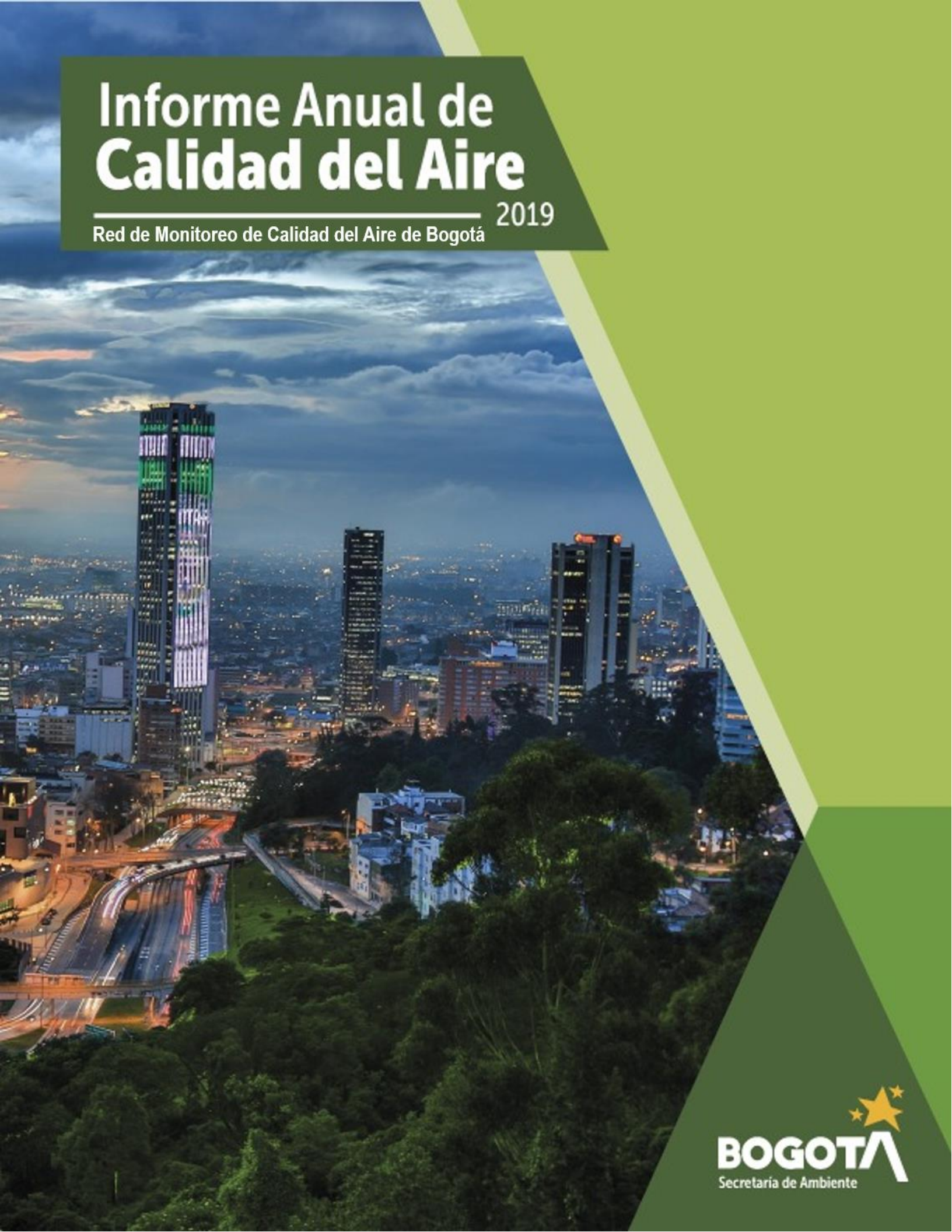


# Informe Anual de Calidad del Aire

2019

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá



# **Informe anual de calidad del aire de Bogotá**

**Año 2019**

**Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá  
(RMCAB)**

**Bogotá D.C 2020**



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**  
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 Validación 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  
Secretaría Distrital de Salud

**Roger Alexander Gómez Gómez**  
**Yaneth Rocío 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

---

## 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 <sub>10</sub> ).....	27
6.1.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM <sub>10</sub> POR ESTACIÓN .....	27
6.1.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM <sub>10</sub> POR ESTACIÓN .....	30
6.1.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM <sub>10</sub> POR ESTACIÓN .....	31
6.2.	MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM <sub>2.5</sub> ) .....	31
6.2.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM <sub>2.5</sub> POR ESTACIÓN.....	32
6.2.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM <sub>2.5</sub> POR ESTACIÓN.....	34
6.2.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM <sub>2.5</sub> POR ESTACIÓN .....	35
6.3.	OZONO (O <sub>3</sub> ) .....	35
6.3.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE O <sub>3</sub> POR ESTACIÓN .....	36
6.3.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O <sub>3</sub> POR ESTACIÓN .....	38
6.3.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O <sub>3</sub> POR ESTACIÓN .....	39
6.4.	DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO <sub>2</sub> ).....	39
6.4.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO <sub>2</sub> POR ESTACIÓN.....	39
6.4.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL NO <sub>2</sub> POR ESTACIÓN.....	40
6.4.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO <sub>2</sub> POR ESTACIÓN.....	41
6.5.	DIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ) .....	42
6.5.1.	COMPORTAMIENTO ANUAL DE SO <sub>2</sub> POR ESTACIÓN .....	42



**INFORME ANUAL**

6.5.2.	COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO <sub>2</sub> POR ESTACIÓN .....	43
6.5.3.	COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO <sub>2</sub> 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

**INFORME ANUAL**

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

**INFORME ANUAL**

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 <sub>10</sub> En Bogotá 2019.....	167
13.4.2.	Material Particulado PM <sub>2.5</sub> 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 <sub>10</sub> del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging .....	29
Figura 6-2. Concentraciones mensuales de PM <sub>10</sub> por estación. Año 2019 .....	30
Figura 6-3. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de PM <sub>10</sub> en el 2019 .....	31
Figura 6-4. Concentraciones anuales de PM <sub>10</sub> años 2015 a 2019.....	31
Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging .....	33
Figura 6-6. Concentraciones mensuales de PM <sub>2.5</sub> por estación. Año 2019.....	34
Figura 6-7. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> en el 2019 .....	35
Figura 6-8. Concentraciones anuales de PM <sub>2.5</sub> años 2015 a 2019 .....	35
Figura 6-9. Distribución espacial de los promedios anuales de O <sub>3</sub> del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging .....	37
Figura 6-10. Concentraciones mensuales de O <sub>3</sub> por estación. Año 2019 .....	38
Figura 6-11. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de O <sub>3</sub> en el 2019 .....	39
Figura 6-12. Concentraciones anuales de O <sub>3</sub> años 2015 a 2019.....	39
Figura 6-13. Concentraciones mensuales de NO <sub>2</sub> por estación. Año 2019 .....	41
Figura 6-14. Comportamiento semanal y horario de las concentraciones de NO <sub>2</sub> en el 2019 .....	41
Figura 6-15. Concentraciones promedio anual de NO <sub>2</sub> - años 2015 a 2019 .....	42
Figura 6-16. Concentraciones mensuales de SO <sub>2</sub> por estación. Año 2019.....	44
Figura 6-17. Comportamiento semanal y diario de las concentraciones de SO <sub>2</sub> en el 2019 .....	44
Figura 6-18. Concentraciones anuales de SO <sub>2</sub> 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 <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> año 2019.....	55
Figura 8-2. ICA por mes del año y por estación para PM <sub>10</sub> . Año 2019 .....	56
Figura 8-3. ICA por mes del año y por estación para PM <sub>2.5</sub> . Año 2019 .....	57
Figura 8-4. ICA por estación para O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y CO. Año 2019 .....	57
Figura 8-5. IBOCA por estación de monitoreo para PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> . Año 2019.....	59
Figura 8-6. IBOCA por mes del año para PM <sub>10</sub> . Año 2019 .....	60
Figura 8-7. IBOCA por mes del año para PM <sub>2.5</sub> . Año 2019 .....	61
Figura 8-8. IBOCA por estación para O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y CO. Año 2019 .....	61



**INFORME ANUAL**

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

**INFORME ANUAL**

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 <sub>2.5</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil .....	116
Figura 10-15. Distribución espacio temporal de PM <sub>2.5</sub> 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 <sub>2</sub> 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 <sub>10</sub> ajustadas a observaciones para el 2019.....	122
Figura 11-3 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM <sub>2.5</sub> ajustadas a observaciones para el 2019.....	122
Figura 11-4 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO <sub>2</sub> ajustadas a observaciones para el 2019.....	123
Figura 11-5 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO <sub>2</sub> 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
<i>Figura 11-9 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad.....</i>	<i>129</i>
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 <sub>10</sub> .....	137
Figura 11-19 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM <sub>2.5</sub> .....	137

**INFORME ANUAL**

Figura 11-20 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO <sub>2</sub> .....	138
Figura 11-21 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO <sub>2</sub> .....	138
Figura 11-22 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO.....	139
Figura 11-23 Diagramas de Taylor por mes para PM <sub>10</sub> .....	140
Figura 11-24 Diagramas de Taylor por mes para PM <sub>2,5</sub> .....	141
Figura 11-25 Diagramas de Taylor por mes para CO .....	141
Figura 11-26 Diagramas de Taylor por mes para SO <sub>2</sub> .....	142
Figura 11-27 Diagramas de Taylor por mes para NO <sub>2</sub> .....	142
Figura 12-1. Concentraciones medias móvil PM <sub>2.5</sub> 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 <sub>2,5</sub> 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) Retro trayectorias del viento en Hysplit. Marzo 7 de 2019.....	147
Figura 12-6. Concentraciones media móvil PM <sub>2,5</sub> 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/m <sup>3</sup> ) 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 PM <sub>10</sub> en Bogotá año 2019.....	168
Figura 13-14. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM <sub>10</sub> en Bogotá en el año 2019.....	169
Figura 13-15. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM <sub>10</sub> 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 PM <sub>10</sub> Bogotá 2015-2019.....	170
Figura 13-17. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM <sub>2.5</sub> en Bogotá año 2019.....	171

## INFORME ANUAL

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 <sub>10</sub> por mes. Año 2019 .....	189
Figura 15-3. Boxplot de concentraciones diarias de PM <sub>2,5</sub> por mes. Año 2018 .....	190
Figura 15-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O <sub>3</sub> por mes. Año 2019.....	191
Figura 15-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO <sub>2</sub> por mes. Año 2018 .....	191
Figura 15-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO <sub>2</sub> 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 <sub>2,5</sub> para la estación Carvajal-Sevillana.....	194
Figura 15-9. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Centro de Alto Rendimiento.....	194
Figura 15-10. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Fontibón .....	195
Figura 15-11. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Guaymaral .....	195
Figura 15-12. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Kennedy .....	196
Figura 15-13. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Las Ferias .....	196
Figura 15-14. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación MinAmbiente .....	197
Figura 15-15. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Móvil 7ma .....	197
Figura 15-16. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Puente Aranda.....	198
Figura 15-17. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación San Cristóbal.....	198
Figura 15-18. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Suba .....	199
Figura 15-19. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Tunal .....	199
Figura 15-20. Calendar plot de PM <sub>2,5</sub> para la estación Usaquéen .....	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 <sub>10</sub> registradas en el año 2019.....	28
Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM <sub>2.5</sub> registradas en el año 2019 .....	32
Tabla 6-3. Estadísticas de las concentraciones anuales de O <sub>3</sub> registradas en el año 2019.....	36
Tabla 6-4. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO <sub>2</sub> registradas en el año 2019 .....	40
Tabla 6-5. Estadísticas de las concentraciones anuales de SO <sub>2</sub> 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 <sup>2</sup> ) - 2019.....	92
Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m <sup>2</sup> 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 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ y $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estarán en condiciones de referencia correspondientes a $25^\circ\text{C}$ y 760 mm Hg..	187
Tabla 15-2. Concentraciones mensuales de $\text{PM}_{10}$ por estación de monitoreo. Año 2019 .....	187
Tabla 15-3. Concentraciones mensuales de $\text{PM}_{2.5}$ por estación de monitoreo. Año 2019.....	188
Tabla 15-4. Concentraciones mensuales de $\text{O}_3$ 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  $PM_{10}$  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  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$  y un promedio de  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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 ( $PM_{10}$ :  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5}$ :  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 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  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en la zona nororiental de la ciudad, mientras que la estación Puente Aranda registró los niveles más bajos, con un promedio anual de  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la menor concentración se obtuvo en la estación Tunal, con  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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  $15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el menor promedio se obtuvo en Usaquén con  $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y la estación Fontibón registró la concentración anual más baja, con 554  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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 Secretaría 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<sup>1</sup>. 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<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> 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](https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-08/documents/designated_reference_and-equivalent_methods.pdf)

<sup>2</sup> 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](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 <sub>10</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122	J
		EQPM-0404-151	
PM <sub>2.5</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0308-170	L
		EQPM-1013-211	
O <sub>3</sub>	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQQA-0992-087	D
		EQQA-0193-091	
NO <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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.

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

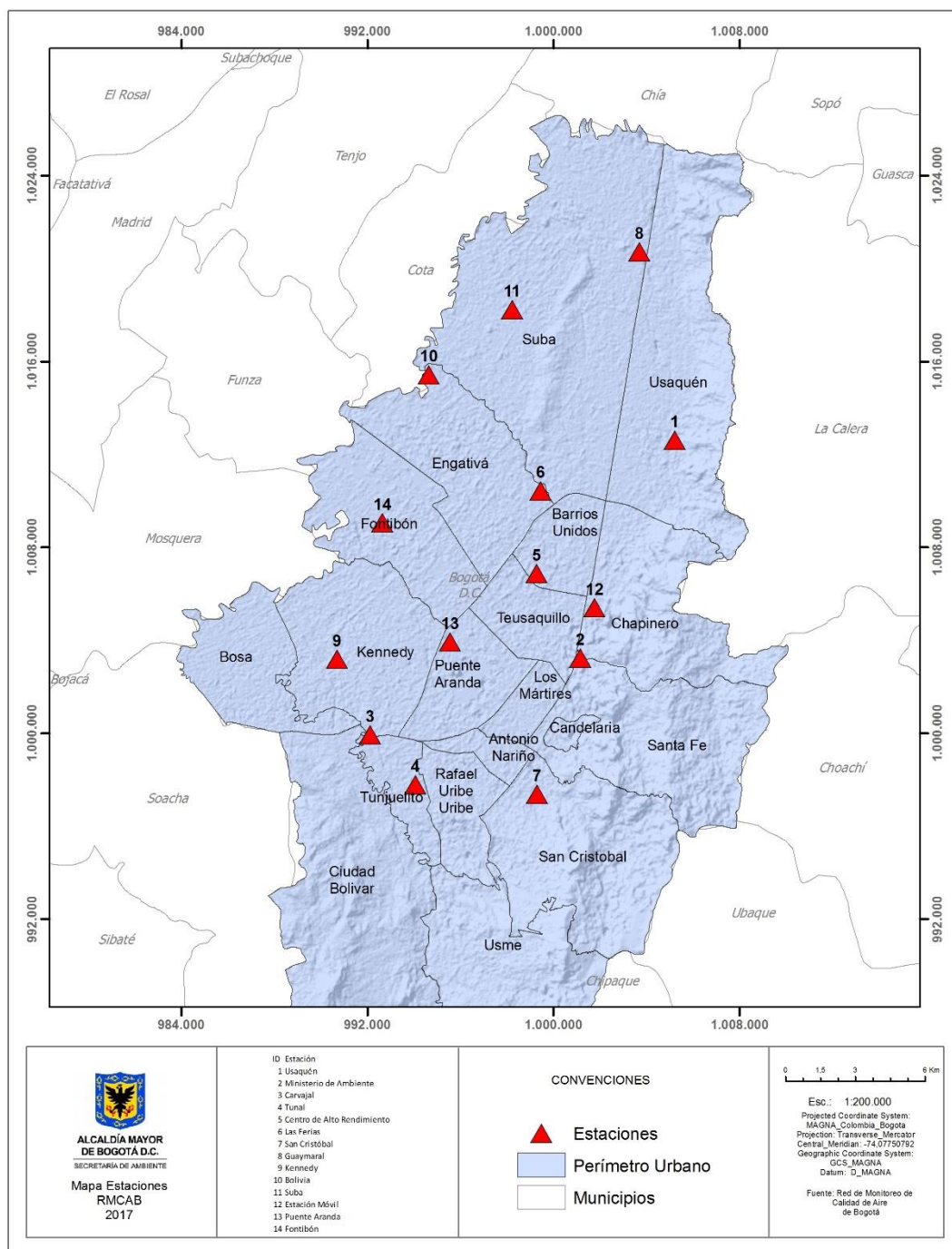


Figura 4-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2019

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

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 <sub>10</sub>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PM <sub>2.5</sub>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	O <sub>3</sub>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	NO <sub>2</sub>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	CO		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	SO <sub>2</sub>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Black Carbon		X	X	X	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	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	H. Relativa			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Presión Atm.					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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición	Cálculo
PM <sub>10</sub>	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>2.5</sub>	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO <sub>2</sub>	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	100	1 hora	Concentración promedio horaria
NO <sub>2</sub>	60	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O <sub>3</sub>	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<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> para un tiempo de exposición 24 horas serán de 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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<sub>2</sub>, 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.

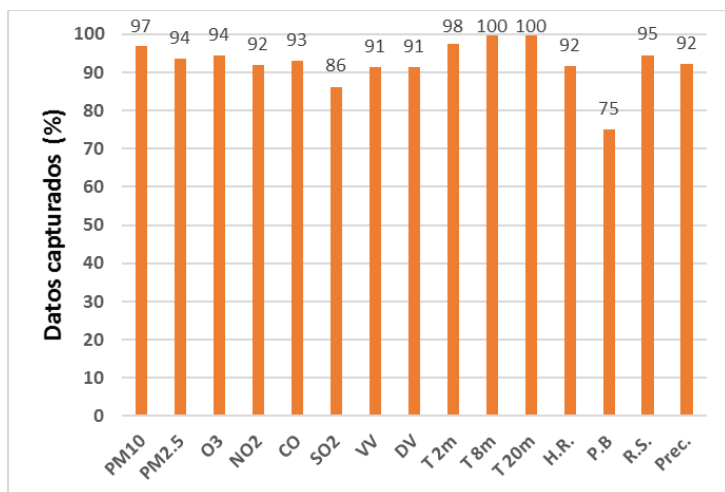


Figura 5-1. Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2019

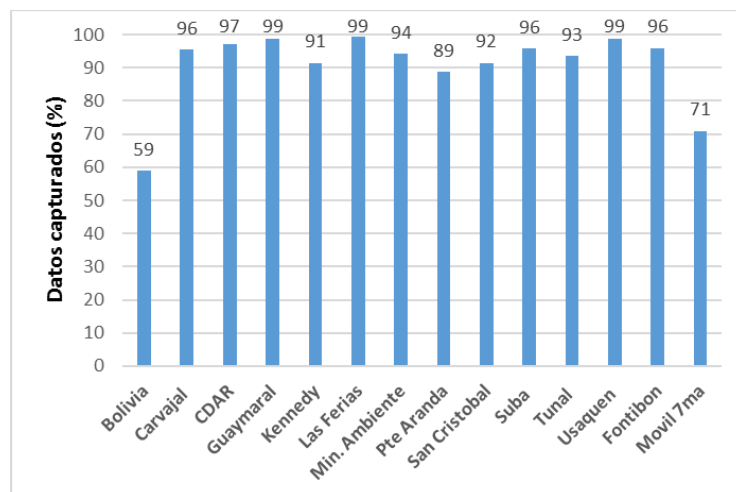


Figura 5-2. Porcentaje de datos capturados por estación. Año 2019

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.

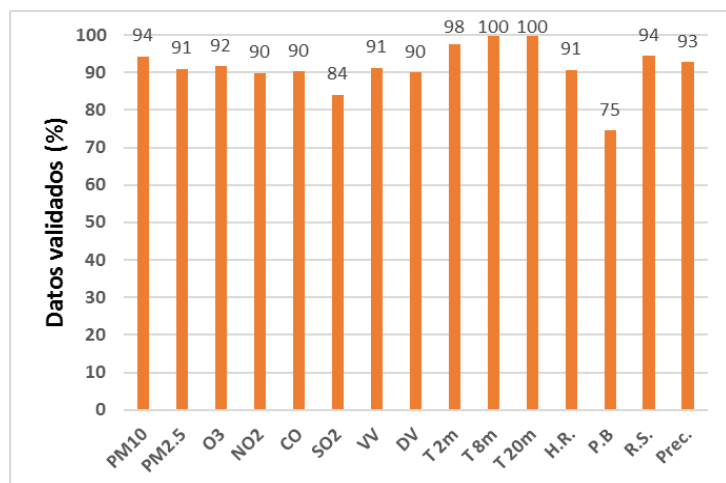


Figura 5-3. Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2019

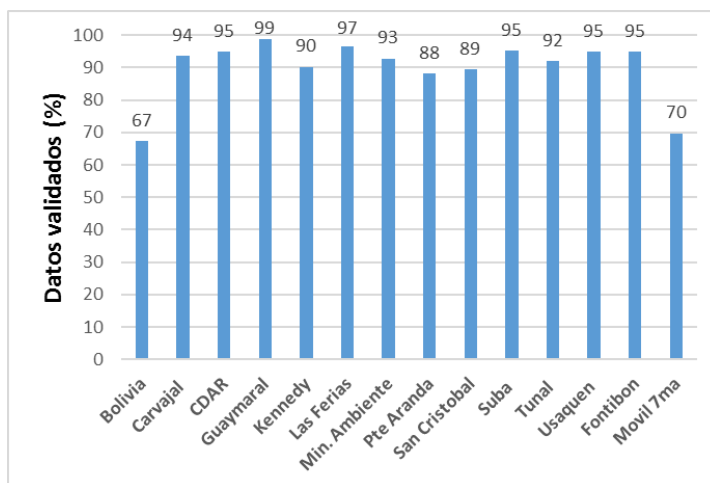


Figura 5-4. Porcentaje de datos válidos por estación año 2019

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%.

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

*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	
<b>Bolivia</b>							65	67								69	67
<b>Carvajal</b>	91	95	89	88	96	79	100	100	100							99	94
<b>CDAR</b>	97	97	98	98	93	90	82	89	100			100		94	100	100	95
<b>Guaymaral</b>	98	97	96	95			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
<b>Kennedy</b>	98	97	94	72	99	99	100	100	100			100	15	100	100	100	90
<b>Las Ferias</b>	97	95	96	99	98		100	83	100			96	99			98	97
<b>Min. Ambiente</b>	97	98	90				99	99								74	93
<b>Pte Aranda</b>	98	73	98	97	95	98	61	61	100							100	88
<b>San Cristóbal</b>	97	69	88				99	99	99			56		99	99	99	89
<b>Suba</b>	97	97	96			98	100	100	100							75	95
<b>Tunal</b>	98	98	74	83	82	83	97	97	100			100	84	100	100	100	92
<b>Usaquén</b>	88	98	97		79		100	100	98							100	95
<b>Fontibón</b>	99	98	84	88	97	84	100	100	100			100					95
<b>Móvil 7ma</b>	71	72			75	41	75	65	75			75	75	75			70
<b>Promedio</b>	94	91	92	90	90	84	91	90	98	100	100	91	75	94	93	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<sub>10</sub>)**

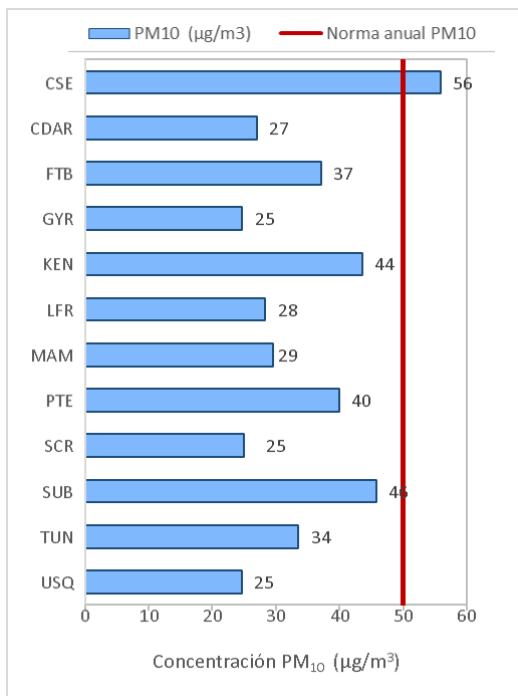
El PM<sub>10</sub> representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 µm, que se componen de sustancias inorgánicas y orgánicas, las cuales provienen de las fuentes de emisión móviles y fijas, en procesos de combustión, y procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

#### **6.1.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM<sub>10</sub> POR ESTACIÓN**

En la Tabla 6-1 se observan los promedios anuales de PM<sub>10</sub> 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<sup>3</sup>, siendo además la concentración más alta registrada en la ciudad; por otro lado, las estaciones Guaymaral y Usaqué, ubicadas en la zona norte de la ciudad, registraron las concentraciones más bajas, con 24.7 µg/m<sup>3</sup>.

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<sub>10</sub> registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m <sup>3</sup> )	No. Exced. 24h
<b>Norma anual: 50 µg/m<sup>3</sup> Norma diaria: 75 µg/m<sup>3</sup></b>				
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<sub>10</sub> 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<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>. 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.

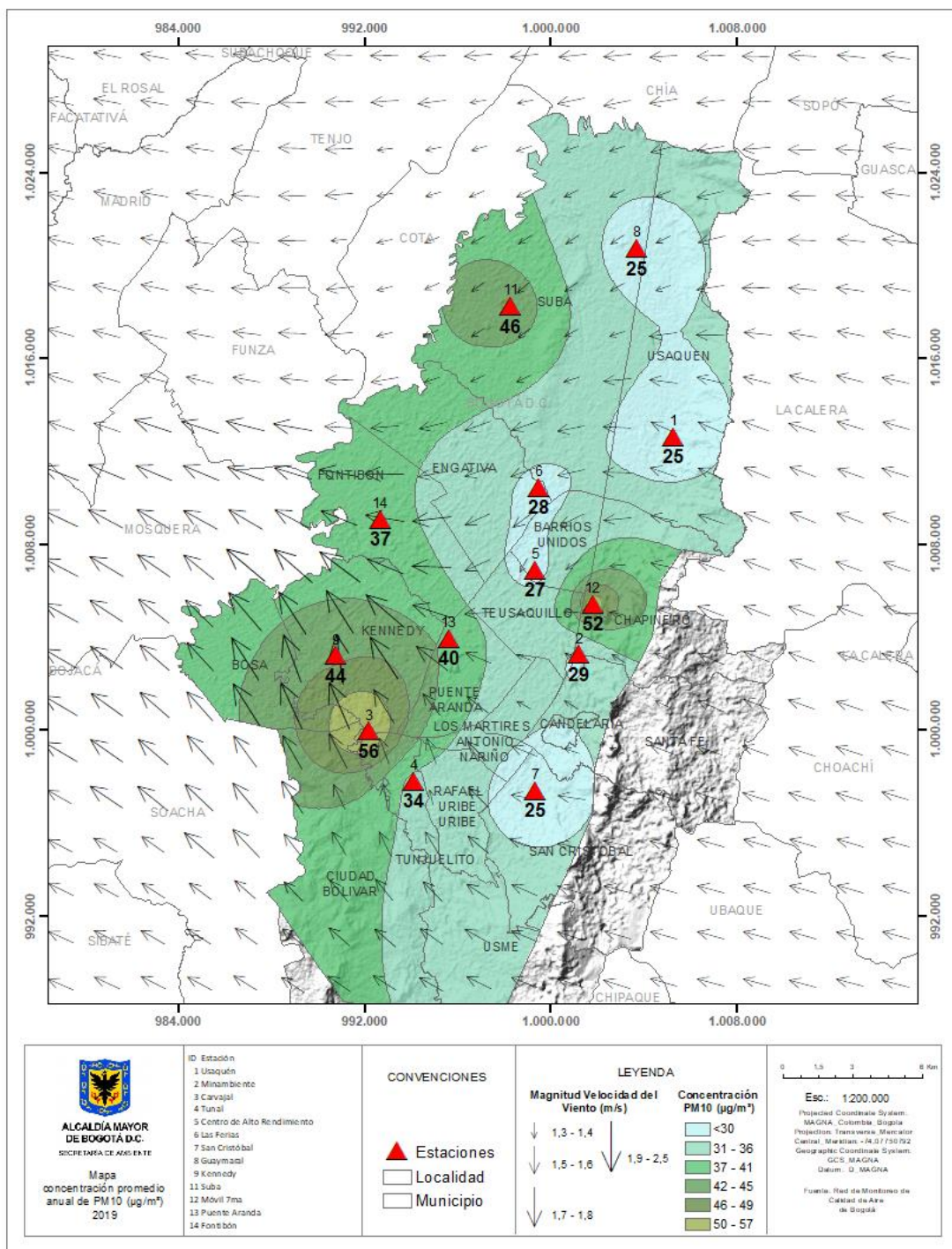


Figura 6-1. Distribución espacial de los promedios anuales de PM<sub>10</sub> del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging

### 6.1.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM<sub>10</sub> POR ESTACIÓN

La Figura 6-2 muestra el comportamiento de las concentraciones mensuales de PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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.

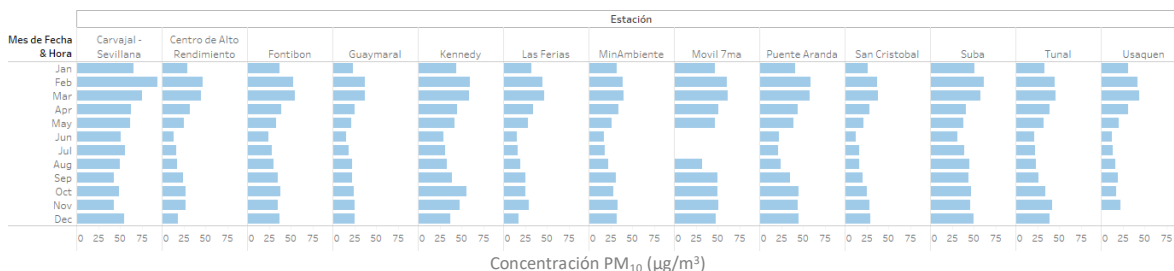


Figura 6-2. Concentraciones mensuales de PM<sub>10</sub> por estación. Año 2019



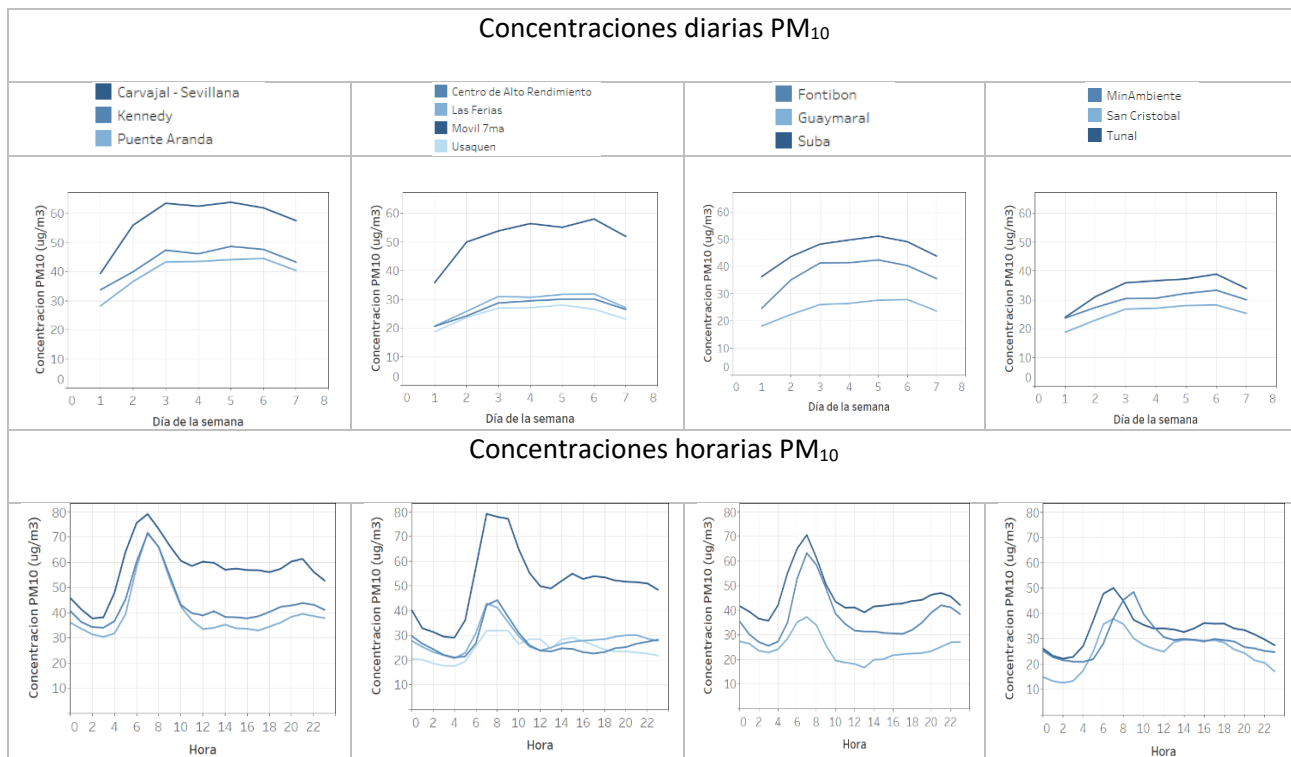


Figura 6-3. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el 2019

### 6.1.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE PM<sub>10</sub> POR ESTACIÓN

Los promedios anuales de concentración de PM<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> de los últimos cinco años se presentó en Carvajal-Sevillana en el año 2015 (87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y el más bajo en las estaciones San Cristóbal, Guaymaral y Usaquén en el año 2019 (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

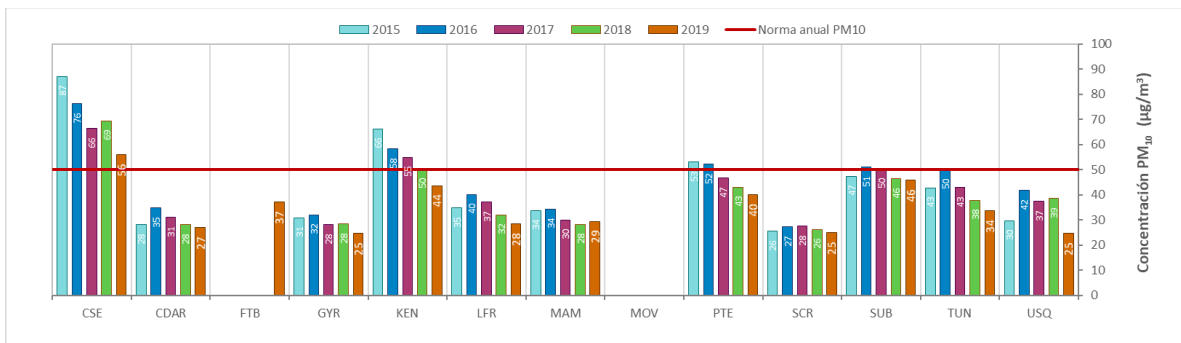


Figura 6-4. Concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> años 2015 a 2019

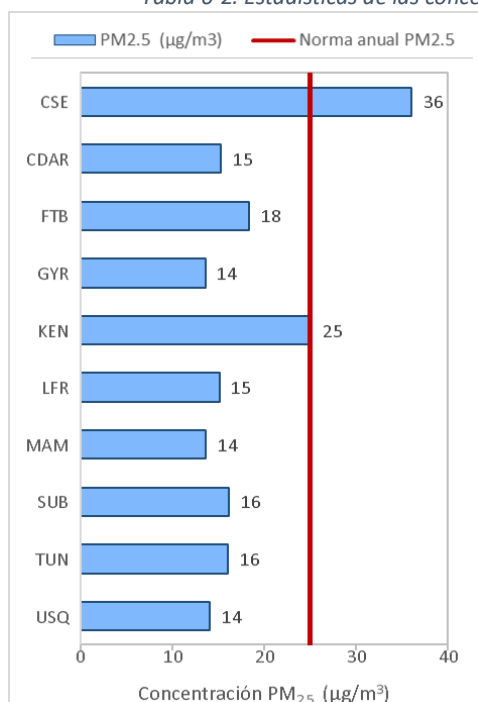
## 6.2. MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM<sub>2.5</sub>)

El PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> POR ESTACIÓN

En la Tabla 6-2 se relacionan los promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> 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<sup>3</sup> permitidos. El promedio anual más bajo fue de 14.1, en la estación Usaquén.

