12	9	11	13	14
18	19	16	14	14	16	16
11	12	12	11	7	5	6
7	11	11	9	6	6	4
5	7					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		13	13	14	10	7
4	5	7	8	8	11	6
4	4	6	8	7	7	6
6	7	5	8	8	10	8
10	10	11	11	9		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					9	10
4	6	4	6	7	6	3
3	5	5	7	6	9	4
3	4	4	4	3	4	3
3	6	10	11	8	7	5

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
4	5	8	11	14	7	4
4	6	4	5	6	7	3
4	9	10	6	5	4	3
4	5	8	12	10	7	10
5	9	6				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			8	9	7	6
7	12	10	6	5	9	5
4	6	6	14	18	19	12
7	7	7	10	10	6	5
8	9	5	6	14	12	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						7
5	11	9	6	6	7	7
6	10	7	7	6	5	7
7	13	15	13	15	12	9
7	11	10	6	9	11	10

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	8	11	9	8	10	10
9	10	9	11	12	9	8
6	9	10	11	9	8	4
9	12	12	9	5	4	
5	9	10	11			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				12	11	10
5	5	8	6	4	6	9
7	7	10	11	13	12	11
11	12	12	10	12	11	11
9	6	6	8	14	18	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						13
8	11	13	12	12	14	12
12	12	13	14	14	14	13
10	11	11	12	11	7	7
5	6	11	6	6	10	10
8	11					

Figura 15-11. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Guaymaral

Kennedy

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	15	9	11	13	16	15
15	16	16	13	13	20	18
16	15	13	15	14	14	12
14	15	12	12	14	16	15
19	17	26	27			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				22	21	18
18	23	24	20	19	18	19
21	22	21	22	26	21	16
19	15	18	18	20	21	19
15	22	23	22			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				22	24	17
21	23	22	26	27	21	15
14	17	21	20	22	19	16
19	19	18	22	18	19	19
23	27	26	30	27	20	17

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
14	14	22	16	15	17	17
23	27	22	20	21	22	19
15	18	22	17	12	11	10
12	20	17	16	14	15	11
11	14					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		18	19	19	17	14
11	12	13	14	14	16	13
12	13	11	14	15	17	15
13	15	12	15	14	17	14
14	16	17	17	16		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					15	16
11	13	12	13	14	14	11
10	12	13	13	13	13	9
9	10	11	9	9	9	9
7	10	14	12	11	11	11

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
8	12	14	15	17	14	11
11	14	12	12	14	14	10
10	15	15	12	10	9	9
11	12	12	15	13	12	12
10	13	12				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			15	17	15	12
12	15	12	12	12	13	9
10	11	11	17	22	22	16
10	13	14	15	14	11	11
11	11	11	12	17	16	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						13
13	17	14	13	14	12	11
11	16	15	14	12	12	12
15	21	20	17	24	16	15
12	18	16	14	17	19	16

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	19	20	14	14	18	17
16	17	18	18	17	16	13
10	15	18	19	16	14	12
15	17	20	17	13	12	
13	17	17	20			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				23	20	18
14	13	16	15	14	15	16
13	14	16	18	18	17	16
15	15	16	13	15	17	17
17	13	12	14	21	17	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						14
14	16	18	18	20	23	19
17	18	19	17	19	17	16
16	16	15	17	16	12	11
9	11	19	15	15	19	18
15	15					

Figura 15-12. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Kennedy

Las Ferias

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	5	3	3	5	9	11
11	12	13	10	11	14	14
13	12	12	9	9	7	4
7	8	7	6	7	12	10
12	12	16	16			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				14	14	12
11	13	13	12	12	12	11
11	13	15	14	15	12	9
13	12	11	12	13	15	15
14	18	19	19			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	21	15
17	20	20	22	22	14	9
8	13	17	15	17	13	12
14	14	15	17	15	16	17
17	23	24	29	23	15	11

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
8	13	17	14	13	15	13
17	20	18	17	16	15	15
12	13	12	11	10	6	7
8	13	12	12	7	5	3
3	4					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		9	10	10	8	5
3	5	8	11	10	12	11
	4	3	8	10	11	10
9	5	5	10	9	11	8
9	14	12	11	12		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					12	13
9		4	5	6	9	6
3	3	5	5			
		2		3		
		7	5	4	3	

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
4	6	5	8	11	6	
	7	7		4	3	
	10	8				
6			6	5	3	4
		4				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			5	8	7	3
5	8	6	5	3	3	
3	4	6	13	18	22	13
4	5	4	8	9	3	3
6	3	3	3	5	7	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						5
4	8	4	3	3	5	4
	5	4	5	4	4	4
6	13	17	14	15		
		11	8	8	8	11

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11	11	11	6	9	11
8	8	7	12	12	13	5
	11	8	8		8	
9	14	14		9	5	
5	6	9	7			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				11	12	13
7	4	9	5	7	8	12
10	10	12	14	16	12	9
9	11	12	12	11	12	13
9	6		6	12	14	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						13
		13	12	13	17	14
16	13	15	15	15	15	15
11	8	10	11	9	7	5
5	5	10	9	6	10	11
11	13					

Figura 15-13. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Las Ferias

MinAmbiente

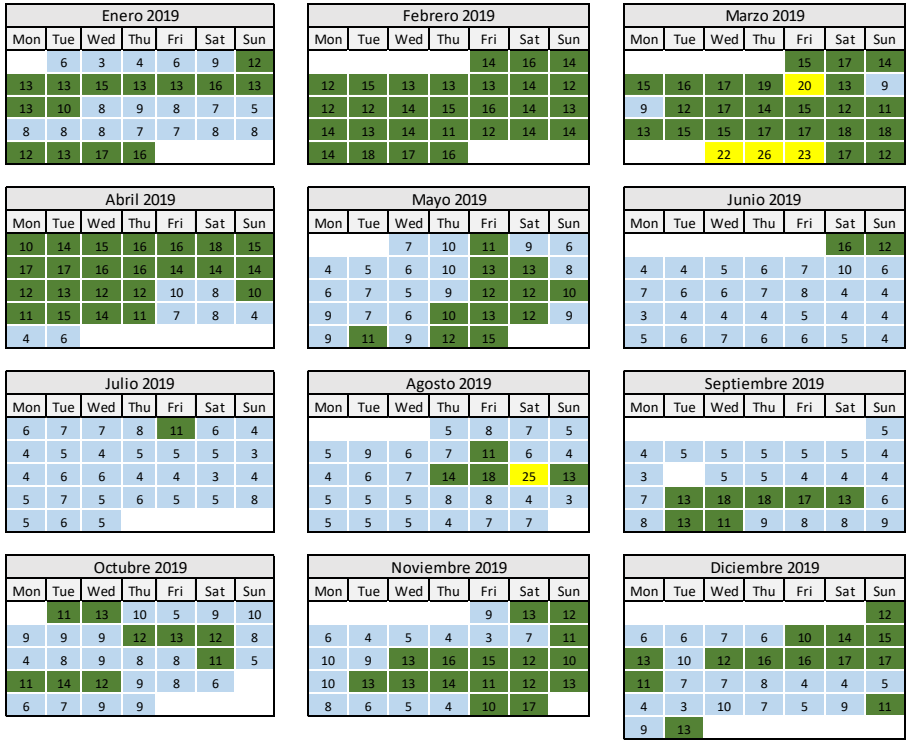


Figura 15-14. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación MinAmbiente

Móvil 7ma

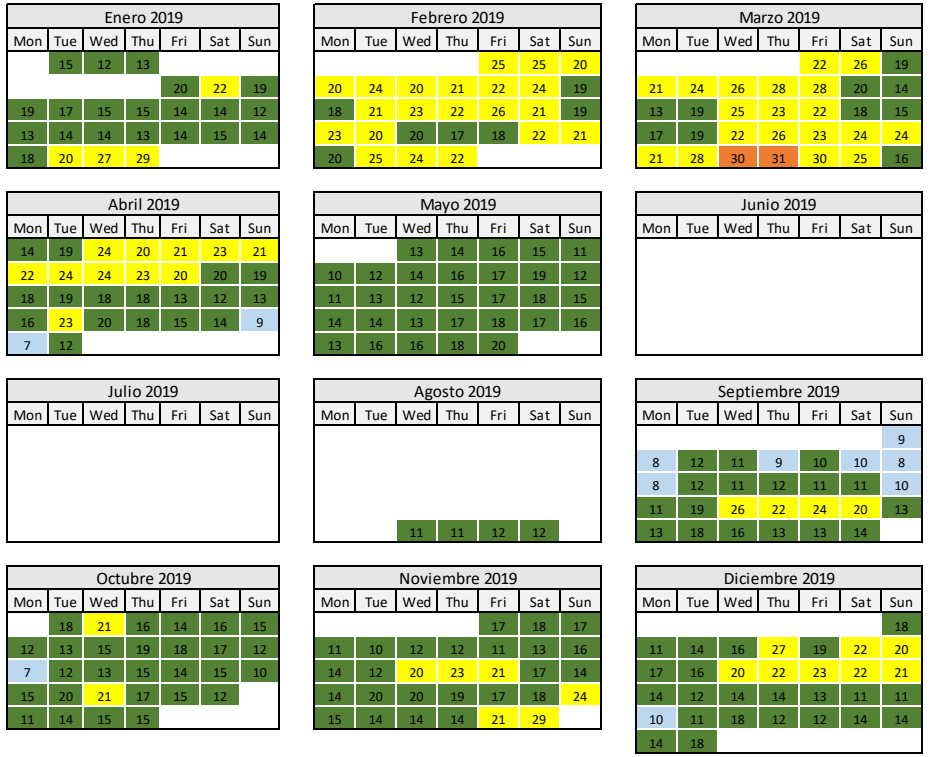


Figura 15-15. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Móvil 7ma

Puente Aranda

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	13		6	9	12	11
12	12	12	9	11	16	14
13	12	12	12	12	11	9
10	11	9	9	12	11	12
14	14	20	20			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	17	15
14	18	18	17	15	14	14
15	16	16	17	21	16	13
15	14	14	14	16	17	15
14	18	18	17			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	18	14
16	18	17	19	20	16	11
10	14	17	14	16	13	13
14	15	15	19	16	15	16
18	20	21	25	23	16	13

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
12	13	17	13	13	15	13
15	19	17	16	16	16	16
12	14	16	14	11	8	9
10	17	13	13	10	12	8
8	9					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		13	14	13	12	9
7	8	10	11	12	14	11
9	9	6	13	12	14	12
10	13	12	14	13	15	13
14	14	13	15	14		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					13	14
4	8	11	11	11	13	8
7	10	11	12	13	11	11
	5	6	8	6	7	6
7	9	11	10	10	10	9

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
7	9	11	12	15	11	9
	10	6	8	10	10	
8	11	13	10	8	6	5
7	10	10	11	9	9	11
	10	8				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			10	10	11	7
8	11	9	10	8	9	
4	6	6	12	17	21	17
4	9					
		8	8	13	12	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						9
8	11					

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		16	12	11	12	13
12	9	9	10	13	13	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						9
7	10	12	12	14	17	13
13		14	14	13	13	13
12	12	11	13	11	8	6
5	6	13	9	5	11	12
10	11					

Figura 15-16. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Puente Aranda

San Cristóbal

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	8	5	4	5	8	11
12	12	13	11	11	13	13
12	10	9	9	9	7	6
7	9	8	8	9	8	10
12	12	15	14			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				12	14	13
11	13	11	12	12	11	11
10	11	12	14	16	14	14
15	12	12	11	12	13	13
12	15	14	14			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				14	15	13
13	14	15	17	18	12	9
7	10	13	12	13	9	10
12	12	12	13	14	15	16
14	18	18	20	19	15	11

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
10	12	12	13	13	15	14
15	15	14	13	12	14	12
10	10	10	11	7	5	9
8	11	11	8	5	4	2
3	5					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		7	9	10	8	5
4	3	4	6	9	10	7
4	4	3	4	6	10	11
10	6	6	8	9	7	7
5	8	4	7	12		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					13	11
5	3	3		4	5	5
			3	3	2	3	3
3	5	6	4	5	4	4

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
5	4	5	5	8	3	3
3	4	3	3	4	4	2
2	4	4	3	3	3	2
3	4	4	6	6	4	5
4	4	3				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			4	5	4	3
5	10	7	5	3	4	3
2	3			23	29	11
10	6					

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		12	11	10	11	12
7	5	4		9	13	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						10
4	5	5	4	6	11	14
9	5	4	11	12	14	
	9	6	6	5	4	4
3	3	10	6	3	3	5
6	10					

Figura 15-17. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación San Cristóbal

Suba

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	13	8	9	11	11	12
12	11	12	8	9	14	16
14	12	13	13	12	11	8
10	11	11	10	13	12	12
13	12	18	18			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	15	15
15	17	16	16	15	15	15
15	17	19	18	20	17	14
16	15	14	15	15	17	15
14	18	19	19			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				17	19	14
17	18	18	21	22	17	11
10	14	16	16	18	15	14
16	16	15	17	14	15	18
19	24	26	30	23	16	14

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
11	12	13	11	12	13	14
19	21	16	14	16	19	19
13	13	14	13	9	7	7
8	13		10	8	8	4
5	10					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		13	13	14	10	8
5	7	9	9	8	11	8
6		6	7	8	9	9
7	7	7	10	8	9	8
8	11	9	9	9		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					9	11
6	8	5	7	8	9	6
5	5	6	8	8	9	6
5	5	5	5	5	5	4
5	6	10	11	9	7	7

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
5	6	8	12	14	9	6
3	8	8	8	8	8	4
5	10	10	9	6	6	5
6	5	6	12	13	9	10
7	9	9				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			10	11	9	8
8	13	11	9	9	10	6
7	8	9	17	21	21	13
8	8	10	12	12	10	8
10	11	10	9	13	12	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						10
8	11	10	10	8	8	9
8	12	10	9	9	10	10
10	14	15	13	15	12	11
10	12	12	10	11	12	12

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	13	11	10	10	11	10
10	12	12	13	13	11	10
9	11	12	12	12	10	8
10	13	13	12	9	8	
8	11	13	12			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				14	12	13
9	8	11	10	8	11	12
10	9	11	12	15	13	11
11				13	13	13
11	9	9	11	14	16	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						8
9	12	14	12	11	15	12
13	12	14	13	13	15	14
11	11	12	13	13	10	7
7	7	13	9	8	11	11
10	11					

Figura 15-18. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Suba

Tunal

Enero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	13	5	4	6	9	10
12	15	16	13	12	19	16
13	12	11	10	10	8	5
10	11	10	9	8	9	11
14	13	19	19			

Febrero 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				15	19	15
13	17	13	13	15	14	14
13	15	15	19	22	17	14
18	14	13	14	19	15	17
14	18	17	16			

Marzo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				16	19	17
16	18	18	20	23	15	10
8	13	17	14	16	12	12
13	13	16	21	19	21	23
18	24	24	25	25	18	12

Abril 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
12	17	17	16	14	17	15
18	19	17	20	16	15	15
13	15	15	14	9	10	11
11	18	14	11	6	5	4
5	7					

Mayo 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		12	13	12	11	6
4	4	6	11	13	14	9
6	7	5	9	12	15	12
12	11	10	12	12	12	10
11	11	11	15	18		

Junio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					19	14
5	6	5	8	9	8	6
6	6	6	9	10	7	3
3	3		3	3	4	4
4	9	9	7	6	5	6

Julio 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
5	9	10	7	13	8	3
	6	4	5	9	9	4
4	7	10	8	5	3	4
6	6	7	9	6	5	7
4	7	5				

Agosto 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			7	8	6	5
7	11	7	6	5	7	4
4	5	5	14	19	24	14
6	9	7	8	7	5	5
7	5	4	4	8	10	

Septiembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						5
5	9	5	4	4	5	5
4	7	6	7	5	4	4
7	11	15	18	17	14	9
9	12	12	7	9	11	12

Octubre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	14	24	16	13	12	12
11	11	12	13	12	8	8
5	10	9	12	11	9	5
12	16	16	13	7	4	
7	9	12	11			

Noviembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				12	16	15
8	5	5	5	5	6	10
10	11	14	16	14	13	13
13	16	14	13	14	15	15
11	8	5	7	12	17	

Diciembre 2019

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						11
7	10	11	11	13	17	19
15	11	11	16	17	17	15
11	7	9	9	10	7	6
6	5	15	7	4	10	10
10	13					

Figura 15-19. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Tunal

Usaquén

Enero 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	8	6	6	6	9	9
11	12	13	11	11	13	13
14	11	11	11	11	10	8
9	9	10	10	10	10	10
12	14	18	16			

Febrero 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				15	15	14
13	16	14	14	14	14	12
12	15	17	17	19	15	14
16	13	14	14	14	17	16
14	19	17	16			

Marzo 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				15	17	15
16	17	19	21	20	16	11
9	13	16	14	16	10	12
15	15	17	18	17	17	19
18	24	25	27	22	15	12

Abril 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
11	13	14	13	14	16	15
18	17	17	16	14	15	15
13	13	12	11	8	8	10
11	14	12	10	7	7	6
7	9					

Mayo 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
		12	12	12	11	8
7	8	10	11	11	11	7
6	7	7	9	7	7	7
8	9	9	9	11	11	9
8	10	9	10	13		

Junio 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
					12	12
4	4	5	5	5	7	5
5	6		7	6	5	4
6	6	4	6	7	7	5
5	8	9	11	11	9	6

Julio 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
5	7	10	12	14	9	7
7	10	9	6	6	7	4
4	8	6	5	5	5	4
6	6	7	9	8	6	8
5	6	5				

Agosto 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
			6	7	5	5
7	12	9	6	4	6	5
4	5	6	15	17	22	13
6	5	7	8	8	6	6
5	5	5	6	7	7	

Septiembre 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						5
5	8	6	5	5	5	5
4	8	6	5	6	5	7
7	13	20	19	20	13	9
10	14	11	9	10	8	9

Octubre 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11	11	8	6	8	10
9	6	6	11	12	10	5
5	6	6	7	6	6	5
9	13	13	10	5	5	
5	7	10	8			

Noviembre 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
				10	13	11
5	6	6	5	5	6	10
11	7	11	14	18	13	11
11	13	13	13	13	13	13
8	4	5	6	12	20	

Diciembre 2019						
Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						10
7	6	7	8	11	13	15
13	10	10	16	14	14	12
9	7	7	7	7	7	5
7	7	7	5	5	6	8
8	11					

Figura 15-20. Calendar plot de $PM_{2.5}$ para la estación Usaquén

NOTA

El análisis realizado en el presente informe mensual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 1 y el 31 de Diciembre de 2019, y adicionalmente los resultados del informe sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes periódicos de la RMCAB establecido en el procedimiento interno PA10-PR04 Generación y Control de Informes de la RMCAB (v. 5.0). Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno PA10-PR05- Validación de datos de la RMCAB (v. 3.0).

Adicionalmente, los procesos de monitoreo de contaminantes en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos:

PA10-PR02 (v. 10.0)	Operación de la Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
PA10-PR06 (v. 6.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de PM_{10} y $PM_{2.5}$
PA10-PR07 (v. 5.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación de los analizadores de los gases NOx, SO_2, CO y O_3

Elaboró:
Eaking Alberto Ballesteros Urrutia – PROFESIONAL RMCAB - SDA
Edna Lizeth Montealegre Garzón - – PROFESIONAL RMCAB - SDA
Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez– PROFESIONAL RMCAB - SDA
Edison Yesid Ortiz Durán – PROFESIONAL SIMCAB – SDA
Cristian Darío Arango Chacón – PROFESIONAL SIMCAB – SDA
July Andrea Vásquez Ramírez – PROFESIONAL SIMCAB – SDA
Karen Johanna Blanco Fajardo – PROFESIONAL PGICAB - SDA
María Camila Buitrago Jiménez – PROFESIONAL SATAB - SDA
Ana Cecilia Gálvez Lozada - PROFESIONAL SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA - SDS
Roger Alexander Gómez Gómez - SUBRED INTEGRADA DE SERVICIOS DE SALUD CENTRO ORIENTE
Yaneth Rocío Pineda García - SUBRED INTEGRADA DE SERVICIOS DE SALUD CENTRO ORIENTE

Revisó:
Luis Álvaro Hernández González – PROFESIONAL RMCAB - SDA
José Hernán Garavito Calderón - PROFESIONAL ESPECIALIZADO RMCAB - SDA
Leonardo Quiñones Cantor – PROFESIONAL ESPECIALIZADO SATAB – SDA
Edison Yesid Ortiz Durán – PROFESIONAL SIMCAB - SDA
Edna Katalina Medina Palacios - PROFESIONAL ESPECIALIZADO SUBDIRECCIÓN DE DETERMINANTES EN SALUD - SDS

Autorizó:
Hugo Enrique Sáenz Pulido - SUBDIRECTOR DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL - SDA

FIN DEL INFORME

Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá

Año 2020

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB



ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ

Estación Usme

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2020

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB)

Bogotá D.C. 2021

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE AMBIENTE

ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Claudia Nayibe López Hernández
Alcaldesa Mayor de Bogotá D.C.

Carolina Urrutia Vásquez
Secretaria Distrital de Ambiente

Julio Cesar Pulido Puerto
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Camilo Alexander Rincón Escobar
Director de Control Ambiental

Hugo Enrique Saenz Pulido
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

José Hernán Garavito Calderón
Profesional Especializado de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB

Luis Álvaro Hernández González
Coordinador Técnico de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB

Leonardo Quiñones Cantor
Coordinador Técnico Sistema de Alertas Tempranas de Bogotá – Componente Aire (SATAB)

Inés María Galindo Henríquez
Subdirectora de Vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Maria Camila Buitrago Jiménez
Profesional Especializado Componente Aire (SATAB)

Eaking Ballesteros Urrutia
Edna Lizeth Montealegre Garzón
Jennyfer Montoya Quiroga
Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Equipo de Validacion y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Jesús Alberto Herrera Dallos
Luis Hernando Monsalve Guiza
Richard Alejandro Sánchez Serrano
Equipo de Operación de la RMCAB

Ana Cecilia Gálvez Lozada
Profesional Especializado - Línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Jhon Jairo Abella Flórez
Profesional Especializado - Línea aire, ruido y Radiación electromagnética
Subdirección de vigilancia en Salud Pública
Secretaria Distrital de Salud

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –
© Junio de 2021, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.
Año 2020.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

BOGOTÁ | SECRETARÍA DE AMBIENTE

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 13
2. RESUMEN EJECUTIVO 14
3. OBJETIVOS 15
3.1. OBJETIVO GENERAL 15
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 15
4. CARACTERÍSTICAS DE LA RMCAB 16
4.1. NORMATIVIDAD 20
5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO 21
5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS 21
5.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS 23
6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS) 25
6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10}) 25
6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN 26
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN 29
6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM_{10} POR ESTACIÓN 31
6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$) 31
6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 31
6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 34
6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN 36
6.3. OZONO (O_3) 36
6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL O_3 POR ESTACIÓN 37
6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN 38
6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O_3 POR ESTACIÓN 41
6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2) 42
6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN 42
6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN 43
6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO_2 POR ESTACIÓN 45
6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2) 45
6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN 46

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN 47
6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO_2 POR ESTACIÓN 49
6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO) 49
6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL CO POR ESTACIÓN 49
6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN 51
6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN 53
7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON 54
7.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON (BC) POR ESTACIÓN 54
7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON PROVENIENTE DE LA QUEMA DE BIOMASA 59
8. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE 61
8.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA 61
8.2. ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA 66
9. METEOROLOGÍA 72
9.1. PRECIPITACIÓN 72
9.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN 72
9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN 73
9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN 75
9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN 75
9.2. TEMPERATURA 79
9.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA 79
9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA 81
9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA 84
9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA 85
9.3. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO 86
9.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 86
9.3.2. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO 88
9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 92
9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO 95
9.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO 97
9.4. RADIACION SOLAR 98
9.4.1. PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR 98
9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR 99

9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR 100
9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR 101
9.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA 102
9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 103
9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 104
9.5.3. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 104
9.5.4. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA 106
9.6. HUMEDAD 108
9.6.1. PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD 108
9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD 109
9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD 110
9.6.4. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD 111
10. EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 113
10.1. ALERTAS AMBIENTALES POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 113
10.2. TRANSPORTE DE ARENAS DEL SAHARA EN JUNIO DE 2020 119
10.3. INFLUENCIA DE LAS RESTRICCIONES EN LA PANDEMIA DEL COVID 19 121
10.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR CONDICIONES LOCALES 122
11. CALIDAD DEL AIRE Y SALUD 124
11.1. VIGILANCIA EN SALUD AMBIENTAL 126
11.2. VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA 128
11.2.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA 129
11.2.2. MORBILIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA 132
11.3. VIGILANCIA AMBIENTAL 139
11.4. VIGILANCIA SANITARIA 151
11.5. MOVILIZACIÓN SOCIAL 153
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 157
13. ANEXOS 159

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2020 18
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB – Año 2020 22
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación – Año 2020 22
Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento – Año 2020 24
Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación – Año 2020 24
Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM_{10} – Año 2020 26
Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging 28
Figura 6-3 Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación – Año 2020 30
Figura 6-4 Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020 30
Figura 6-5 Comportamiento horario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020 30
Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM_{10} años 2016 a 2020 31
Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de $PM_{2.5}$ – Año 2020 32
Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging 33
Figura 6-9 Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación – Año 2020 35
Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020 35
Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020 36
Figura 6-12 Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2016 a 2020 36
Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O_3 – Año 2020 37
Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging 39
Figura 6-15. Concentraciones mensuales de O_3 por estación – Año 2020 40
Figura 6-16. Comportamiento diario de las concentraciones de O_3 – Año 2020 40
Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 – Año 2020 41
Figura 6-18 Concentraciones anuales de O_3 años 2016 a 2020 41
Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO_2 – Año 2020 42
Figura 6-20 Concentraciones mensuales de NO_2 por estación – Año 2020 44
Figura 6-21 Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 – Año 2020 44
Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 – Año 2020 45
Figura 6-23 Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2016 a 2020 45
Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de SO_2 – Año 2020 46
Figura 6-25 Concentraciones mensuales de SO_2 por estación – Año 2020 47
Figura 6-26 Comportamiento diario de las concentraciones de SO_2 – Año 2020 48
Figura 6-27 Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 – Año 2020 48
Figura 6-28 Concentraciones anuales de SO_2 años 2016 a 2020 49
Figura 6-29 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2020 50
Figura 6-30 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2020 52
Figura 6-31 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2020 52
Figura 6-32 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2020 53
Figura 6-33 Concentraciones anuales de CO años 2016 a 2020 53

Figura 7-1 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de BC – Año 2020 55
Figura 7-2 Variabilidad temporal de la concentración de BC (µg/m3). a) Resolución temporal mensual. B) resolución semanal y c) resolución horaria – Año 2020 58
Figura 7-3 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2020 58
Figura 7-4 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS – Año 2020 59
Figura 7-5 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS - Año 2020. 60
Figura 8-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ – Año 2020 62
Figura 8-2 ICA por mes del año y por estación para PM_{10} – Año 2020 64
Figura 8-3 ICA por mes del año y por estación para $PM_{2.5}$ – Año 2020 65
Figura 8-4 ICA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO – Año 2020 66
Figura 8-5 IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$ – Año 2020 68
Figura 8-6 IBOCA por mes del año para PM_{10} – Año 2020 69
Figura 8-7. IBOCA por mes del año para $PM_{2.5}$ – Año 2020 70
Figura 8-8 IBOCA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO – Año 2020 71
Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2020 73
Figura 9-2 Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación – Año 2020 74
Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2020 75
Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá – Año 2020.. 76
Figura 9-5 Variación anual de la precipitación en Bogotá – Año 2020 77
Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual 2020 79
Figura 9-7 a) Perfil horario anual de temperatura. b) perfil diario de temperatura por estación 81
Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2020 Vs 2020 . 82
Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas – Año 2020 83
Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB – Año 2020 84
Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2020 86
Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2020) Vs. 2019 y 2020. 87
Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2019 vs. 2020. 88
Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2020 89
Figura 9-15 Velocidades medias, máximas y mínimas del viento – Año 2020 90
Figura 9-16 Rosas de viento consolidadas por estación – Año 2020 92
Figura 9-17 Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche – Año 2020 95
Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2020 96
Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá de 2000 a 2020 98
Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 vs. 2019 99
Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día – Año 2020 100
Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación en 2020 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados. 101
Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación- Año 2020 102
Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2020 frente al promedio mensual multianual 2009-2020 103

Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2020. 104
Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica – Año 2020 106
Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2020..... 107
Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020 vs. Promedio mensual multianual 2010-2020 109
Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020: a) promedio ciudad; b) promedio por estación 110
Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria anual – Año 2020 111
Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual..... 112
Figura 10-1 Delimitación polígono restricción vehicular en periodo de alerta amarilla – febrero 2020 114
Figura 10-2. Vientos sinópticos a 850 hPa y puntos calientes asociados a incendios por 48 horas, para febrero 06 de 2020 114
Figura 10-3. Retrotrayectorias elaboradas en HySplit para los días 06 y 17 de febrero de 2020... 115
Figura 10-4. Mapas IBOCA para $PM_{2.5}$ febrero 06 y 17 de 2020 115
Figura 10-5. Vientos sinópticos a 850 hPa y poder radiativo de puntos calientes. Marzo 05 de 2020 117
Figura 10-6. Retrotrayectorias y puntos calientes, marzo 05 y abril 02 de 2020 117
Figura 10-7. Mapas IBOCA marzo 05 y abril 02 de 2020 118
Figura 10-8. Concentraciones medias móvil 24h $PM_{2.5}$. Febrero - Abril 2020 118
Figura 10-9. Imágenes satelitales transporte de polvo del Sahara. Fuente: NASA..... 120
Figura 10-10. Concentraciones horarias PM_{10} Junio 20 - 30 de 2020 121
Figura 10-11. Concentraciones media móvil PM2.5 Marzo 15 - Diciembre 31 2020 122
Figura 10-12. Concentraciones media móvil 24 h de $PM_{2.5}$ octubre de 2020..... 123
Figura 11-1. Red Integrada de Servicios de Salud 126
Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2016 a 2020..... 130
Figura 11-3. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá Vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE, 2020 131
Figura 11-4. Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2020..... 133
Figura 11-5. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2020 134
Figura 11-6. Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada. Bogotá 2020..... 135
Figura 11-7. Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada. Bogotá 2020 135
Figura 11-8. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años 137
Figura 11-9. Número de excedencias anuales, de PM10 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020..... 140
Figura 11-10. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM10 en Bogotá enero – diciembre 2020 141
Figura 11-11. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2015-2020. 142

Figura 11-12. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020 143
Figura 11-13. Comportamiento anual (enero – diciembre) de excedencias del contaminante PM2.5 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020 143
Figura 11-14. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM2.5 en Bogotá, enero a diciembre 2020. 144
Figura 11-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2020 145
Figura 11-16. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020 146
Figura 11-17. Punto de monitoreo Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre 2020 148
Figura 11-18. Comportamiento promedio diario material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020 149
Figura 11-19. Comportamiento promedio horario material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020 149
Figura 11-20. Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en las localidades del distrito, enero –diciembre 2020. 152
Figura 11-21. Distribución de quejas por contaminación del Aire, Olores y humo de tabaco, por Subred enero-diciembre 2020. 152
Figura 11-22. Acciones de Movilización y comunicación social del riesgo en el distrito enero – diciembre 2020 153
Figura 11-23. "Aire limpio para los pulmones de Bogotá". 154
Figura 11-24. Registro Fotográfico de las acciones de movilización y comunicación social del riesgo en el distrito febrero 6 de 2020 155
Figura 11-25. Infografías prevención de olores ofensivos y COVID 19 155
Figura 13-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes. 159

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA 17
Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2020 19
Tabla 4-3 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS. 20
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2020 22
Tabla 5-2 Porcentaje de datos válidos por estación y parámetro – Año 2020 24
Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} – Año 2020 27
Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ – Año 2020 32
Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 – Año 2020 38
Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 – Año 2020 43
Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 – Año 2020 46
Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2020 50
Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de BC tomadas a la λ = 880 nm (µg/m3) – Año 2020 56
Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS 61
Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 67
Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año 2020 73
Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2020 74
Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación – Año 2020 77
Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensual – Año 2020 78
Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria – Año 2020 80
Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2020 81
Tabla 9-7 Temperaturas extremas – Año 2020 83
Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2020 85
Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2020 87
Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2020 88
Tabla 9-11 Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día 93
Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2020 97
Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones – Año 2020 99
Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m^2) – Año 2020 101
Tabla 9-15 Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m^2 periodo 2009 - 2020 101
Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual de 2010 - 2020 103
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2020 104
Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB – Año 2020 105
Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2020 107
Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2020 108

Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2020 109
Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2020 110
Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente..... 112
Tabla 10-1. Documentos alertas contaminación atmosférica febrero, marzo y abril 2020 113
Tabla 10-2. Medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas de Bogotá para la alerta amarilla de marzo 2020 116
Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura. . 125
Tabla 11-2. Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años..... 136
Tabla 11-3. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y tos sin gripa en el último año en menores de 5 años 138
Tabla 11-4. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y despertar por tos en los niños de 5 a 14 años. 138
Tabla 11-5. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y despertar por tos en adultos mayores de 60 años. 139
Tabla 11-6. Porcentaje de excedencias en concentraciones promedio de 24 horas (enero – diciembre) de PM10, respecto a la guía OMS y Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación – Año 2020 141
Tabla 11-7. Porcentaje de excedencias diarias (enero – diciembre) del contaminante $PM_{2.5}$ con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación de la RMCAB 2020..... 145
Tabla 11-8. Monitoreos intramurales por localidad, enero a diciembre 2020, Bogotá..... 147
Tabla 11-9. Sulfuro de hidrógeno: relaciones establecidas de dosis-efecto..... 150
Tabla 13-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu g/m^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. . 160
Tabla 13-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA..... 161
Tabla 13-3. Procedimientos Internos para la operación y calibración de equipos de la RMCAB ... 162

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual registra información de concentraciones de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares de la ciudad. El proceso inicia con la medición de los parámetros en cada estación y el almacenamiento de estos en un datalogger, luego cada hora se actualizan los datos y son transmitidos hacia el servidor central, donde se almacena la información en una base de datos. Esta información es validada desde su captura en los equipos, hasta la revisión en la sede central, con el fin de obtener datos para la elaboración de los informes periódicos de calidad del aire. En dichos reportes se evalúa el cumplimiento de los niveles máximos permisibles definidos por la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Durante el año 2020 la RMCAB alcanzó las dieciocho (18) estaciones de monitoreo de las cuales diecisiete (17) son fijas y una (1) es móvil. Todas las estaciones de la RMCAB se ubican en sitios estratégicos de la ciudad y se encuentran dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2, NO_2, CO, O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

Asimismo, se realiza el monitoreo permanente de la temperatura y la humedad al interior de las cabinas, con el fin de garantizar las condiciones ambientales necesarias para el correcto funcionamiento de los sensores y analizadores en cada estación. La temperatura interna se controla en un rango de entre 20 y 30°C, mediante un sistema de aire acondicionado y si se sobrepasan estos límites, los datos de contaminantes para esas horas se invalidan. Esta variable se registra y verifica en cartas control.

En el presente informe, se incluye el análisis del comportamiento de los contaminantes registrados por la RMCAB durante el año 2020, las tendencias y la distribución espacial, y la determinación de las excedencias de los contaminantes respecto a la norma; el análisis de los datos de Black Carbon, el análisis del comportamiento de los parámetros meteorológicos y el reporte realizado por la Secretaría Distrital de Salud, sobre los datos de morbilidad y mortalidad asociados a contaminación del aire.

2. RESUMEN EJECUTIVO

Comportamiento de la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

Las concentraciones promedio anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el 2020 mantuvieron la distribución espacial de los años anteriores, las concentraciones más altas se registraron al suroccidente de la ciudad y las más bajas en la zona suroriental. Carvajal-Sevillana registró los promedios anuales más altos de PM_{10} y $PM_{2.5}$, con 63.6 µg/m^3 y 29.2 µg/m^3, las cuales sobrepasaron el nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual. Se registraron en total 173 excedencias de PM_{10} y 264 excedencias de $PM_{2.5}$. Con respecto a años anteriores, las concentraciones de material particulado del año 2020 fueron más bajas, a excepción del dato de PM_{10} registrado en Carvajal-Sevillana, con un aumento de 8 µg/m^3 respecto al 2019. En general, la reducción de las concentraciones estuvo influenciada por las restricciones a la actividad de las fuentes de emisión entre abril y junio, ya que además en este último mes históricamente se registran las concentraciones más bajas del año, y asimismo la reactivación gradual incidió en el incremento de las concentraciones en el último trimestre del año.

Comportamiento de la concentración de ozono (O_3)

Las concentraciones más altas de O_3 se observaron en el occidente y el nororiente de la ciudad, y las más bajas en la zona de influencia de las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda. El promedio anual más alto se evidenció en Kennedy, con 36.410 µg/m^3, y el menor se registró en Puente Aranda. En total se registraron 355 excedencias a la norma 8 horas, principalmente en Centro de Alto Rendimiento. En relación con los promedios de años anteriores, los promedios anuales de 2020 son los más altos desde 2016 a excepción de la estación Usaquén. Debido a los cambios en el comportamiento de las fuentes de emisión en comparación con años anteriores, de las variaciones en los precursores del ozono y de la reducción de fuentes de emisión de material particulado en el segundo semestre del año, el comportamiento del ozono ha cambiado en la ciudad, pero se observa una tendencia notable al aumento con el paso del tiempo.

Comportamiento de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2)

Las concentraciones más altas de NO_2 se registraron en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, con 46.8 y 33.9 µg/m^3 respectivamente. Dichos niveles estuvieron por debajo del nivel máximo permisible para un tiempo de exposición anual, y tampoco se registraron excedencias de los datos horarios. Durante el año 2020 se observó que las concentraciones más altas se registraron en el último trimestre, con un aumento creciente desde el mes de junio, tras la reactivación de varios sectores económicos en la ciudad, aunque de acuerdo con el comportamiento horario se observa una mayor influencia de las emisiones provenientes de fuentes móviles. A excepción de la estación Carvajal-Sevillana, las concentraciones registradas en el 2020 fueron menores a las de años anteriores.

Comportamiento de la concentración de dióxido de azufre (SO_2)

La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio anual más alto en el 2020 con 10.6 µg/m^3, mientras que en la estación Usaquén se registró el valor más bajo con 1.7 µg/m^3, y se observaron 19 excedencias al límite máximo permisible de 1 hora. Las concentraciones mensuales fueron más altas en los meses de octubre y noviembre en las estaciones del sur de la ciudad, mientras que en la zona occidental las concentraciones más altas se evidenciaron en enero y febrero, con lo cual se observa una posible influencia del incremento de la actividad de las fuentes de emisión en el segundo semestre del año tras las restricciones en el marco de la cuarentena del segundo semestre del año. En general las concentraciones de SO_2 son bajas en la ciudad, pero en la estación Carvajal-Sevillana se han registrado concentraciones de mayor magnitud a diferencia de las demás estaciones que monitorean el contaminante.

Comportamiento de la concentración de monóxido de carbono (CO)

Para el año 2020, los promedios anuales de las estaciones Carvajal-Sevillana y Móvil 7ma fueron los más altos de la ciudad, con 1187.9 y 1180.3 µg/m^3 respectivamente. Se registraron solamente 2 excedencias a la norma 8 horas en la estación Puente Aranda. Durante el año los promedios más altos se registraron en el cuarto trimestre, principalmente en las estaciones del sur, suroccidente y la estación Móvil 7ma. Con respecto a los promedios históricos, hay una tendencia a la reducción de las concentraciones en el tiempo, y los promedios anuales del 2020 han sido los más bajos en los últimos cinco años.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo, obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural y su comportamiento en la atmósfera de Bogotá validando y reportando en tiempo real datos que servirán como insumo a diferentes actores ambientales.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009 del Concejo de Bogotá, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA RMCAB

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por dieciocho (18) estaciones de monitoreo de las cuales diecisiete (17) son fijas, y una (1) es móvil.

En la Tabla 4-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 4-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

Durante el año 2020 se realizó la instalación de cuatro (4) estaciones adicionales para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad (Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme), las cuales iniciaron el monitoreo oficialmente en el mes de octubre de 2020, por lo cual los datos recolectados de estas en el 2020, no se tuvieron en cuenta para el análisis de este informe, ya que no cuentan con el 75% de representatividad temporal.

La elaboración de informes de calidad del aire se realiza teniendo en cuenta uno de los componentes de la misionalidad de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), como autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, se realizan de acuerdo con lo establecido en el numeral de informes de resultados en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017, y teniendo en cuenta los procedimientos internos asociados a las funciones del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales se incluyen dentro del proceso de apoyo de la SDA denominado “Metrología, Monitoreo y Modelación”.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin. Adicionalmente se realizan las calibraciones y verificaciones periódicas de los equipos de monitoreo, con el fin de garantizar que la medición de contaminantes se realice de acuerdo con los estándares establecidos en los métodos de medición.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en diciembre de 2020 (EPA, 2020). Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (Code of Federal Regulations), los cuales están aprobados por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR (LII, 2020)[1].

[1] 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53

Tabla 4-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087	D
		EQOA-0193-091	
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
		RFNA-0118-249	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
		RFCA-0915-228	
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

En la Figura 4-1 se muestra el mapa con la ubicación de las 18 estaciones de monitoreo de la RMCAB presentes durante el año 2020.

En la Tabla 4-2 se muestra la tabla que contiene las características de cada estación, los monitores de calidad del aire y meteorológicos que posee y su denominación.

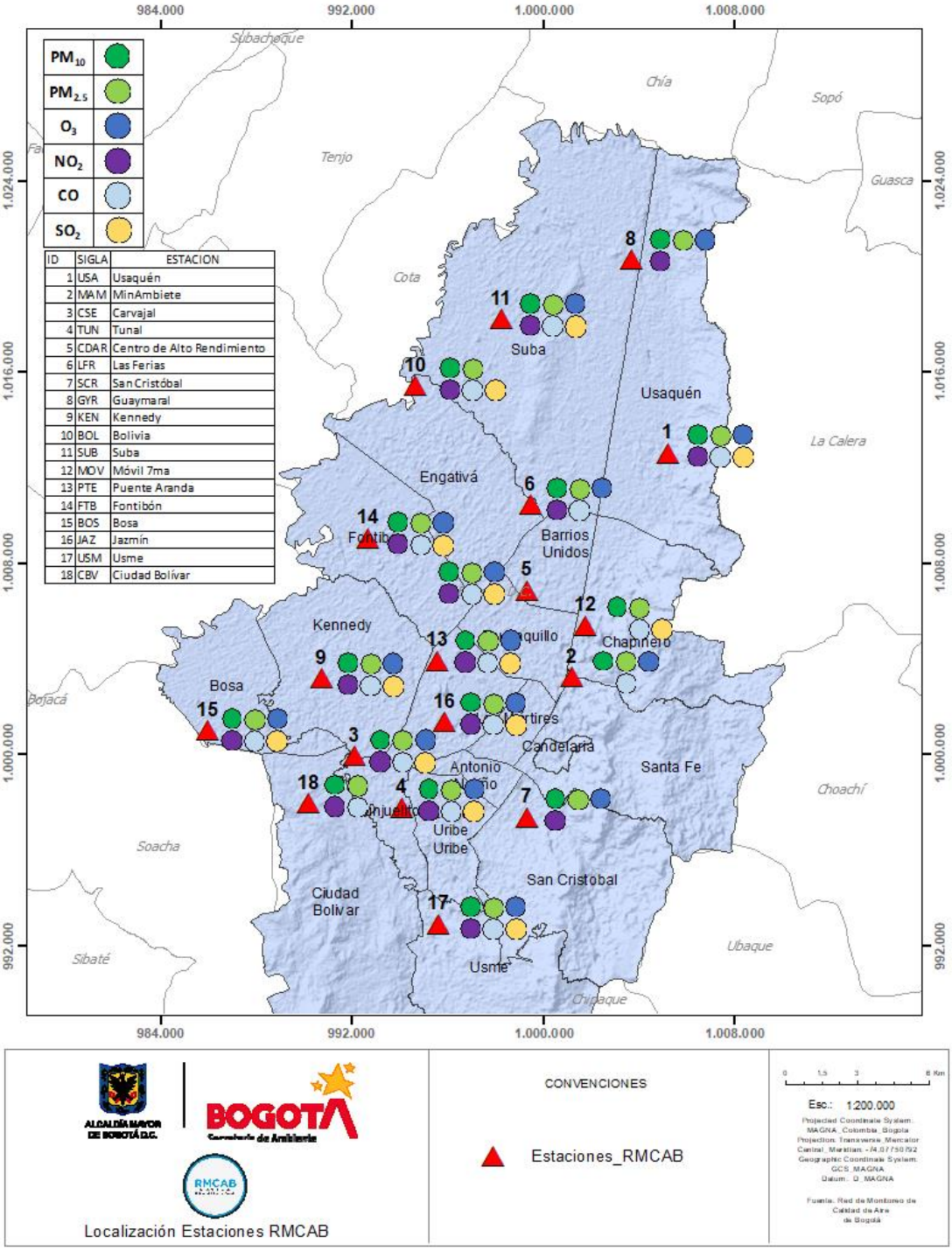


Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB – Año 2020

Tabla 4-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas – Año 2020

Características	Ubicación									Contaminantes						Variables Meteorológicas						
	Sigla	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Altura (m)	Localidad	Tipo de zona	Tipo de estación	Dirección	PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	NO_2	CO	SO_2	V. Viento	D. Viento	Temperatura	Precipitación	R. Solar	H. Relativa	Presión Atm.
Guaymaral	GYR	4°47'1.52"N	74°2'39.06"W	2580	0	Suba	Sub urbana	De fondo	Autopista Norte # 205-59	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X
Usaquén	USQ	4°42'37.26"N	74°1'49.50"W	2570	10	Usaquén	Urbana	De fondo	Carrera 7B Bis # 132-11	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Suba	SUB	4°45'40.49"N	74° 5'36.46"W	2571	6	Suba	Sub urbana	De fondo	Carrera 111 # 159A-61	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
Bolivia	BOL	4°44'9.12"N	74°7'33.18"W	2574	0	Engativá	Sub urbana	De fondo	Avenida Calle 80 # 121-98	X	X		X	X	X							
Las Ferias	LFR	4°41'26.52"N	74°4'56.94"W	2552	0	Engativá	Urbana	De tráfico	Avenida Calle 80 # 69Q-50	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X
Centro de Alto Rendimiento	CDAR	4°39'30.48"N	74°5'2.28"W	2577	0	Barrios Unidos	Urbana	De fondo	Calle 63 # 59A-06	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Estación Móvil 7ma	MOV	4°38'32.75"N	74°5'2.28"W	2583	0	Chapinero	Urbana	De tráfico	Carrera 7 con calle 60	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X
MinAmbiente	MAM	4°37'31.75"N	74°4'1.13"W	2621	15	Santa Fe	Urbana	De tráfico	Calle 37 # 8-40	X	X	X		X		X	X		X			
Fontibón	FTB	4°40'41.67"N	74°8'37.75"W	2551	11	Fontibón	Urbana	De tráfico	Carrera 104 # 20 C - 31	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
Puente Aranda	PTE	4°37'54.36"N	74°7'2.94"W	2590	10	Puente Aranda	Urbana	Industrial	Calle 10 # 65-28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Kennedy	KEN	4°37'30.18"N	74°9'40.80"W	2580	3	Kennedy	Urbana	De fondo	Carrera 80 # 40-55 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Carvajal - Sevillana	CSE	4°35'44.22"N	74°8'54.90"W	2563	3	Kennedy	Urbana	Tráfico / Industrial	Autopista Sur # 63-40	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Tunal	TUN	4°34'34.41"N	74°7'51.44"W	2589	0	Tunjuelito	Urbana	De fondo	Carrera 24 # 49-86 sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
San Cristóbal	SCR	4°34'21.19"N	74°5'1.73"W	2688	0	San Cristóbal	Urbana	De fondo	Carrera 2 Este # 12-78 sur	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	
El Jazmín	JAZ	4°36'30.6"N	74°06'53.8"W	2559	0	Puente Aranda	Urbana	Residencial	Calle 1 G # 41 A 39	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Usme	USM	4°31'55.4"N	74°07'01.7"W	2593	0	Usme	Urbana	Residencial	Carrera 11 # 65 D 50 Sur	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Bosa	BOS	4°36'20.2"N	74°12'14.6"W	2546	0	Bosa	Urbana	De fondo	Diagonal 73 F Sur # 78 - 44	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Ciudad Bolívar	CBV	4°34'40.1"N	74°09'58.6"W	2661	0	Ciudad Bolívar	Urbana	Residencial	Calle 70 Sur # 56 - 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X

4.1. NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual inició su vigencia desde el 1 de enero de 2018, y deroga la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010 del entonces Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. La Tabla 4-3 presenta los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio definidos en la norma vigente.

Tabla 4-3 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en el aire. Resolución 2254 de 2017 del MADS.

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo
PM_{10}	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
$PM_{2.5}$	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO_2	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	100	1 hora	Concentración promedio horaria
NO_2	60	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O_3	100	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
CO	5000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	35000	1 hora	Concentración promedio horaria

Parágrafo 1: *A partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75 µg/m³ y 37 µg/m³ respectivamente.*

Parágrafo 2. *Para verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la Tabla 1 la concentración de los contaminantes del aire deberá evaluarse por cada punto de monitoreo. El promedio de concentraciones de diferentes puntos de monitoreo no será válido para evaluar el cumplimiento de dichos niveles.*

5. INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2020. En la primera sección se determinó el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presenta el porcentaje de datos válidos, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1. PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2020, la captura de datos de la mayoría de los parámetros fue mayor o igual al 75%. Los parámetros que reportaron un menor porcentaje de captura de datos fueron el NO_2 y el CO, esto se atribuye a que se instalaron nuevos equipos en algunas de las estaciones entre los meses de octubre y noviembre. En las estaciones MinAmbiente y Suba se instalaron nuevos equipos que miden CO y fueron puestos en línea el 13 de octubre de 2020, y en las estaciones de Suba, San Cristóbal, Usaquén y Móvil 7ma se instalaron equipos nuevos que miden NO_2, los cuales fueron puestos en línea el 13 de octubre a excepción del parámetro de NO_2 de la Móvil 7ma que se puso en línea el 5 de noviembre. Asimismo, la estación de Ciudad Bolívar se pone en línea el 16 de octubre de 2020, tiempo que influyo en el cálculo del porcentaje de representatividad de los parámetros.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de las estaciones es superior al 83%, exceptuando las estaciones de Bolivia, Ciudad Bolívar y Jazmín. Es de aclarar que la estación Bolivia quedo fuera de operación a finales del mes de septiembre del año 2019 por obras locativas de restauración, y se instalaron equipos analizadores para medir parámetros de calidad del aire, logrando poner la estación en línea el 16 de octubre de 2020 y por esta razón el porcentaje de datos capturados fue del 37%. Jazmín por su parte es una estación nueva que se pone en línea el 1 de octubre de 2020, sin embargo, empezó a monitorear datos para pruebas operativas de sus equipos desde el 1 de marzo de 2020. Otra estación nueva fue Ciudad Bolívar, la cual cuenta con datos desde el 1 de septiembre de 2020 e inicia su monitoreo el 16 de octubre del 2020. Teniendo en cuenta que las estaciones nuevas inician el monitoreo en el transcurso del 2020, estas no cuentan con el 100% de los datos del año.

La estación Usaquén obtuvo un porcentaje de captura de datos del 85%, ya que el parámetro de NO_2 fue puesto en línea en el mes de octubre y además el equipo de PM_{10} presentó varias fallas a lo largo del año. La estación MinAmbiente obtuvo un porcentaje de captura de datos del 88% debido a que el parámetro de CO fue puesto en línea en octubre, además se presentaron algunas fallas en el equipo de PM_{10}. La estación Suba obtuvo un porcentaje de captura de datos del 83% debido a que en esta estación se pusieron en línea los parámetros de CO y NO_2 en el mes de octubre, lo que generó una reducción en el porcentaje de captura de datos. Finalmente, y como se mencionó anteriormente, las estaciones de Bolivia, Jazmín y Ciudad Bolívar

iniciaron el monitoreo en el transcurso del año 2020, lo cual influyó en el porcentaje de representatividad de sus datos.

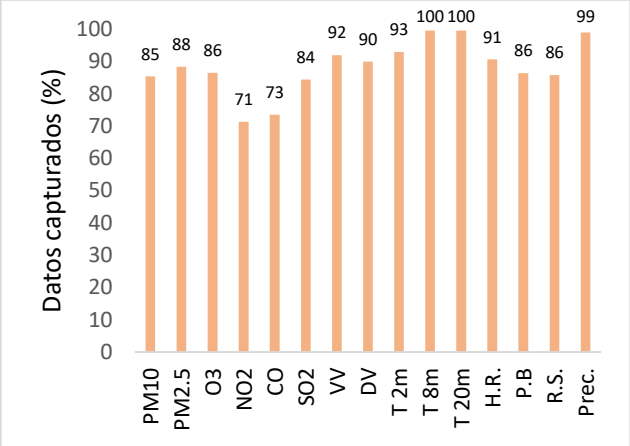


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB – Año 2020

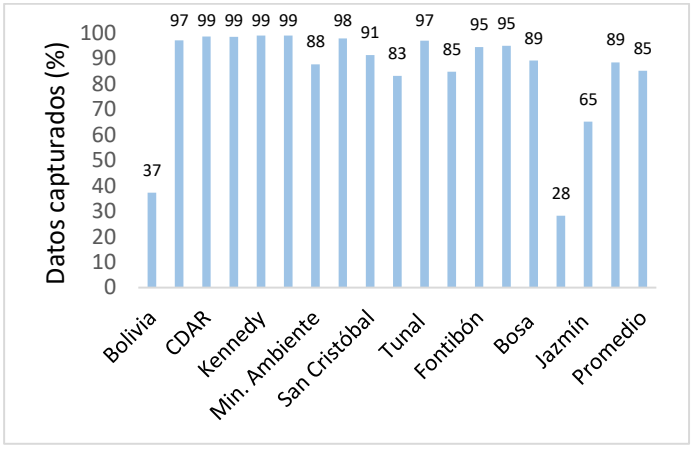


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación – Año 2020

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se disponía del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado. El promedio de los datos capturados para los monitores activos durante el 2020 fue del 86%.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por estación y parámetro – Año 2020

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B.	R.S.	Prec.	Prom.
Bolivia	39	37		34	38	39										37
Carvajal Sevillana	99	99	84	99	95	100	100	100	100						95	97
CDAR	98	99	99	97	99	93	100	100	100			100		99	100	99
Guaymaral	98	99	97	93			100	100	100	100	100	100	100	100	98	99
Kennedy	100	100	98	95	100	100	100	100	100			100		97	100	99
Las Ferias	97	98	99	99	99		100	100	100			100	100		99	99
MinAmbiente	95	99	99		22		100	100							100	88
Puente Aranda	97	99	99	94	89	99	100	100	100						100	98
San Cristóbal	98	98	99	22			100	100	100			100		99	100	91
Suba	100	98	99	20	21	98	100	100	100						97	83
Tunal	99	100	93	99	91	99	93	93	99			99	99	99	99	97
Usaquén	88	99	99	74	99	99	100	100	100						100	96
Fontibón	95	95	99	100	59	99	100	100	100			100				95
Móvil 7ma	99	99		66	84		99	99	100			100	100	100	100	95
Bosa	90	93	83	93	91	94	88	86	89			89	89	89		89
Ciudad Bolívar	30	30	30	30	30	30	29	31	31			31	31	7		28
Jazmín	73	63	43	44	73	72	65	51	74			74	76	76		65
Usme	85	86	82	82	88	89	91	72	98			98	98	93		89
Promedio	**88**	**89**	**88**	**73**	**74**	**85**	**92**	**90**	**93**	**100**	**100**	**91**	**86**	**86**	**99**	**86**

5.2. PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS

El proceso de validación busca validar o invalidar manualmente los datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2020 fue del 86% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos válidos por tipo de instrumento. Al comparar la Figura 5-3 con la Figura 5-1 se puede observar que la diferencia entre los porcentajes de datos válidos y datos disponibles fue muy alta, específicamente para las estaciones que iniciaron su monitoreo en 2020 (Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme). En cuanto a la disponibilidad de los datos de las estaciones de Bosa y Usme fue del 89%, sin embargo, los válidos fueron del 22% y 25% respectivamente, esto debido a que la estación Bosa inicia el monitoreo el 1 de febrero y la estación Usme el 1 de enero, pero se invalidan los datos hasta el 1 de octubre del 2020, día en que se pusieron en línea estas dos estaciones y se cuentan como válidos desde esa fecha, ya que antes las estaciones se encontraban en observación operativa. La situación de las estaciones Bolivia, Jazmín y Ciudad Bolívar se encuentra especificada en el apartado anterior.

Teniendo en cuenta lo anterior, el porcentaje de datos válidos para la mayoría de los parámetros fue menor al 85%, debido a que el cálculo de promedio para el porcentaje de representatividad se ve incidido por la instalación de las nuevas estaciones y los nuevos equipos. Aun así, las variables meteorológicas de temperatura a 8 y 20 metros y la precipitación, tuvieron un porcentaje de datos válidos del 99%, 99% y 98% respectivamente, pues en las nuevas estaciones no se instalaron este tipo de sensores.

Además de la baja representatividad, por lo explicado anteriormente, se presentaron algunos eventos que incidieron en la diminución de los porcentajes; respecto al CO, la estación Fontibón presento algunas fallas a lo largo del año, asimismo, los equipos de NO_2 de Usaquén y de la Móvil 7ma presentaron también fallos y los analizadores de SO_2 de las estaciones nuevas, tardaron un tiempo en estabilizarse, por lo que los datos debieron ser invalidados. Cabe resaltar que debido a la pandemia por COVID-19 se restringió el ingreso a algunas estaciones a realizar los mantenimientos preventivos y correctivos. El parámetro de PM_{10} tuvo una menor representatividad que el $PM_{2.5}$ debido a las fallas presentadas en las estaciones Usaquén y MinAmbiente para dichos analizadores.

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos válidos por estación de monitoreo, al compararla con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de datos invalidados fue igual o menor al 6% de los datos capturados para las estaciones antiguas. Es importante mencionar que el porcentaje de datos válidos para las estaciones nuevas es menor comparada con los datos capturados, porque fue necesario evaluar inicialmente el comportamiento de cada uno de los parámetros, antes de ponerlos en línea.

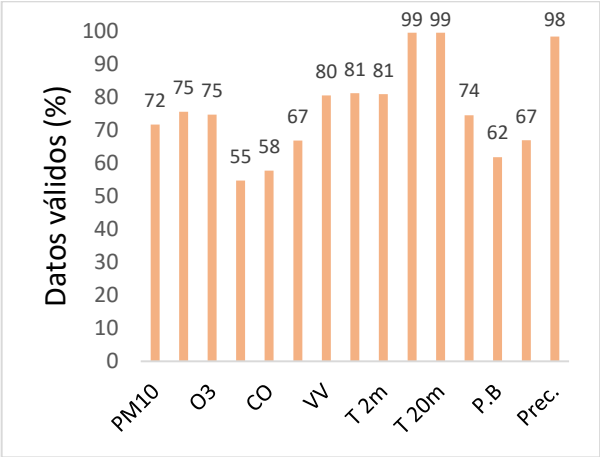


Figura 5-3 Porcentaje de datos válidos por tipo de instrumento – Año 2020

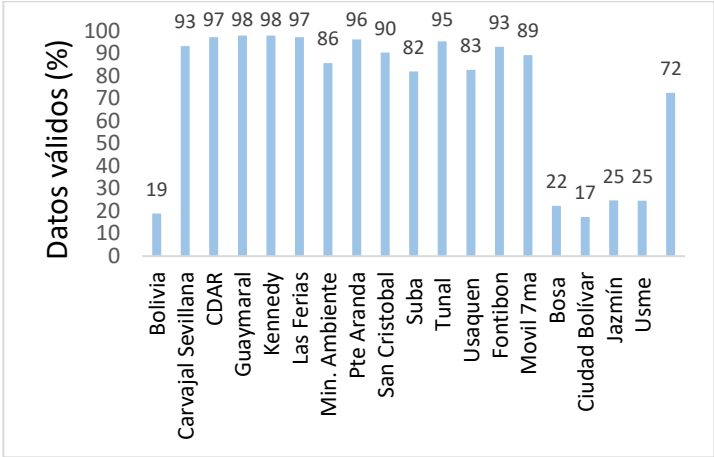


Figura 5-4 Porcentaje de datos válidos por estación – Año 2020

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radiación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2020 se exponen en la Tabla 5-2. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se disponía del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2020 fue del 72%.

Tabla 5-2 Porcentaje de datos válidos por estación y parámetro – Año 2020

estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B.	R.S.	Prec.	Prom.
Bolivia	19	20		18	19	19										19
Carvajal Sevillana	95	94	81	79	93	99	96	100	100						95	93
CDAR	93	97	95	94	96	93	100	100	100			100		99	100	97
Guaymaral	95	98	97	93			97	99	99	99	99	99	99	99	98	98
Kennedy	98	99	95	99	95	99	100	100	100			100		97	92	98
Las Ferias	92	93	98	97	99		93	99	100			100	100		99	97
MinAmbiente	88	98	90		24		99	100							100	86
Puente Aranda	93	98	98	95	78	99	100	100	100						100	96
San Cristóbal	94	93	98	22			99	99	99			99		99	99	90
Suba	96	96	96	20	20	97	98	100	100						97	82
Tunal	99	99	86	88	91	99	91	91	99			99	99	99	99	95
Usaquén	44	97	80	22	97	87	100	100	100						100	83
Fontibón	94	94	99	99	45	98	100	100	100			100				93
Móvil 7ma	98	98		15	76		99	96	100			100	100	100	100	89
Bosa	20	20	20	20	20	19	24	23	25			25	25	25	0	22
Ciudad Bolívar	21	21	13	21	21	9	20	21	21			21	21	0	0	17
Jazmín	25	23	24	25	25	24	25	25	25			25	25	25	0	25
Usme	25	21	24	25	24	25	25	25	25			25	25	25	0	25
Promedio	**72**	**75**	**75**	**55**	**58**	**67**	**80**	**81**	**81**	**99**	**99**	**74**	**62**	**67**	**98**	**72**

6. CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

En este capítulo se muestra el análisis realizado a partir de los datos de concentraciones de contaminantes registrados por los equipos de la RMCAB durante el año 2020. Este análisis incluye datos representados en tablas y gráficas, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 8 horas, según corresponda y la evaluación con los niveles máximos permisibles de acuerdo con los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 2254 de 2017 del MADS). El cálculo de cada promedio se realiza para los parámetros cuya representatividad temporal sea igual o superior al 75% para el periodo de análisis.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

Para la representación de las gráficas y tablas de las estaciones de monitoreo de la RMCAB, se usan las siguientes siglas:

Estación	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	Centro de Alto Rendimiento
Sigla	**GYR**	**USQ**	**SUB**	**BOL**	**LFR**	**CDAR**
Estación	MinAmbiente	Móvil 7ma	Fontibón	Puente Aranda	Jazmín	Kennedy
Sigla	**MAM**	**MOV**	**FTB**	**PTE**	**JAZ**	**KEN**
Estación	Carvajal -Sevillana	Bosa	Tunal	Ciudad Bolívar	San Cristóbal	Usme
Sigla	**CSE**	**BOS**	**TUN**	**CBV**	**SCR**	**USM**

Adicionalmente la representación de las concentraciones se realiza por grupos de estaciones, teniendo en cuenta la cercanía entre ellas y el comportamiento de los contaminantes para cada zona.