Tabla 6-2. Estadísticas de las concentraciones anuales de PM<sub>2.5</sub> registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m <sup>3</sup> )	No. Exced. 24h
Norma anual: 25 µg/m <sup>3</sup> Norma diaria: 37 µg/m <sup>3</sup>				
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<sub>2.5</sub>, 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  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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.

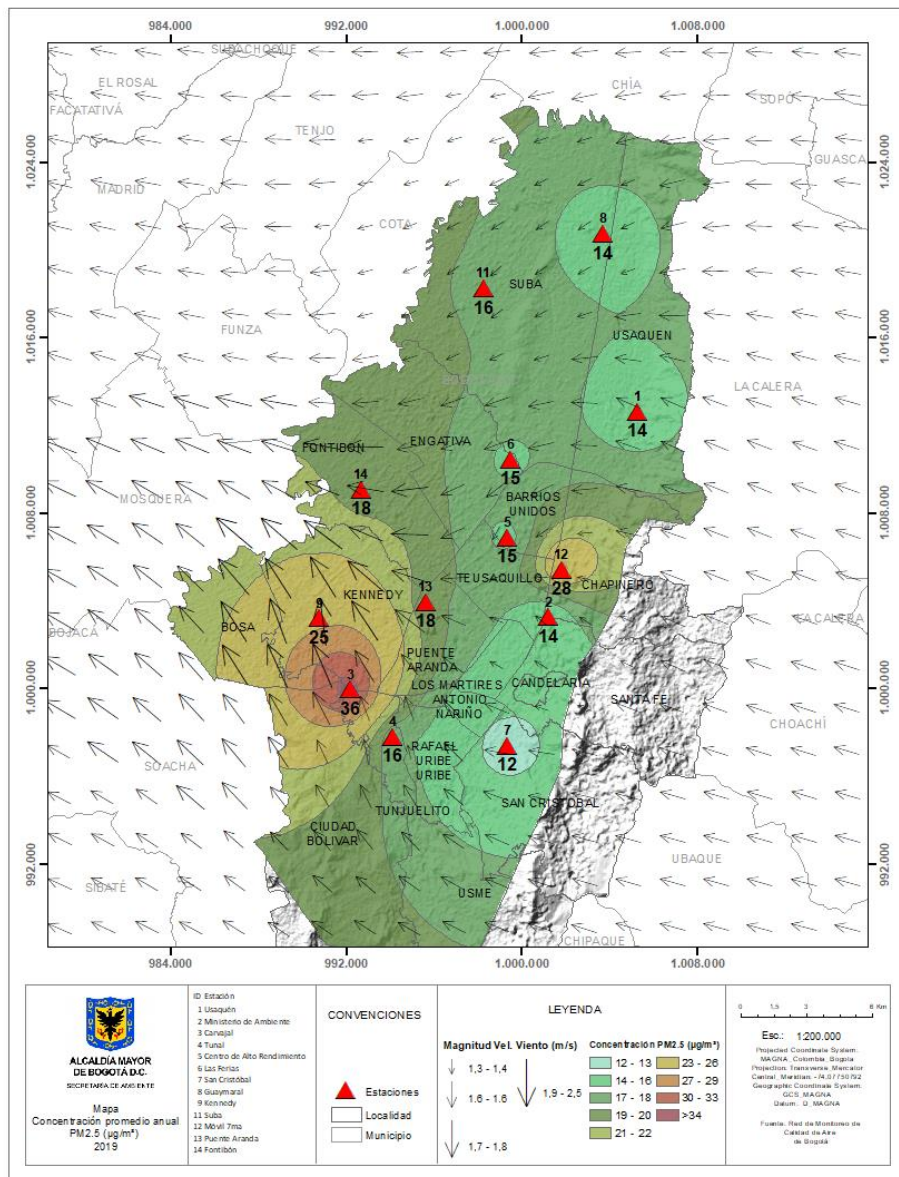


Figura 6-5. Distribución espacial de los promedios anuales de  $\text{PM}_{2,5}$  del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging

### 6.2.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL PM<sub>2.5</sub> POR ESTACIÓN

Las concentraciones mensuales de PM<sub>2.5</sub>, al igual que las de PM<sub>10</sub>, se encuentran influenciadas por los cambios en las variables meteorológicas durante el año. En el 2019, la época más crítica de contaminación por PM<sub>2.5</sub> 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.

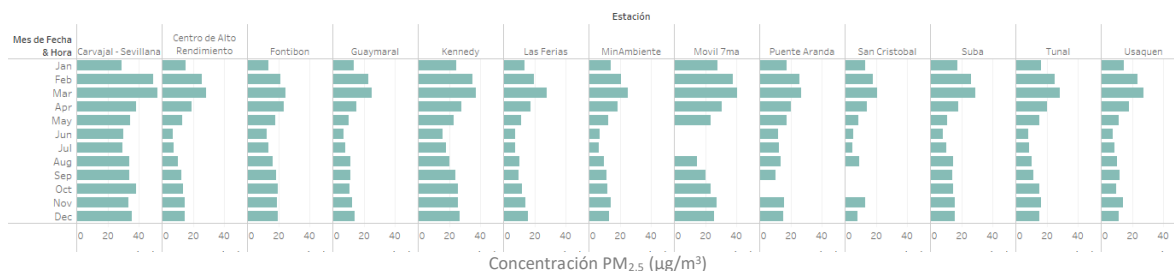
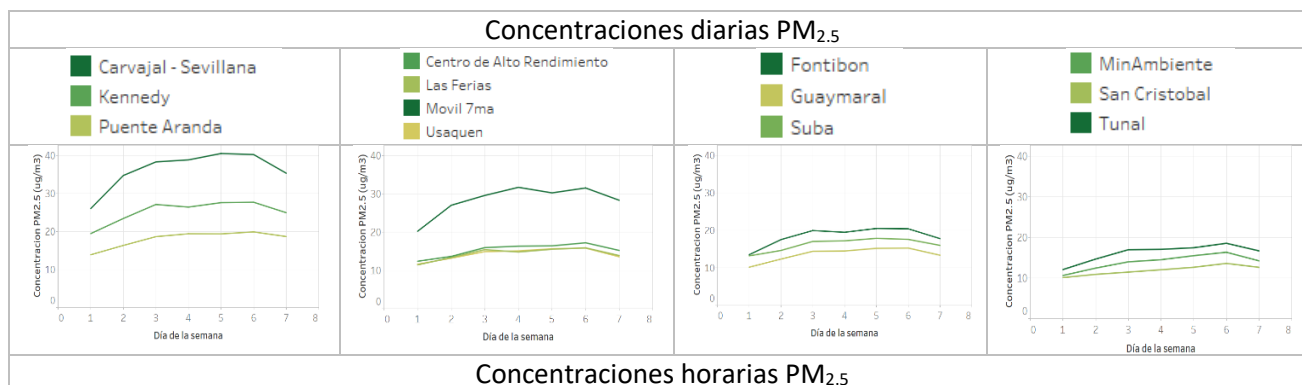


Figura 6-6. Concentraciones mensuales de PM<sub>2.5</sub> por estación. Año 2019



Concentraciones horarias PM<sub>2.5</sub>

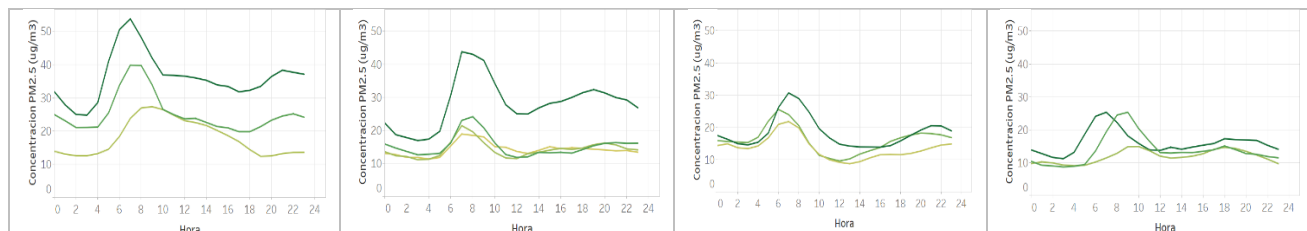


Figura 6-7. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en el 2019

### 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.

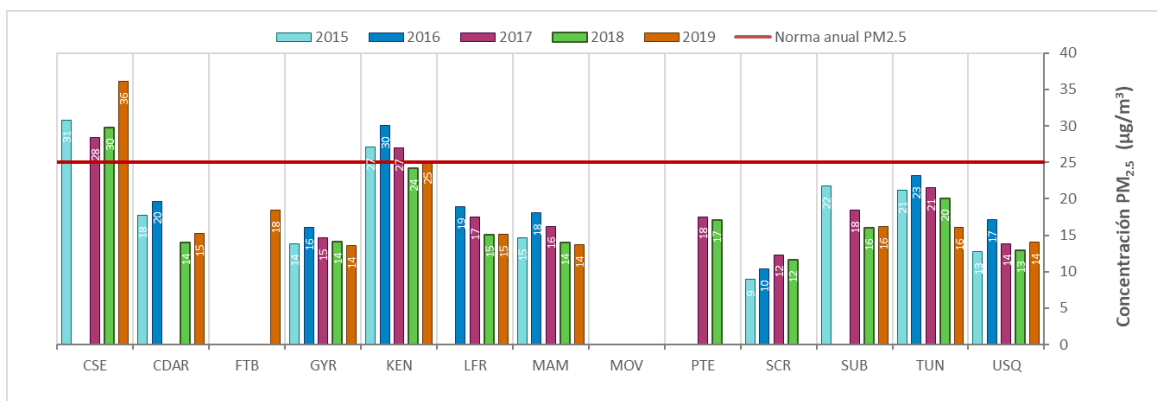


Figura 6-8. Concentraciones anuales de  $PM_{2.5}$  años 2015 a 2019

### 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 atmósfera, 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

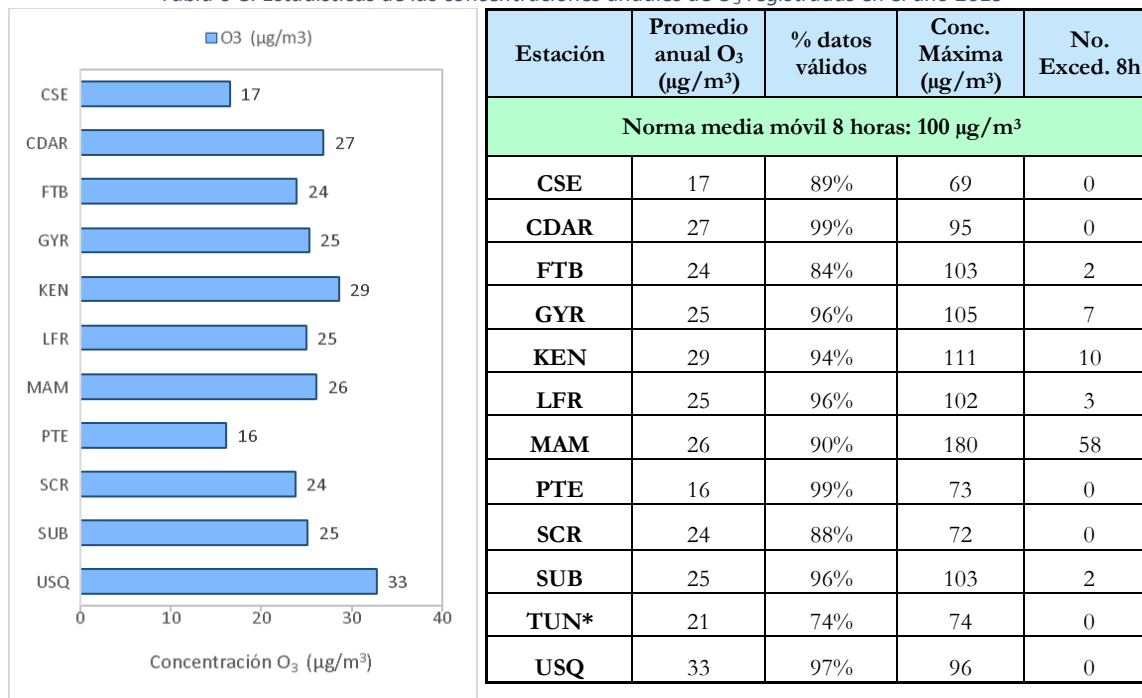
precursores sí son emitidos directamente a la atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

### 6.3.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE O<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> 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<sup>3</sup>, mientras que la concentración más baja se obtuvo en la estación Puente Aranda, al suroccidente de la ciudad, con 16 µg/m<sup>3</sup>. 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<sub>3</sub> registradas en el año 2019



La Figura 6-9 representa la distribución espacial de las concentraciones promedio anual de O<sub>3</sub> 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<sup>3</sup>. 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.

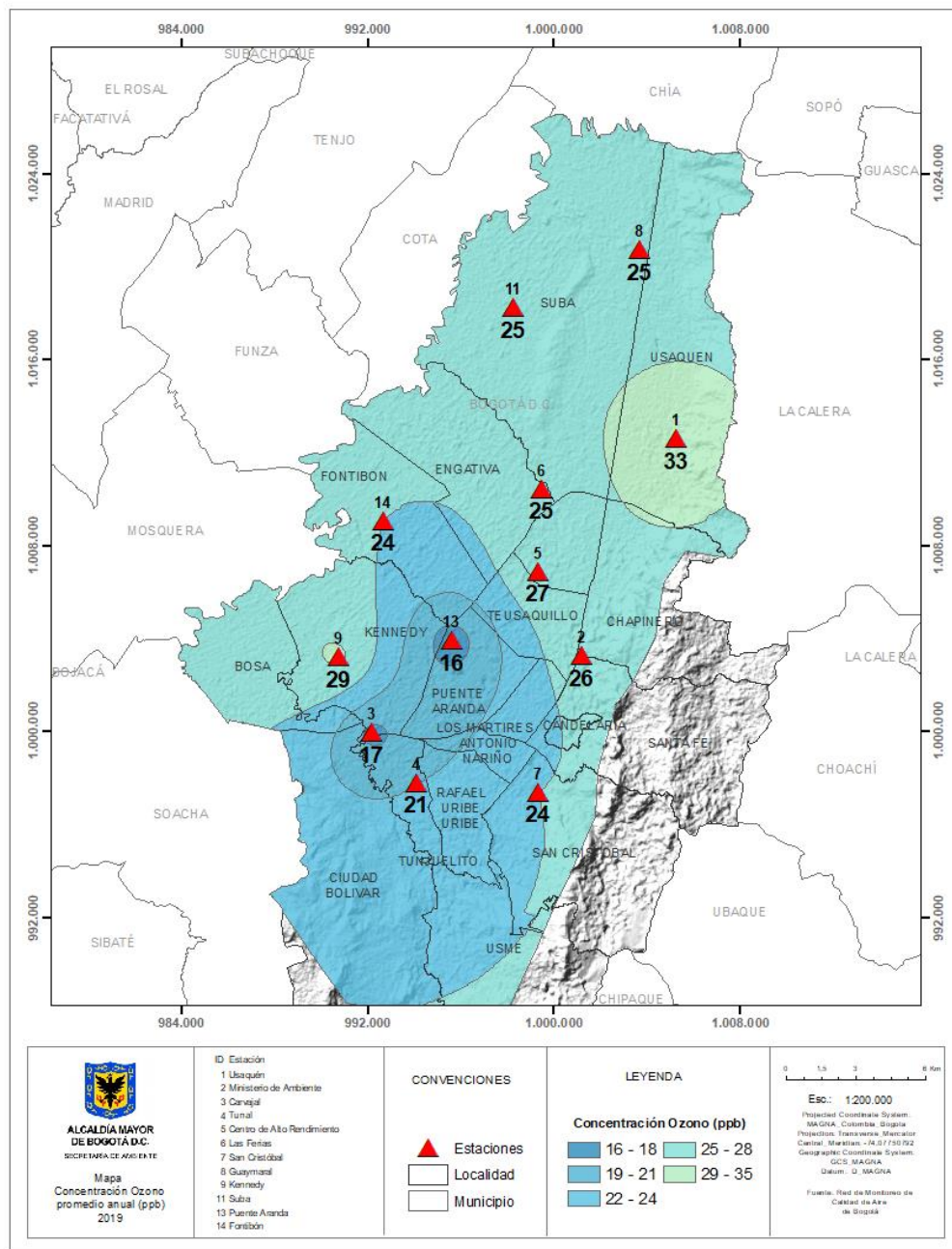


Figura 6-9. Distribución espacial de los promedios anuales de O<sub>3</sub> del año 2019 con base en el método de interpolación Kriging



### 6.3.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL O<sub>3</sub> POR ESTACIÓN

El comportamiento del O<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> es un contaminante secundario, las variaciones en concentración están determinadas por las concentraciones y la magnitud de los factores precursores de O<sub>3</sub>, 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<sub>2</sub> y COV.

En la Figura 6-11 también se observa el comportamiento del O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub>, aumentan hasta el pico después de mediodía, y descienden nuevamente tras la reducción de la radiación solar.

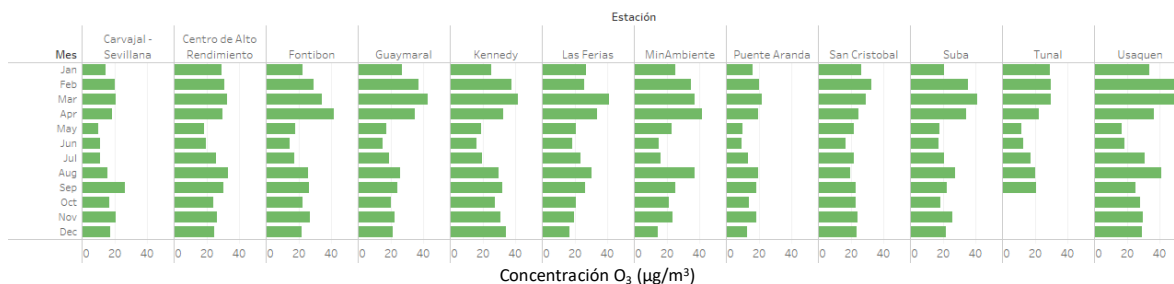
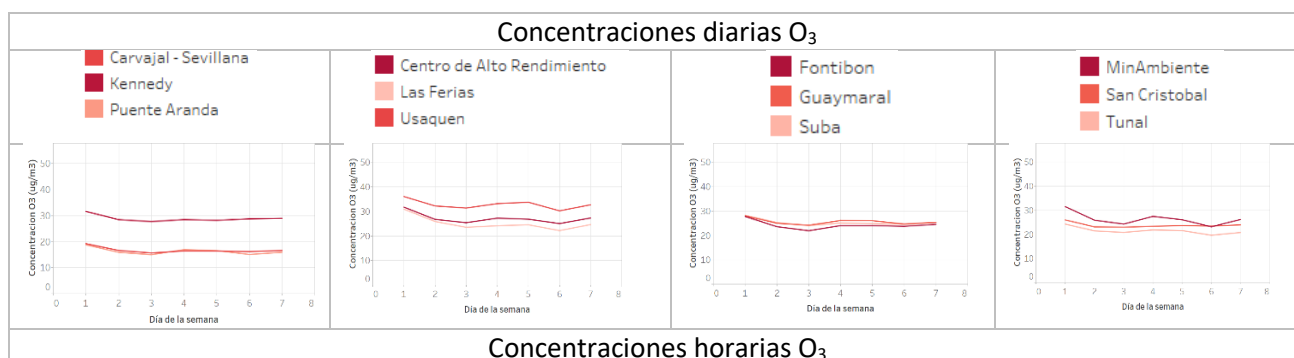


Figura 6-10. Concentraciones mensuales de O<sub>3</sub> por estación. Año 2019



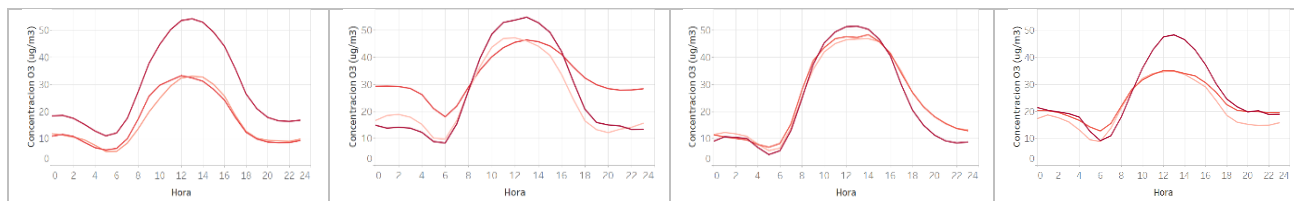


Figura 6-11. Comportamiento diario y horario de las concentraciones de O<sub>3</sub> en el 2019

### 6.3.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE O<sub>3</sub> POR ESTACIÓN

En la Figura 6-12 se observan las concentraciones anuales de O<sub>3</sub> de los últimos cinco años. La estación Usaquéen 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 Usaquéen, con 47 µg/m<sup>3</sup>.

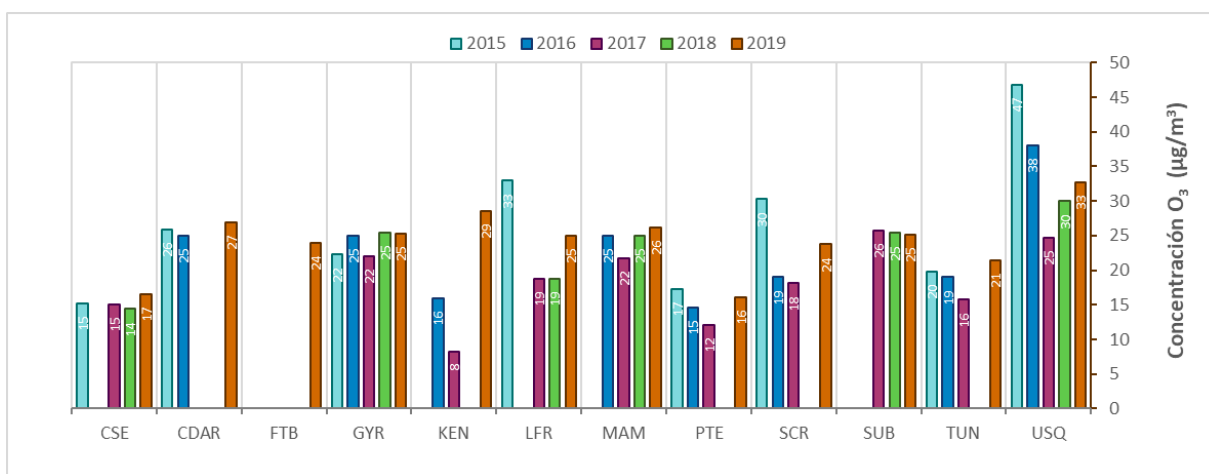


Figura 6-12. Concentraciones anuales de O<sub>3</sub> años 2015 a 2019

## 6.4. DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)

El NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias, además de contribuir a la formación del smog fotoquímico.

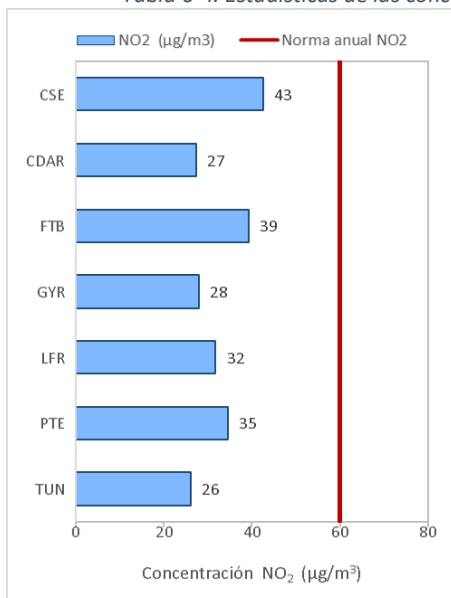
### 6.4.1. COMPORTAMIENTO ANUAL DE NO<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

La Tabla 6-4 resume los parámetros calculados de concentraciones promedio anuales de NO<sub>2</sub> para el año 2019, porcentaje de datos válidos, concentraciones máximas y excedencias respecto a la norma horaria. Solamente el sensor de NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> en 2019, con 43 µg/m<sup>3</sup>, en la zona suroccidente, mientras que la estación Tunal registró la concentración más baja, con 26 µg/m<sup>3</sup>. No se presentaron excedencias con respecto a la norma horaria durante el 2019.

Tabla 6-4. Estadísticas de las concentraciones anuales de NO<sub>2</sub> registradas en el año 2019



Estación	Promedio anual NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	% datos válidos	Conc. Máxima (µg/m <sup>3</sup> )	No. Exced. 1h
Norma anual: 60 µg/m <sup>3</sup> Norma horaria: 200 µg/m <sup>3</sup>				
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<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

La Figura 6-13 muestra las concentraciones mensuales de NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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.

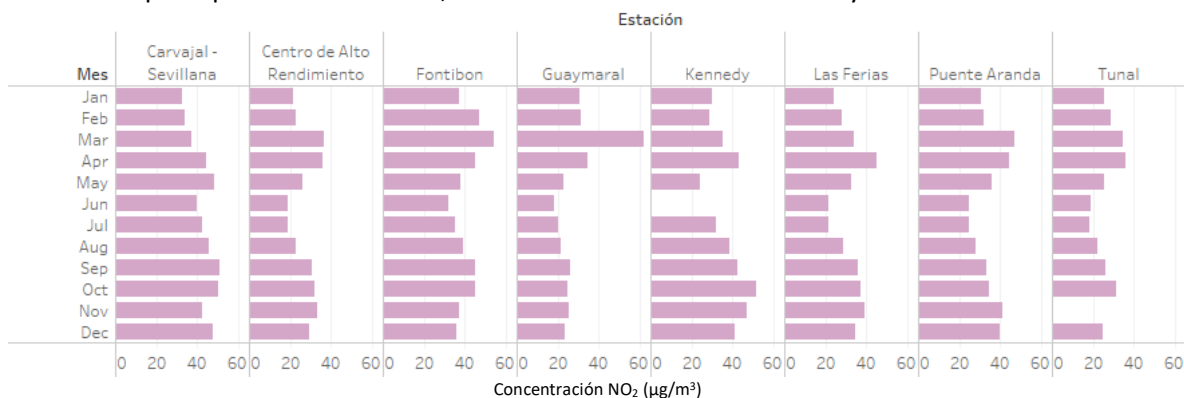


Figura 6-13. Concentraciones mensuales de NO<sub>2</sub> por estación. Año 2019

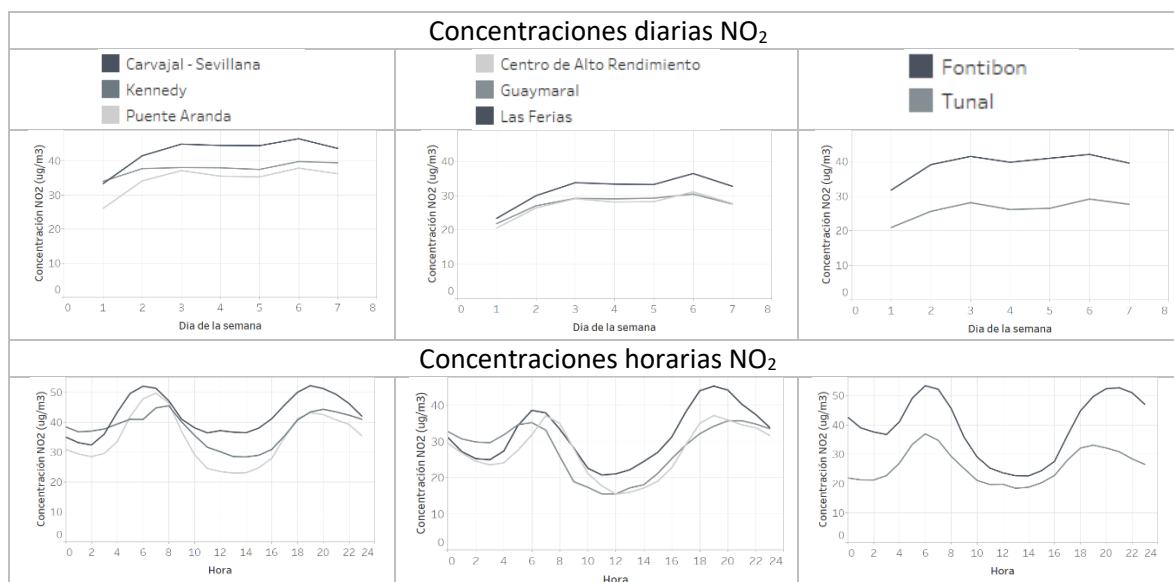


Figura 6-14. Comportamiento semanal y horario de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en el 2019

### 6.4.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE NO<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

En la Figura 6-15 se representan las concentraciones promedio anual de NO<sub>2</sub> 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<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>.

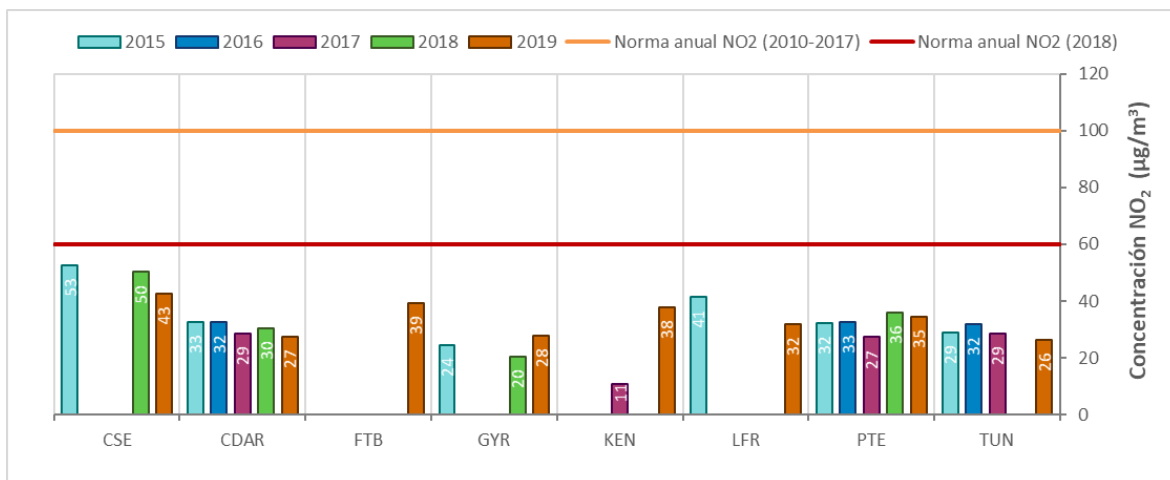


Figura 6-15. Concentraciones promedio anual de NO<sub>2</sub> - años 2015 a 2019

## 6.5. DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

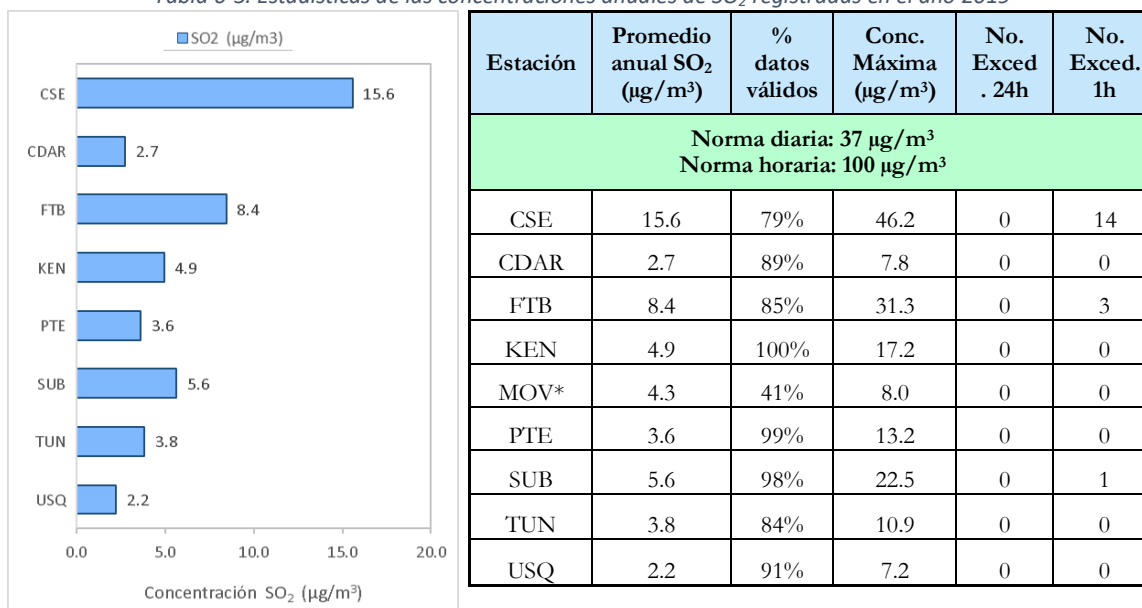
El SO<sub>2</sub> es un contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a 3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la 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<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

La Tabla 6-5 muestra las concentraciones promedio anual de SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sup>3</sup>, en la zona suroccidente, mientras que en la zona norte la estación Usaqué tuvo el valor más bajo, con 2.2 µg/m<sup>3</sup>. Este comportamiento se debe a que en el suroccidente circula una flota vehicular con mayor uso del diésel, 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<sub>2</sub> registradas en el año 2019



### 6.5.2. COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL SO<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

En la Figura 6-16 se encuentran representados los promedios mensuales de concentración de SO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sup>3</sup>. 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.

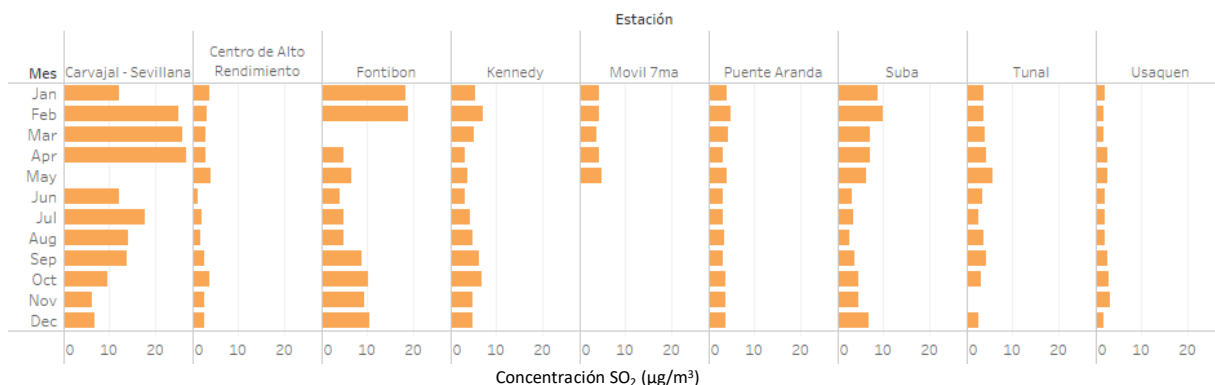


Figura 6-16. Concentraciones mensuales de SO<sub>2</sub> por estación. Año 2019

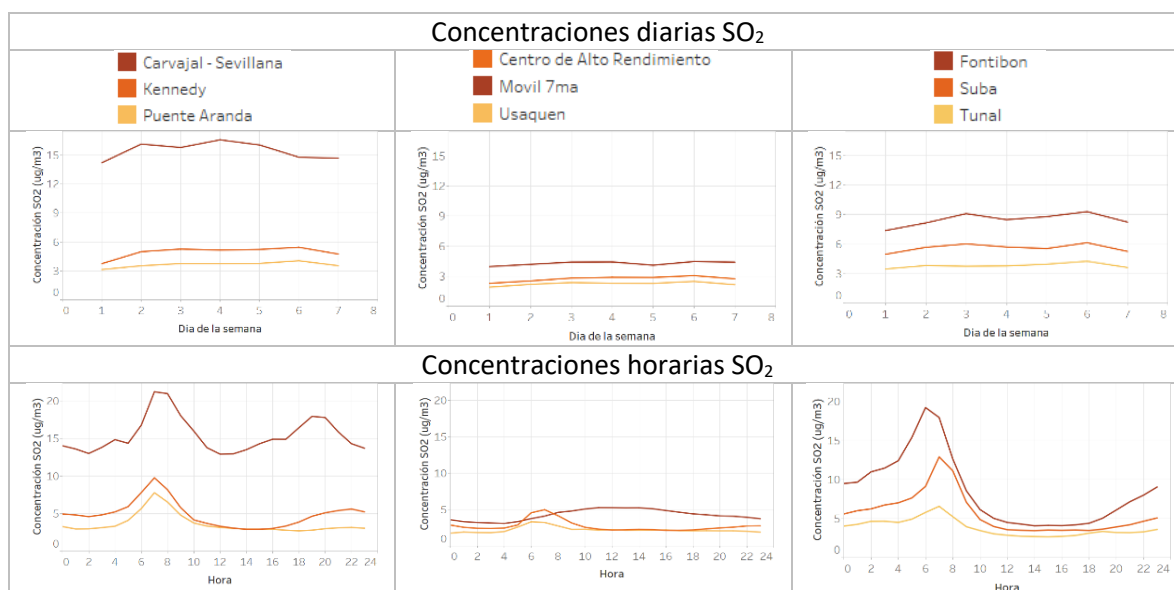


Figura 6-17. Comportamiento semanal y diario de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en el 2019

### 6.5.3. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE SO<sub>2</sub> POR ESTACIÓN

La Figura 6-18 representa las concentraciones promedio anual de SO<sub>2</sub> 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<sup>3</sup>, 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.

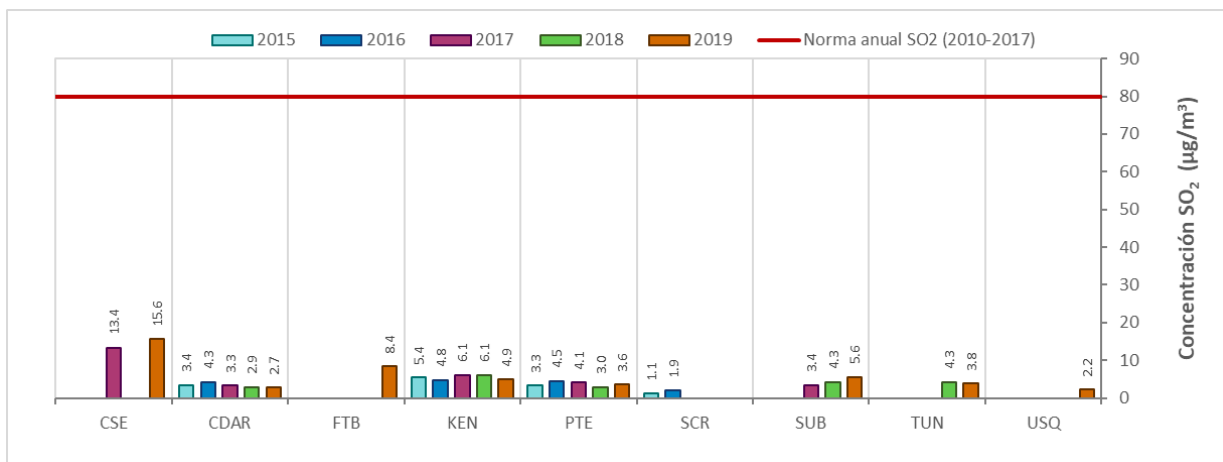


Figura 6-18. Concentraciones anuales de SO<sub>2</sub> años 2015 a 2019

## 6.6. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

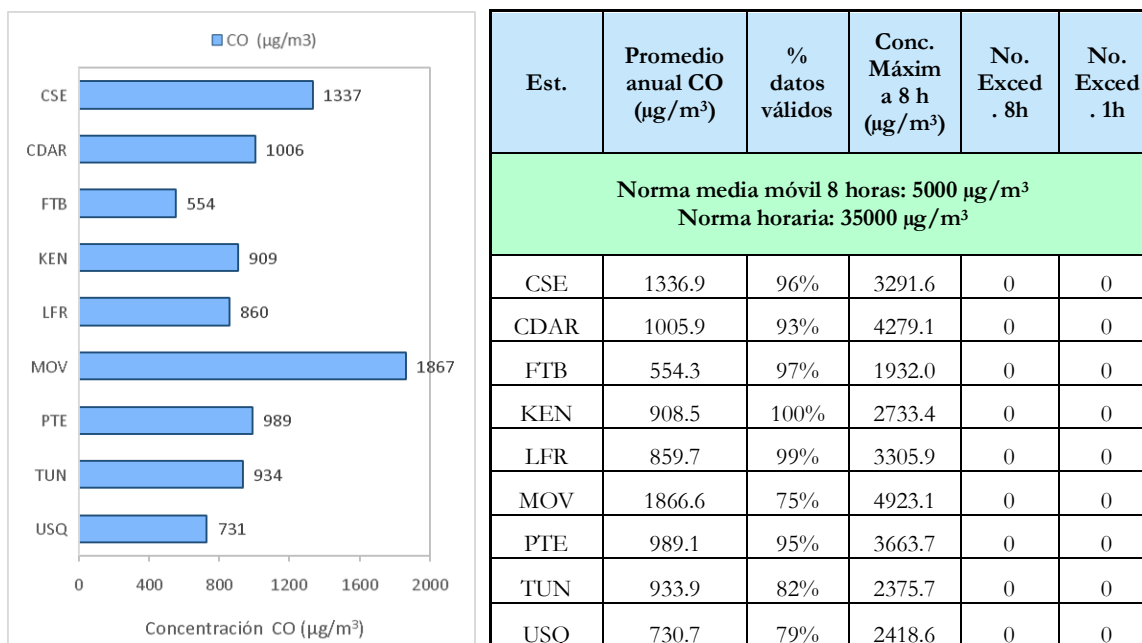
El CO es un gas inflamable, inodoro, incoloro e insípido. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre. Una proporción del CO 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<sup>3</sup>, mientras que la estación Fontibón, al occidente de la ciudad registró la concentración más baja, con 554.3 µg/m<sup>3</sup>. 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



### 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 Usaqué, 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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.

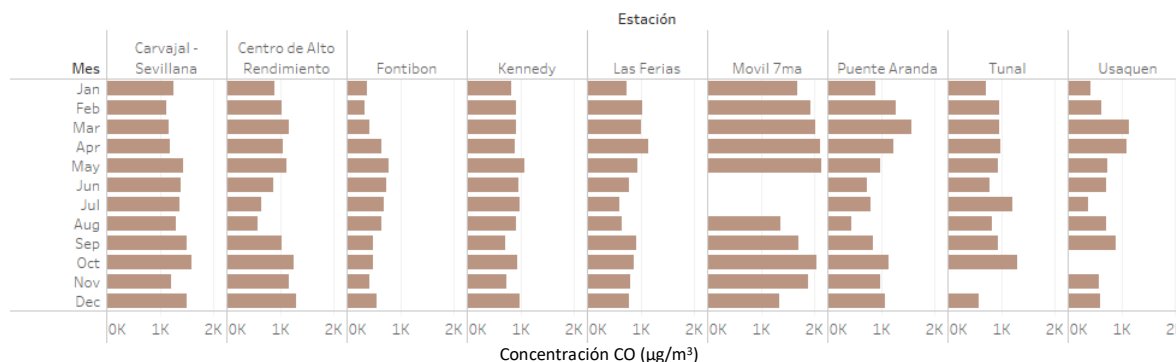


Figura 6-19. Concentraciones mensuales de CO por estación. Año 2019

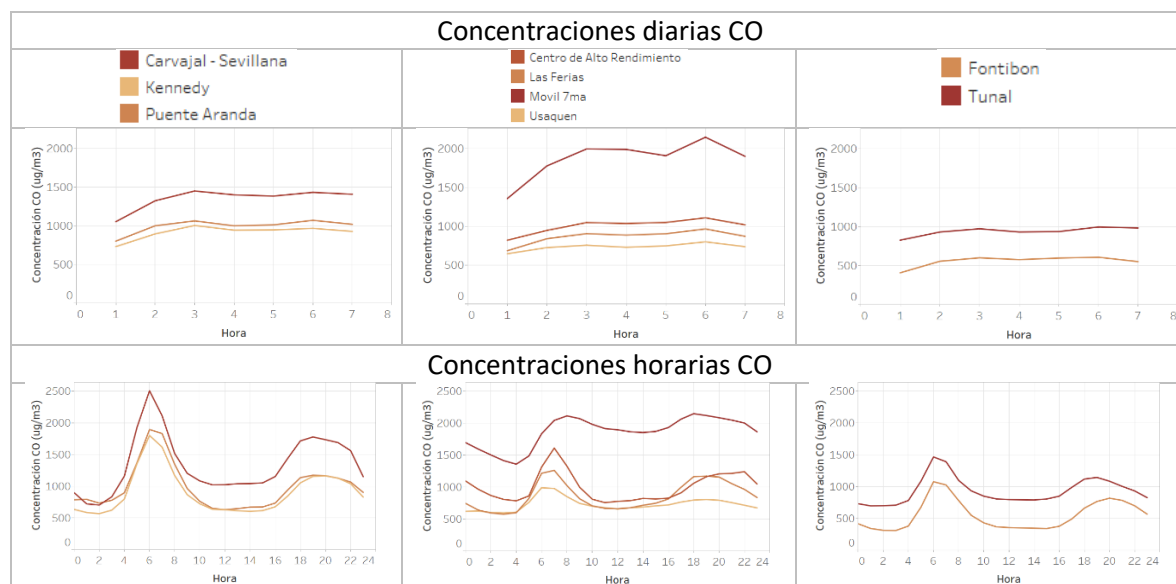


Figura 6-20. Comportamiento semana y día promedio de las concentraciones de CO en el 2019

### 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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.

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

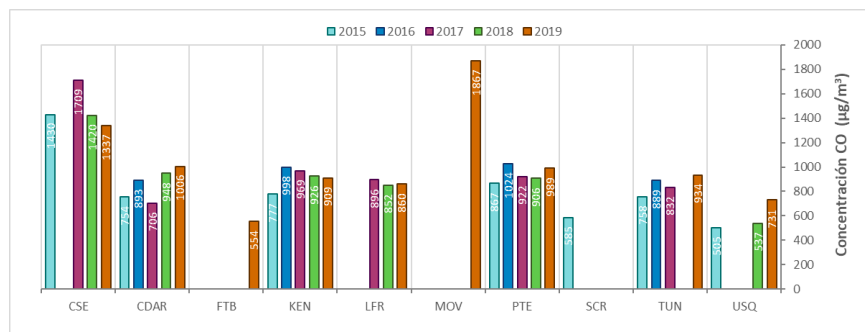


Figura 6-21. Concentraciones anuales de CO años 2015 a 2019



## 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<sub>2.5</sub>, 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

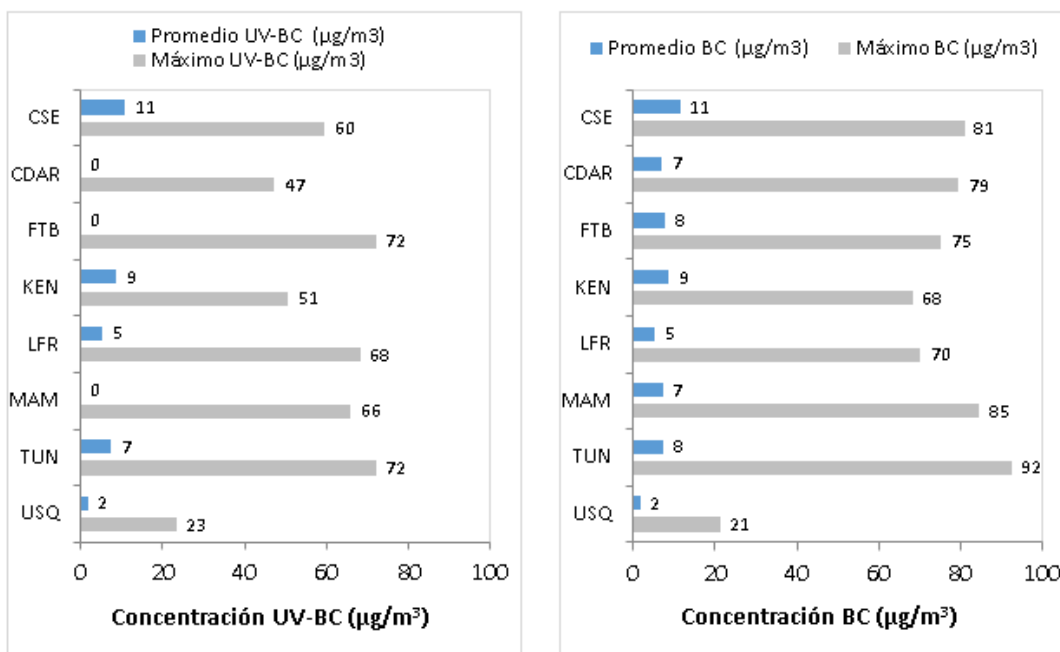
En la tabla 7-1 se registran los promedios anuales de Black Carbon en el 2019, los valores máximos, porcentaje de datos capturados. Con respecto a los promedios anuales registrados de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC), los más altos se presentaron en la estación de Carvajal – Sevillana, con un valor de 11 µg/m<sup>3</sup> respectivamente; las demás concentraciones se encuentran por debajo de 8 µg/m<sup>3</sup> y el registro anual más bajo se presentó en la estación de Usaquén con 2 µg/m<sup>3</sup>.

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<sup>3</sup>, mientras que las concentraciones máximas de Black Carbon (BC) se presentaron en la estación de Tunal con 92 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 7-1. Estadísticas de las concentraciones anuales de Black Carbon registradas en el año 2019

Estación	Promedio anual UV-BC (µg/m <sup>3</sup> )	Conc. Max UV-BC (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio anual BC (µg/m <sup>3</sup> )	Conc. Max BC (µg/m <sup>3</sup> )	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  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Kennedy con  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los meses de febrero y marzo, y los registros mensuales más bajos corresponden a las estaciones de Las Ferias con  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Usaquén con  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los meses de junio y julio.

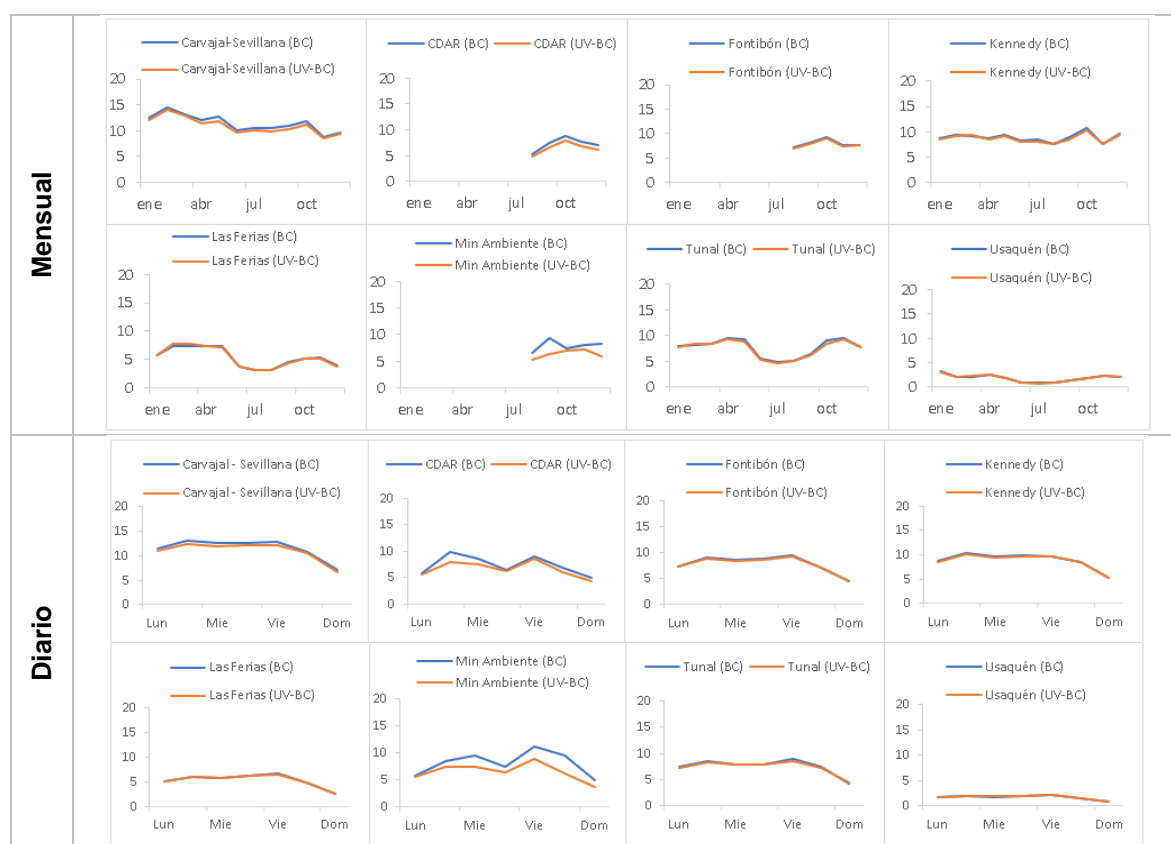
En cuanto al comportamiento diario de las concentraciones de Black Carbon, se evidencia que las concentraciones más altas de Brown Carbon (UV-BC) y Black Carbon (BC) se registran el día martes para las estaciones de Carvajal – Sevillana, Centro de Alto Rendimiento y Kennedy; cabe resaltar que la estación 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  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el promedio más bajo corresponde a la estación de Usaquén con  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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 emisoras como las industrias y el aumento del tráfico vehicular.



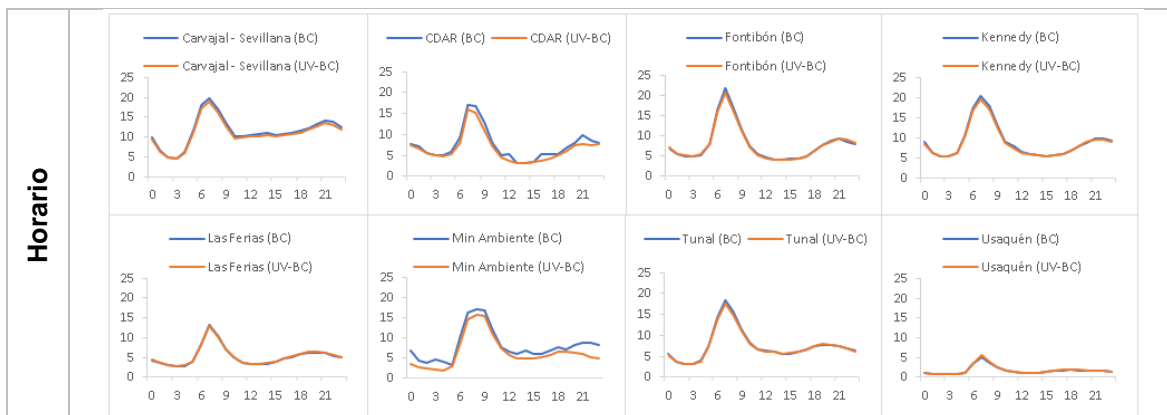


Figura 7-1. Comportamiento mensual, diario y horario de las concentraciones de Black Carbon y Brown carbon en 2019

### 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.

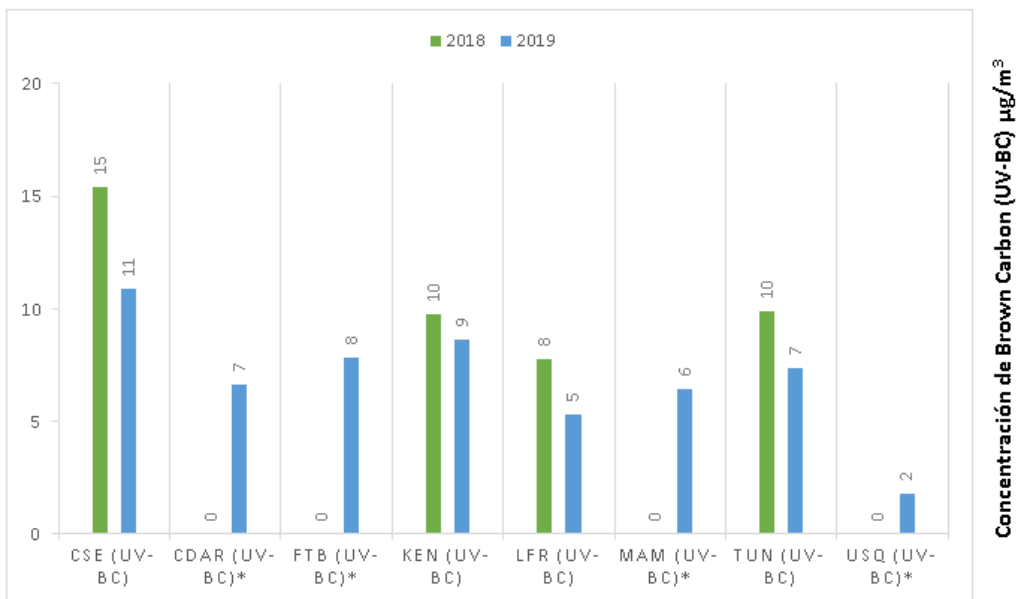


Figura 7-2. Concentraciones anuales de Brown Carbon años 2018 a 2019

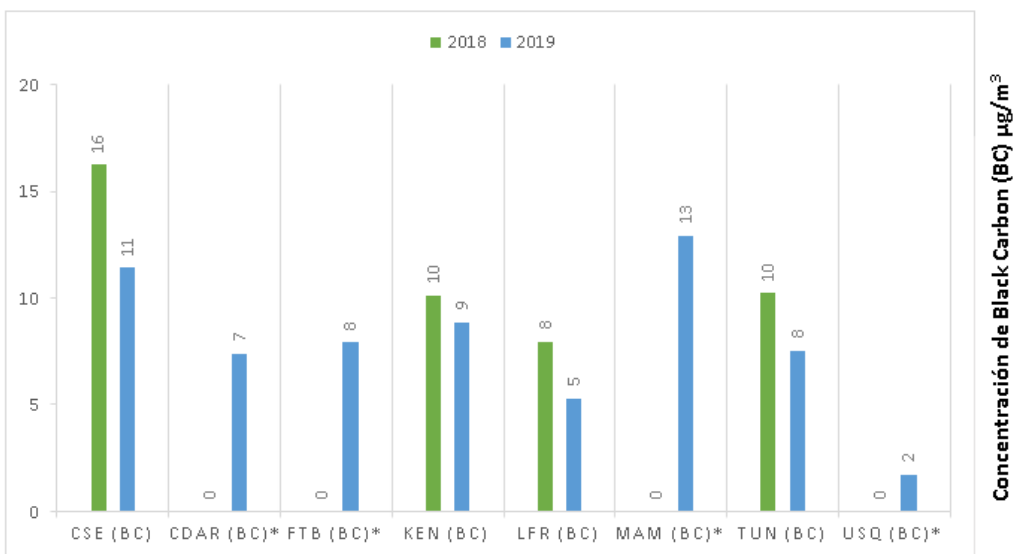


Figura 7-3. Concentraciones anuales de Black Carbon años 2018 a 2019

## 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).<sup>3</sup> 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 <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	CO µg/m <sup>3</sup> 8 horas	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 8 horas	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 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

<sup>3</sup> <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 <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup> 24 horas	CO µg/m <sup>3</sup> 8 horas	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup> 1 hora	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 8 horas	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup> 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:

$$ICA_p = \frac{I_{alto} - I_{bajo}}{PC_{alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

Donde:

ICA<sub>p</sub>: Índice de calidad del aire para contaminante P      PC<sub>bajo</sub>: Punto de corte menor o igual a C<sub>p</sub>  
C<sub>p</sub>: Concentración registrada para el contaminante P      I<sub>alto</sub>: Valor del ICA para PC<sub>alto</sub>  
PC<sub>alto</sub>: Punto de corte mayor o igual a C<sub>p</sub>                      I<sub>bajo</sub>: Valor del ICA para PC<sub>bajo</sub>

En la Figura 8-1 se muestran los porcentajes por condición de calidad del aire del ICA para los contaminantes PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> durante el año 2019, las franjas en gris indican el porcentaje de datos faltantes en la estación. Se puede observar que para el PM<sub>10</sub> 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<sub>2.5</sub>, 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.

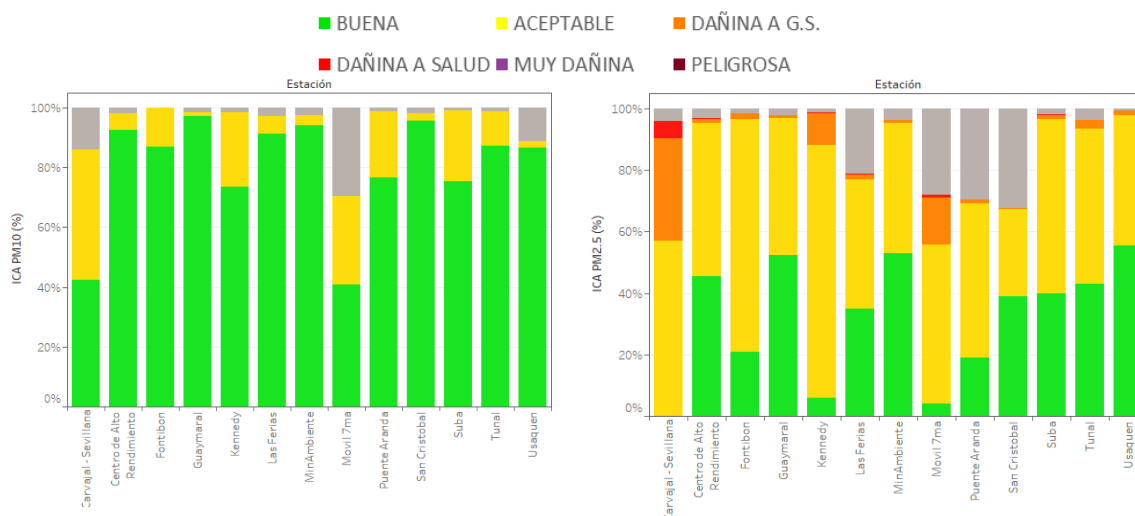


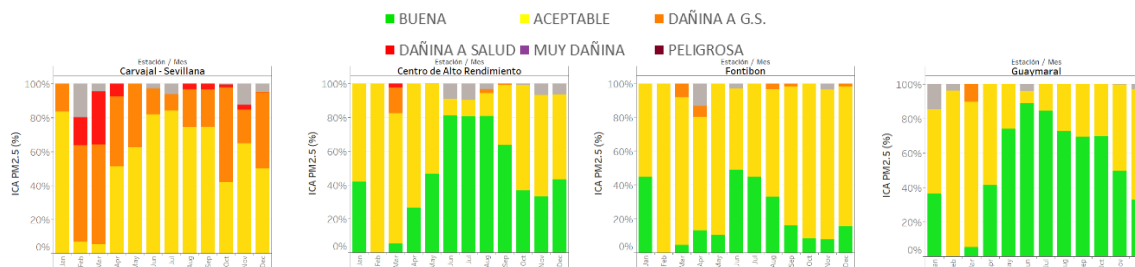
Figura 8-1. ICA por estación para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> año 2019



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<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub>, 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<sub>10</sub>. Año 2019



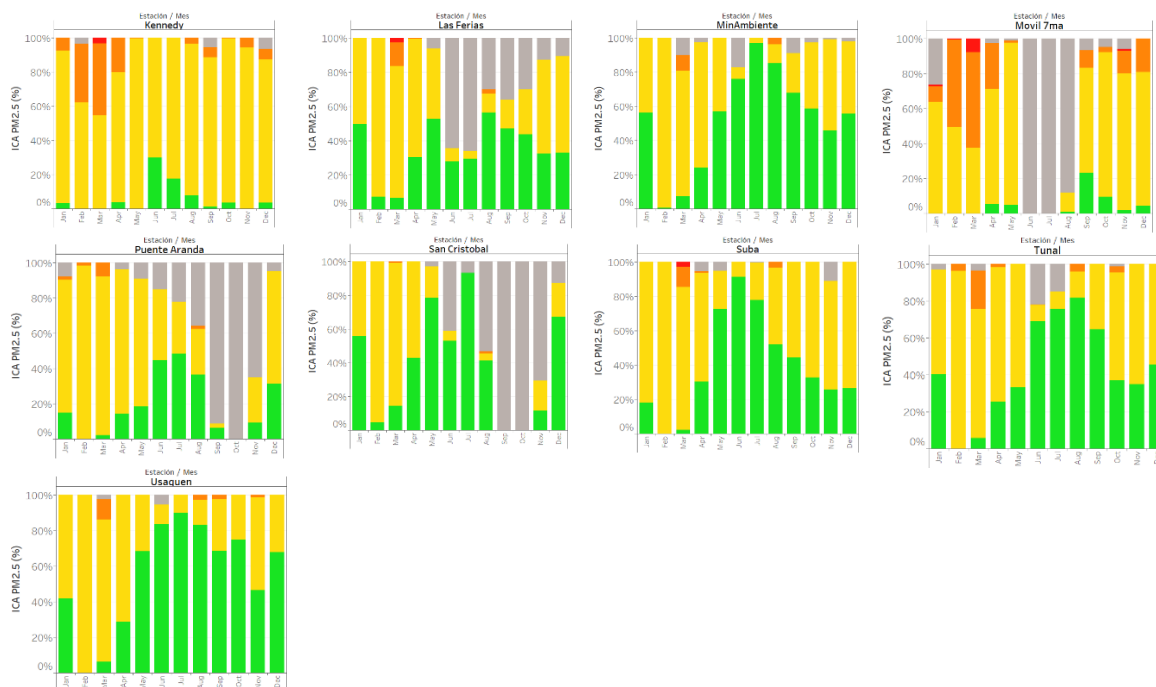


Figura 8-3. ICA por mes del año y por estación para PM<sub>2.5</sub>. Año 2019

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.

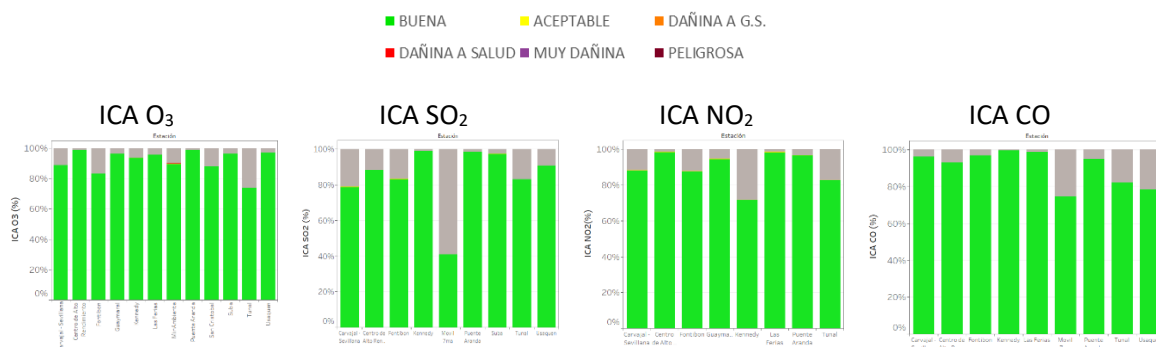


Figura 8-4. ICA por estación para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO. Año 2019

## 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<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>) 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 <sup>1</sup>					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta <sup>2</sup>	PM 10, 24h (µg/m <sup>3</sup> )	PM2.5, 24h (µg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> , 8h (µg/m <sup>3</sup> ) [ppb]	CO, 8h (µg/m <sup>3</sup> ) [ppm]	SO <sub>2</sub> , 1h (µg/m <sup>3</sup> ) [ppb]	NO <sub>2</sub> , 1h (µg/m <sup>3</sup> ) [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 <sup>3</sup>	Muy Mala	Alerta Roja <sup>3</sup>	(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 <sup>4</sup>	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:

$$IBOCA_p = \frac{I_{mayor} - I_{menor}}{C_{mayor} - C_{menor}} * (C_p - C_{menor}) + I_{menor}$$

Donde:

IBOCA<sub>p</sub>: Índice para contaminante P

C<sub>menor</sub>: Concentración menor o igual a C<sub>p</sub>

C<sub>p</sub>: Concentración registrada para el contaminante P

I<sub>mayor</sub>: Valor del IBOCA para C<sub>mayor</sub>

C<sub>mayor</sub>: Concentración mayor o igual a C<sub>p</sub>

I<sub>menor</sub>: Valor del IBOCA para C<sub>menor</sub>

En la Figura 8-5 se muestra el IBOCA por estación de monitoreo con base en los datos de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> 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<sub>10</sub>, 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<sub>2.5</sub> 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.