6.1. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS (PM_{10})

El PM_{10} corresponde a todas las partículas con diámetro menor o igual a 10 µm, que se componen de sustancias inorgánicas y orgánicas, las cuales provienen de las fuentes de emisión móviles y fijas, en procesos de combustión, y procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} registrados por las estaciones de la RMCAB durante el 2020, además de incluir las estadísticas respecto a promedios, valores máximos diarios y excedencias a la norma, y en la Figura 6-1 se representan los promedios anuales de PM_{10} para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. Solamente la estación Carvajal-Sevillana excedió el valor de la norma anual (50 µg/m^3), con un promedio de 64.0 µg/m^3, siendo además la concentración más alta registrada en la ciudad; por otro lado, las estaciones Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente, en la zona central de la ciudad, registraron las concentraciones más bajas, con 21.6 y 20.6 µg/m^3 respectivamente.

Con respecto a las excedencias 24h, la estación Carvajal-Sevillana registró el mayor número de datos sobre la norma con 101 registros, seguida de la estación Bolivia con 13 excedencias, y Móvil 7ma con 12 excedencias. Las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín, Usme y Usaquén registraron menos del 75% de datos válidos en el 2020; en las cinco primeras estaciones debido a que entraron en funcionamiento en el mes de octubre de 2020, y Usaquén debido a que se invalidaron gran parte de los datos por comportamiento atípico de los mismos.

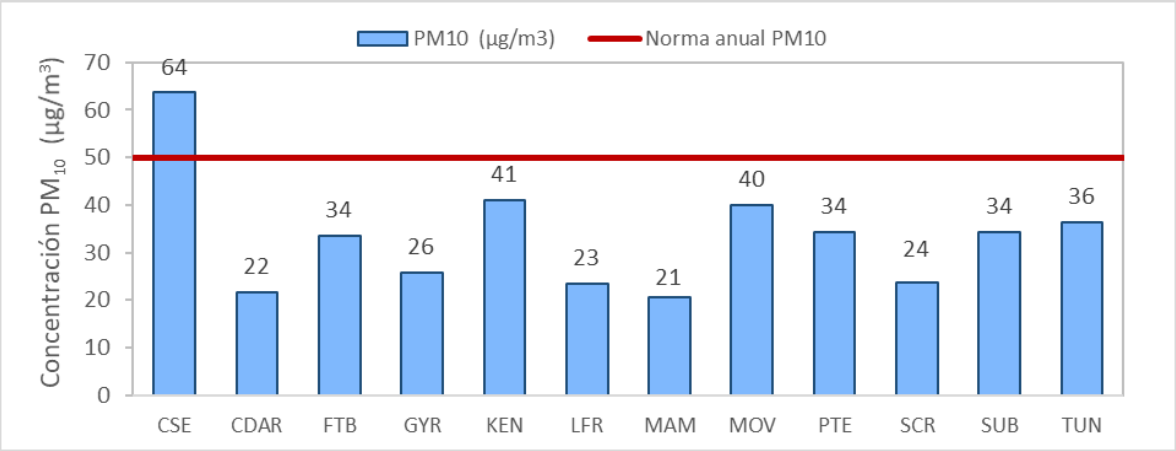


Figura 6-1 Concentraciones promedio anual de PM_{10} – Año 2020

Tabla 6-1 Estadísticas de las concentraciones anuales de PM_{10} – Año 2020

Estación	Prom. anual PM_{10} (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 24h	Estación	Prom. anual PM_{10} (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 50 µg/m³ Norma diaria: 75 µg/m³					**Norma anual: 50 µg/m³ Norma diaria: 75 µg/m³**				
BOL*	55.3	19%	94.7	13	**LFR**	23.5	92%	86.9	2
BOS*	37.3	19%	66.7	0	**MAM**	20.6	90%	95.8	1
CSE	63.6	96%	172.4	101	**MOV**	40.0	98%	124.5	12
CDAR	21.6	96%	84.1	1	**PTE**	34.2	95%	112.5	5
CBV*	43.8	21%	91.6	3	**SCR**	23.6	95%	108.4	3
FTB	33.6	95%	108.7	4	**SUB**	34.2	97%	95.7	10
GYR	25.7	94%	93.1	1	**TUN**	36.5	99%	114.2	8
JAZ*	32.3	25%	68.4	0	**USQ***	23.9	43%	61.5	0
KEN	41.1	99%	104.7	9	**USM***	30.4	25%	55.1	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la Figura 6-2 se representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de PM_{10} por estación para el año 2020, el cual está elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. De acuerdo con esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental de la ciudad, en la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con un rango de concentraciones entre 50 y 64 µg/m^3, seguidas de la zona occidental y norte con variación de concentraciones entre 31 y 36 µg/m^3. Las concentraciones más bajas se registraron hacia el centro y suroriente de la ciudad, con concentraciones menores a 30 µg/m^3. La distribución espacial de las concentraciones se mantuvo similar a los años anteriores, teniendo en cuenta que en el 2020 hubo cambios en el funcionamiento de las fuentes de emisión en la ciudad.

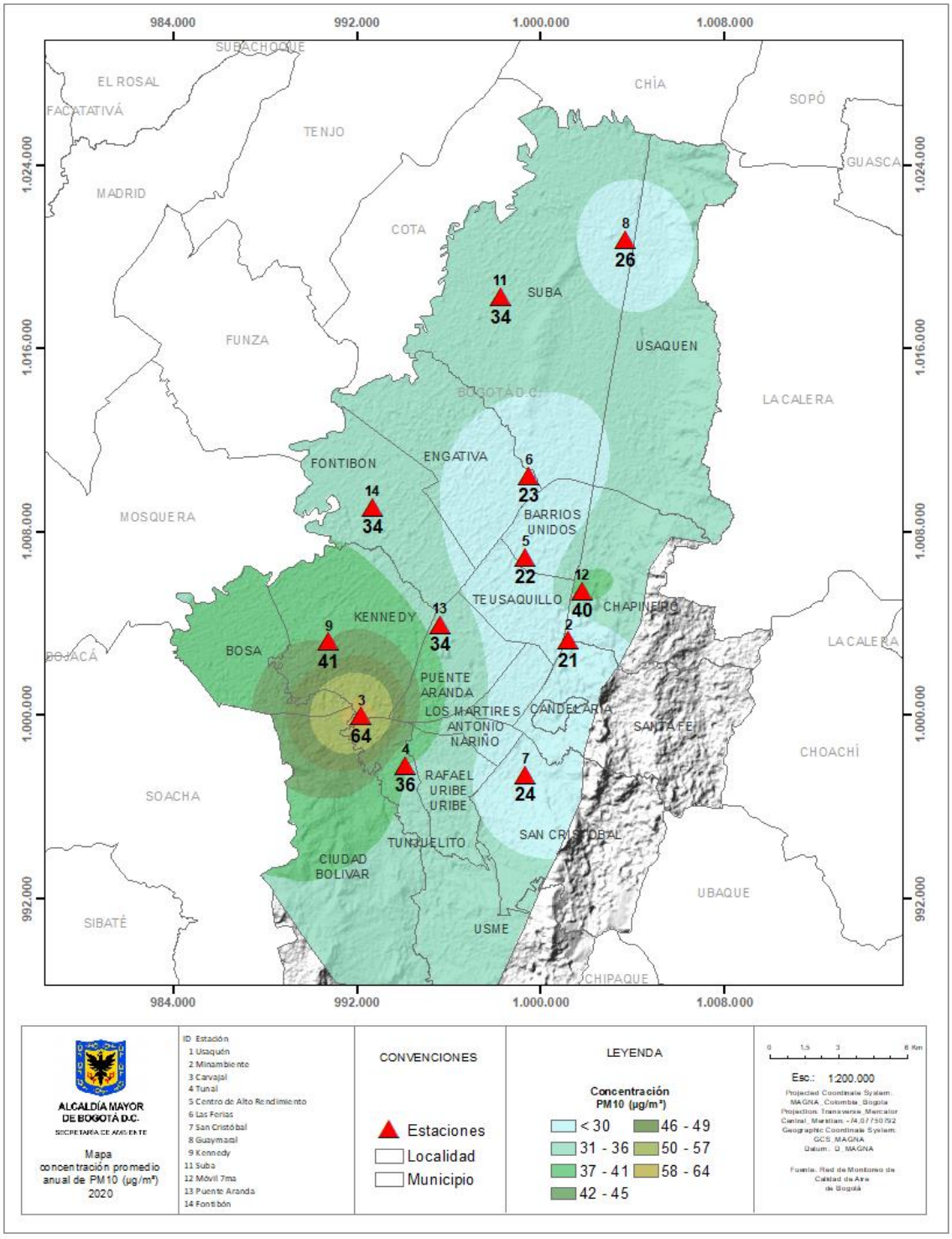


Figura 6-2 Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{10} del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

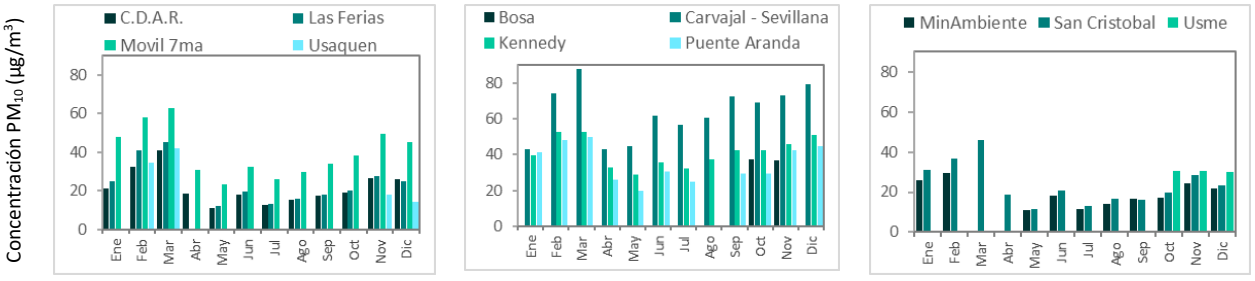
6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

La Figura 6-3 muestra el comportamiento de las concentraciones mensuales de PM_{10} por cada estación de monitoreo. Se observa que las concentraciones se incrementaron notablemente en los tres primeros meses del año, alcanzando las concentraciones más altas en marzo, luego hubo un descenso importante en los meses de abril y mayo, debido a las restricciones de movilidad y de actividad en el marco de las acciones contra la propagación del COVID-19. Desde el mes de junio se evidenció un aumento gradual de las concentraciones hasta el mes de diciembre, siendo los dos últimos meses del año los que registraron concentraciones más altas en el segundo semestre del año.

Las estaciones del sur y suroccidente (especialmente Carvajal-Sevillana) registraron las concentraciones más altas en la ciudad a lo largo del año, mientras que los valores más bajos se observaron en las estaciones del centro y suroriente. Al noroccidente la estación Bolivia registró las concentraciones más altas de la zona debido a la posible influencia de obras de adecuación ejecutadas en la PTAR Salitre.

En la Figura 6-4 se evidencia el comportamiento del contaminante PM_{10} durante una semana y un día típico del año para cada estación de monitoreo. Las concentraciones más altas se observaron el martes, con una disminución ligera hacia el jueves, y un descenso más evidente hasta el domingo, día que registró las concentraciones más bajas en la semana. En este año se observó una reducción de la acumulación de las concentraciones a lo largo de la semana, adicionalmente en las estaciones que registraron bajas concentraciones hubo una menor variación de las concentraciones a lo largo de la semana.

En la Figura 6-5 se observa la variación horaria de las concentraciones de PM_{10} en un día promedio para el año 2020. En la mayoría de las estaciones de monitoreo el comportamiento durante el día fue similar, las concentraciones más bajas se evidencian en la madrugada hasta las 6 de la mañana, hay un incremento notable desde las 7 a.m. y se alcanza el pico más alto entre las 8 y las 9 a.m. Después se reducen gradualmente y se mantienen estables para las estaciones del sur y del norte de la ciudad. En la zona occidental de la ciudad se observó un aumento leve hacia las 9 p.m., y luego descienden nuevamente. Solamente en Bolivia se observó un comportamiento atípico en el cual las concentraciones ascienden gradualmente desde medio día, por lo cual la influencia de las fuentes de emisión predominaba en la tarde, a diferencia de las demás estaciones, en las cuales las condiciones de variación de temperatura y reducción de la velocidad del viento en la mañana inciden para que se acumule mayor contaminación en la hora de mayor actividad vehicular de la mañana.



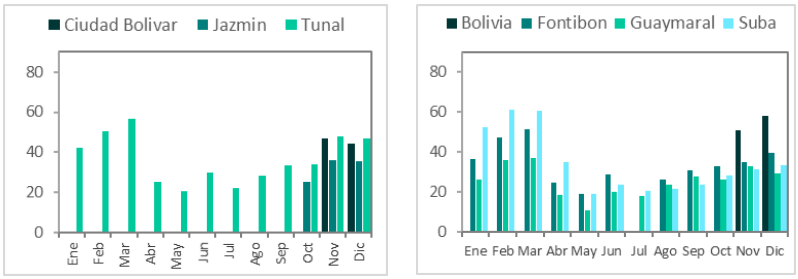


Figura 6-3 Concentraciones mensuales de PM_{10} por estación – Año 2020

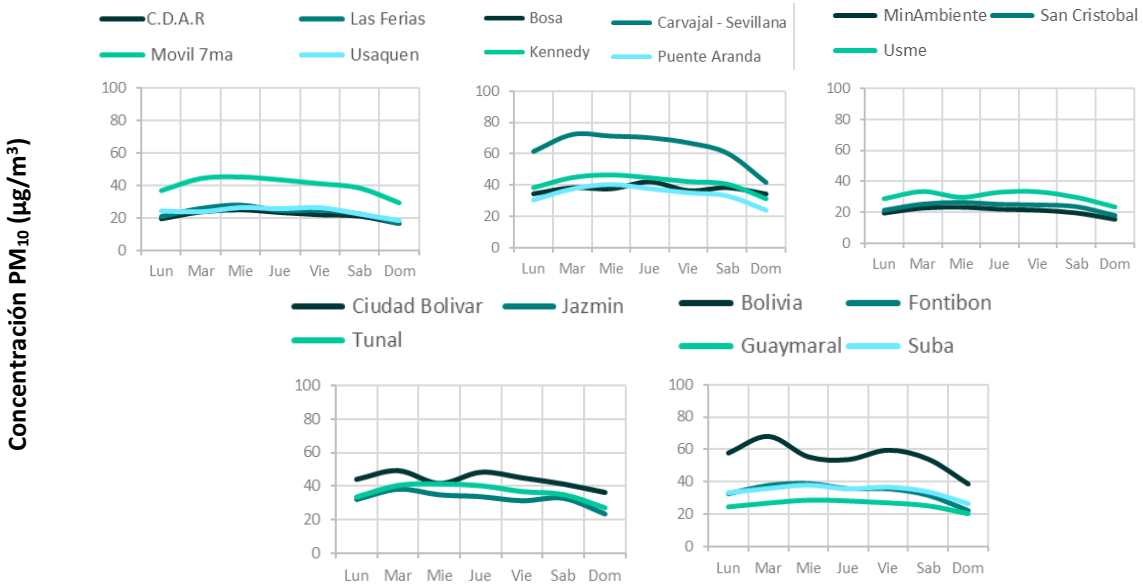


Figura 6-4 Comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020

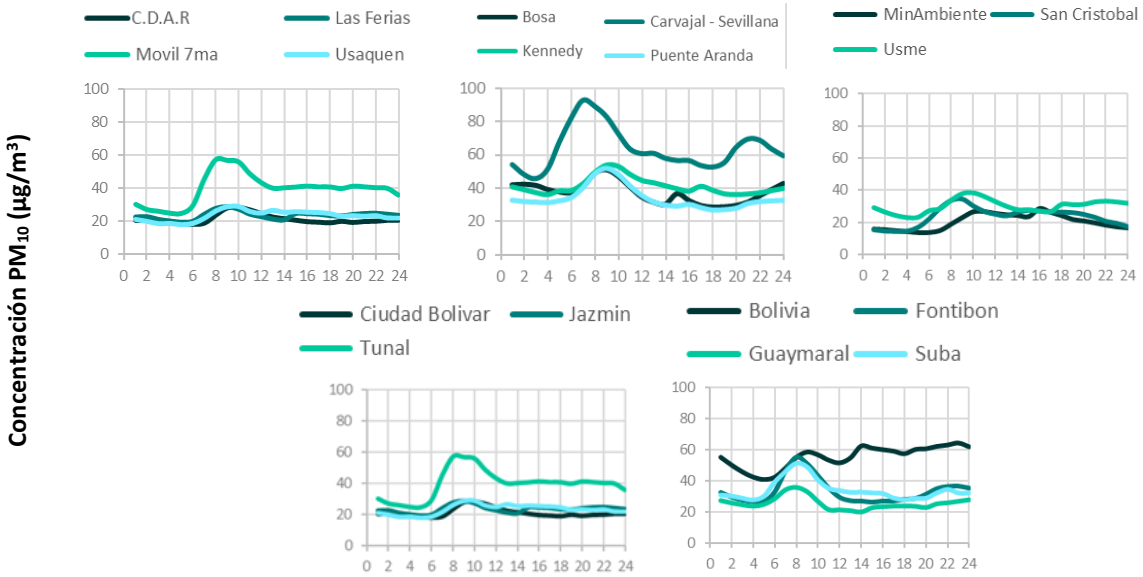


Figura 6-5 Comportamiento horario de las concentraciones de PM_{10} – Año 2020

6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL PM_{10} POR ESTACIÓN

Los promedios anuales de concentración de PM_{10} para los años 2016 a 2020 se muestran en la Figura 6-6. Se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, con lo cual todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana cumplen con el nivel máximo permisible desde 2018. En las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal y Guaymaral se observó un aumento de la concentración respecto al 2019, siendo más evidente en la primera estación con un incremento de 8 µg/m^3 en el 2020. El registro anual más alto de PM_{10} de los últimos cinco años se presentó en Carvajal-Sevillana en el año 2016 (76 µg/m^3), y el más bajo en la estación MinAmbiente en el año 2020 (21 µg/m^3).

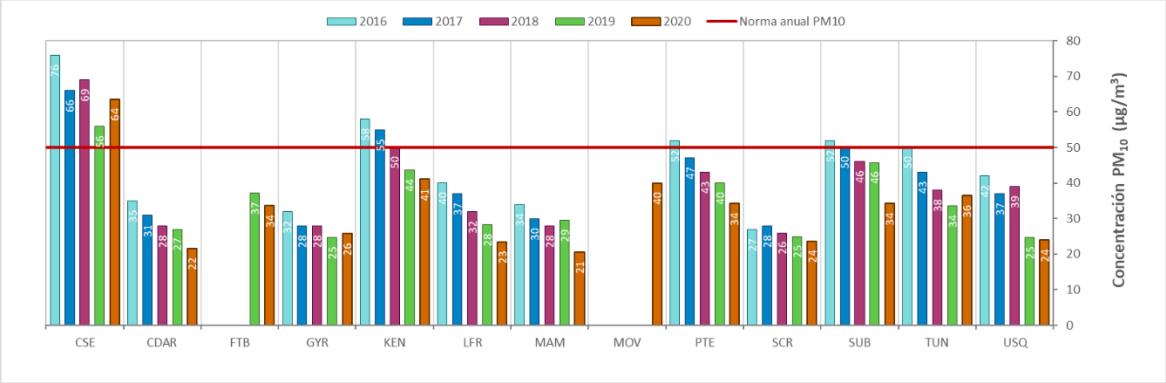


Figura 6-6 Concentraciones anuales de PM_{10} años 2016 a 2020

6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS ($PM_{2.5}$)

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es igual o inferior a 2.5 µm, compuestas de diferentes sustancias tales como metales pesados u hollín, las cuales provienen de todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales.

6.2.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-2 se relacionan los promedios anuales de $PM_{2.5}$ registrados en el año 2020, los valores máximos, porcentaje de datos válidos y excedencias al nivel máximo permisible en resolución temporal diaria, y en la Figura 6-7 se representan los promedios anuales de $PM_{2.5}$ para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. La concentración más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana con 29.2 µg/m^3, hacia el suroccidente de la ciudad, mientras que la concentración anual más baja se evidenció en San Cristóbal, con 12.1 µg/m^3 en la zona suroriente.

En relación con las excedencias a la norma diaria (37 µg/m^3), la estación Carvajal-Sevillana registró el mayor número de datos diarios sobre el límite máximo, con 80 datos, seguida de la estación Móvil 7ma con 41 datos. Las estaciones Bolivia, Bosa, Jazmín y Usme no registraron excedencias de $PM_{2.5}$.

Los monitores de $PM_{2.5}$ de las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme registraron menos del 75% de datos válidos durante el año 2020, debido a que dichas estaciones fueron

instaladas hasta el mes de octubre de 2020. Por ello los promedios estimados son indicativos, ya que solo representan una parte del comportamiento del contaminante durante el año.

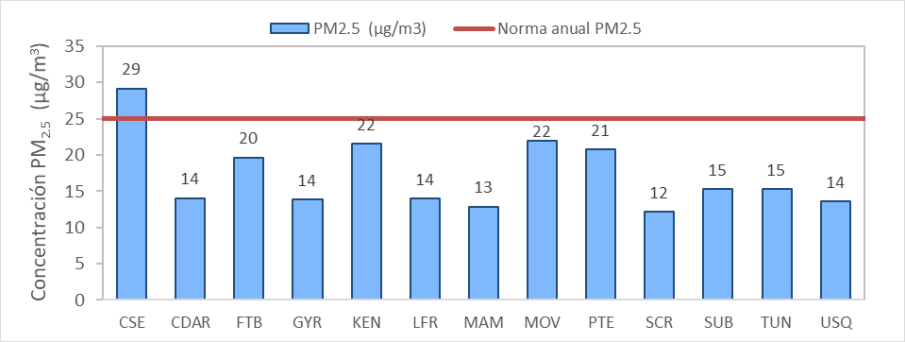


Figura 6-7 Concentraciones promedio anual de $PM_{2.5}$ – Año 2020

Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ – Año 2020

Estación	Prom. anual $PM_{2.5}$ (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m³ Norma diaria: 37 µg/m³				
BOL*	17.6	19%	28.3	0
BOS*	15.6	19%	32.4	0
CSE	29.2	94%	71.8	80
CDAR	14.0	97%	53.5	10
CBV*	22.6	21%	48.3	4
FTB	19.7	94%	60.9	17
GYR	13.9	98%	50.0	8
JAZ*	15.7	23%	36.6	0
KEN	21.6	100%	63.3	26

Estación	Prom. anual $PM_{2.5}$ (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m³ Norma diaria: 37 µg/m³				
LFR	14.0	91%	57.0	10
MAM	12.9	99%	46.9	7
MOV	22.0	99%	66.0	41
PTE	20.8	100%	60.8	25
SCR	12.1	90%	46.3	6
SUB	15.3	96%	56.5	10
TUN	15.3	99%	56.5	9
USQ	13.6	98%	53.6	11
USM*	15.1	20%	36.6	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la Figura 6-8 se representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de $PM_{2.5}$ para 2020, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona suroccidental, en donde confluyen las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con concentraciones entre 24 y 29 µg/m³. Las concentraciones más bajas se registraron al oriente de la ciudad, con valores entre 12 y 16 µg/m³. La distribución espacial del $PM_{2.5}$ es similar a la del PM_{10}, en la cual las mayores concentraciones suelen registrarse hacia el occidente de la ciudad y las más bajas en el oriente, esto se debe principalmente a la influencia de la dirección del viento, que tiende a ser se oriente a occidente durante la mayor parte del tiempo, además de las variaciones de temperatura y precipitación que inciden en una mayor dispersión y remoción de contaminantes en la zona oriental de la ciudad.

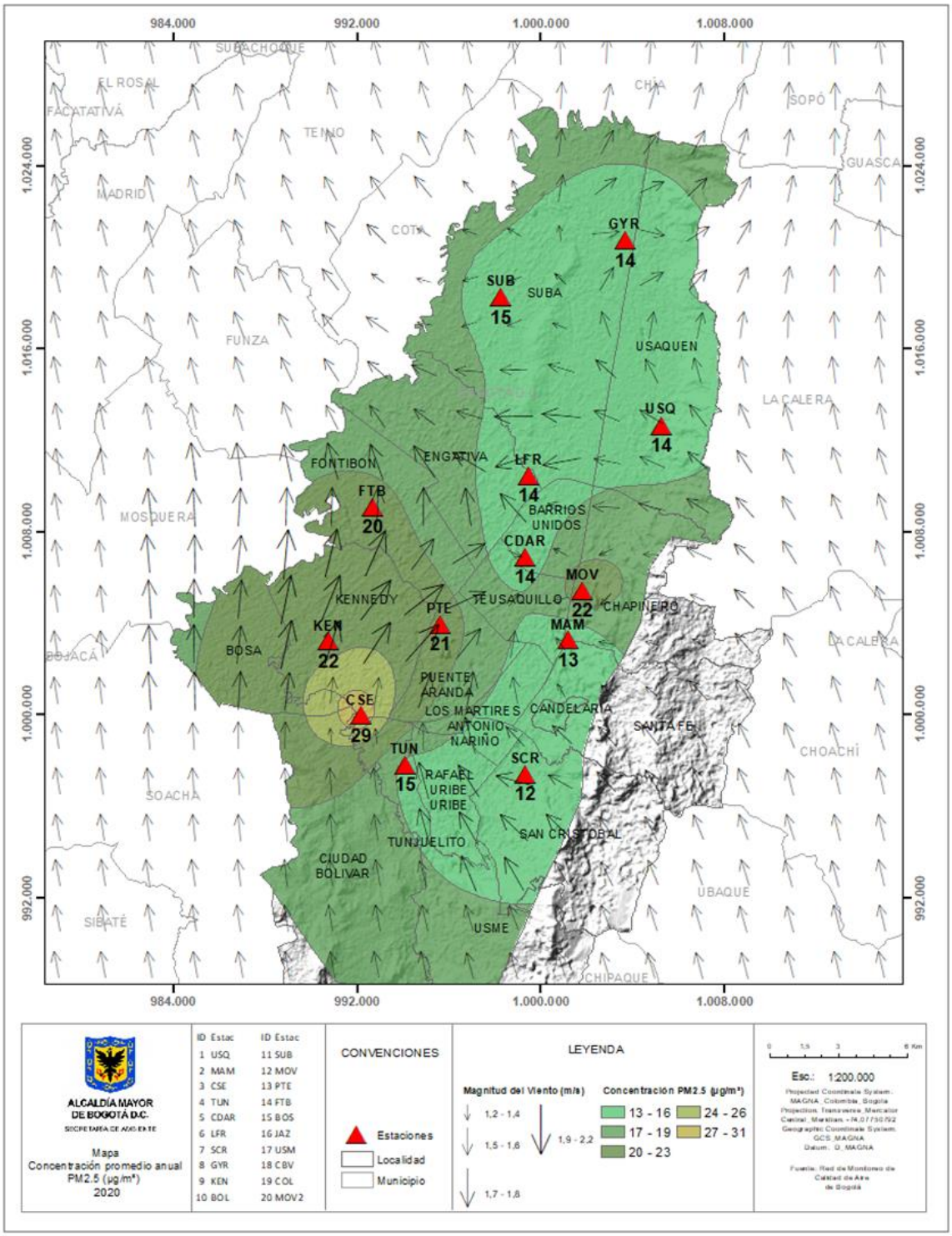


Figura 6-8 Distribución espacial de los promedios anuales de $PM_{2.5}$ del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

Durante el año 2020, se evidenciaron cambios en las concentraciones a lo largo del año, de acuerdo con las variaciones en los parámetros meteorológicos y el comportamiento de las fuentes de emisión (Figura 6-9). En los primeros tres meses se registraron las concentraciones más altas, siendo los valores del mes de marzo los más altos del año, después hubo un descenso pronunciado hasta el mes de julio en la mayoría de las estaciones, y a partir de este mes hubo un incremento gradual hasta diciembre. Los promedios mensuales más altos se evidenciaron en la zona suroccidente, y en las estaciones Móvil 7ma y Ciudad Bolívar, y los más bajos en la zona norte, en las estaciones Suba y Guaymaral.

Las concentraciones elevadas en el primer trimestre de 2020 estuvieron influenciadas por las condiciones meteorológicas que desfavorecieron la dispersión de contaminantes y por el transporte de contaminantes provenientes de los incendios forestales del oriente del país y de Venezuela, registrando concentraciones altas de material particulado hasta mediados de abril. En los siguientes meses se evidenció en mayor medida el efecto de las restricciones a la movilidad y a varias actividades comerciales e industriales en la ciudad y en los municipios aledaños, además del mejoramiento en las condiciones meteorológicas para la dispersión de contaminantes.

El comportamiento de una semana promedio se observa en las gráficas de la Figura 6-10. Al igual que las concentraciones de PM_{10}, se observa que las concentraciones fueron más altas el martes, permanecieron relativamente estables hasta el jueves y descendieron en los viernes, sábados y domingos. Cabe resaltar que para las estaciones nuevas instaladas en 2020 el comportamiento corresponde solamente al último trimestre del año, por lo cual las variaciones en las concentraciones pueden tener un patrón diferente al de las demás estaciones de la misma zona.

En la Figura 6-11 se representa el comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en un día promedio de 2020. Al inicio del día se registran las concentraciones más bajas, y empiezan a incrementarse hacia las 6 a.m., evidenciando los datos más altos entre las 8 y las 9 a.m. En la estación Carvajal-Sevillana este aumento se observa desde las 6 de la mañana, ya que la afluencia de tráfico inicia antes que en otras zonas de la ciudad. Posteriormente las concentraciones descienden y se mantienen estables durante la tarde, y se incrementan en menor proporción hacia las 8 p.m., cuando hay un aumento en el tráfico por el retorno de las personas a sus viviendas. Las estaciones de monitoreo ubicadas cerca de vías de alto tráfico registran las concentraciones más elevadas en cada zona de la ciudad, tales como la Autopista Sur (Carvajal-Sevillana) y Carrera 7ma (Móvil 7ma).

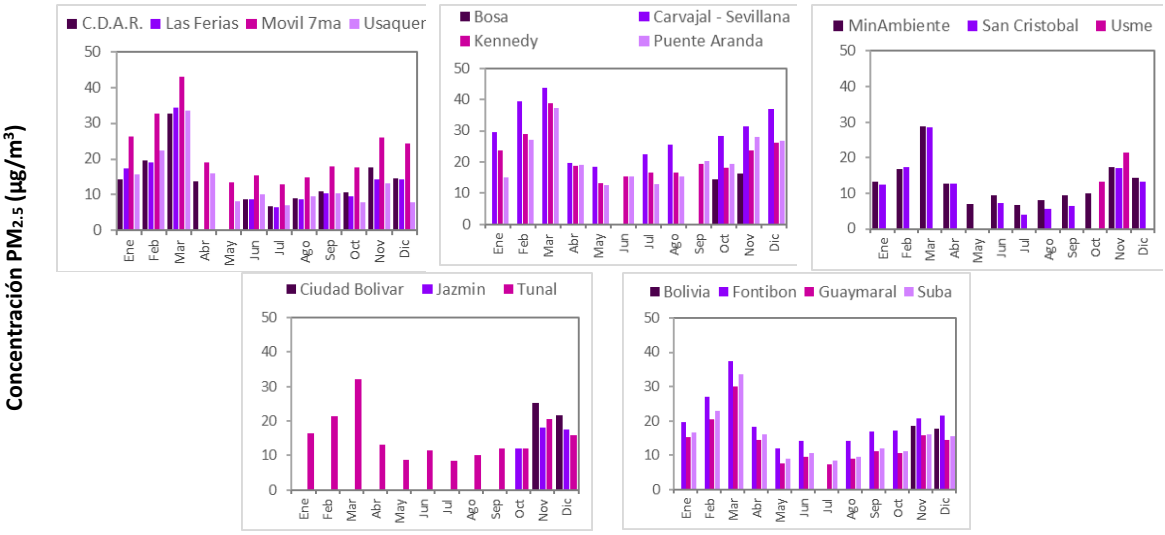


Figura 6-9 Concentraciones mensuales de $PM_{2.5}$ por estación – Año 2020

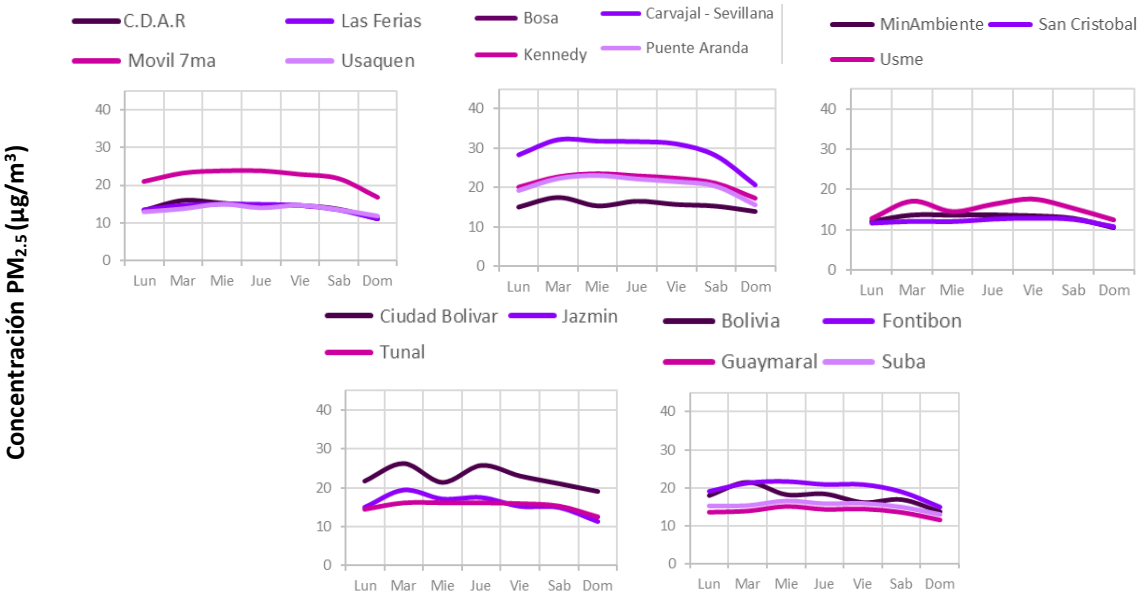
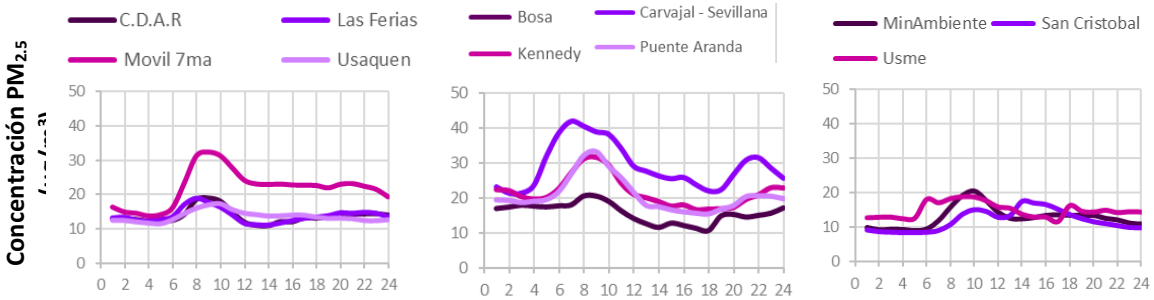


Figura 6-10 Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020



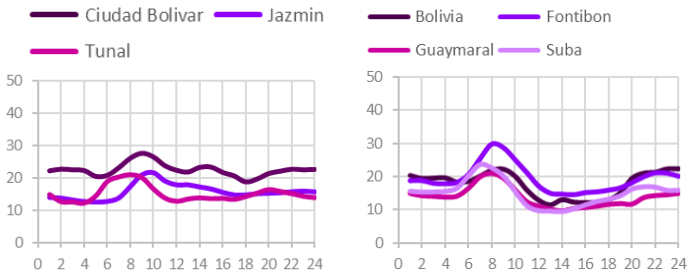


Figura 6-11 Comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ – Año 2020

6.2.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN

En la Figura 6-12 se representan los promedios anuales de $PM_{2.5}$ para los años 2016 a 2020. Se observa que las concentraciones del año 2020 en general fueron menores o similares a las de los años anteriores, y a excepción de Carvajal-Sevillana, se han mantenido las concentraciones anuales por debajo del nivel máximo permisible (25 µg/m^3). En la estación Fontibón se observó el aumento de 1 µg/m^3 con respecto al 2019, y en Puente Aranda se evidenció un incremento de 4 µg/m^3 en relación con el 2018. Las restricciones en las actividades de la ciudad y en la circulación de vehículos incidieron en la reducción generalizada de las concentraciones de $PM_{2.5}$, sin embargo, el primer trimestre del año la ciudad tuvo condiciones normales de funcionamiento y además hubo influencia en las concentraciones de material particulado provenientes de incendios forestales, por lo cual no se ha evidenciado una tendencia a la reducción de las concentraciones generalizada en la ciudad.

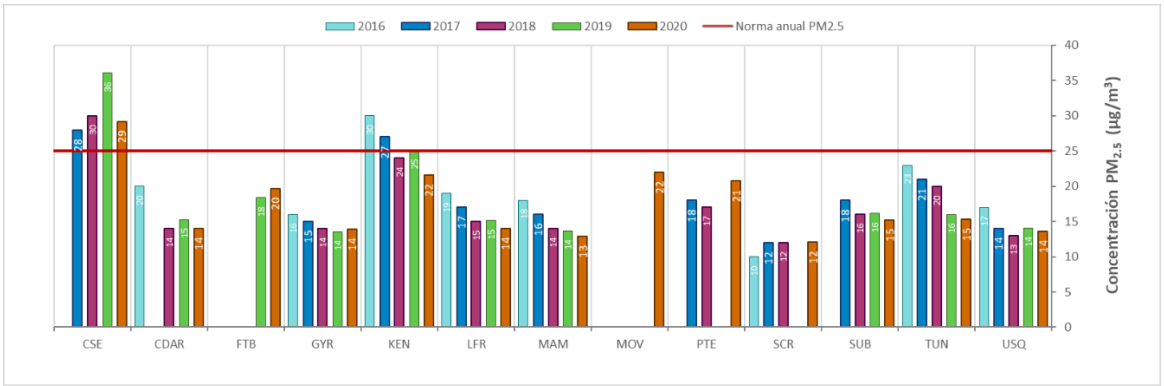


Figura 6-12 Concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ años 2016 a 2020

6.3. OZONO (O_3)

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas bajas de la atmósfera, pero mientras en la estratósfera es de tipo natural, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, en las capas bajas es perjudicial en los seres vivos (ozono trosposférico), ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmosfera, sino que es producido por la reacción química entre el oxígeno natural

del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores de la reacción química en presencia de la luz solar.

6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL O_3 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 contiene los promedios anuales de concentración de ozono para el año 2020, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, el porcentaje de datos válidos, valores máximos y número de excedencias a la norma, y en la Figura 6-13 se observan las concentraciones promedio anual de 2020 para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. De acuerdo con lo anterior, se observa que la concentración anual más alta se registró en la estación Kennedy, con 36.410 µg/m^3, mientras que la concentración más baja se obtuvo en la estación Puente Aranda, con 17.592 µg/m^3.

La estación Centro de Alto Rendimiento registró el mayor número de excedencias, con 133 datos sobre la norma para un tiempo de exposición 8 horas, seguida de Kennedy con 99 excedencias. Las estaciones que iniciaron su funcionamiento en octubre de 2020 (Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme) registraron entre el 20 y el 24% de representatividad temporal de los datos.

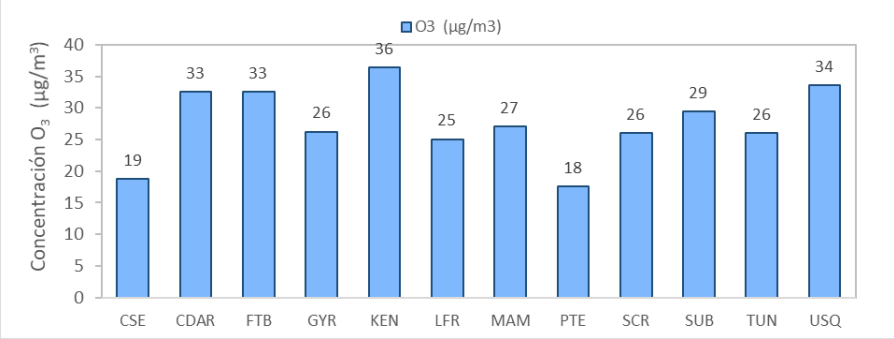


Figura 6-13 Concentraciones promedio anual de O_3 – Año 2020

Tabla 6-3 Estadísticas de las concentraciones anuales de O_3 – Año 2020

Estación	Prom. anual O_3 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 8h
Norma media móvil 8 horas: 100 µg/m³				
BOS*	25.961	20%	84.317	0
CSE	18.744	81%	86.475	0
CDAR	32.586	95%	154.458	133
CBV*	24.677	13%	67.934	0
FTB	32.591	100%	135.378	38
GYR	26.256	97%	136.065	30
JAZ*	26.366	24%	86.573	0
KEN	36.410	95%	132.729	99

Estación	Prom. anual O_3 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 8h
Norma media móvil 8 horas: 100 µg/m³				
LFR	25.056	98%	95.083	0
MAM	27.079	90%	123.508	12
PTE	17.592	98%	92.582	0
SCR	26.043	98%	85.764	0
SUB	29.468	97%	114.553	23
TUN	26.048	85%	87.628	0
USQ	33.574	80%	130.547	20
USM*	25.549	24%	83.459	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

La Figura 6-14 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de O_3 registradas durante el 2020, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging. Este contaminante no tiene un comportamiento homogéneo en la ciudad, y es variable según la época del año. En la zona occidental y la zona nororiental de la ciudad se observaron concentraciones entre 29 y 34 µg/m^3, en la zona de influencia de las estaciones Puente Aranda y Carvajal-Sevillana se observaron las concentraciones más bajas, menores a 19 µg/m^3.

6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O_3 POR ESTACIÓN

El comportamiento del O_3 para cada uno de los meses del año se presenta en la Figura 6-15. Se observa que las concentraciones se incrementaron en la mayoría de las estaciones en el mes de marzo 2020, siendo el promedio de la estación Centro de Alto Rendimiento el más alto del mes. Al norte de la ciudad y en la estación Kennedy también se observó un aumento notable de las concentraciones en relación con los meses previos. En los siguientes meses se observó un descenso en las concentraciones hasta obtener los valores más bajos en el mes de junio, y luego se registró un nuevo incremento hacia el mes de octubre, en el cual los registros más altos se observaron en Kennedy y Usaquén. Hacia final de año en algunas estaciones las concentraciones disminuyeron, mientras que en otras se mantuvieron en valores similares.

El comportamiento del ozono para una semana promedio en el 2020 (Figura 6-16) muestra que las concentraciones se incrementan con el paso de los días, aunque hay un ligero descenso el miércoles, y se incrementa nuevamente hasta alcanzar las concentraciones más altas los domingos. Adicionalmente, en la Figura 6-17 se observa el comportamiento de un día promedio en el 2020. Se observa que el contaminante se encuentra influenciado por la radiación solar, con lo cual las concentraciones más altas se registran entre las 12 y las 2 p.m., mientras que las concentraciones más bajas se evidencian entre las 8 p.m. y las 7 a.m.

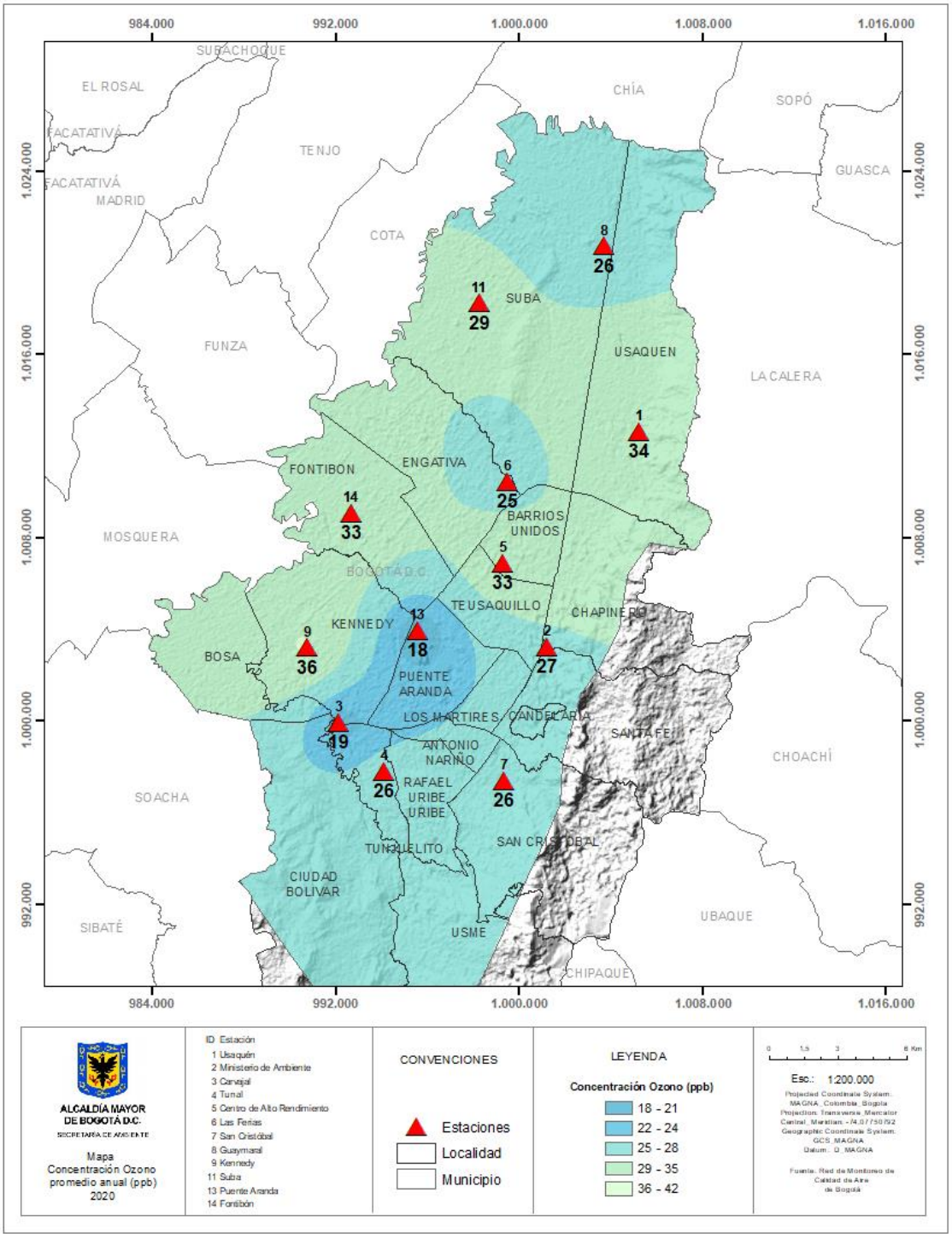


Figura 6-14 Distribución espacial de los promedios anuales de O_3 del año 2020 con base en el método de interpolación Kriging

En la Figura 6-17 también se observa el comportamiento del O_3 en un día promedio del año 2020. Los niveles de concentración se hallan influenciados por la variación de la radiación solar durante el día, registrando los picos más altos hacia la 1 p.m. En la mañana las concentraciones son bajas, y descienden hacia las 6 a.m., por influencia en el aumento de las concentraciones de NO_2, aumentan hasta el pico después de mediodía, y descienden nuevamente tras la reducción de la radiación solar.

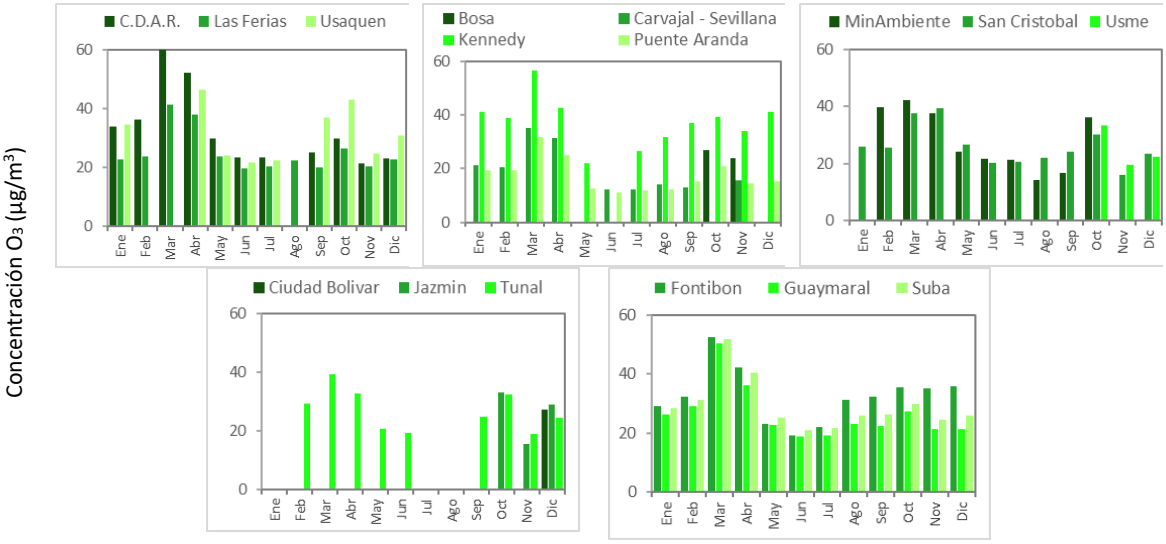


Figura 6-15. Concentraciones mensuales de O_3 por estación – Año 2020

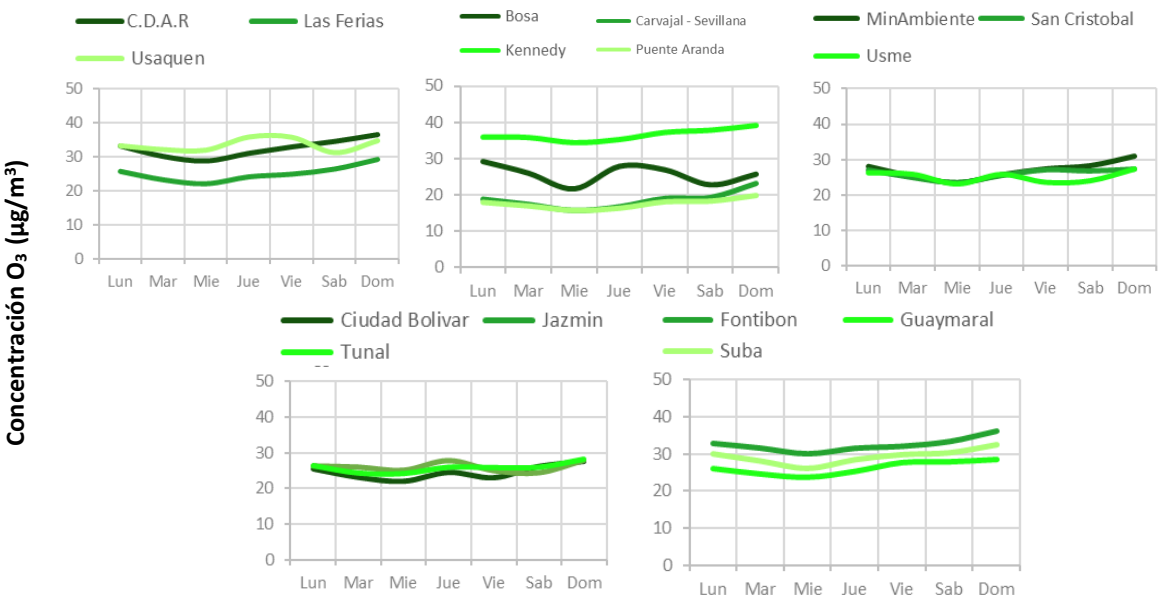


Figura 6-16. Comportamiento diario de las concentraciones de O_3 – Año 2020

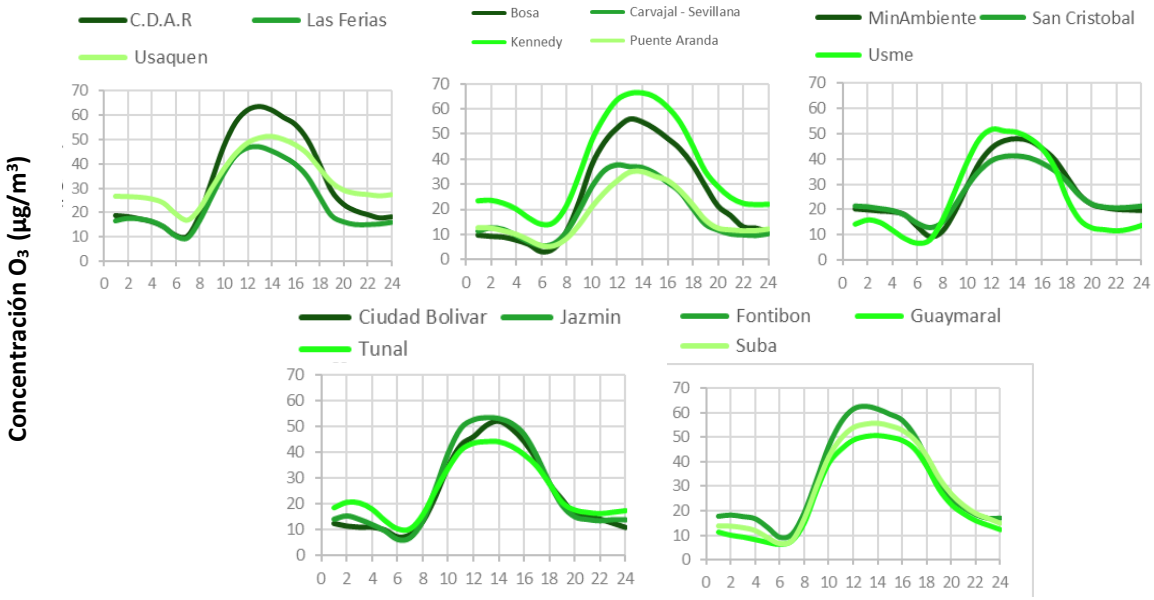


Figura 6-17 Comportamiento horario de las concentraciones de O_3 – Año 2020

6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL O_3 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-18 se observan las concentraciones anuales de O_3 para los años 2016 a 2020. Se evidencia que hay una tendencia al incremento de las concentraciones de este contaminante en la mayoría de las estaciones, siendo los aumentos más notables en Fontibón y Kennedy con 9 y 8 µg/m^3 respectivamente con relación al 2019. Las concentraciones más altas en este periodo se registraron en Usaquén (38 µg/m^3 en 2016) y en Kennedy (36 µg/m^3 en 2020). Las concentraciones han variado en el tiempo, influenciadas por los cambios en las variables meteorológicas de cada época del año y por la variación en las concentraciones de los precursores de ozono.

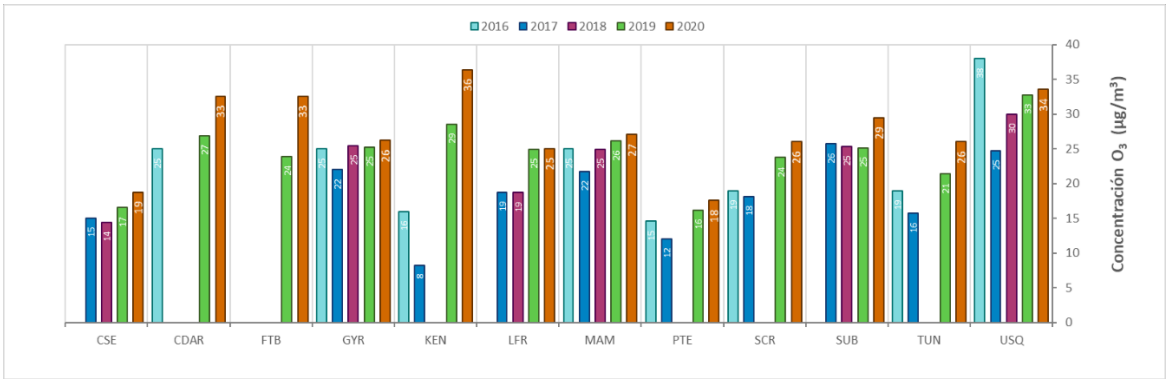


Figura 6-18 Concentraciones anuales de O_3 años 2016 a 2020

6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2)

El NO_2 es uno de los gases de los óxidos de nitrógeno. Es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias, además de contribuir a la formación del smog fotoquímico.

6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-4 resume los parámetros calculados de concentraciones promedio anuales de NO_2 para el año 2020, porcentaje de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias a la norma horaria, y la Figura 6-19 muestra las concentraciones anuales de NO_2 para las estaciones con datos representativos. Se evidencia que los promedios anuales más altos se registraron en la zona suroccidental, en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, con 46.8 y 33.9 µg/m^3 respectivamente, mientras que las concentraciones más bajas se registraron en Guaymaral y Suba, con 19.7 y 22.0 µg/m^3.

Durante el año 2020 no se registraron excedencias a la norma horaria (200 µg/m^3). Los analizadores de NO_2 de las estaciones Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín, San Cristóbal, Usaquén y Usme registraron menos del 75% de representatividad temporal debido a que se instalaron en el mes de octubre de 2020.

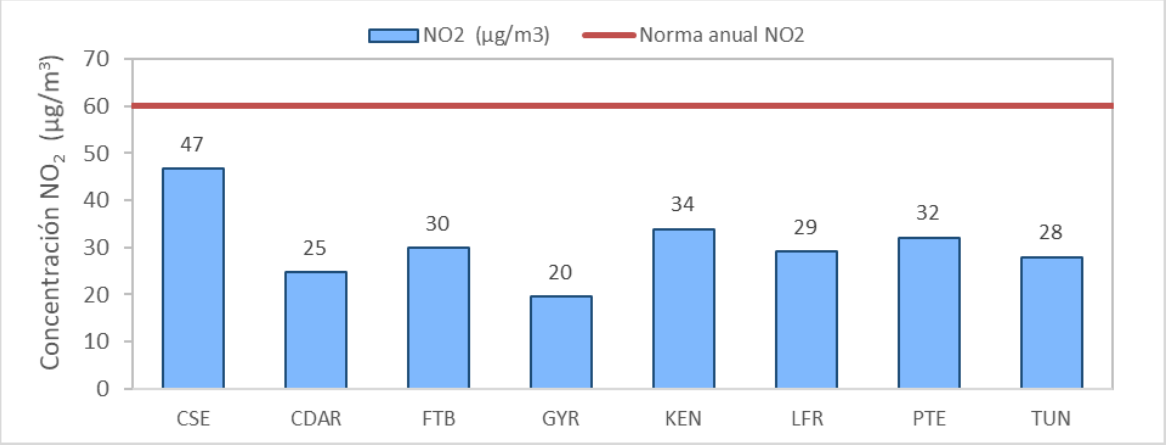


Figura 6-19 Concentraciones promedio anual de NO_2 – Año 2020

Tabla 6-4 Estadísticas de las concentraciones anuales de NO_2 – Año 2020

Estación	Prom. anual NO_2 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 1h	Estación	Prom. anual NO_2 (µg/m³)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m³)	No. Exced. 1h
Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³					**Norma anual: 60 µg/m³ Norma horaria: 200 µg/m³**				
BOL*	30.2	17%	85.7	0	KEN	33.9	99%	121.1	0
BOS*	20.5	19%	87.3	0	LFR	29.2	97%	130.9	0
CSE	46.8	82%	148.9	0	PTE	32.1	95%	177.7	0
CDAR	24.7	95%	126.6	0	SCR*	28.8	21%	147.2	0
CBV*	29.3	21%	108.5	0	SUB*	22.0	19%	74.5	0
FTB	29.8	100%	120.9	0	TUN	27.9	88%	168.1	0
GYR	19.7	92%	84.2	0	USQ*	25.1	22%	87.1	0
JAZ*	37.0	25%	139.9	0	USM*	32.3	25%	126.9	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.4.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO_2 POR ESTACIÓN

La Figura 6-20 muestra las concentraciones mensuales de NO_2 en el año 2020 para cada estación de monitoreo. Se evidencia que las concentraciones se incrementaron gradualmente en los primeros meses del año, alcanzando los niveles más altos en el mes de marzo. Luego los valores descendieron hasta el mes de junio, sin embargo, en estaciones como Carvajal-Sevillana y Fontibón se observó un aumento gradual de las concentraciones desde el mes de mayo. En el segundo semestre hubo una tendencia al incremento de las concentraciones, registrando los niveles más altos del año en el último trimestre. Esto se debe posiblemente a la reactivación de las fuentes móviles desde la mitad del año, principalmente para el transporte de bienes de primera necesidad y parte del transporte público. En el último trimestre del año la actividad de las fuentes de emisión fue mayor por la reactivación de actividades y eventos de fin de año, por lo cual se pudo incrementar el aporte a las emisiones de dióxido de nitrógeno.

El comportamiento del NO_2 de una semana promedio en el año 2020 se representa en la Figura 6-21. Las concentraciones al inicio de la semana son bajas, y se incrementan hacia el martes y miércoles, disminuyen gradualmente hasta el viernes y se incrementan ligeramente el sábado, con lo cual se reducen nuevamente el domingo. En relación con el comportamiento horario en un día promedio del 2020 (Figura 6-22), se evidencian dos picos marcados de concentración, a las 7 a.m. y a las 8 p.m. Las concentraciones más bajas se registran en la madrugada, y a partir de las 6 a.m. se incrementan las concentraciones, y se reducen nuevamente hasta las 10 a.m. Luego descienden los niveles a los valores más bajos del día, y se incrementan nuevamente hacia las 6 p.m.; este segundo pico perdura hasta las 10 p.m., y finalmente vuelven a descender. Estas variaciones están notablemente influenciadas por el comportamiento de las fuentes móviles en la ciudad, ya que en horas de la mañana y al final de la tarde se aumenta el tráfico vehicular por el tránsito de personas hacia y desde sus lugares de trabajo.