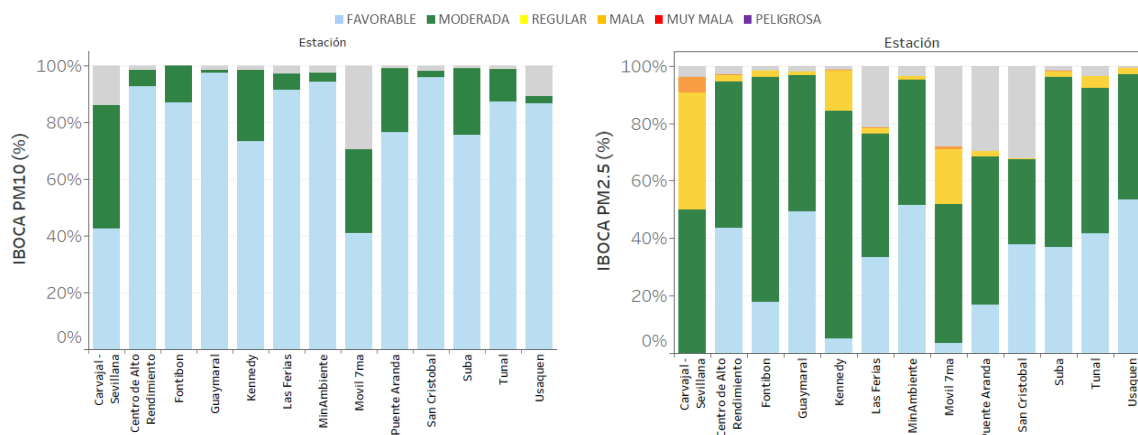
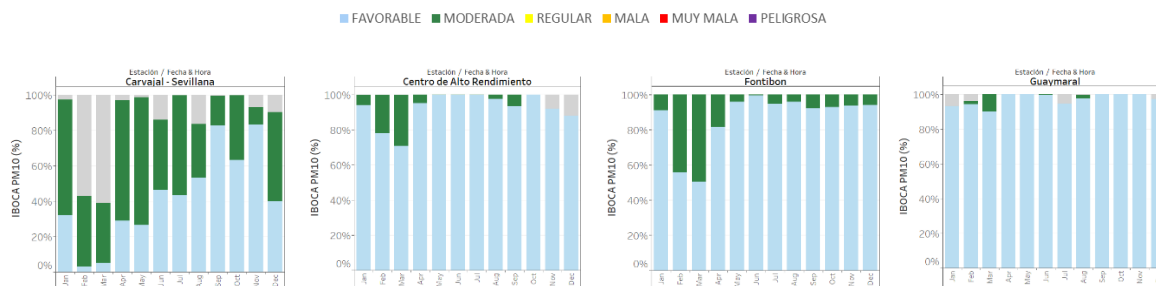


Figura 8-5. IBOCA por estación de monitoreo para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Año 2019

En la Figura 8-6 y la Figura 8-7 se presenta el IBOCA de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, 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<sub>2.5</sub>, 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.



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

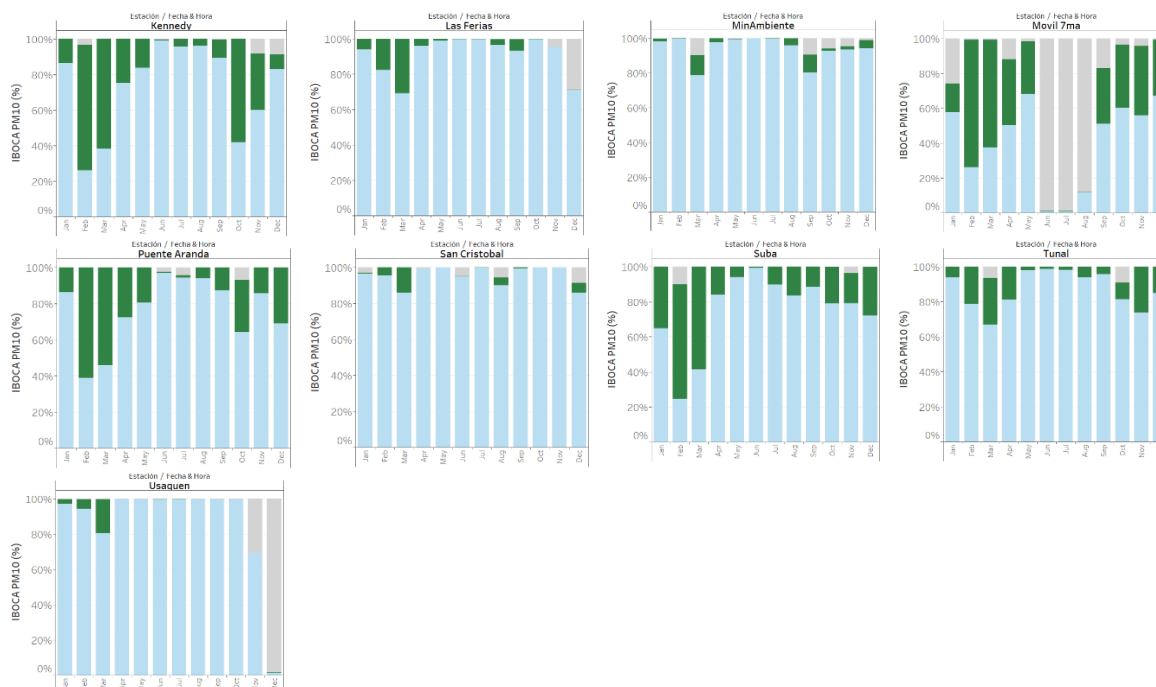
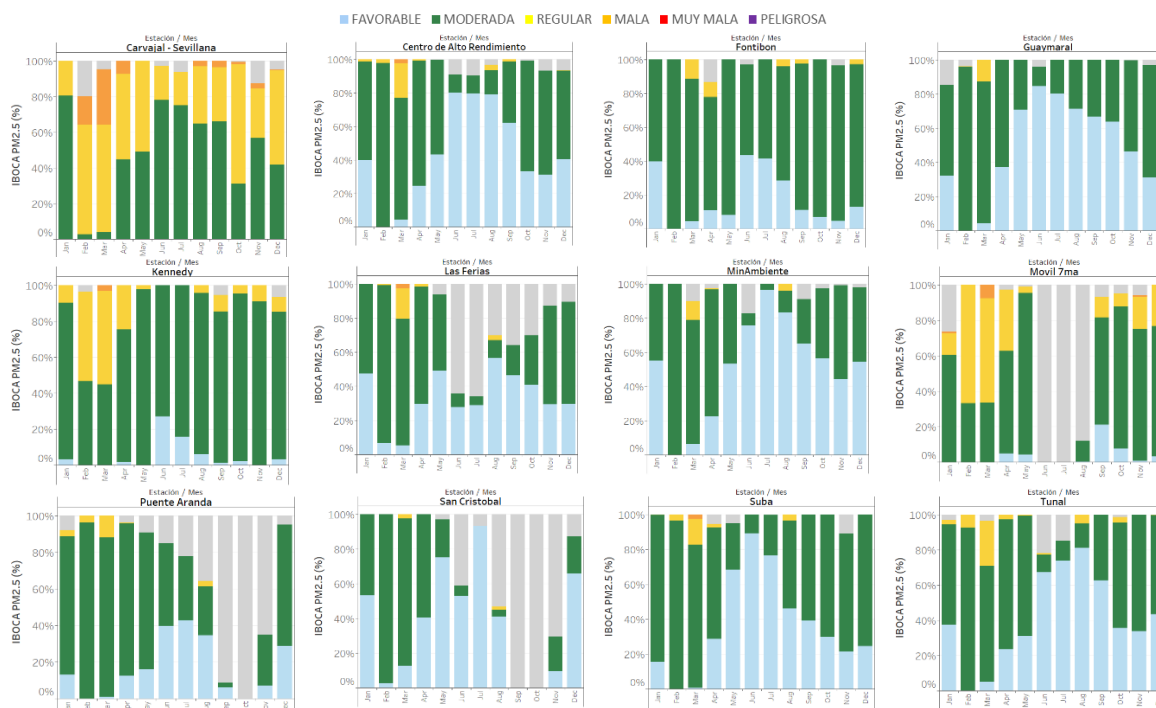


Figura 8-6. IBOCA por mes del año para PM<sub>10</sub>. Año 2019



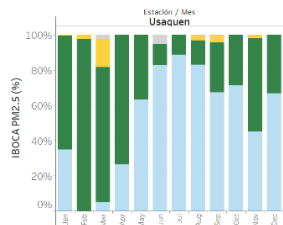


Figura 8-7. IBOCA por mes del año para PM<sub>2.5</sub>. Año 2019

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<sub>3</sub>, pero se registraron en un porcentaje menor al 0.2% del año.

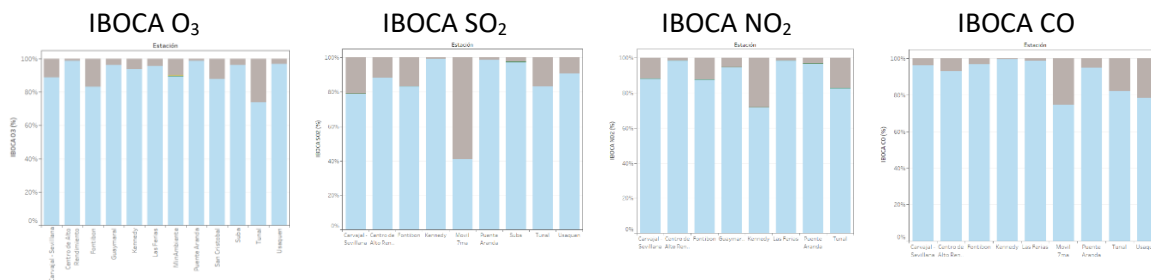


Figura 8-8. IBOCA por estación para O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO. Año 2019

---

## 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.

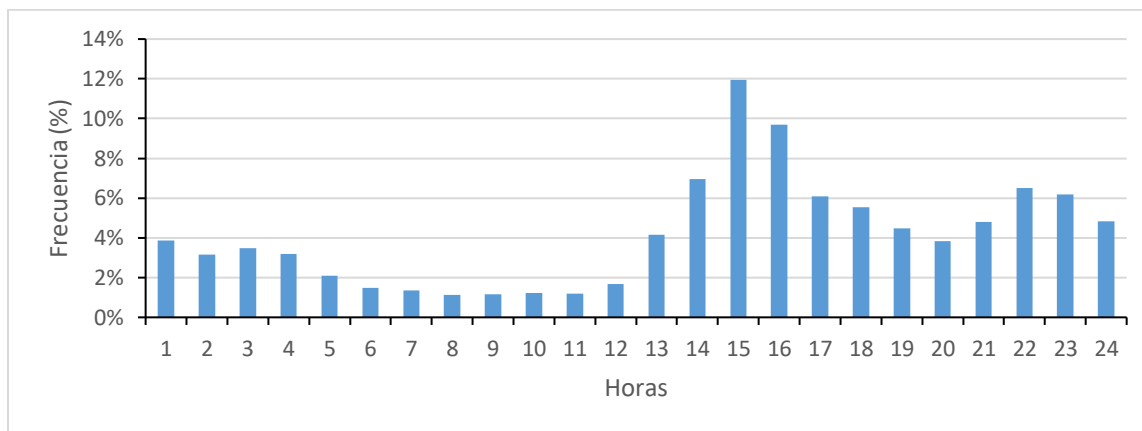


Figura 9-1. Comportamiento diario de la precipitación - 2019

### 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 acumulado del 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 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

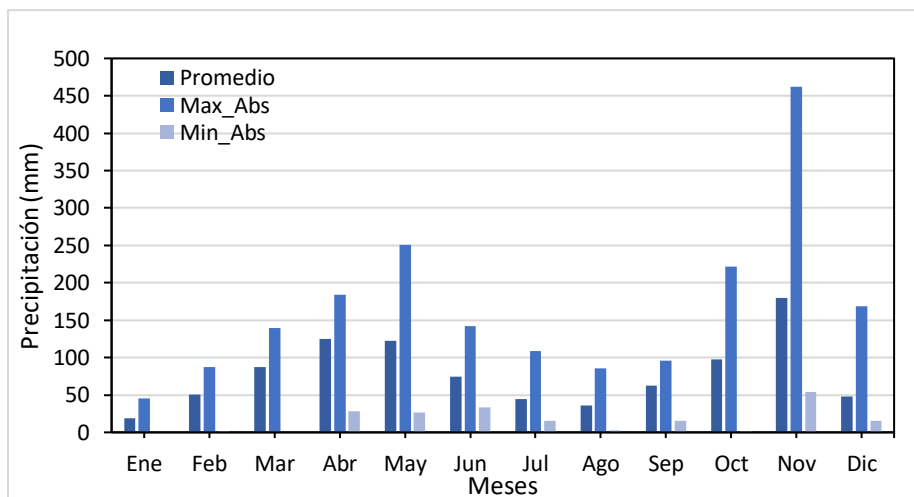


Figura 9-2. Valores medios máximos y mínimos absolutos de precipitación durante 2019

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.

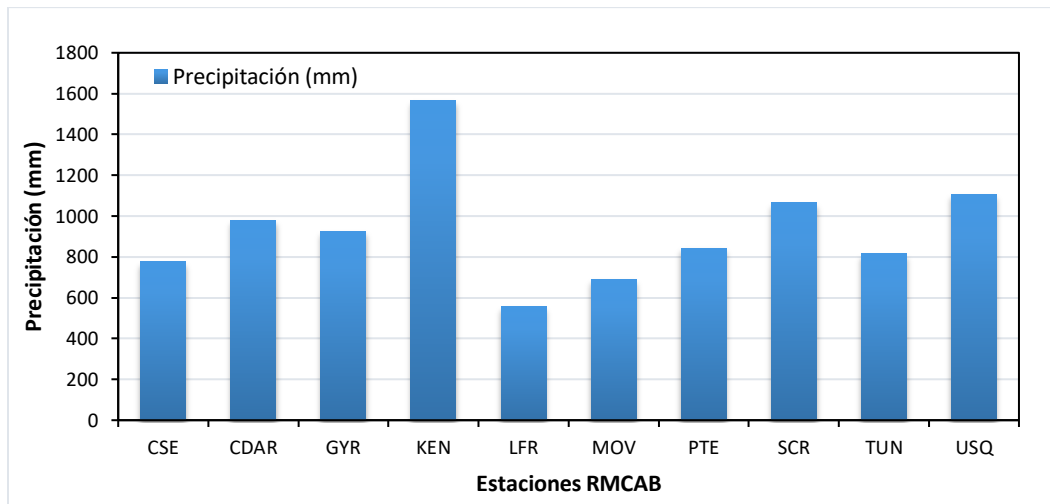


Figura 9-3. Total acumulado por estación en 2019

### 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.

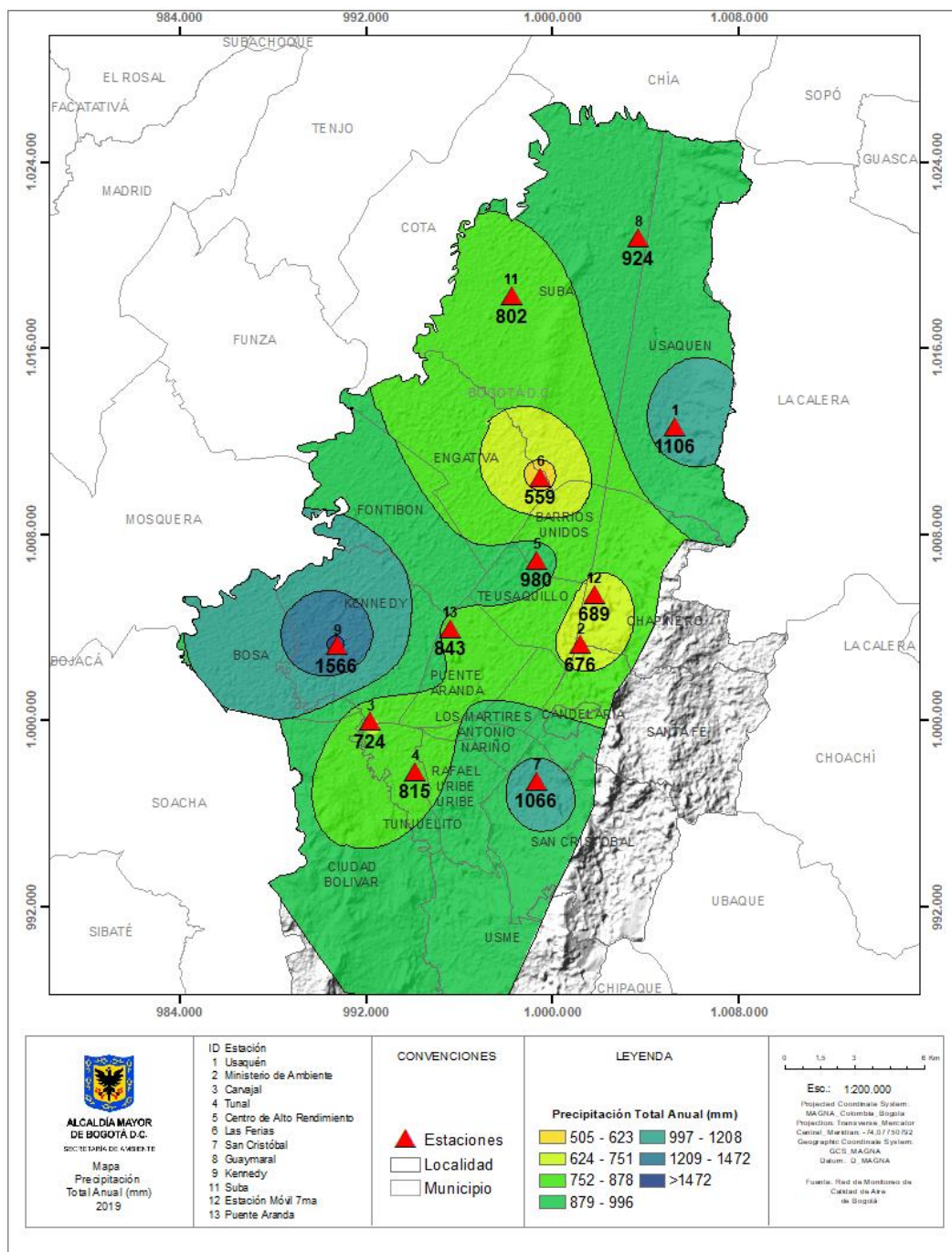


Figura 9-4. Mapa de distribución espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá - RMCAB 2019

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

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

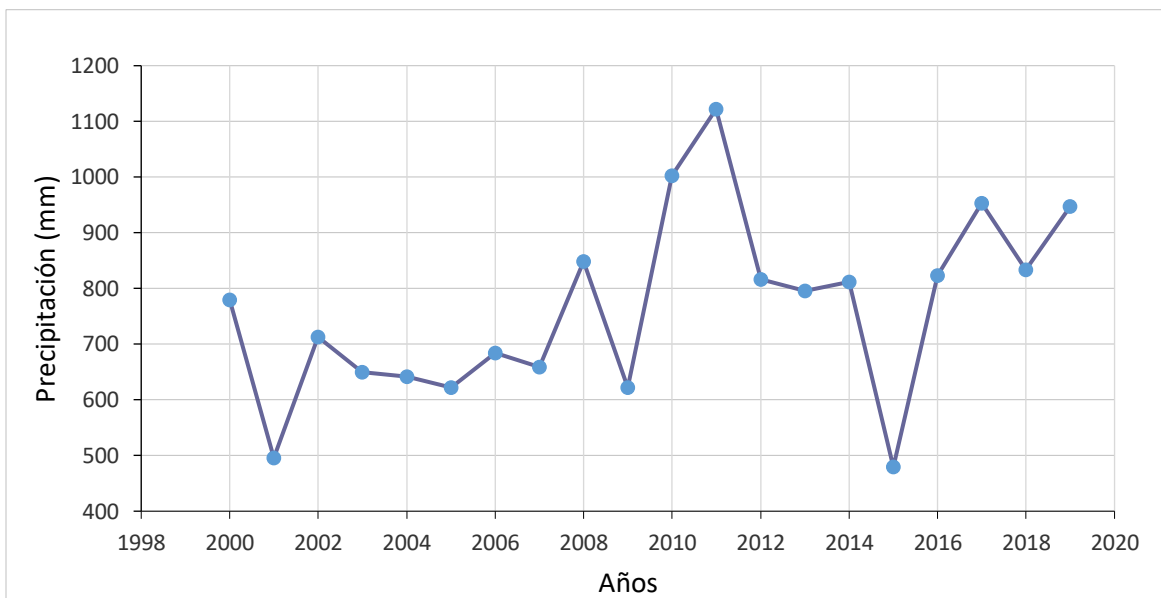


Figura 9-5. Variación anual de la precipitación en Bogotá - RMCAB 2000-2019

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	<b>779,7</b>
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	<b>496,2</b>
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	<b>712,5</b>
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	<b>649,3</b>
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	<b>641,4</b>
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	<b>621,9</b>
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	<b>684,6</b>
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	<b>659,2</b>
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	<b>848,7</b>
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	<b>621,9</b>
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	<b>1002,3</b>
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	<b>1122,0</b>
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	<b>816,5</b>
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	<b>795,6</b>
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	<b>811,6</b>
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	<b>479,2</b>

**INFORME ANUAL**

	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	<b>823,0</b>
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	<b>953,4</b>
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	<b>833,0</b>
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	<b>947,0</b>
<b>Promedio 2000-2019</b>	<b>33,0</b>	<b>59,5</b>	<b>81,6</b>	<b>96,8</b>	<b>83,6</b>	<b>50,2</b>	<b>36,6</b>	<b>29,5</b>	<b>41,8</b>	<b>89,3</b>	<b>103,7</b>	<b>59,3</b>	<b>746,6</b>

Fuente: RMCAB 2019

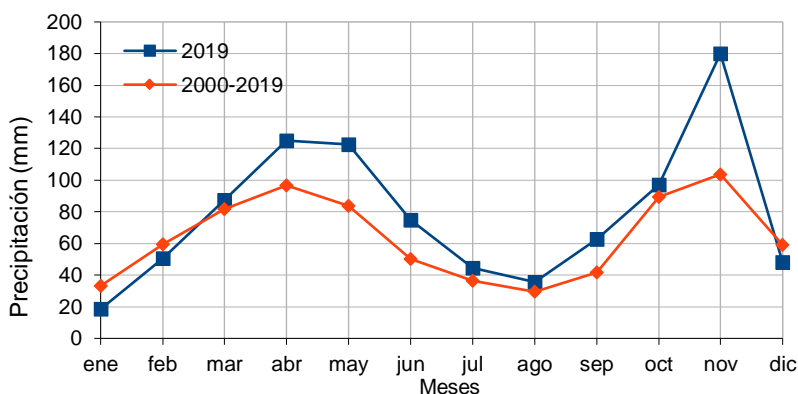


Figura 9-6. Precipitación promedio histórica mensual Vs total anual de 2019. RMCAB 2000 - 2019

## 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 quemaduras 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 Férias	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
<b>Promedio</b>	<b>14,7</b>	<b>15,8</b>	<b>15,5</b>	<b>14,8</b>	<b>15,1</b>	<b>14,5</b>	<b>14,9</b>	<b>16,6</b>	<b>14,8</b>	<b>14,2</b>	<b>13,5</b>	<b>16,2</b>

Fuente: RMCAB 2019



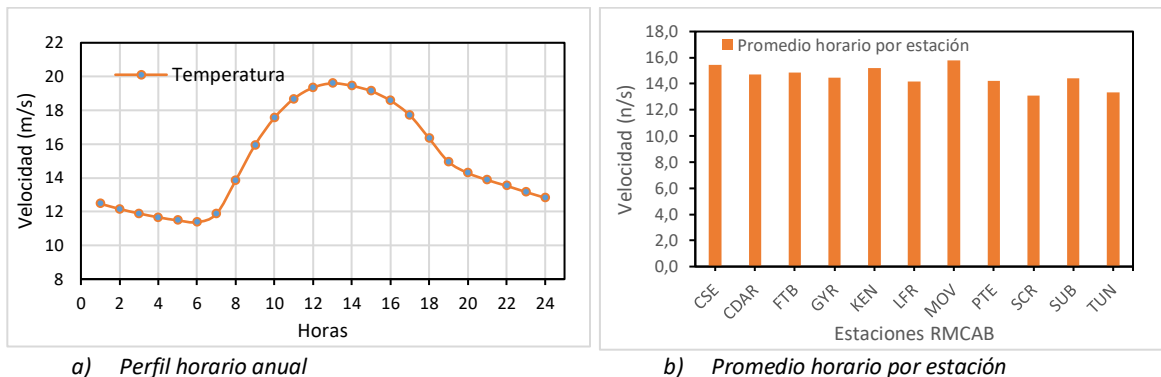


Figura 9-7. Comportamiento de la temperatura horaria anual-2019: a) perfil horario; b) promedio por estación

### 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

**INFORME ANUAL**

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
<b>Promedio 2000-2019</b>	<b>14,1</b>	<b>14,4</b>	<b>14,7</b>	<b>14,6</b>	<b>14,6</b>	<b>14,2</b>	<b>14,0</b>	<b>14,1</b>	<b>14,3</b>	<b>14,4</b>	<b>14,4</b>	<b>14,2</b>	<b>14,3</b>
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

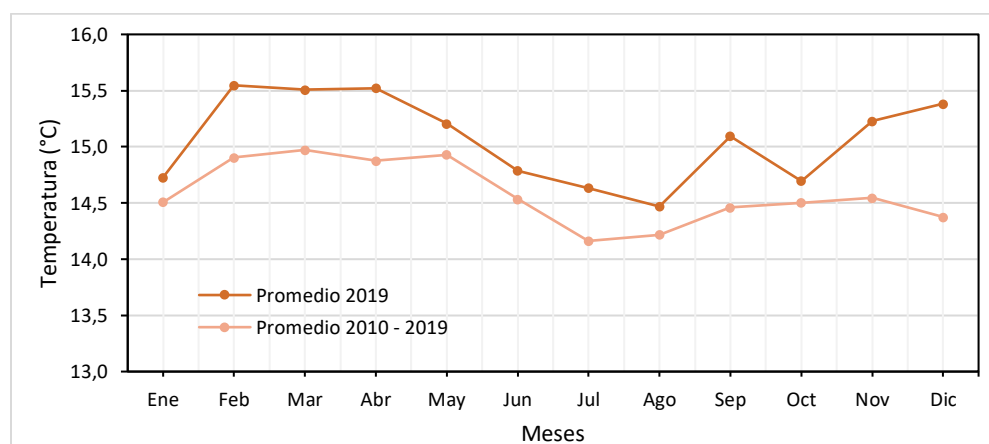


Figura 9-8. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2019 Vs 2019

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

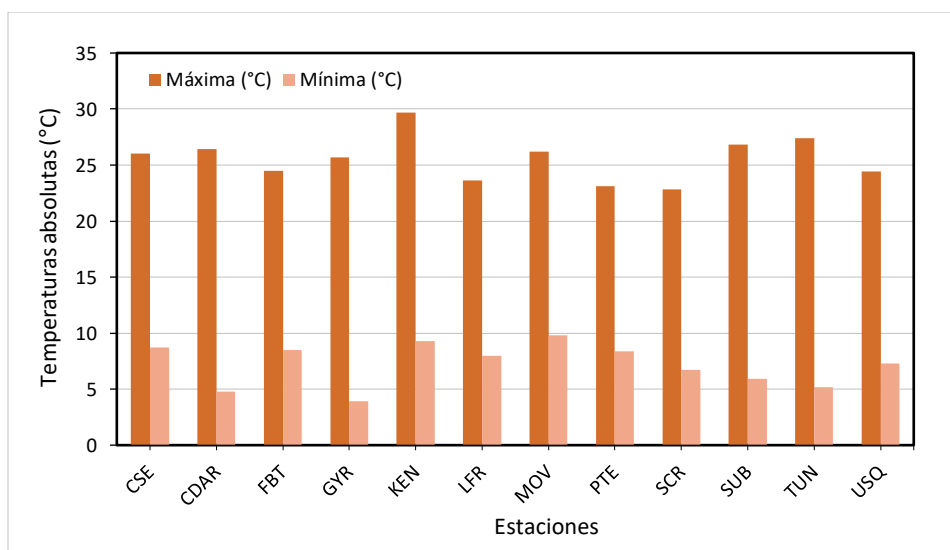


Figura 9-9. Temperaturas extremas absolutas año 2019

### 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.

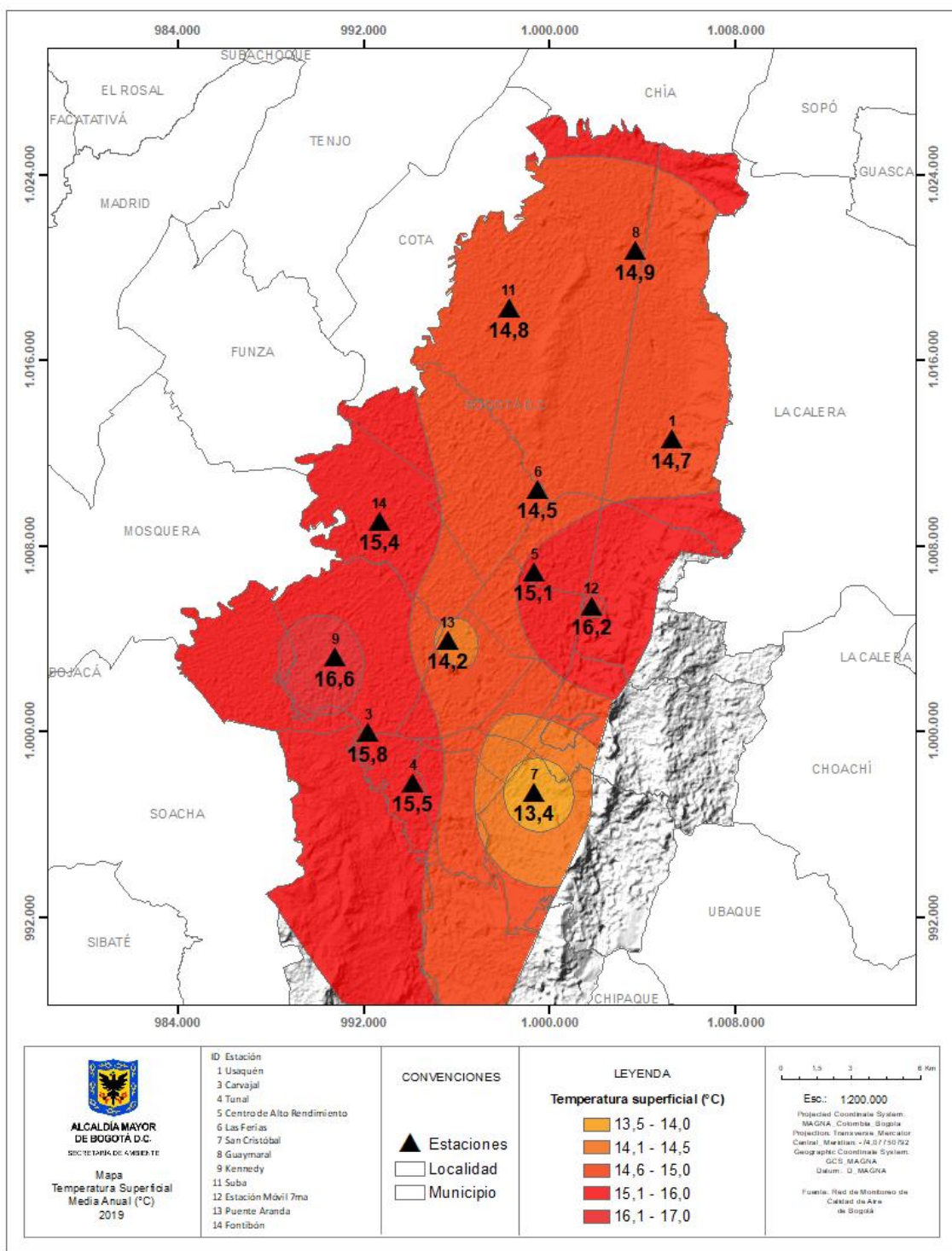


Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB -2019

#### **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.

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

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

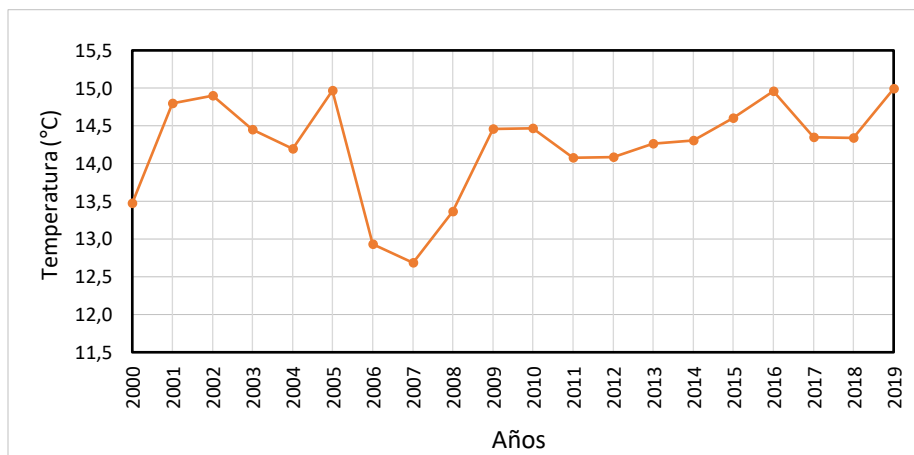


Figura 9-11. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2019

### 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.

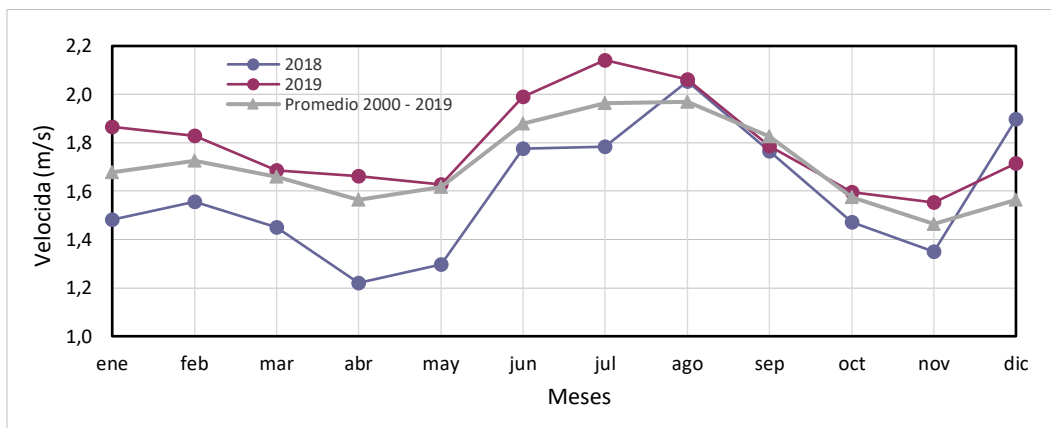


Figura 9-12. Comportamiento mensual de la velocidad del viento (2000 – 2019) Vs. 2018 y 2019.

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 Usaqué, 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

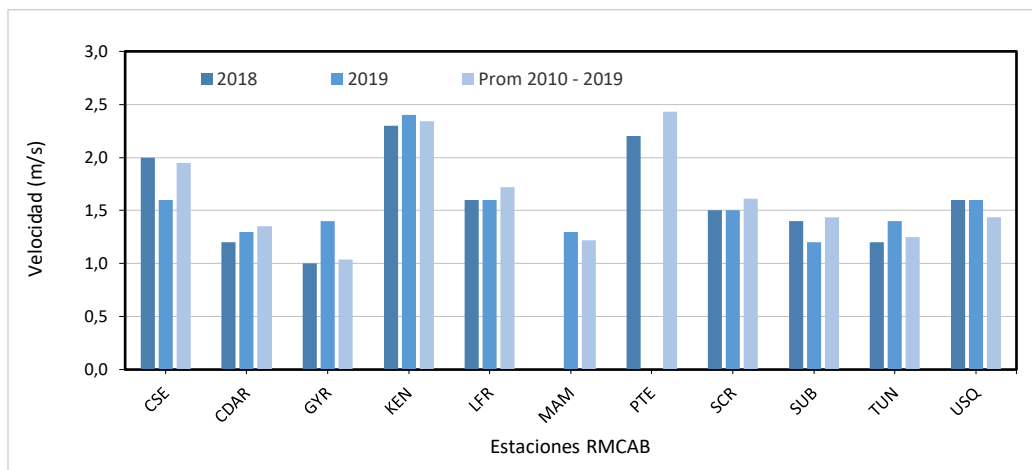


Figura 9-13. Comportamiento de la velocidad del viento promedio anual 2018 vs. 2019.