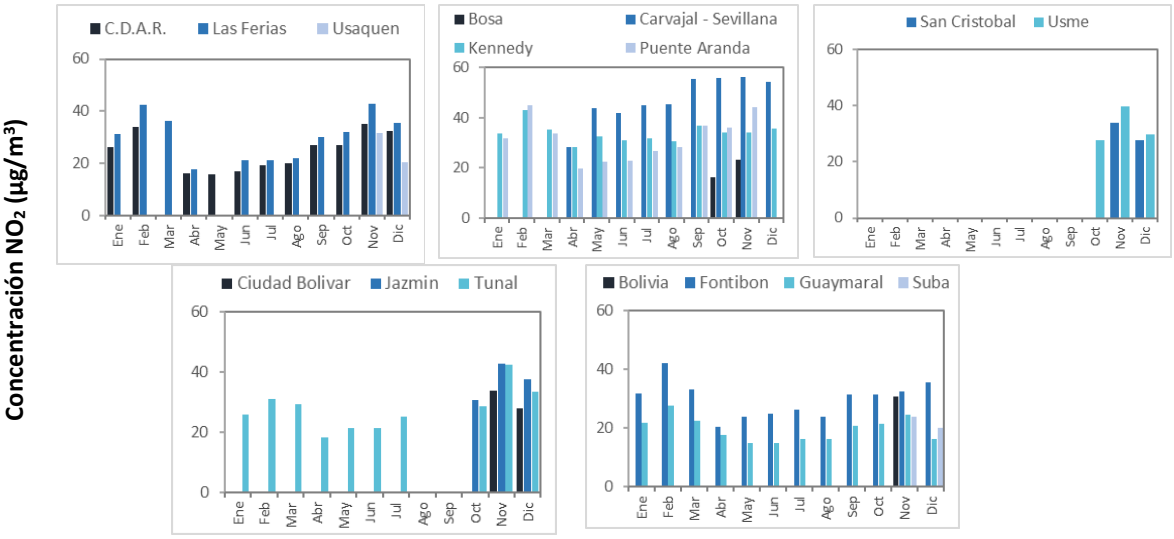


Figura 6-20 Concentraciones mensuales de NO_2 por estación – Año 2020

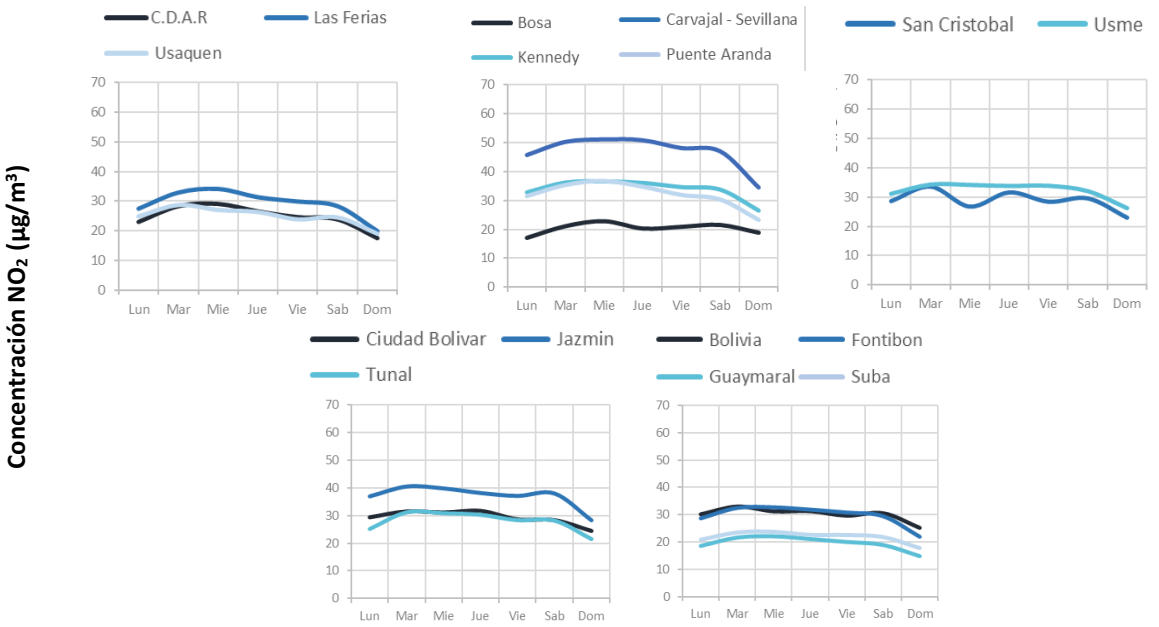
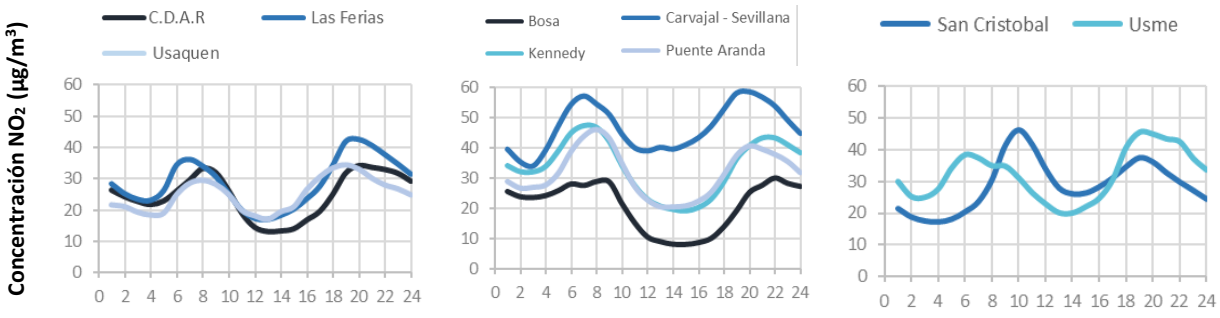


Figura 6-21 Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 – Año 2020



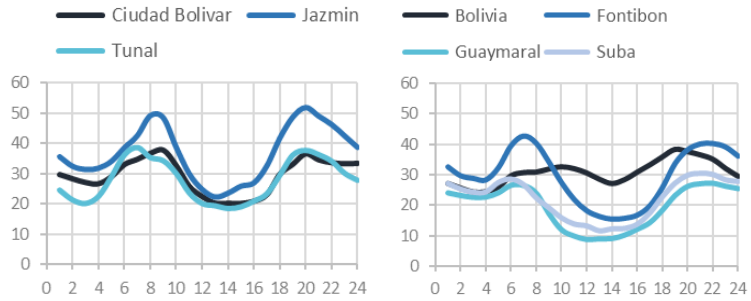


Figura 6-22 Comportamiento horario de las concentraciones de NO_2 – Año 2020

6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL NO_2 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-23 se representan las concentraciones promedio anual de NO_2 de los años 2016 a 2020 y la comparación con los límites máximos permisibles hasta 2017 (100 µg/m^3) y desde 2018 (60 µg/m^3). Se observa que las concentraciones promedio anual en este periodo han permanecido por debajo de los niveles máximos permitidos, y la estación Carvajal-Sevillana ha registrado las concentraciones más altas de la ciudad, siendo el valor del año 2018 el más alto del periodo con 50 µg/m^3. Por otro lado, la estación Guaymaral ha registrado las concentraciones más bajas en los últimos tres años, aunque el promedio anual más bajo se observó en Kennedy en el año 2017, con 11 µg/m^3.

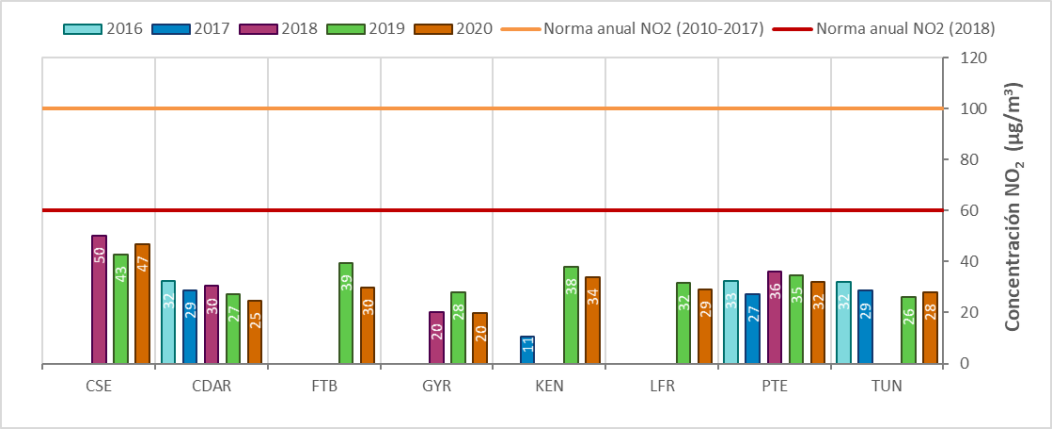


Figura 6-23 Concentraciones promedio anual de NO_2 - años 2016 a 2020

6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2)

El SO_2 es un contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. La exposición permanente a este contaminante puede producir problemas respiratorios.

6.5.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN

La Tabla 6-5 muestra las concentraciones promedio anual de SO_2 en el año 2020, concentraciones máximas, datos válidos y excedencias, y la Figura 6-24 representa las concentraciones promedio anual de SO_2 para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. La estación Carvajal-Sevillana registró el promedio más alto de la ciudad, con 10.6 µg/m^3, duplicando el valor observado en Kennedy y Tunal. Por otro lado, la estación Usaquén registró el promedio más bajo, con 1.7 µg/m^3, seguida de Centro de Alto Rendimiento con 2.5 µg/m^3.

Durante el año de 2020 se registraron 19 excedencias a la norma horaria (100 µg/m^3), 12 en la estación Fontibón y 9 en Carvajal-Sevillana. Con relación a la norma diaria (50 µg/m^3), no se registraron excedencias. Solamente los analizadores de SO_2 en las estaciones nuevas registraron menos del 75% de representatividad temporal, debido a que reportan datos desde octubre de 2020.

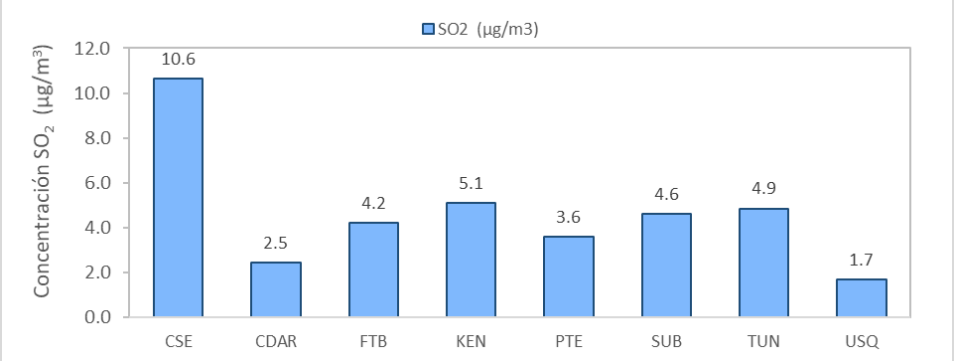


Figura 6-24 Concentraciones promedio anual de SO_2 – Año 2020

Tabla 6-5 Estadísticas de las concentraciones anuales de SO_2 – Año 2020

Estación	Prom. anual SO_2 (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m^3)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 50 µg/m^3 Norma horaria: 100 µg/m^3					
BOL*	2.4	19%	6.7	0	0
BOS*	5.4	18%	11.3	0	0
CSE	10.6	100%	42.1	0	7
CDAR	2.5	93%	8.8	0	0
CBV*	7.6	9%	13.4	0	0
FTB	4.2	98%	37.9	0	12
JAZ*	4.1	24%	8.7	0	0

Estación	Prom. anual SO_2 (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m^3)	No. Exced. 24h	No. Exced. 1h
Norma diaria: 50 µg/m^3 Norma horaria: 100 µg/m^3					
KEN	5.1	99%	17.4	0	0
PTE	3.6	100%	12.9	0	0
SUB	4.6	97%	18.1	0	0
TUN	4.9	98%	14.0	0	0
USQ	1.7	86%	5.4	0	0
USM*	8.7	25%	15.4	0	0

6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO_2 POR ESTACIÓN

En la Figura 6-25 se encuentran representados los promedios mensuales de concentración de SO_2 por estación. Se observó un comportamiento variable del contaminante de acuerdo con la zona de la ciudad. Hacia el norte y centro de la ciudad, las concentraciones permanecieron bajas a lo largo del año, evidenciando las concentraciones más bajas de la ciudad en Usaquén; al noroccidente y occidente de la ciudad las concentraciones fueron altas en el primer trimestre del año, y disminuyeron notablemente desde abril de 2020; en el sur y suroccidente se observaron incrementos de concentraciones en el primero y cuarto trimestre del año, siendo este último en el que observaron las concentraciones más altas. La estación Carvajal-Sevillana se destaca por registrar las mayores concentraciones de la ciudad en todos los meses del año, siendo el mes de octubre en el que se evidenció el promedio mensual más alto, con 18.0 µg/m^3.

En la Figura 6-26 se observa el comportamiento del SO_2 en una semana del 2020. En las estaciones que registraron bajas concentraciones no se observan grandes variaciones del comportamiento a lo largo de la semana. En las estaciones Carvajal-Sevillana y Ciudad Bolívar se observó un incremento gradual del lunes al jueves, y luego un descenso en los días de fin de semana. En las demás estaciones del sur y suroccidente las concentraciones más altas se evidenciaron los martes, y un descenso gradual en los siguientes días.

El comportamiento del SO_2 en un día promedio se representa en la Figura 6-27, con un patrón similar para las estaciones que reportaron datos de SO_2. Se registraron bajas concentraciones entre la media noche y las 6 a.m., luego se observó un incremento notable hasta las 8 a.m., hora de mayores concentraciones en el día, y luego descienden hasta el mediodía. En la mayoría de las estaciones las concentraciones se mantienen bajas durante el resto de la tarde y la noche, a excepción de Carvajal-Sevillana, Bosa, Ciudad Bolívar y Usme, que registraron un incremento gradual hasta finalizar el día.

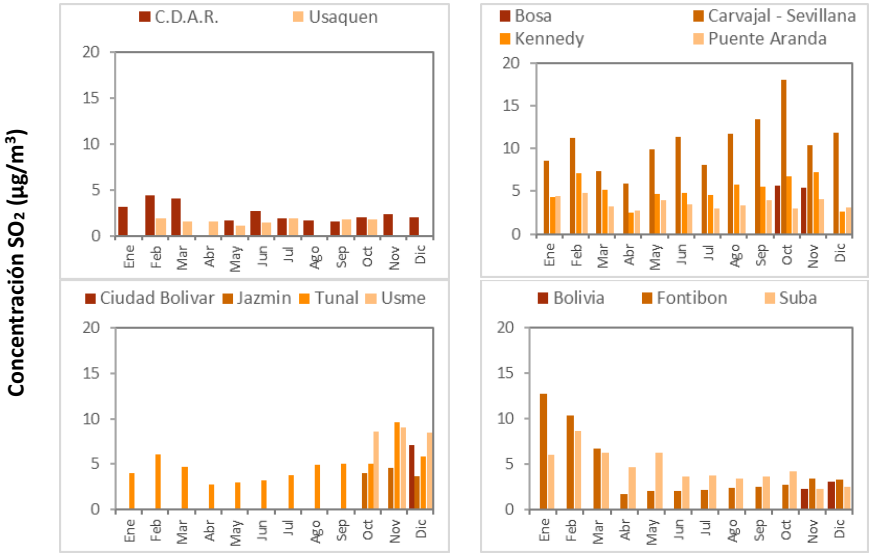


Figura 6-25 Concentraciones mensuales de SO_2 por estación – Año 2020

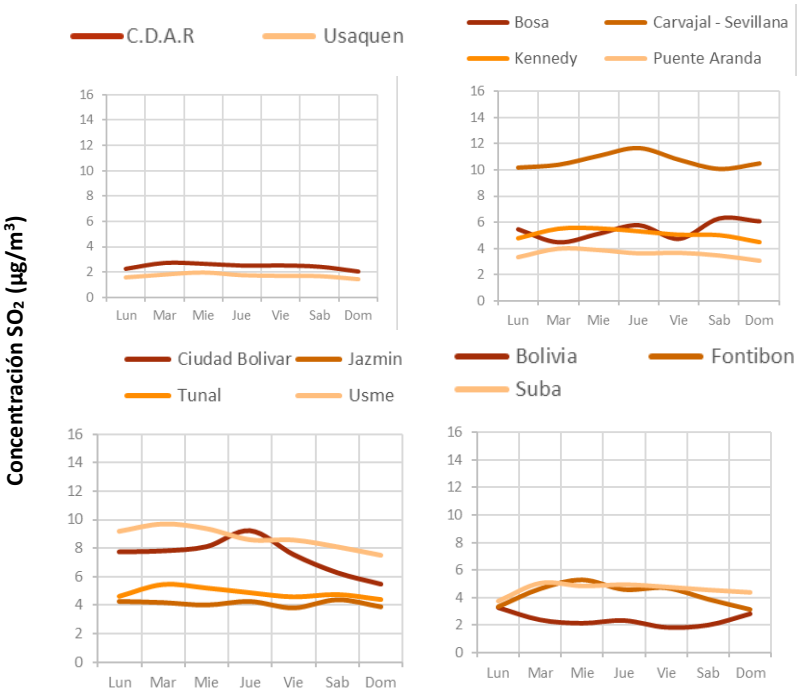


Figura 6-26 Comportamiento diario de las concentraciones de SO_2 – Año 2020

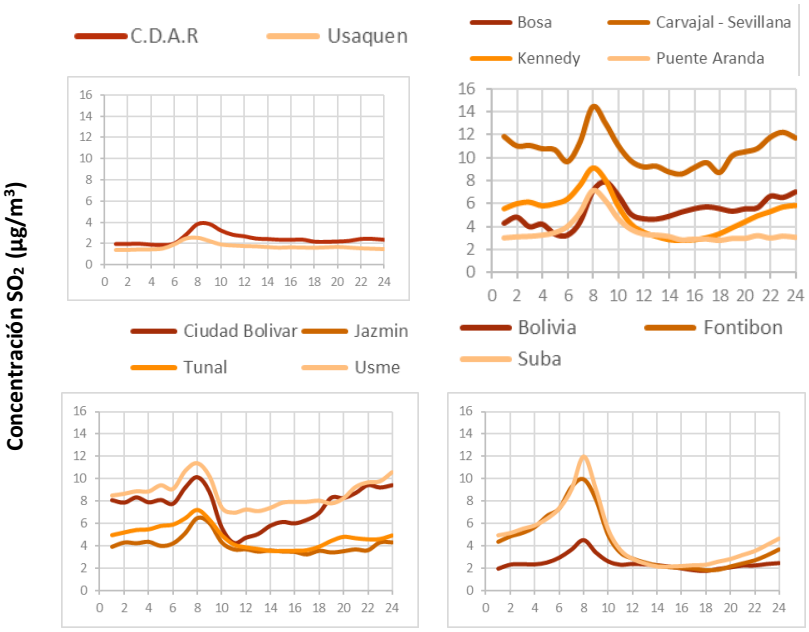


Figura 6-27 Comportamiento horario de las concentraciones de SO_2 – Año 2020

6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL SO_2 POR ESTACIÓN

La Figura 6-28 representa las concentraciones promedio anual de SO_2 para los años 2016 a 2020, y la comparación con la norma anual establecida por la Resolución 610 de 2010 del MAVDT, vigente 2017. Se observa que las concentraciones han permanecido por debajo del nivel máximo establecido en la norma, y las concentraciones registradas en Carvajal-Sevillana han sido las más altas de la ciudad. El promedio anual más alto en este periodo se registró en el año 2019 con 15.6 µg/m^3, y el menor promedio se observó en Usaquén, con 1.7 µg/m^3 en 2020. En general se observó una reducción de las concentraciones de SO_2 en el año 2020 respecto a años anteriores, a excepción de la estación Tunal, en la que se registró un aumento de 1.0 µg/m^3 en relación con el promedio registrado en 2019.

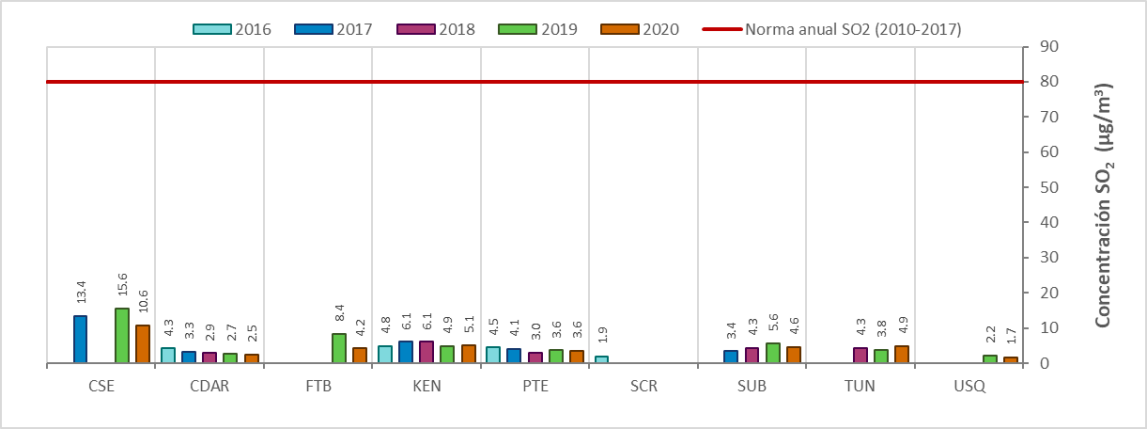


Figura 6-28 Concentraciones anuales de SO_2 años 2016 a 2020

6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El CO es un gas inflamable, inodoro, incoloro e insípido. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre. Una proporción del CO es emitida directamente por la naturaleza, y otra parte proviene de emisiones antropogénicas, por parte de procesos de combustión incompleta de combustibles fósiles (petróleo, carbón, entre otros).

6.6.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-6 muestra las estadísticas de las concentraciones promedio anual calculadas con base en los datos media móvil 8 horas registrados durante el año 2020, incluyendo los porcentajes de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma 8 horas. Adicionalmente en la Figura 6-29 se representan los promedios anuales de concentración de CO por estación que registraron más del 75% de datos válidos en el año 2020.

La estación Carvajal-Sevillana, localizada en la zona suroccidente, registró el promedio más alto de CO para el 2020, con 1187.9 µg/m^3 seguida de 1180,3 µg/m^3 en Móvil 7ma, al centro oriente de la ciudad, mientras que el valor más bajo se observó en la estación Usaquén, con 556.8 µg/m^3. Los analizadores de CO de las estaciones que registraron menos del 75% de representatividad temporal se debe a que fueron instalados en octubre de 2020 en el caso de las estaciones nuevas y de Suba, mientras que en la estación Fontibón se registraron datos solamente en algunos intervalos del año, debido a que el equipo presentó fallas en varios meses del año. Con relación a las excedencias a la norma, solo se registraron dos datos octohorarios mayores a 5000 µg/m^3 en la estación Puente Aranda.

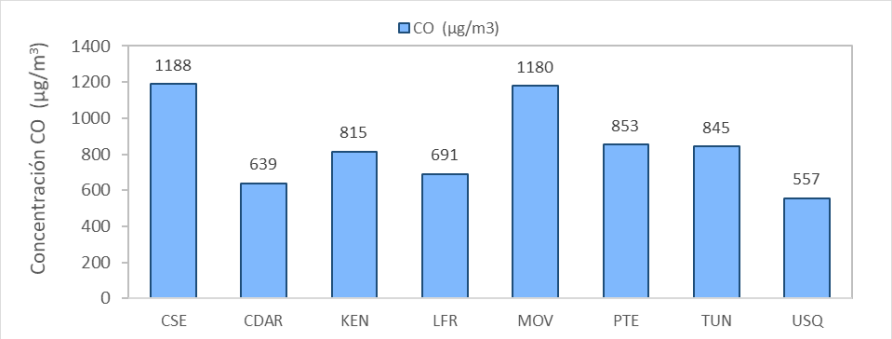


Figura 6-29 Concentraciones promedio anual de CO – Año 2020

Tabla 6-6 Estadísticas de las concentraciones anuales de CO – Año 2020

Estación	Prom. anual CO (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m^3)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 µg/m^3 Norma horaria: 35000 µg/m^3					
BOL*	542.5	19%	1788.9	0	0
BOS*	421.0	20%	1359.6	0	0
CSE	1187.9	93%	3277.3	0	0
CDAR	639.3	96%	2962.4	0	0
CBV*	750.6	20%	2900.4	0	0
FTB*	481.0	45%	1917.7	0	0
JAZ*	694.8	25%	2275.5	0	0
KEN	814.9	95%	2776.4	0	0

Estación	Prom. anual CO (µg/m^3)	% datos válidos	Conc. Máx. (µg/m^3)	No. Exced. 8h	No. Exced. 1h
Norma media móvil 8 horas: 5000 µg/m^3 Norma horaria: 35000 µg/m^3					
LFR	691.3	99%	2261.2	0	0
MAM*	932.4	24%	2232.6	0	0
MOV	1180.3	76%	4293.4	0	0
PTE	853.4	77%	5366.7	2	0
SUB*	533.6	20%	1488.4	0	0
TUN	844.9	91%	3034.0	0	0
USQ	556.8	97%	2161.0	0	0
USM*	539.6	24%	1889.1	0	0

* Las concentraciones estimadas en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

6.6.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-30 muestra la representación de los promedios mensuales por estación de concentración de CO en el año 2020. Se evidencia que el comportamiento del contaminante fue diferente en cada zona de la ciudad. Hacia el norte y centro las concentraciones más altas se registraron en el primer trimestre del año, descendieron en el segundo y tercer trimestre, y se incrementaron nuevamente en el mes de noviembre, aunque en la estación Móvil 7ma se registró la concentración mensual más alta del año en este mes. En la estación Tunal se observó un comportamiento similar, en donde las concentraciones más altas se registraron en noviembre y en febrero. Por otro lado, en la zona suroccidente, se observó una tendencia a la reducción de las concentraciones entre enero y abril, y desde el mes de mayo una tendencia creciente de las concentraciones, registrando los valores más altos entre noviembre y diciembre.

Este comportamiento pudo estar asociado al funcionamiento de las fuentes de emisión durante el año, después de la flexibilización de las restricciones a las actividades industriales, comerciales y al tránsito de vehículos en el mes de junio tras dos meses de cuarentena estricta, con el tiempo las fuentes de emisión retomaron su actividad normal, lo cual fue más evidente hacia la zona suroccidental de la ciudad.

El comportamiento de las concentraciones de CO para una semana promedio se encuentra representado en la Figura 6-31. Se observa un comportamiento similar en la mayoría de las estaciones, las concentraciones de CO aumentan gradualmente entre el lunes y el miércoles, descienden gradualmente hasta el sábado, y se reducen en mayor proporción el domingo. En cuanto al comportamiento del CO en un día promedio del 2020 (Figura 6-32), en la mayoría de las estaciones se observan dos picos de concentración, a las 8 a.m. y a las 8 p.m., y los registros más bajos se observan a las 2 p.m. En la zona suroccidente el pico de concentración de la mañana es el más elevado en relación con las demás estaciones, mientras que los valores más bajos del día se observaron en la zona noroccidental.

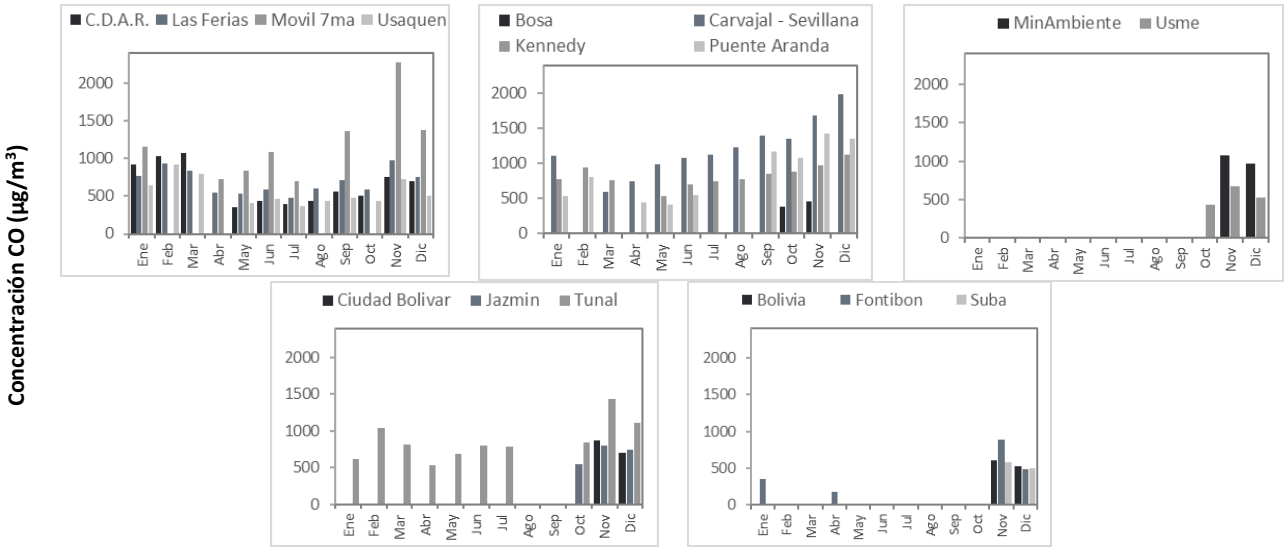


Figura 6-30 Concentraciones mensuales de CO por estación – Año 2020

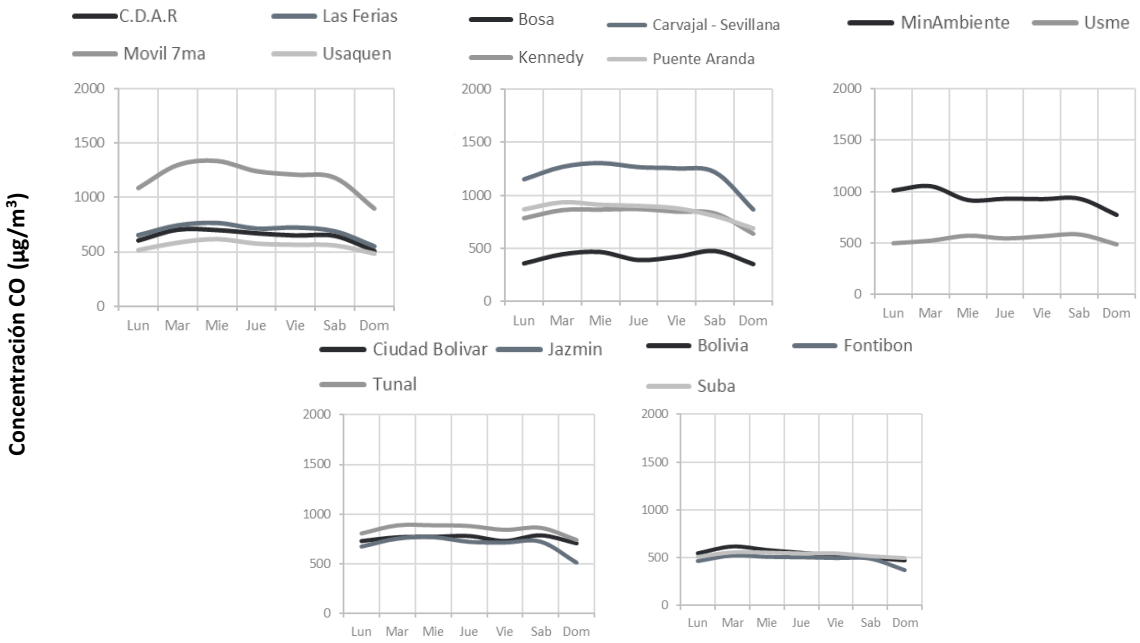


Figura 6-31 Comportamiento diario de las concentraciones de CO – Año 2020

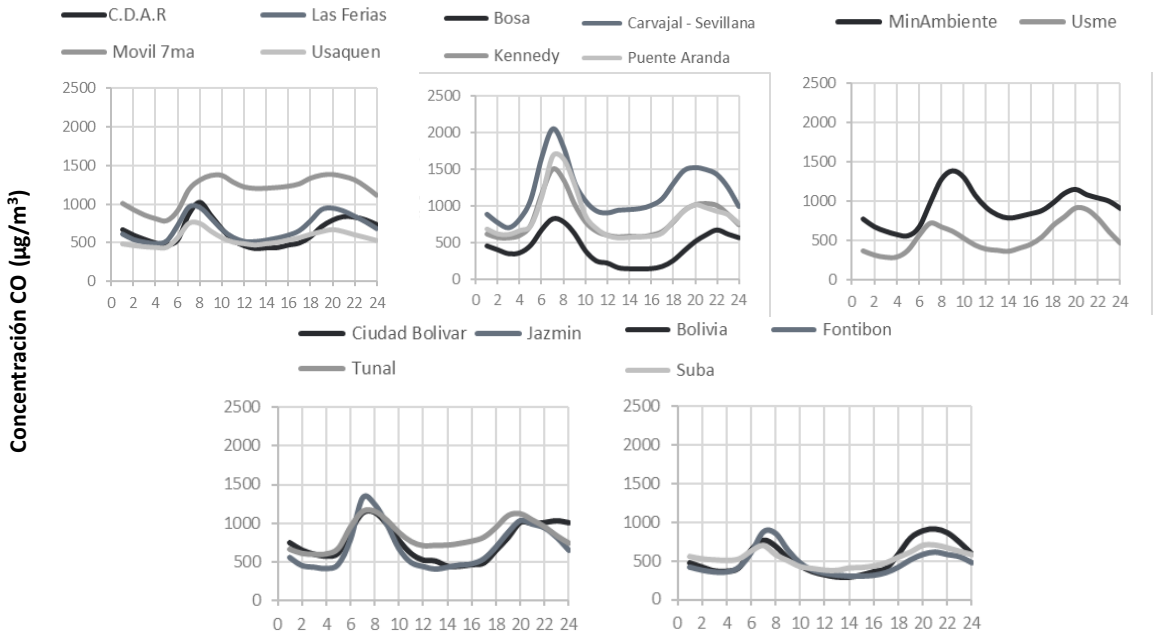


Figura 6-32 Comportamiento horario de las concentraciones de CO – Año 2020

6.6.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DEL CO POR ESTACIÓN

La Figura 6-33 representa las concentraciones promedio anual de CO para los años 2016 a 2020. Se observa que en la mayoría de las estaciones hay una tendencia a la reducción de las concentraciones con el paso de los años, y los valores registrados en el 2020 fueron menores a los registrados en el año inmediatamente anterior. El promedio anual de concentración de CO más alto en este periodo se registró en la estación Móvil 7ma, con 1866.6 µg/m³ en el año 2019, mientras que el promedio anual más bajo se observó en la estación Usaquén con 537.3 µg/m³ en el año 2018.

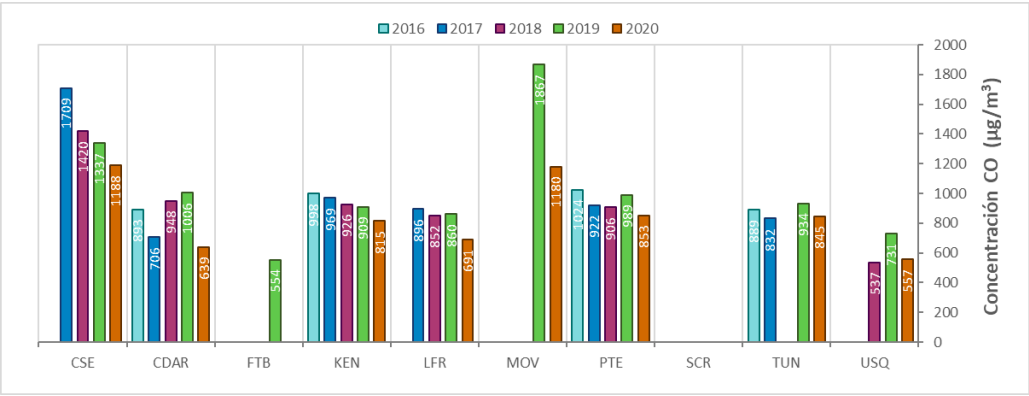


Figura 6-33 Concentraciones anuales de CO años 2016 a 2020

7. COMPORTAMIENTO DEL BLACK CARBON

El Black Carbon (BC) es un componente de partículas finas, el cual está formado por la combustión incompleta de combustibles fósiles, especialmente diésel, así como de emisiones industriales, domésticas y por quema de biomasa. El reporte de estos datos se realiza en dos longitudes de onda; la primera proporciona una medida del "componente UV", es decir, para medir concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) del aerosol proveniente de la quema directa de biomasa, ya sea por la ocurrencia de incendios forestales, así como de la combustión de madera y carbón para la calefacción doméstica y la liberación biogénica de materia húmica, restos vegetales y de hongos. La segunda proporciona la concentración de Black Carbon (BC) total, es decir, el producto de diversas fuentes como bioaerosoles y quema incompleta de combustibles fósiles.

La metodología que se aplica a los datos recolectados por los equipos es la seleccionada por el fabricante y desarrollada por Sandradewi (2008). Esta metodología permite realizar una atribución de fuentes del material carbonáceo con base en la absorción del material en dos longitudes de onda, partiendo de la característica que el material carbonáceo con contenido de compuestos orgánicos, usualmente generados en la combustión de Biomasa, absorben en mayor medida en longitudes de onda corta o UV. Esta característica del BC se aprovecha para realizar una medida indirecta de las concentraciones que se encuentran en el ambiente, de esta manera el cálculo se enfoca en determinar qué porcentaje de BC es proveniente de la quema de biomasa, como se mencionó anteriormente este contaminante puede venir de incendios forestales, quema de cultivos, y quema de madera o carbón para uso doméstico.

7.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE BLACK CARBON (BC) POR ESTACIÓN

En la Tabla 7-1 se presenta el resumen estadístico de las concentraciones de BC medidas en las longitudes de 880 nm para todas las estaciones en las cuales se registraron datos durante el año 2020. Las estaciones CDAR, Fontibón, Kennedy, Las Ferias, Min Ambiente y Tunal registraron más de 75% de las concentraciones horarias durante este periodo de tiempo, mientras que las estaciones Carvajal – Sevillana, San Cristóbal y Usaquén reportaron el 67%, 46% y 43% respectivamente, por lo tanto, los datos reportados para estas estaciones son de carácter indicativo. Adicionalmente en la Tabla 7-1 se presenta el promedio anual, máximo y mínimo de las concentraciones diarias (24h) de BC para todas las estaciones. Las estaciones Carvajal-Sevillana, Fontibón, Kennedy y Tunal reportan las mayores concentraciones de BC en toda la ciudad, con valores de 7 y 6 mg/m^3, mientras que en las estaciones Usaquén, San Cristóbal y Las Ferias se reportan las concentraciones más bajas, con valores de 1, 2 y 3 mg/m^3, respectivamente. Las concentraciones máximas más altas registradas de BC se presentaron en la estación Centro de Alto Rendimiento, con un valor de 32 $\mu g/m^3$.

En la estación Carvajal-Sevillana se presentaron inconvenientes para realizar el cambio de la cinta de recolección de la muestra en el aetalómetro, causando la perdida de datos durante el 2020. En la estación de San Cristóbal hurtaron el cabezal de muestreo del instrumento, el cual fue instalado nuevamente en Julio de 2020, fecha a partir de la cual se registraron datos de forma continua. Y debido a los bajos valores hallados en la estación de Usaquén

en 2019 usando un aetalómetro AE42 (descontinuado por la marca), se trasladó este instrumento a la estación Las Ferias, con el fin de realizar una validación con el aetalómetro AE 33 previamente instalado en la estación Las Ferias. Así, a partir de Julio de 2020 no se continuo la medición de BC en Usaquén, por daños instrumentales que se presentaron durante el periodo de validación.

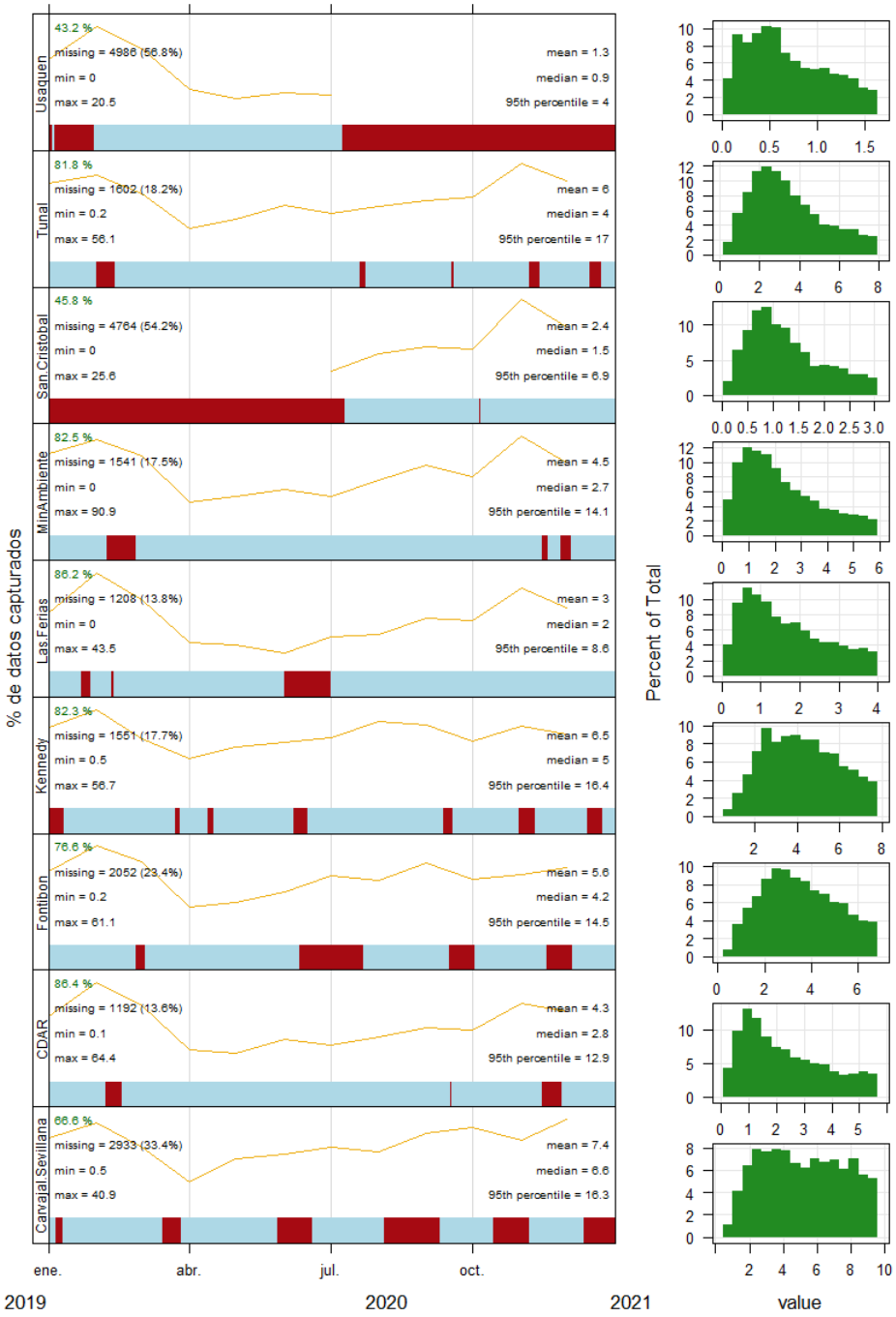
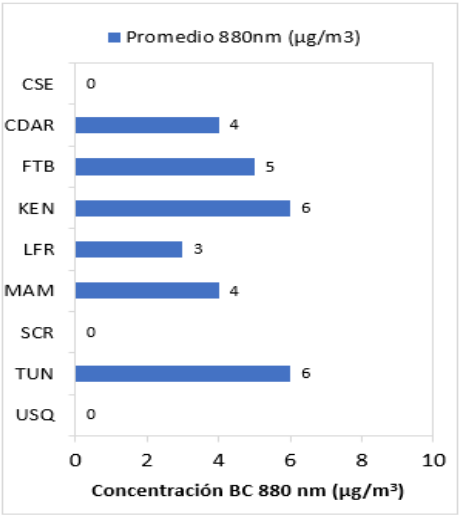


Figura 7-1 Gráfico de representatividad temporal de las mediciones de concentraciones de BC – Año 2020

Tabla 7-1 Resumen estadístico de las concentraciones de diarias de BC tomadas a la λ = 880 nm (µg/m3) – Año 2020

Estación	Promedio ± sd	Mínimo	Máximo	Datos capturados (%)
Carvajal – Sevillana*	7±3	1	14	67%
CDAR	4±3	1	16	86%
Fontibón	6±3	1	14	77%
Kennedy	6±2	2	15	82%
Las Ferias	3±2	1	10	86%
Min Ambiente	5±3	1	32	83%
San Cristóbal*	2±1	1	7	46%
Tunal	6±3	1	17	82%
Usaquén*	1±1	1	6	43%



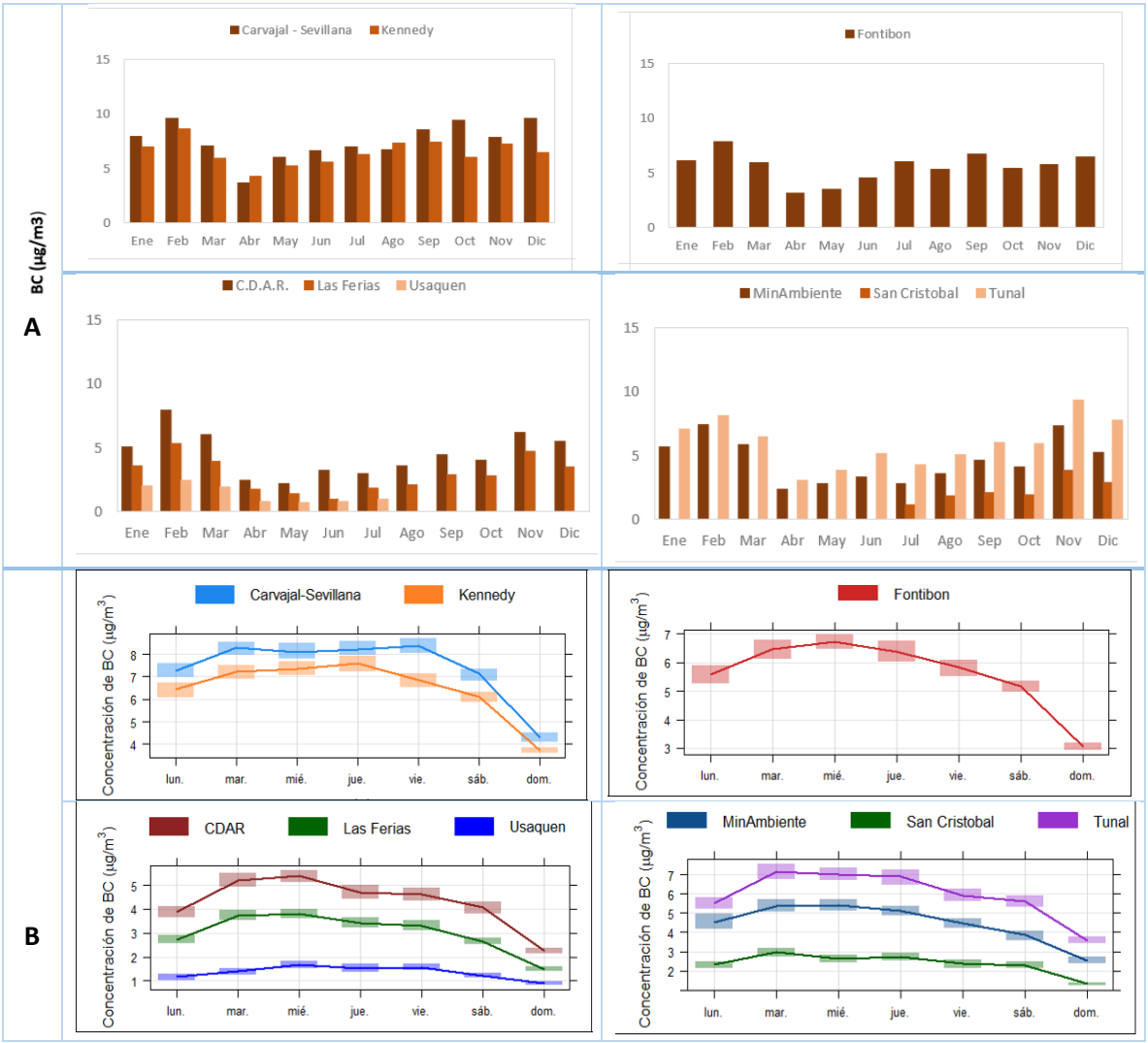
*Las concentraciones en estas estaciones son indicativas dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

En la figura 7-2 se presenta la variabilidad temporal de las concentraciones de BC reportadas en 2020 con una resolución mensual, diaria y horaria. Las concentraciones de BC mostraron cambios importantes mes a mes durante 2020. Todas las estaciones coinciden con presentar la máxima concentración en febrero, seguido por los meses de noviembre y diciembre. En el mes de abril se presentó una caída significativa de las concentraciones de BC en toda la ciudad, porque a partir de mediados de marzo se declaró el Aislamiento Preventivo Obligatorio debido a la pandemia mundial por COVID-19. Este evento llevo a que las actividades económicas en la ciudad se suspendieran, es decir, que las actividades industriales y el tráfico vehicular se redujeron de manera considerable durante los meses de abril y mayo, por ser los que tuvieron las restricciones más estrictas.

A partir de junio se permitió el retorno de algunas actividades, aunque se mantuvieron las bajas concentraciones la mayoría del mes. Las estaciones ubicadas al sur occidente de la ciudad mostraron una tasa de incremento de concentración de BC entre abril y septiembre superior a la que se evidenció en la zona centro. Los registros mensuales más altos se presentaron en la estación Carvajal-Sevillana en el mes de febrero con un promedio de 12 µg/m^3, en marzo, agosto y septiembre de 10 µg/m^3 y un valor similar en la estación Tunal en el mes de noviembre. La concentración promedio mensual más baja se observó en San Cristóbal en el mes de julio y en Usaquén en los meses de mayo a junio, con valores de 1 µg/m^3.

Con respecto a la dinámica de las concentraciones de BC durante la semana, se observa que los martes, miércoles e incluso en algunas estaciones los jueves, se presentan las mayores concentraciones. Tomando como referencia las concentraciones de BC del domingo, la concentración promedio de los días laborales (martes a viernes) incrementan en promedio de 90 a 130%, siendo las estaciones CDAR y Las Ferias, en las que se observa el mayor porcentaje y en las estaciones de Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal donde el incremento es del orden del 90%.

En relación con el comportamiento horario, las máximas concentraciones de BC se presentan entre las 4:00 y 8:00 a.m., posteriormente se presenta un descenso en las concentraciones hasta el mediodía y nuevamente se observa un incremento en las horas de la tarde, que corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular de la ciudad. La estación de Carvajal-Sevillana muestra que durante todo el día hay fuentes de combustión, que derivan en la emisión de BC, mientras que las estaciones de Kennedy y Fontibón al parecer están influenciadas por emisiones de tráfico vehicular porque después del medio día se reportan concentraciones de BC inferiores a las observadas en la madrugada (antes de 4:00 a.m.).



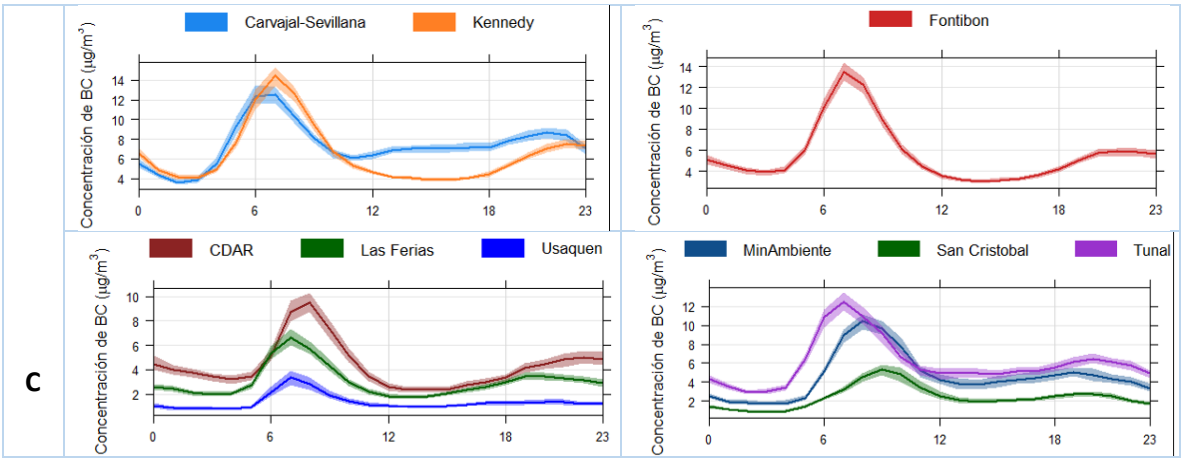


Figura 7-2 Variabilidad temporal de la concentración de BC (µg/m3). a) Resolución temporal mensual. B) resolución semanal y c) resolución horaria – Año 2020

De acuerdo con la figura 7-3 las mayores concentraciones de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) se presentan en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy. De igual forma, se evidencia que todas las estaciones redujeron sus concentraciones considerablemente con respecto al año anterior, debido a la declaratoria de Aislamiento Preventivo Obligatorio debido a la pandemia mundial por COVID-19 desde principios de año. Cabe resaltar que los datos de 2018 son indicativos debido a que la medición de los primeros equipos de Black Carbon inicio a finales del año 2018 y en el año 2019 las estaciones de Centro de Alto Rendimiento (CDAR), Fontibón y MinAmbiente presentan datos indicativos debido a que la medición de estos equipos inicio en el segundo semestre del año, además que durante el 2020 se reactivó el funcionamiento del monitor de la estación de San Cristóbal y se retiró el equipo de monitoreo de la estación de Usaquén para pruebas de intercomparación.

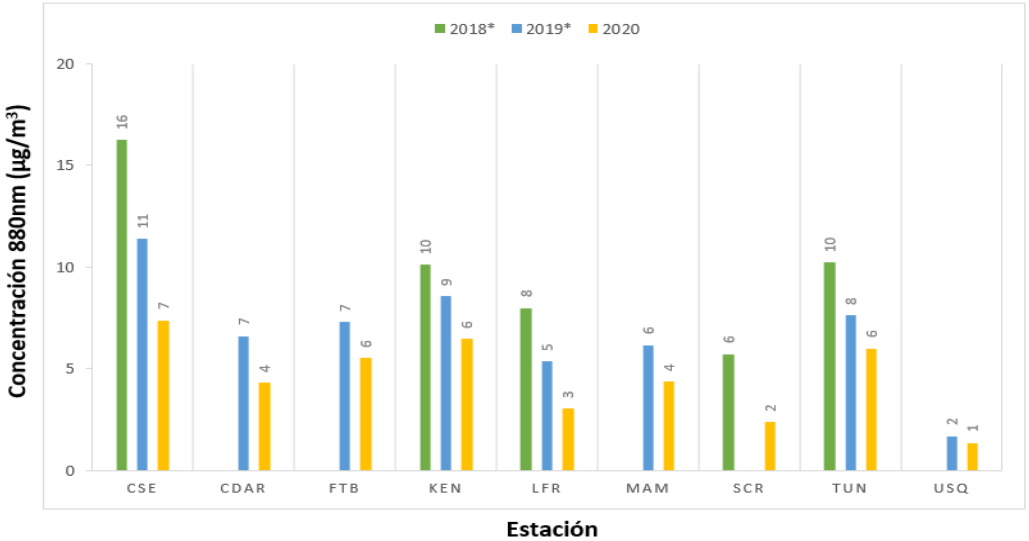


Figura 7-3 Concentraciones promedio anuales de Black Carbon años 2018 a 2020

7.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LAS CONCENTRACIONES DE BLACK CARBON PROVENIENTE DE LA QUEMA DE BIOMASA

Para el cálculo del BC biomasa se aplicó la metodología propuesta por Sandradewi (2008) el cual toma las mediciones de longitudes de onda para calcular un porcentaje de BC proveniente de la Biomasa. Como valor indicativo de la quema de biomasa se optó por tomar datos satelitales del sensor MODIS, el cual capta las áreas quemadas caracterizadas por depósitos de carbón y cenizas, remoción de vegetación y alteración de la estructura vegetal. Es por eso por lo que varios estudios han registrado el transporte de las plumas de quema de biomasa, que varían entre cientos y hasta miles de kilómetros, es por ello por lo que se seleccionó un dominio en el Norte de Suramérica (NSA) para el análisis de incendios activos.

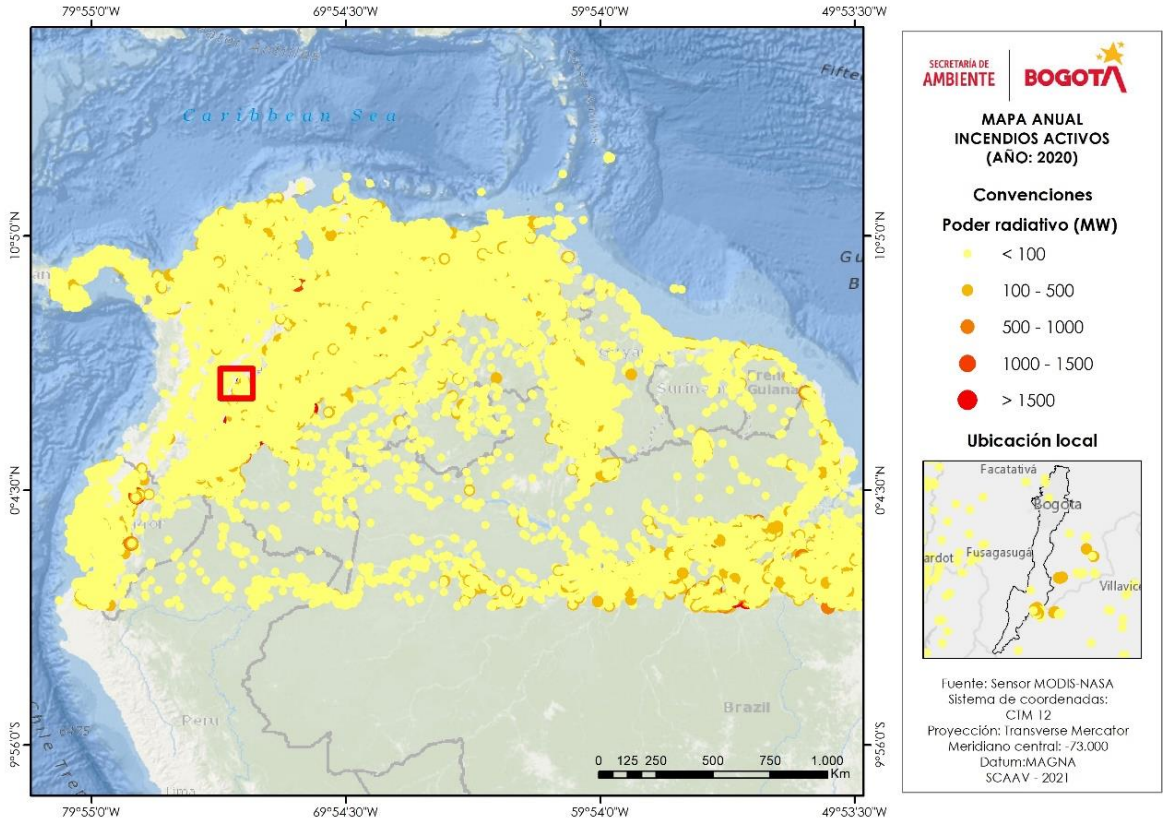


Figura 7-4 Distribución espacial de incendios activos identificados por el sensor MODIS – Año 2020

En la figura 7-5 podemos observar la distribución espacial de incendios que presentaron durante el año 2020, con una zona altamente activa en Colombia, los incendios se distribuyen a lo largo de la cuenca de la Orinoquia colombo venezolana, el oriente antioqueño y la costa atlántica, con una alta densidad de incendios activos. Según la clasificación de la potencia del incendio propuesta por Ichoku et al (2008), el 97% de los puntos calientes registrados por el sensor MODIS en la zona delimitada se clasifican en la categoría 1, es decir, anomalías térmicas con un poder radiativo (FRP) menor a 100MW, el 6% se clasifica en una categoría 2, es decir, incendios con FRP entre 100MW y 500MW, el 0.187% en la categoría 3 correspondiente a los incendios con FRP entre 500MW y 1000MW, el 0.027% en la categoría 4 correspondiente a los

incendios con FRP entre 1000MW y 1500MW y los restantes en una categoría 5 superiores a 1500MW.

Adicionalmente, en la figura 7-5 se muestra el número de eventos o puntos calientes ocurridos diariamente e identificados por el sensor MODIS mes a mes, donde se evidencia que durante el primer trimestre del año se vio un aumento en el número de eventos, especialmente durante el mes de marzo.