### 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	<b>1,8</b>
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	<b>1,6</b>
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	<b>1,5</b>
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	<b>1,6</b>
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	<b>1,5</b>
<b>Promedio 2000 - 2019</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>

Fuente: RMCAB 2019

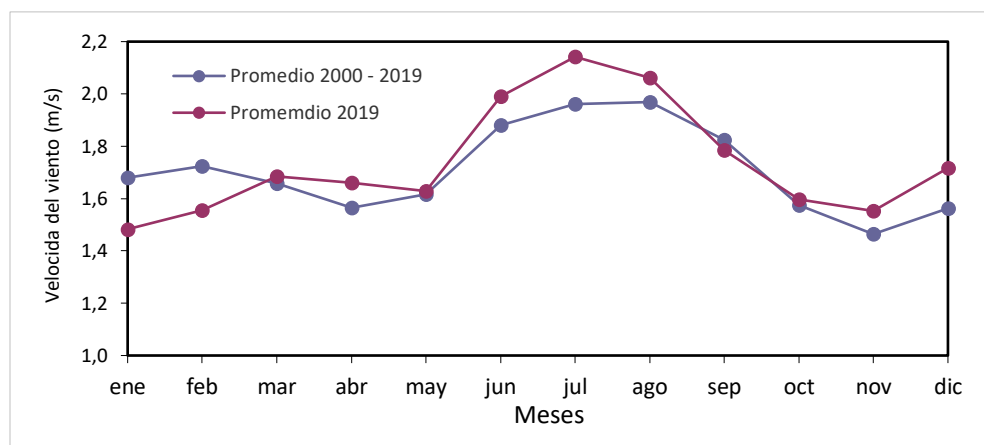
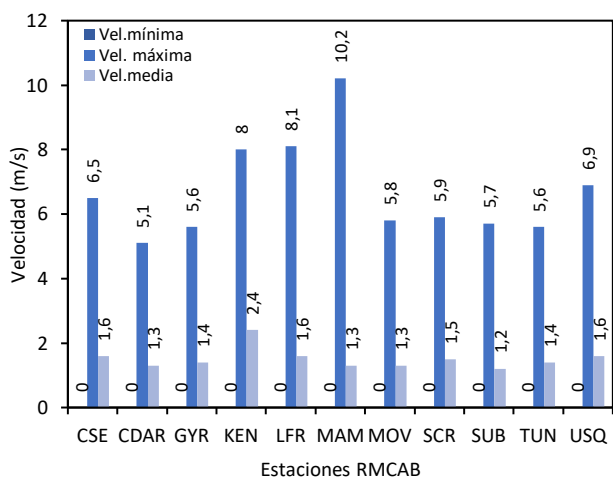


Figura 9-14. Comportamiento de la velocidad media mensual en 2019 vs. promedio mensual multianual 2000 - 2019

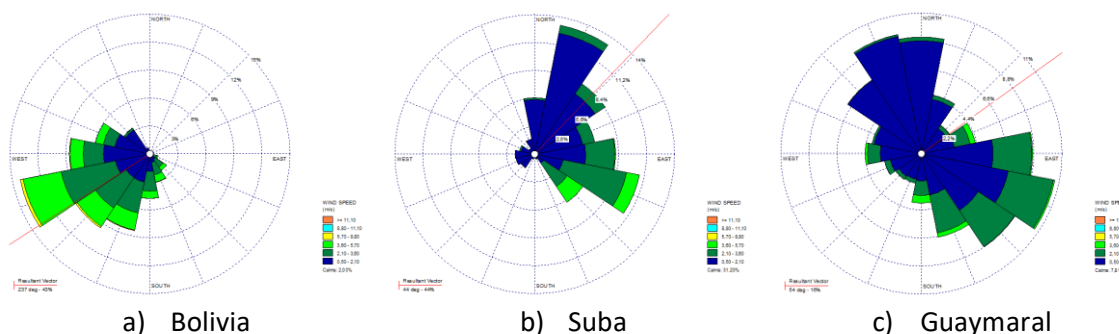
Como información adicional se presenta en la Figura 9-15 los valores medios máximos y mínimos absolutos registrados durante el año 2019, por cada una de las estaciones de la RMCAB. De esta figura se sustrae que para el período del estudio las máximas velocidades absolutas se registraron, hacia los sectores 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
<b>Promedio Ciudad</b>	<b>0</b>	<b>6,9</b>	<b>1,6</b>

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.



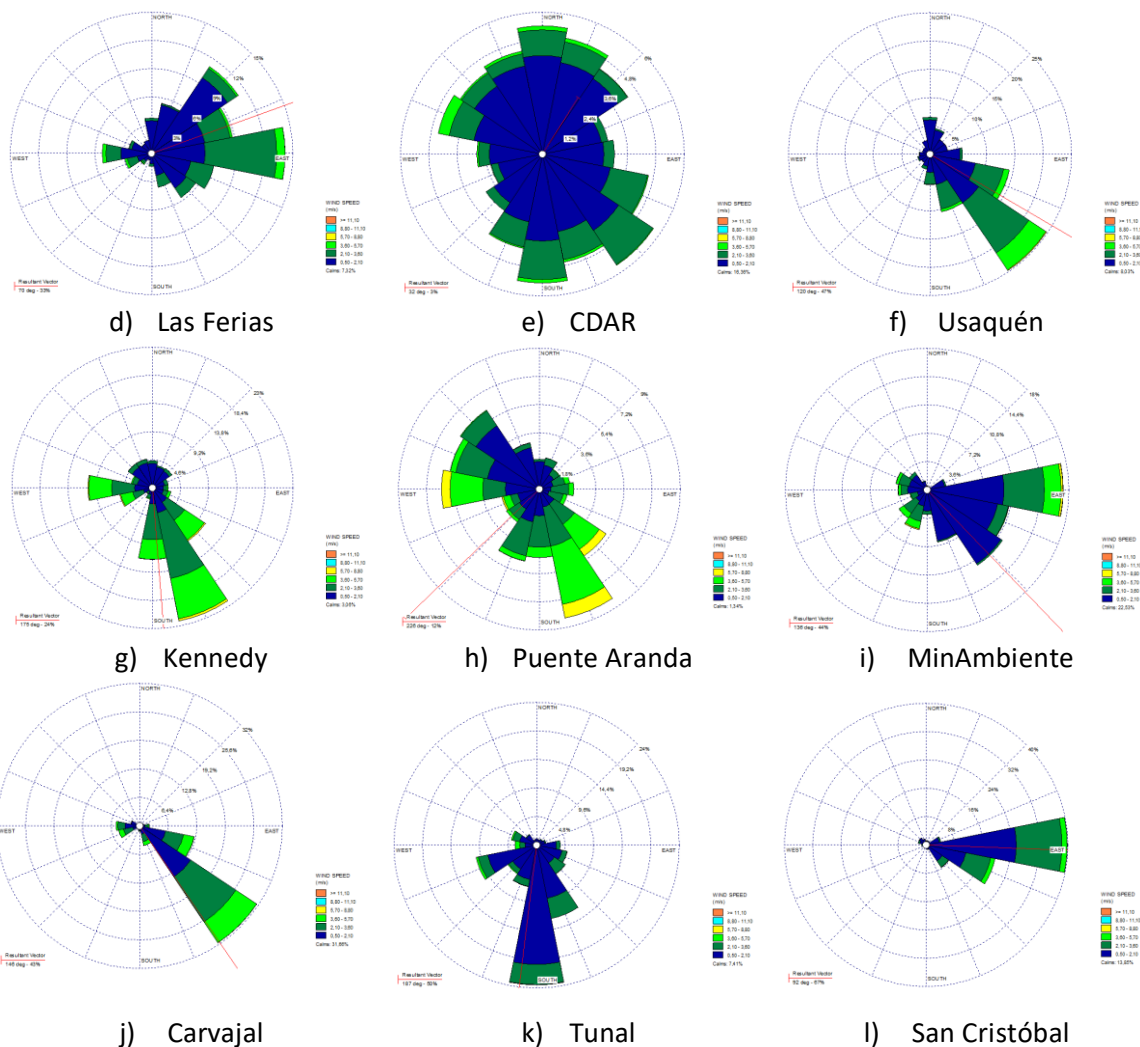


Figura 9-16. Rosas de viento consolidadas por estación – 2019

### 9.3.3. PROMEDIOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO

Como quiera que la magnitud de la velocidad de los vientos depende del ciclo diario 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
<b>Promedio</b>	<b>0,9</b>	<b>1,5</b>	<b>2,3</b>	<b>1,3</b>	-	-	-	-

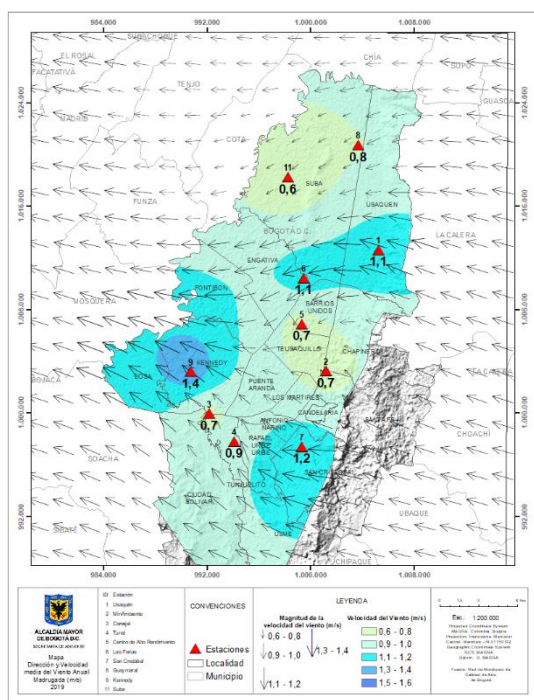
Fuente: RMCAB 2019

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 fracciones del día, durante el año 2019, fueron como a continuación se describe:

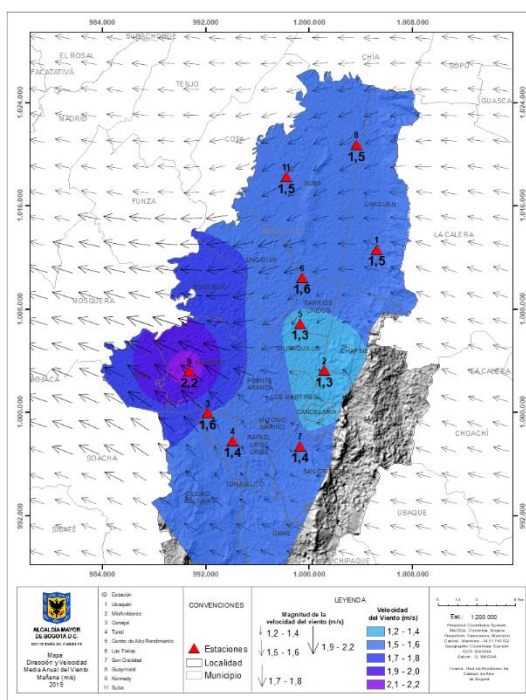
En las madrugadas hubo predominio de vientos del oriente; en las mañanas las condiciones se mantuvieron idénticas que en horas de la madrugada, es decir, prevalecieron los vientos del oriente; en las tardes predominan los vientos alisios del sur oriente en el flanco oriental de la ciudad, y vientos del 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



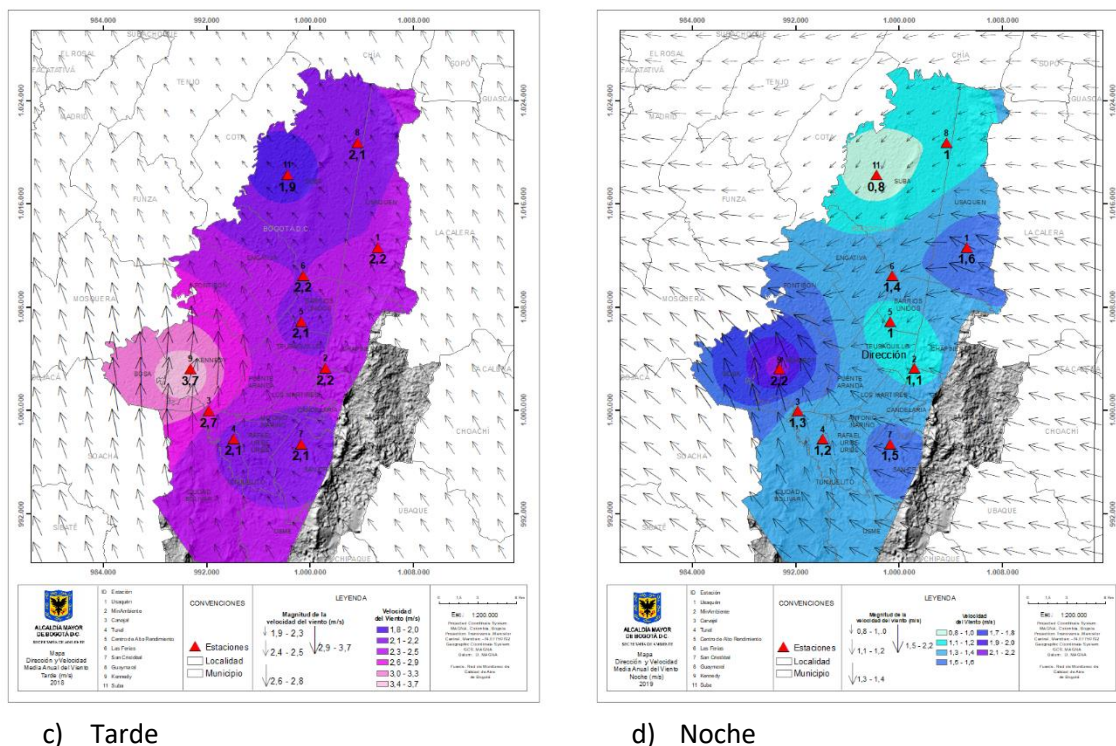


Figura 9-17. Comportamiento del viento promedio en diferentes fracciones de un día del año: a) Madrugada, b) Mañana c) Tarde y d) Noche. RMCAB – 2019

### 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.

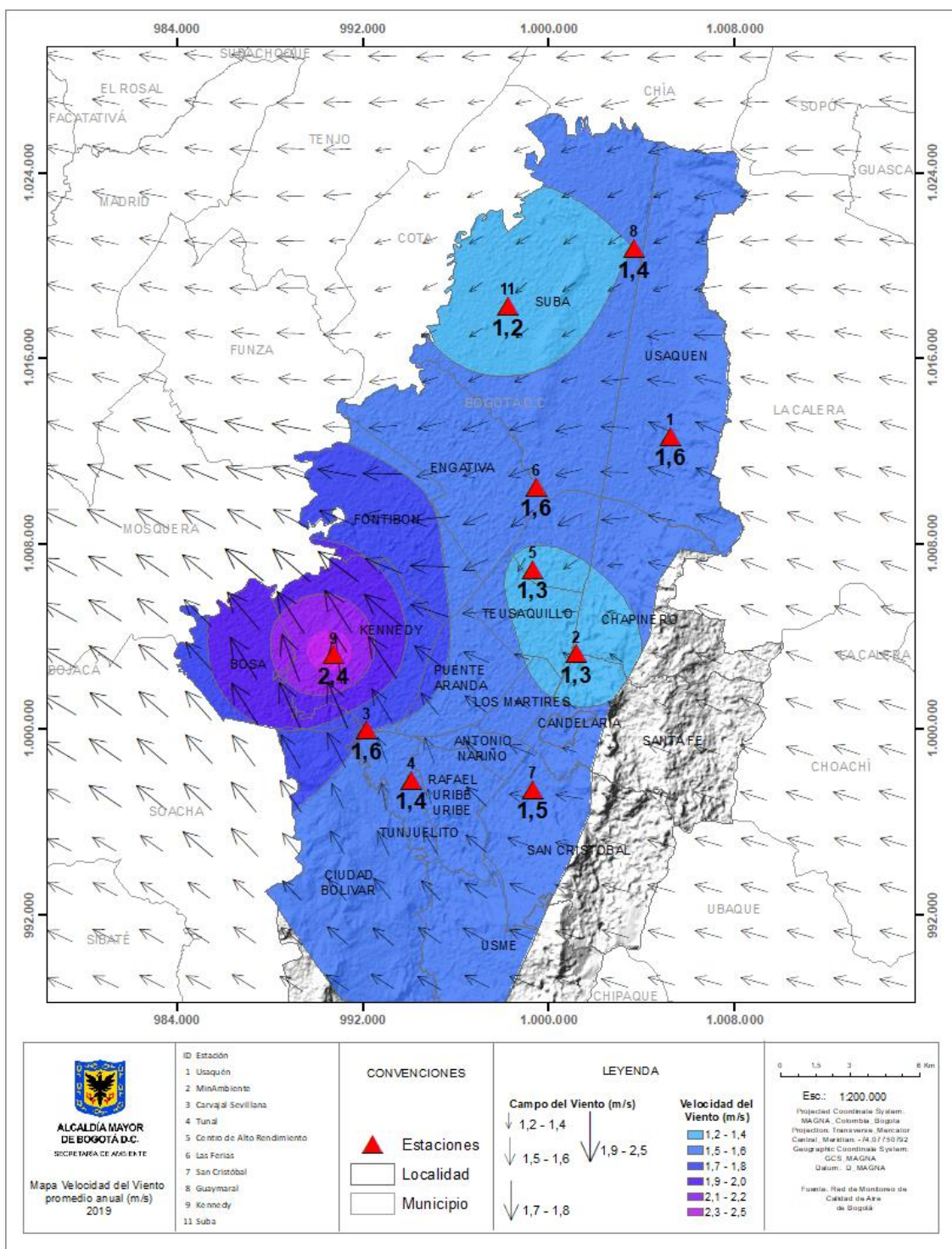


Figura 9-18. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2019



### **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.

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

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

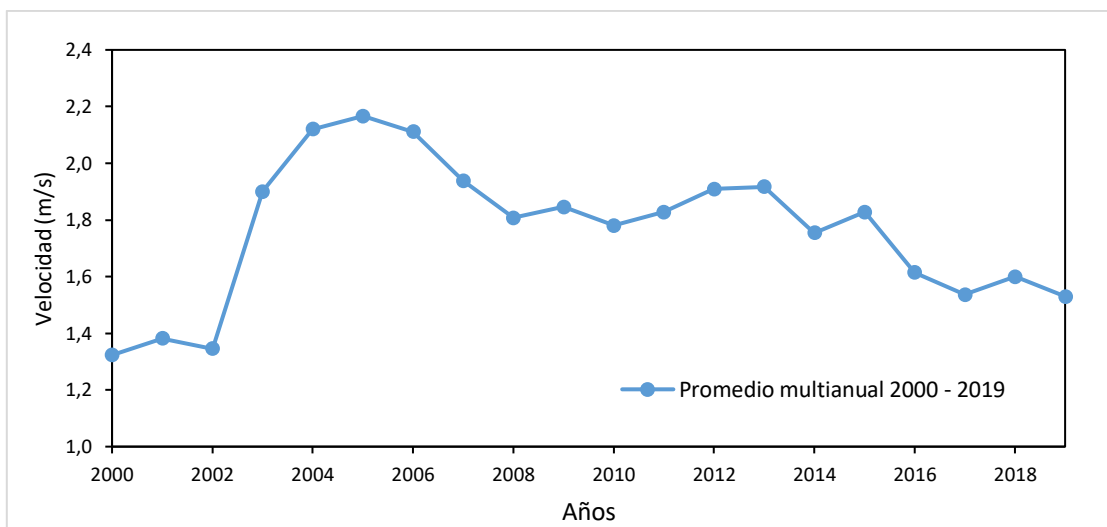


Figura 9-19. Comportamiento medio multianual de la velocidad del viento en Bogotá entre 2000 a 2019

#### 9.4. RADIACION SOLAR

El Sol es la fuente principal de energía para la mayor parte de los procesos que ocurren en 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, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio;
- 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<sup>2</sup>. Energía que fue acumulada de manera diferente durante el ciclo anual, en virtud de todas las transformaciones 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.

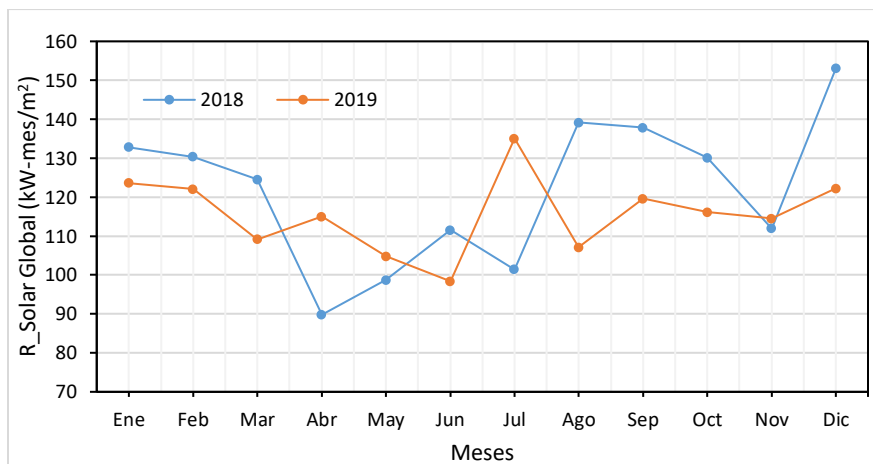


Figura 9-20. Comportamiento mensual de la radiación solar en 2019 vs. 2018

#### 9.4.2. PROMEDIOS DIARIOS DE RADIACIÓN SOLAR

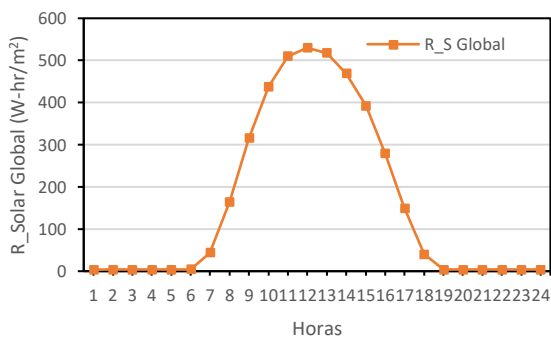
En la Tabla 9-13 se resume el comportamiento medio horario anual de la cantidad de energía recibida en cada una de las estaciones de la RMCAB. En esta se puede observar que en promedio la estación que mayor cantidad de energía acumuló durante el día fueron las estaciones de San Cristóbal, Tunal y La 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

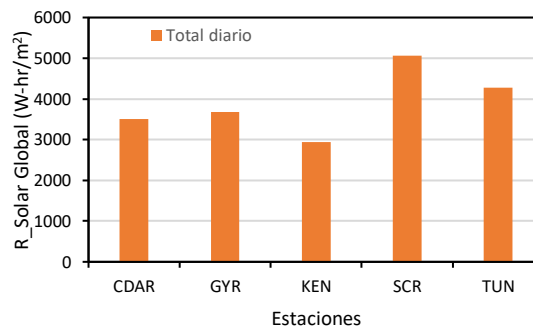
Hora	CDAR	GYR	KEN	MOV	SCR	TUN	Promedio
	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	W-hr/m²	
1:00	0,0	0,0	0,0	4,7	11,3	6,7	3,6
2:00	0,0	0,0	0,0	4,6	11,4	6,7	3,6
3:00	0,0	0,0	0,0	4,6	11,4	6,7	3,6
4:00	0,0	0,0	0,0	4,5	11,3	6,7	3,6
5:00	0,0	0,0	0,0	4,4	11,4	6,7	3,6
6:00	1,0	0,2	0,5	5,4	12,9	7,7	4,5
7:00	47,4	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/m <sup>2</sup>	W-hr/m <sup>2</sup>	W-hr/m <sup>2</sup>	W-hr/m <sup>2</sup>	W-hr/m <sup>2</sup>	W-hr/m <sup>2</sup>	
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
<b>Total</b>	<b>3503,9</b>	<b>3679,3</b>	<b>2940,6</b>	<b>4263,7</b>	<b>5069,8</b>	<b>4283,8</b>	

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.

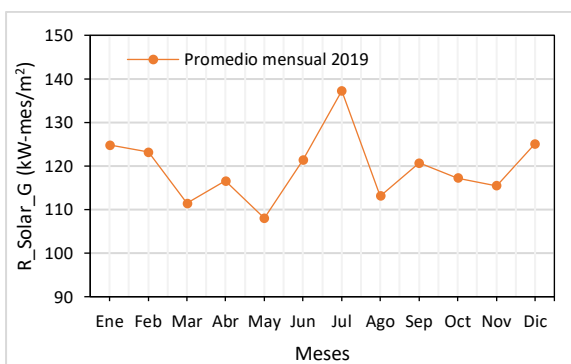
### 9.4.3. PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACIÓN SOLAR

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.

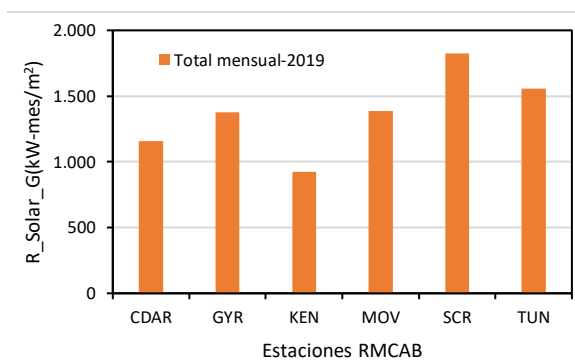
Tabla 9-14. Comportamiento mensual de los totales acumulados de radiación solar por estación (kW-mes/m<sup>2</sup>) - 2019

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	<b>1.156,0</b>
GYR	141	111	107	110	98	118	116	121	116	110	114	117	<b>1.377,7</b>
KEN	116	97	78	87	86	104	N.A	16	88	78	82	94	<b>923,7</b>
MOV	100	126	118	124	115	N.A	135	134	131	136	132	137	<b>1.388,3</b>
SCR	151	168	154	155	141	135	167	148	159	155	144	146	<b>1.822,8</b>
TUN	130	129	123	124	124	129	146	143	126	123	120	139	<b>1.556,5</b>
<b>Promedio 2019</b>	<b>125</b>	<b>123</b>	<b>111</b>	<b>117</b>	<b>108</b>	<b>121</b>	<b>137</b>	<b>113</b>	<b>121</b>	<b>117</b>	<b>115</b>	<b>125</b>	<b>1.370,8</b>

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

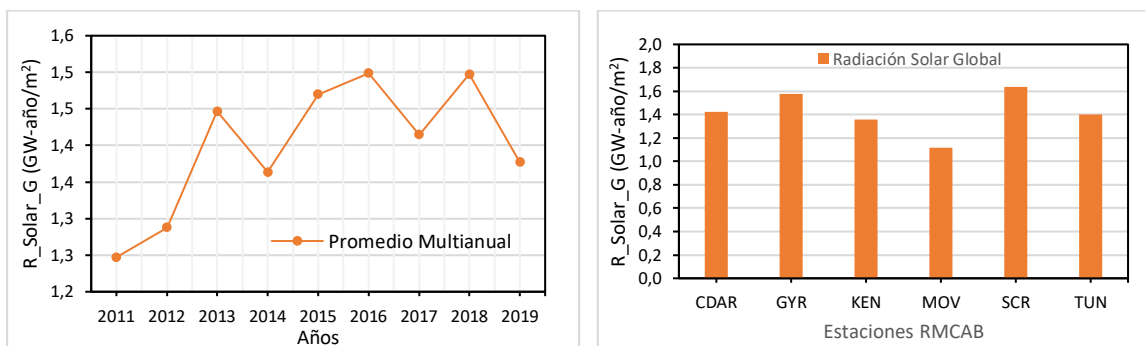
Del mismo modo que en el ciclo mensual así también se resume en la Tabla 9-15 el comportamiento multianual de los totales acumulados en la ciudad de Bogotá entre 2009 a 2019. Y de manera gráfica en la Figura 9-23 su distribución anual, y los totales anuales acumulados por cada una de las estaciones de 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<sup>2</sup>.

Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m<sup>2</sup> 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	<b>1,42</b>
GYR	1,63	NA	NA	1,58	1,55	1,51	1,49	1,68	1,64	1,41	1,34	<b>1,58</b>
KEN	NA	1,26	1,06	1,30	1,38	1,44	1,52	1,33	1,46	NA	0,80	<b>1,36</b>
MOV	NA	NA	NA	1,14	1,44	0,97	1,05	1,10	1,01	1,55	1,55	<b>1,12</b>
SCR	NA	NA	NA	0,83	NA	1,48	1,86	1,87	1,74	1,82	1,82	<b>1,63</b>

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	<b>1,40</b>
PROMEDIO	NA	<b>1,26</b>	<b>1,25</b>	<b>1,29</b>	<b>1,45</b>	<b>1,36</b>	<b>1,47</b>	<b>1,50</b>	<b>1,41</b>	<b>1,50</b>	<b>1,38</b>	<b>1,42</b>

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	<b>564,6</b>
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	<b>564,3</b>
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	<b>564,4</b>
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	<b>564,4</b>
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	<b>563,9</b>
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	<b>563,8</b>
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	<b>563,9</b>
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	<b>563,7</b>
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	<b>563,6</b>
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	<b>563,7</b>
<b>PROMEDIO 2010 - 2019</b>	<b>563,7</b>	<b>563,6</b>	<b>563,8</b>	<b>564,0</b>	<b>564,3</b>	<b>564,6</b>	<b>564,5</b>	<b>564,5</b>	<b>564,4</b>	<b>563,8</b>	<b>563,3</b>	<b>563,5</b>	<b>564,0</b>

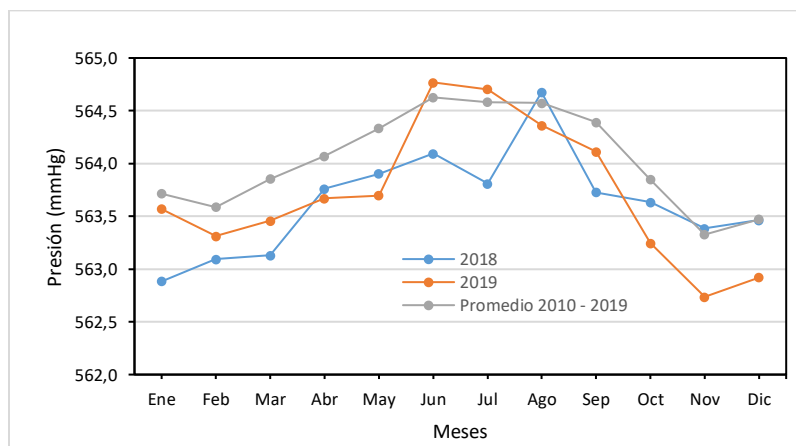


Figura 9-24. Comportamiento mensual de la presión en 2019 y 2018 frente al promedio mensual multianual 2010-2019

### 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

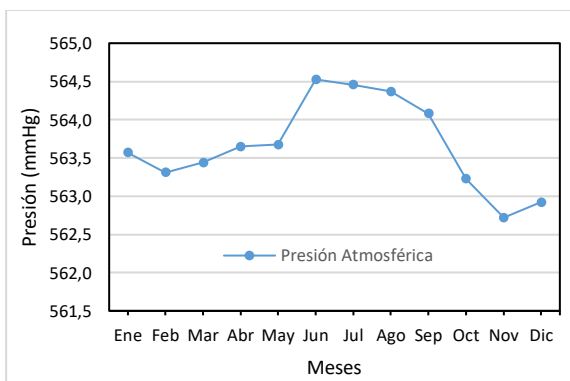


con las abundantes lluvias ocurridas durante el mes de noviembre de 2019, las cuales superaron los 450 mm. Sin embargo, durante el segundo trimestre del año, típicamente lluvioso, los niveles de presión atmosférica no alcanzaron valores tan bajos como los reportados durante el mes de noviembre. De allí que los niveles de precipitación, aunque abundantes, se distribuyeron de manera 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.