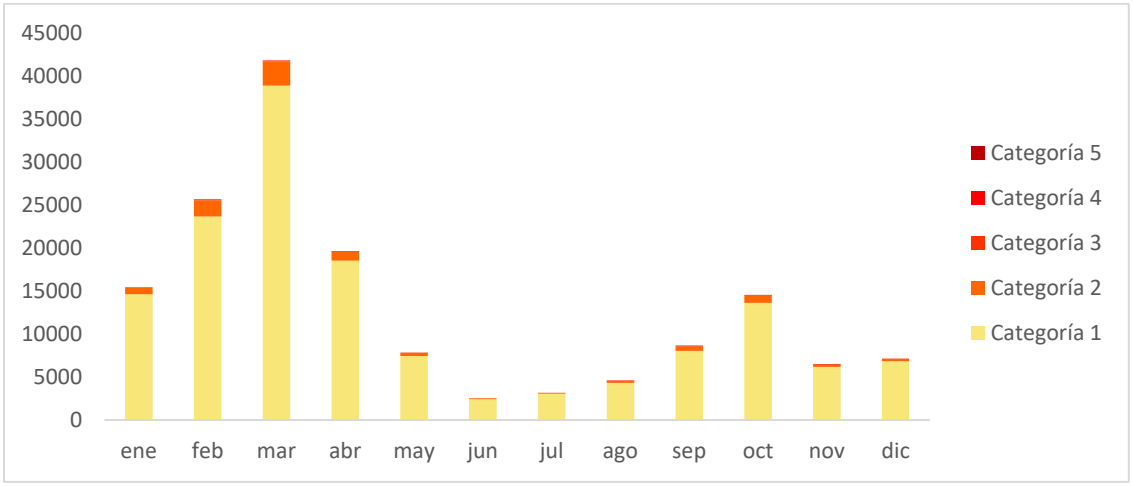


Figura 7-5 Número de eventos o puntos calientes identificados por el sensor MODIS - Año 2020

8. INDICES DE CALIDAD DEL AIRE

La RMCAB se encarga de realizar mediciones puntuales en resolución temporal horaria de las concentraciones de contaminantes criterio en cada estación de monitoreo, con el fin de evaluar la contaminación en un área determinada influenciada por las fuentes de emisión, las condiciones meteorológicas y la influencia de la contaminación de las regiones aledañas a la ciudad. A través de los índices de calidad del aire se puede conocer en términos generales el estado de la calidad del aire en términos cualitativos a través de un valor adimensional, para dar a conocer la condición de la calidad del aire a la ciudadanía de una manera más eficiente, y así poder establecer y ejecutar las acciones de acuerdo con las condiciones registradas a corto plazo.

8.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE - ICA

El ICA es un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 que representa el grado de contaminación del aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

Este índice permite ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países.

La metodología de cálculo se basa en lo establecido en, en el Artículo 19 de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, en el cual se definen los puntos de corte del ICA y la descripción de cada condición de calidad del aire. A su vez, dicha metodología está basada en los lineamientos dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)", versión de septiembre de 2018, donde se describen las categorías del AQI, se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso).[2]. En la Tabla 8-1 se observan los puntos de corte de cada contaminante, para los diferentes tiempos de exposición.

Tabla 8-1. Puntos de corte del ICA. Resolución 2254 del 2017 del MADS

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1 hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora
0 – 50	Verde	Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	--------
51 – 100	Amarillo	Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	--------
101 – 150	Naranja	Dañina a la salud de	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323

[2]https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM_{10} µg/m³ 24 horas	$PM_{2.5}$ µg/m³ 24 horas	CO µg/m³ 8 horas	SO_2 µg/m³ 1 hora	NO_2 µg/m³ 1 hora	O_3 µg/m³ 8 horas	O_3 µg/m³ 1 hora
		Grupos Sensibles							
151 – 200	Rojo	Dañina a la salud	255 - 354	56 - 150	14255 – 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
201 – 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 - 424	151 - 250	17689 – 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394	795 - 1185

El cálculo del ICA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$ICAp = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

ICA_p: Índice de calidad del aire para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
PC_{alto}: Punto de corte mayor o igual a C_p
PC_{bajo}: Punto de corte menor o igual a C_p
I_{alto}: Valor del ICA para PC_{alto}
I_{bajo}: Valor del ICA para PC_{bajo}

En la Figura 8-1 se muestran los porcentajes por condición de calidad del aire del ICA para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el año 2020, las franjas en gris indican el porcentaje de datos faltantes en la estación. Se puede observar que las estaciones instaladas en el mes de octubre (Bolivia, Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme) registran el mayor porcentaje de datos no disponibles dado el inicio de su monitoreo hasta el cuarto trimestre del año. De las estaciones nuevas, Ciudad Bolívar registra los porcentajes más altos de la condición "aceptable" (17%) y de la condición "dañina a grupos sensibles" (1%) para el periodo en el que se registraron datos de $PM_{2.5}$. Con respecto a las estaciones antiguas, las condiciones más desfavorables se observaron en los índices con base en $PM_{2.5}$, y la estación Carvajal-Sevillana que registró las condiciones "aceptable" y "dañina a grupos sensibles" en mayor proporción en relación con las demás estaciones, con porcentajes de 71% y 17%. Por otro lado, la estación Usaquén registró el porcentaje más alto de la condición "buena" con un 58% del año, registrando las mejores condiciones de calidad del aire en cuanto al material particulado.

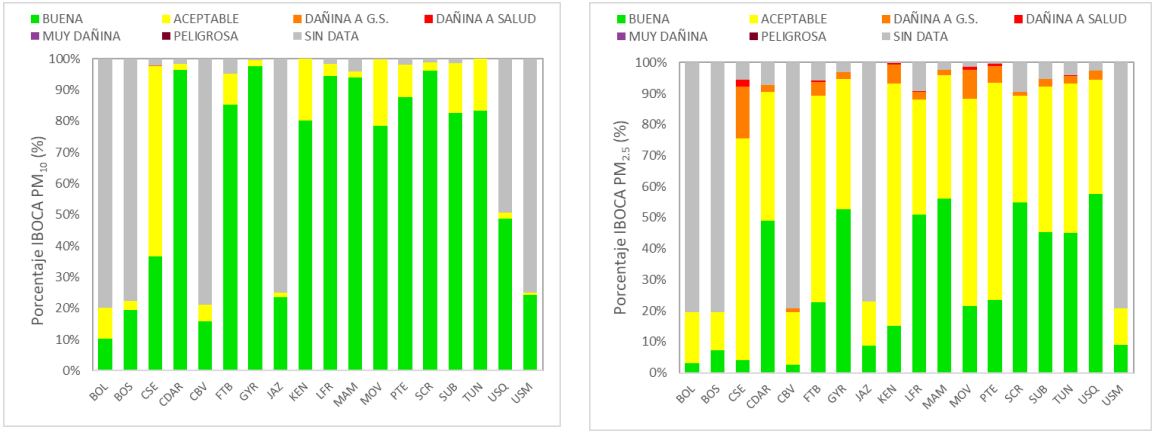


Figura 8-1. ICA por estación para PM_{10} y $PM_{2.5}$ – Año 2020

En la Figura 8-2 y la Figura 8-3 se representan los porcentajes de tiempo para cada condición del ICA por mes del año 2020 en cada estación de la RMCAB, para los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente. Se observa que las condiciones de ICA con base en el contaminante $PM_{2.5}$ se registran condiciones de calidad del aire más desfavorables, evidenciando las categorías "dañina a grupos sensibles" y "dañina a la salud" en varias estaciones, especialmente en el mes de marzo, cuando se registraron las concentraciones más altas de material particulado debido a la influencia de contaminación proveniente de incendios forestales y el comportamiento de la meteorología. Adicionalmente durante los meses de febrero y marzo se registró la mayor parte del tiempo en todas las estaciones la condición "aceptable", mientras que la condición "buena" predominó en el mes de julio, dado que la meteorología favoreció la dispersión de contaminantes. Con respecto al PM_{10}, cabe resaltar que las estaciones Carvajal-Sevillana, Bolivia y Bosa registraron la condición "aceptable" en más del 50% del tiempo en la mayoría de los meses del año.

La Figura 8-4 muestra las gráficas de los porcentajes de tiempo en que se registraron las condiciones del ICA para los gases durante el año 2020. Se evidencia que en todas las estaciones que registraron datos de gases prevaleció la condición "Buena" durante todo el año 2020, con lo cual las concentraciones de estos contaminantes en la atmósfera en cada año no se encontraron dentro de los niveles considerados un factor de riesgo para la salud de la población.

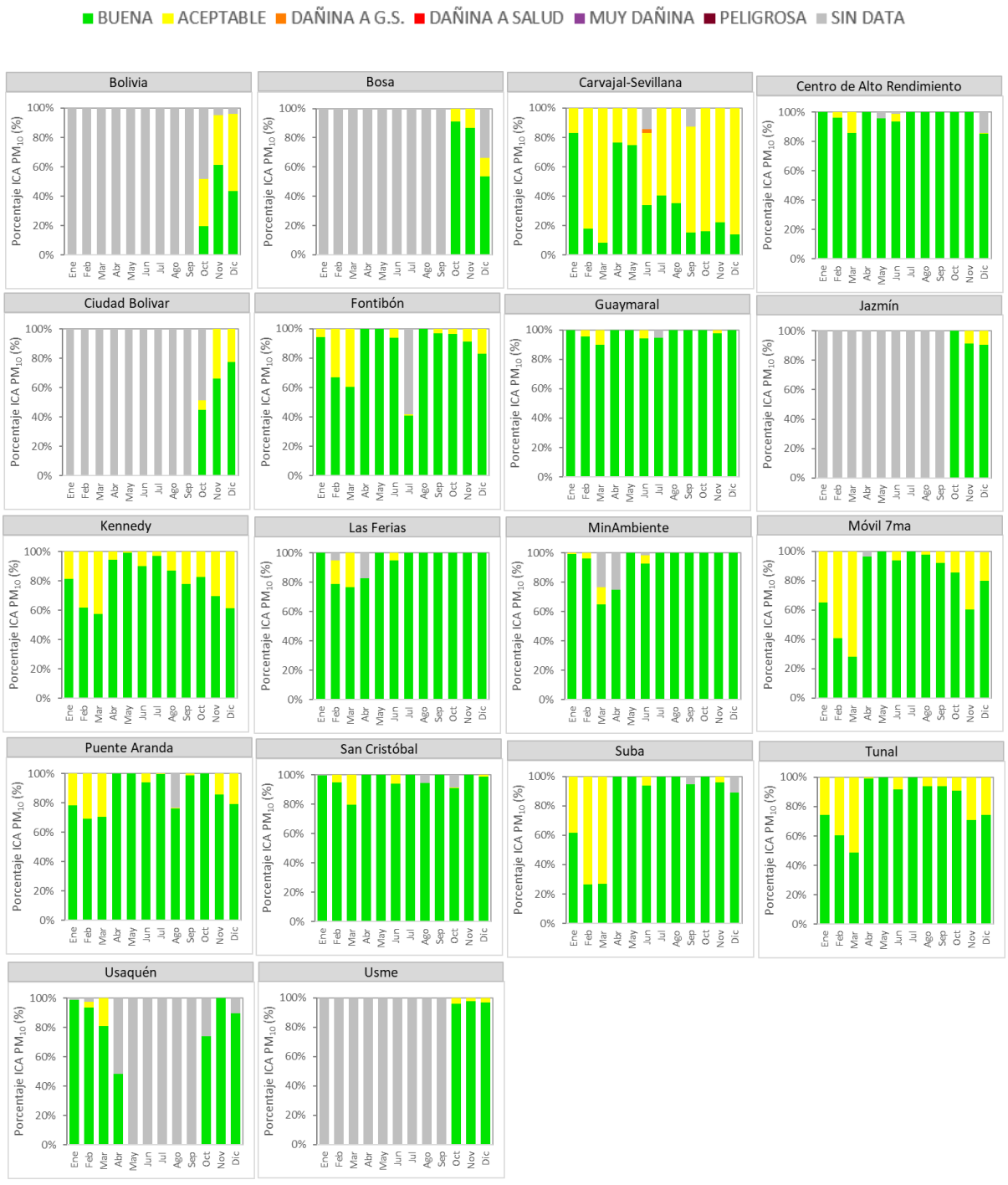


Figura 8-2 ICA por mes del año y por estación para PM_{10} – Año 2020



Figura 8-3 ICA por mes del año y por estación para $PM_{2.5}$ – Año 2020



Figura 8-4 ICA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO – Año 2020

8.2. ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución Conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, CO y SO_2) que se registran en las estaciones de la RMCAB, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo con el documento "Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –", Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios epidemiológicos locales. Además, cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterio, lo cual tiende a disminuir la

vulnerabilidad de la población bogotana ante la exposición a los diferentes contaminantes, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-2 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-2. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante[1]					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta[2]	PM10, 24h (µg/m³)	PM2.5, 24h (µg/m³)	O_3, 8h (µg/m³) [ppb]	CO, 8h (µg/m³) [ppm]	SO_2, 1h (µg/m³) [ppb]	NO_2, 1h (µg/m³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo[3]	Muy Mala	Alerta Roja[3]	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100[4]	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

El cálculo del IBOCA se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$IBOCAp = \frac{I_{mayor} - I_{menor}}{C_{mayor} - C_{menor}} * (C_p - C_{menor}) + I_{menor}$$

Donde:

$IBOCA_p$: Índice para contaminante P
C_p: Concentración registrada para el contaminante P
C_{mayor}: Concentración mayor o igual a C_p
C_{menor}: Concentración menor o igual a C_p
I_{mayor}: Valor del IBOCA para C_{mayor}
I_{menor}: Valor del IBOCA para C_{menor}

En la Figura 8-5 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados durante el año 2020, representando el porcentaje de tiempo en que se registró una determinada condición de la calidad del aire. Se evidencia que el $PM_{2.5}$ es el contaminante que registra las condiciones determinantes para el IBOCA, ya que se evidenció la condición "regular" en un mayor número de estaciones, siendo los porcentajes más altos los que se observaron en las estaciones del suroccidente de la ciudad y en la estación Móvil 7ma, entre el 9 y el 22%. En el caso del PM_{10}, a excepción de las estaciones del suroccidente de la ciudad, durante el año se registró más del 80% en la condición "favorable", siendo la condición Guaymaral la que registró el mejor estado de la calidad del aire con un 98% del tiempo en la condición "favorable".

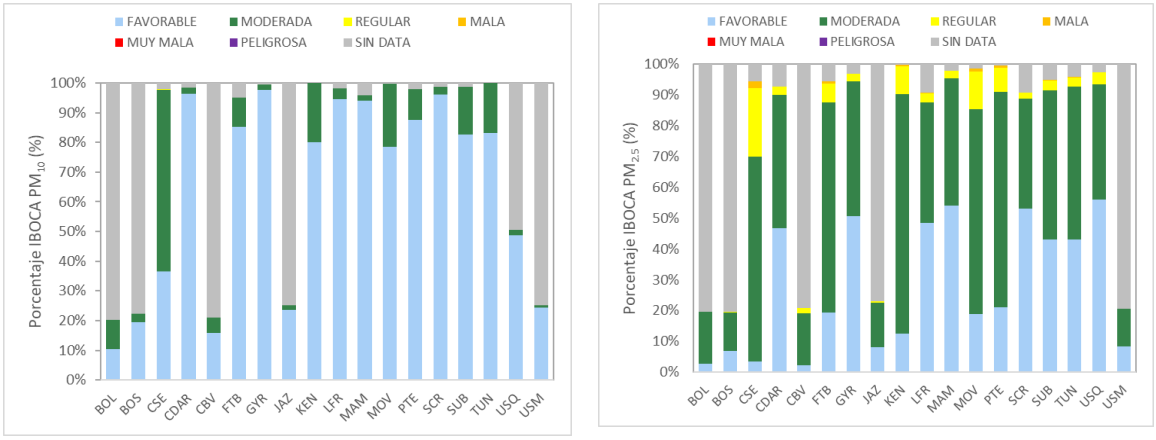


Figura 8-5 IBOCA por estación de monitoreo para PM_{10} y $PM_{2.5}$ – Año 2020

En la Figura 8-6 y la Figura 8-7 se presenta el IBOCA de PM_{10} y $PM_{2.5}$, para cada estación de monitoreo y por mes de acuerdo con los datos registrados durante el año 2020. Se evidencia que en el primer trimestre se observaron mayores porcentajes en las condiciones "moderada" y "regular", especialmente en el $PM_{2.5}$, siendo esta última condición predominante durante los meses de febrero y marzo, dadas las condiciones de alerta ambiental por contaminación atmosférica. En la mayoría de las estaciones se observó que la calidad del aire mejoró en el segundo trimestre de 2020, teniendo en cuenta las restricciones a la movilidad y a varias actividades comerciales, y en los siguientes meses se incrementó gradualmente el porcentaje de la condición "moderada" hasta aumentar notablemente en el mes de diciembre. Se observó una prevalencia de la condición "favorable" en el IBOCA calculado con base en el PM_{10} en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación Carvajal-Sevillana y otras estaciones en el primer trimestre, en los que predominó la condición "moderada" en cada mes.

En la Figura 8-8 se muestra la distribución de las condiciones del IBOCA por estación de monitoreo para los gases contaminantes en el año 2020 (O_3, SO_2, NO_2 y CO). Se observa que la condición "favorable" predomina durante todo el año para los gases contaminantes en las estaciones que registraron datos de cada contaminante. En algunas estaciones se registró menos del 0.4% de la condición "moderada", principalmente en el primer trimestre del año y en las estaciones del suroccidente de la ciudad, sin embargo, los niveles registrados de los gases contaminantes se encontraban en los rangos que no generaban perjuicios en la salud de la población.

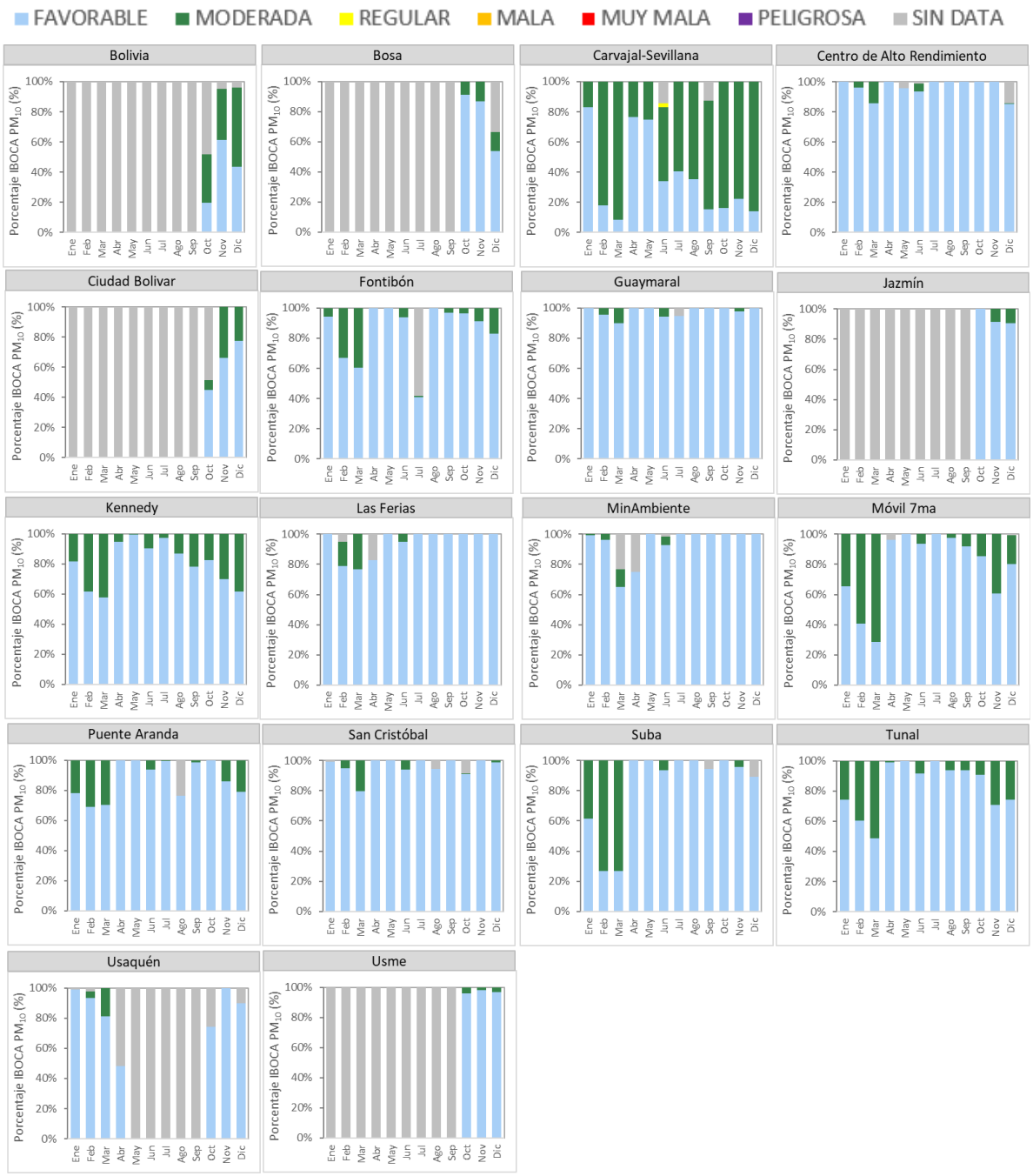


Figura 8-6 IBOCA por mes del año para PM_{10} – Año 2020

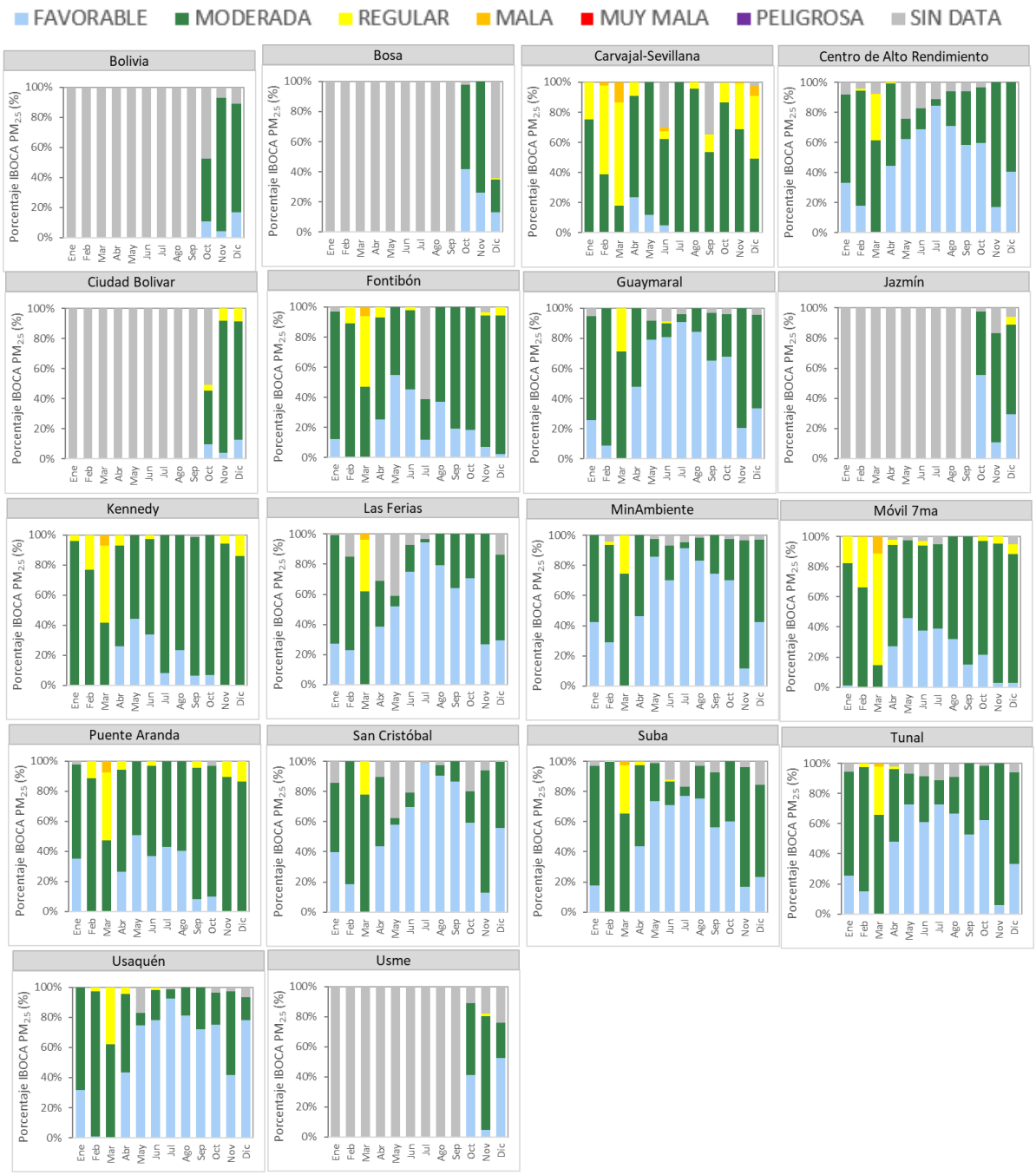


Figura 8-7. IBOCA por mes del año para $PM_{2.5}$ – Año 2020

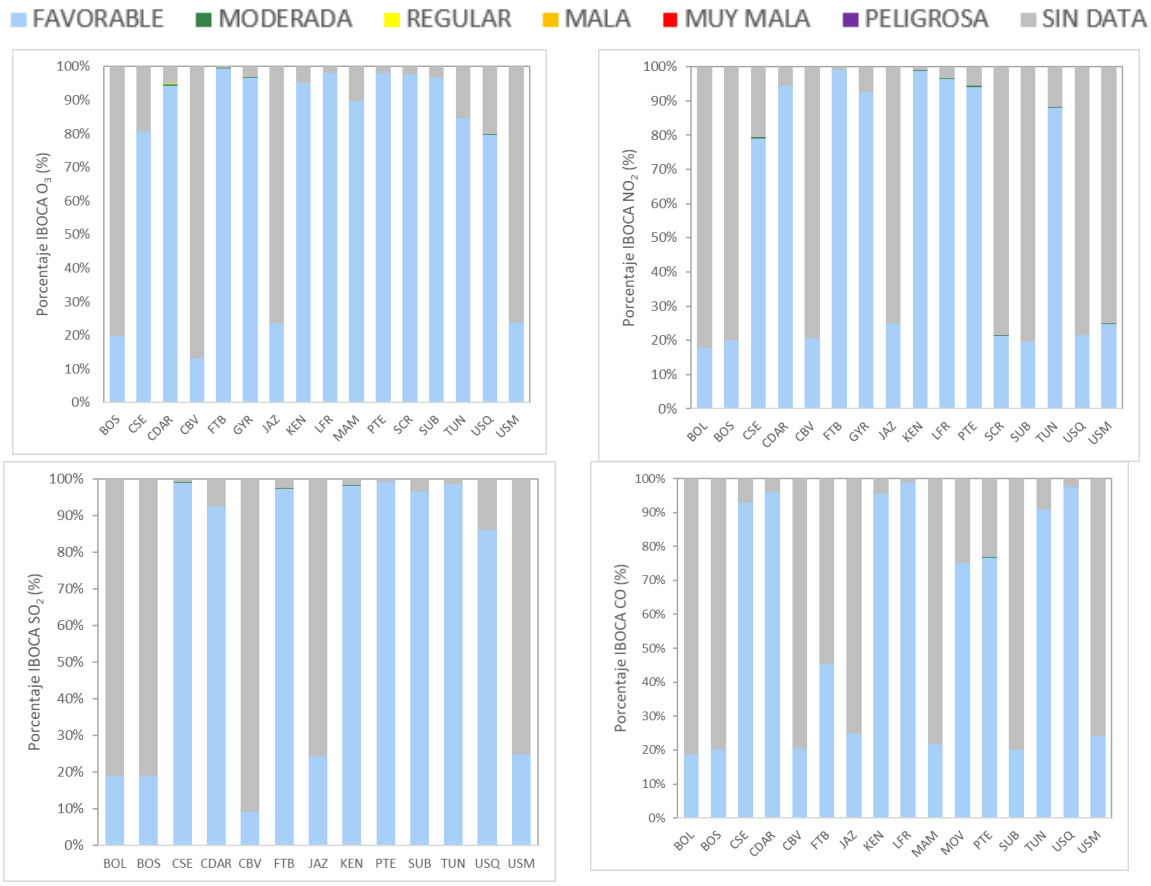


Figura 8-8 IBOCA por estación para O_3, NO_2, SO_2 y CO – Año 2020

9. METEOROLOGÍA

9.1. PRECIPITACIÓN

De acuerdo con (OMM, 2010) citado por (FOPAE, 2001) la precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. La medida de la cantidad de lluvia se expresa por la altura de la capa de agua que cubriría el suelo, supuesto perfectamente horizontal, suponiendo que no es objeto de filtración, evaporación o escurrimiento.

A esta medida se llama altura de precipitación y es expresada en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie. Es un elemento meteorológico con gran variabilidad espacial y temporal.

Por encontrarse en la zona andina la ciudad de Bogotá presenta dos períodos con lluvias abundantes durante el año, denominados popularmente como “invierno”, y dos períodos menos abundantes reconocidos como verano. El primero, se inicia en marzo y dura todo abril y mayo; el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre. Así mismo, existen meses de transición entre los diferentes períodos como son: marzo, junio, septiembre y diciembre, los cuales se presentan con días alternados de lluvias y tiempo seco.

La lluvia ejerce una labor muy importante en la limpieza de la atmósfera, toda vez que al tener un diámetro mayor que el tamaño de las partículas contaminantes, puede producir arrastre de muchas partículas presentes en la atmósfera, generando un lavado atmosférico y contribuyendo con la descontaminación de la ciudad, mayormente cuando se presentan lluvias intensas.

9.1.1. PROMEDIOS DIARIOS DE PRECIPITACIÓN

Como suele ocurrir en la ciudad de Bogotá, son más frecuentes y con mayor intensidad las lluvias en horas de la tarde y noche, así, entre las 3:00 p.m. y las 6:00 p.m. en promedio cayó aproximadamente el 40% de las lluvias, entre las 7:00 p.m. y las 12:00 a.m. aproximadamente el 28% y el 31% restante en promedio ocurren entre la 1:00 a.m. y las 2:00 p.m. En 2020 el mayor número de eventos de lluvia se presentó hacia las 5:00 p.m. (Figura 9-1). En 2019 semejante a lo registrado en 2020 el mayor número de eventos de lluvia se presentó hacia las 4:00 p.m.

Así pues, las lluvias que se presentan en horas de la tarde probablemente sean las que mayormente contribuyen con la limpieza de la atmósfera por arrastre aerodinámico de partículas. Estos eventos de lluvia además son propicios para el lavado de las vías y la disminución de material particulado susceptible de ser resuspendido.

De acuerdo con Montoya & Eslava (2000), el comportamiento antes descrito obedece a la acumulación de energía durante el día que ocurre entre la 1 y las 3 de la tarde, es decir, cuando las temperaturas alcanzan su máximo valor y con ella el desarrollo

convectivo, y a la interrupción del flujo básico del nororiente y suroriente para darle paso a las masas de aire cálidas y húmedas provenientes del valle del Magdalena los cuales ascienden por el suroccidente cargados de humedad y al encontrarse con los cerros orientales son forzados a ascender y formar nubes productoras de lluvia, si las condiciones de estabilidad de la atmósfera son favorables.

Es normal que estas lluvias ocurran bajo condiciones propicias de humedad, dirección del viento del occidente y condiciones de estabilidad favorables para la convección térmica o convección forzada con la contribución de los vientos encañonados del Magdalena que se ven forzados a ascender al colisionar con los cerros orientales.

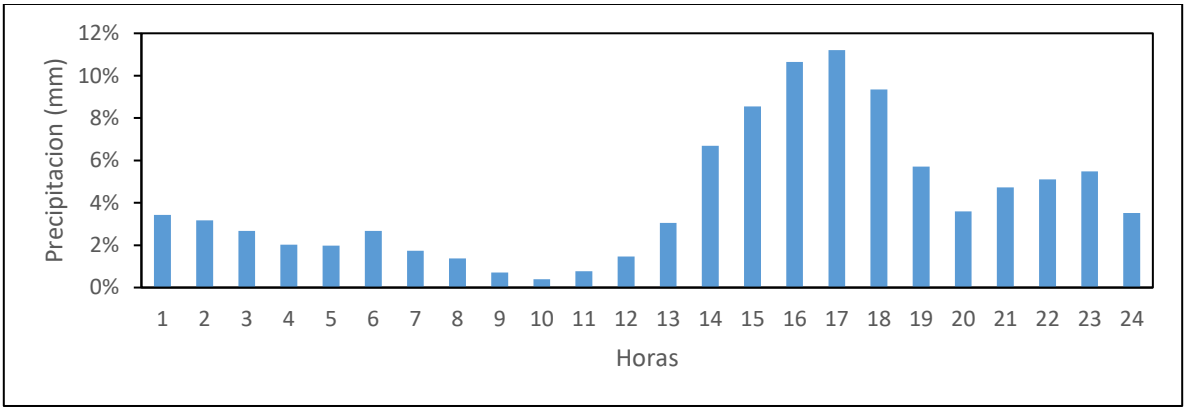


Figura 9-1 Comportamiento diario de la precipitación – Año 2020

9.1.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN

En cuanto al comportamiento mensual, como es sabido la ciudad de Bogotá está marcada por dos periodos de lluvia y dos períodos secos. De este modo, tal como se observa en las Tabla 9-2 donde se presenta el comportamiento mensual de las lluvias por cada estación y Tabla 9-1 donde se resumen el comportamiento de las lluvias durante cada mes, así como a nivel trimestral y semestral. En dichas tablas se puede apreciar que, en 2020, al igual que en 2019, los mayores acumulados se presentaron en el segundo semestre del año. Además, que el 59% de las lluvias ocurrieron en el segundo semestre. No obstante, las lluvias registradas durante los dos períodos secos dejan entrever que fueron más húmedos que el año anterior e idénticos al primer periodo de lluvias.

Tabla 9-1. Distribución de las lluvias durante el año 2020

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	30,8	94,5	84,4	63,7	69,8	79,0	90,1	40,5	86,4	34,9	240,1	94,5
% Anual	3%	10%	9%	6%	7%	8%	9%	4%	9%	4%	24%	10%
% Trimestral	21%			21%			22%			37%		
% Semestral	43%						59%					

Como se puede observar en la Figura 9-2 en el segundo semestre de 2020 se presentaron las lluvias más intensas. En el mes de noviembre se acumularon alrededor de 434 mm de lluvia mientras que el máximo acumulado en el mes de mayo fue de alrededor de 188 mm de lluvia, menor que lo registrado en febrero un mes característicamente seco.

Tabla 9-2 Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad – Año 2020

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acumulado (mm)
CSE	0,9	52,1	42,2	55,5	76	72,9	92	45,8	54,1	62,9	159,8	42,3	**756,5**
CDAR	33,9	108,8	130,1	55,3	58,3	88,9	96	48,3	93,4	40,7	236,2	87,5	**1077,4**
GYR	17,1	87,3	57,9	65,8	56,5	87,9	33,9	51,2	113,2	23,7	235,1	70,3	**899,9**
KEN	62,6	198,8	182,3	163,8	188,1	229,5	281,1	36,7	49,1	20	0	67,8	**1479,8**
LFR	15,8	51,1	64,5	41,3	34,9	26,4	61,5	17	107,7	20,1	236,2	124,3	**800,8**
MAM	46,6	107,8	102,2	35,2	51,6	53,4	72,6	34	78,4	26,6	263,6	116,3	**988,3**
MOV	15,9	98,3	85,3	27,9	53,8	28,9	39,4	12,7	55,7	20,4	227,6	79,1	**745,0**
PTE	5,7	62,2	57,6	43,3	47,6	47,9	73,1	36,1	71,2	23,9	139,2	102,3	**710,1**
SCR	35,3	100,1	77	57,5	61,4	99,5	95,1	85,7	155,4	55,4	433,9	223	**1479,3**
SUB	40,4	53,8	67,2	87,5	71,9	93,8	102,6	46,3	93,7	38,6	242,6	75,3	**1013,7**
TUN	53	62,3	33,1	53,6	93,5	81,5	88,2	38,1	78,5	64	200,1	62,8	**908,7**
USQ	42,9	151,2	113,5	77,3	43,5	37,6	45,8	34,2	86	22	266,5	82,5	**1003,0**

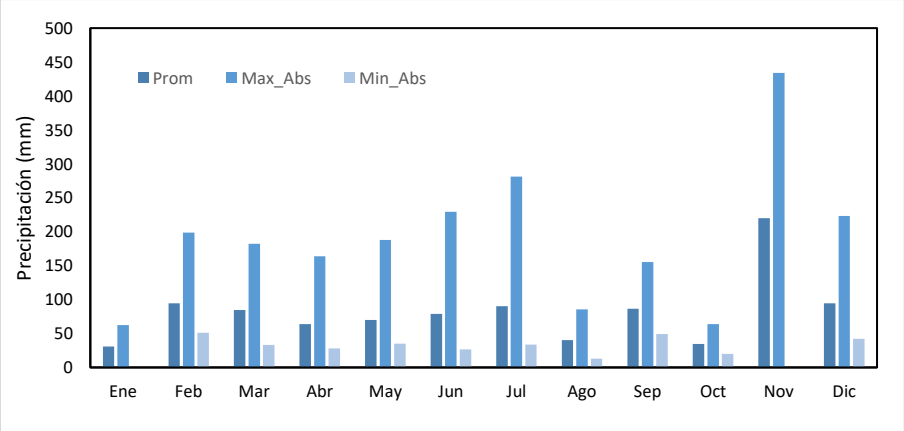


Figura 9-2 Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación – Año 2020

En 2020 de acuerdo con los registros de la RMCAB, en su mayoría los totales anuales fluctuaron entre 700 mm a 1100 mm. Se destacan los acumulados registrados en San Cristóbal, con totales por encima de los 1400 mm. Ver la Figura 9-3 y la Figura 9-4.

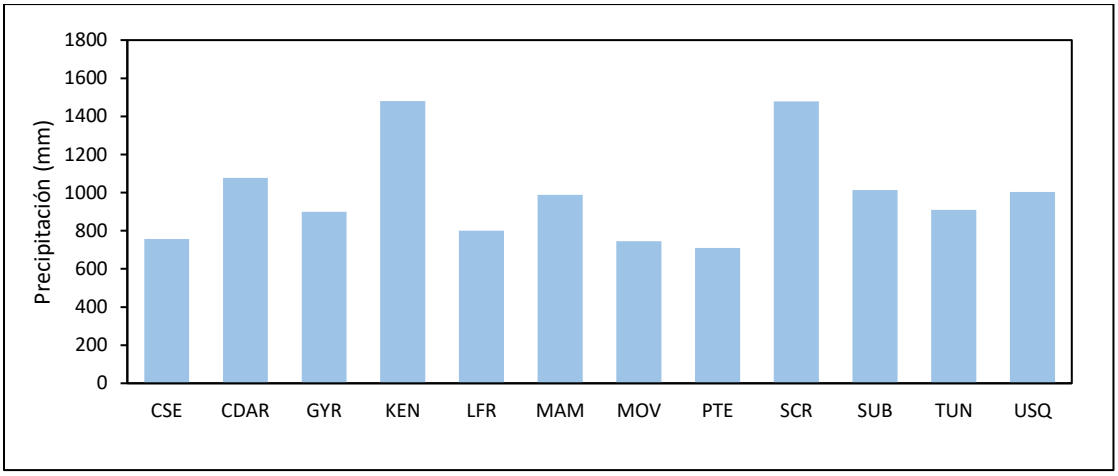


Figura 9-3 Total acumulado por estación – Año 2020

9.1.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

La distribución espacial de las precipitaciones se puede observar en el mapa de isoyetas de la Figura 9-4. En dicha figura se puede observar que los mayores acumulados se presentaron tanto al oriente como el occidente. Los acumulados registrados hacia el flanco occidental podrían estar asociados a lluvias de tipo advectivos. Entretanto, las lluvias registradas hacia el flanco oriental de la ciudad, se estima obedezcan a procesos de convección forzada.

9.1.4. COMPORTAMIENTO HISTORICO DE LA PRECIPITACIÓN

En la Tabla 9-3 se presenta el registro histórico de la RMCAB, donde se resume el comportamiento anual registrado en las distintas estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta la vigencia analizada.

Adicionalmente se presenta la Figura 9-5 que describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad, de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000. De acuerdo con este perfil anual se evidencia un ascenso en el total anual de la precipitación de 2020 con respecto al año anterior.

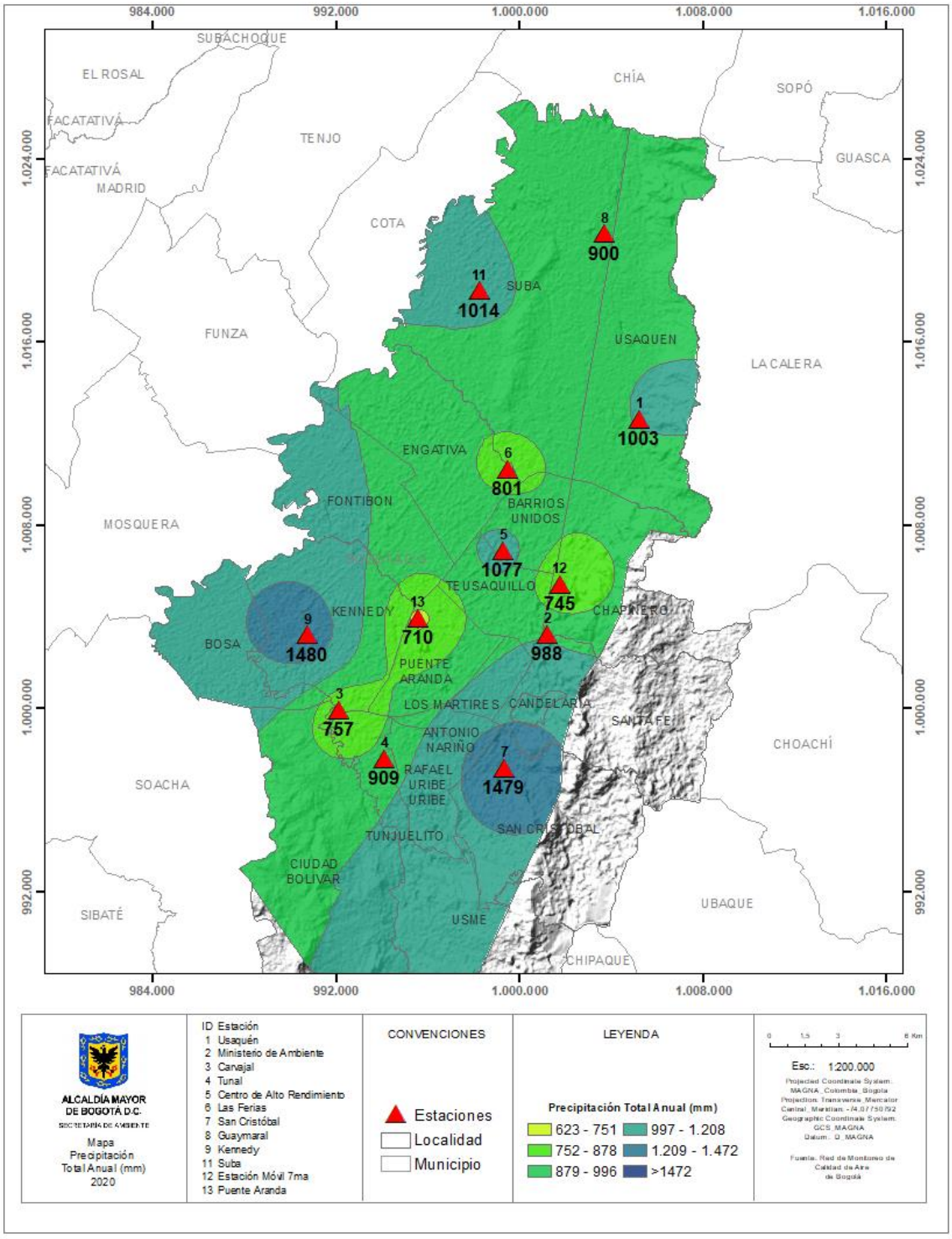


Figura 9-4 Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá – Año 2020

Tabla 9-3 Promedio de los acumulados de precipitación por estación – Año 2020

EST.	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	Prom.
1998															1150
1999															940
2000		585		687			606	851			650		1242		**767,8**
2001		317		471			592	636	564		496		563		**498,2**
2002		580		653	578		667	874	901		489		867		**710,8**
2003		421		574	709				891				495		**540,4**
2004		577	739	684					248		1007				**648,0**
2005			752	545			882		431				947		**668,6**
2006		692		520		611	861		580		573		825	702	**747,3**
2007		669	707	559	646	546	654		701		460	539	780	553	**645,6**
2008			848		821	839	695		1547		575	686	946	718	**838,2**
2009		620	815	382	656	559	759	812	857		646	542	624		**667,8**
2010		970	1523	522	1048	644	1321		881		1023	1071	1292		**1016,4**
2011		1024	1710	520	1394	587	1429		812		1156	1066	1277		**1097,5**
2012		638	891	350	639		931	940	679	938	866	668	828		**760,7**
2013	755,4	678	964	392	828	688	855	940	660	865	930	711	703		**767,8**
2014		639	1062		836	689	925	915	680	1076	732	674	869		**827,0**
2015	558,4	450	608		534	453	580	559	396	574	446	510	461		**506,5**
2016	961,4	540,8	802,6		964,4	723,4	924,6	795	835,5	786,4	362		333		**706,8**
2017	1389,4	890,2	1310,7		986,3	1078,1	1054,7	1032,8	1002,9	1072,6	986,6	1041,8	1140,8		**1054,3**
2018	955,7	809,7	932,3		796,2	1281,5	517,3		786	916,1	453,6	543,7	905,2		**794,2**
2019	989,4	723,5	979,8		923,9	1565,5	558,5	676,2	843,4	1065,5	801,7	814,6	1105,6		**914,4**
2020		756,5	1077		899,9	1480	800,8	988,3	710,1	1479	1014	908,7	1003		**1010,7**
Prom.	**935**	**662,1**	**982,6**	**527,6**	**828,7**	**838,9**	**821,7**	**834,9**	**750,3**	**974,8**	**719,3**	**752**	**860,3**	**657,7**	**770,9**

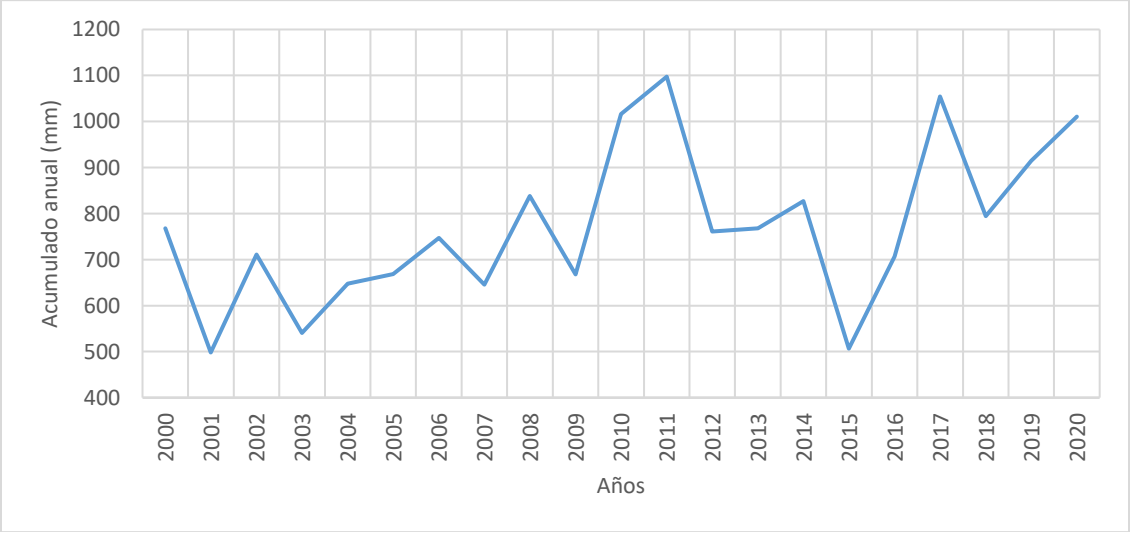


Figura 9-5 Variación anual de la precipitación en Bogotá – Año 2020

En la Tabla 9-4 se resume el comportamiento mensual multianual de la lluvia en la ciudad de Bogotá de acuerdo con los registros de la RMCAB desde 2000 hasta 2020. De acuerdo con esta tabla en 2020 las lluvias superaron al promedio histórico durante meses considerados como secos (febrero, julio). Mientras que, durante el primer periodo húmedo las lluvias no fueron abundantes como suele ocurrir durante el ciclo anual de la precipitación en la ciudad. Ver Figura 9-6.

Tabla 9-4 Precipitación promedio histórica mensual – Año 2020

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	**779,7**
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	**496,2**
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	**712,5**
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	**649,3**
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	**641,4**
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	**621,9**
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	**684,6**
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	**659,2**
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	**848,7**
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	**621,9**
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	**1002,3**
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	**1122,0**
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	**816,5**
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	**795,6**
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	**811,6**
2015	38,9	31,9	95,9	58,9	17,1	52,4	30,6	18,6	30,8	44,1	59,0	1,1	**479,2**
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	**823,0**
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	**953,4**
2018	60,7	41,2	100,0	148,1	126,2	50,0	50,6	39,1	36,4	75,4	94,6	10,7	**833,0**
2019	18,5	50,8	87,3	124,8	122,7	74,9	44,3	35,6	62,7	97,3	180,0	48,2	**947,0**
2020	26,4	81,0	72,4	54,6	59,8	67,7	77,2	34,7	74,0	29,9	188,6	81,0	**847,3**
Prom.	**32,7**	**60,5**	**81,2**	**94,8**	**82,4**	**51,0**	**38,6**	**29,7**	**43,3**	**86,5**	**107,7**	**60,3**	**768,9**

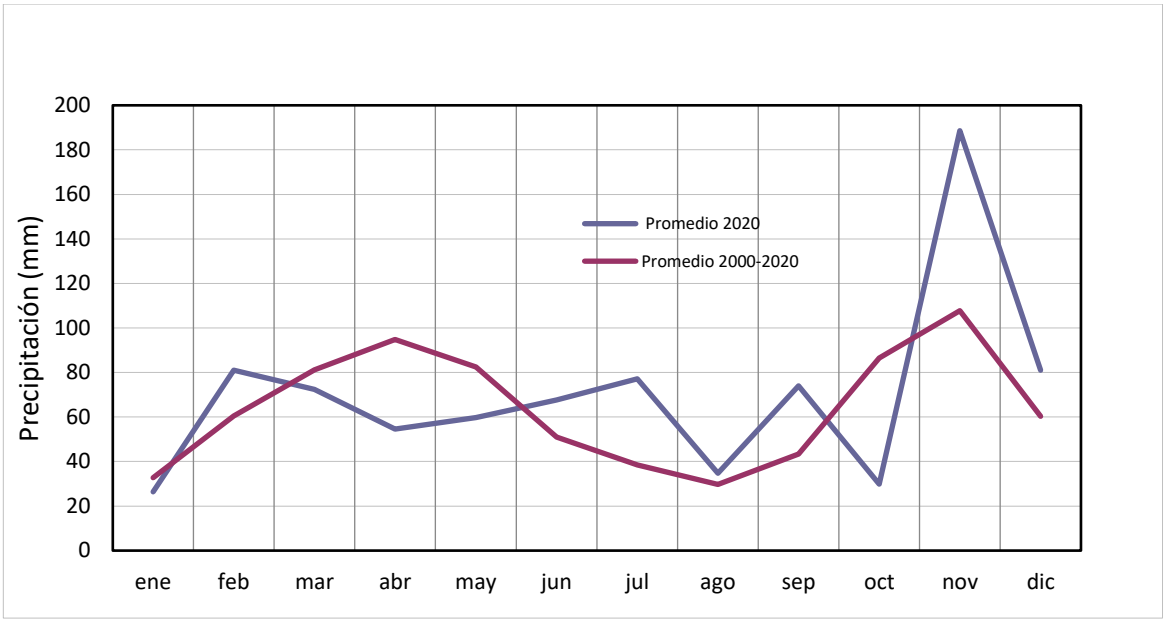


Figura 9-6 Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual 2020

9.2. TEMPERATURA

La temperatura es una propiedad de la materia, definida por la cinética media de las moléculas. Esta se mide en virtud de la transferencia de calor entre los cuerpos de niveles distintos de energía cinética molecular media. En el caso del aire, indica la cantidad de energía interna o sensible, acumulada en un momento y lugar determinado.

La temperatura del aire ambiente determina la ocurrencia de los procesos de difusión de contaminantes por su contribución al incremento de los flujos turbulentos que son claves para el ascenso a niveles por encima del suelo y el consecuente transporte y mezcla de los contaminantes, que diariamente se descargan en la ciudad ya sea por fuentes propias o por fuentes externas como las quemas regionales que son recurrentes en los primeros meses del año.

En la RMCAB la temperatura ambiente se mide en estaciones distribuidas estratégicamente en la ciudad, para caracterizar sus variaciones espaciales y en diferentes resoluciones temporales de manera que contribuya con la toma de decisiones asociadas a esta variable.

9.2.1. COMPORTAMIENTO HORARIO DE LA TEMPERATURA

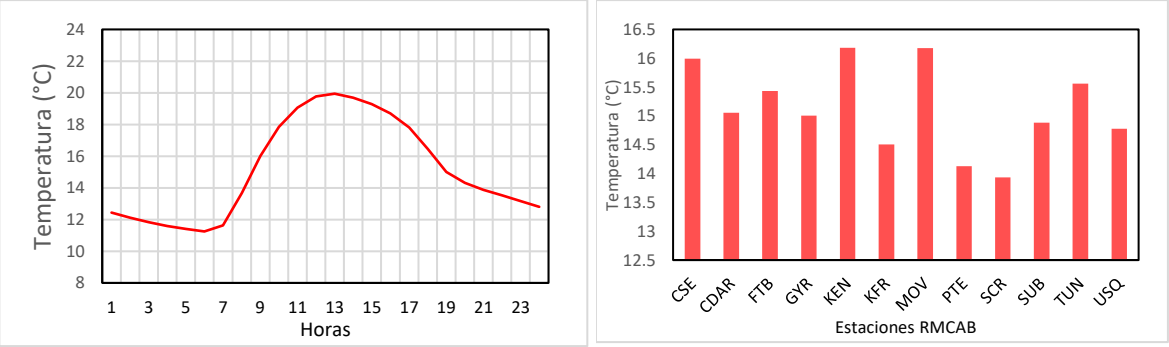
De acuerdo con los registros de la RMCAB en la Tabla 9-5 se resume el perfil promedio horario anual de la temperatura durante el año 2020 por estación. Con base en dicha información, en un día normal del año, en promedio las temperaturas más bajas se presentan en horas de la madrugada y de la noche. Así mismo, conforme el sol calienta el suelo y éste a su vez el aire en contacto, la temperatura del aire comienza a incrementarse alcanzando su máximo entre las 12 horas y las 14 horas, posiblemente incluso hasta las 15 horas. Este incremento de temperatura máxima corresponde con la hora en la que ocurre la mayor convección térmica en un día normal en Bogotá,

que podría propiciar no sólo la mayor dispersión de contaminantes en la atmósfera, sino también favorecer la convección profunda y la ocurrencia de lluvias con tormentas.

En la Figura 9-7 se muestra el perfil promedio horario de la temperatura en la ciudad y sus variaciones espaciales a través de cada una de sus estaciones. Durante el año 2020 de manera idéntica que el año anterior, las mayores temperaturas de la ciudad se reportaron en las estaciones Kennedy, Móvil 7ma y Carvajal-Sevillana. El sector de San Cristóbal continúa registrando los valores más bajos de temperatura horaria durante el año.

Tabla 9-5 Comportamiento de la temperatura horaria – Año 2020

Hora	BOL	CSE	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MAM	MOV	PTE	SCR	SUB	Prom.
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
1:00	13,6	11,5	13,3	11,5	13,5	12,1	13,8	12,3	11,6	11,3	12,3	12,6	12,5
2:00	13,2	11,2	12,9	11,2	13,2	11,8	13,5	12,0	11,3	11,0	12,0	12,3	12,1
3:00	12,8	10,9	12,6	10,9	12,9	11,5	13,2	11,7	11,1	10,7	11,8	12,0	11,8
4:00	12,6	10,6	12,3	10,7	12,6	11,3	13,0	11,5	10,8	10,5	11,5	11,8	11,6
5:00	12,4	10,4	12,1	10,5	12,4	11,1	12,8	11,3	10,6	10,3	11,3	11,6	11,4
6:00	12,3	10,2	12,0	10,3	12,1	11,0	12,7	11,2	10,5	10,1	11,1	11,5	11,3
7:00	12,7	11,1	12,3	11,0	12,4	11,6	12,8	11,5	10,8	10,4	11,4	11,8	11,7
8:00	14,5	14,6	14,0	14,1	14,3	13,6	14,0	12,8	12,4	12,3	13,9	13,5	13,7
9:00	16,6	17,5	15,9	16,9	17,0	15,7	16,1	14,4	14,6	15,3	16,7	15,5	16,0
10:00	18,3	19,4	17,5	18,6	19,2	17,2	18,4	15,8	16,1	18,0	18,7	17,0	17,9
11:00	19,5	20,4	18,6	19,6	20,6	18,2	19,9	16,9	17,2	19,8	20,1	18,2	19,1
12:00	20,1	21,0	19,2	20,3	21,1	18,8	20,7	17,6	17,9	20,9	21,0	18,8	19,8
13:00	20,3	20,9	19,3	20,6	21,0	19,0	20,9	17,6	18,2	21,3	21,2	19,0	19,9
14:00	20,2	20,5	19,1	20,5	20,7	18,6	20,7	17,3	18,0	21,0	21,0	18,8	19,7
15:00	19,9	19,9	18,8	20,0	20,4	18,2	20,3	17,0	17,8	20,5	20,6	18,3	19,3
16:00	19,4	19,2	18,3	19,4	19,9	17,5	19,6	16,5	17,2	19,7	20,1	17,6	18,7
17:00	18,5	18,1	17,7	18,3	19,0	16,6	18,5	16,0	16,4	18,6	19,1	16,8	17,8
18:00	17,2	16,4	16,7	16,6	17,6	15,4	17,3	15,1	15,2	16,9	17,5	15,7	16,5
19:00	16,0	14,5	15,6	14,8	15,9	14,2	16,1	14,2	13,9	14,9	15,3	14,7	15,0
20:00	15,4	13,6	15,1	14,0	15,2	13,6	15,5	13,8	13,3	13,8	14,3	14,1	14,3
21:00	15,1	13,0	14,8	13,4	14,9	13,3	15,1	13,6	12,9	13,2	13,8	13,7	13,9
22:00	14,7	12,6	14,4	12,9	14,6	13,0	14,8	13,3	12,5	12,7	13,3	13,4	13,5
23:00	14,4	12,2	14,1	12,4	14,3	12,7	14,5	13,0	12,2	12,2	13,0	13,2	13,2
24:00	14,0	11,8	13,7	11,9	13,9	12,4	14,2	12,6	11,9	11,7	12,6	12,9	12,8
Prom.	**14,2**	**14,4**	**14,8**	**14,6**	**14,7**	**14,2**	**14,0**	**14,1**	**14,3**	**14,4**	**14,4**	**14,2**	**14,4**



a) Perfil horario anual *b) Promedio horario anual por estación*

Figura 9-7 a) Perfil horario anual de temperatura. b) perfil diario de temperatura por estación

9.2.2. COMPORTAMIENTO MENSUAL DE LA TEMPERATURA

Los datos registrados en la RMCAB permiten establecer que 2020 fue un año con temperaturas semejantes a las registradas durante el año anterior. El promedio anual fue de 15, 1 °C superando nuevamente el promedio anual de 2016 que fue uno de los años más calientes de la década. De acuerdo con estos registros, los meses con mayores valores de temperatura del año se presentaron entre enero y agosto, exceptuando al mes de marzo que fue ligeramente menor, como se puede ver en la

Tabla 9-8 y la Figura 9-8.

Por otra parte, al comparar el promedio de temperatura media mensual multianual de 2000 a 2020 contra la media mensual de 2020 se observa que el promedio mensual de 2020 fue superior al promedio multianual, durante todo el año. Asimismo, se puede observar que con respecto a la media multianual las anomalías de temperatura fueron positivas y que se presentaron durante todo el año, sobre todo durante el mes de marzo.

Tabla 9-6 Promedio mensual de temperatura multianual 2000 – 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	**13,4**
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	**14,3**
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	**14,8**
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	**14,7**
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	**14,1**
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	**15,1**
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	**13,5**
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	**13,5**
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	**13,6**
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	**14,4**
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	**14,7**
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	**14,1**
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	**14,1**

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	**14,3**
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	**14,2**
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	**14,6**
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	**15,0**
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3	**14,5**
2018	14,1	14,9	14,8	14,1	14,5	14,2	14,3	13,9	14,5	14,8	15	14,5	**14,5**
2019	14,7	15,5	15,5	15,5	15,2	14,8	14,6	14,5	15,1	14,7	15,2	15,4	**15,1**
2020	15,2	15,4	15,9	15,7	15,5	15,0	14,7	15,0	14,6	15,0	14,7	14,8	**15,1**
Prom. 2000-2020	**14,2**	**14,4**	**14,8**	**14,6**	**14,7**	**14,2**	**14,0**	**14,1**	**14,3**	**14,4**	**14,4**	**14,2**	**14,4**
Desviación estándar	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	

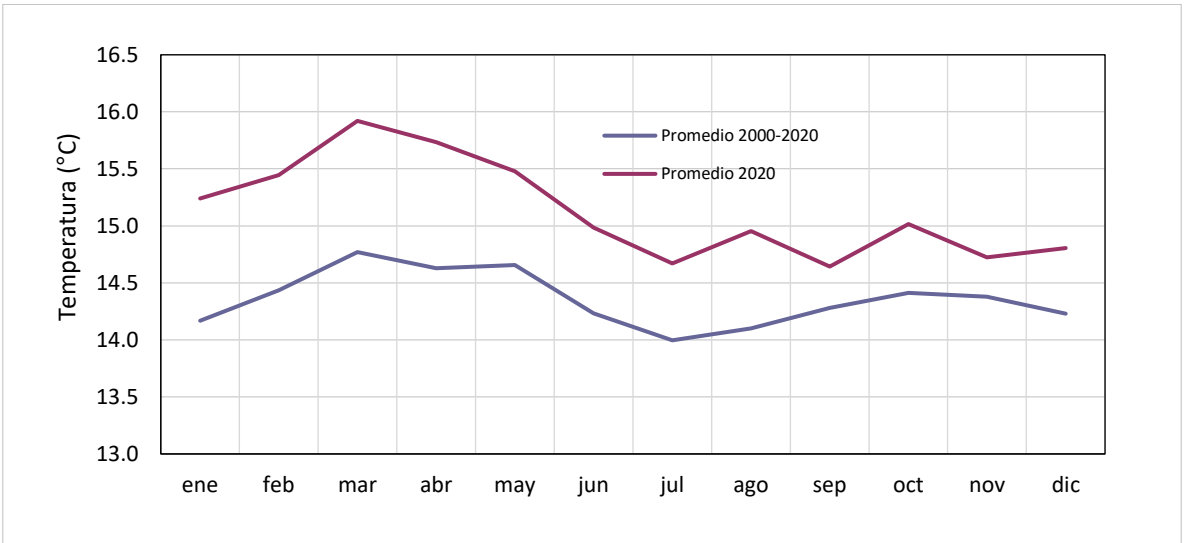


Figura 9-8 Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2020 Vs 2020

En cuanto al comportamiento de las temperaturas extremas, las estaciones Suba, Tunal y Móvil 7ma fueron las que registraron los valores más altos en cuanto a las máximas absolutas con 28,0°C, 27,2°C y 27,1°C respectivamente. En cuanto a las mínimas absolutas Guaymaral y CDAR registraron las temperaturas más bajas durante el año con 0,7 °C y 1,7 °C respectivamente. En la Figura 9-9 se resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2020. De la Tabla 9-7 se puede deducir que las mayores amplitudes térmicas se presentaron hacia los sectores de la ciudad representados por las estaciones Guaymaral, CDAR, Suba y Tunal. Estas variaciones de temperatura durante el día son las que en el trópico contribuyen con la formación de corrientes convectivas que ayudan al ascenso de masas de aire y con la reducción de la contaminación atmosférica complementado con la mezcla y transporte turbulentos (Hastenrath, 1991).

Los valores presentados en la Tabla 9-7 y la Figura 9-9 de las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, corresponden a los registros medidos durante los últimos meses del año, los cuales le permitirán a la RMCAB dar información a la ciudadanía acerca del comportamiento de las temperaturas en estos espacios intermedios de la ciudad donde se desconocía el comportamiento de la temperatura superficial. Por tanto, estos se reportan como valores indicativos de comportamiento preliminar de la temperatura superficial en dichos puntos, dado que estos no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-7 Temperaturas extremas – Año 2020

ESTACIÓN	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Amplitud Térmica (°C)
BOS*	7,3	20,7	13,4
CSE	6,2	25,6	19,4
CDAR	1,7	26,6	24,9
CBV*	8,1	19,8	11,7
FTB	6,2	24,6	18,4
GYR	0,7	25,9	25,2
JAZ*	9	21,8	12,8
KEN	6,8	29,1	22,3
LFR	5,7	23,6	17,9
MOV	7,4	27,1	19,7
PTE	6,3	23,3	17
SCR	4,3	23,1	18,8
SUB	3,2	28	24,8
TUN	2,6	27,2	24,6
USQ	4,7	24,4	19,7
USM*	7,4	22	14,6

* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

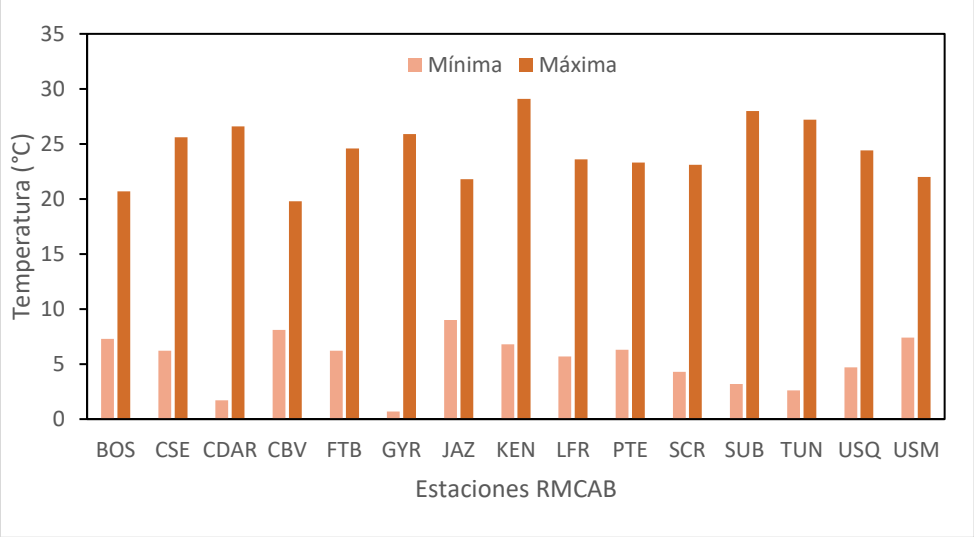


Figura 9-9 Temperaturas extremas absolutas – Año 2020

9.2.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

Los registros de la RMCAB permiten establecer que en 2020 las mayores temperaturas medias superficiales se presentaron entre el flanco occidental, el flanco oriental y el norte de la ciudad con valores de entre 15 °C a 16,2 °C. Mientras que las menores temperaturas se registraron hacia el suroriente, como es frecuente, y a lo largo de una franja central en dirección sur norte donde las temperaturas en promedio oscilan desde 13,9 °C hasta 14,9 °C, como se puede ver en la Figura 9-10.

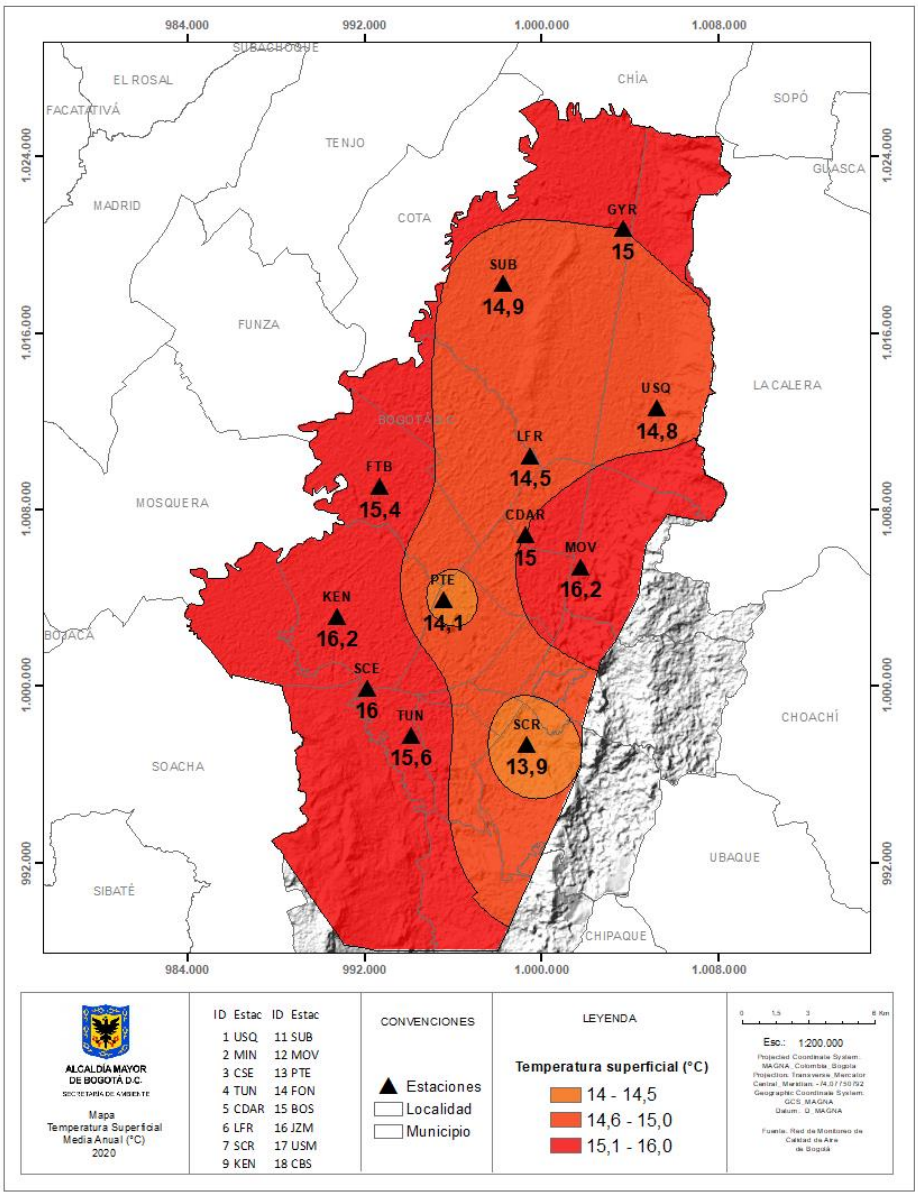


Figura 9-10 Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB – Año 2020

9.2.4. PROMEDIOS HISTORICOS DE TEMPERATURA

En la Tabla 9-8 se presenta el resumen de los registros medios anuales por estación de la RMCAB desde 2000 a 2020. Estos reportes permiten observar que en 2020 la temperatura media superficial mostró un ligero incremento con respecto a 2019, y se estima que ambas temperaturas medias se encuentran alrededor de los 15,1 °C.

Las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, hacen parte de las estaciones recientemente instaladas por la RMCAB, por lo que sus registros son indicativos, debido a que no alcanzaron el porcentaje de representatividad temporal del 75%.

En la Figura 9-11 se muestra cómo ha variado en promedio la temperatura anual de la ciudad de Bogotá desde el año 2000 hasta el 2020. Esta representación es importante porque permite visualizar la evolución de la temperatura del aire en la ciudad de Bogotá, durante las últimas dos décadas. En esta figura se aprecia que en 2020 así como el año anterior las temperaturas medias superficiales superaron las registradas en 2016 calificado como de los años más calientes de la última década. Asimismo, superan las temperaturas medias superficiales registradas en 2005 cuando se presentó uno de los eventos El Niño más fuerte de las últimas dos décadas.

Tabla 9-8 Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2020

Año/Est.	BOS*	CSE	CDAR	CBV*	FTB	GYR	JAZ*	KEN	LFR	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM*	Prom.
2000					13,6				15,6	14,1		10,6				**13,5**
2001					13,9				16	14,5						**14,8**
2002					14,1				16	14,6						**14,9**
2003					14,2					14,7						**14,5**
2004					13,9					14,5						**14,2**
2005					14,2				15,9	14,8						**15,0**
2006		12,2			14,1					14,6		12,6				**12,9**
2007		11,2			13,9					14,6		13,2				**12,7**
2008		14,1	13,9		14,1	13,9		13,6	13,3	14		13,7		11,9		**13,4**
2009		15,4	14,7		14,7	14,4		14,8	14	14,6		12,9	14,6	14,5		**14,5**
2010		15,5	14,8		14,5	14,8		14,8	14,2	14,6	13,5			15,1		**14,5**
2011		15	14,5		13,6	14,3		14,4	13,7	14	13,7		13,2	14,4		**14,1**
2012		15,2	14,6		13,8	14,3		14,5	13,9	13,8	13	14	13,4	14,4		**14,1**
2013		15,5	14,8		14,1	14,6		14,8	14,2	13,7	13,1	14,3	13	14,8		**14,3**
2014		15,5	14,8			14,6		14,9	14,2	14	13	14,3	13,1	14,7		**14,3**
2015		15,8	15,2			14,8		15,3	14,4	14,4	13,4	14,6	13,5			**14,6**
2016		16	15,4			15,1		15,3	14,7	15	13,7	15	14,4			**15,0**
2017		15,6	14,9			14,7		15,1	14,3	14,5	13,2	14,6	13,4	13,2		**14,4**
2018		15,5	14,7			14,5		15,2	14,1	14,2	13,1	14,4	13,4			**14,3**
2019		15,8	15,1		15,4	14,9		16,6	14,5	14,2	13,4	14,8	15,5	14,7		**15,0**
2020	14,3	16	15	14,1	15,4	15	15,3	16,2	14,5	14,1	13,9	14,9	15,6	14,8	14,8	**15,0**
Prom. (°C)		**15,0**	**14,8**		**14,2**	**14,6**		**15,0**	**14,6**	**14,4**	**13,4**	**13,9**	**13,9**	**14,3**		**13,9**

* Los valores estimados en estas estaciones son indicativos dado que la representatividad de los datos es menor al 75%

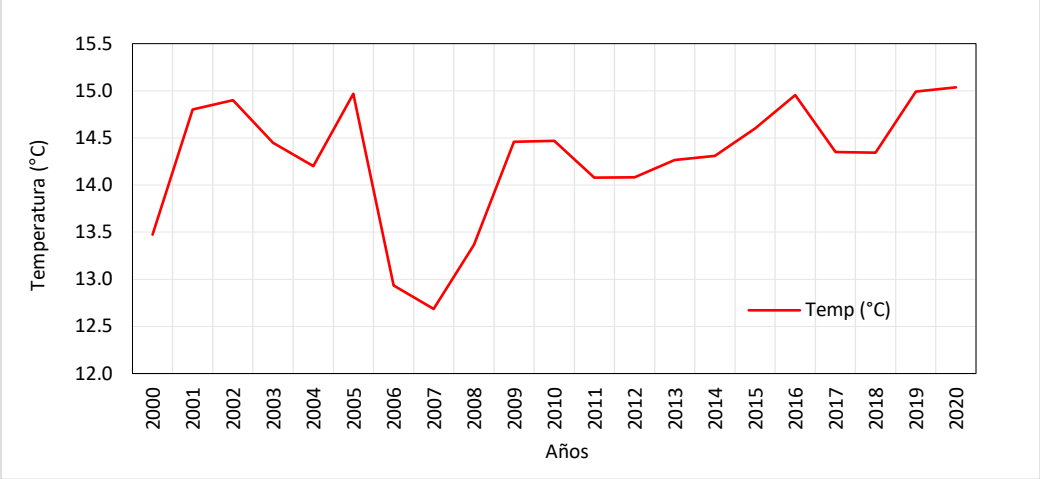


Figura 9-11 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2020

9.3. VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

El viento es el aire en movimiento. Este elemento meteorológico se debe principalmente al calentamiento diferencial que sufre la superficie de la Tierra por parte de la radiación solar, a causa de los movimientos de rotación y de traslación terrestres. Esta radiación, es absorbida por la superficie de la Tierra de manera diferencial en función de sus capacidades de absorción (albedo), y de acuerdo con sus propiedades térmicas, cada superficie absorbe radiación y la transfiere al aire circundante como ondas de calor que son absorbidas de manera eficiente dada sus propiedades diatérmicas, lo que a su vez genera diferencias de presión las cuales propician el movimiento de las masas de aire de zonas con altas presiones hacia las zonas con bajas presiones, dando origen a los vientos.

El viento no sólo tiene magnitud sino también dirección, por lo cual su análisis se realiza desde el punto de vista de la descomposición vectorial, tomando en cuenta sus componentes *u* y *v,* los cuales parametrizan el viento en el plano horizontal.

El viento juega un papel muy importante en los procesos de dispersión de contaminantes en la atmosfera de la ciudad, debido a que las partículas se encuentran en suspensión y dependiendo de las condiciones sinópticas y la circulación local de las masas de aire, estas pueden ayudar en mayor o menor medida con los procesos de mezcla y transporte de los contaminantes. Sin embargo, también pueden contribuir de manera desfavorable cuando transportan contaminantes provenientes de fuentes externas, ya sean a nivel local o regional y los introducen a la ciudad cuando su trayectoria está así determinada.

9.3.1. PROMEDIOS ANUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB la velocidad del viento en 2020 presentó un descenso considerable con respecto a la media multianual, principalmente en el segundo semestre del año

donde los vientos entre julio y agosto presentan sus mayores valores, como se puede apreciar en la Figura 9-12.

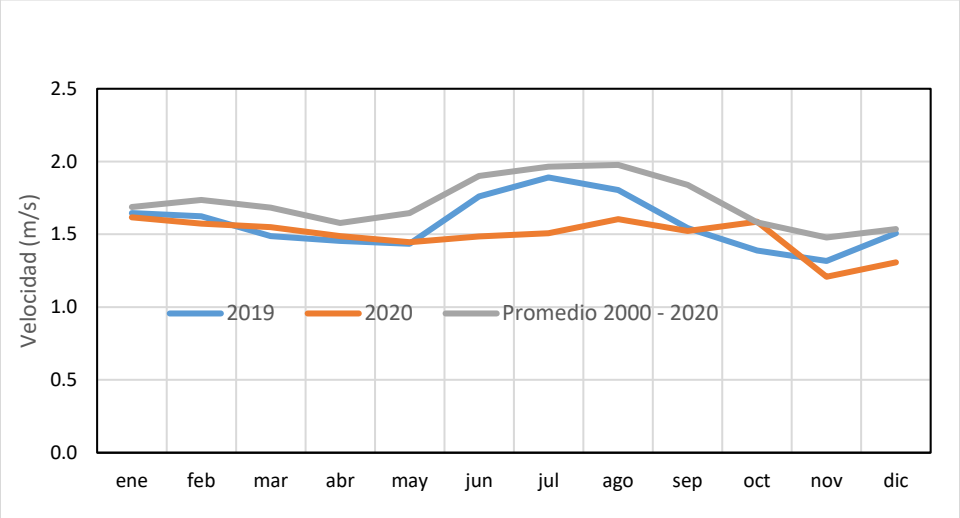


Figura 9-12 Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2020) Vs. 2019 y 2020.

De otro lado, si se compara el comportamiento de las velocidades del viento por estación entre los años 2000 y 2020 se observa que sólo en las estaciones Tunal, Kennedy, Guaymaral, y Usaquén, se presentaron ligeros incrementos con respecto a la media multianual, como se muestra en la Tabla 9-9 y la Figura 9-13.

Tabla 9-9 Promedio multianual por estación de los años 2000 - 2020

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2000	0,9	N.A	N.A	N.A	1,7	0,4	1,9	N.A	1,4	N.A	1,2
2001	1,3	N.A	N.A	N.A	1,7	0,5	2,4	N.A	1,4	N.A	1,1
2002	1,2	N.A	0,6	N.A	1,6	0,5	2,4	N.A	1,3	N.A	1,0
2003	2,1	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	2,6	N.A	N.A	N.A	1,2
2004	N.A	0,8	N.A	N.A	N.A	N.A	2,7	N.A	1,6	N.A	N.A
2005	N.A	1,9	N.A	N.A	1,5	N.A	2,8	N.A	N.A	N.A	1,6
2006	N.A	N.A	N.A	1,5	1,4	N.A	2,8	N.A	1,3	N.A	2,4
2007	1,8	1,1	1,1	1,5	1,4	N.A	2,7	N.A	1,5	2,1	1,8
2008	1,9	1,4	1,2	2,3	1,9	N.A	2,7	N.A	0,5	1,3	0,7
2009	2,4	1,7	1,3	2,7	2,1	1,2	2,9	N.A	0,9	1,2	0,9
2010	2,1	1,5	N.A	2,5	1,7	N.A	2,7	1,1	1,0	1,2	1,2
2011	2,1	1,3	0,9	2,4	1,8	N.A	2,7	1,7	1,8	1,1	1,4
2012	2,4	1,4	1,0	2,6	1,9	N.A	2,2	1,8	2,0	1,1	1,6
2013	2,4	1,4	1,0	2,5	1,9	1,8	2,1	2,2	2,0	1,1	1,6
2014	2,4	1,4	1,1	2,6	1,8	1,8	2,1	1,8	1,9	1,0	1,4
2015	2,6	1,5	1,1	2,8	2,0	1,8	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7

Estación	CSE	CDAR	GYR	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ
2016	2,0	1,2	0,9	2,4	1,7	1,5	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7
2017	2,0	1,2	0,9	2,3	1,6	1,4	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6
2018	2,0	1,2	1,0	2,3	1,6	N.A	2,2	1,5	1,4	1,2	1,6
2019	1,6	1,3	1,4	2,4	1,6	1,3	N.A	1,5	1,2	1,4	1,6
2020	1,1	1,2	1,5	2,3	1,8	1,2	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5
Prom. 2000 - 2020	**1,9**	**1,3**	**1,1**	**2,3**	**1,7**	**1,2**	**2,4**	**1,6**	**1,4**	**1,3**	**1,4**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo

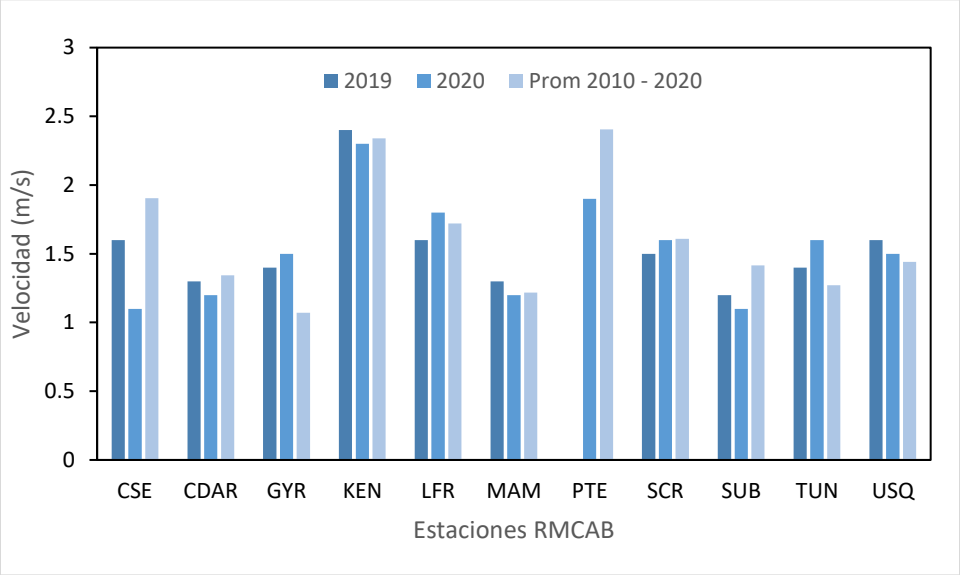


Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2019 vs. 2020.

9.3.2. PROMEDIOS MENSUALES DE VELOCIDAD DEL VIENTO

En la Tabla 9-10 se presenta un resumen del comportamiento promedio mensual multianual de los vientos durante las últimas décadas. De acuerdo con los registros de la RMCAB, las velocidades del viento durante el 2020 registraron un fuerte descenso sobre todo durante los meses de noviembre y diciembre, como se muestra en la Figura 9-14. Esta reducción de las velocidades de los vientos durante el mes de noviembre principalmente, frente a los altos acumulados de precipitación, podría sugerir encuentros de masas de aire en la ciudad que redujeron su velocidad forzando su ascenso convectivo y produciendo lluvias abundantes como las que se registraron en gran parte de la ciudad, sobre todo en el segundo semestre de 2020.

Tabla 9-10 Comportamiento de los promedios mensuales multianuales de los vientos en el periodo 2000 - 2020

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	**1,3**
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	**1,5**
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	**1,4**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	**1,7**
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	**1,8**
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	**1,8**
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	**1,8**
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	**1,8**
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	**1,7**
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	**1,8**
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	**1,8**
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	**1,8**
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	**1,9**
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	**1,9**
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	**1,8**
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	**1,8**
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	**1,6**
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	**1,5**
2018	1,5	1,6	1,5	1,2	1,3	1,8	1,9	2,1	1,8	1,5	1,4	1,7	**1,6**
2019	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	2,0	2,1	2,1	1,8	1,6	1,6	1,7	**1,5**
2020	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,6	1,2	1,3	**1,5**
Prom. 2000 - 2020	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,6	**1,7**

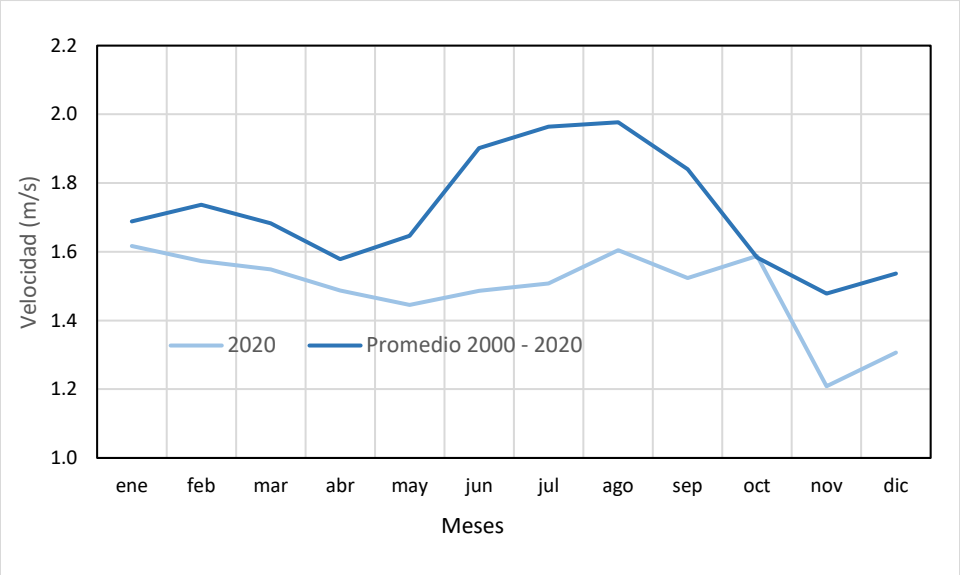


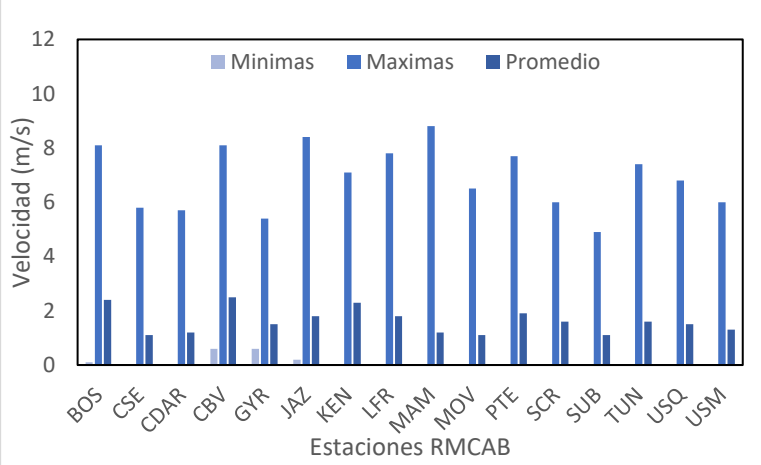
Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2020 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2020

Como información adicional se presenta en la Figura 9-15 los valores medios máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2020, por cada una de las estaciones de la RMCAB. De esta figura se sustrae que para el período del estudio las máximas velocidades absolutas de manera semejante al año anterior se registraron hacia los sectores de MinAmbiente, Las Ferias, Puente Aranda y Kennedy. Estas velocidades máximas probablemente ocurrieron en horas de la tarde cuando mayor cantidad de energía se ha acumulado en la atmosfera, favoreciendo la limpieza de la

ciudad como se observa en la Figura 9-17, toda vez que tienen la capacidad de mezclar y transportar los contaminantes que son descargados a la atmósfera local ya sea por fuentes puntuales dentro del distrito, vecinas, o incluso regionales como se ha evidenciado en los episodios de emergencia que se han presentado por quemas y/o incendios a nivel continental.

Es importante resaltar que los valores presentados de las estaciones Bosa, Ciudad Bolívar, Jazmín y Usme, son indicativos toda vez que no cumplen con la representatividad temporal del 75% y se presentan con el ánimo de dar a conocer la existencia de las nuevas estaciones que la RMCAB ha implementado para mejorar la resolución de la información meteorológica que se registran en la ciudad.

De acuerdo con estos registros hacia el sector de Bosa se observa que el viento alcanza velocidades relativamente mayores a las registradas en las estaciones Kennedy y Puente Aranda y confirman que hacia ese sector de la ciudad se presentan las mayores velocidades con una fuerte componente suroccidental. En la estación Ciudad Bolívar, por encontrarse en una cota superior al nivel medio de la sabana (aproximadamente 100 m por encima), es consistente que las velocidades del viento sean mayores que al nivel de la sabana de Bogotá. Asimismo, la estación Usme permite de manera preliminar, confirmar las bajas velocidades que se presentan hacia el suroriente de la ciudad. No obstante, se debe aclarar que estos valores no describen de manera concluyente el comportamiento de la velocidad de los vientos en dichos sectores, teniendo en consideración la temporalidad por debajo del 75%.

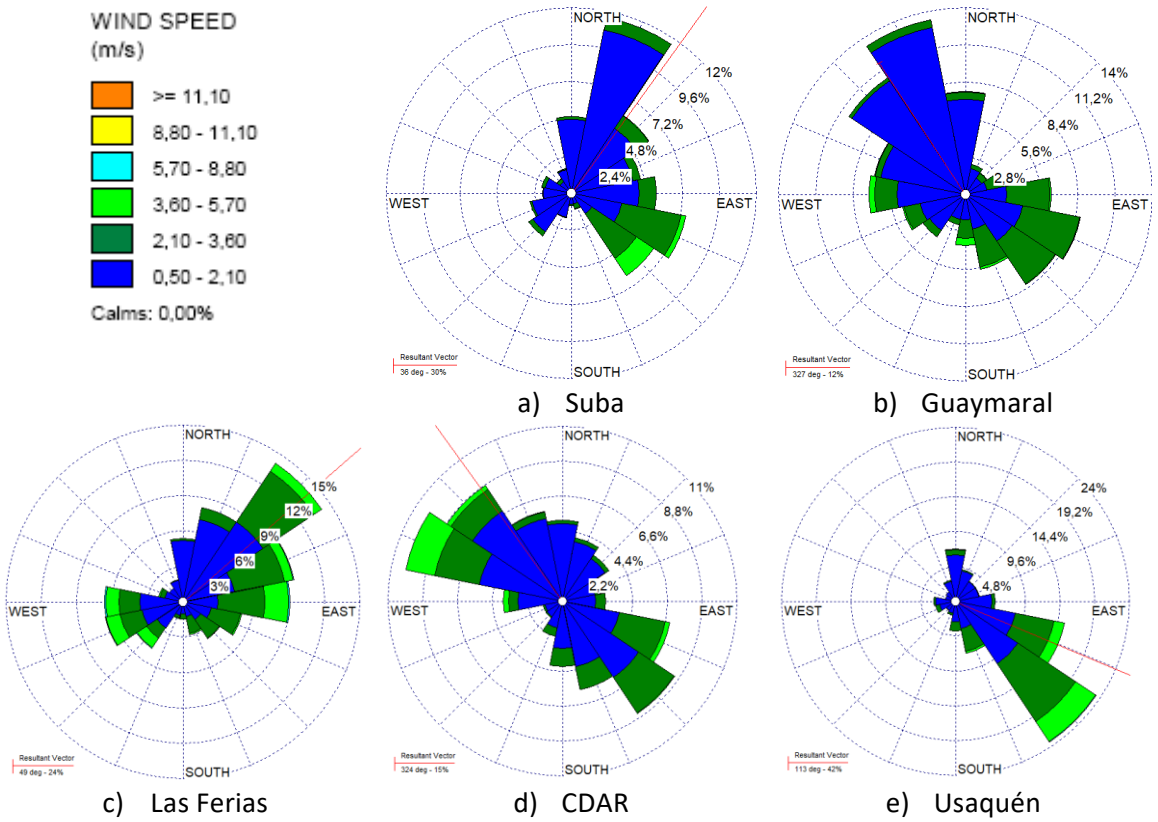


Estación	Vel. mínima	Vel. máxima	Vel. media
BOS	0,1	8,1	2,4
CSE	0	5,8	1,1
CDAR	0	5,7	1,2
CBV	0,6	8,1	2,5
FTB	0,1	13,4	4,2
GYR	0,6	5,4	1,5
JAZ	0,2	8,4	1,8
KEN	0	7,1	2,3
LFR	0	7,8	1,8
MAM	0	8,8	1,2
MOV	0	6,5	1,1
PTE	0	7,7	1,9
SCR	0	6	1,6
SUB	0	4,9	1,1
TUN	0	7,4	1,6
USQ	0	6,8	1,5
USM	0	6	1,3
Prom.	**0,1**	**6,7**	**1,5**

Figura 9-15 Velocidades medias, máximas y mínimas del viento – Año 2020

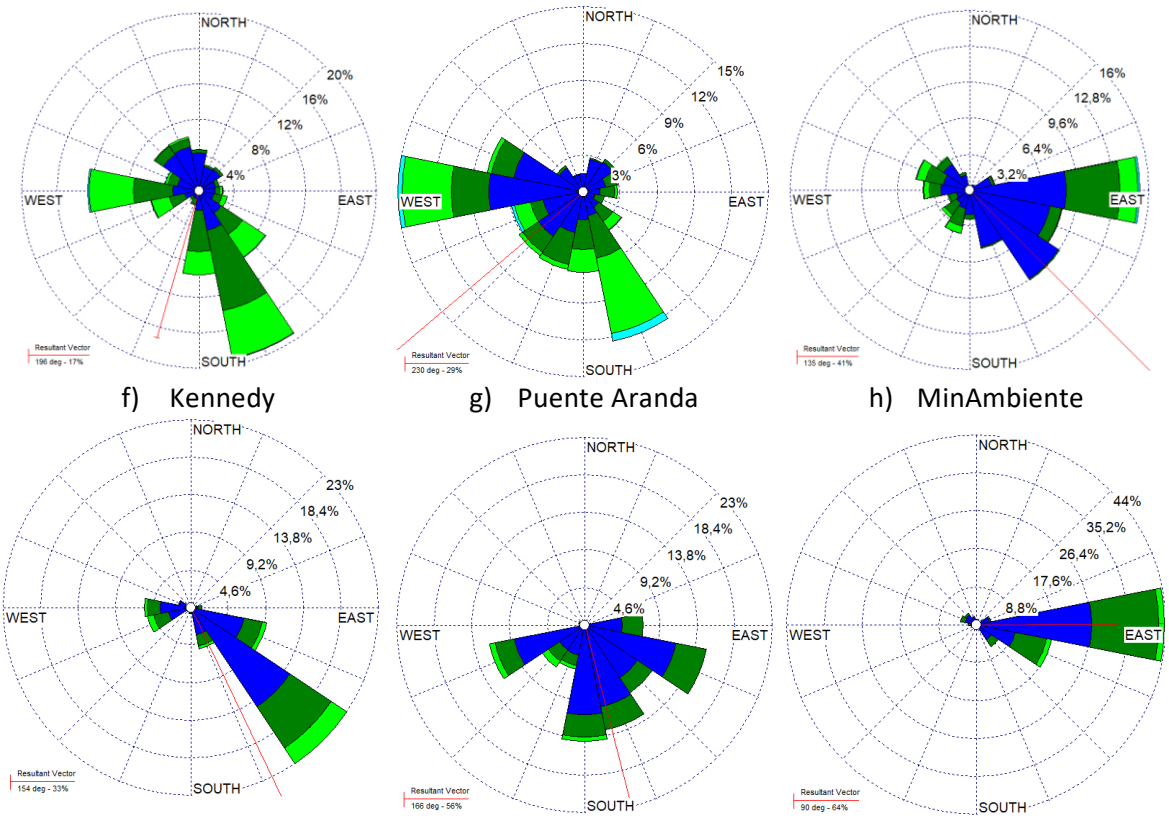
En la Figura 9-16 se presentan las rosas de los vientos anuales de acuerdo con los registros de la RMCAB durante el año 2020, para las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad

temporal del 75%. Si bien dicha ilustración representa una instantánea del ciclo anual de la velocidad y dirección del viento, esta ofrece información complementaria acerca de las direcciones predominantes en la ciudad durante todo el año, su frecuencia y magnitud. En el sector de Carvajal-Sevillana donde se registran las mayores concentraciones de contaminantes de la ciudad se presentaron velocidades de entre 0,5 y 5,7 m/s con predominio de vientos del suroriente en un 23% del tiempo, aunque son más frecuentes las velocidades bajas de entre 0,5 y 2,1 m/s los vientos del suroriente son los que en últimas contribuyen con la limpieza de la ciudad ejercida por la fuerza del viento, aunado a la convección térmica que se puede presentar en el sector, dada la cantidad de energía que se recibe. Semejante a los años anteriores se destaca la rosa de vientos de la estación de Puente Aranda donde se presentaron velocidades de entre 5,7 m/s y 8,8 m/s predominantemente del suroriente en un 12% y del occidente en un 15% del año. Velocidades de tal magnitud y poca frecuencia son proclives a presentarse durante las horas del día debido a la acumulación de mayor cantidad de energía (Ver además el mapa del campo del viento presentado en la Figura 9-18).



a) Suba b) Guaymaral

c) Las Ferias d) CDAR e) Usaquén



f) Kennedy g) Puente Aranda h) MinAmbiente

i) Carvajal j) Tunal k) San Cristóbal

Figura 9-16 Rosas de viento consolidadas por estación – Año 2020

9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Teniendo en cuenta que la magnitud de la velocidad de los vientos depende del ciclo diurno del sol, es importante conocer su comportamiento en diferentes horas del día tanto en velocidad como en dirección a fin de hallar patrones durante el día que podrían determinar la forma en que los contaminantes son dispersados. De acuerdo con los registros de la RMCAB en 2020, el comportamiento de los vientos promedio durante el día se presenta en Tabla 9-11. En esta se resume tanto la velocidad como la dirección, en diferentes fracciones de un día normal, esto con el propósito de identificar patrones de comportamiento en diferentes momentos del día, dada la cantidad diferente de radiación solar que se recibe. Así las cosas, se dividió el día en cuatro fracciones a saber: madrugada, mañana, tarde y noche. La dirección calculada a partir de los registros anuales de la red es un promedio vectorial, por consiguiente, es la resultante de todos los vientos registrados en cada fracción del día.

De la Tabla 9-11 es deducible que en 2020 las mayores velocidades del viento se presentaron en horas de la mañana y la tarde como es natural que ocurra, en tanto que las velocidades más bajas se registraron en la madrugada y en la noche. En cuanto a las direcciones, estas se pueden apreciar con mayor detalle en la Figura 9-17.

Tabla 9-11 Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día

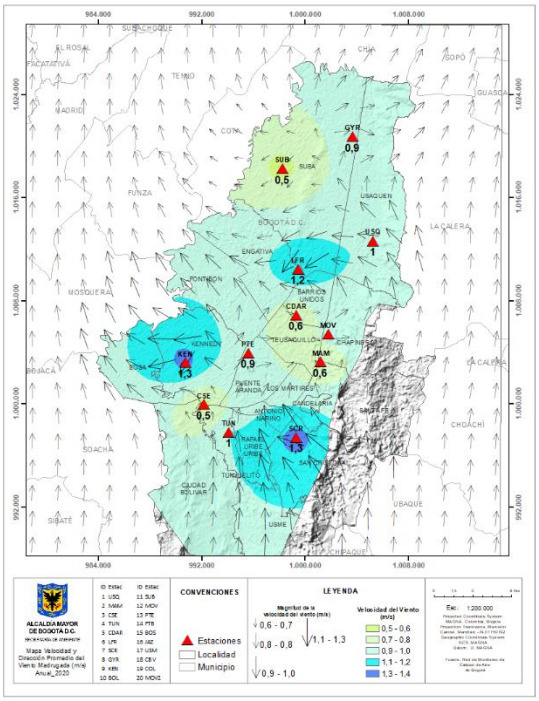
Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
GYR	0,9	1,7	2,4	1,1	329	8	167	297
CDAR	0,6	1,2	2,2	0,9	329	1	222	329
CSE	0,5	1,1	2,1	0,8	150	132	190	164
KEN	1,3	2,1	3,7	2,1	24	109	216	211
LFR	1,2	1,7	2,7	1,5	18	52	162	33
MAM	0,6	1,1	2,1	1,0	139	142	170	121
MOV	0,9	1,0	1,3	1,2	329	1	222	329
PTE	0,9	1,7	3,4	1,7	274	198	210	233
SCR	1,3	1,3	2,1	1,6	89	72	83	91
SUB	0,5	1,3	1,7	0,6	15	37	146	16
TUN	1,0	1,6	2,4	1,3	164	165	170	165
USQ	1,0	1,4	2,1	1,6	83	107	147	111

En la Figura 9-17 se presentan los mapas que permiten observar el comportamiento promedio de cada fracción del día durante el año. Las fracciones consideradas fueron así: de las 0 horas hasta las 6 a.m. se consideró como madrugada; de las 6 a.m. a las 12 m., se consideró como mañana; de las 12 m. a las 6 p.m., tarde; y de las 6 p.m. hasta las 12 p.m. o 0 horas, como noche. De acuerdo con esto, el comportamiento de los vientos en las diferentes fracciones del día, durante el año 2020, fueron como a continuación se describe:

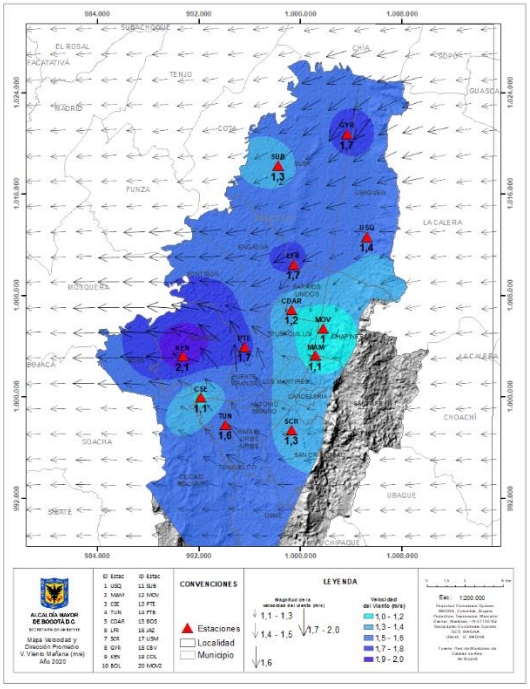
En las **madrugadas** hubo predominio de vientos del sur en el sur de la ciudad, vientos del suroriente bordeando los cerros orientales para continuar hacia el norte e incluso con flujo divergente atravesando toda la ciudad en dirección noroccidente que pudieron colisionar con los vientos del sur y del suroccidente. De acuerdo con las estimaciones de las descomposiciones vectoriales en las **mañanas** hubo mayor predominio de vientos del oriente en toda la ciudad; vientos que por su trayectoria y velocidad debieron haber contribuido a la remoción de contaminantes residuales del día anterior. En las horas de la **tarde** el cálculo de la descomposición vectorial permite deducir que durante el año 2020 los vientos prevalecieron principalmente del sur y del suroriente; estos son los vientos que mayormente pueden contribuir con la limpieza de la ciudad por su magnitud, capacidad de mezcla y transporte. En las horas de la **noche** el comportamiento fue semejante al de las horas de la madrugada con una variación en el flujo de los vientos del sur los cuales adoptaron una componente suroccidente.

Es importante aclarar que estas condiciones estáticas descritas anteriormente, pueden presentar variaciones durante el año; no obstante, en promedio la ciudad se ve favorecida por la influencia de los vientos alisios los cuales diariamente ejercen limpieza aerodinámica a través de los vientos predominantes del oriente. Como podrá observarse, en diferentes momentos del día los alisios pueden presentar variaciones en su dirección; estas pueden obedecer a la posición relativa del sol durante el año haciendo que predominen los vientos alisios del suroriente o los del nororiente. Aunado a lo anterior, se puede presentar la influencia de sistemas de escala sinóptica como huracanes.

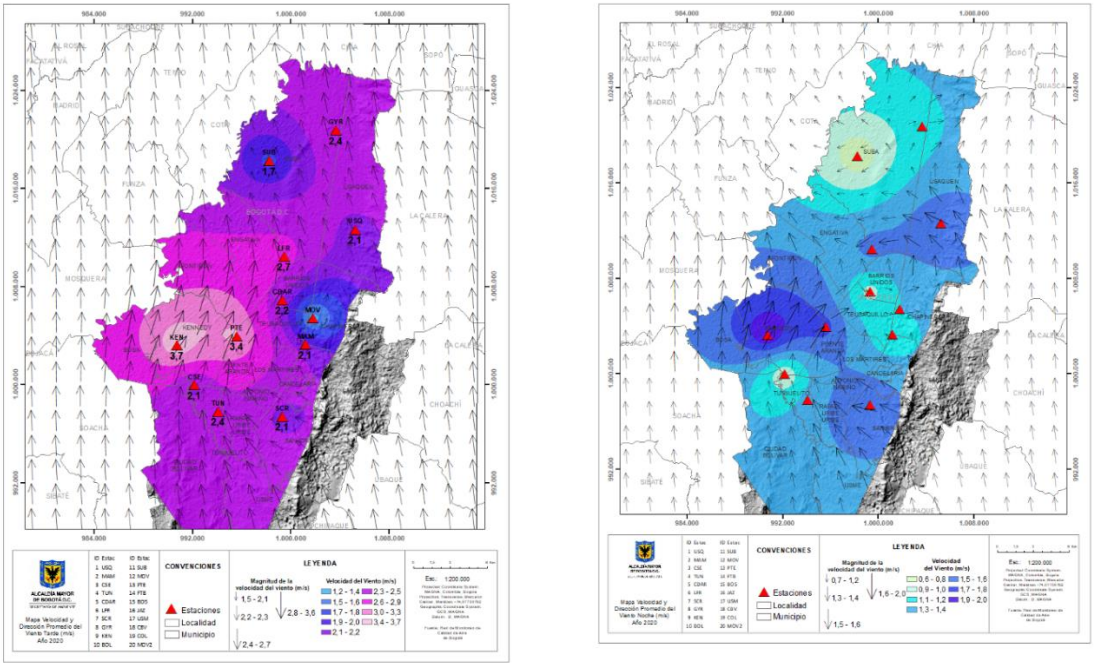
En otras circunstancias que no se hacen evidentes en los mapas representados, se tiene fuerte influencia de los vientos de escala local tales como las Brisas de Valle que como ya se mencionó anteriormente ascienden por el cañón del Magdalena e ingresan a la ciudad desde el suroccidente, los cuales, cuando vienen cargados de humedad y las condiciones de estabilidad son propicias, favorecen la ocurrencia de fuertes eventos de lluvia. Sin embargo, también pueden ser desfavorables para la calidad del aire de la ciudad, toda vez que pueden transportar contaminantes de fuentes externas ya sea a nivel local o regional, e introducirlos a la misma, incrementando las concentraciones de contaminantes, principalmente material particulado.



a) Madrugada



b) Mañana



c) Tarde d) Noche

Figura 9-17 Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche – Año 2020

9.3.4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL VIENTO

Como complemento a la información que podrían aportar las rosas de los vientos se presenta el mapa de la Figura 9-18, donde se puede confirmar que las mayores velocidades de los vientos se presentaron hacia el flanco occidental de la ciudad con predominio de vientos del oriente cuya magnitud fluctuó entre 1,8 a 2,3 m/s, en el flanco centro oriente y noroccidente con velocidades relativamente bajas de entre 1,1 m/s a 1,2 m/s y en el resto de la ciudad con velocidades entre 1,3 y 1,6 m/s.

También se observa la ocurrencia del patrón de flujo base de los vientos alisios en la ciudad los cuales se caracterizan por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del suroriente con velocidades más bajas que el suroccidente pero persistentes, responsables de la depuración aerodinámica de la ciudad durante la mayor parte del año, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir en el centro geográfico de la ciudad para continuar su trayectoria hacia el noroccidente, limpiando la ciudad.

Este patrón presenta sus variaciones, pero persiste durante gran parte del año, ayudando con la remoción de la carga contaminante emitida a la atmósfera local por las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito ya sea de los municipios vecinos o de influencia regional, como se muestra en la Figura 9-18.

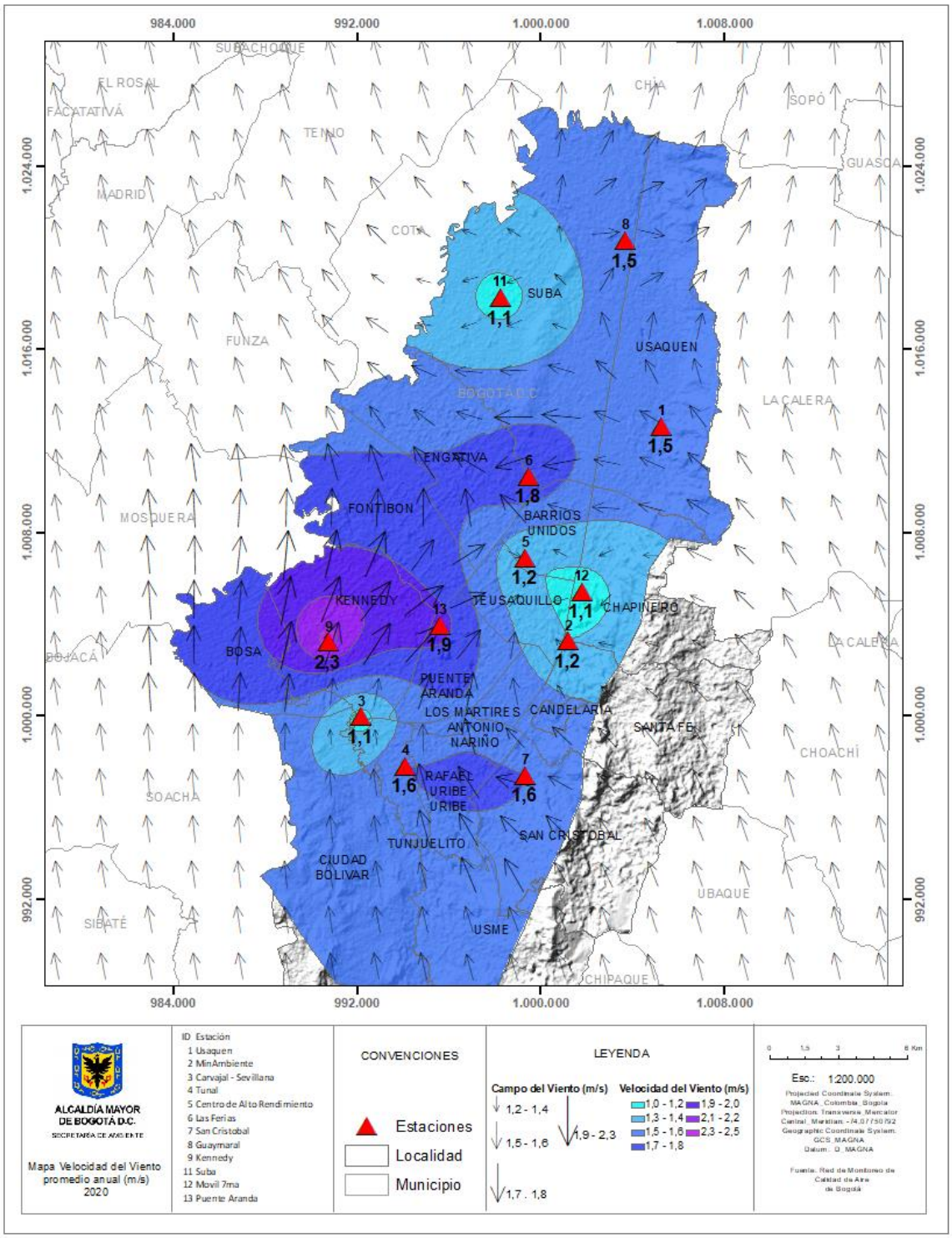


Figura 9-18 Mapa de dirección y velocidad promedio del viento – Año 2020

9.3.5. PROMEDIOS HISTORICOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

La

Tabla 9-12 resume los promedios anuales de velocidad del viento desde el año 2000 hasta el 2020. De esta tabla se puede deducir que las velocidades del viento en 2020 no presentaron variaciones importantes frente a los máximos valores medios anuales registrados entre 2004 y 2007 y que se mantienen velocidades bajas semejantes a los últimos cuatro años. Ver Figura 9-19.

Como se indicó anteriormente, en la Tabla 9-12 se presenta el valor promedio anual registrado en las estaciones nuevas como indicativo, debido a que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal.

Tabla 9-12 Comportamiento histórico de la velocidad del viento de acuerdo con los registros de la RMCAB entre 2000-2020.

Estación	BOS	CSE	CDAR	CBV	FTB	GYR	JAZ	KEN	LFR	MAM	PTE	SCR	SUB	TUN	USQ	USM	Prom.
2000		0,9			2,4				1,7	0,4	1,9		1,4		1,2		**1,3**
2001		1,3			2,8				1,7	0,5	2,4		1,4		1,1		**1,4**
2002		1,2			2,8	0,6			1,6	0,5	2,4		1,3		1		**1,3**
2003		2,1			2,8						2,6				1,2		**1,9**
2004			0,8		2,7						2,7		1,6				**2,1**
2005			1,9		2,8				1,5		2,8				1,6		**2,2**
2006					2,9			1,5	1,4		2,8		1,3		2,4		**2,1**
2007		1,8	1,1		3,4	1,1		1,5	1,4		2,7		1,5	2,1	1,8		**1,9**
2008		1,9	1,4		2,7	1,2		2,3	1,9		2,7		0,5	1,3	0,7		**1,8**
2009		2,4	1,7		3	1,3		2,7	2,1	1,2	2,9		0,9	1,2	0,9		**1,8**
2010		2,1	1,5		2,8			2,5	1,7		2,7	1,1	1	1,2	1,2		**1,8**
2011		2,1	1,3		2,9	0,9		2,4	1,8		2,7	1,7	1,8	1,1	1,4		**1,8**
2012		2,4	1,4		3	1		2,6	1,9		2,2	1,8	2	1,1	1,6		**1,9**
2013		2,4	1,4		3	1		2,5	1,9	1,8	2,1	2,2	2	1,1	1,6		**1,9**
2014		2,4	1,4			1,1		2,6	1,8	1,8	2,1	1,8	1,9	1	1,4		**1,8**
2015		2,6	1,5			1,1		2,8	2	1,8	2,3	1,2	1,9	1,2	1,7		**1,8**
2016		2	1,2			0,9		2,4	1,7	1,5	2,1	1,7	1,4	1,2	1,7		**1,6**
2017		2	1,2			0,9		2,3	1,6	1,4	1,9	1,6	1,3	1,1	1,6		**1,5**
2018		2	1,2			1		2,3	1,6		2,2	1,5	1,4	1,2	1,6		**1,6**
2019		1,6	1,3			1,4		2,4	1,6	1,3		1,5	1,2	1,4	1,6		**1,5**
2020	2,4	1,1	1,2	2,5	4,2	1,5	1,8	2,3	1,8	1,2	1,9	1,6	1,1	1,6	1,5	1,3	**1,8**
Prom.		**2**	**1,4**		**2,9**	**1**		**2,3**	**1,7**	**1,2**	**2,4**	**1,6**	**1,4**	**1,2**	**1,4**		**1,6**

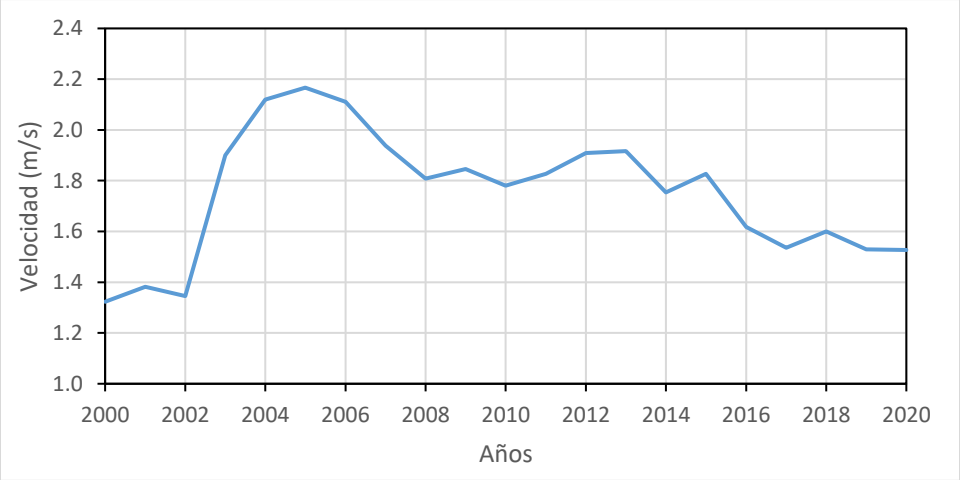


Figura 9-19 Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá de 2000 a 2020

9.4. RADIACION SOLAR

El Sol es la fuente principal de energía para la mayor parte de los procesos que ocurren en sobre la Tierra. De acuerdo con (OMM - Guía N° 8 Edición 2010.pdf, s. f.) los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean, entre otras para:

a) Estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio.
b) Analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera, como los aerosoles, el vapor de agua y el ozono.

La radiación solar es de máxima importancia para la vida sobre la Tierra. Los distintos flujos de radiación, hacia y desde la superficie de la Tierra, permiten deducir el balance de calor de la Tierra en su totalidad, y de cualquier lugar particular sobre el globo. El conocimiento de la radiación solar es de gran valor para estudiar las variaciones de las variables meteorológicas que se encuentran directamente influenciadas por la misma, tales como, la temperatura del aire, la velocidad del viento y su influencia en las concentraciones de gases contaminantes como el ozono.

9.4.1. PROMEDIOS ANUALES DE RADIACIÓN SOLAR

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2020 la ciudad de Bogotá acumuló en promedio aproximadamente 1.5 GW/m^2. Energía que fue acumulada de manera diferente durante el ciclo anual, en virtud de todas trasformaciones que se dan a partir de este flujo. La mayor cantidad de energía en orden de magnitud se recibió durante los tres primeros meses del año superando ampliamente la cantidad de energía recibida en 2019 y el promedio multianual de 2009 a 2020. Comparado con el año anterior, el total acumulado fue inferior, como se observa en la Figura 9-20.

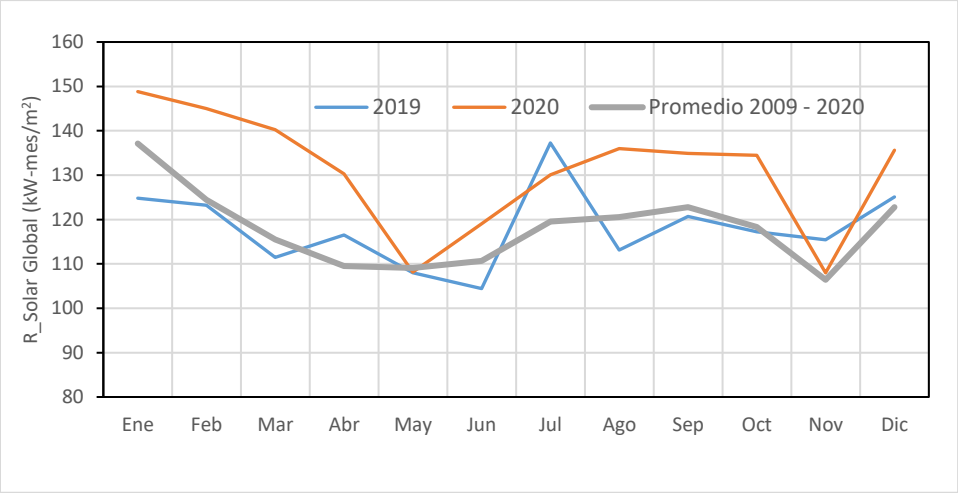


Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2020 vs. 2019

9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR

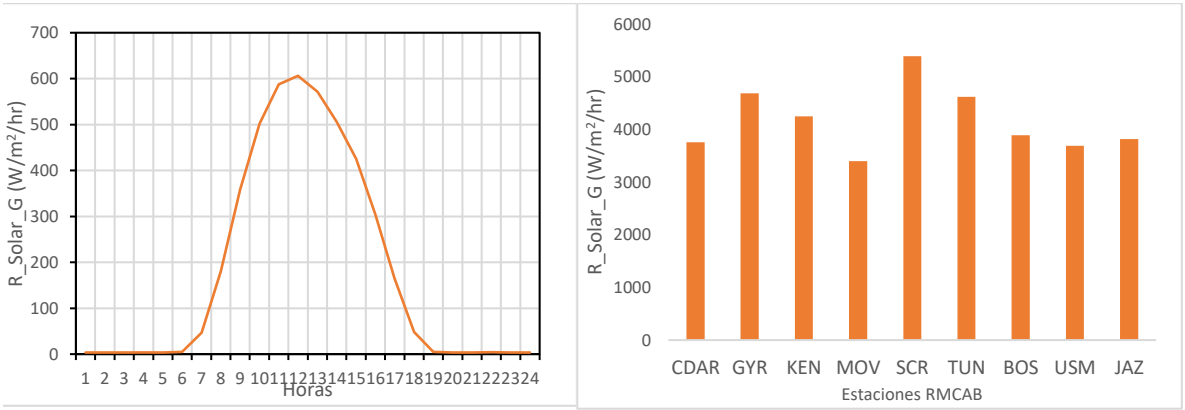
En la Tabla 9-13 se resume el perfil medio horario anual de la cantidad de energía recibida en cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta se puede observar que en promedio las estaciones que mayor cantidad de energía acumularon durante el día fueron San Cristóbal, Tunal y Guaymaral como se puede apreciar en la Figura 9-21. Como es normal y de acuerdo con el ciclo de radiación solar, el sistema Tierra-atmósfera y las particularidades locales, la hora en la cual se acumula mayor cantidad de energía de la ciudad de Bogotá se encuentra entre las 11 a.m. y la 1 p.m. En tanto que, en las horas de la madrugada y la noche esta cantidad de energía tienden a cero.

A modo indicativo también se presentan los resultados del acumulado promedio horario anual de las estaciones Bosa, Usme y Jazmín registrados parcialmente en 2020 con una representatividad temporal de alrededor del 25%.

Tabla 9-13 Cantidad de energía recibida durante el día por cada una de las estaciones – Año 2020

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	Prom.
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
1:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
2:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
3:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
4:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
5:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
6:00	1	4	0	1	10	15	7	2	2	5
7:00	50	50	43	31	49	58	56	45	53	47
8:00	185	223	186	124	184	180	190	180	188	180
9:00	333	425	363	290	399	335	341	330	339	358
10:00	446	571	496	434	602	464	442	448	459	502
11:00	504	641	559	503	757	563	496	498	537	588
12:00	510	646	571	508	793	609	538	512	553	606

Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	Prom.
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
13:00	489	591	570	458	712	607	546	480	528	571
14:00	426	538	517	394	603	556	463	447	441	506
15:00	360	429	441	318	523	478	371	369	347	425
16:00	258	315	302	204	391	352	273	241	233	304
17:00	151	172	160	103	199	204	138	119	113	165
18:00	41	48	37	27	69	67	27	16	20	48
19:00	0	3	0	0	12	12	0	0	0	5
20:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
21:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
22:00	0	3	0	0	10	12	0	0	0	4
23:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
24:00	0	3	0	0	8	12	0	0	0	4
Total	3757	4685	4246	3394	5385	4616	3886	3687	3812	



a) Perfil horario *b) Total acumulado horario anual*

Figura 9-21 Cantidad de radiación solar recibida en promedio día – Año 2020

9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

En relación con los totales mensuales de radiación durante 2020, en la Tabla 9-14 se presenta un resumen de los acumulados por cada estación de la RMCAB. Asimismo, en la Figura 9-22 se detallan las variaciones mensuales durante el año. En esta figura se observa que los meses con mayores acumulados fueron enero, febrero y marzo, siendo el primer mes del año el que registro el mayor acumulado de radiación solar. Este comportamiento está asociado con la presencia o ausencia de nubosidad en la bóveda celeste que cubre la ciudad de Bogotá. Así pues, en ausencia de vapor de agua la posibilidad de formación de nubes se reduce y viceversa, lo cual está estrechamente relacionado con el ciclo anual de la zona de confluencia intertropical.