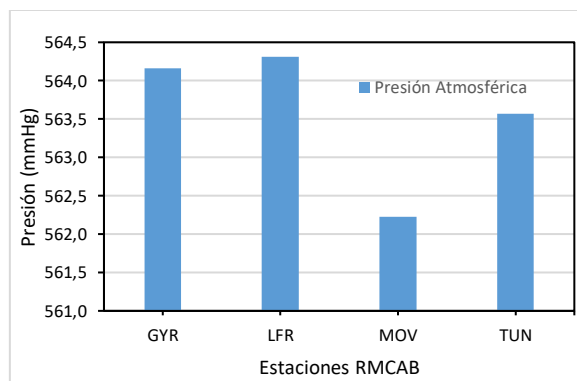
Tabla 9-17. Comportamiento promedio mensual de la presión por estación de la RMCAB en 2019

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 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 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	<b>563,9</b>
2:00	564,2	563,5	564,3	562,1	<b>563,6</b>
3:00	563,9	563,3	564,0	561,8	<b>563,3</b>
4:00	563,7	563,2	563,9	561,7	<b>563,2</b>
5:00	563,9	563,3	564,0	561,8	<b>563,2</b>
6:00	564,1	563,4	564,3	562,1	<b>563,5</b>
7:00	564,5	563,9	564,6	562,5	<b>563,9</b>
8:00	564,9	564,3	565,1	562,9	<b>564,2</b>
9:00	565,2	564,6	565,3	563,2	<b>564,5</b>
10:00	565,2	564,7	565,3	563,2	<b>564,6</b>
11:00	564,9	564,4	565,1	563,0	<b>564,4</b>
12:00	564,5	564,0	564,7	562,6	<b>564,0</b>
13:00	564,0	563,5	564,2	562,1	<b>563,5</b>
14:00	563,4	563,0	563,6	561,4	<b>563,0</b>
15:00	563,0	562,5	563,2	561,0	<b>562,4</b>
16:00	562,8	562,3	563,0	560,8	<b>562,2</b>
17:00	562,8	562,4	563,0	560,9	<b>562,2</b>
18:00	563,1	562,6	563,3	561,1	<b>562,5</b>
19:00	563,5	562,9	563,7	561,5	<b>563,0</b>
20:00	564,1	563,5	564,2	562,1	<b>563,5</b>
21:00	564,6	563,9	564,8	562,6	<b>564,0</b>
22:00	565,0	564,4	565,1	563,0	<b>564,3</b>
23:00	565,0	564,5	565,2	563,1	<b>564,4</b>
24:00	564,9	564,3	565,0	562,9	<b>564,3</b>
<b>Promedio diario</b>	<b>564,2</b>	<b>563,6</b>	<b>564,3</b>	<b>562,2</b>	<b>563,6</b>

Fuente: RMCAB 2019

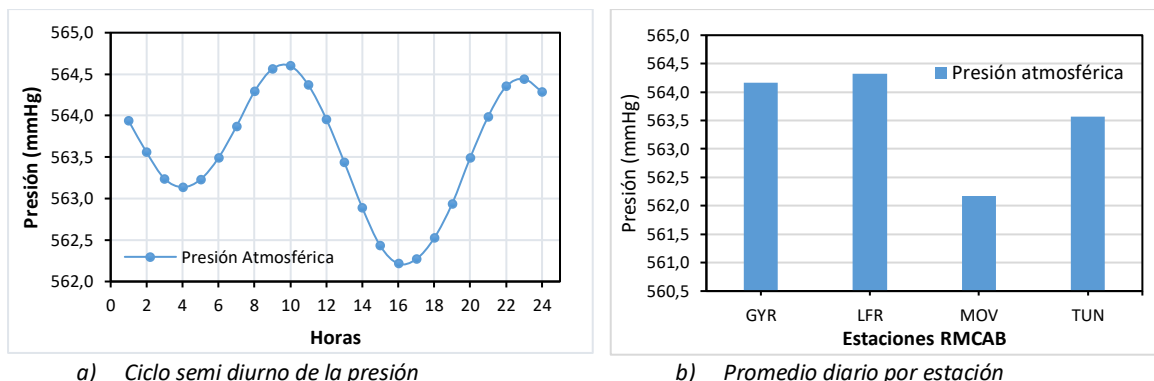


Figura 9-26. Comportamiento del ciclo semi-diurno de la presión atmosférica - 2019

### 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
<b>Promedio</b>	<b>562,8</b>	<b>565,4</b>	<b>564,0</b>	<b>564,0</b>	<b>564,6</b>	N.A	<b>564,2</b>

Fuente: RMCAB 2019

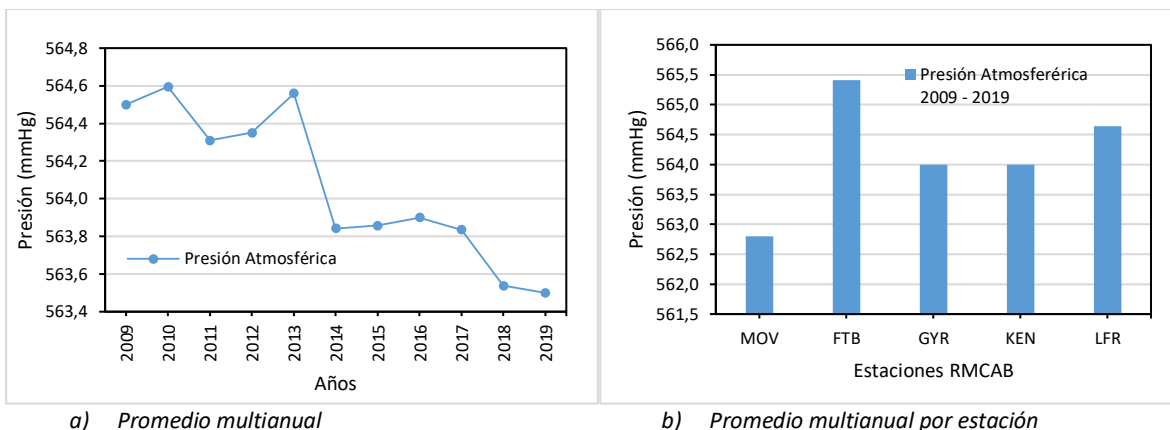


Figura 9-27. Comportamiento de la presión atmosférica promedio multianual 2009 - 2019

## 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 ácida.

### 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
<b>PROMEDIO</b>	<b>63,2</b>	<b>63,4</b>	<b>65,3</b>	<b>66,9</b>	<b>66,4</b>	<b>64,4</b>	<b>63,5</b>	<b>62,5</b>	<b>62,1</b>	<b>65,1</b>	<b>68,6</b>	<b>64,6</b>

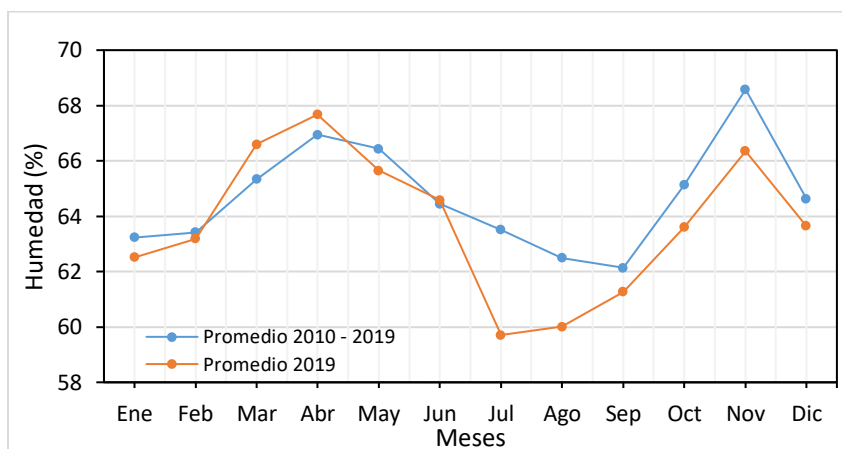


Figura 9-28. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019 vs. Promedio mensual multianual 2010-2019

### 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	<b>66</b>
FTB	68	70	71	74	72	68	65	64	65	69	71	68	<b>69</b>
GYR	67	67	69	70	71	69	67	67	68	68	70	67	<b>68</b>
KEN	61	63	65	67	67	63	56	54	55	59	62	59	<b>61</b>

LFR	61	61	64	66	66	63	60	59	61	63	66	61	<b>63</b>
MOV	57	56	60	62	60	N.A	N.A	54	56	58	61	57	<b>58</b>
SCR	60	63	72	66	55	61	49	N.A	N.A	N.A	N.A	69	<b>62</b>
TUN	60	60	63	65	65	64	61	61	61	63	65	62	<b>63</b>
<b>Promedio</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>64</b>	<b>64</b>

Fuente: RMCAB 2019

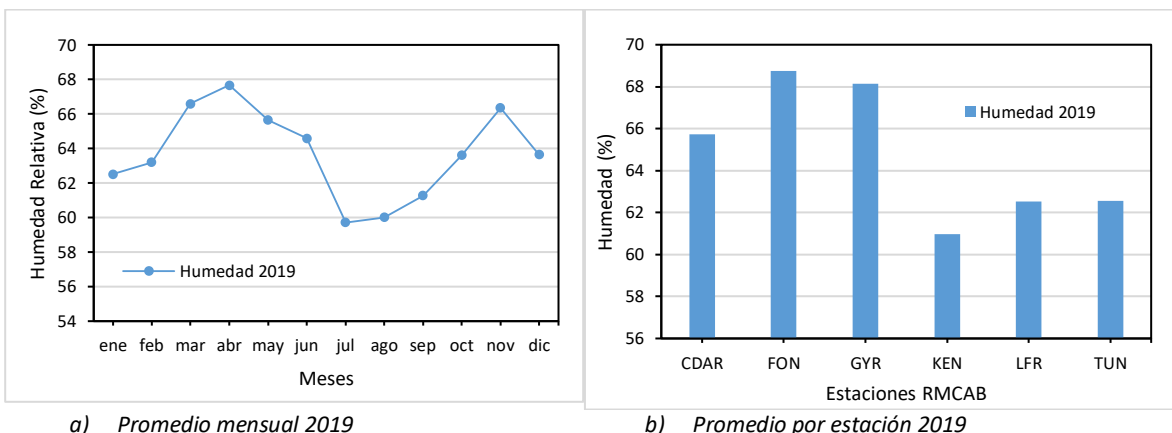


Figura 9-29. Comportamiento de la humedad relativa mensual en 2019: a) promedia ciudad; b) promedio por estación

### 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	<b>72</b>
2:00	77	80	80	68	72	66	68	73	<b>73</b>
3:00	77	81	81	69	73	67	69	73	<b>74</b>
4:00	78	82	81	70	73	68	70	74	<b>75</b>
5:00	78	82	82	71	74	68	70	74	<b>75</b>
6:00	79	83	82	71	74	68	70	75	<b>75</b>
7:00	77	80	82	71	72	68	69	74	<b>74</b>
8:00	68	73	77	69	66	65	65	67	<b>69</b>
9:00	58	64	65	62	58	58	60	58	<b>61</b>

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
<b>Promedio diario</b>	<b>66</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>61</b>	<b>63</b>	<b>59</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>

Fuente: RMCAB 2019

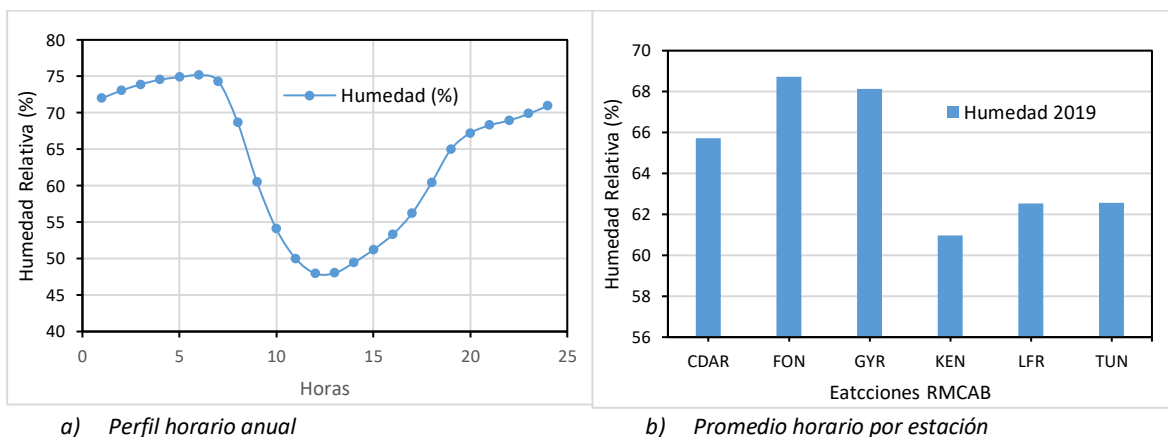


Figura 9-30. Comportamiento de la humedad relativa horaria en 2019: a) perfil horario; b) promedio por estación

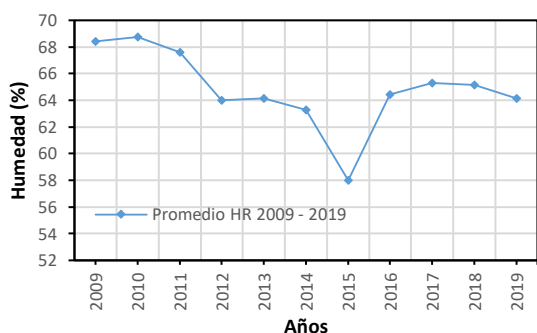
#### 9.6.4. PROMEDIOS HISTÓRICOS ANUALES DE HUMEDAD

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)

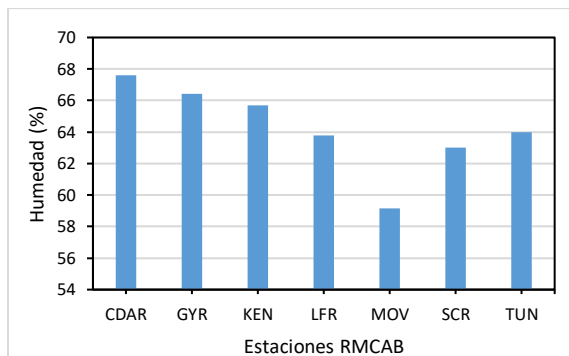
Tabla 9-23. Comportamiento histórico de la humedad del aire ambiente.

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 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 (maquinaria amarilla, 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:

<b>E</b>	=	Emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). <b>(Toneladas/año)</b>
<b>FE</b>	=	Factor de emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). <b>(g/km)</b>
<b>FA</b>	=	Factor de Actividad (rodamiento en km por año) para cada categoría (j). <b>(km/año)</b>
<b>N</b>	=	Cantidad de vehículos por cada categoría (j). <b>(Número de vehículos)</b>
<b>1x10<sup>6</sup></b>	=	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.

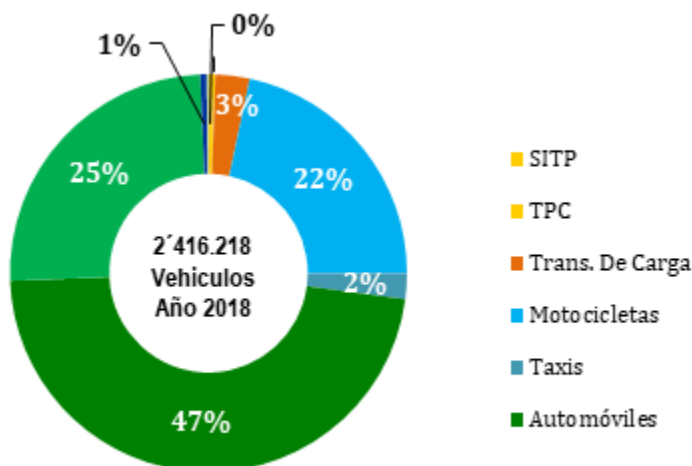


Figura 10-1. Porcentaje de cantidad de vehículos que transitan en Bogotá por categoría

**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

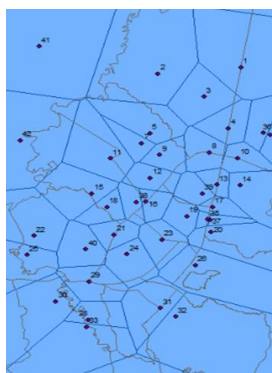


Figura 10-2. Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen.

**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<sup>2</sup> 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:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

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)

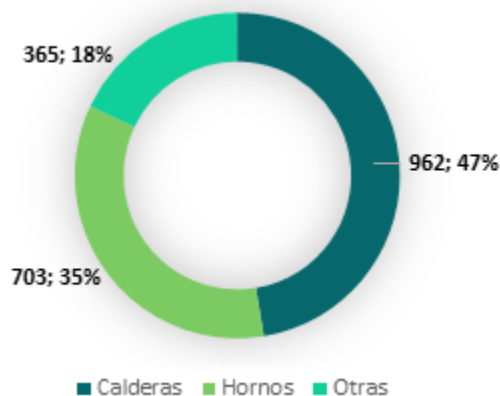


Figura 10-3. Distribución por tipo de fuente de combustión

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).

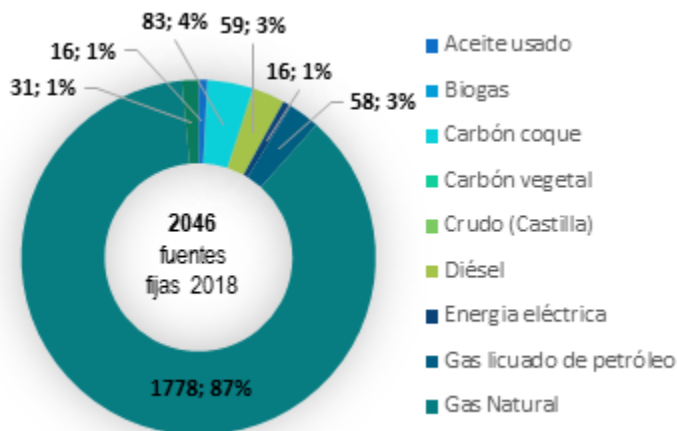


Figura 10-4. Distribución por tipo de combustible

**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 - SIIF 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 <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	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
<b>TOTAL 2018</b>	<b>1847</b>	<b>1677</b>	<b>84191</b>	<b>595655</b>	<b>64336</b>	<b>1872</b>

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.

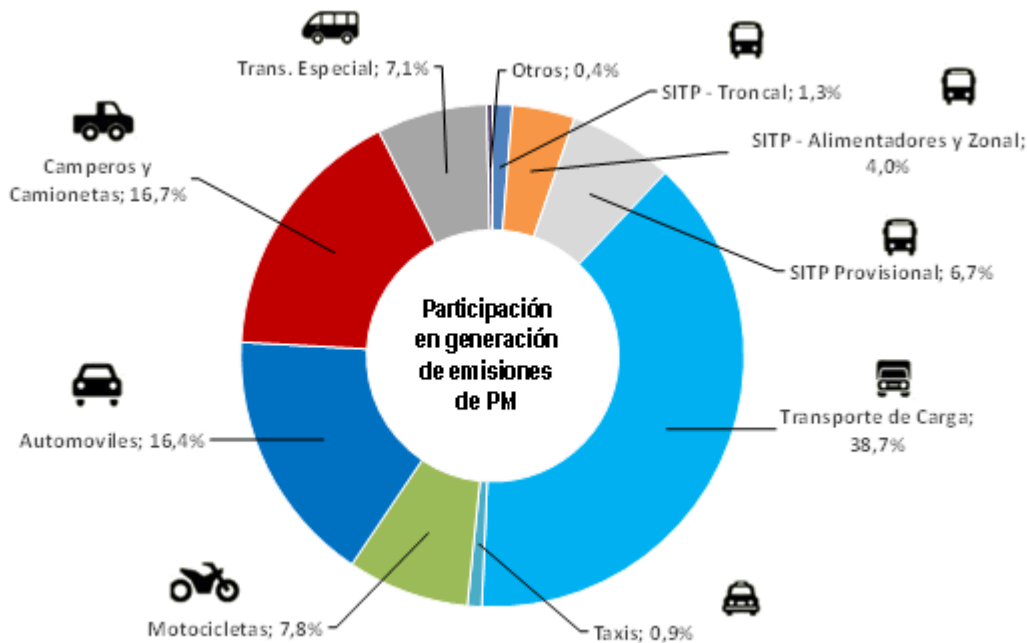


Figura 10-5. Participación en generación de emisiones de PM

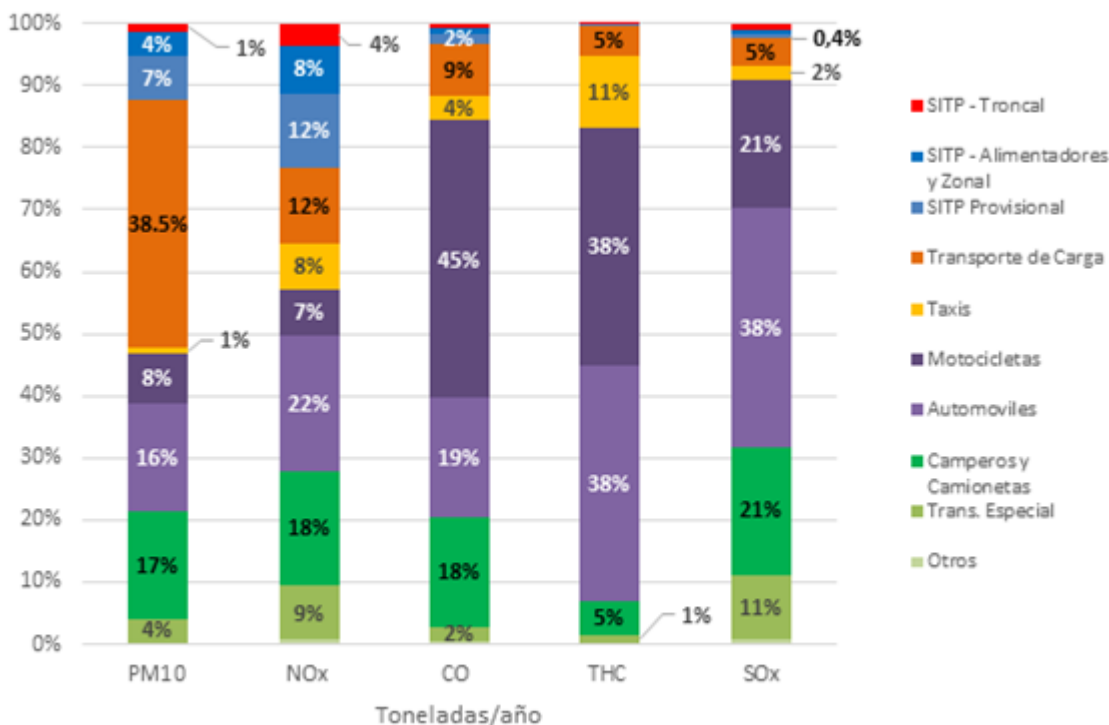


Figura 10-6. Participación por tipología en emisión de contaminantes criterio, inventario 2018.

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<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y NOx) provenientes de las fuentes móviles de emisión, durante un día hábil para la ciudad de Bogotá.



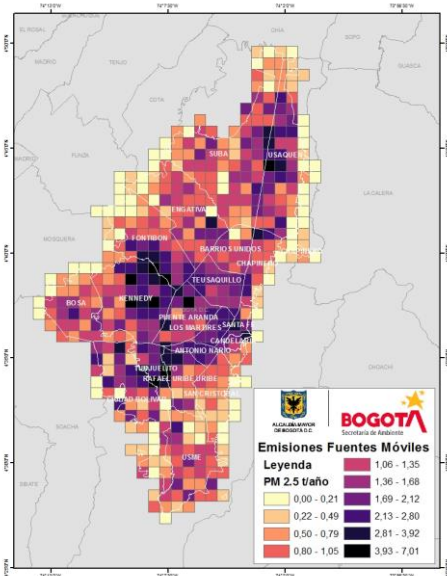


Figura 10-7. Distribución espacio temporal de PM 2.5 para Fuentes Móviles

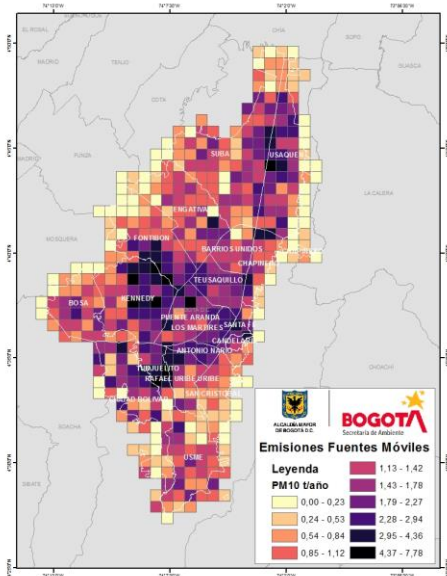


Figura 10-8. Distribución espacio temporal de PM10 para Fuentes Móviles

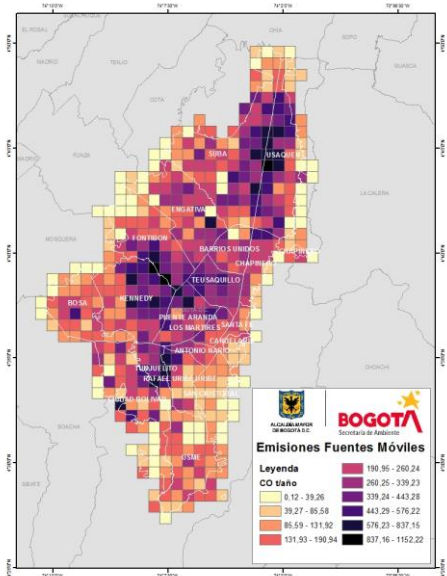


Figura 10-9. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Móviles

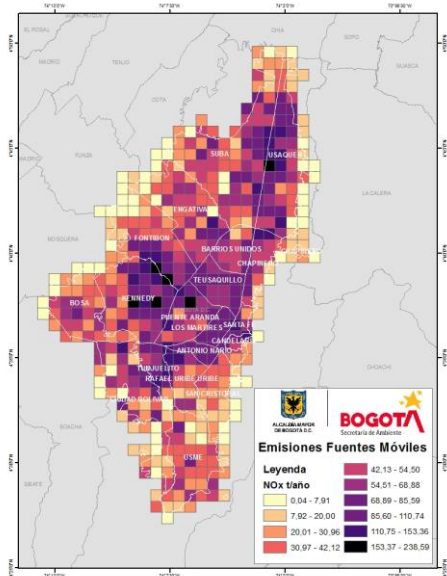


Figura 10-10. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Móviles

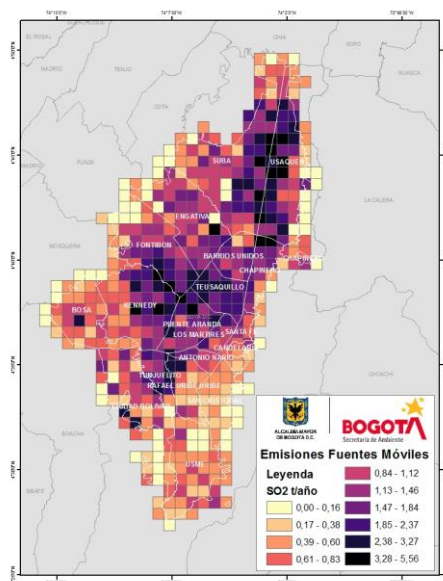


Figura 10-11. Distribución espacio temporal de SO2 para Fuentes Móviles

Según los resultados y como se observa en los mapas anteriores los puntos críticos de emisión de PM<sub>2.5</sub> 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.

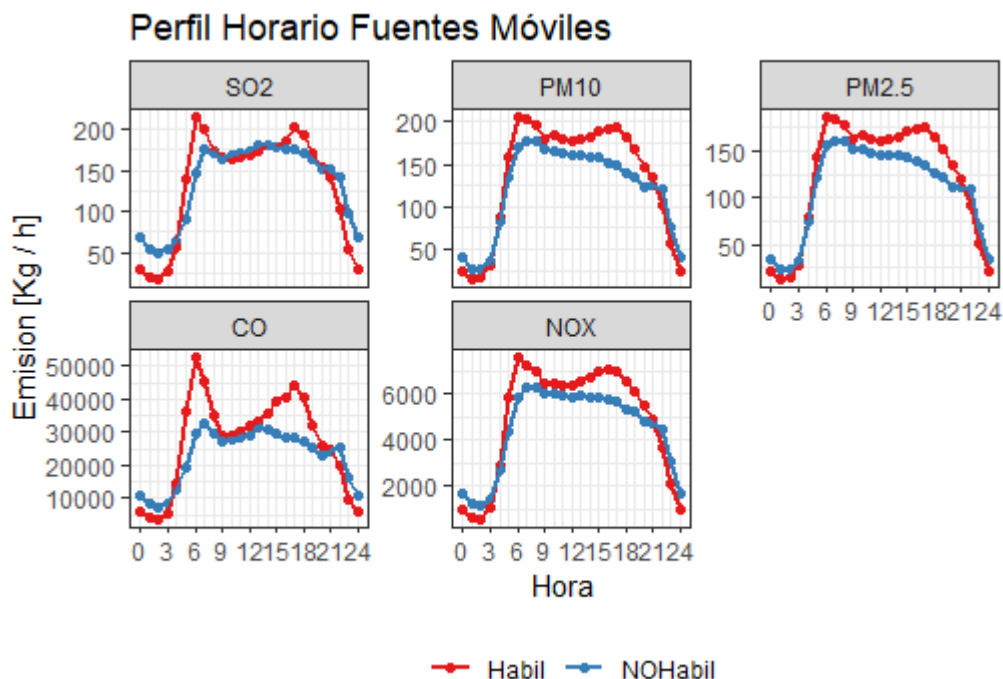


Figura 10-12. Distribución horaria para Fuentes Móviles en días hábiles y no hábiles

### 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 <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	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

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

Categoría	Emisión Tonelada/año				
	MP <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	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 <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COV's
Total	482,9014	1726,1297	644,7164	563,1249	87,5137

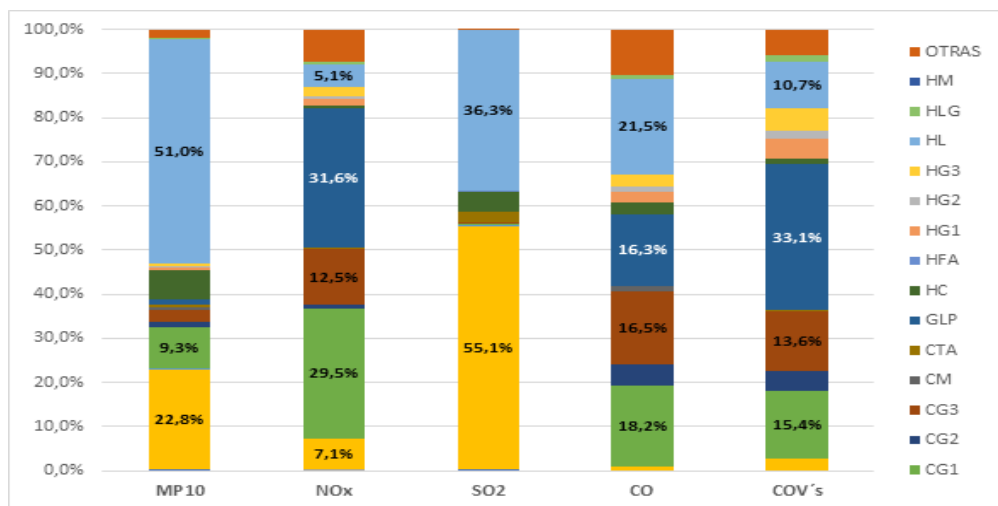


Figura 10-13. Participación por categoría en emisión por contaminante

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 NO<sub>x</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>. 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.

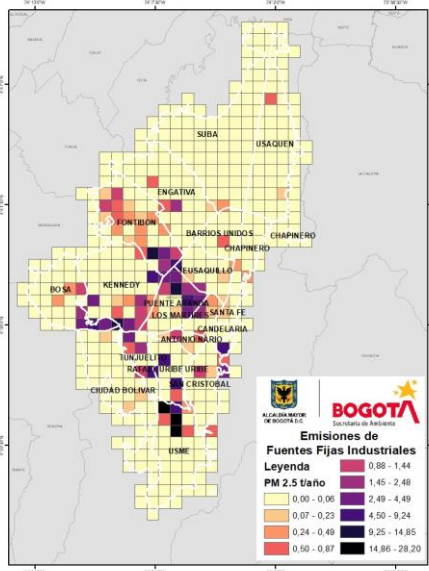


Figura 10-14. Distribución espacio temporal de PM<sub>2,5</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil

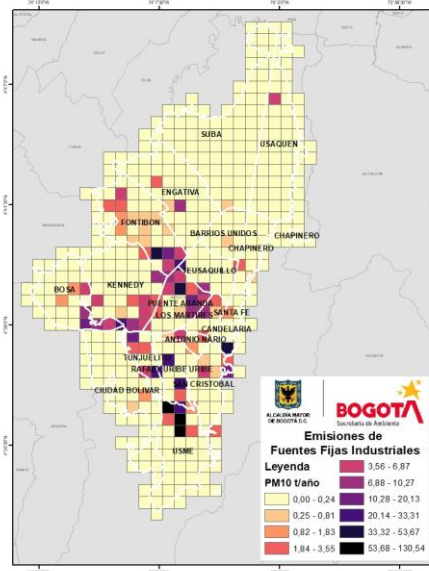


Figura 10-15. Distribución espacio temporal de PM<sub>2,5</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil

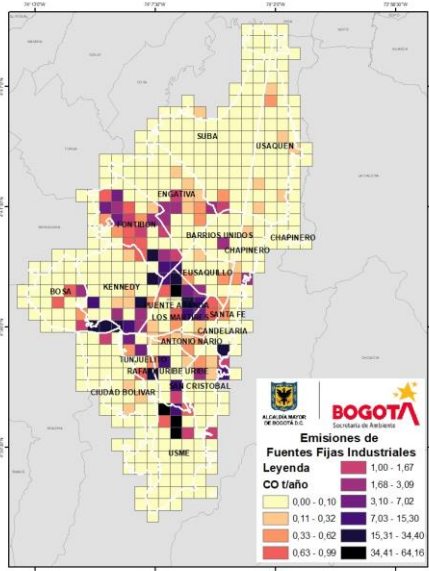


Figura 10-16. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Puntuales.

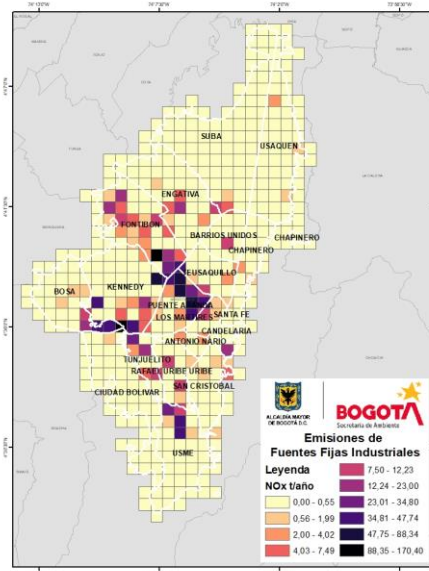


Figura 10-17. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Puntuales.



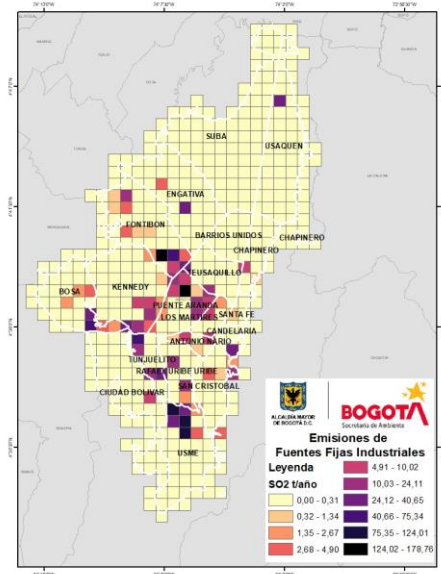


Figura 10-18. Distribución espacio temporal de SO<sub>2</sub> para Fuentes Puntuales

### 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.



### Perfil Horario Fuentes Fijas Industriales

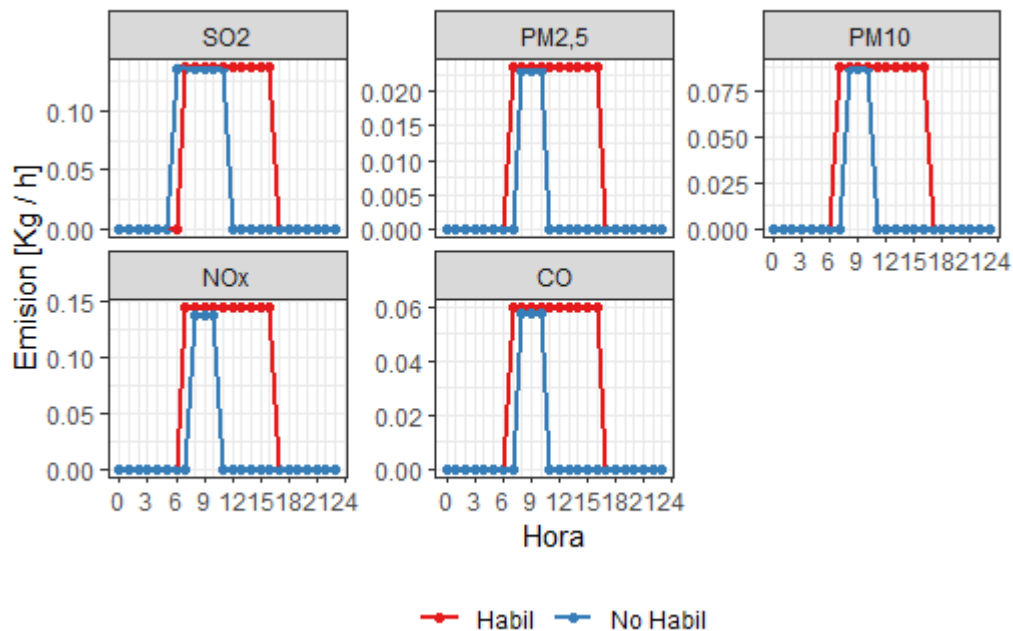


Figura 10-19. Distribución horaria para Fuentes Puntuales en días hábiles y no hábiles

## 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 km<sup>2</sup>, 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:

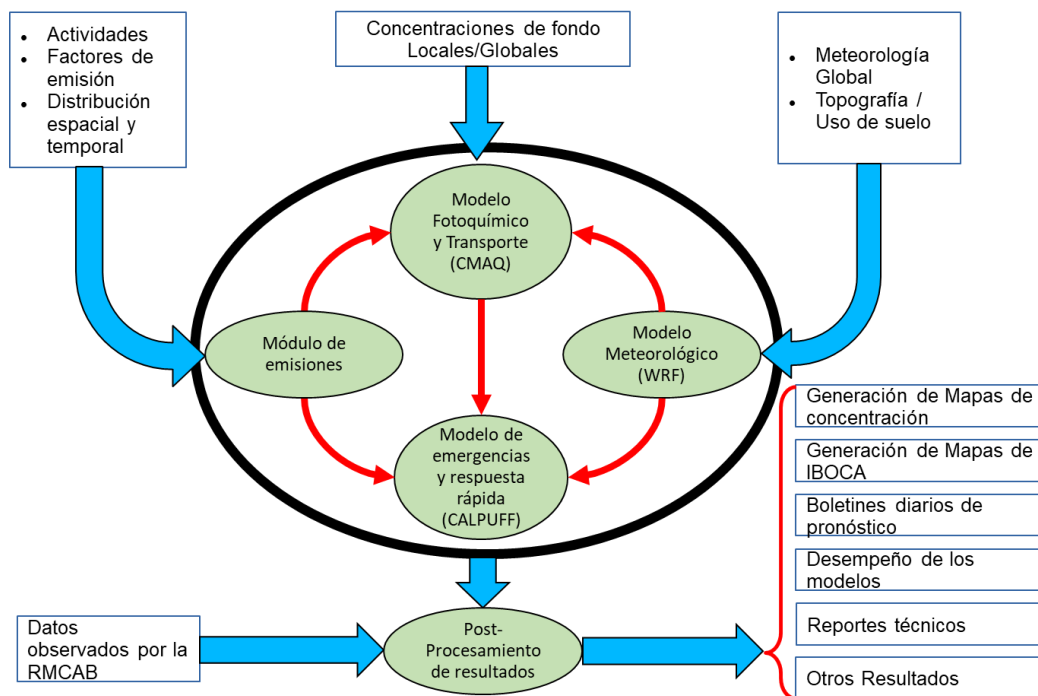


Figura 11-1 Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá

#### **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 km<sup>2</sup> 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 pronosis 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<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>, 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<sup>4</sup>. En el caso del PM<sub>10</sub>, 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/m<sup>3</sup>. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de PM<sub>10</sub>, el cual se encuentra por encima de 50 µg/m<sup>3</sup>, le siguen Bosa, Puente Aranda y Fontibón con promedios anuales de concentración entre 45 µg/m<sup>3</sup> y 50 µg/m<sup>3</sup> (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 PM<sub>10</sub> en el 2019 fue de 39,2 µg/m<sup>3</sup>.