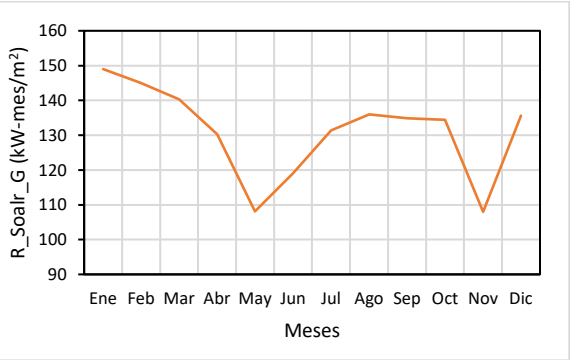
Los registros de las estaciones nuevas se presentan a modo indicativo en la Tabla 9-14 donde se puede apreciar que a partir de octubre de 2020 se tienen reportes de datos de radiación solar global

en las estaciones Bosa, Usme y Jazmín. Cabe aclarar, que los valores indicativos no fueron contabilizados en el cálculo del promedio de los valores mensuales ni por estación.

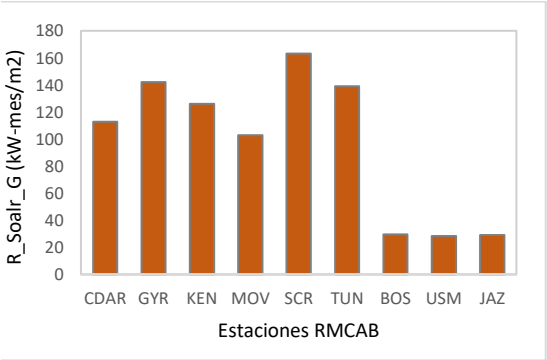
Tabla 9-14 Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m²) – Año 2020

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
CDAR	131,8	127,4	127,1	112,8	94,1	89,2	112,1	119,5	115,5	109,9	95,1	118,8	112,8
GYR	170,2	160,3	167,5	135,1	116,7	123,1	125,7	133,6	143,5	141,6	130,0	158,8	142,2
KEN	148,4	145,0	110,2	132,8	107,7	111,5	116,5	132,8	131,3	137,2	110,2	129,1	126,0
MOV	102,8	95,5	93,2	87,8	78,2	89,6	124,6	128,2	119,1	108,5	87,5	119,2	102,9
SCR	177,4	181,6	184,1	172,7	131,7	155,9	167,7	160,7	169,7	173,5	120,6	162,9	163,2
TUN	163,4	160,3	159,5	140,5	120,4	145,2	141,7	141,3	130,1	135,9	104,5	124,6	138,9
BOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	124,7	107,6	123,3	
USM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	123,9	92,7	122,6	
JAZ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	131,0	96,9	121,8	
Prom.	**149**	**145,03**	**140,26**	**130,29**	**108,13**	**119,07**	**131,4**	**136,02**	**134,88**	**134,44**	**107,99**	**135,59**	**149**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) *Comportamiento medio mensual*



b) *Acumulado por estación*

Figura 9-22 Comportamiento mensual de la radiación en 2020 a) promedio mensual; b) totales mensuales acumulados.

9.4.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS DE RADIACIÓN SOLAR

Del mismo modo que en el ciclo mensual se resume en la Tabla 9-15 el comportamiento multianual de los totales acumulados en Bogotá entre 2009 y 2020, y de manera gráfica en la Figura 9-23 su distribución anual, y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones de la RMCAB. De acuerdo con la figura referida, en 2020 las cantidades de radiación solar dejan entrever aumentos por encima de las cantidades acumuladas en los años 2015 – 2018.

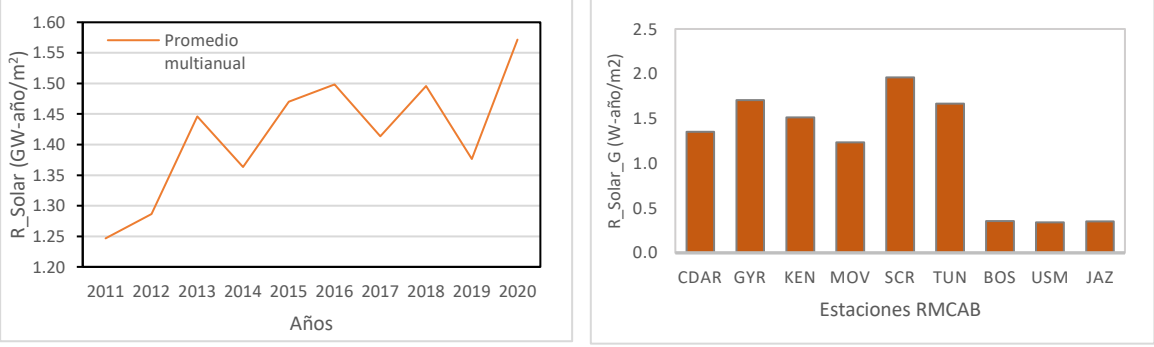
También se presentan como indicativos los totales anuales de radiación solar acumulados en las estaciones Bosa, Usme y Jazmín durante 2020.

Tabla 9-15 Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m² periodo 2009 - 2020

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Prom.
CDAR	1,48	1,29	1,34	1,47	1,47	1,41	1,52	1,54	1,35	1,28	1,19	1,35	**1,42**

GYR	1,63	NA	NA	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,41	1,34	1,71	**1,58**
KEN	NA	1,26	1,06	1,30	1,38	1,44	1,52	1,33	1,46	NA	0,80	1,51	**1,36**
MOV	NA	NA	NA	1,14	1,44	0,97	1,05	1,10	1,01	1,55	1,55	1,23	**1,12**
SCR	NA	NA	NA	0,83	NA	1,48	1,86	1,87	1,74	1,82	1,82	1,96	**1,63**
TUN	NA	1,21	1,34	1,40	1,39	1,37	1,38	1,47	1,28	1,42	1,56	1,67	**1,40**
BOS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,36	
USM	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,34	
JAZ	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,35	
PROM.	**NA**	**1,26**	**1,25**	**1,29**	**1,45**	**1,36**	**1,47**	**1,50**	**1,41**	**1,50**	**1,38**	**1,57**	**1,42**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Comportamiento medio mensual *b) Acumulado anual por estación*

Figura 9-23 Comportamiento anual de la radiación- Año 2020

9.5. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera gaseosa de la Tierra, en virtud de su peso, sobre la superficie terrestre. Esta presión es igual al peso de una columna vertical de aire de sección transversal unitaria, que actúa por arriba de la superficie de la Tierra, extendiéndose hasta los límites exteriores de la atmósfera.

La importancia del conocimiento de las condiciones de presión radica en que es un factor determinante, no solamente para la ocurrencia de las lluvias, sino, para la dispersión de contaminantes en la atmósfera, toda vez que cuando el aire está frío, éste desciende, haciendo aumentar la presión y en consecuencia la estabilidad de la atmósfera. De manera contraria, cuando el aire está caliente, asciende, provocando un descenso en la presión y por consiguiente la atmósfera se hace inestable.

La presión atmosférica, en un lugar determinado, varía continuamente de manera regular e irregular. Las variaciones irregulares se deben principalmente a la presencia de sistemas meteorológicos cuyo desarrollo, fortalecimiento, debilitamiento o ubicación pueden originar esos cambios de presión.

9.5.1. PROMEDIOS ANUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La presión es la variable relativamente homogénea en el espacio, su variación está asociada al calentamiento del aire por parte del flujo radiativo solar, el cual determina su variabilidad durante el día.

En 2020 el comportamiento de la presión atmosférica mostró una reducción con respecto al promedio mensual multianual durante la mayor parte del año, salvo los meses de febrero, abril y mayo donde registró un valor idéntico al del año anterior. Ahora bien, comparado con el año anterior se observa que las mayores presiones durante 2020 se registraron en el mes de mayo. Este comportamiento puede explicar las razones por las cuales las lluvias durante el mes de mayo fueron escasas, comparadas con el comportamiento histórico y con el segundo semestre de 2020, como se puede observar en la Figura 9-24 y la Tabla 9-16.

Tabla 9-16 Comportamiento de la presión media mensual de 2010 - 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
2010	564,3	564,2	564,5	564,8	565,0	565,4	565,1	565,1	564,7	564,6	563,8	563,6	**564,6**
2011	563,5	564,0	564,0	564,3	564,4	564,8	564,6	565,1	565,1	564,1	563,8	563,6	**564,3**
2012	563,8	563,6	563,9	564,3	564,5	565,0	564,7	565,1	565,3	564,2	564,1	563,9	**564,4**
2013	564,3	563,9	564,5	564,6	565,0	564,8	565,1	564,7	564,7	564,4	563,2	563,6	**564,4**
2014	563,5	563,3	563,8	564,1	564,3	564,4	564,8	564,2	563,9	563,6	563,3	563,8	**563,9**
2015	563,9	563,5	563,5	563,6	564,0	564,2	564,2	564,0	564,0	564,0	563,1	563,7	**563,8**
2016	563,8	563,5	564,2	563,8	564,5	564,7	564,3	564,3	564,3	563,3	563,1	563,2	**563,9**
2017	563,4	563,5	563,5	563,7	564,1	564,1	564,5	564,1	564,0	563,4	562,8	563,1	**563,7**
2018	562,9	563,1	563,1	563,8	563,9	564,1	563,8	564,7	563,7	563,6	563,4	563,5	**563,6**
2019	563,6	563,3	563,5	563,7	563,7	564,8	564,7	564,4	564,1	563,2	562,7	562,9	**563,7**
2020	563,6	563,6	563,5	564,1	564,3	564,0	563,6	563,7	563,6	563,3	563,1	562,9	**563,6**
PROM. 2010 - 2020	**563,7**	**563,6**	**563,8**	**564,1**	**564,3**	**564,6**	**564,5**	**564,5**	**564,4**	**563,8**	**563,4**	**563,5**	**564,0**

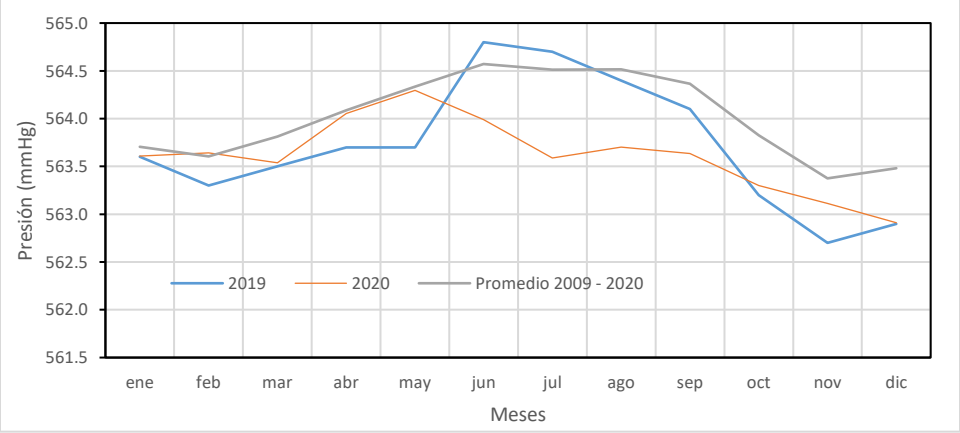


Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2020 frente al promedio mensual multianual 2009-2020

9.5.2. PROMEDIOS MENSUALES DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

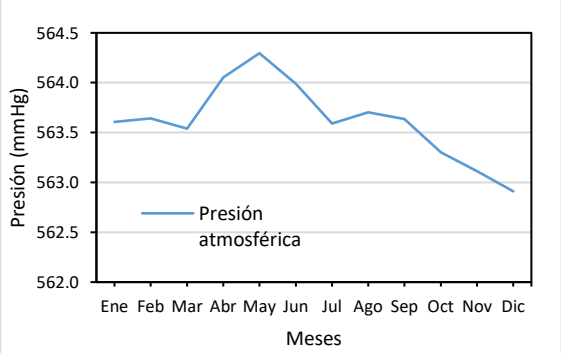
A continuación, se describe el comportamiento medio mensual de 2020, con base en los registros de presión de la RMCAB y se resume en la Tabla 9-17. Asimismo, en la Figura 9-25 se representa gráficamente su variación mensual y por estación.

Como es consistente con el ciclo de la radiación solar, en los meses de noviembre y diciembre se presentaron las más bajas presiones con una media mensual a nivel ciudad de 563 mmHg, lo cual se correlaciona con las abundantes lluvias ocurridas durante el mes de noviembre de 2020, que superaron los 460 mm.

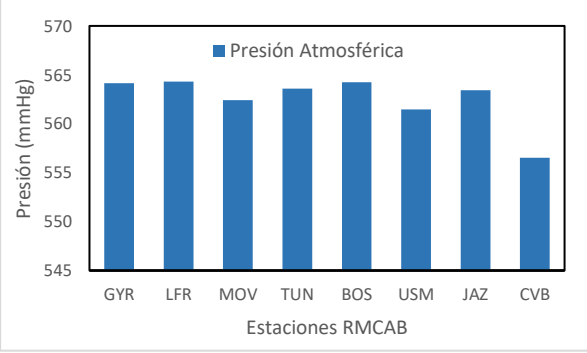
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2020

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
TUN	563,6	563,6	563,5	564,1	564,3	564,0	563,6	563,7	563,6	563,2	563,0	562,8	**563,6**
LFR	564,3	564,3	564,2	564,7	565,0	564,6	564,3	564,4	564,3	564,0	563,9	563,6	**564,3**
GYR	564,2	564,2	564,1	564,6	564,8	564,5	564,1	564,2	564,2	563,9	563,6	563,5	**564,2**
MOV	562,4	562,4	562,3	562,9	563,1	562,8	562,4	562,5	562,4	562,1	561,9	561,7	**562,4**
BOS	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	564,4	564,3	564,1	564,2
USM	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	561,7	561,4	561,3	561,5
JAZ	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	563,5	563,4	563,3	563,4
CBV	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	556,6	556,6	556,4	556,5
Promedio	**563,6**	**563,6**	**563,5**	**564,1**	**564,3**	**564,0**	**563,6**	**563,7**	**563,6**	**563,3**	**563,1**	**562,9**	**562,9**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) *Promedio mensual ciudad*



b) *Promedio por estación durante el 2020*

Figura 9-25. Comportamiento medio mensual de la presión atmosférica – Año 2020.

9.5.3. PROMEDIOS DIARIOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Tal como se mencionó anteriormente la presión atmosférica tiene variaciones regulares e irregulares. Las variaciones regulares tienen distintos períodos, siendo la más importante la que tiene un período natural y propio de aproximadamente 12 horas, que recibe el nombre de variación semi-diurna de la presión. (FOPAE, 2001).

Como se puede observar en la Tabla 9-18 y la Figura 9-26, la presión en la ciudad de Bogotá varía regularmente entre las 10 de la mañana y las 10 de la noche aproximadamente, de allí la razón por la cual se considera que su variación es semi-diurna. En cada período de 12 horas se tienen dos máximos y dos mínimos. El máximo más alto ocurre a las 10 de la mañana y el mínimo más bajo ocurre a las cuatro de la tarde, con una amplitud de la presión de alrededor de 2,4 mmHg, lo cual está asociado al calentamiento del aire por acumulación de energía durante el día y por consiguiente al descenso de la presión, lo que su vez favorece la dispersión de los contaminantes, porque la atmósfera se hace inestable y se propician los fenómenos de turbulencia mecánica y la turbulencia convectiva, que son los mecanismos principales de la atmosfera para mezclar y transportar los contaminantes que se encuentran en la capa limite planetaria.

En cuanto al comportamiento espacial de la presión, de acuerdo con los registros de la RMCAB, las presiones más bajas, en promedio día durante el año, se localizaron hacia el flanco oriental y sur de la ciudad representados por las estaciones Móvil 7ma y Tunal, mientras que las más altas se presentaron en el sector norte de la ciudad, representadas por las estaciones Las Ferias y Guaymaral.

A modo indicativo se incluyen los valores promedio horario y diarios de los últimos tres meses del año, durante los cuales se registró la presión barométrica en las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, recientemente instaladas.

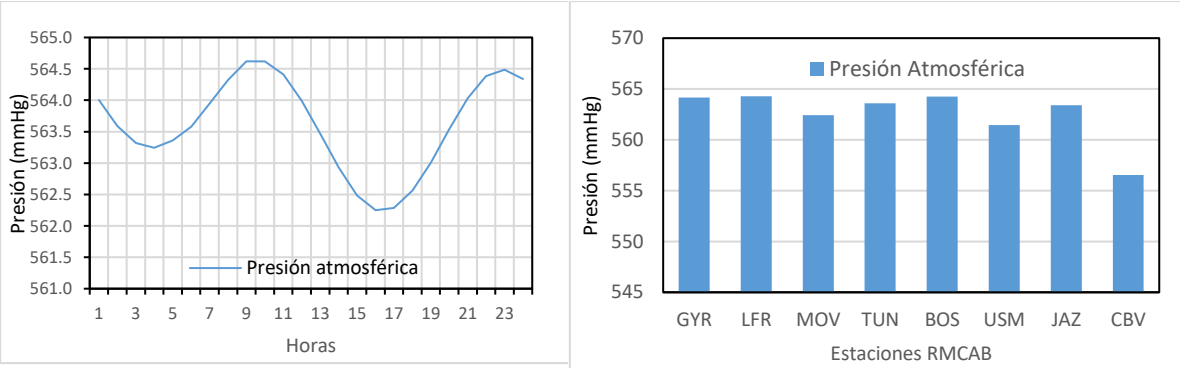
De los valores de presión barométrica registrados a diciembre de 2020 en las cuatro estaciones se evidencia que en Ciudad Bolívar se registran las menores presiones de la ciudad, lo cual es consistente con la altitud (altura con respecto al nivel medio del mar) a la cual se encuentra la misma. En cuanto a las estaciones Bosa, Usme y Jazmín sus promedios son coherentes con los valores históricos registrados en las antiguas estaciones de la RMCAB.

Cabe aclarar que los promedios horarios calculados a nivel ciudad no incluyen los registros de las nuevas estaciones dado que estas no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-18. Variación de la presión horaria por cada estación de la RMCAB – Año 2020

Hora	GYR	LFR	MOV	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	
1:00	564,5	564,7	562,8	564,0	564,5	561,8	563,7	556,8	**563,9**
2:00	564,2	564,3	562,4	563,6	564,2	561,4	563,3	556,4	**563,6**
3:00	563,9	564,0	562,1	563,3	563,8	561,2	563,1	556,1	**563,3**
4:00	563,8	564,0	562,0	563,2	563,8	561,1	563,0	556,1	**563,2**
5:00	563,9	564,1	562,1	563,3	563,9	561,3	563,2	556,2	**563,2**
6:00	564,1	564,3	562,3	563,6	564,3	561,6	563,5	556,5	**563,5**
7:00	564,5	564,6	562,7	563,9	564,7	561,9	563,9	556,9	**563,9**
8:00	564,9	565,0	563,1	564,3	565,2	562,3	564,3	557,4	**564,2**
9:00	565,2	565,3	563,4	564,6	565,4	562,6	564,6	557,7	**564,5**

Hora	GYR	LFR	MOV	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Prom. Ciudad (mmHg)
	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	mmHg	
10:00	565,2	565,3	563,4	564,6	565,4	562,6	564,6	557,6	**564,6**
11:00	565,0	565,1	563,2	564,4	565,1	562,3	564,3	557,5	**564,4**
12:00	564,5	564,7	562,8	564,0	564,7	561,8	563,8	556,9	**564,0**
13:00	564,0	564,1	562,3	563,5	564,1	561,2	563,2	556,4	**563,5**
14:00	563,4	563,6	561,8	562,9	563,5	560,6	562,6	555,7	**563,0**
15:00	563,0	563,2	561,3	562,5	563,0	560,1	562,1	555,4	**562,4**
16:00	562,7	562,9	561,1	562,2	562,8	559,9	561,9	555,0	**562,2**
17:00	562,8	563,0	561,1	562,2	562,9	559,9	562,0	555,2	**562,2**
18:00	563,1	563,2	561,4	562,5	563,1	560,4	562,3	555,5	**562,5**
19:00	563,5	563,7	561,8	563,0	563,6	560,8	562,8	555,9	**563,0**
20:00	564,1	564,2	562,3	563,5	564,2	561,5	563,4	556,5	**563,5**
21:00	564,6	564,7	562,8	564,0	564,7	561,9	563,9	557,0	**564,0**
22:00	564,9	565,1	563,2	564,4	565,0	562,3	564,2	557,3	**564,3**
23:00	565,0	565,2	563,3	564,5	565,1	562,3	564,2	557,3	**564,4**
24:00	564,9	565,0	563,1	564,3	564,9	562,2	564,1	557,2	**564,3**
Promedio	**564,2**	**564,3**	**562,4**	**563,6**	**564,2**	**561,5**	**563,4**	**556,5**	**563,6**



a) Ciclo semi diurno de la presión *b) Promedio horario anual por estación*

Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica – Año 2020

9.5.4. PROMEDIOS ANUALES HISTORICOS DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En 2020 el promedio anual de presión prácticamente fue igual que los dos años anteriores, como se puede se observar en la Figura 9-27.

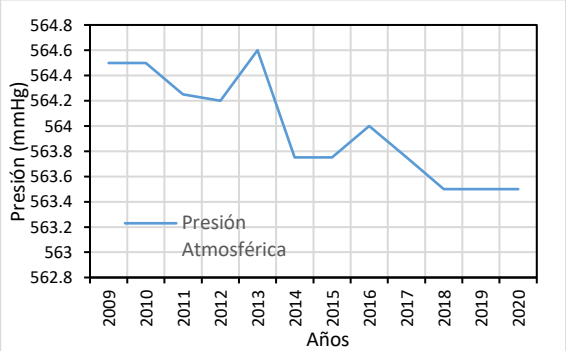
En cuanto al comportamiento espacial en la ciudad, entre 2010 y 2013 la estación Fontibón registró los mayores valores de presión y del 2014 en adelante las estaciones Kennedy, Guaymaral, Móvil 7ma y Las Ferias presentaron los mayores valores. Así las cosas, se estima que los niveles de presión en la ciudad entre 2000 y 2020 han variado entre los 563 mmHg y los 565 mmHg.

Como se dijo anteriormente, pese a los escasos registros de presión atmosférica de las estaciones Bosa, Usme y Jazmín, durante el año 2020, estas registran valores medios de presión semejantes a las estaciones antiguas. La estación Ciudad Bolívar por las razones expuestas anteriormente en cuanto a su altitud, reporta presiones atmosféricas cercanas a los 557 mmHg que se presentan aproximadamente por encima de los 100 m con respecto al nivel medio de la sabana de Bogotá. No obstante, se aclara que estos datos son de tipo indicativo porque su representatividad temporal no alcanzó el 75%.

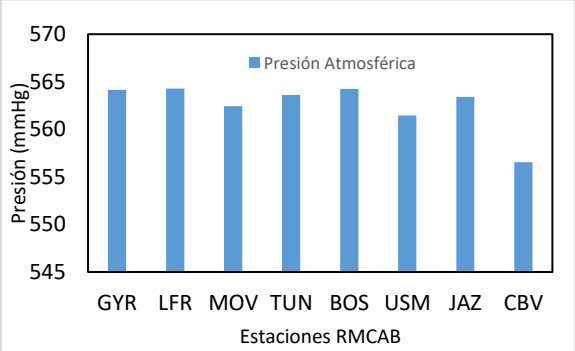
Tabla 9-19 Comportamiento multianual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá 2009 - 2020

Estación	MOV	FTB	GYR	KEN	LFR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
2009	N.A	N.A	564	N.A	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**564,5**
2010	N.A	565	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**564,6**
2011	N.A	565	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**564,3**
2012	564	565	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**564,4**
2013	564	566	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**564,6**
2014	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,8**
2015	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,9**
2016	563	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,9**
2017	562	N.A	564	564	565	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,8**
2018	562	N.A	564	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,5**
2019	562	N.A	564	N.A	564	564	N.A	N.A	N.A	N.A	**563,3**
2020	562	N.A	564	N.A	564	564	564	561	563	557	**563,5**
Promedio	**562, 6**	**565,2**	**564**	**564**	**564,6**	**564**					**564,2**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) Promedio multianual



b) Promedio multianual por estación

Figura 9-27 Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2020

9.6. HUMEDAD

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

La humedad del aire juega un papel importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire. Su rol se sustenta en el hecho de que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los Óxidos de azufre (SOx) y Óxidos de Nitrógeno (NOx), los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia acida.

9.6.1. PROMEDIOS ANUALES DE HUMEDAD

Asociado al ciclo anual de la zona de confluencia intertropical se encuentran las cantidades de vapor de agua en la ciudad de Bogotá. Cuando este sistema productor de lluvias se encuentra en su posición más austral (al sur del hemisferio sur), ocurre una disminución en la cantidad de vapor de agua en la ciudad, mientras que conforme ocurre su ascenso relativo se da un primer incremento en la proporción de vapor de agua alcanzando su máximo durante los meses de abril y mayo, y una consecuente disminución durante la mitad del año cuando alcanza su posición más septentrional (al norte del hemisferio norte). En su viaje de retorno, o de descenso relativo, se da un nuevo incremento en las cantidades de vapor de agua, que alcanza su máximo entre los meses de octubre y noviembre. Por lo anterior, como se observa en Figura 9-28 la atmósfera presentó condiciones relativamente secas en los dos primeros meses, sobre todo durante el mes de febrero, comparado con el promedio multianual de la humedad. Sin embargo, en los meses de abril y mayo la humedad no alcanzó los promedios históricos, lo que a su vez explica los bajos niveles de precipitación registrados por la RMCAB para este primer periodo de lluvias. Contrariamente, en los meses considerados como secos tales como julio y agosto el contenido de humedad en el aire fue mayor que el promedio histórico. A diferencia del primer periodo de lluvias, en el segundo sí se presentaron altos valores de humedad los cuales se asocian con las bajas presiones y las cantidades de lluvia precipitadas durante este periodo.

Tabla 9-20 Comportamiento de la humedad mensual multianual 2010 - 2020

AÑOS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2010	60,5	64,4	65,3	73,1	72,5	69,9	70,7	67,1	69,3	68,8	73,7	69,8
2011	65,9	67,7	68,6	70,6	68,0	65,3	65,1	62,4	63,5	69,6	72,7	67,4
2012	66,2	64,2	65,1	68,7	64,1	60,3	63,3	63,6	60,0	64,0	65,1	64,0
2013	62,0	67,1	64,9	65,8	68,0	62,6	61,7	63,6	62,7	64,3	69,0	67,8
2014	65,9	62,6	63,9	62,1	63,9	64,4	62,1	61,7	60,5	65,3	66,6	65,2
2015	60,9	62,1	64,7	62,6	62,0	63,9	61,9	60,7	57,6	59,9	64,5	58,1
2016	61,1	59,0	61,8	66,8	65,0	61,6	61,4	60,7	61,7	64,1	68,8	64,5
2017	63,5	60,2	68,7	62,1	66,5	66,5	64,2	61,9	61,0	63,8	68,9	65,2
2018	63,9	63,8	63,9	70,0	68,7	65,4	64,9	63,2	63,9	67,9	70,1	60,7
2019	62,5	63,2	66,6	67,7	65,7	64,6	59,7	60,0	61,3	63,6	66,4	63,6
2020	62,5	60,8	64,9	64,6	65,8	65,2	65,6	63,5	64,0	63,0	71,2	65,5

Promedio	**63,2**	**63,4**	**65,3**	**66,9**	**66,4**	**64,4**	**63,5**	**62,5**	**62,1**	**65,1**	**68,6**	**64,6**

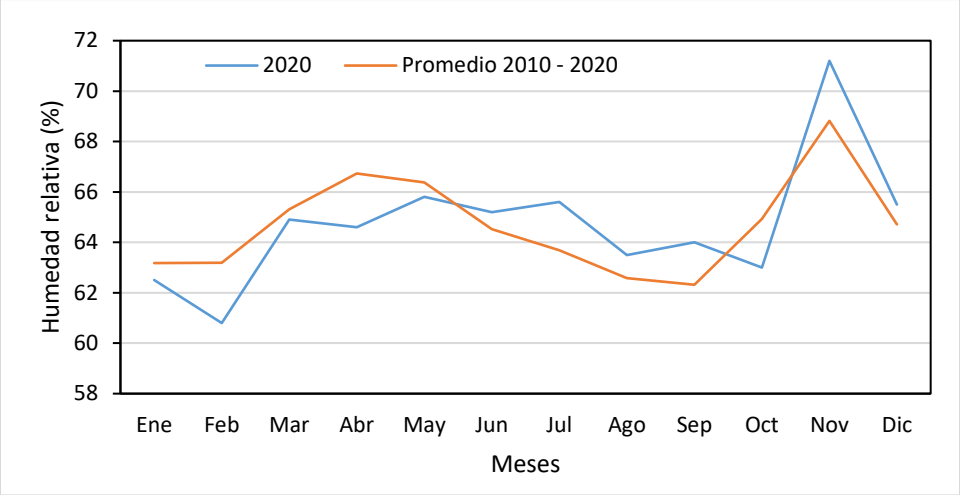


Figura 9-28 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020 vs. Promedio mensual multianual 2010-2020

9.6.2. PROMEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en 2020 los meses más húmedos fueron abril y noviembre como es usual que ocurra, y los más secos enero y julio.

Espacialmente, los sectores de la ciudad donde mayores cantidades de humedad se registraron fueron San Cristóbal, Guaymaral, Centro de Alto rendimiento y Fontibón.

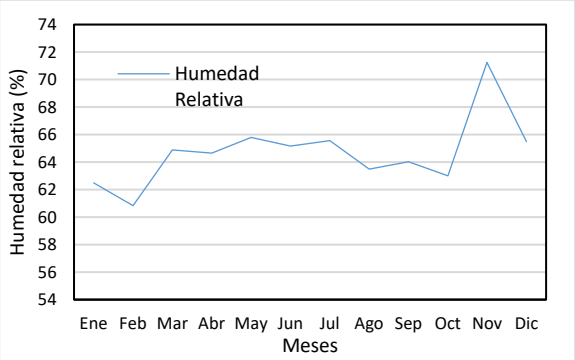
A modo indicativo se presentan los registros de humedad de los últimos tres meses de 2020 en las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar. Estos registros permitirán conocer con mayor detalle las proporciones de humedad en lugares de la ciudad, que no estaban identificados. De los registros indicativos se observan valores de humedad no registrados con antelación hacia el sector de Bosa, los cuales se irán confirmando conforme se posea una serie de datos más robusta. Esto también aplica para las otras estaciones nuevas.

Tabla 9-21. Comportamiento mensual de la humedad por estación – Año 2020

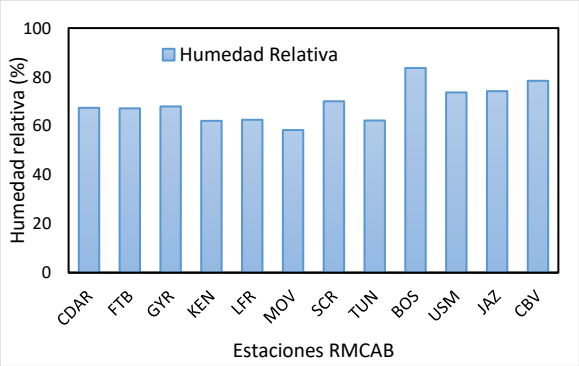
Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
CDAR	65,3	65,1	68,8	67,4	67,1	67,2	67,5	65,7	67,0	65,9	73,4	68,3	**67,4**
FTB	65,7	63,3	67,9	67,0	67,4	67,6	68,0	65,8	66,4	64,9	73,7	68,7	**67,2**
GYR	66,0	65,6	66,9	68,0	69,1	68,8	68,3	67,1	68,2	66,8	72,8	68,0	**68,0**
KEN	57,5	54,7	61,7	63,2	63,2	62,6	63,6	61,6	61,7	61,0	69,2	64,9	**62,1**
LFR	60,8	59,0	62,6	62,5	63,3	62,9	63,0	60,9	62,0	60,5	68,9	63,7	**62,5**
MOV	56,1	55,0	59,4	58,1	59,7	58,7	58,8	56,3	57,2	56,9	65,8	57,8	**58,3**
SCR	68,9	65,9	69,8	69,4	72,5	71,0	72,0	69,2	68,5	67,2	77,3	69,2	**70,1**
TUN	59,6	58,1	62,0	61,6	64,2	62,5	63,3	61,2	61,2	60,7	68,8	63,4	**62,2**
BOS	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	77,6	88,6	84,8	83,7
USM	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	69,4	80,6	71,1	73,7

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
JAZ	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	67,7	81,2	73,7	74,2
CBV	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	74,8	84,2	76,3	78,4
Promedio	**62,5**	**60,8**	**64,9**	**64,6**	**65,8**	**65,2**	**65,6**	**63,5**	**64,0**	**63,0**	**71,2**	**65,5**	**64,7**

N.A (No Aplica): El dato no estuvo disponible para el periodo de monitoreo



a) *Promedio mensual 2020*



b) *Promedio anual por estación 2020*

Figura 9-29 Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2020: a) promedio ciudad; b) promedio por estación

9.6.3. PROMEDIOS DIARIOS DE HUMEDAD

Respecto al comportamiento diario de la humedad a lo largo del año, dada su relación inversa con la temperatura, en las horas de la madrugada y la noche es normal que la atmósfera se sature por el descenso de la temperatura, alcanzando el pico más alto de humedad conforme ocurre el pico más bajo de temperatura, es decir, entre las cinco y las seis de la madrugada. De manera contraria, conforme el aire se calienta se hace más seca y la humedad relativa disminuye como se puede apreciar en la Tabla 9-22 y Figura 9-28 a).

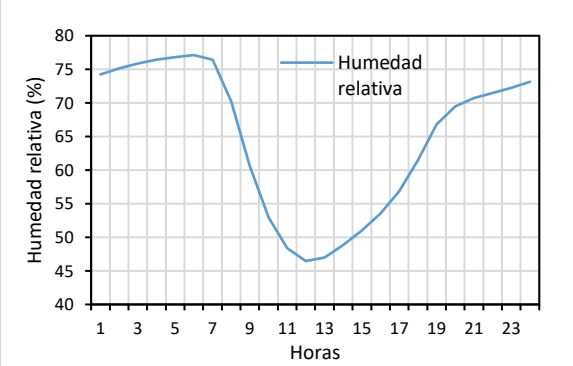
Complementariamente se presentan los registros horarios de humedad relativa de las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, que tienen una representatividad temporal de entre el 21% al 25% de datos razón por la cual sus datos son indicativos. Por tanto, es pertinente aclarar que estos valores no se incluyen dentro de los promedios horarios ni por estaciones.

En cuanto a la distribución espacial de la humedad, la estación San Cristóbal fue la que, en promedio, registró mayores cantidades de humedad durante el año 2020.

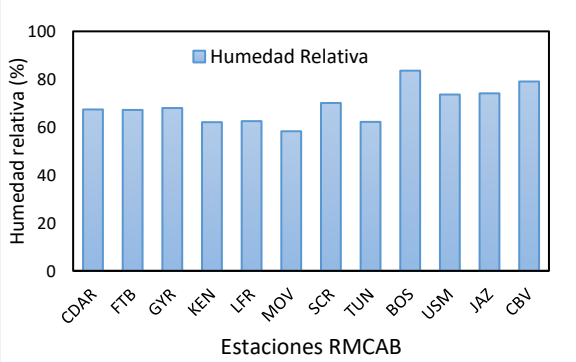
Tabla 9-22. Variación de la humedad horaria y por estaciones de la RMCAB - 2020

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1:00	79,2	77,1	79,9	70,2	71,8	64,9	78,4	72,3	92,7	84,1	83,4	87,1	**74,2**
2:00	80,1	78,3	80,7	71,1	72,8	65,9	79,5	72,8	93,5	84,2	84,7	88,1	**75,1**
3:00	81,1	79,3	81,4	71,7	73,5	66,7	80,2	73,0	93,5	84,4	85,4	88,9	**75,8**
4:00	81,9	80,0	81,8	72,3	74,0	67,4	80,6	73,5	93,5	84,8	86,1	88,9	**76,4**
5:00	82,2	80,5	82,2	72,8	74,3	67,8	80,9	73,9	94,2	84,7	86,6	87,9	**76,8**

Hora	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
6:00	82,5	80,8	82,5	73,2	74,5	68,0	81,3	74,2	94,8	84,5	86,9	88,4	**77,1**
7:00	81,4	79,3	82,8	73,5	72,6	67,7	80,4	73,8	93,2	82,8	84,5	86,5	**76,4**
8:00	72,1	72,0	78,3	69,0	65,5	64,7	74,5	65,9	85,3	75,9	77,3	80,3	**70,2**
9:00	59,4	62,5	65,6	58,9	57,1	57,6	66,8	57,0	74,4	69,5	70,0	73,4	**60,6**
10:00	51,3	54,4	56,1	50,3	51,0	49,7	60,5	50,5	65,1	62,2	61,5	65,6	**53,0**
11:00	47,4	49,1	50,7	45,2	47,1	44,9	56,3	46,3	61,5	57,2	55,6	60,5	**48,4**
12:00	45,9	47,5	47,5	44,5	45,0	43,0	54,0	44,3	65,3	54,7	53,5	61,2	**46,5**
13:00	46,6	49,3	46,4	46,5	45,0	43,1	53,9	45,0	68,8	54,8	55,0	64,6	**47,0**
14:00	49,2	51,7	47,4	48,5	47,3	45,1	55,4	46,3	73,1	55,8	58,4	68,1	**48,9**
15:00	51,4	54,3	50,1	50,4	49,6	47,1	57,3	48,0	75,4	58,5	61,3	70,1	**51,0**
16:00	54,5	56,8	52,7	52,4	52,9	49,8	59,8	49,7	77,9	61,7	64,2	73,4	**53,6**
17:00	58,1	59,9	56,1	55,3	56,2	53,3	63,0	52,8	80,6	66,3	69,2	76,7	**56,8**
18:00	63,3	64,4	61,4	59,5	60,5	56,9	67,6	57,9	86,4	73,7	73,8	81,4	**61,4**
19:00	70,0	69,1	68,2	64,5	65,1	60,6	72,4	64,7	89,2	78,6	78,4	84,1	**66,8**
20:00	73,3	71,3	72,4	66,8	67,4	62,1	74,2	68,3	88,8	80,2	79,9	84,0	**69,5**
21:00	75,2	72,3	74,7	67,7	68,3	62,6	75,1	69,6	88,4	81,3	79,6	84,1	**70,7**
22:00	76,3	73,1	76,2	68,1	68,9	62,9	75,9	70,3	89,4	81,9	80,4	83,6	**71,5**
23:00	77,0	74,1	77,6	68,5	69,6	63,3	76,8	71,1	90,1	82,2	80,9	84,5	**72,2**
24:00	78,1	75,4	78,8	69,2	70,6	63,9	77,5	71,7	91,1	83,0	82,0	86,2	**73,2**
Promedio	**67,4**	**67,2**	**68,0**	**62,1**	**62,5**	**58,3**	**70,1**	**62,2**	**83,6**	**73,6**	**74,1**	**79,1**	**64,7**



a) *Perfil horario*



b) *Promedio horario anual por estación*

Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria anual – Año 2020

9.6.4. PROMEDIOS HISTORICOS ANUALES DE HUMEDAD

En cuanto al comportamiento histórico anual de la humedad en 2020 se presentó un ligero incremento con respecto al año anterior e idéntico a los años 2017 y 2018 como se puede observar en la Figura 9-31. Los valores registrados durante el año 2020 hacen parte de la variabilidad del elemento meteorológico en el tiempo.

Los valores presentados a nivel indicativo de humedad promedio de las estaciones Bosa, Usme, Jazmín y Ciudad Bolívar, tiene como propósito describir el comportamiento inicial de la humedad en dichas estaciones, teniendo en cuenta que es una variable meteorológica cuya variación anual no presenta cambios significativos.

Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.

ESTACIÓN	BOL	CDAR	FTB	GYR	KEN	LFR	MOV	SCR	TUN	BOS	USM	JAZ	CBV	Promedio
2009	N.A	69	N.A	72	68	66	N.A	N.A	67	N.A	N.A	N.A	N.A	**68**
2010	N.A	71	N.A	N.A	69	67	N.A	N.A	68	N.A	N.A	N.A	N.A	**69**
2011	N.A	69	N.A	65	70	67	N.A	N.A	67	N.A	N.A	N.A	N.A	**68**
2012	N.A	66	N.A	63	66	64	64	61	64	N.A	N.A	N.A	N.A	**64**
2013	N.A	67	N.A	63	66	63	62	N.A	64	N.A	N.A	N.A	N.A	**64**
2014	N.A	67	N.A	66	65	63	60	59	63	N.A	N.A	N.A	N.A	**63**
2015	N.A	62	N.A	64	57	57	53	55	58	N.A	N.A	N.A	N.A	**58**
2016	N.A	70	N.A	69	67	64	58	59	64	N.A	N.A	N.A	N.A	**64**
2017	N.A	68	N.A	68	65	64	58	72	62	N.A	N.A	N.A	N.A	**65**
2018	N.A	67	N.A	68	64	63	59	72	63	N.A	N.A	N.A	N.A	**65**
2019	N.A	66	69	68	61	63	59	N.A	63	N.A	N.A	N.A	N.A	**64**
2020	N.A	67	67	68	62	63	58	70	62	84	74	74	78	**65**
Promedio	**N.A**	**67**	N.A	**67**	**65**	**64**	**59**	**64**	**64**	**84**	**74**	**74**	**78**	**65**

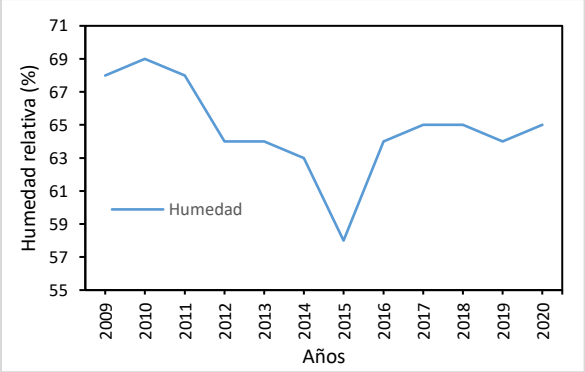


Figura 9-31. Comportamiento histórico de la humedad relativa promedio multianual

10.EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El año 2020 fue un año atípico en cuanto al comportamiento de la calidad del aire, ya que desde finales del mes de marzo cambió la dinámica de la ciudad a causa de las restricciones establecidas en la ciudad a causa del virus COVID-19. Por ello, se evidenció una reducción notable de las concentraciones en los meses de abril, mayo y junio, cuando se mantuvieron las restricciones más estrictas. Sin embargo, en el primer trimestre se registraron altas concentraciones de material particulado, por lo cual se declararon dos alertas ambientales por contaminación atmosférica en febrero y marzo de 2020. Adicionalmente se observó la influencia del transporte de arenas del Sahara en los últimos días del mes de junio, lo cual incidió en el aumento de las concentraciones de PM_{10}, y en el segundo semestre se observaron algunos episodios de contaminación por condiciones locales de la ciudad.

10.1. ALERTAS AMBIENTALES POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En la Tabla 10-1 se presentan los periodos y documentos asociados a las alertas por contaminación atmosférica declaradas en los meses de febrero y marzo 2020. Las dos alertas fueron de categoría “amarilla”, por lo cual se establecieron acciones y restricciones en las zonas que registraron mayores niveles de contaminación durante estos meses.

Tabla 10-1. Documentos alertas contaminación atmosférica febrero, marzo y abril 2020

Evento	Fecha	Acto administrativo	Informe Técnico
Declaración de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en el Suroccidente de la ciudad de Bogotá	Febrero 06 de 2020	Resolución SDA No. 00346 del 06-02-2020	IT No. 00240 del 06-02-2020 2020IE27835
Finalización de la declaratoria de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en el Suroccidente de la ciudad de Bogotá	Febrero 17 de 2020	Resolución SDA No. 00527 del 17-02-2020	IT No. 00365 del 176-02-2020 2020IE37406
Declaración de Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá D.C.	Marzo 05 de 2020	Resolución SDA No. 00678 del 05-03-2020	IT No. 00514 del 05-03-2020 2020IE51958
Finalización de la alerta amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá	Abril 03 de 2020	Resolución SDA No. 00853 del 03-04-2020	IT No. 00592 del 02-04-2020 2020IE51958

Para la alerta amarilla declarada en febrero de 2020, la Alcaldía Mayor de Bogotá emitió el Decreto 047 de febrero 06 de 2020, en el cual se definieron medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas en el Distrito Capital, con el fin de establecer las restricciones a los vehículos durante la alerta:

Restricción transitoria de vehículos de carga con año modelo superior a 10 años, entre las 05:00 a.m. a 11:59 a.m. y 05:00 p.m. a 09:59 p.m. Dicha restricción es aplicable al polígono de la zona suroccidental (localidades de Kennedy, Bosa, Puente Aranda, parte de Fontibón y de Ciudad Bolívar), que se puede observar en la Figura 10-1.

* Acciones que debe realizar la Secretaría Distrital de Salud tales como establecer la divulgación de recomendaciones a la población, seguimiento de casos de enfermedades respiratorias, y enfocar las acciones de las Instituciones prestadoras de Salud a la atención de la población vulnerable.

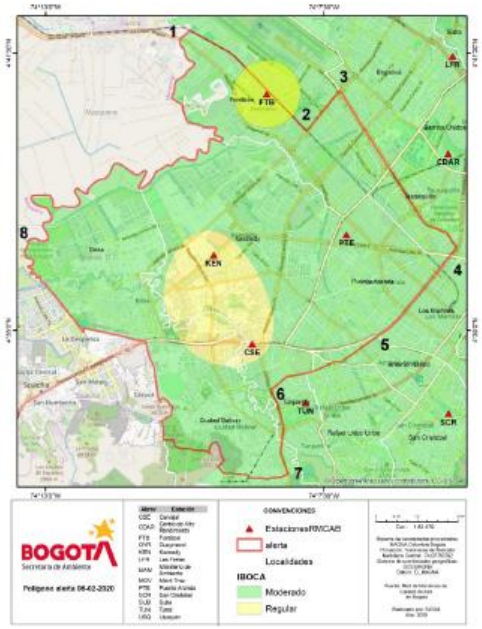


Figura 10-1 Delimitación polígono restricción vehicular en periodo de alerta amarilla – febrero 2020

En la Figura 10-2 se observa el comportamiento de los vientos en Colombia para el día 06 de febrero y el reporte de los puntos calientes para los dos días previos a la declaración de la alerta. Se evidencia que se registraron varios puntos asociados a incendios al oriente del país y en Venezuela, con lo cual los vientos, con una dirección predominante de nororiente a suroccidente, favorecieron el transporte de material particulado desde los incendios hacia la ciudad.

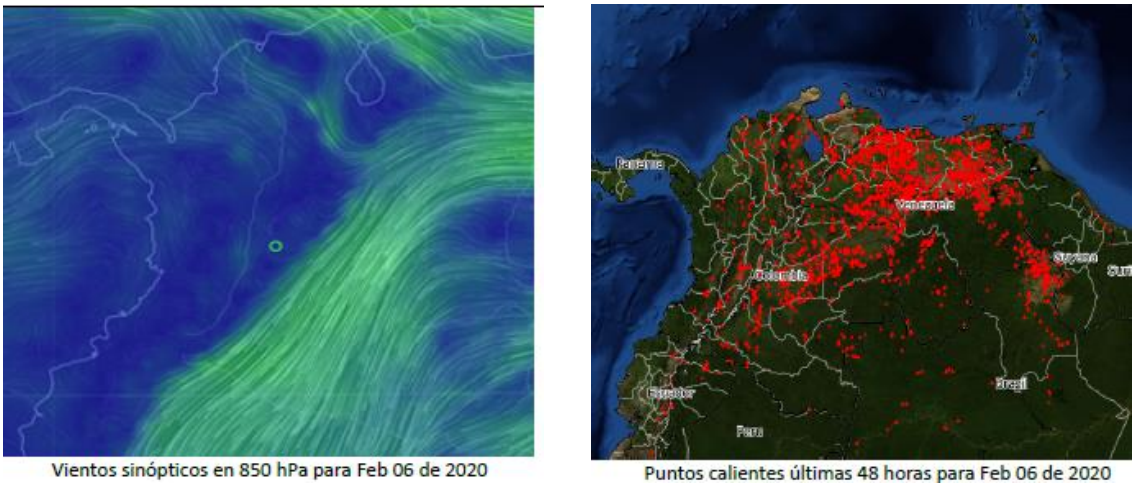


Figura 10-2. Vientos sinópticos a 850 hPa y puntos calientes asociados a incendios por 48 horas, para febrero 06 de 2020

En la Figura 10-3 se observan las retrotrayectorias del viento y los puntos calientes para el inicio y el final de la alerta, con lo cual se observa más puntualmente el cambio en la dirección predominante de los vientos al inicio y al final de la alerta

amarilla. El día 06 de febrero las corrientes de viento transportaron el material particulado de los incendios del oriente del país e ingresaron por el sur de la ciudad. Por el contrario, el día 17 de febrero se redujeron los puntos calientes en la Orinoquía, y los vientos, aunque provenían de la misma dirección, transportaron menos material particulado, por lo cual se evidenció un mejoramiento de las condiciones de calidad del aire en la ciudad.

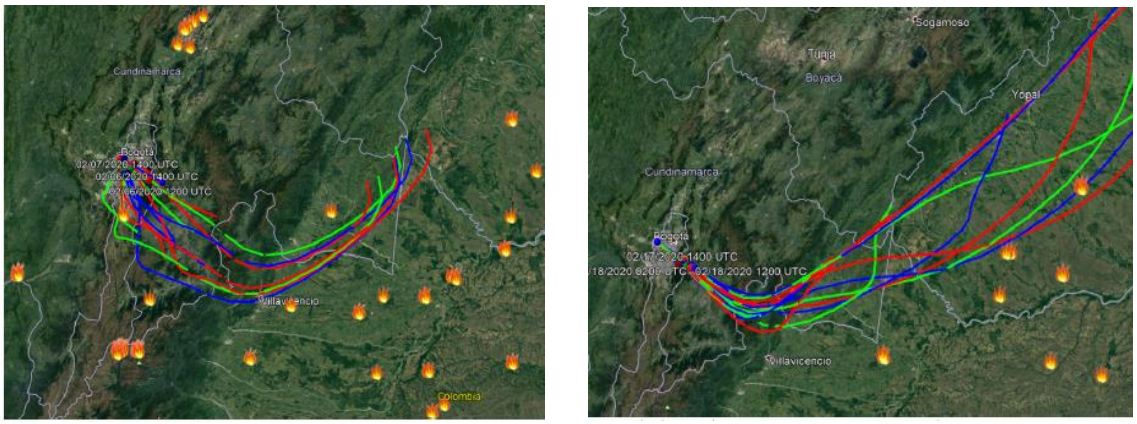


Figura 10-3. Retrotrayectorias elaboradas en HySplit para los días 06 y 17 de febrero de 2020

La Figura 10-4 muestra los mapas de distribución espacial del IBOCA para los días de inicio y fin de la alerta amarilla; para el 06 de febrero se observó que las estaciones del suroccidente y el occidente de la ciudad registraban condiciones “regulares” al menos durante 48 horas. Debido a las medidas implementadas, la reducción de los incendios forestales y al cambio de las condiciones meteorológicas, principalmente cambios en dirección y aumento en la velocidad del viento, el 17 de febrero se dieron las condiciones para el levantamiento de la alerta amarilla, al registrar condiciones favorables al oriente de la ciudad y condiciones moderadas al occidente.

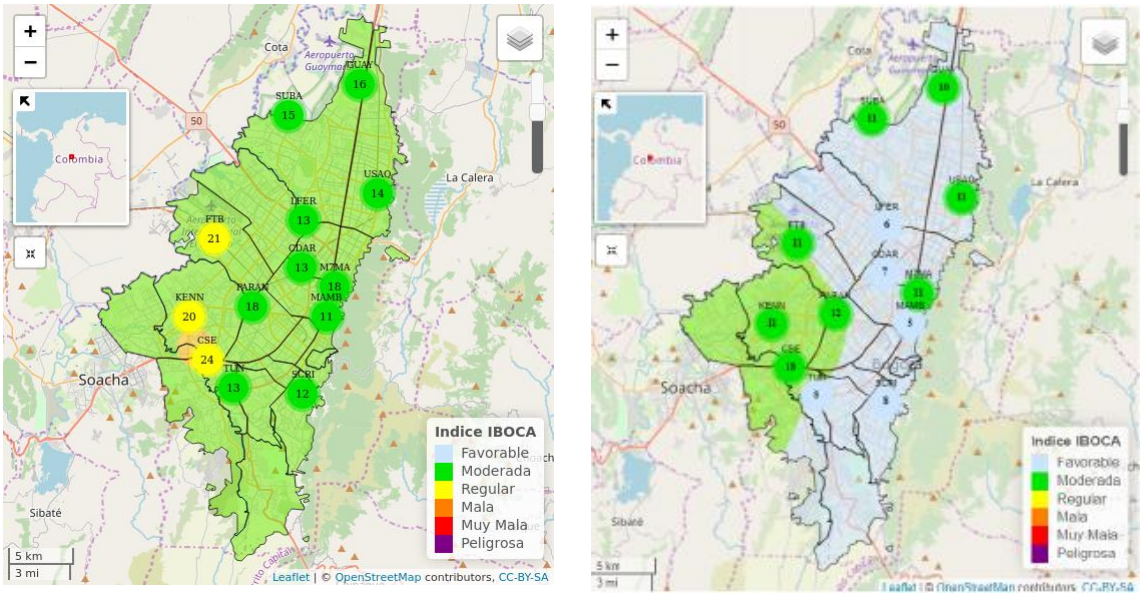


Figura 10-4. Mapas IBOCA para $PM_{2.5}$ febrero 06 y 17 de 2020

En el mes de marzo se declaró una segunda alerta amarilla, declarada desde el día 05 de marzo de 2020, debido a que se evidenció la influencia del material particulado arrastrado por los vientos desde el oriente del país, además de que se pronosticó un deterioro de la calidad del aire en los siguientes días, por aumento en los incendios forestales y su influencia en el aumento de la concentración de material particulado.

En el acto administrativo emitido por la Secretaría Distrital de Ambiente se estableció el cese de operación de las fuentes fijas ubicadas en establecimientos industriales comerciales o de servicios que operen con combustibles sólidos (carbón, madera, biomasa, etc.) o con combustibles líquidos localizadas en la ciudad, en los horarios de 00:01 a.m. a 11:59 a.m.

Para las fuentes móviles se establecieron medidas desde la Alcaldía Mayor de Bogotá, a través del Decreto 078 de marzo 06 de 2020, en el cual se definieron las siguientes medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas en el Distrito Capital:

Tabla 10-2. Medidas transitorias y preventivas en materia de tránsito en las vías públicas de Bogotá para la alerta amarilla de marzo 2020

Vehículo	Días entre semana	Días en fin de semana	Condiciones
Vehículos automotores y motocicletas	Restricción entre 06:00 a.m. y 07:30 p.m.	Según último dígito de placa Sábado: 06:30 a.m. a 06:00 p.m. Domingo y festivo: 06:30 a.m. a 02:00 p.m.	Restricción para placas pares en día par, y para placas impares en día impar
Vehículos de carga	Horarios restricción: - 06:00 a.m. a 12:00 m. - 05:00 p.m. a 10:00 p.m.	Restricción rotativa cada fin de semana de 05:00 a.m. a 09:00 p.m.: Semana 1: sábado par y domingo impar Semana 2: sábado impar y domingo par	Aplica para vehículos con año modelo mayor a 10 años

Adicionalmente en la resolución se establecen excepciones a los vehículos que pueden circular sin restricción durante el periodo de la alerta ambiental, y también se definieron las responsabilidades de la Secretaría Distrital de Salud.

En la Figura 10-5 se observa el comportamiento de los vientos para el día 05 de marzo, y la representación del poder radiativo de los puntos calientes al oriente de Colombia y el occidente de Venezuela. Se observa una predominancia de los vientos del oriente, con lo cual se produjo un arrastre de las concentraciones de material particulado proveniente de los incendios forestales en los primeros días de marzo.

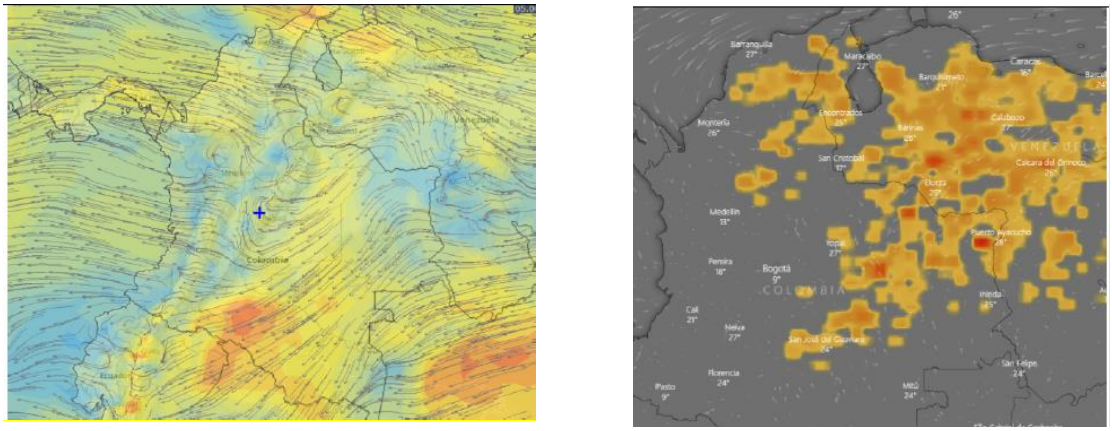


Figura 10-5. Vientos sinópticos a 850 hPa y poder radiativo de puntos calientes. Marzo 05 de 2020
Fuente: Meteoblue y Windy

Desde el día 18 de marzo, se registraron nuevos incrementos de concentración de $PM_{2.5}$, debido a la influencia de los incendios en el norte y oriente de Colombia, que arrastraron material particulado hacia el centro del país, lo cual fue evidenciado en las altas concentraciones registradas por los sistemas de monitoreo de calidad del aire en Bogotá, Medellín, Bucaramanga y Cúcuta. De acuerdo con las retrotrayectorias de la dirección del viento se observa que las corrientes del viento fueron predominantes del oriente y norte de Colombia, arrastrando material particulado de las zonas con incendios activos, en la Sierra Nevada de Santa Marta, Valledupar, Vichada y Casanare.

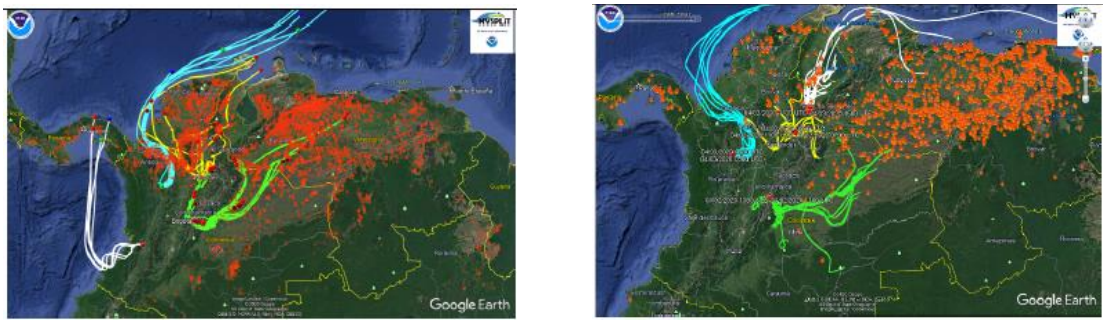


Figura 10-6. Retrotrayectorias y puntos calientes, marzo 05 y abril 02 de 2020

En la Figura 10-7 se presentan los mapas de calidad del aire para los días 05 de marzo y 02 de abril, que corresponden al inicio y al final de la alerta. Se observa que en abril hubo un mejoramiento de la calidad del aire notable respecto a las condiciones registradas a inicios de marzo, pasando de cinco estaciones en condición “regular” a siete estaciones en condición “moderada”.

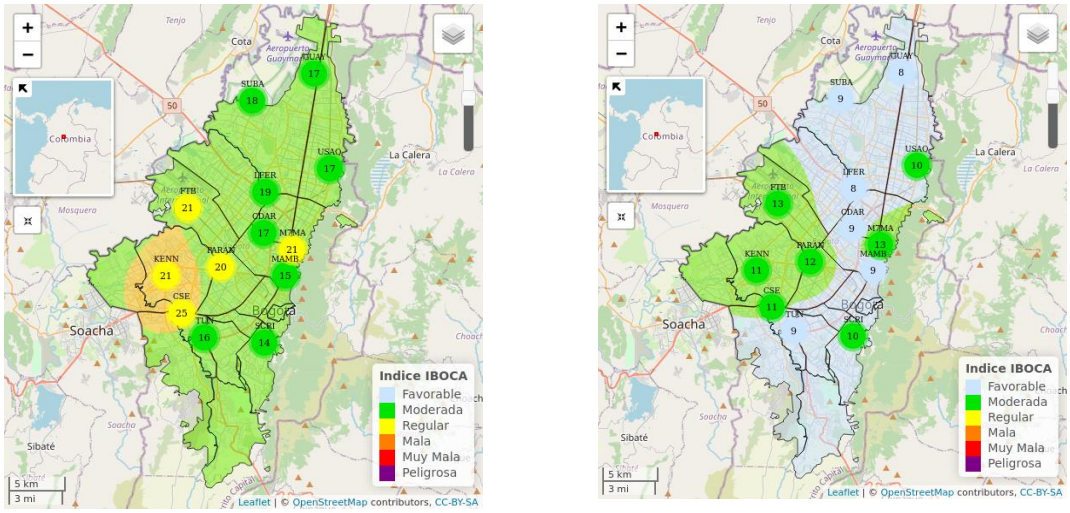


Figura 10-7. Mapas IBOCA marzo 05 y abril 02 de 2020

Dentro de los factores que favorecieron el mejoramiento de la calidad del aire, se consideran las variaciones en las condiciones meteorológicas, tales como cambio en la dirección e intensidad de los vientos, con lo cual se redujo el efecto de transporte regional de contaminantes y favorecieron a la dispersión local de los mismos. Además, se presentó menor frecuencia de fenómenos de estabilidad atmosférica e inversiones térmicas, lo que también favoreció la dispersión vertical de los contaminantes.