Para PM<sub>2.5</sub>, 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/m<sup>3</sup>. 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<sub>2.5</sub>, el cual se encuentra por encima de 20 µg/m<sup>3</sup>, le siguen Tunjuelito con promedios anuales de concentración superiores a 18 µg/m<sup>3</sup> (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 PM<sub>2.5</sub> es de 15,5 µg/m<sup>3</sup>.

---

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.

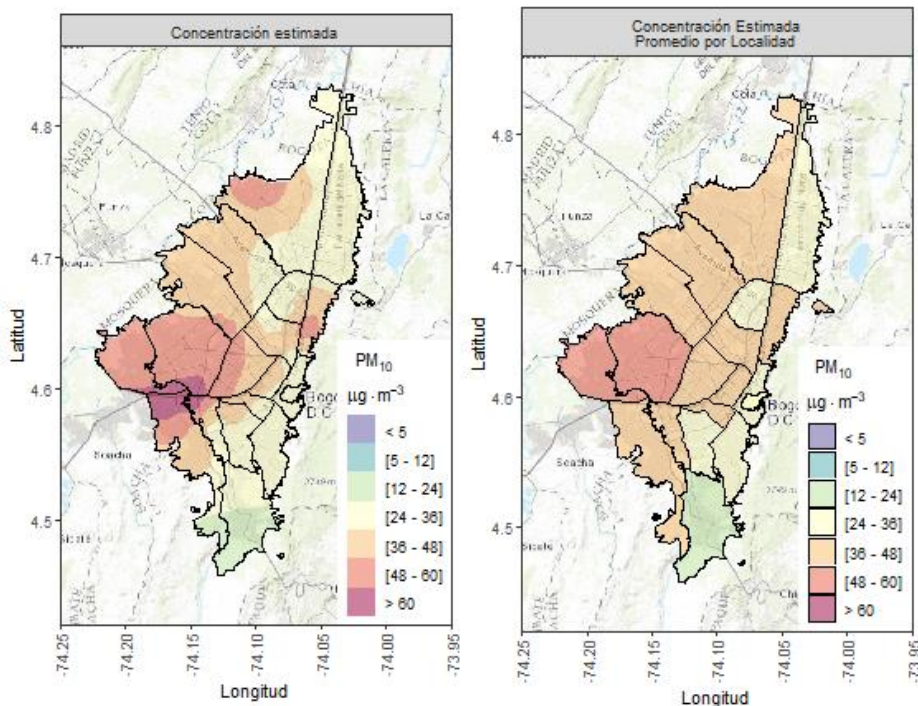


Figura 11-2 Promedio Anual para concentraciones simuladas de  $PM_{10}$  ajustadas a observaciones para el 2019

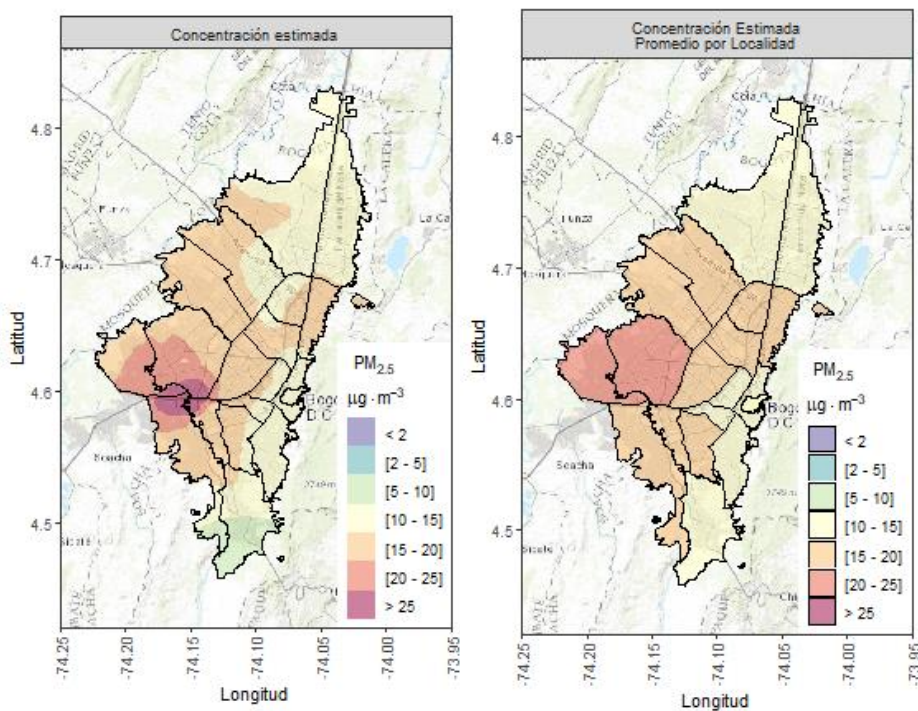


Figura 11-3 Promedio Anual para concentraciones simuladas de  $PM_{2.5}$  ajustadas a observaciones para el 2019



### 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<sup>5</sup>.

Para NO<sub>2</sub>, 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/m<sup>3</sup>. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de NO<sub>2</sub>, el cual se encuentra entre 42 µg/m<sup>3</sup>, le sigue Kennedy con 39 µg/m<sup>3</sup>, Fontibón con 34 µg/m<sup>3</sup> y Puente Aranda 32 con µg/m<sup>3</sup> (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<sub>2</sub> en el 2019 fue de 30 µg/m<sup>3</sup>.

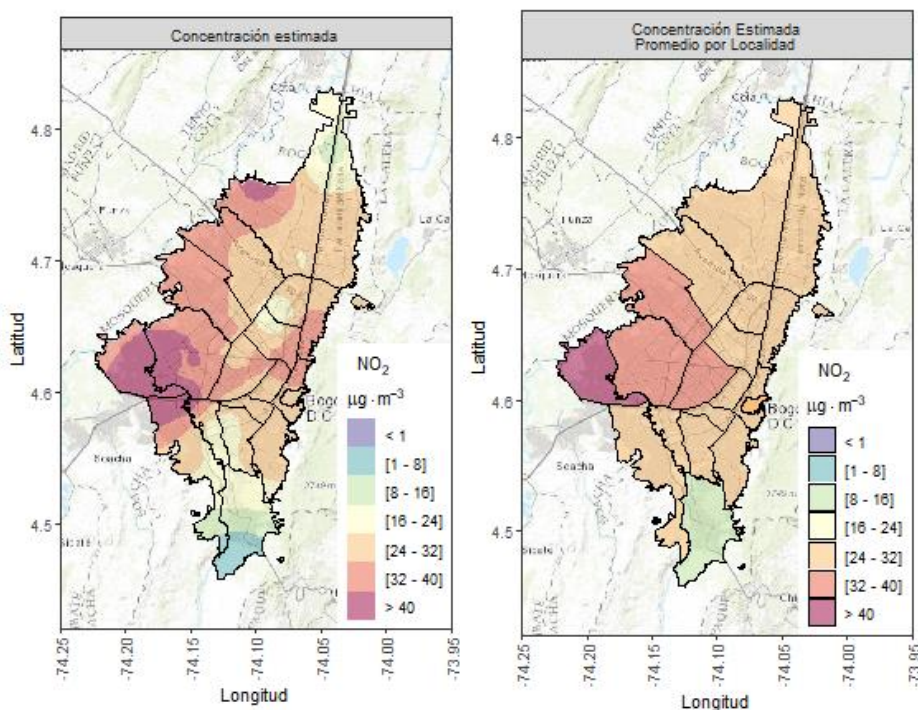


Figura 11-4 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO<sub>2</sub> ajustadas a observaciones para el 2019

En cuanto a SO<sub>2</sub>, 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  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Bosa es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de  $\text{SO}_2$ , los cuales son cercanos a  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le sigue Fontibón, con promedio anual de concentración de  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Ciudad Bolívar con un promedio de concentración anual de  $5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (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  $\text{SO}_2$  en el 2019 fue de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$

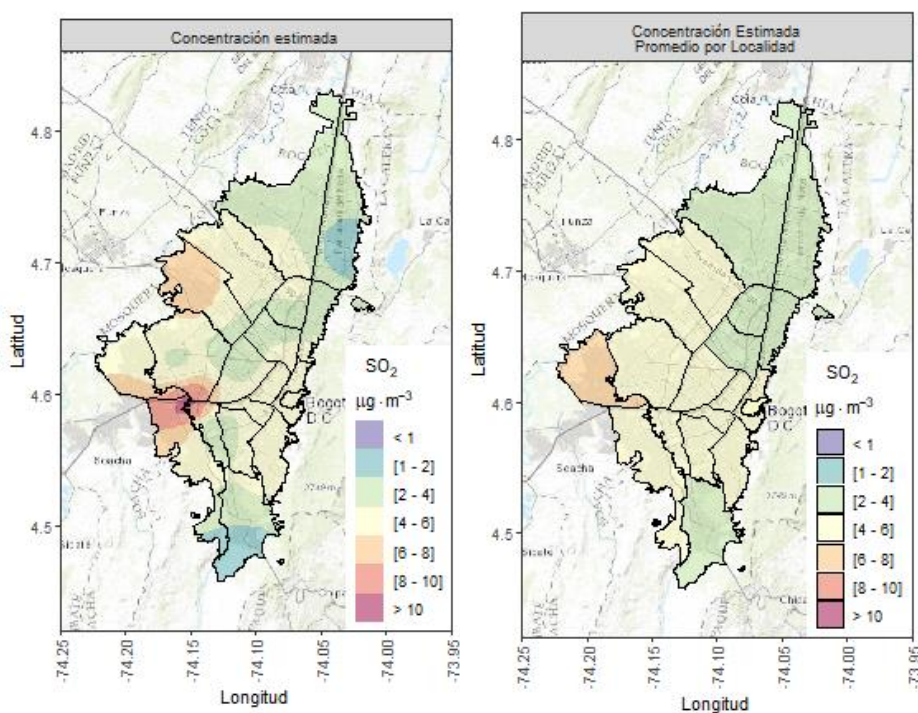


Figura 11-5 Promedio Anual para concentraciones simuladas de  $\text{SO}_2$  ajustadas a observaciones para el 2019

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  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (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  $885 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



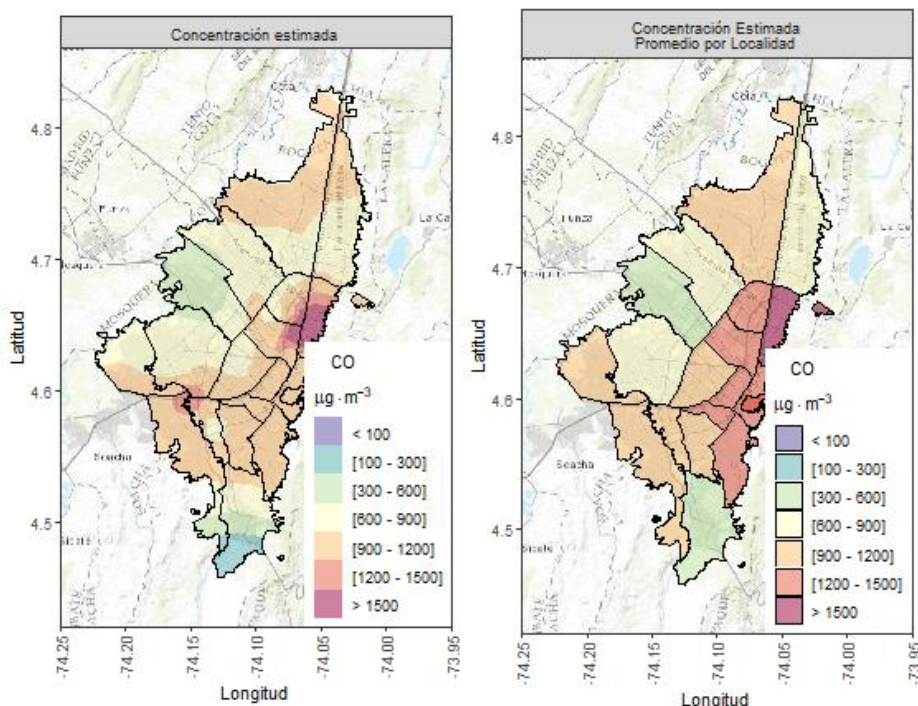


Figura 11-6 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2019

### 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:

$$0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0$$

**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.

$$\text{NMB} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - O_i}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

**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:

$$\text{NMGE} = \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

**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

$$\text{RMSE} = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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:

$$r = \left( \frac{1}{N-1} \right) \sum_{i=1}^N \left( \frac{M_i - \bar{M}}{\sigma_M} \right) \left( \frac{O_i - \bar{O}}{\sigma_O} \right)$$

**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:

$$\text{COE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|)}{\sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)}$$

**IOA:** El índice de concordancia es un indicador que se encuentra entre -1 y +1, y entre más se acercó a +1, el modelo tiene un mejor desempeño; este indicador se define como:

$$IOA = \frac{1 - \frac{(\sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|))}{c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)}}{\frac{(\sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|))}{\sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|)}} - 1, \text{ cuando } \sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|) \leq c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)$$

$$IOA = \frac{(\sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|))}{\sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|)} - 1, \text{ cuando } \sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|) > c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)$$

### 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).

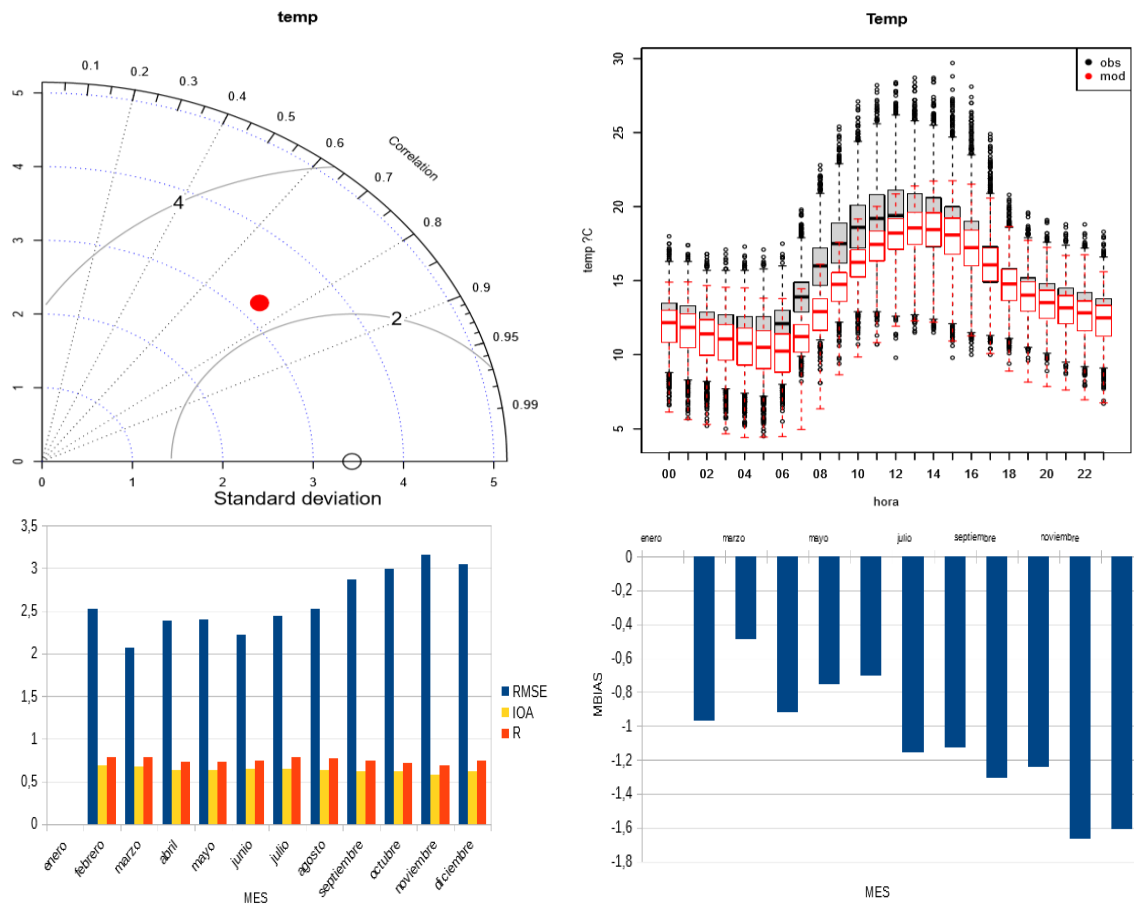


Figura 11-7 Validación de la temperatura a nivel ciudad y mensual

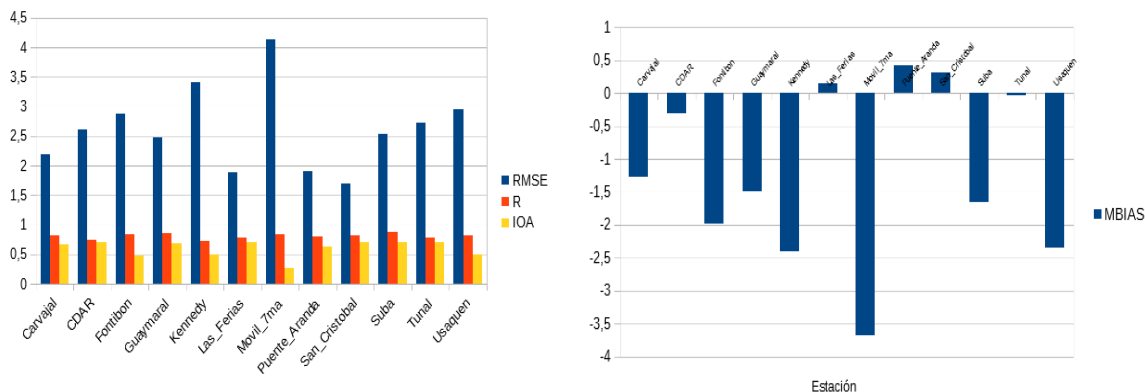


Figura 11-8 Validación de la temperatura por estación

**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.

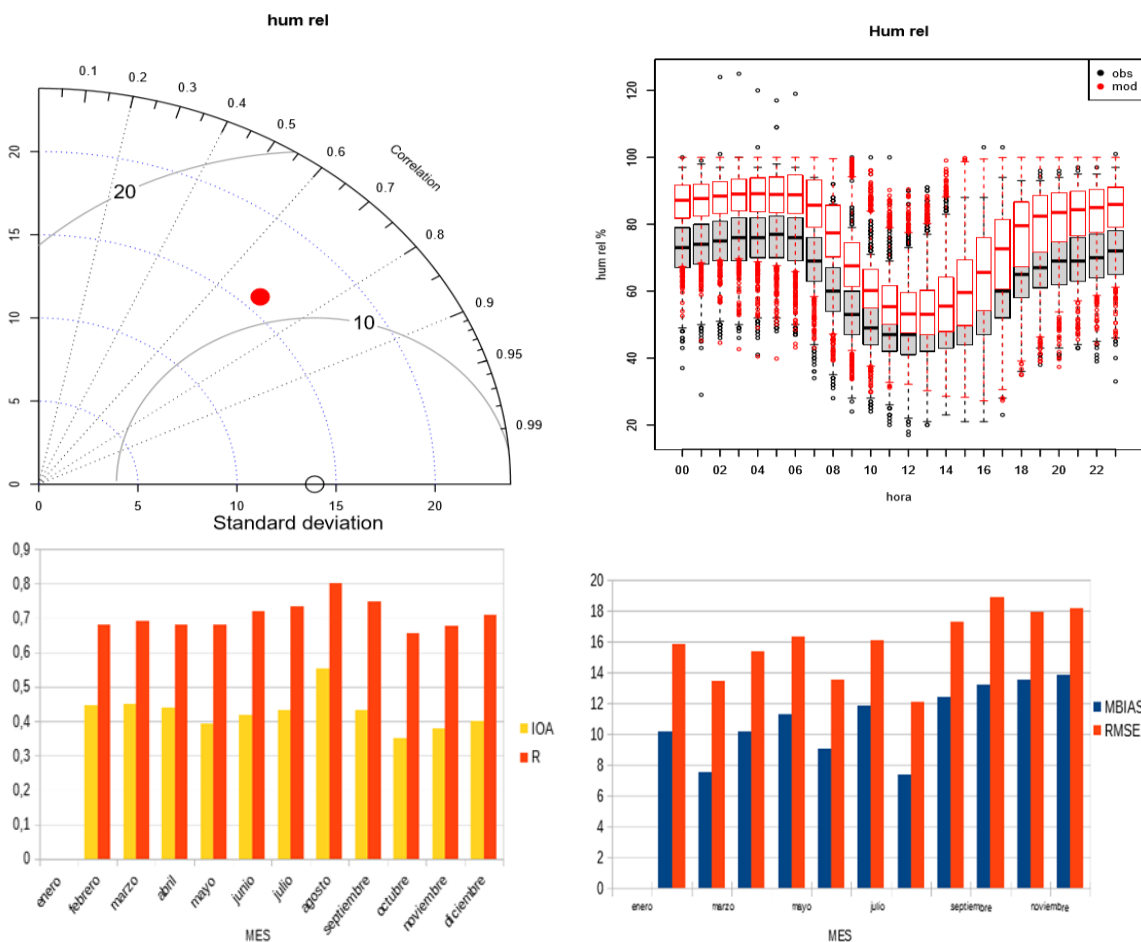


Figura 11-9 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad

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.

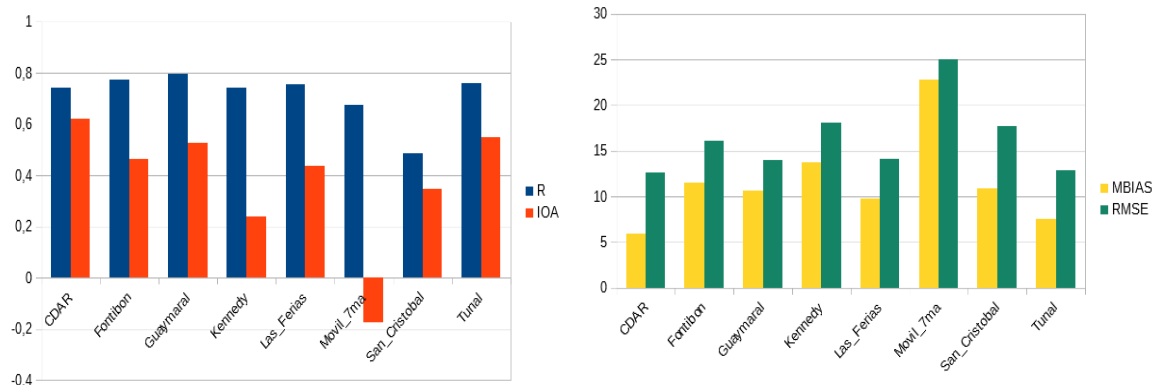


Figura 11-10 Validación de la humedad relativa por estación

### 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.

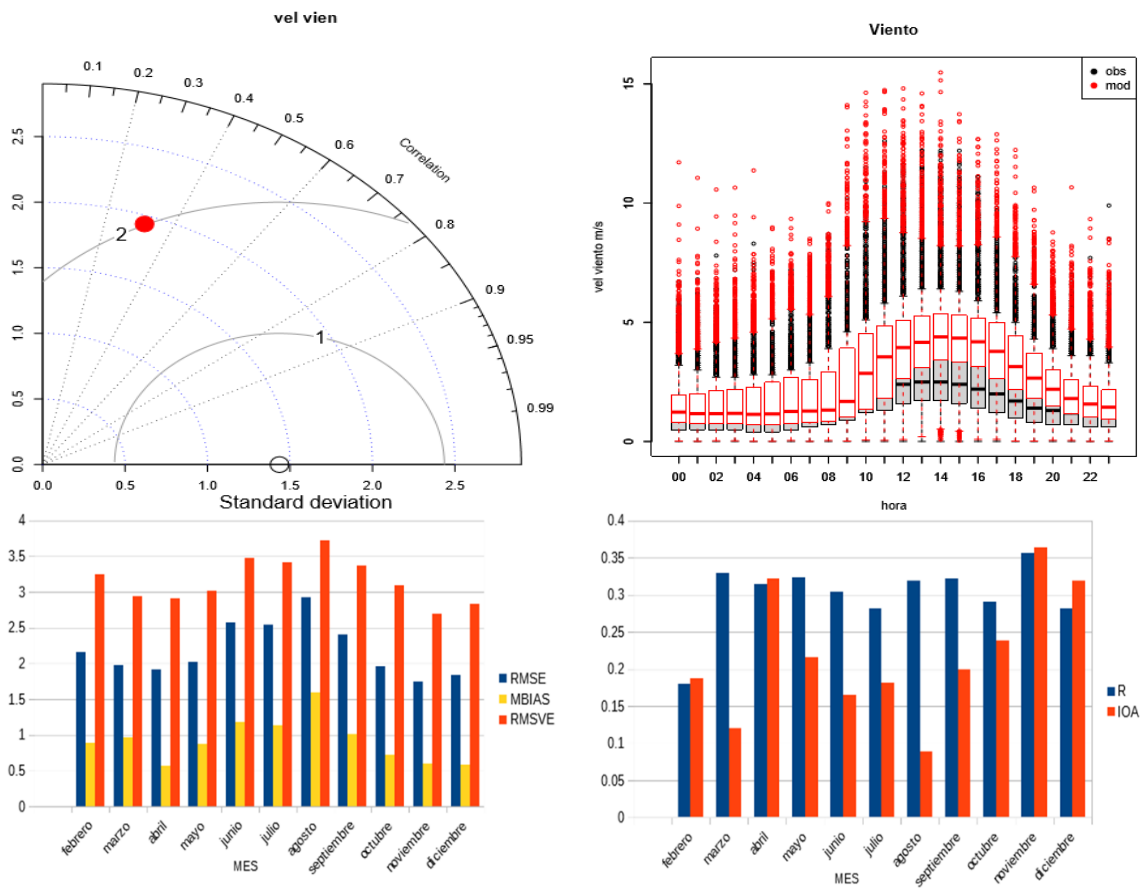


Figura 11-11 Validación del viento a nivel ciudad

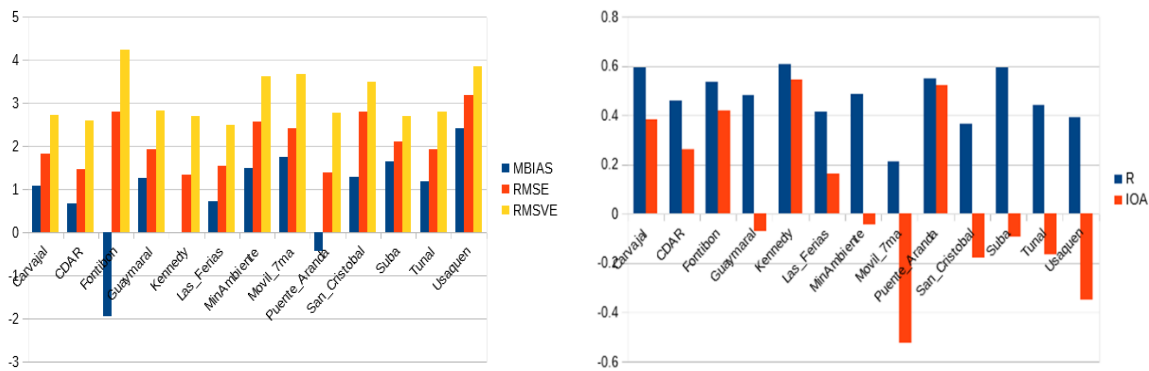


Figura 11-12 Validación del viento por estación



**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/m<sup>2</sup>, mientras que el mean Bias osciló entre 80 y poco más de 120 W/m<sup>2</sup>, 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.

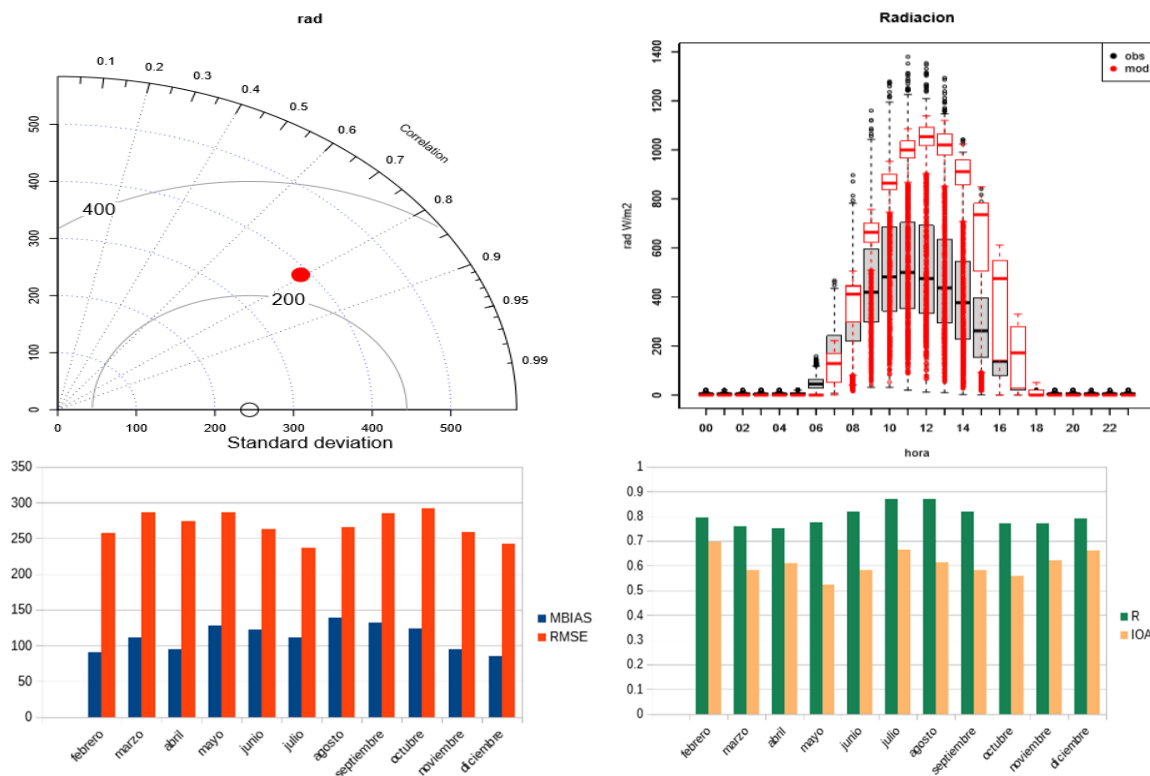


Figura 11-13 Validación de la radiación solar a nivel ciudad

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.