También se observó una disminución en el número de eventos locales y regionales de incendios respecto a los eventos registrados en la primera semana de marzo de 2020 debido a diferentes factores, tales como las condiciones meteorológicas que se presentaron en el país durante el inicio de abril, en especial, la presencia de precipitaciones en la región Orinoquía, así como la dirección e intensidad de los vientos, con lo cual se redujo el efecto de transporte regional de contaminantes y favorecieron a la dispersión local de los mismos.

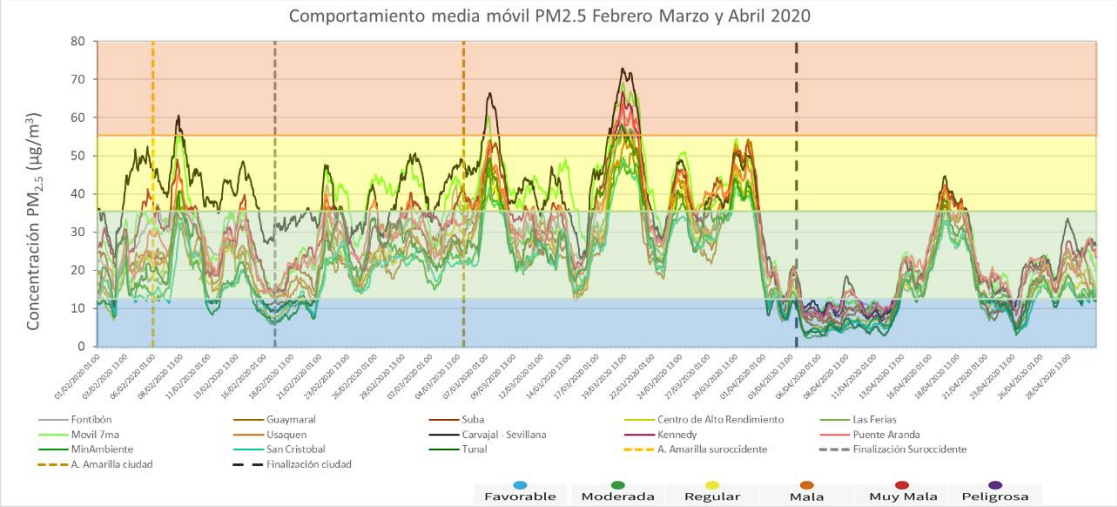


Figura 10-8. Concentraciones medias móvil 24h $PM_{2.5}$. Febrero - Abril 2020

En la Figura 10-8 se observan las concentraciones media móvil 24 horas para los meses de febrero, marzo y abril de 2020. En estos meses se observaron distintos comportamientos del contaminante, dada la influencia de los diferentes factores que incidieron en las variaciones de las concentraciones. En la primera alerta amarilla hasta nueve estaciones registraron la condición "regular", siendo la estación Carvajal-Sevillana la que registró dicha condición por mayor tiempo; se registró un ligero aumento el día 14 de febrero y finalmente descendieron las concentraciones hacia el 17 de febrero, con valores menores a 30 µg/m^3, por debajo del límite de la condición "moderada". En los siguientes días después de la finalización de la alerta hubo una tendencia gradual al incremento de las concentraciones, registrando un pico el día 04 de marzo, posterior a la declaración de la segunda alerta amarilla, y a partir de este día descendieron nuevamente las concentraciones hasta el 16 de marzo. En los dos días siguientes se registró un nuevo incremento, el más alto entre febrero y abril, en el cual se registraron hasta nueve estaciones en condición "mala" en la mañana del 19 de marzo. En estos días aumentó el número de puntos calientes y por consiguiente la influencia en las concentraciones de material particulado en la ciudad, además de una reducción en la velocidad del viento.

En el marco de las restricciones por la pandemia del COVID-19, se inició un simulacro de cuarentena el día 20 de marzo, con lo cual se permitió solo el tránsito de vehículos relacionados con actividades de primera necesidad, y se restringieron varias actividades comerciales. Por ello, en los siguientes días las concentraciones disminuyeron, pero permanecieron varias estaciones en condición "regular". Solamente hasta el 01 de abril se evidenció una reducción notable de las concentraciones, debido al inicio de la primera temporada de lluvias, lo cual contribuyó a que las concentraciones permanecieran en las condiciones "moderada" y "favorable". Aunque la cuarentena se mantuvo durante todo el mes, se registró un aumento de las concentraciones el 18 de abril, debido a la influencia de incendios forestales que aún se registraban en Venezuela.

10.2. TRANSPORTE DE ARENAS DEL SAHARA EN JUNIO DE 2020

Desde mediados de junio de 2020, los satélites registraron una nube de aerosoles proveniente del desierto del Sahara, que se desplazó desde África, alcanzó parte del occidente de España, y se transportó a través del océano Atlántico hasta llegar al norte de Suramérica, el mar Caribe y el golfo de México. [3] La nube de polvo del Sahara se evidenció por un aumento en la profundidad óptica de los aerosoles, y su llegada a los países de América y el Caribe genero un aumento en los niveles de contaminación por material particulado, además de una reducción en la visibilidad.

[3] NASA-NOAA's Suomi NPP Satellite Analyzes Saharan Dust Aerosol Blanket. NASA, 2020. https://www.nasa.gov/feature/goddard/2020/nasa-noaa-s-suomi-npp-satellite-analyzes-saharan-dust-aerosol-blanket

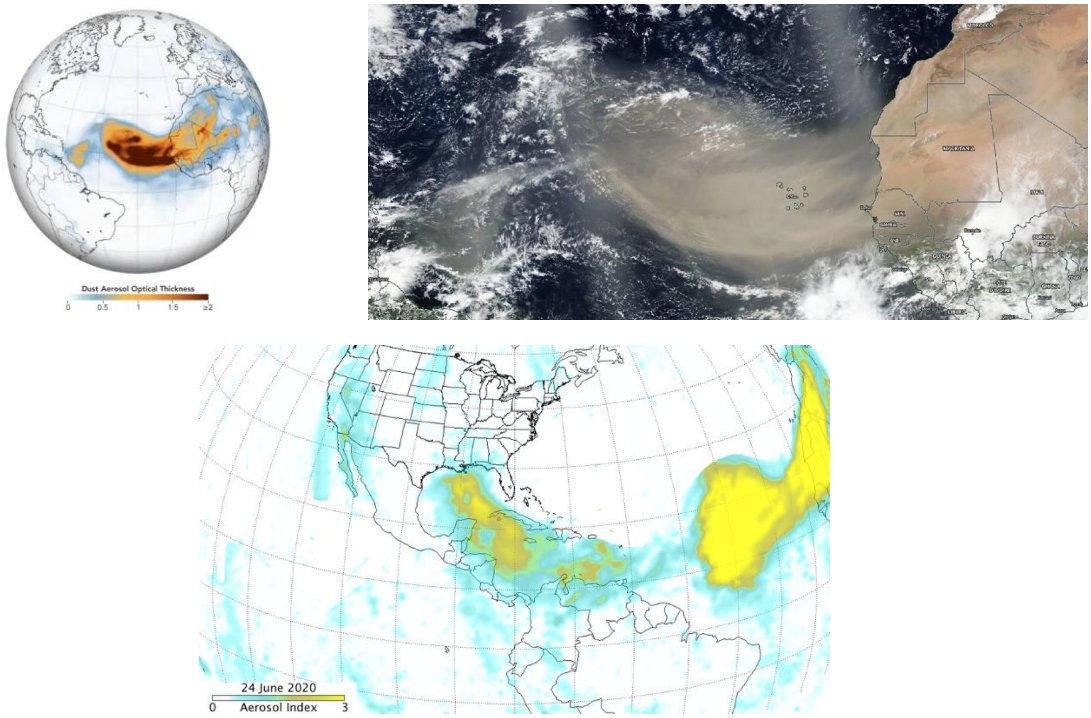


Figura 10-9. Imágenes satelitales transporte de polvo del Sahara. Fuente: NASA

En la Figura 10-10 se representan las concentraciones horarias de PM_{10} para todas las estaciones de la RMCAB para el periodo comprendido entre el 20 y el 30 de junio de 2020. En el marco de las restricciones por la pandemia del virus COVID-19, las concentraciones de contaminantes se habían reducido desde el mes de abril, además de que históricamente el mes de junio registra las concentraciones más bajas del año. Sin embargo, entre los días 23 y 26 de junio se registraron aumentos notables de concentración de material particulado, siendo las estaciones del suroccidente de la ciudad y la estación Móvil 7ma las que presentaron los niveles más altos, con registros entre 220 a 290 µg/m^3, debido a la influencia de la arena del Sahara. El día 27 de junio descendieron las concentraciones nuevamente, con registros menores a los 100 µg/m^3 durante el resto del mes.

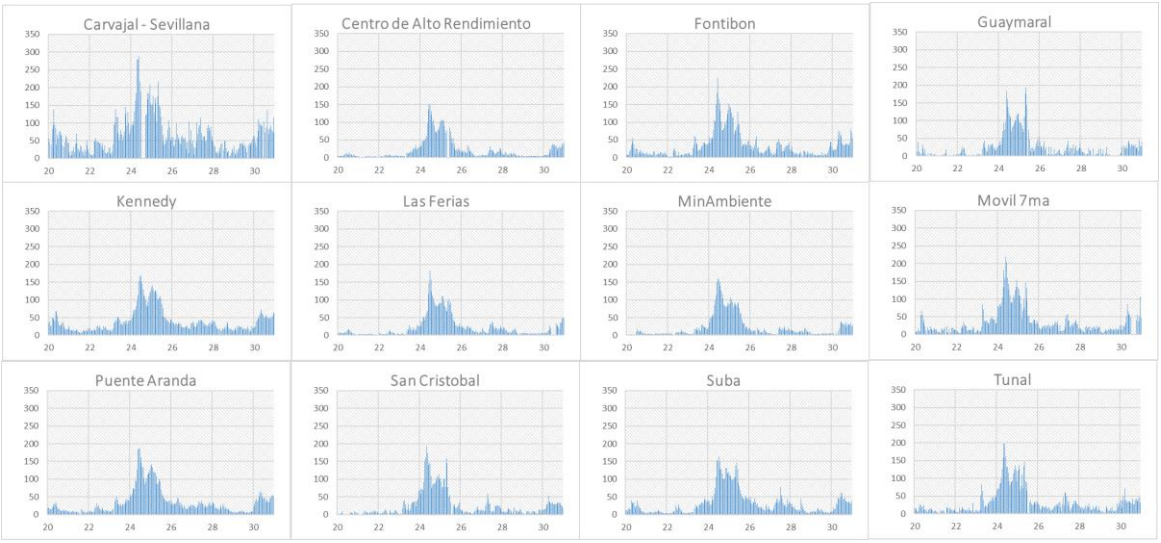


Figura 10-10. Concentraciones horarias PM_{10} Junio 20 - 30 de 2020

10.3. INFLUENCIA DE LAS RESTRICCIONES EN LA PANDEMIA DEL COVID 19

Debido al aumento de casos registrados del COVID-19 en Bogotá, como medida preventiva la administración distrital estableció la medida del Simulacro Vital, reglamentado por el Decreto 090 del 19 de marzo de 2020, en la cual se restringía la libre circulación de vehículos y personas entre el jueves 19 de marzo a las 11:59 p.m. y el lunes 23 de marzo a las 11:59 p.m. Solamente se encontraban habilitados para circular el personal de salud y los relacionados con necesidades básicas. Este simulacro coincidió con el inicio del Aislamiento Preventivo Obligatorio, que inició a nivel nacional con el Decreto 457 del 22 de marzo de 2020. Desde el inicio del simulacro vital en Bogotá se eliminaron las restricciones de pico y placa y otras medidas asociadas a la circulación de vehículos.

Debido a estas restricciones, solamente algunas fuentes de emisión se encontraban en funcionamiento en la ciudad, y se redujo en gran proporción el número de vehículos particulares y de la flota del transporte público que circulaban en las calles. Consecuentemente se evidenció una disminución notable en el aporte de emisiones de fuentes móviles, en especial en horas de la mañana. Aunque también pudo observarse que al tener menos actividad de las fuentes de emisión que en años anteriores, las concentraciones de $PM_{2.5}$ se mantenían en condición “regular” algunos días después del 20 de marzo, debido al aporte del material particulado proveniente de los incendios forestales activos al norte y oriente de Colombia.

En la Figura 10-11 se observan las concentraciones media móvil 24 horas de $PM_{2.5}$ observadas durante el periodo comprendido entre marzo 15 y diciembre 31 de 2020. En esta gráfica se observan las variaciones de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el transcurso del año, en el marco de las restricciones por la pandemia del COVID-19.

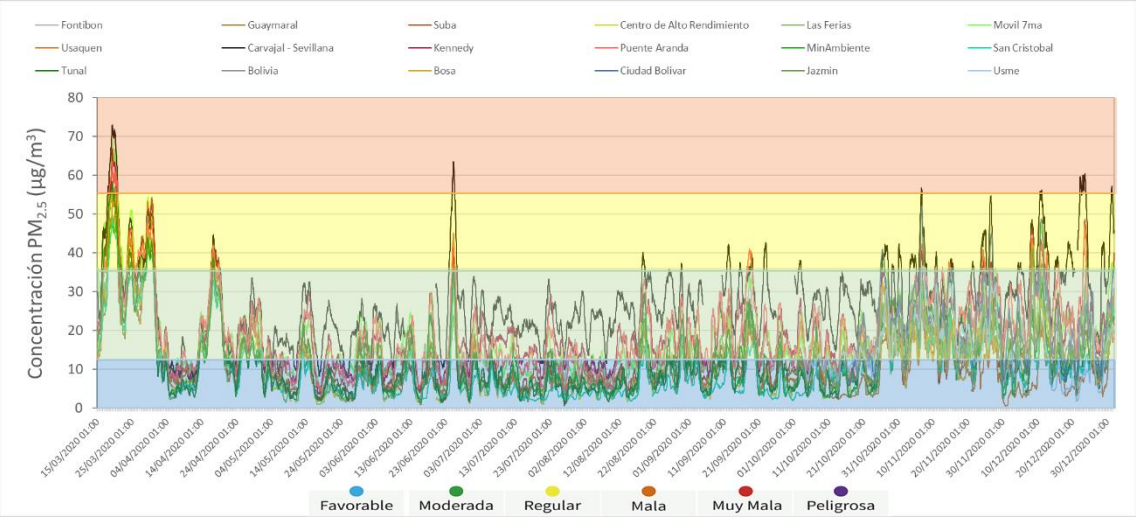


Figura 10-11. Concentraciones media móvil PM2.5 Marzo 15 - Diciembre 31 2020

Se observa que las concentraciones más altas durante el periodo de la cuarentena (marzo-agosto) fueron registradas a finales de junio por el transporte de arenas del Desierto del Sahara (alcanzando la condición “mala” en la estación Carvajal-Sevillana) y a finales de abril por influencia de incendios forestales en el oriente del país. El resto de los meses las concentraciones se mantuvieron principalmente en condiciones “moderada” y “favorable” hasta el mes de octubre, teniendo en cuenta que entre julio y agosto se establecieron cuarentenas por localidades, y en septiembre finalizó la etapa de aislamiento obligatorio, por lo cual hasta este mes se evidenció un retorno gradual a las actividades normales de la ciudad. Posteriormente, a finales de octubre se registraron condiciones desfavorables locales que no contribuyeron con la dispersión de concentraciones. Durante los meses de noviembre y diciembre se evidenciaron incrementos de concentraciones en relación con los meses previos, aumentando la frecuencia de datos en la condición “regular” especialmente en las estaciones del suroccidente, ya que las actividades de la ciudad funcionaron en su mayoría con normalidad, además de que aumentó el tráfico vehicular, y las condiciones meteorológicas fueron menos favorables para la dispersión de contaminantes.

10.4. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR CONDICIONES LOCALES

Durante el mes de octubre de 2020 se mantuvieron las condiciones de aislamiento voluntario tras varios meses de restricciones en el marco de las acciones para evitar los contagios por la pandemia del COVID-19. Según la Figura 10-12 en la mayor parte del mes las concentraciones se mantuvieron en las condiciones “favorable” y “moderada”, sin embargo en los últimos días del mes, desde el 27 de octubre, se observó un aumento en las concentraciones de material particulado debido a la confluencia de vientos provenientes del occidente, lo cual causó que el material particulado se mantuviera al interior de la ciudad, generando que varias estaciones se mantuvieran en condición “regular” desde el 27 de octubre.

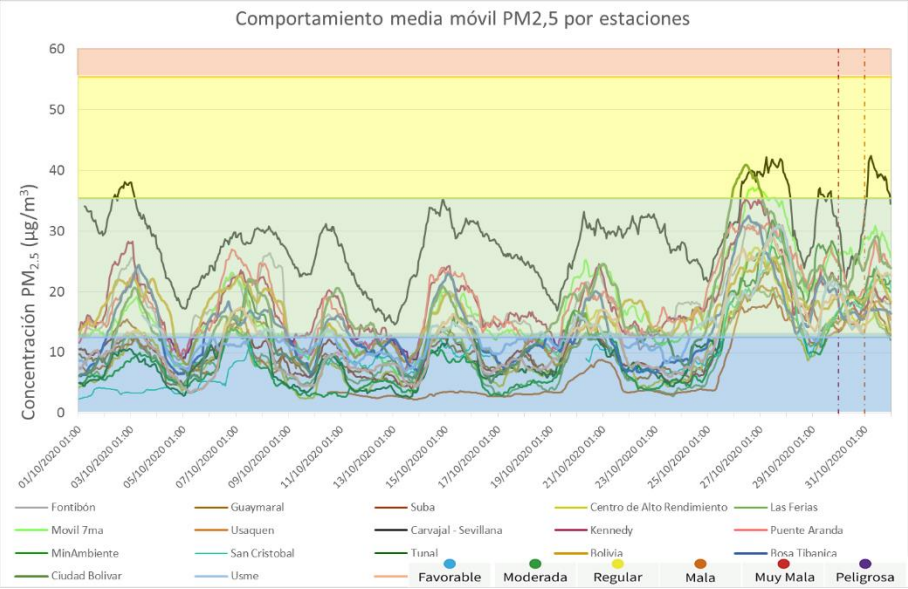


Figura 10-12. Concentraciones media móvil 24 h de $PM_{2.5}$ octubre de 2020

11.CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) cerca de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y 83 mil fueron atribuibles a la contaminación del aire por al uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016. Se perciben grandes diferencias entre grupos de población y localidades geográficas, las personas que viven cerca de carreteras o áreas industriales están más expuestos a niveles elevados de contaminación ambiental exterior y las personas que usan combustibles sólidos como fuente de energía son más afectadas en espacios interiores.

La contaminación el aire ahora ocupa espacio en las agendas globales. En el año 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas adopto la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, la referencia a la contaminación del aire se realiza en la meta 3,9 (reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo), 7,1 (garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos) y 11,6 (reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo)[4].

En el Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021 desde la dimensión de salud ambiental se menciona el derecho a un ambiente sano con el fin de mejorar las condiciones de salud de la población, para lo cual se establece un conjunto de políticas que promueven la calidad de vida con la participación de diferentes actores sociales. Por medio de la transformación positiva de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales bajo el enfoque de las fuerzas motrices, se establecen relaciones entre condiciones ambientales y de salud, permitiendo a los gobiernos identificar factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal, así como actores y acciones sectoriales y transectoriales preventivas y correctivas.

Uno de los componentes de la dimensión de salud ambiental es el hábitat saludable que contempla varios objetivos entre ellos intervenir con enfoque diferencial de los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos para ello se requiere de procesos participativos organizados alrededor de entornos cotidianos: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables [5].

Trabajar para reducir en un 10% la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ mediante la implementación del Plan de Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá 2030, “Unidos por un

[1] Organización Panamericana de la Salud Disponible en https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire

[2] Dimensión de Salud Ambiental, Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf

Nuevo Aire" es la consigna, que busca trabajar por la protección de la salud de los niños, niñas y adultos mayores la población más vulnerable a los factores de contaminación[6].

El decreto 596 de 2011 "por medio del cual se adopta la Política Distrital de salud ambiental para Bogotá, D.C. 2011-2023, tiene por objeto orientar la gestión para el mejoramiento de la salud ambiental en el territorio urbano y rural del distrito mediante el trabajo articulado entre instituciones, investigación y acción participativa entre diferentes líneas de intervención, una de estas corresponde a la Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, que opera a través de estrategias como la Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental [7].

La Secretaría Distrital de Salud ha venido desarrollando acciones intersectoriales desde la línea de aire, ruido y radiación electromagnética con el propósito de analizar los factores posiblemente relacionados con la presencia de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y personas mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre estos factores con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá.

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes como se observa en la Figura 11-1 que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad, por medio del decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 11-1.

Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura.

Norte	Centro Oriente	Sur Occidente	Sur
▪ Usaquén ▪ Chapinero ▪ Barrios Unidos ▪ Teusaquillo ▪ Engativá ▪ Suba	▪ Santa Fe ▪ La Candelaria ▪ Los Mártires ▪ San Cristóbal ▪ Rafael Uribe ▪ Antonio Nariño	▪ Fontibón ▪ Puente Aranda ▪ Kennedy ▪ Bosa	▪ Tunjuelito ▪ Ciudad Bolívar ▪ Usme

[6] Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad el aire 10%, prioridad para esta administración. Disponible en: http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/plan-de-desarrollo%3A-mejorar-la-calidad-del-aire-10-prioridad-para-esta-administracion.
[7] Secretaria Distrital de Salud. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. Decreto N° 566 de 2011 Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/Paginas2/PoliticadeSaludambiental.aspx



Figura 11-1. Red Integrada de Servicios de Salud

11.1. VIGILANCIA EN SALUD AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud de Bogotá desde el año 2012 realiza una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- Vigilancia Epidemiológica: vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- Vigilancia Sanitaria: contempla la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a la contaminación del aire.
- Vigilancia Ambiental: Contempla el monitoreo de contaminación del aire intramural y análisis y seguimiento de contaminantes por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud tanto en los países desarrollados como en los países en vía de desarrollo. Se estima que la contaminación del aire causa 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año tanto en zonas urbanas como rurales, dicha mortalidad se debe a partículas muy pequeñas de 2,5 micrones que pueden llegar a causar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer[8].
La exposición de la población a la contaminación del aire puede ocasionar efectos fisiológicos imperceptibles hasta la muerte, los niños son un grupo especialmente vulnerable por la inmadurez del sistema respiratorio e inmune, los efectos respiratorios más reportados en la literatura son

[8] Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire y Salud. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

aumento de síntomas y consultas de urgencias por causas respiratorias, aumento exacerbaciones asmáticas y reducción en la función pulmonar[9].

Por otra parte, los adultos mayores se constituyen en otro grupo susceptible a la contaminación del aire debido a que se ve disminuida la función pulmonar por senectud y la presencia de otras comorbilidades como las enfermedades cardiovasculares que aumentan la vulnerabilidad a los contaminantes, cuyos efectos dependen por una parte de la concentración y tiempo de exposición y por otra de la susceptibilidad de las personas expuestas[10].

Un estudio realizado en los Estados Unidos mostró que cada 10 µg/m^3 de elevación en PM_{10} provocan un aumento del 0,31% de mortalidad cardiopulmonar diaria a corto plazo; otro estudio similar realizado en Europa encontró con la misma elevación de PM_{10} un incremento de mortalidad cardiovascular de 0,69%. Por otra parte, los efectos relacionados con la exposición a $PM_{2,5}$ fueron observados a largo plazo en una cohorte de mujeres en los Estados Unidos donde se demostró un aumento de eventos cardiovasculares en un 24% y un 76% de muertes por causa cardiovascular por cada 10 µg/m^3 de aumento[11].

Algunos estudios han permitido observar el impacto de la contaminación del aire en el crecimiento del feto y bajo peso al nacer. La exposición ambiental a PM_{10} ha sido relacionada al retardo del crecimiento intrauterino, posteriormente se sugiere un efecto dañino de carácter permanente dado que el bajo peso y el retado de crecimiento se asocia con la salud respiratoria en etapas posteriores de la vida[12].

A nivel de Bogotá se han llevado a cabo diferentes estudios principalmente en población infantil con el fin de identificar los efectos en salud dado por exposición a la contaminación del aire, a continuación se mencionan algunos de ellos: en el año 1999 Solarte et al, realizaron un estudio para determinar asociación entre las fluctuaciones de la concentración de partículas PM_{10} y la morbilidad por enfermedad respiratoria en población menor de 14 años, encontrando que el número total de consultas por enfermedad respiratoria en dicha población está asociado con la concentración de PM_{10} en los días precedentes. Un aumento de 10 µg/m^3 en la concentración de PM_{10} produce un aumento de por lo menos el 8 por ciento en el número de consultas por enfermedad respiratoria en los niños menores de 14 años[13].

En 2006, Arciniegas et al, realizaron un estudio en la localidad del Puente Aranda en Bogotá donde identificaron que un aumento de 10µg/m^3 en la concentración de material particulado menor a 10

[9] Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. Dr Ubilla Carlos y Dra Yohannessen Karla. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S071684017300214
[10]Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Oyarzún G Manuel. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004
[11] Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. N. Soldevila Bacardit, E. Vonyoles Bargalló, J. Agudo Ugena y L.Camps Vila. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324752458
[12] Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. Vargas Sandra, Onatra William, Osorno Lucia, Páez Eduardo, Sáenz Orlando. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v11n1/v11n1a06.pdf
[13] Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. Solarte Pedro, Caicedo Mónica, Restrepo Sonia. Disponible en: https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/documentos/20110628lec.ad.articulo_estudio_ivan_solarte.pdf

micrómetros PM_{10} ocasionaría un incremento del 4% en las consultas por ERA con un periodo de latencia de seis días en niños menores a 5 años[14].

En el año 2007 Hernández et al, realizaron un estudio en el cual encontraron diferencias en el promedio de PM_{10} en el exterior de jardines más y menos expuestos a material particulado (91µg/m³ vs. 62µg/m³), observando un aumento en la incidencia de síntomas como tos, expectoración, sibilancias, ojos rojos, fiebre, ahogo y ausentismo escolar por enfermedad respiratoria, en el grupo de niños más expuestos[15].

En el año 2020 se produjo la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2 que estamos viviendo en la actualidad la cual ocasionó una crisis sanitaria de gran magnitud, debido a su rápida expansión, lo que puso a prueba los sistemas sanitarios de todos los países. En el afán de controlarlo se establecieron cuarentenas obligadas con medidas de confinamiento severas obligando a la reducción de la actividad económica a nivel mundial, provocando beneficios para el medio ambiente específicamente en la calidad del aire y disminución en la contaminación ambiental.

Según la Organización Mundial de la Salud 4,6 millones de personas mueren por año debido a enfermedades directamente como consecuencia de la mala calidad del aire, la contaminación del aire podría exacerbar la severidad de los síntomas de la infección por COVID-19 incrementado el riesgo de mortalidad, tal como se observó en un estudio en los EEUU donde la exposición a largo plazo de $PM_{2,5}$ con un incremento de solo 1µg/m³ se asocia con un incremento de un 8% en la tasa de mortalidad por COVID-19, estos resultados se toman con cautela ya que la publicación no ha pasado por el proceso de revisión de pares[16].

11.2. VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

Desde el año 2007 la Secretaría Distrital de Salud formuló y ejecuto un estudio epidemiológico con el fin de establecer relaciones entre la contaminación del aire intra y extramural y la enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá. A partir de este estudio, se decidió diseñar e implementar un sistema de vigilancia epidemiológico, ambiental y sanitario del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire, el cual se ha realizado de manera permanente, incrementando su cobertura de forma progresiva en todas las localidades de la ciudad.

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos; que permite generar

14 Estudio de la morbilidad en niños menores a 5 años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100002

15 Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá. Hernández Luis Jorge, Aristizábal Gustavo, Salgado Yenny, Cantor Liseth, Medina Katalina, Reyes Jesús. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120491215300112

16 Comprender el COVID-19 desde una perspectiva de salud pública. Aragón Ana Pérez y Lacasaña Marina. Disponible en: https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/

información oportuna, válida y confiable, y así orientar medidas de prevención, vigilancia y control en relación con el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad.

11.2.1. MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

Las infecciones respiratorias agudas (IRA) son consideradas las principales causas de morbilidad y mortalidad en todo el mundo. La población de mayor riesgo son los niños, las personas de tercera edad y los inmunocomprometidos. Aunque las infecciones respiratorias superiores son más frecuentes, las infecciones respiratorias bajas son responsables de los cuadros más graves de influenza, neumonía y bronquiolitis y son las que más contribuyen a la mortalidad por IRA. Se estima que, en los niños menores de dos años, el 2 al 3% tuvo neumonía grave que requirió hospitalización y las tasas de mortalidad por IRA en los países en desarrollo oscilan entre 60 a 100 casos por 1.000 niños menores de 5 años[17].

En el año 2020 se presentaron 9 muertes por IRA en menores de 5 años en Bogotá, comparado con los últimos 4 años se observa una disminución de casos, los años 2016 y 2019 mostraron las tasas de mortalidad más altas con 4,3 y 3,8 por 100.000 menores de 5 años, específicamente respecto al año 2019 se presentó una disminución porcentual del 60,8%. (Figura 11-2).

Con respecto a la neumonía, en el año 2020 ocurrieron 13 muertes observando una disminución porcentual del 68% comparado con el año 2019 donde se presentaron 41 muertes, teniendo en cuenta además que el promedio de la tasa de mortalidad por neumonía de los últimos 4 años fue de 7,4 por 100.000 menores de 5 años, se observa para el año 2020 una reducción significativa. La localidad que más registro defunciones en menores de 5 años por neumonía durante el año 2020 fue Kennedy con 3 casos lo que corresponde al 23,1%.
Esta reducción particular posiblemente pueda deberse a la pandemia provocada por el COVID-19 que obligo a tomar medidas como el confinamiento estricto, lo que pudo favorecer la salud de los menores quienes no fueron expuestos a la contaminación del ambiente. (Figura 11-2)

[17] Enfermedad Respiratoria Aguda. Vigilancia en Salud Pública. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ENFERMEDADRESPIRATORIAAGUDA.aspx

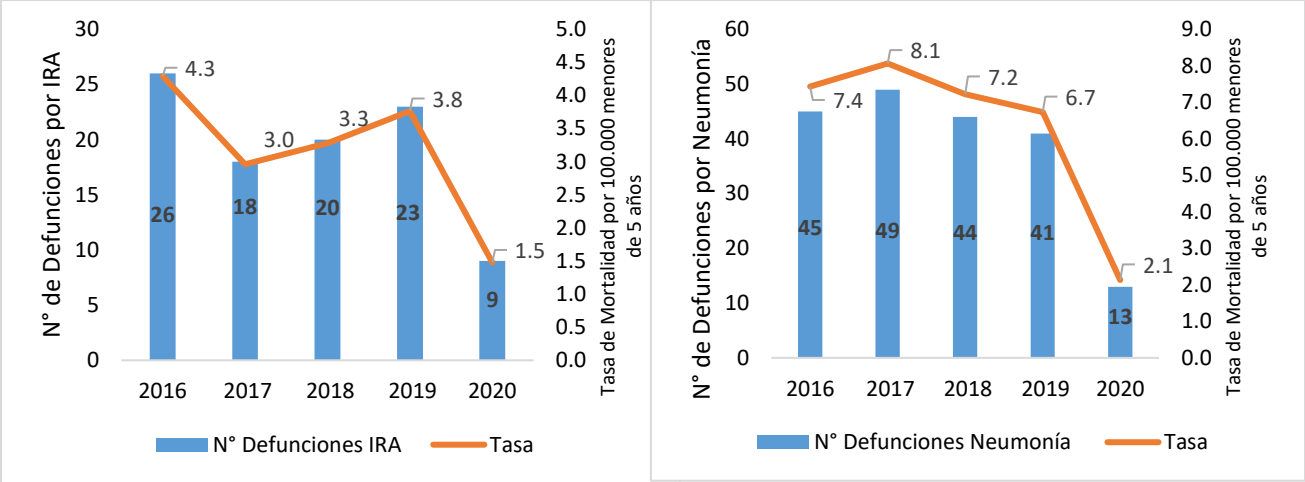
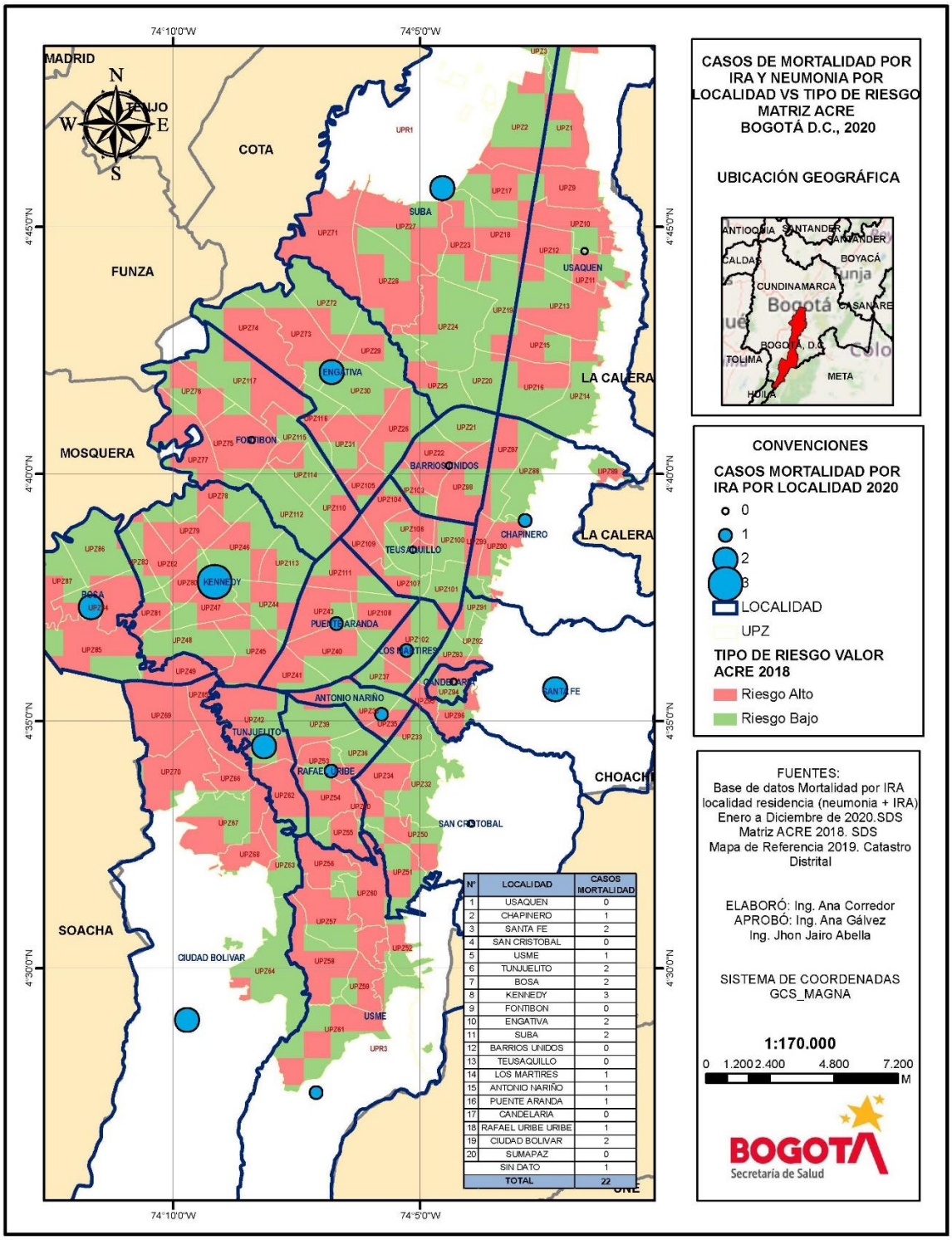


Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2016 a 2020

La neumonía es una de las principales causas de muerte en niños menores de 5 años en el mundo, con más de 4 millones de muertes por año. También es la segunda causa principal de años de vida perdidos debido a la mortalidad prematura y una de las razones más frecuentes de hospitalización.[18] En la figura 11-3 se observa el mapa con la ubicación del número máximo de casos ocurridos en las diferentes localidades de mortalidad por IRA y Neumonía en menores de 5 años, así como el tipo de Riesgo dado por el valor ACRE representados por los colores rojo y verde, identificándose que los casos se concentraron en las localidades de Kennedy, Bosa, Engativá, Suba, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Santa fe.

[18] El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. Disponible en: https://www.who.int/gard/publications/The_Global_Impact_of_Respiratory_Disease_ES.pdf



Nº	LOCALIDAD	CASOS MORTALIDAD
1	USAQUEN	0
2	CHAPINERO	1
3	SANTA FE	2
4	SAN CRISTOBAL	0
5	USME	1
6	TUNJUELITO	2
7	BOSA	2
8	KENNEDY	3
9	FONTIBON	0
10	ENGATIVA	2
11	SUBA	2
12	BARRIOS UNIDOS	0
13	TEUSAQUILLO	0
14	LOS MARTIRES	1
15	ANTONIO NARIÑO	1
16	PUENTE ARANDA	1
17	CANDELARIA	0
18	RAFAEL URIBE URIBE	1
19	CIUDAD BOLIVAR	2
20	SUMAPAZ	0
	SIN DATO	1
	TOTAL	22

Figura 11-3. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años en Bogotá Vs Tipo de Riesgo Matriz ACRE, 2020

11.2.2. MORBILIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaria Distrital de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021.

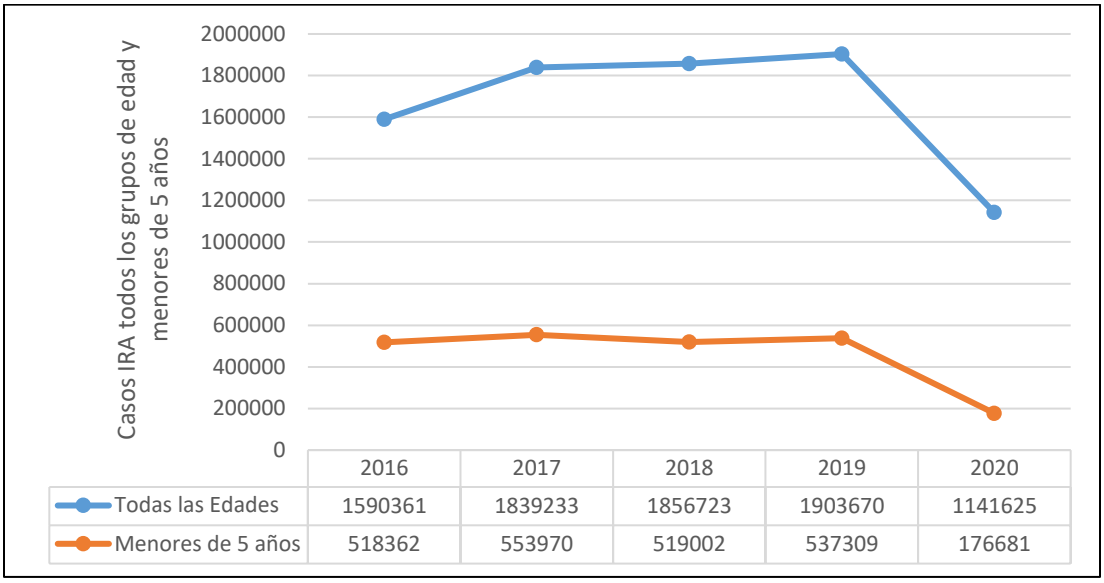
- **Morbilidad Atendida**

La infección respiratoria aguda (IRA) se puede presentar en cualquier parte de las vías respiratorias, con una evolución de 15 días, causada por virus o bacterias que entran por nariz o boca y puede afectar cualquier parte del sistema respiratorio. De acuerdo con el microorganismo que produzca la infección así serán los signos, síntomas, gravedad y tiempo que dure. Las infecciones del sistema respiratorio superior son causadas frecuentemente por virus como el virus sincitial respiratorio, parainfluenza, adenovirus, rinovirus, coronavirus y enterovirus, en general son leves y pasan rápidamente. En las infecciones del sistema respiratorio inferior también son frecuentes los virus, pero se encuentran las bacterias que causan infecciones más severas que requieren tratamiento antibiótico y pueden llegar a causar la muerte, dentro de los agentes más comunes se encuentra streptococcus pneumoniae, el haemopilus influenzae y el staphylococcus aureus[19].

La Figura 11-4 muestra el comportamiento de la notificación por IRA (evento 995) en la población general y en menores de 5 años; durante el año 2020 en Bogotá se notificaron 1.141.625 casos de Infección Respiratoria Aguda en la población general, comparado con el año 2019 se observa una reducción de casos del 40,03%, se evidencia durante los años 2016 a 2019 una tendencia hacía el aumento de los casos en todos los grupos de edad, pero para el año 2020 hay una marcada disminución que comparado con el año inmediatamente anterior fue del 67,11%. Por otra parte 176.681 casos de esta población se presentaron en menores de 5 años lo que corresponde al 15,5%. Los casos de IRA en la población de menores de 5 años para el año 2020 mostraron una disminución porcentual del 67,11% con respecto a los casos atendidos en año 2019.
Probablemente el comportamiento de la disminución en la notificación por Infección Respiratoria Aguda en el año 2020 fue debido al confinamiento preventivo debido a la pandemia generada por el COVID-19, que además produjo una reducción en la presencia de fuentes móviles y fijas, y así mismo en la emisión por combustión hasta en un 60% comparado con el año 2019, que también pudo favorecer la disminución de casos por enfermedades respiratorias, dado por una mejora en la calidad del aire que favoreció las cifras de la morbilidad en menores de 5 años, comparando la tasa entre enero y marzo del año 2019 que fue de 10,5 con el mismo periodo año 2020 que fue de 2,1 se puede observar las mejoras en los niveles de salud.[20]

[19] Unidad de atención de Enfermedad Respiratoria Aguda Comunitaria. OPS. Disponible en: https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/UAIRAC_15062012%5B1%5D.pdf

[20] Calidad del aire de Bogotá, ¿de vuelta a la "mala normalidad"? El Tiempo Disponible en: https://www.eltiempo.com/bogota/calidad-del-aire-de-bogota-de-vuelta-a-la-mala-normalidad-508622



	2016	2017	2018	2019	2020
Todas las Edades	1590361	1839233	1856723	1903670	1141625
Menores de 5 años	518362	553970	519002	537309	176681

Figura 11-4. Morbilidad por IRA (evento 995-SIVIGILA) en la población general y menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2020

Dentro de la vigilancia de la morbilidad por IRA en el Distrito Capital se cuenta con la estrategia de Salas ERA en conjunto con la Línea de Calidad del Aire, Ruido y REM (vigilancia sanitaria y ambiental) en lo que corresponde a notificación y comportamiento del evento. El propósito de una sala ERA es disminuir la morbilidad y mortalidad por ERA en niños manejando tempranamente y de manera estandarizada los casos, basados en protocolos y guías de práctica clínica.[21]

En el año 2020 se atendieron 9.213 casos en las salas ERA en Bogotá, disminuyendo en un 72,95% con respecto al año anterior (n=34.066), el primer trimestre del año fue donde se presentó la mayor asistencia con 8.689 casos, es decir el 94,31% de total, posterior a este periodo se presentó un descenso significativo en la asistencia, dado probablemente por el confinamiento al que fue sometida la población como parte de las medidas de control para evitar el contagio del virus SARS-Cov-2. La localidad donde se presentó la mayor asistencia a las Salas ERA fue Suba con un 19,55% seguido por Ciudad Bolívar con 11,06% y Engativá con 10,27%. Los menores de 1 año representaron el 31,46 % de los casos.

En la Figura 11-5 se muestran los principales diagnósticos atendidos en las Salas ERA, siendo la bronquiolitis el más frecuente con 44,51%, seguido por el Síndrome Bronco obstructivo Recurrente (SBOR), asma o equivalentes. De igual manera, el 14,74% de los casos requirió hospitalización por la complejidad del cuadro clínico. Al 30,98% de los asistentes les fueron tomados Rayos X.

[21] Guía de promoción atención en enfermedad respiratoria aguda (ERA). Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/Documents/Guia%20de%20Atenci%C3%B3n%20ERA.pdf

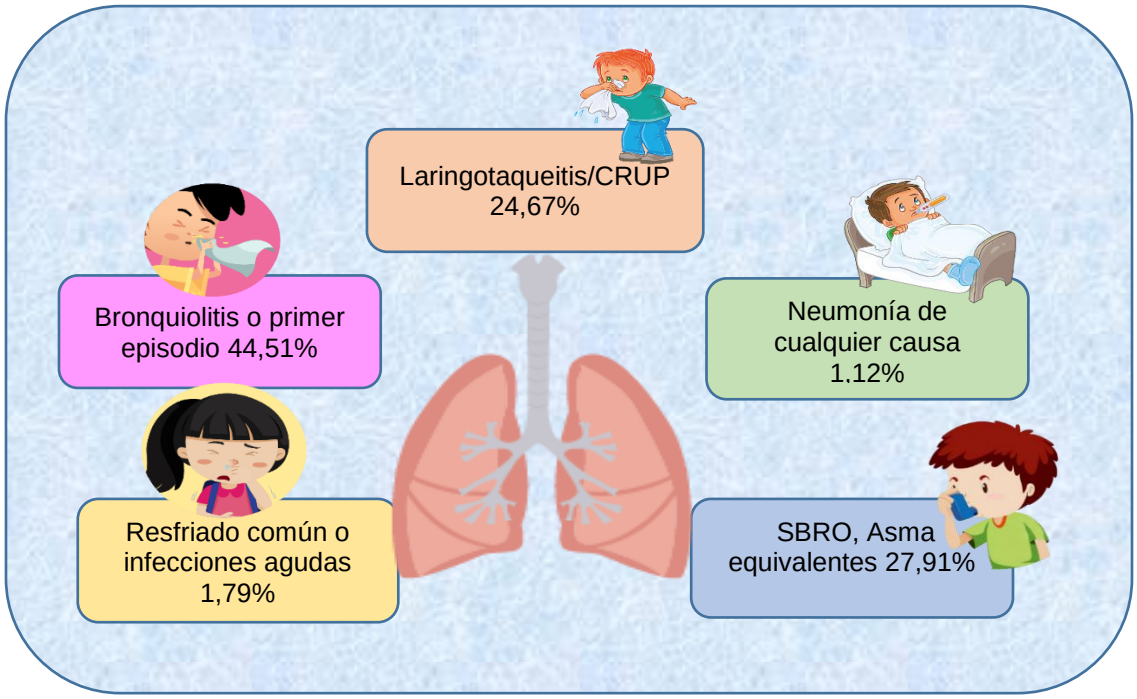


Figura 11-5. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2020

- **Morbilidad Sentida**

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y personas mayores de 60 años, por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire.

En el año 2020 se aplicaron 10.289 encuestas de prevalencia de sintomatología respiratoria a población vulnerable, de las cuales el 32,34% fueron aplicadas a menores de 5 años, 45,87% a niños de 5 a 14 años, y 21,79% a personas mayores de 60 años. En la población menor de 14 años se aplicaron 8.047 encuestas, el 51,29% correspondió al sexo masculino. En los adultos mayores predominó el sexo femenino con el 69,18%.

Con relación a la distribución del estrato socioeconómico de la población encuestada predomino el estrato 2 en las tres poblaciones, seguido por el estrato socioeconómico 3, como se puede observar en la Figura 11-6.

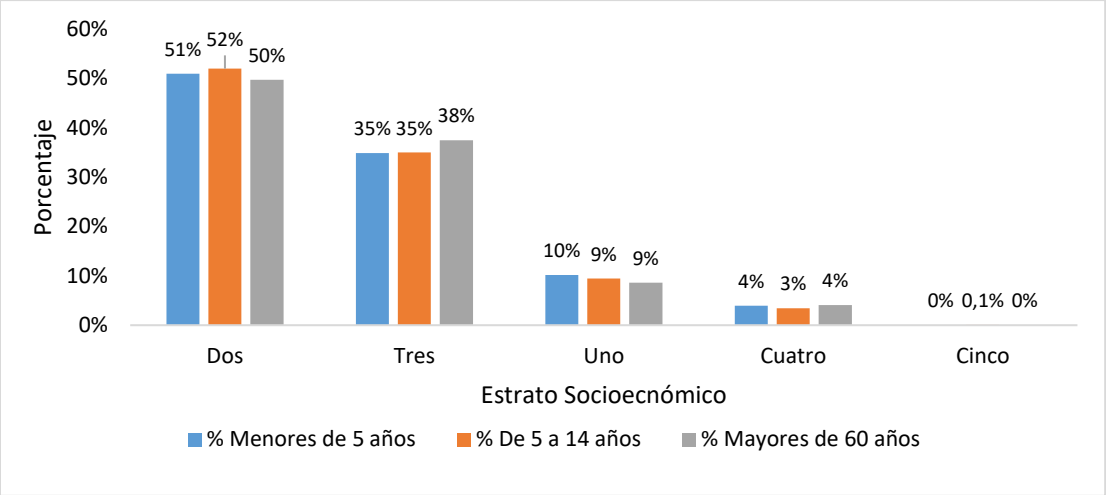


Figura 11-6. Distribución por Estrato Socioeconómico según grupos de población encuestada. Bogotá 2020

Con respecto a la distribución de la población encuestada según el Sistema de Seguridad Social en Salud, predominó el régimen contributivo en las tres poblaciones siendo más alto en los menores de 5 años con el 72%, seguido por el régimen subsidiado con predominio en los adultos mayores de 60 años con el 40%, como se observa en la Figura 11-7.

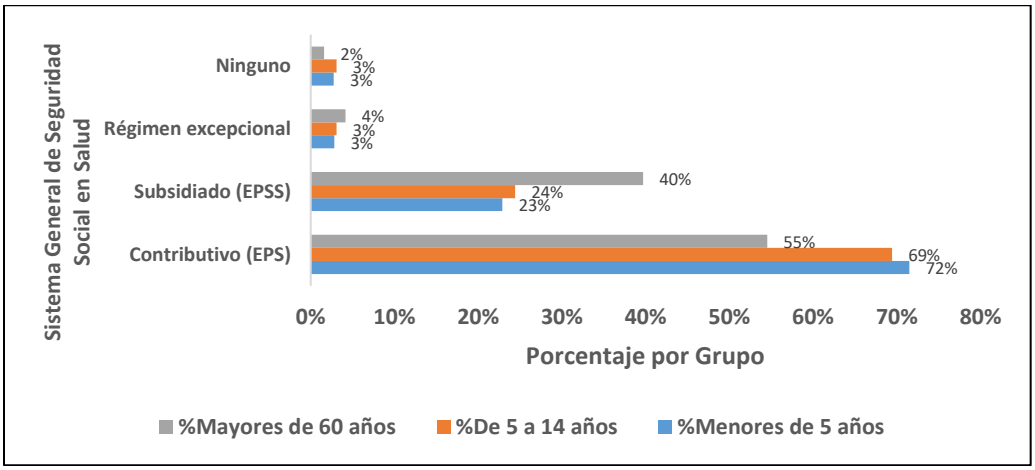


Figura 11-7. Distribución por el Sistema General de Seguridad Social en Salud según grupos de población encuestada. Bogotá 2020

En el marco de la vigilancia de los efectos en salud por contaminación del aire se identifican síntomas trazadores *sibilancias* (ruidos en el pecho) y *tos* (seca diferente de gripa) que son objeto de seguimiento a través del comportamiento de indicadores. De tal manera se calculan indicadores de impacto de la enfermedad respiratoria como *despertar por tos, ausentismo escolar* y *ausentismo laboral* del cuidador del niño.

En la Tabla 11-2 se muestra la prevalencia de la sintomatología respiratoria de los menores de 14 años, donde se puede observar que la prevalencia del síntoma "Tos seca sin gripa en el último año" fue mayor en los niños de 5 a 14 años con 8,71%, mientras que la proporción de los demás síntomas

como sibilancias en el último año, despertar por tos, ausentismo escolar y ausentismo laboral fue mayor en los menores de 5 años.

Tabla 11-2. Prevalencia de síntomas respiratorios en menores de 5 años y 5 a 14 años.

Síntomas	Menores de 5 años (n=3327)		Niños de 5 a 14 años (n= 4720)		Total menores de 14 años (n=8047)	
	Frecuencia	%	Frecuencia	%	Frecuencia	%
Sibilancia en el último año	172	5,17%	74	1,57%	246	3,06%
Tos seca sin gripa en el último año	133	4,00%	411	8,71%	544	6,76%
Despertar por tos	66	1,98%	92	1,95%	158	1,96%
Ausentismo escolar	65	5,16%	122	2,60%	187	2,32%
***Ausentismo laboral**	99	2,98%	49	1,04%	148	1,84%

*Ausentismo laboral del padre o cuidador del niño

La presencia de otros síntomas en los menores como por ejemplo mocos y nariz tapada cuando no tienen gripa fue de 12,11% en los menores de 5 años y de 9,17% en los niños de 5 a 14 años, el mayor número de estos síntomas se presentó durante el primer trimestre del año 2020.
En los adultos mayores, el síntoma "Sibilancia en el último mes" alcanzó una proporción del 3,66% (82/2.242) y el indicador de impacto despertar por tos fue de 3,93% (88/2.242).
Por otra parte, la vigilancia realiza seguimiento al consumo de tabaco en los hogares y a la exposición al humo de tabaco, como factor intramural relacionado con la presencia de enfermedad respiratoria y cardiovascular.

La Figura 11-8 presenta la prevalencia por exposición al humo de tabaco, encontrando que el 3,09% de los menores de 14 años se encuentran expuestos al tabaquismo pasivo en sus hogares, lo que aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias como asma y bronquiolitis influyendo tanto en la frecuencia de la enfermedad como en su gravedad, también se ha asociado causalmente la exposición al humo de tabaco con el incremento del riesgo de muerte súbita inexplicable del lactante y sus capacidades de desarrollo neurológicas (alteraciones cognitivas). A largo plazo se pueden presentar otros problemas de adicción, déficit de atención y retrasos escolares[22].

El 1,23% de los niños estuvieron expuestos al tabaco durante la gestación; la exposición al tabaco en el útero se asocia con un menor crecimiento fetal, una disminución en el peso al nacer y un incremento significativo de nacimientos con bajo peso. Los menores expuestos nacen con una disminución en la función pulmonar, riesgo aumentado de asma, bronquitis y sibilancias. También puede provocar sobrepeso u obesidad y aumento de peso rápido en la infancia, lo que eleva el riesgo de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 en la adultez temprana[23].

En los adultos mayores se obtuvo una prevalencia de tabaquismo pesado (más de 10 paquetes de cigarrillos por año) de 11,95% este indicador es utilizado para calcular el riesgo de desarrollar cáncer

[22] Tabaquismo pasivo en el niño. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1245178914672723
[23] Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000200068

de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y diabetes tipo II. En el caso de Colombia durante los últimos 6 años el país pasó de 12,9% del consumo al 9,8%, anualmente mueren 34.800 personas por enfermedades atribuibles al consumo de tabaco[24]. Las enfermedades relacionadas con el consumo de tabaco representan un costo directo anual al sistema de salud de más de 4,5 billones de pesos, la recaudación del impuesto por la venta de cigarrillos cubre solamente un 10% de este gasto[25].



Figura 11-8. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años

Por medio del análisis de regresión logística binaria se pudo identificar factores de riesgo relacionados con la presencia de síntomas respiratorios como sibilancias en el último año y tos sin gripa en el último año dado por exposición a contaminación intramural y extramural.

- **Menores de 5 años**

La Tabla 11-3 muestra los resultados del análisis realizado por regresión logística binaria, donde se identifican factores de riesgo como la edad, antecedentes de enfermedad respiratoria en los menores y en los padres para la presencia de “Sibilancias en el último año”.
El síntoma de “Tos sin gripa en el último año” mostró relación estadística con malnutrición, antecedentes de enfermedad respiratoria, tabaquismo pasivo, permanencia de ventanas cerradas, humedad en la vivienda y presencia de mascotas.

[24] Colombia mantiene tendencia a la baja en consumo de tabaco. Minsalud. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-mantiene-tendencia-a-la-baja-en-consumo-de-tabaco.aspx

[25] Hoja informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. Disponible en: https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202019.pdf

Tabla 11-3. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y tos sin gripa en el último año en menores de 5 años .

Menores de 5 años			
Sibilancias en el Último año			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Edad (Entre 2 a 12 meses)	0	8,201	3,829-17,56
Dx Enfermedad de bronquios/pulmones	0,016	3,434	1,254-9,41
Dx Padres con Enfermedad Respiratoria	0,061	1,607	0,979-2,639
Tos sin gripa Último Año			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Controles Prenatales	0,034	1,826	1,048-3,183
Dx Malnutrición	0,005	2,735	1,348-5,549
Dx de Enfermedad bronquios/pulmones	0,000	3,452	2,411-4,942
Tabaquismo Pasivo	0,012	2,646	1,237-5,657
Permanencia Ventanas	0,004	1,745	1,198-2,542
Humedad en la vivienda	0,001	2,053	1,358-3,103
Presencia de Mascotas	0,018	1,563	1,080-2,263

- **Niños de 5 a 14 años**

En los niños de 5 a 14 el análisis por regresión logística binaria permitió identificar que antecedentes como diagnóstico de asma y congestión nasal son factores de riesgo para la presencia de Sibilancias en el último año. Antecedentes como bajo peso al nacer y la malnutrición, factores intradomiciliarios como el consumo de tabaco en el hogar, la permanencia de las ventanas cerradas y el funcionamiento de un negocio en la vivienda y extradomiciliarios como la circulación de tráfico pesado cerca de la vivienda de los menores son factores de riesgo para que se produzca el síntoma de tos sin gripa en el último año, tabla 11-4.
Por otra parte, el tener un diagnóstico de enfermedad de Asma aumenta la probabilidad de despertar por tos.

Tabla 11-4. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias, tos sin gripa y despertar por tos en los niños de 5 a 14 años.

Niños de 5 a 14 años			
Sibilancias Último Año			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Dx Asma	0,000	5,505	3,104-9,763
Congestión Nasal	0,000	6,882	2,852-16,610
Tos sin gripa Último año			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Bajo peso al nacer	0,035	1,579	1,034-2,411
Dx Malnutrición	0,02	1,993	1,117-3,556
Tabaquismo Pasivo	0,031	1,704	1,051-2,763
Dx Padres Enf Respiratoria	0,016	2,127	1,150-3,933

Tipo de Vivienda	0,004	1,847	1,217-2,805
Permanencia de ventanas cerradas	0,002	1,567	1,186-2,070
Humedad en la vivienda	0,000	2,013	1,497-2,708
Funciona Negocio	0,007	1,648	1,146-2,368
Tráfico Cercano	0,000	1,479	1,198-1,826
Despertar por tos			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Dx Asma	0,033	2,213	1,066-4,596

- **Mayores de 60 años**

En los adultos mayores de 60 años el análisis de regresión logística binaria permitió identificar que el haber fumado en algún momento de la vida es un factor de riesgo para presencia del síntoma Sibilancias en el último mes y la exposición a tóxicos para la presencia del síntoma Despierta por Tos, además de tener antecedentes de enfermedades respiratorias como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, como se observa en la tabla 11-5.

Tabla 11-5. Factores relacionados con la presencia de Sibilancias y despertar por tos en adultos mayores de 60 años.

Adulto Mayor de 60 años			
Sibilancias Último Mes			
Variables	**p valor**	**Exp (β) OR**	**IC 95%**
Dx EPOC	0,004	2,267	1,307-3,932
Fumo en algún momento de su vida	0,013	1,961	1,154-3,333
Despierta por Tos			
Dx EPOC	0,000	4,318	2,511-7,426
Exposición a tóxicos	0,043	1,571	1,015-2,431

De los resultados anteriores se puede concluir que la exposición a diferentes factores de riesgo tanto intramurales como extramurales por parte de población vulnerable a la contaminación del aire, así como al humo de cigarrillo y antecedentes propios, provocan la presencia de síntomas relacionados con problemas respiratorios y cardiovasculares.

11.3. VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud realiza el análisis de los niveles de calidad del aire en la ciudad de Bogotá y las excedencias presentadas con base en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3); con base en los datos reportados por la Red Monitoreo Calidad de Aire de Bogotá -RMCAB.

- **Calidad del aire extramural**

Las guías de calidad del aire de la OMS tienen como objetivo dar orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud, con valores de concentración guía de contaminantes como PM_{10} y $PM_{2.5}$ promedio diarios (24 horas) y anuales recomendados para disminuir la exposición y los posibles efectos a la salud causados por la contaminación del aire en la

población, por tal motivo se realiza el análisis a las excedencias presentadas con respecto a los valores guía dados por la OMS[26].

- **Material particulado PM_{10} en Bogotá 2020**

En cuanto a excedencias diarias durante el año 2020 para PM_{10}, teniendo en cuenta la guía establecida por la OMS de (50µg/m^3) para exposiciones de 24 horas, en Bogotá se reportaron 770 excedencias, en 13 estaciones de monitoreo, siendo las estaciones de Carvajal-Sevillana (240), Kennedy (102), Móvil 7ma (96) y Tunal (84), las que registraron el mayor porcentaje de excedencias para periodo analizado, mientras que las estaciones con menos excedencias fueron Centro Alto Rendimiento (10), MinAmbiente (10), Guaymaral (8) y Usaquén (8), teniendo en cuenta que en esta última entre el 16 de abril y el 8 de octubre no contó con registro de concentraciones; en la (figura 11-9), se puede observar el número de excedencias según el análisis del total de los promedios diarios reportados de PM_{10}.

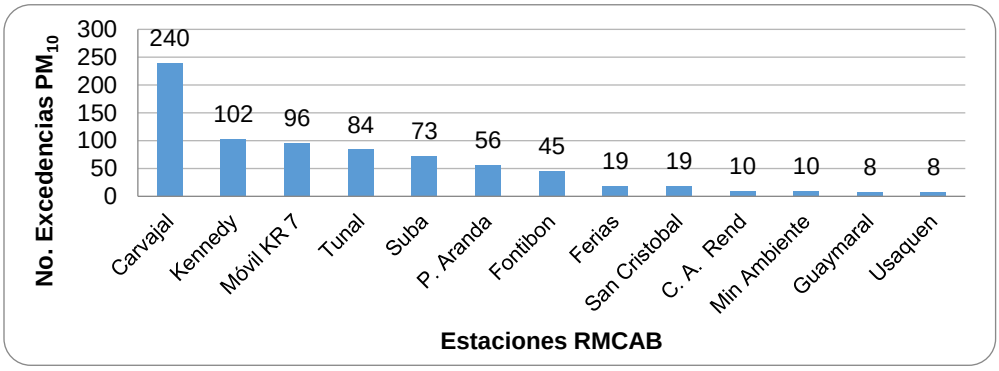


Figura 11-9. Número de excedencias anuales, de PM10 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020

Con respecto a las concentraciones de PM_{10} promedio anuales, se tiene que las concentraciones más altas se presentaron en las estaciones de Carvajal (64,3µg/m^3), Kennedy (41,0µg/m^3), Móvil Kr7 (39,8µg/m^3) y Tunal (36,5µg/m^3), mientras que las estaciones que reportaron menor concentración promedio anual fueron Ferias (23,6µg/m^3), Usaquén (21,9µg/m^3), Centro A. Rendimiento (21,4µg/m^3) y Min. Ambiente (21,1µg/m^3); Finalmente se tiene que el mes de marzo presentó las concentraciones promedio mensual más altas, como la estación Carvajal con 87,8µg/m^3, mientras que el mes de mayo registró las concentraciones promedio mensual más bajas, siendo la estación de Guaymaral con 10,1µg/m^3, la que presentó la menor concentración y la estación Carvajal durante el mes de mayo presentó el valor más alto con 44,8µg/m^3; frente a los valores máximos permisibles de la Guía-OMS de 20µg/m^3, ninguna estación se encontró por debajo del promedio anual, siendo la estación del Centro de Alto Rendimiento y Min. Ambiente las más cercanas, al valor guía, igualmente respecto al valor permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 de 50µg/m^3, la estación Carvajal se encontró por encima del valor referencia, como se muestra en la Figura 11-10.

[26] Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

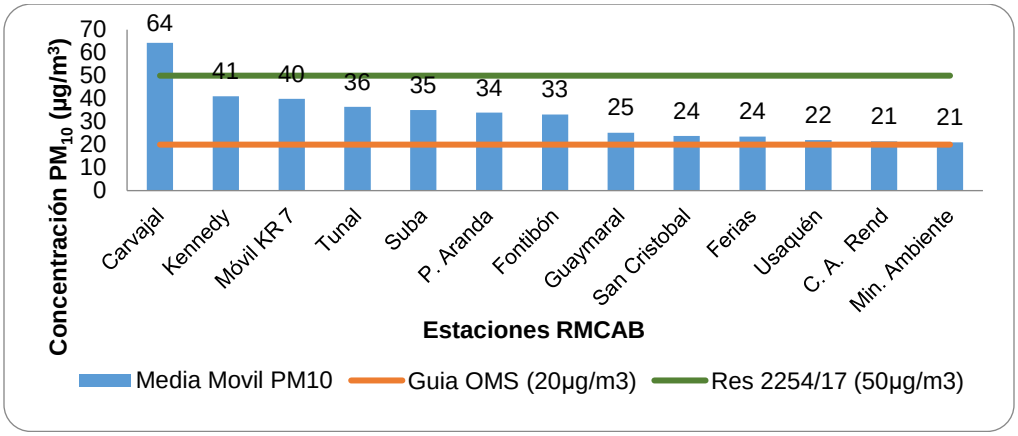


Figura 11-10. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM10 en Bogotá enero – diciembre 2020

En la Tabla 11-6, se puede observar, el porcentaje de excedencias respecto a los objetivos intermedio de la Guía OMS para concentraciones de 24 horas, por lo que se tiene respecto al OI-1 que ninguna estación presentó excedencias y por tanto todas las estaciones cumplieron con dicho objetivo, respecto al OI-2 el 85% (11/13) de las estaciones cumplieron con dicho objetivo, siendo la estaciones de Carvajal y móvil Kr 7 las que presentaron excedencias del 8% y 1% respectivamente, siguiendo con el OI-3 el 31% (4/13) de las estaciones cumplieron con el objetivo, las excedencias se encontraron entre el 1% y el 29%, siendo la estación de Carvajal (29%) la que mayor porcentaje presentó y solo las estaciones de Guaymaral, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Min. Ambiente, cumplieron con el objetivo, cabe recordar que la estación de Usaquén no contó con registró entre abril y octubre, y respecto al GCA-OMS, las excedencias se encontraron entre el 2% y 70%, y ninguna estación se encontró por debajo del nivel Guía de la OMS de 50µg/m^3

Tabla 11-6. Porcentaje de excedencias en concentraciones promedio de 24 horas (enero – diciembre) de PM10, respecto a la guía OMS y Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación – Año 2020

PM$_{10}$ EXCEDENCIAS OMS ENE A DIC 2020	GYR	USQ	MOV	SUB	CDAR	LFR	CSE	KEN	FTB	PTE	TUN	SCR	MAM
% CON RESPECTO AL OI-1 150µg/m^3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-2 100µg/m^3	0%	0%	1%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-3 75µg/m^3	0%	0%	3%	3%	0%	1%	29%	2%	1%	1%	2%	1%	0%
% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 50µg/m^3	2%	5%	27%	20%	3%	6%	70%	28%	13%	16%	23%	5%	3%

En la Figura 11-11, se observan las barras azules muestran cuál es el nivel de concentración de material particulado en los últimos 5 años, en Bogotá. La línea azul representa la concentración mínima de material particulado que debería tener la ciudad según la OMS en la Guía de Calidad de aire y la línea amarilla corresponde a la meta a 2030 establecido en la resolución 2254 de 2017; La

figura refleja que frente al objetivo intermedio 1 (OI-1), se viene dando cumplimiento, así como el objetivo 2, sin embargo, tanto para el objetivo 3 y el valor guía de la OMS no se ha dado cumplimiento, no óbstate se observa un reducción gradual de la concentración media anual a partir del año 2017, y para el año 2020 se observa la menor concentración aproximándose a cumplir el objetivo 3.

El ideal de la OMS es que las ciudades presenten una concentración promedio anual de a de 20 microgramos de material particulado PM_{10} por metro cúbico de aire.

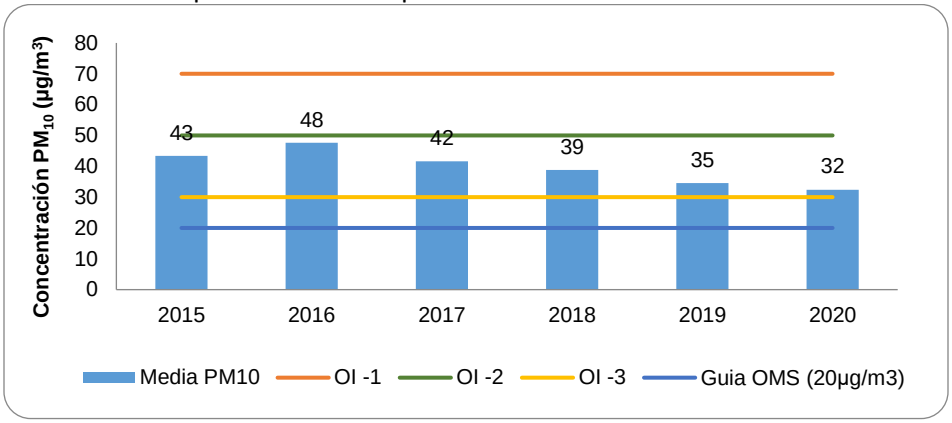


Figura 11-11. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM10 Bogotá 2015-2020.

Continuando con el análisis a la exposición aguda, es decir concentración en 24 horas, la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM_{10}) en Bogotá, y teniendo en cuenta los años 2015 a 2020, como se observa en la figura 11-12, de forma histórica se presenta un pico de excedencias; el primero en los meses de febrero y marzo y un leve aumento en las concentraciones entre octubre y noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. De igual forma se observa que a partir del mes de abril el número de excedencias se redujo frente a los años anteriores.

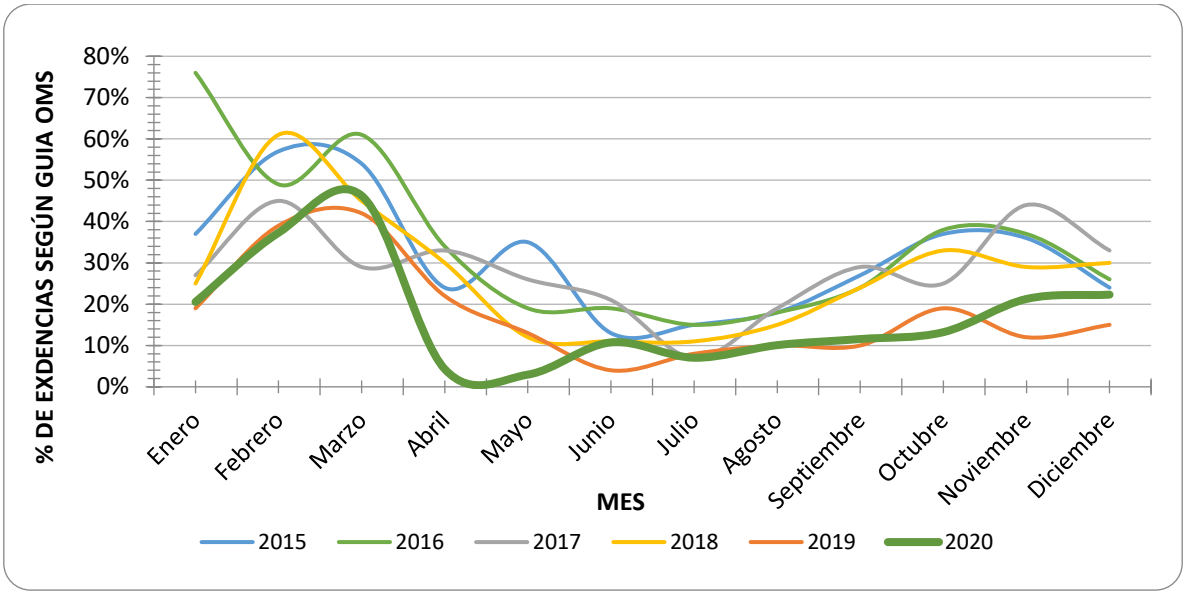


Figura 11-12. *Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020*

- **Material Particulado $PM_{2.5}$**

Del mismo modo se presentaron excedencias diarias de $PM_{2.5,}$ con un total de 957, siendo las estaciones de Carvajal (179), Kennedy (108), Móvil 7ma (103) y Fontibón (94), las que presentaron mayor número de excedencias con respecto a la guía establecida por la OMS de (25µg/m^3) para 24 horas), como se observa en la figura 11-13; Las estaciones que registraron menos excedencias a diciembre, fueron Usaquén (44), Guaymaral (38), Min. Ambiente (35) y San Cristóbal (31).

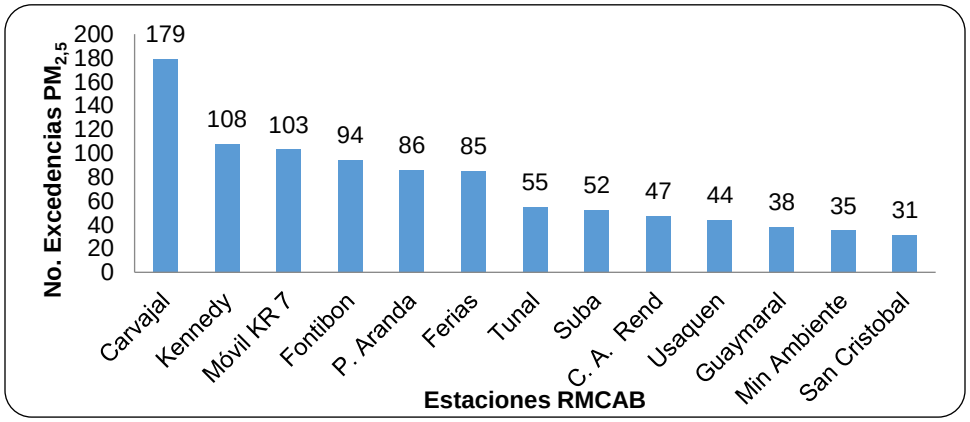


Figura 11-13. Comportamiento anual (enero – diciembre) de excedencias del contaminante PM2.5 con respecto a la guía OMS en las estaciones de la RMCAB 2020

Al igual que el PM_{10}, el $PM_{2,5}$ durante este periodo las concentraciones promedio anuales más altas se presentaron en la estación Carvajal-Sevillana (26,8µg/m^3), Kennedy (21,0µg/m^3) y Fontibón (20,5µg/m^3), mientras que las estaciones con menores concentración promedio anuales fueron,

Tunal (13,3µg/m^3), MinAmbiente (12,3µg/m^3) y San Cristóbal (11,6µg/m^3); Por otra parte se tiene que el primer trimestre del año se presentaron las concentraciones más altas, siendo el mes de marzo donde se registraron las concentraciones promedio mensual más altas, como en la estación Carvajal con 43,5µg/m^3, mientras que el mes de mayo se registraron las concentraciones más bajas como en la estación San Cristóbal con 5,7µg/m^3, mientras que la estación Carvajal-Sevillana registro 17,9µg/m^3, siendo las más alta durante el mes de mayo; en este sentido se tiene que frente a al valor guía de la Resolución 2254 de 2017 de 25µg/m^3, solo la estación Carvajal se encontró por encima de dicho valor y frente al valor de la guía-OMS de 10µg/m^3, ninguna estación se encontró por debajo siendo la estación San Cristóbal la más próxima a cumplir con este valor guía. Figura 11-14.

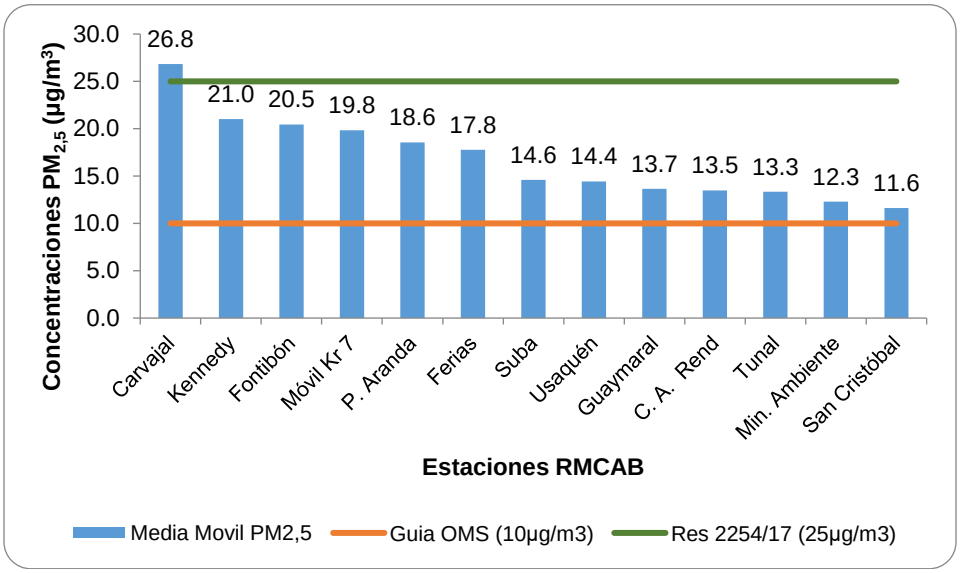


Figura 11-14. Concentración promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS y Res. 2254/17 de material particulado PM2.5 en Bogotá, enero a diciembre 2020.

Según la guía de la OMS en el seguimiento a los valores guía para la media de 24 horas esté protegerá frente a niveles máximos de contaminación que de otra manera determinarían un exceso sustancial de morbilidad o de mortalidad en la población expuesta, por tal razón se realiza el análisis al comportamiento de las concentraciones horarias de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$, para cada estación de monitoreo de la RMCAB y a partir del número de excedencias presentadas se conoce el porcentaje de incumplimiento con respecto a cada uno de los valores guía de la OMS.

En la Figura 11-7, se observa el porcentaje de excedencias de contaminante $PM_{2.5}$ frente a cada objetivo intermedio establecido en la Guía de Calidad de aire de la OMS (GCA-OMS); Frente al OI-1, todas las estaciones se encontraron por debajo de 75µg/m^3 y por tanto cumplieron con este objetivo, respecto al OI-2 el 31% (4/13) de las estaciones cumplieron con el objetivo, las cuales fueron Guaymaral, Usaquén, San Cristóbal y Min. Ambiente, mientras las demás estaciones presentaron excedencias entre 1% y el 4%, respecto al O-I3 las excedencias estuvieron entre el 2% y el 20% y ninguna estación cumplió con este objetivo, de igual manera respecto al valor de GCA-OMS, todas estaciones presentaron excedencias, las cuales se

encontraron entre el 9% y 51%, siendo la estación Carvajal la que mayor porcentaje de excedencias presentó durante el año 2020.

Tabla 11-7. Porcentaje de excedencias diarias (enero – diciembre) del contaminante $PM_{2.5}$ con respecto a la guía OMS y los Objetivos Intermedios (OI-1, OI-2 y OI-3) por estación de la RMCAB 2020.

$PM_{2.5}$ EXCEDENCIAS OMS ENE A DIC 2020	GYR	USQ	MOV	SUB	CDAR	FER	CVS	KEN	FON	PTE	TUN	SCR	MAM
% CON RESPECTO AL OI-1 75µg/m³	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-2 50µg/m³	0%	0%	2%	1%	1%	1%	4%	2%	2%	1%	1%	0%	0%
% CON RESPECTO AL OI-3 37,5µg/m³	3%	3%	11%	3%	3%	4%	20%	9%	7%	8%	3%	2%	2%
% CON RESPECTO A LA GUÍA OMS 25µg/m³	10%	12%	29%	14%	13%	26%	51%	31%	26%	23%	15%	9%	9%

Por otra parte teniendo en cuenta la concentración promedio anual para Bogotá, de material particulado $PM_{2,5}$, entre 2015 y 2019 se observa una concentración promedio de 19µg/m³ mientras que para el año 2020 la concentración media anual fue de 17µg/m³, en este sentido se observa un cumplimiento frente a los objetivos intermedios de la OMS 1 y 2, ahora bien frente al objetivo 3, la ciudad se encuentra muy cerca de cumplir dicho objetivo de 15µg/m³, el cual se establece como objetivo para el año 2030 en la resolución 2254 de 2017; por otra parte es importante que la ciudad siga trabajando para cumplir los objetivos y lograr reducir la concentración promedio anual al nivel recomendable en la Guía OMS de 10µg/m³, cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud, Figura 11-15.

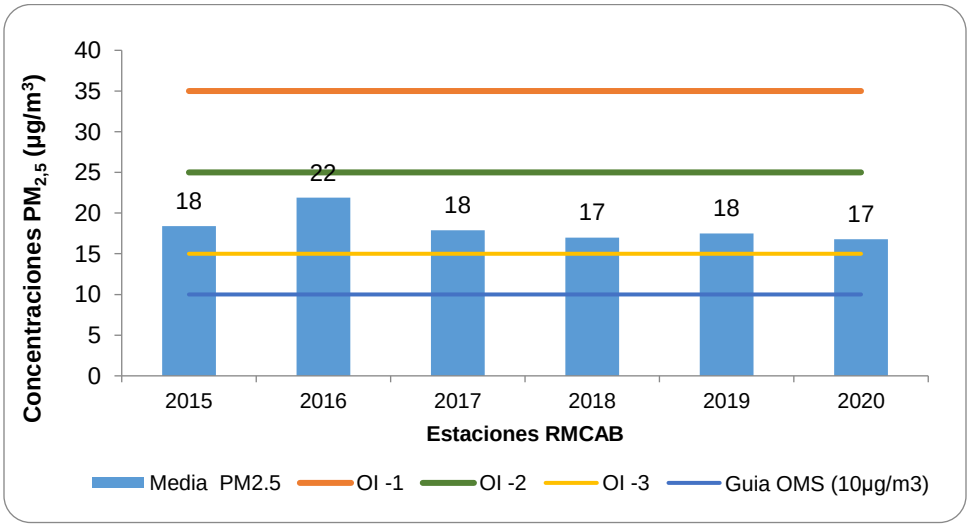


Figura 11-15. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2020

Tomando como línea base los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, para el caso del material particulado $PM_{2.5}$ para el año 2020 se observa que entre el mes de febrero y marzo se presentaron excedencias por encima respecto a los años anteriores, sin embargo, a partir del mes de abril se observa

una reducción de excedencias hasta el mes de octubre, mientras que a partir del mes de noviembre presenta un pequeño incremento, es importante tener en cuenta que a partir de la cuarta semana del mes de marzo tanto la ciudad como el país inicio las cuarentenas a causa de la pandemia por COVID-19, que llevaron al cese de actividades industriales comerciales, de transporte entre otras. Figura 11-16.

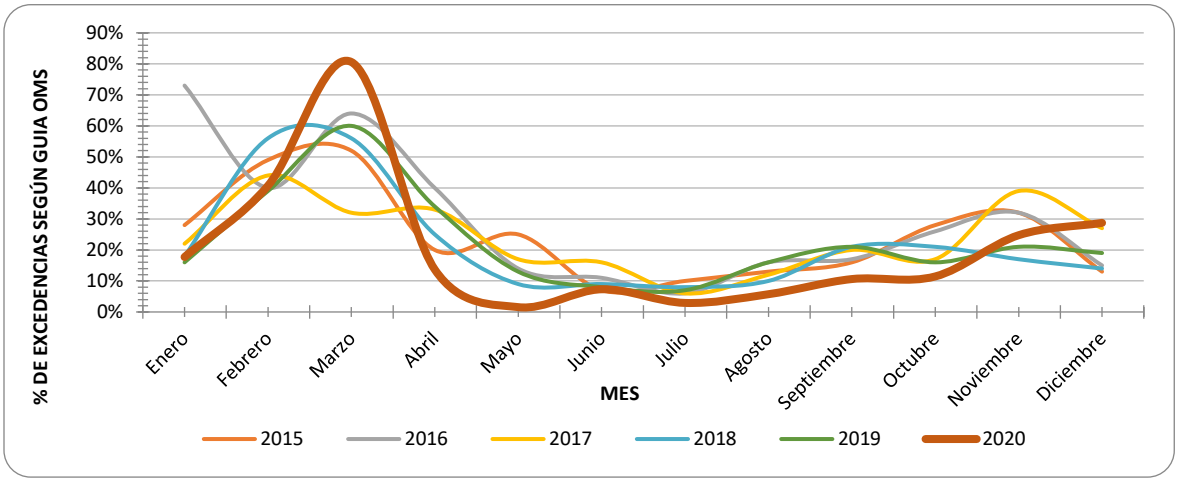


Figura 11-16. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado $PM_{2.5}$ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2020

- **Calidad del aire intramural**

En el marco de las intervenciones o actividades realizadas por la línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética de la Secretaría Distrital de Salud a través de las cuatro Subredes Integradas de Servicios de Salud con las que cuenta el Distrito Capital (Norte, Centro Oriente, Sur Occidente y Sur), se encuentra la ejecución de monitoreos intramurales empleando equipos de medición para determinados contaminantes. Esta actividad se viene desarrollando desde el primer semestre del año 2018, inicialmente como una prueba piloto y posteriormente como parte de la vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de la línea.

Durante 2020 se llevaron a cabo, 27 monitoreos intramurales en 16 localidades de la ciudad 3 de ellos relacionados con fuentes generadoras de olores ofensivos, en cercanía a fuentes fijas o móviles de emisiones atmosféricas como industrias, fabricas, cementerios, relleno sanitario o sitios de disposición inadecuada de residuos sólidos, industria de metal mecánica, o mecánica automotriz. Tabla 11-8.

En los diferentes puntos de monitoreo, son realizados en instituciones como IPS, instituciones educativas, propiedad horizontal, establecimientos comerciales, entre otros, en los que de manera simultánea se realiza medición de gases y material particulado.

Tabla 11-8. Monitoreos intramurales por localidad, enero a diciembre 2020, Bogotá.

Localidad	Contaminación del aire	Olores ofensivos
Usaquén	1	
Chapinero	1	
Barrios Unidos	1	
Engativá	2	
Suba	2	
Santafé	1	
Mártires	1	
Antonio Nariño	1	
Rafael Uribe	2	
Usme	1	
Tunjuelito		1
Ciudad Bolívar	3	
Bosa	2	1
Kennedy	2	
Puente Aranda	1	
Fontibón	3	1
Bogotá	24	3

Cabe mencionar que en Colombia no existen valores de referencia o límites máximos permisibles normativos para contaminantes en espacios interiores; por ende, es necesario remitirse a guías, normas, estudios y demás información relacionada con este tema que haya sido desarrollada en otros países para el respectivo análisis. La Organización Mundial de la Salud en 2010, desarrolló unos lineamientos o guía para la calidad del aire interior que incluye un total de nueve contaminantes (Benceno, Monóxido de Carbono, Formaldehido, Naftaleno, Dióxido de Nitrógeno, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, Radón, Tricloroetileno, Tetracloroetileno); en ese documento no aparecen valores de referencia para material particulado ni tampoco para sulfuro de hidrogeno.

El monitoreo de la contaminación del aire interior y exterior puede indicar una posible exposición humana a contaminantes del aire. Las exposiciones individuales y de la población a los contaminantes del aire dependen de muchos factores, como el tiempo que se pasa al aire libre y en interiores, la permeabilidad de las estructuras de las viviendas y la movilidad dentro de una comunidad[27].

Por tanto, a continuación, se presenta los resultados de la intervención realizada en la localidad de Fontibón que hace parte de los monitoreos intramurales que fueron programados para el periodo 2020 en las diferentes Subredes siguiendo el cronograma establecido, con el fin de medir las concentraciones de material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, partículas respirables y partículas totales) y sulfuro de hidrogeno (H_2S) [28].

- **Punto de monitoreo salón comunal – Fontibón**

[27] *Community-based exposure estimate for hydrogen sulfide.* Inserra, Steven. 2, 2002, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol. 12, págs. 124 - 129.

[28] Secretaría Distrital de Salud. Informe monitoreo intramural de material particulado y sulfuro de hidrogeno localidad de Fontibón. Bogotá: s.n., 2020.

El Salón Comunal La Cabaña se encuentra ubicado en la KR 100 23G 18 de la localidad de Fontibón. El Jardín Cementerio Fontibón se encuentra a una distancia de 158 metros aproximadamente de este salón. Como otras fuentes potenciales se encuentran vías por donde transitan vehículos de diferentes tipos (fuentes móviles).
El monitor de partículas DustTrak DRX Pro se instaló al interior del Salón Comunal, el equipo monitoreo material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1, partículas respirables y partículas totales), como se muestra en el siguiente registro fotográfico (Imagen 11-17).

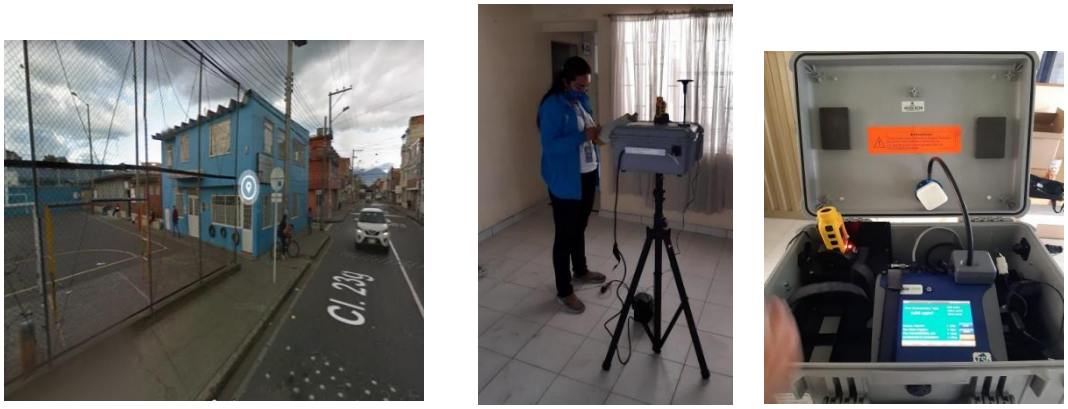


Figura 11-17. Punto de monitoreo Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre 2020

El equipo se instaló desde el día 16 de septiembre al 19 de octubre de 2020, obteniendo un total de 795 registros horarios y 34 registros promedios diarios para cada variable arrojada por el equipo, según la metodología establecida en el Protocolo de monitoreo intramural para calidad del aire de la línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética, teniendo en cuenta las condiciones y tipo de intervención, en cuanto a los resultados de los promedios diarios teniendo en cuenta todos los tamaños de partícula monitoreados por el equipo se presentaron concentraciones promedio diarias entre 7,86 µg/m^3 y 53,92 µg/m^3, así mismo las partículas monitoreadas presentaron un comportamiento similar, exceptuando el día 23 de septiembre.

Al comparar los valores de PM_{10} y $PM_{2.5}$ estos presentan un comportamiento similar para los promedios de 24 horas como se muestra en la figura 11-18. Sin embargo, se aclara que en el día 23 de septiembre se presentaron valores atípicos que afectaron el promedio diario ostensiblemente; en los días 16 de septiembre y 19 de octubre, los registros horarios no cumplen con la representatividad de datos referente al 75% (18 registros/día), puesto que corresponden a los días de instalación y retiro de los equipos de medición. En estos 2 días se cuenta con 14 y 13 registros respectivamente, por lo tanto, no es objetiva la comparación para promedios diarios.

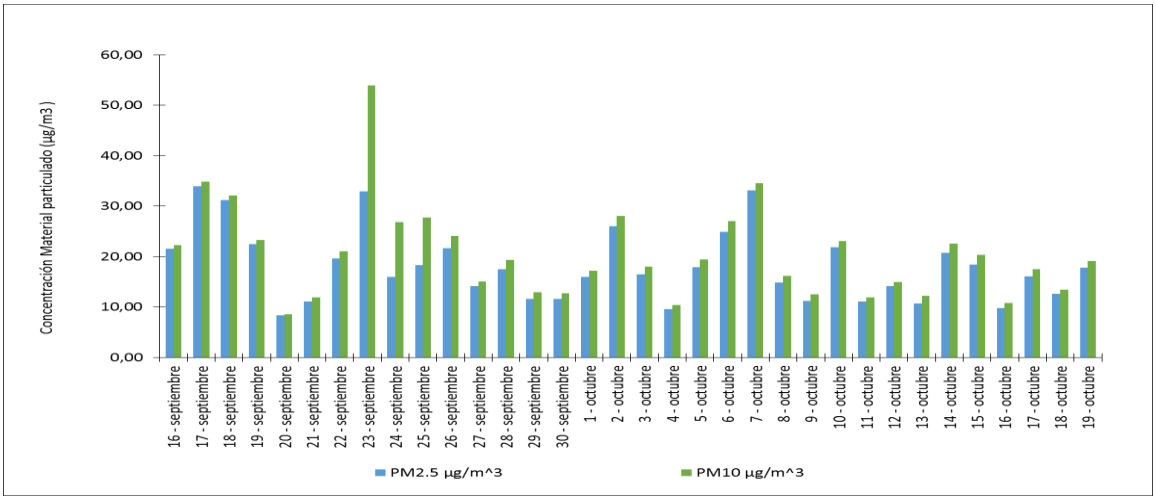


Figura 11-18. Comportamiento promedio diario material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020

En el comportamiento horario de $PM_{2.5}$ y PM_{10} durante el tiempo de monitoreo se evidencio un incremento en los valores de concentración a partir de las 4:00 am, presentando un primer pico a la 6:00 am, con valores de 23,67 µg/m^3 y 24,82 µg/m^3 para $PM_{2.5}$ y PM_{10} respectivamente; un segundo pico se presenta para PM_{10} sobre las 9:00 am con un valor promedio horario de 27,21 µg/m^3.

En horas de la noche, se presenta el pico de contaminación más elevado sobre las 8:00 pm en donde las concentraciones promedio fueron de 23,21 µg/m^3 y 24,55 µg/m^3 para $PM_{2.5}$ y PM_{10} respectivamente. Después de presentarse este último pico, las concentraciones medias tienden a disminuir sus valores hacia la media noche como lo muestra la Figura 11-19.

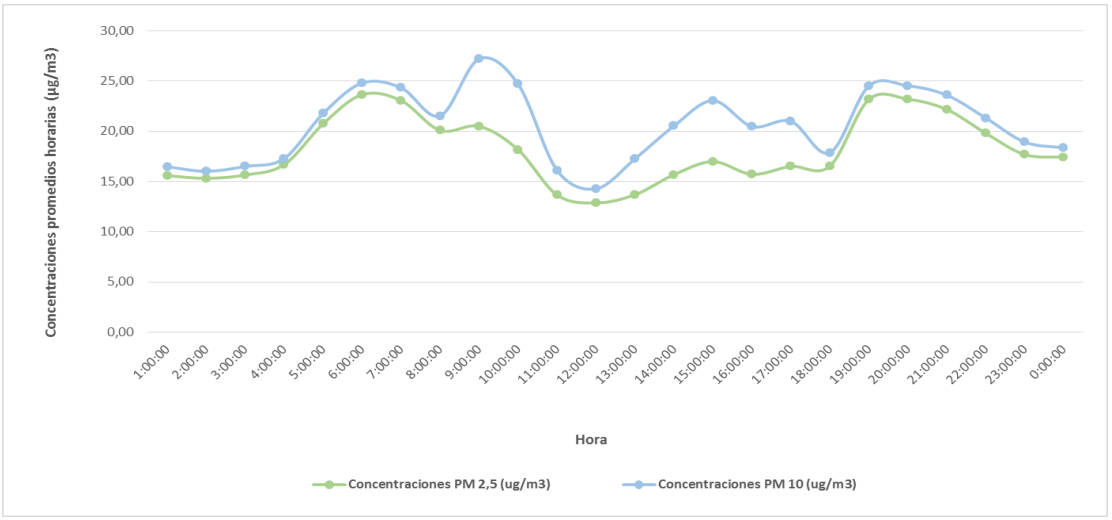


Figura 11-19. Comportamiento promedio horario material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Salón Comunal La Cabaña. Localidad Fontibón. Septiembre - octubre 2020

En términos generales, se puede afirmar que el comportamiento horario es fluctuante, se da claridad que estos registros por ser promedios aritméticos se pueden ver afectados por valores atípicos, como los registros obtenidos el día 23 de septiembre entre la 1:40 p.m. y las 5:40 p.m.

Como se mencionó en la introducción de este apartado, en Colombia no existen límites normativos para contaminantes en espacios interiores. Así en base a la guía y estándares de la EPA – Estándar Nacional de Calidad del Aire Ambiental, CA – Norma de calidad del aire ambiente de California, los registros presentan un comportamiento similar a los niveles encontrados comúnmente en interiores para PM_{10} con valores promedios diarios entre 8,58 µg/m^3 y 34,88 µg/m^3; para $PM_{2.5}$ si se presentan valores por encima de las directrices referenciadas en algunos días con concentraciones promedio diarias entre 8,38 µg/m^3 y 33,96 µg/m^3.

- **Monitoreo intramural sulfuro de hidrógeno**

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable y extremadamente peligroso con olor a "huevo podrido". Se presenta de forma natural en petróleo crudo y gas natural, y puede ser producido por la descomposición de materia orgánica y desechos humanos/animales (por ejemplo, aguas residuales domésticas). Es más pesado que el aire y puede acumularse en áreas bajas y cerradas, pobremente ventiladas, como sótanos, bocas de registros, bóvedas subterráneas para líneas de alcantarillado y teléfonos/eléctricas. Según el New Jersey Department of Health el umbral de olor para este gas es de 0.008 a 0.1 ppm (No se puede percibir el olor del sulfuro de hidrógeno en concentraciones superiores a 100 ppm). Con el fin de contextualizar los efectos en salud por la exposición a este gas odorífero, se presentan en la tabla 11-9 las relaciones dosis – efecto:

Tabla 11-9. Sulfuro de hidrógeno: relaciones establecidas de dosis-efecto

Concentración de Sulfuro de Hidrógeno		Efecto
mg/m³	**ppm**	
1400 - 2800	1000 - 2000	Colapso inmediato con parálisis de respiración
750 - 1400	530 – 1000	Estimulación fuerte al Sistema Nervioso Central, hiperpnea seguida de paro respiratorio
450 - 750	320 - 530	Edema pulmonar con riesgo de muerte
210 - 350	150 – 250	Pérdida de sentido olfativo
70 - 140	50 – 100	Daño grave en los ojos
15 - 30	10 - 20	Umbral para irritación en ojos

Fuente: OMS, 1981; Nordiska expert gruppen f6r gransvardes dokumentation, 1982; citados por OMS - Oficina Regional para Europa, 2000.

En el marco de la Resolución 1229 de 2013 mediante la cual se establece el Modelo de Inspección, Vigilancia y Control Sanitario y de acuerdo con la Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá D.C 2011-2023; la Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética incorporó dentro de sus actividades o intervenciones el monitoreo intramural de contaminantes, incluidos aquellos relacionados con la generación de olores ofensivos. El ToxiRAE Pro (configuración H_2S) es uno de los equipos empleados para la vigilancia de este tipo de contaminación a nivel intramural; su uso en esta intervención es para determinar la presencia y posible afectación de este gas odorífero en inmediaciones al Jardín Cementerio Fontibón por el funcionamiento de los hornos crematorios.

Durante el periodo monitoreado (16 de septiembre al 19 de octubre) las concentraciones registradas por el equipo ToxiRAE Pro fueron iguales a cero.

Se puede concluir a partir de los monitoreos realizados, que el sulfuro de hidrógeno no está relacionado con las emisiones generadas por el funcionamiento y operación de los hornos crematorios, lo cual se puede corroborar al revisar los estándares de emisiones admisibles para estas unidades en la normatividad nacional vigente. En el monitoreo intramural de este gas odorífero realizado al interior del Salón Comunal cercano a los hornos crematorios del Jardín Cementerio Fontibón, se registraron concentraciones promedio iguales a cero para este contaminante en el periodo de tiempo establecido; lo cual es acorde a las referencias bibliográficas y normativas de las emisiones asociadas a este tipo de actividad.

Sin embargo, no se debe descartar que se hayan presentado concentraciones bajas de sulfuro de hidrógeno teniendo en cuenta que de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante sobre el sensor que posee el equipo ToxiRAE Pro, la resolución de este no permite detectar concentraciones de este gas odorífero por debajo de 1 ppm. Es importante mencionar que como se indicó anteriormente, este umbral de olor para este gas es muy bajo (0.008 a 0.1 ppm), por ende, es perceptible por el sistema olfativo en concentraciones bajas que, si bien no están asociadas bibliográficamente a efectos en salud, pueden generar molestias en los receptores sensibles.

En cuanto a las mediciones intramurales de material particulado realizadas, se evidencian registros promedio horarios para $PM_{2.5}$ entre 12,88 µg/m^3 y 23,67 µg/m^3 y para PM_{10} entre 14,29 µg/m^3 y 27,21 µg/m^3, variando su comportamiento según el día de la semana en el periodo de 4:00 a.m. a 8:00 p.m.

El análisis de las concentraciones de contaminantes en interiores se dificulta en la medida que en la actualidad no se cuenta con normatividad en el país que permita comparar niveles máximos permisibles con los datos obtenidos durante la ejecución de este tipo de intervenciones. No obstante, la Secretaría Distrital de Salud y las cuatro Subredes Integradas de Servicios de Salud que operan en la ciudad, pretenden visibilizar la importancia de una reglamentación en este ámbito y de analizar la exposición a contaminantes en espacios interiores y los posibles efectos en salud.

11.4. VIGILANCIA SANITARIA

La vigilancia sanitaria contempla la atención a quejas y solicitudes presentadas por la comunidad por temas relacionados con contaminación del aire, olores ofensivos o humo de tabaco, haciendo un reconocimiento y atención a estas solicitudes que pueden generar afectaciones en la salud de las personas. Debido a la pandemia relaciona al Coronavirus SARS-Cov-2, y teniendo en cuenta las medidas de prevención para la disminución de propagación de aislamiento y distanciamiento social, la actividad de aplicación de encuestas de percepción en la atención de quejas fue suspendida desde el mes de abril lo que se refleja en la disminución de quejas durante este periodo y se retoma a partir del mes de septiembre.

Durante el 2020 como se puede ver en la Figura 11-20, se atendieron un total de 103 quejas en Bogotá, 52 peticiones relacionadas a olores ofensivos, 28 por contaminación del aire y 23 por humo

de tabaco, de las cuales en la Subred Sur Occidente se presentaron el mayor número de quejas (38), seguido por la Subred Norte (37), la Subred Sur (16) y la Subred Centro Oriente (12); las localidades que más reportaron quejas fueron Kennedy (17) y Usaquén (9).

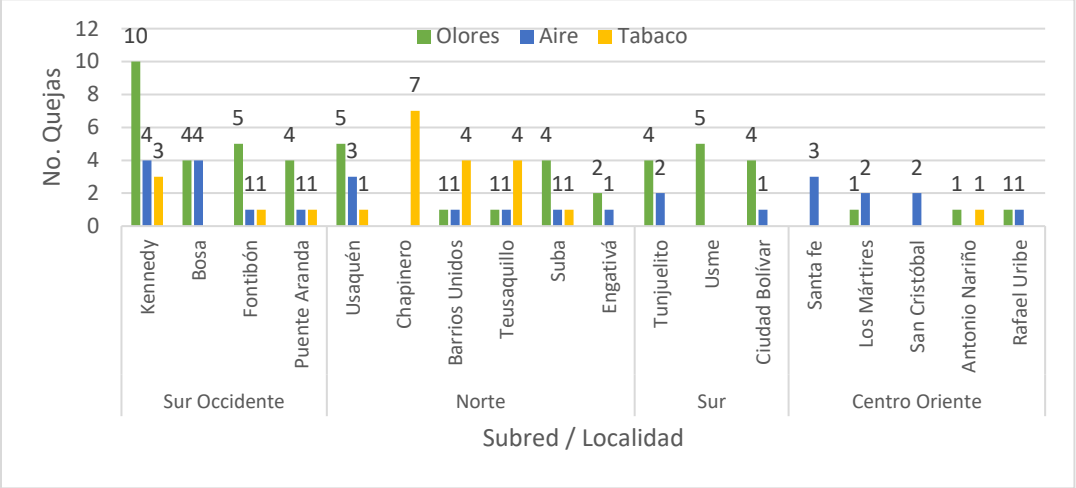


Figura 11-20. Atención a quejas por contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en las localidades del distrito, enero –diciembre 2020.

Como se observa en la figura 11-21 el mayor porcentaje de quejas corresponde a quejas por olores ofensivos un 50%, principalmente en la zona sur occidental y en especial la localidad de Kennedy (10) y le sigue Fontibón (5), Usme (5) y Usaquén (5), fueron las localidades con mayor reporte de quejas por este motivo, en cuanto a quejas por calidad de aire corresponde al 27% de las quejas y fueron las localidades de Kennedy (4), Bosa (4) Usaquén (3) y Santafé (3) las que presentaron el mayor número de quejas por contaminación del aire y el 22% restante corresponde a quejas por humo de tabaco, siendo la localidad de Chapinero (7) la que presentó el mayor número de quejas

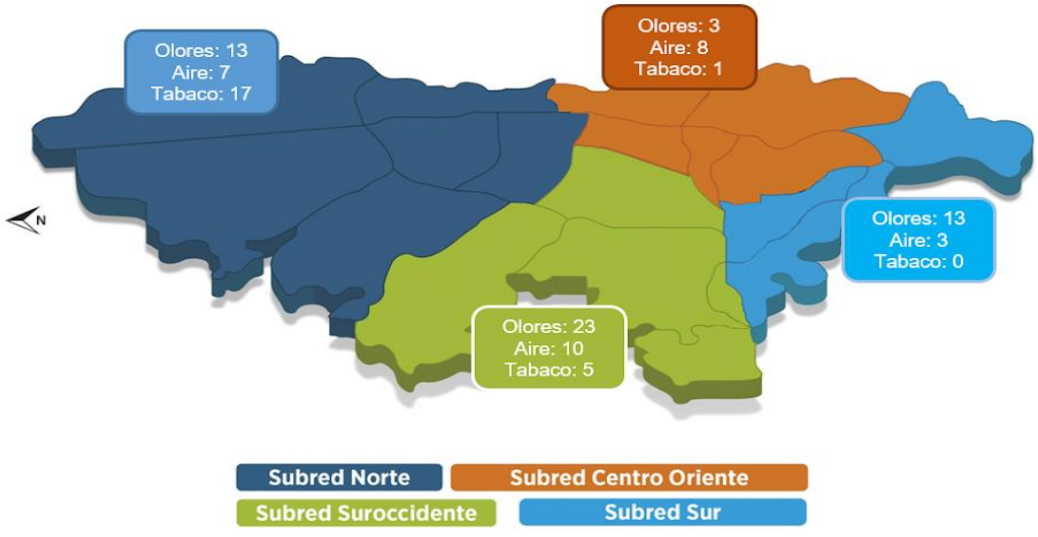


Figura 11-21. Distribución de quejas por contaminación del Aire, Olores y humo de tabaco, por Subred enero-diciembre 2020.

11.5. MOVILIZACIÓN SOCIAL

Como un componente importante del proceso de salud ambiental se encuentra las actividades de información, educación y comunicación del riesgo por la exposición a contaminación del aire a nivel intramuros (disminución de intoxicaciones por monóxido de carbono y del consumo de tabaco) y extramural, que van encaminadas al cambio de comportamiento, actitudes y prácticas de la comunidad y cuidados en salud.

A diciembre de 2020, se realizaron 12 talleres de comunicación social del riesgo, como se observa en la figura 11-22, en las temáticas de contaminación del aire y exposición a humo de tabaco así como 1 jornada de profundización el día sin Carro y Moto en las que se logró sensibilizar a 1.049 personas, siendo 770 de ellas intervenidas en la jornada del día sin carro y sin moto desarrollado en el mes de febrero 2020.

Siguiendo las recomendaciones de aislamiento y distanciamiento social a causa del COVID-19, las actividades de comunicación social del riesgo quedaron suspendidas desde el mes de abril, sin embargo, se realizaron infografías comunicativas dentro del marco del día mundial sin Tabaco y el día del medio ambiente.

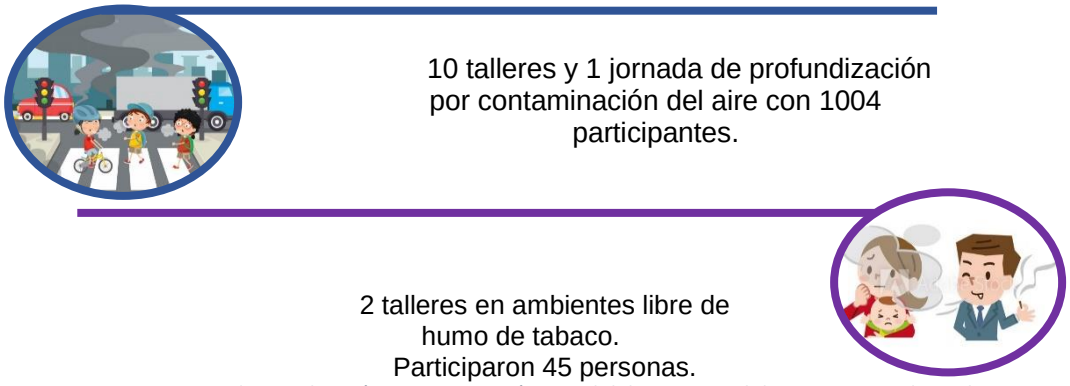


Figura 11-22. Acciones de Movilización y comunicación social del riesgo en el distrito enero –diciembre 2020

Las jornadas de profundización son principalmente actividades de carácter educativo que pretenden impactar el mayor número de personas en una jornada de un día por localidad, brindando información importante sobre un tema específico o de interés para el mes o el día en que se realiza la actividad, sin embargo como se mencionó anteriormente producto de las medidas para disminuir la propagación del COVID-19, no se programaron actividades que requirieran aglomeración de personas, no obstante se realizaron infografías socializadas a través de redes sociales y publicadas en la página web de la Secretaría de Salud.

- **Jornada del día sin carro y sin moto 2020**

El jueves 6 de febrero, se inició la jornada con la actividad principal la cual conto con el apoyo de varios equipos de las Subredes Integradas de Salud, y la coordinación logística del equipo de Espacio público, en donde se realizó una figura de pulmones en el parque Distrital Simón Bolívar acompañada del mensaje: “Aire limpio para los pulmones de Bogotá”.



Figura 11-23. "Aire limpio para los pulmones de Bogotá".

Así mismo la línea de aire, ruido y radiación electromagnética dentro del marco del día sin carro y moto en Bogotá, realizo actividades pedagógicas, donde participaron **770** personas en **8** puntos de la ciudad, de los cuales 1 corresponde a una institución educativa. Predominó el sexo femenino con **53%** mujeres (408) y el grupo de edad de 27 a 59 años.

La localidad más concurrida fue Santa Fe con **122** personas. La población está de acuerdo que el flujo vehicular es una fuente de mayor contaminación. De igual manera el **86%** respondió que el día sin carro y sin moto promueve la actividad física en sus diferentes formas. El **64%** realizan actividad física al aire libre y adoptan recomendaciones como hidratación frecuente y uso de ropa cómoda. El uso diario de bicicleta y no realizar quemas de material incluyendo el consumo de cigarrillo fueron las respuestas más frecuentes para disminuir la contaminación del aire. Así mismo el **43%** (332 personas) de la población respondió que la movilidad disminuyó 1 hora aproximadamente; Es necesaria la frecuente divulgación del IBOCA para que los ciudadanos tengan acceso a la información relacionada con la calidad del aire y sus respectivas recomendaciones (Figura 11-24).





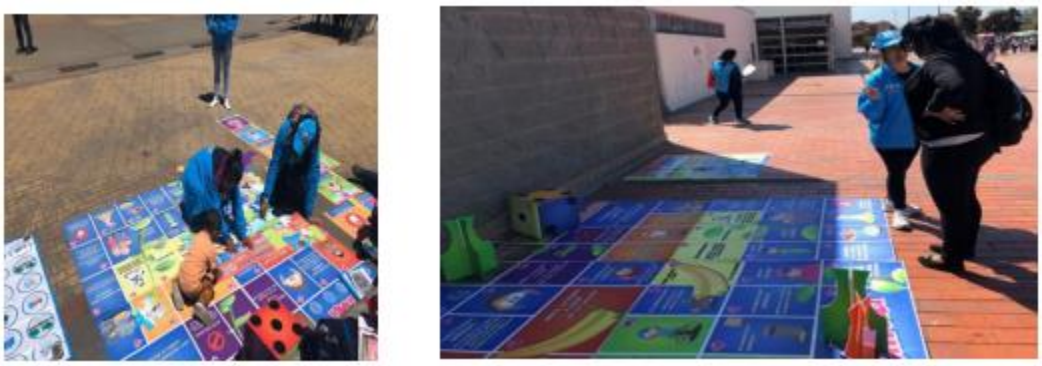


Figura 11-24. Registro Fotográfico de las acciones de movilización y comunicación social del riesgo en el distrito febrero 6 de 2020





Figura 11-25. Infografías prevención de olores ofensivos y COVID 19

Amplié esta información en el siguiente enlace https://drive.google.com/file/d/1kS8RCT89O-HlG5EewyfN9mM5iXLZDeYi/edit

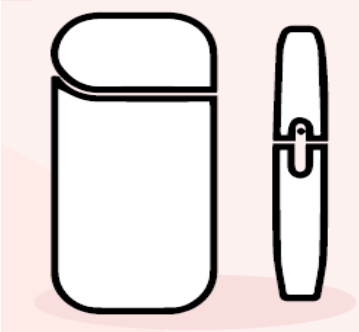
La exposición a olores desagradables, se constituye un tipo de contaminación atmosférica proveniente del desarrollo de actividades industriales y humanas que liberan moléculas odoríferas al medio ambiente, que se caracterizan por ser volátiles, lo cual resulta en una calidad del aire no óptimo para el ser humano, afectando en algunas ocasiones su salud.

Conoce como prevenir los olores ofensivos ingresando al siguiente enlace:
https://drive.google.com/file/d/1-3gxlvmU3JxpZvo9jIwAZ_MfIQxj_Rrr/edit



El uso de aparatos electrónicos tiene mayor incidencia cada día, es así como, surgen nuevos dispositivos que buscan reemplazar el tradicional cigarrillo o tabaco, algunos de ellos son conocidos como productos de tabaco y sistemas electrónicos con o sin dispensación de nicotina y similares.

Productos de Tabaco Calentado (PTC)



Los PTC exponen a los consumidores a emisiones tóxicas, muchas de las cuales provocan cáncer, y actualmente no se dispone de suficientes datos para concluir que sean menos perjudiciales que los cigarrillos convencionales.
Un ejemplo claro son los IQOS, el consumidor inhala el aerosol por succión o aspiración.
Estos aerosoles, que suelen ser aromatizados, contienen nicotina (sustancia adictiva) y aditivos no contenidos en el tabaco.

Sistemas Electrónicos de Administración de Nicotina (SEAN) y Sin Nicotina (SESN)- Cigarrillos Electrónicos

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización Panamericana de la Salud. OPS. [En línea] [Citado el: marzo de 31 de 2021.] https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire.
2. Minsalud. Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Dimensión Salud Ambiental.
3. Secretaría Distrital de Ambiente. Plan de Desarrollo: Mejorar la calidad del aire 10 %, prioridad para esta Administración. [En línea] http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/historial-de-noticias/-/asset_publisher/1RkX/content/plan-de-desarrollo%3A-mejorar-la-calidad-del-aire-10-prioridad-para-esta-administracion#:~:text=in%20your%20browser.-,El%20Plan%20de%20Desarrollo%20contempla%20u.
4. Secretaría de Salud. Política Distrital de Salud Ambiental para Bogotá, D.C. Decreto N° 566 de 2011. [En línea] [Citado el: 5 de abril de 2021.]
5. Organización Mundial de la Salud. Calidad del Aire y Salud. [En línea] https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health.
6. Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. Dr Ubilla, Carlos y Dra Yohannessen, Karla. 1, Santiago de Chile: s.n., 2017, Rev.Med.Clin.Condes, Vol. 28, págs. 111-118.
7. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Oyarzun G, Manuel. 26, Santiago de Chile: s.n., 2010, págs. 16-25.
8. Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial. Soldevilla, Nuria, y otros. 4, 2018, Hipertensión y riesgo vascular, Vol. 35, págs. 177-184.
9. Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y adultos mayores. Vargas, Sandra, y otros. 1, Bogotá: s.n., 2008, Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica, Vol. 11, págs. 31-45.
10. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en menores de 14 años en Bogotá. Drs Solarte, Pedro Iván, Caicedo, Mónica y Restrepo, Sonia. 2, Revista Médica Sanitas, Vol. 5.
11. Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá. Arciniegas, Angela, y otros. Bogotá: 3, 2006, Rev.ActaNova, Vol. 2.
12. Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. Hernández, Luis Jorge, y otros. 2, Bogotá: s.n., junio de 2012, Pediatría, Vol. 45, págs. 124-138.
13. Pérez Aragón, Ana y Lacasaña, Marina. Efecto de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire: Impacto en la salud respiratoria. [En línea] 22 de mayo de 2020. https://www.easp.es/web/coronavirusysaludpublica/efecto-de-la-pandemia-de-covid-19-en-la-calidad-del-aire-impacto-en-la-salud-respiratoria/.
14. Salud Capital. Vigilancia en Salud Pública. Enfermedad Respiratoria Aguda. [En línea] http://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Paginas/ENFERMEDADRESPIRATORIAAGUDA.aspx.
15. Foro de las Sociedades Respiratorias Internacionales. El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. México: s.n., 2017.

16. OPS. Unidad de Atención de Enfermedad Respiratoria Aguda Comunitaria UAERAC/UAIRAC. BOGOTÁ: s.n., 2012.
17. Puentes, Ana. Calidad del aire de Bogotá, ¿de vuelta a la mala normalidad? EL TIEMPO. 18 de junio de 2020.
18. Secretaría Distrital de Salud. Guía de promoción y atención en Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA). BOGOTÁ: s.n., 2019.
19. Tabaquismo Pasivo en el ñino. Labbé, A y Labbé, J. P. 2, junio de 2014, EMC Pediatría, Vol. 49, págs. 1-9.
20. Efectos fetales y posnatales del tabaquismo durante el embarazo. Chinchilla Araya, Tamara y Durán Monje, Maria del Pilar. 2, San José Costa Rica: s.n., Sep-Dic de 2020, Med. leg. Costa Rica, Vol. 36.
21. Minsalud. Colombia mantiene tendencia a la baja en consumo de tabaco. [En línea] 13 de octubre de 2020. https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-mantiene-tendencia-a-la-baja-en-consumo-de-tabaco.aspx.
22. Instituto Nacional de Cancerología. Hoja Informativa: Que entre colores y sabores el tabaco no te enamore. [En línea] 2020. https://www.cancer.gov.co/files/libros/archivos/Hoja%20informativa%20tabaco%202020.pdf.
23. Organización Mundial de la Salud. Guías de Calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dioxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. 2005.
24. Community-based exposure estimate for hydrogen sulfide. Inserra, Steven, y otros. 124-129, 24 de abril de 2002, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, Vol. 12, págs. 124-129.
25. Secretaría Distrital de Salud. Informe monitoreo intramural de material particulado y sulfuro de hidrógno localidad de Fontibón. [En línea] 2020.
26. Organización Mundial de la Salud. Datos y cifras 26 de julio de 2020. [En línea] [Citado el: 26 de Julio de 2020.] https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/tobacco.
27. Granda-Orive, J.I. de. El tabaco de tercera mano. [En línea] [Citado el: 26 de septiembre de 2020.] https://www.revistadepatologiarespiratoria.org/descargas/PR_23-1_24-30.p.

13.ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *cajas*.

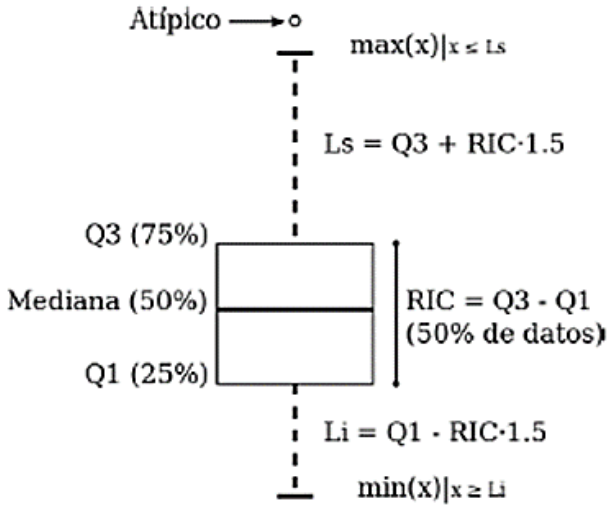


Figura 13-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu g/m^3$, respectivamente:

Tabla 13-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m³ y µg/m³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1144,9	ppm a µg/m3
SO_2	2,6186	ppb a µg/m3
NO_2	1,8804	ppb a µg/m3
O_3	1,9620	ppb a µg/m3

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire.

El factor de conversión se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Conversión} \quad [\text{ppb o ppm}] = \frac{M * P}{\overline{R} * T} * \frac{1}{1000} \quad \left[\frac{\mu g}{m^3} \text{ o} \frac{mg}{m^3}\right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]
P: presión atmosférica [Pa]
$\overline{R}$: constante universal de los gases ideales = $8{,}314472 \frac{Pa.m^3}{mol.K}$
T: temperatura absoluta [K]

C. Normativa y métodos de referencia

La elaboración de informes de calidad del aire se realiza teniendo en cuenta uno de los componentes de la misionalidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, como autoridad ambiental del Distrito Capital. Además, se tiene en cuenta lo establecido en la norma NTC ISO/IEC 17025:2017 con respecto a la elaboración de los reportes del laboratorio, y teniendo en cuenta que los informes de calidad del aire de la RMCAB se elaboran con base en los procedimientos asociados a las funciones del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente, los cuales se incluyen dentro de del proceso de apoyo de la SDA denominado "Metrología, Monitoreo y Modelación".

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los registros en tiempo real de los equipos de monitoreo y sensores meteorológicos, cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin. Adicionalmente se realizan periódicamente las calibraciones y verificaciones de los equipos de monitoreo, con el fin de garantizar que la medición de los equipos se realice de acuerdo con los estándares establecidos en los métodos de medición.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en diciembre de 2020 (EPA, 2020). Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo con el método equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR (LII, 2020). (Tabla 13-2)

Tabla 13-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM_{10}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
$PM_{2.5}$	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O_3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087	D
		EQOA-0193-091	
NO_2	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074	F
		RFNA-1194-099	
		RFNA-0118-249	
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088	C
		RFCA-0981-054	
		RFCA-1093-093	
		RFCA-0915-228	
SO_2	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100	A-1
		EQSA-0486-060	

D. Declaraciones

Se declara que los resultados relacionados en el presente informe anual de calidad del aire corresponden únicamente a los parámetros y variables monitoreadas por los analizadores y sensores en las estaciones de la RMCAB, adicionalmente los resultados del informe sólo están relacionados con ítems ensayados y/o comprobados metrológicamente.

Las concentraciones y resultados presentados en este informe de calidad del aire y en la página web se encuentran a condiciones de referencia, con el fin de que sean comparables con los niveles establecidos por la normatividad vigente.

La identificación de las contribuciones a la incertidumbre de la medición de los equipos y su evaluación se registra en el formato interno PA10-PR03-F12 de acuerdo con lo establecido en el instructivo interno PA10-PR03-INS8, y no se reporta en los informes periódicos de calidad del aire, minimizando cualquier posibilidad de interpretaciones equívocas o de uso incorrecto.

El análisis realizado en el presente informe mensual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 01 de enero y el 31 de diciembre de 2020.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes periódicos de la RMCAB establecido en el procedimiento interno PA10-PR04 Análisis de datos, generación y publicación de informes de calidad del aire de Bogotá. Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno PA10-PR05- Revisión y Validación de datos de la RMCAB. Cabe resaltar que los procesos de monitoreo de contaminantes y de estimación de la incertidumbre en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos, para los cuales se utiliza la última versión vigente cargada el aplicativo interno de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA “Isolucion”.

Tabla 13-3. Procedimientos Internos para la operación y calibración de equipos de la RMCAB

Código Procedimiento Interno	Nombre del Procedimiento Interno
PA10-PR02	Operación de la Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
PA10-PR06	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación analizadores, monitores de partículas y sensores meteorológicos
PA10-PR03	Aseguramiento de Calidad de los Resultados emitidos por el Laboratorio Ambiental SDA Formato PA10-PR03-F12 - Cálculo de Incertidumbre RMCAB

Adicionalmente, la versión original de este informe fue firmada por el Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Ing. Hugo Enrique Sáenz Pulido, y cuenta con la denominación y consecutivo "Informe Técnico No. 02495", firmado el 09 de julio de 2021, mediante el radicado SDA 2021IE39396, con el cual se aprueba y se autoriza su publicación en la página web de la RMCAB.

FIN DEL INFORME