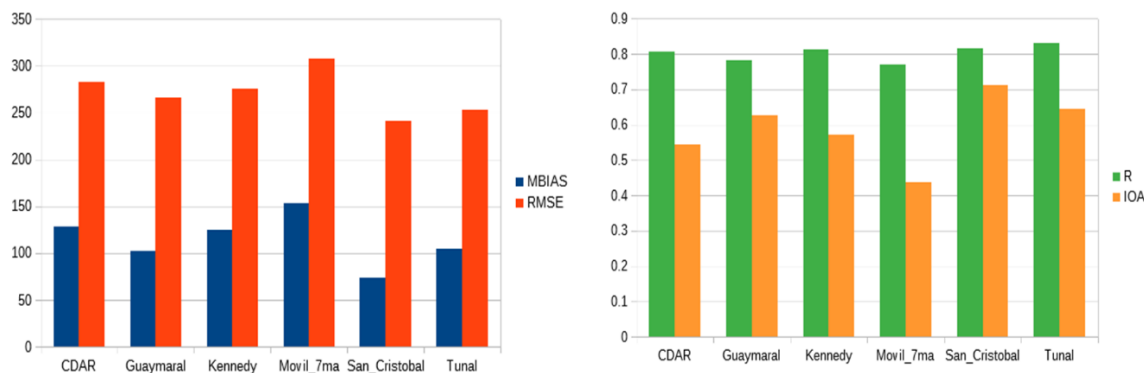


Figura 11-14 Validación de la radiación solar por estaciones

### 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.

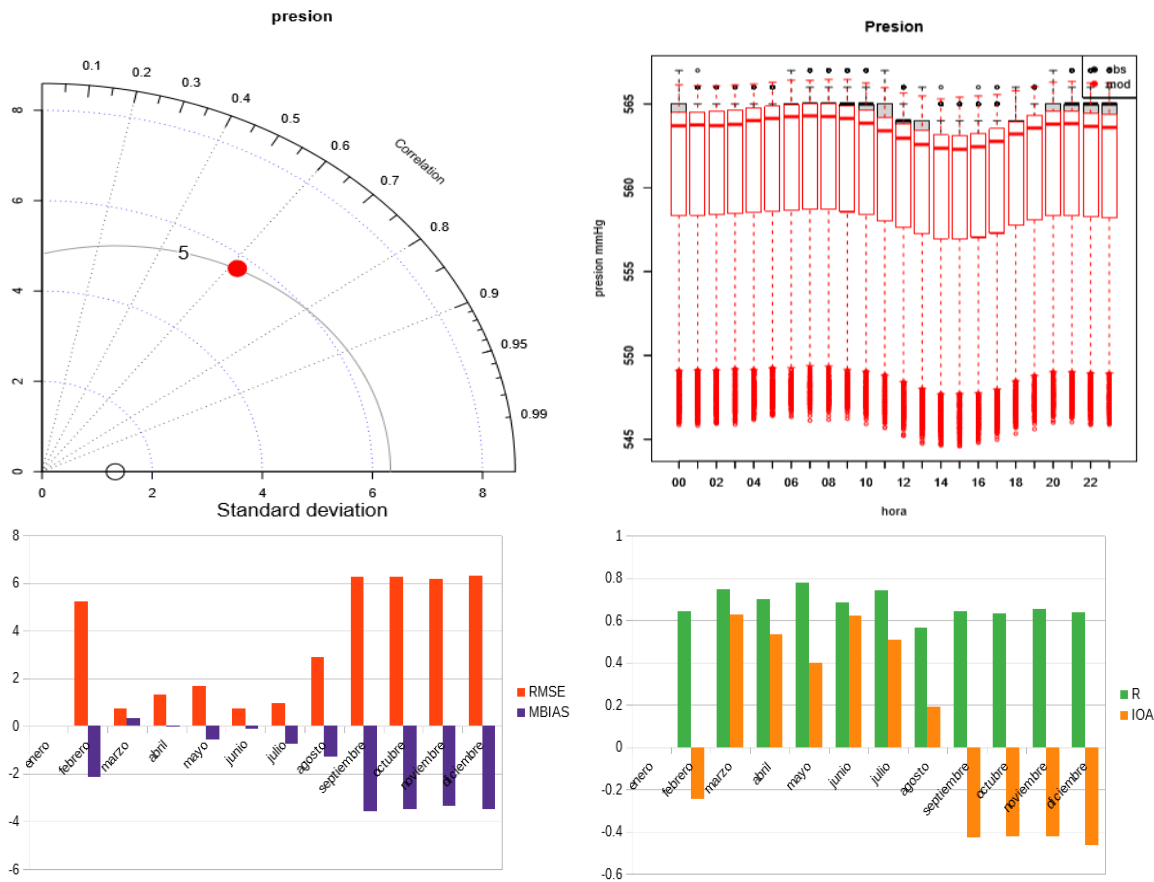


Figura 11-15 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad

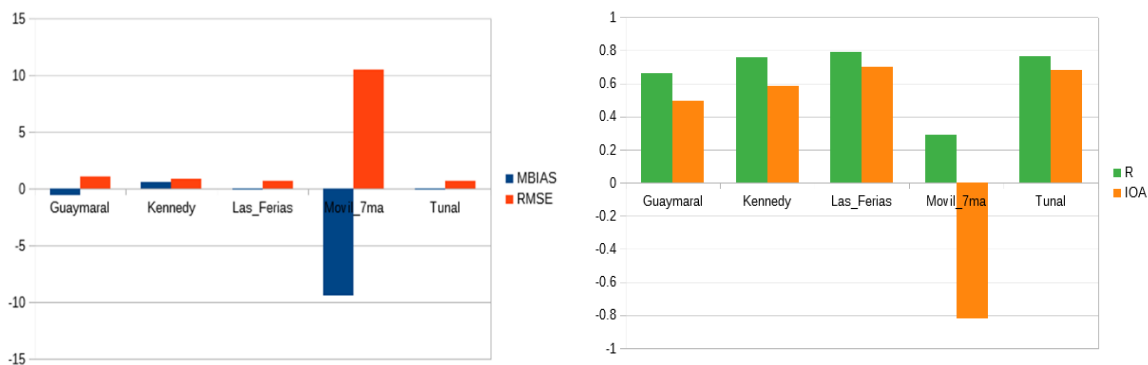


Figura 11-16 Validación de la presión atmosférica por estaciones

**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.

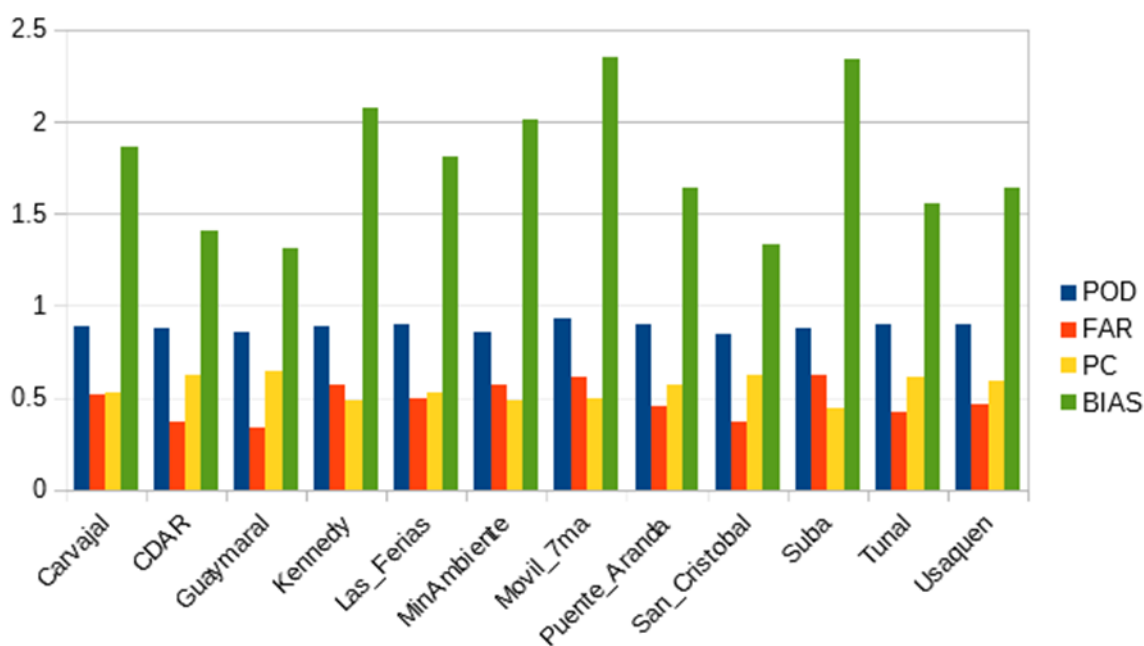


Figura 11-17 Validación de la precipitación por estaciones

### 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  $PM_{10}$ , 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  $SO_2$ , 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).

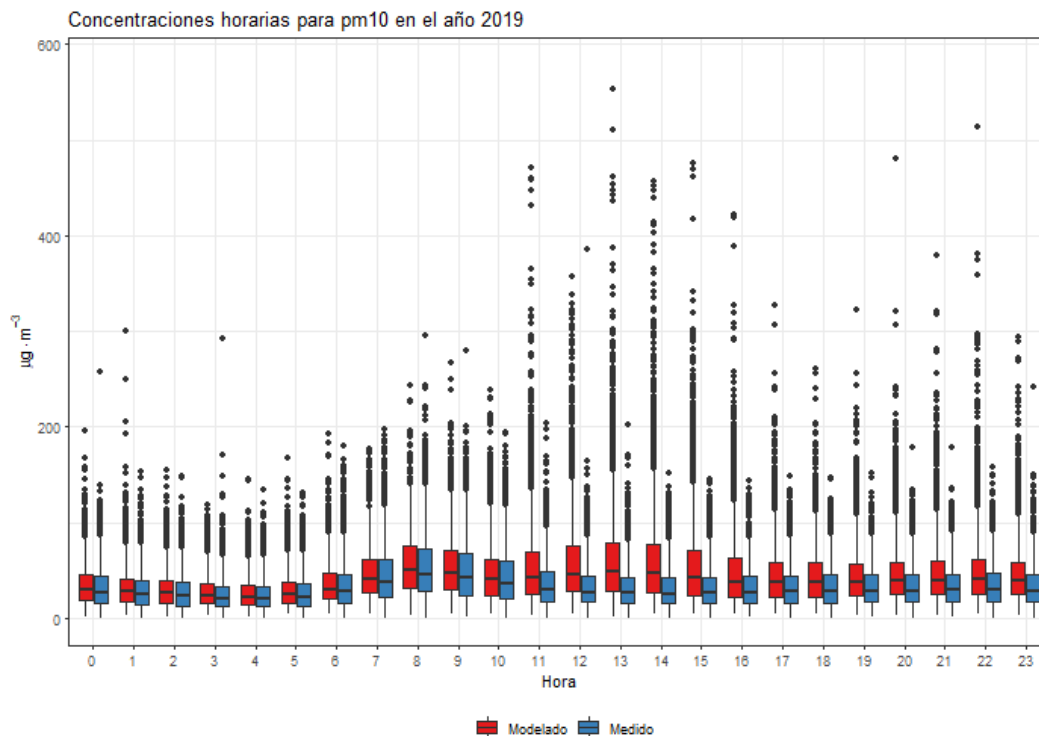


Figura 11-18 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM<sub>10</sub>

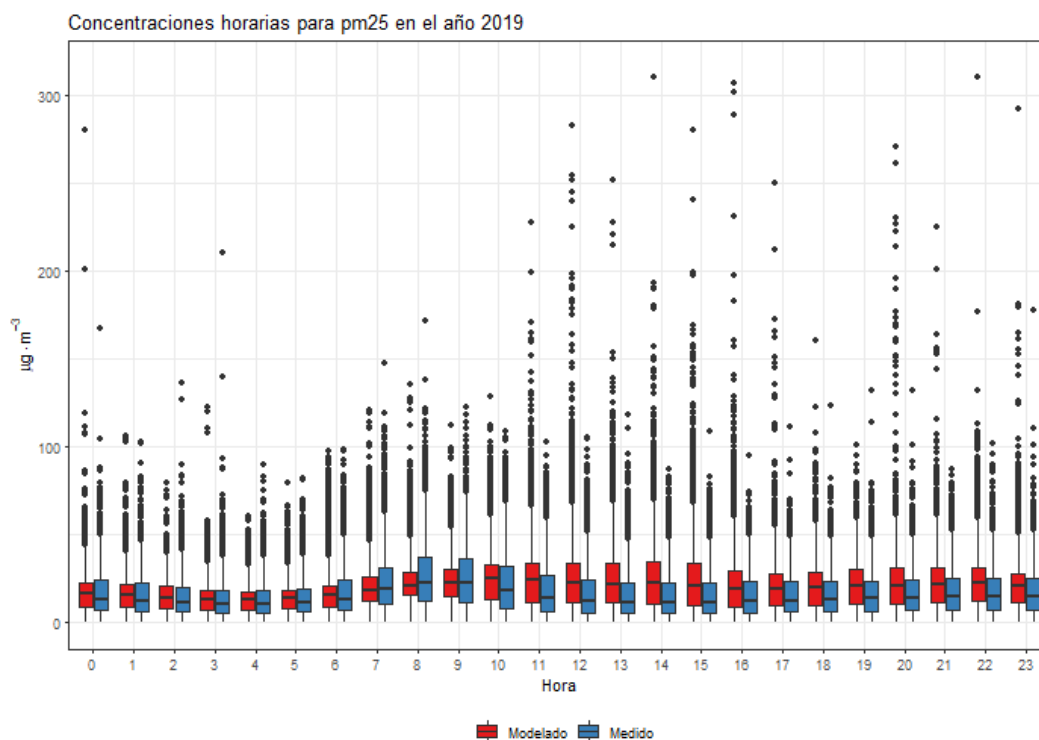


Figura 11-19 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM<sub>2.5</sub>

Concentraciones horarias para no2 en el año 2019

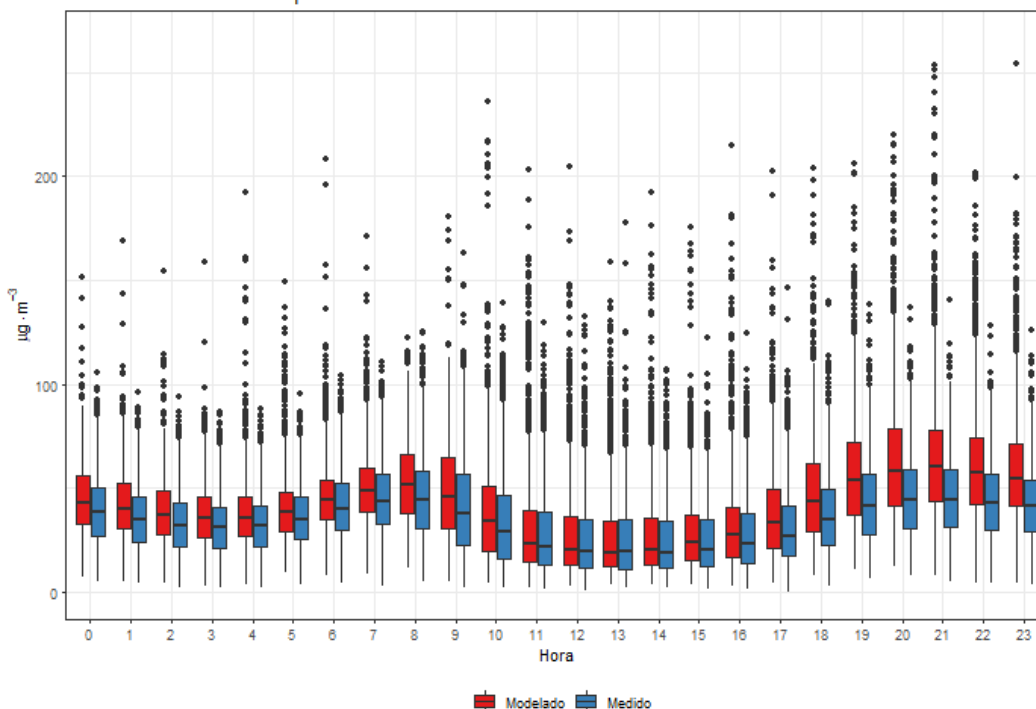


Figura 11-20 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO<sub>2</sub>

Concentraciones horarias para so2 en el año 2019

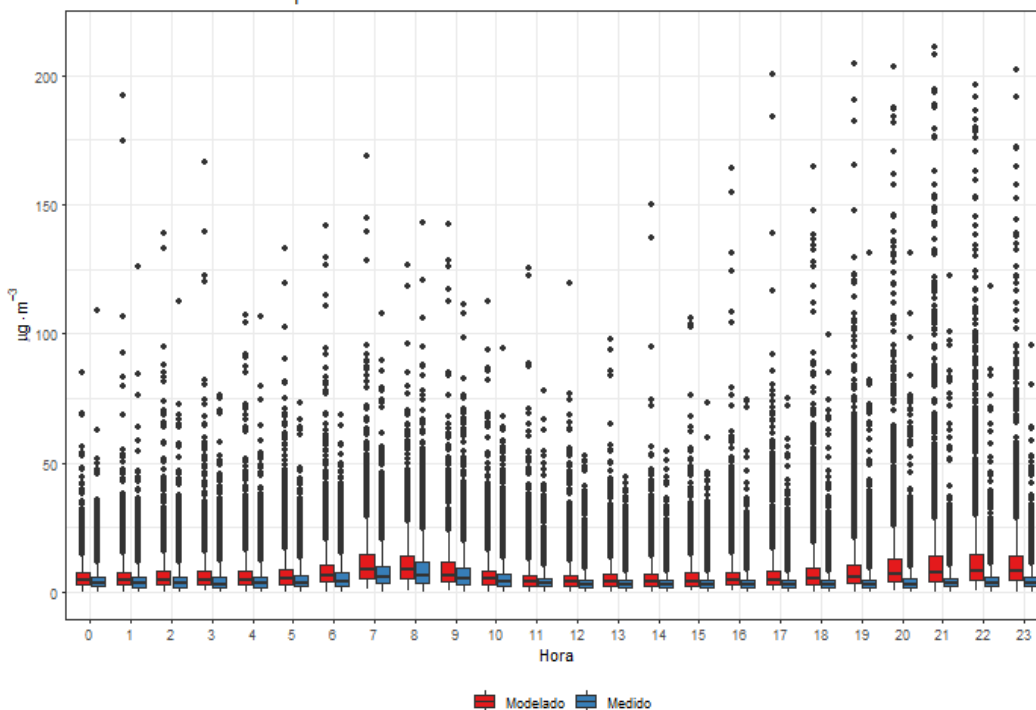


Figura 11-21 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO<sub>2</sub>



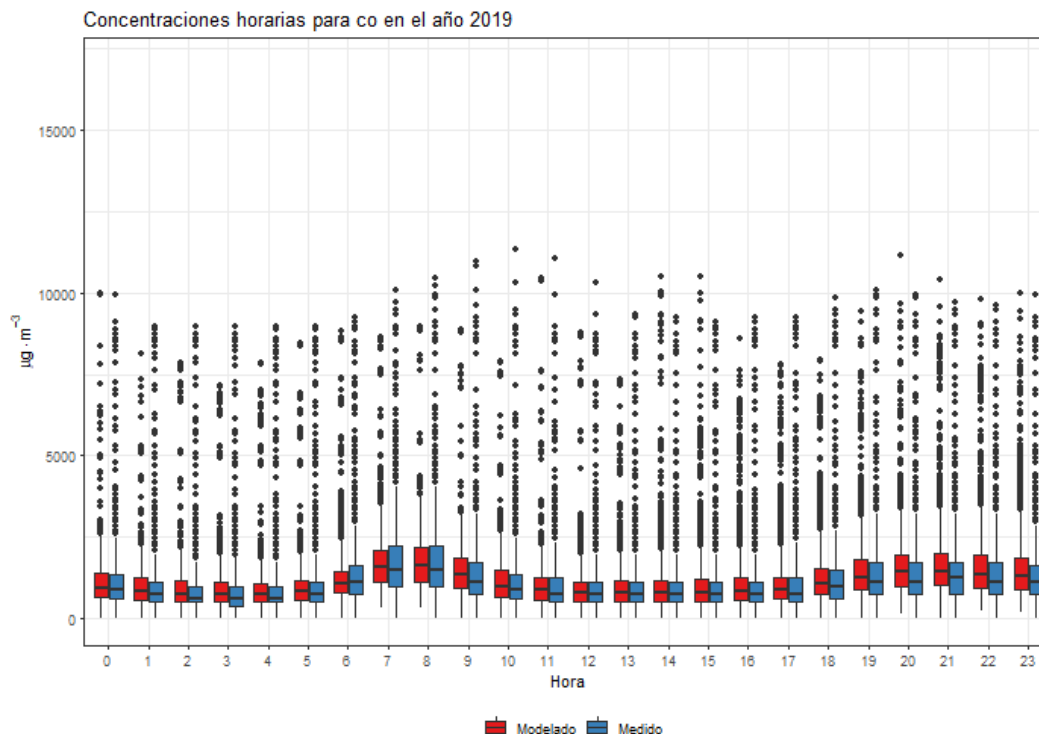


Figura 11-22 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO

### 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 <sub>2</sub>	52695	0.87	0.14	0.34	19.15	0.63	0.21	0.61
PM <sub>10</sub>	89155	0.73	0.32	0.56	31.41	0.54	-0.03	0.48
PM <sub>2.5</sub>	85510	0.65	0.24	0.59	18.89	0.46	0.09	0.54
SO <sub>2</sub>	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  $\mu g/m^3$ .

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  $\mu g/m^3$ .

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  $\mu g/m^3$ .

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  $\mu g/m^3$ .

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 entre 20 y 25  $\mu g/m^3$ . (Ver Figura 11-27).

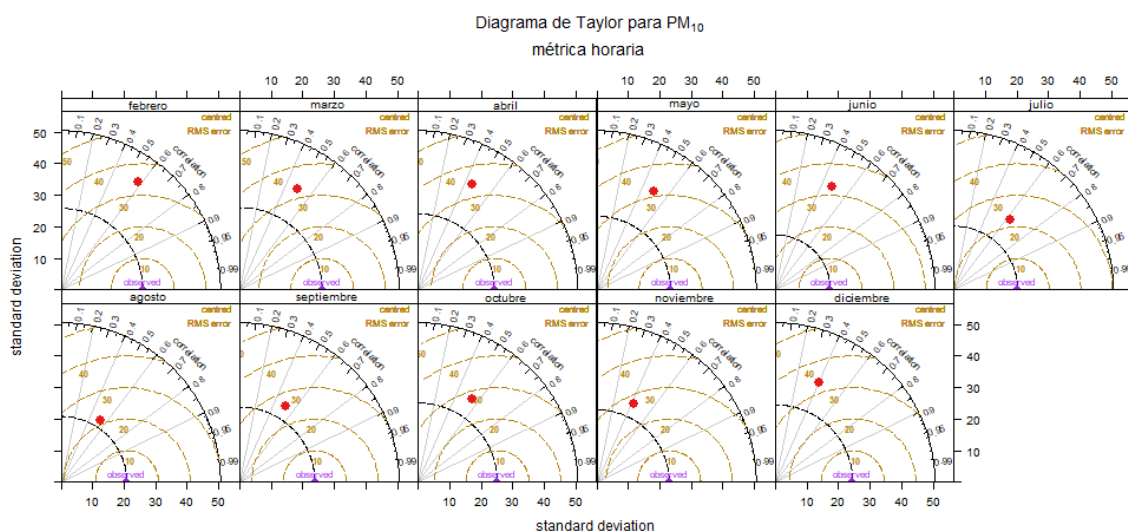


Figura 11-23 Diagramas de Taylor por mes para  $PM_{10}$

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB  
**INFORME ANUAL**

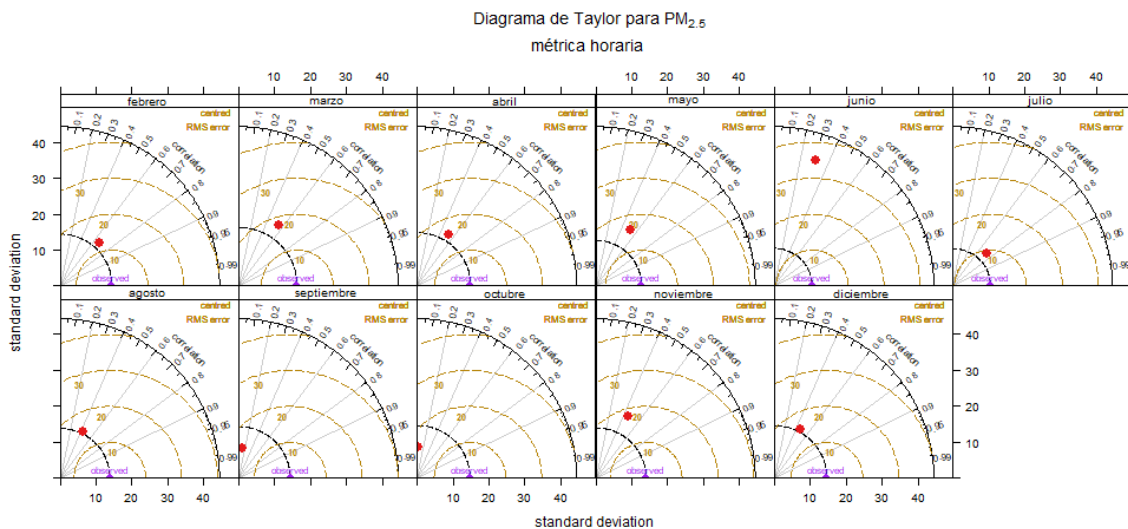


Figura 11-24 Diagramas de Taylor por mes para  $PM_{2.5}$

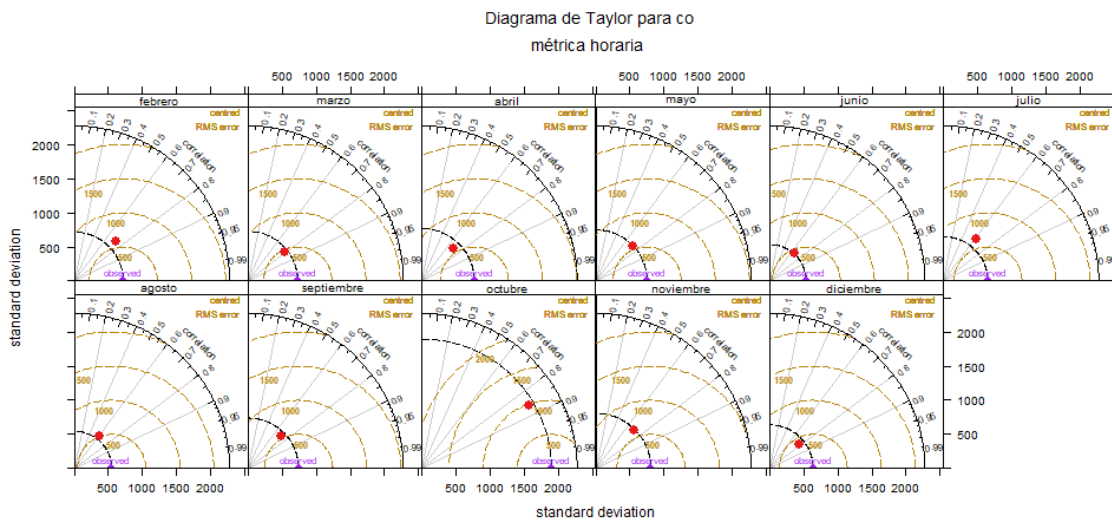


Figura 11-25 Diagramas de Taylor por mes para  $CO$

Secretaría Distrital de Ambiente  
 Dirección de Control Ambiental  
 Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

Diagrama de Taylor para SO<sub>2</sub>  
métrica horaria

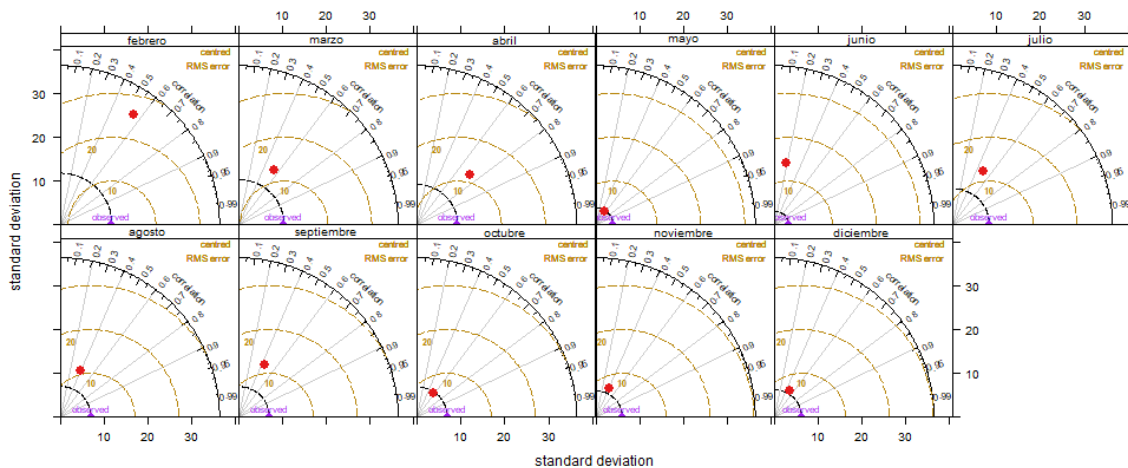


Figura 11-26 Diagramas de Taylor por mes para SO<sub>2</sub>

Diagrama de Taylor para NO<sub>2</sub>  
métrica horaria

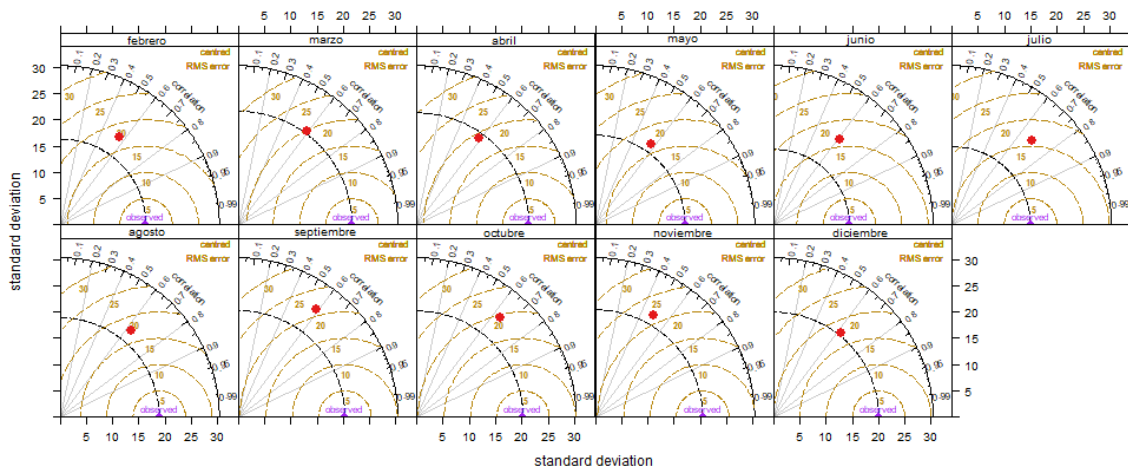


Figura 11-27 Diagramas de Taylor por mes para NO<sub>2</sub>

## 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<sub>2.5</sub> 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.

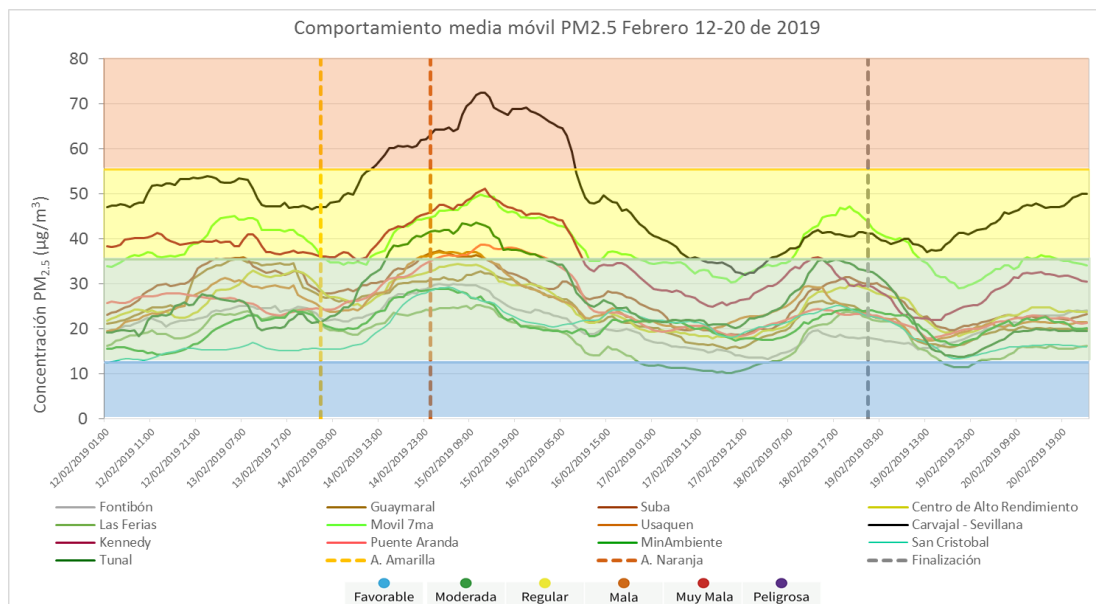


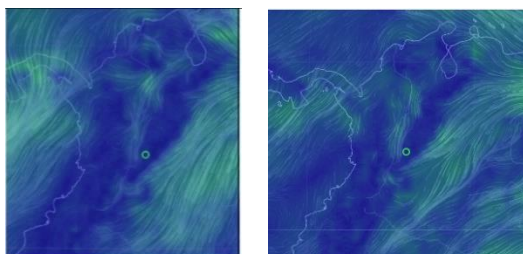
Figura 12-1. Concentraciones medias móvil PM<sub>2.5</sub> febrero 12 al 20 de 2019

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

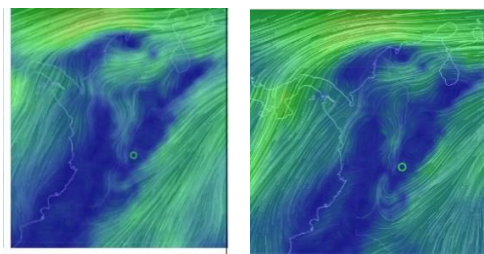


Figura 12-2. Modelación del viento para febrero 14 y 15 de 2018 y 2019

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.

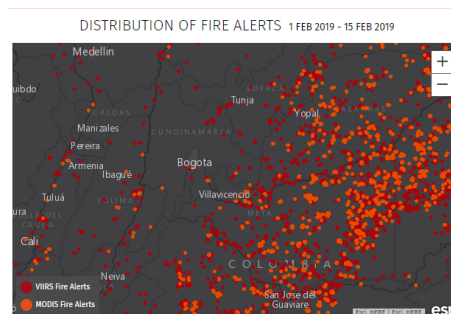


Figura 12-3. Puntos calientes relacionados con incendios Forestales. Febrero 1 al 15 de 2019.

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<sub>2.5</sub> 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<sup>3</sup> 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.

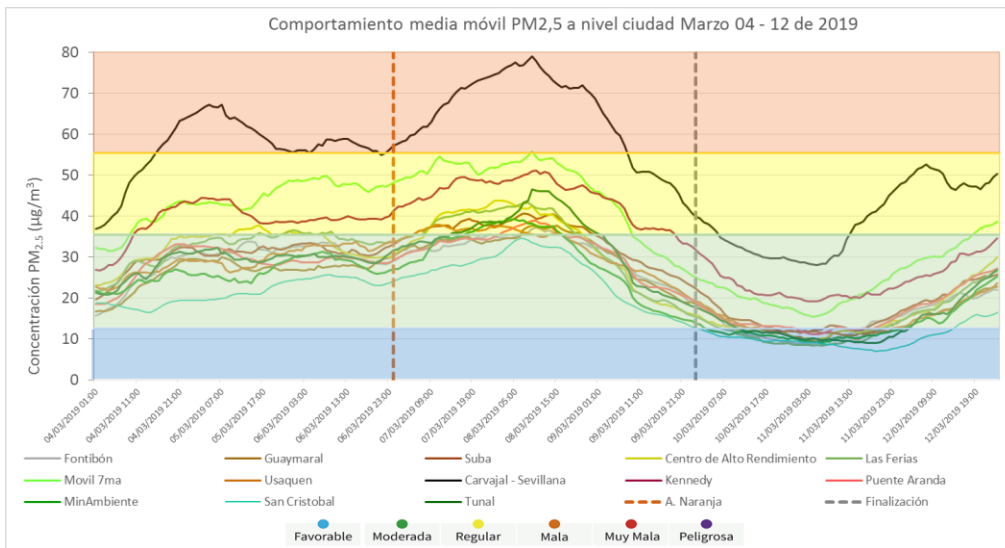


Figura 12-4. Concentraciones media móvil PM<sub>2.5</sub> Marzo 04 al 12 de 2019

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 retro trayectorias 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)

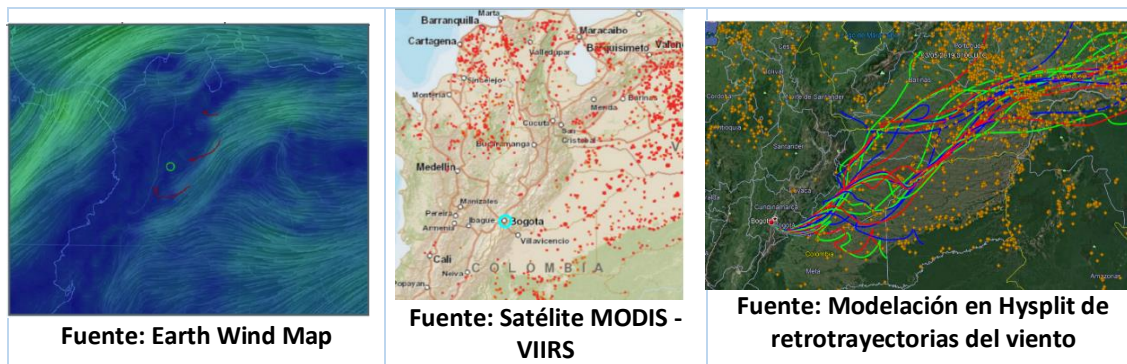


Figura 12-5. a) Modelación de vientos de marzo 7 de 2019. b) Puntos calientes registrados en Colombia para marzo 7 de 2019 c) Retro trayectorias del viento en Hysplit. Marzo 7 de 2019

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.
- Prohíbese 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<sub>2.5</sub> 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.

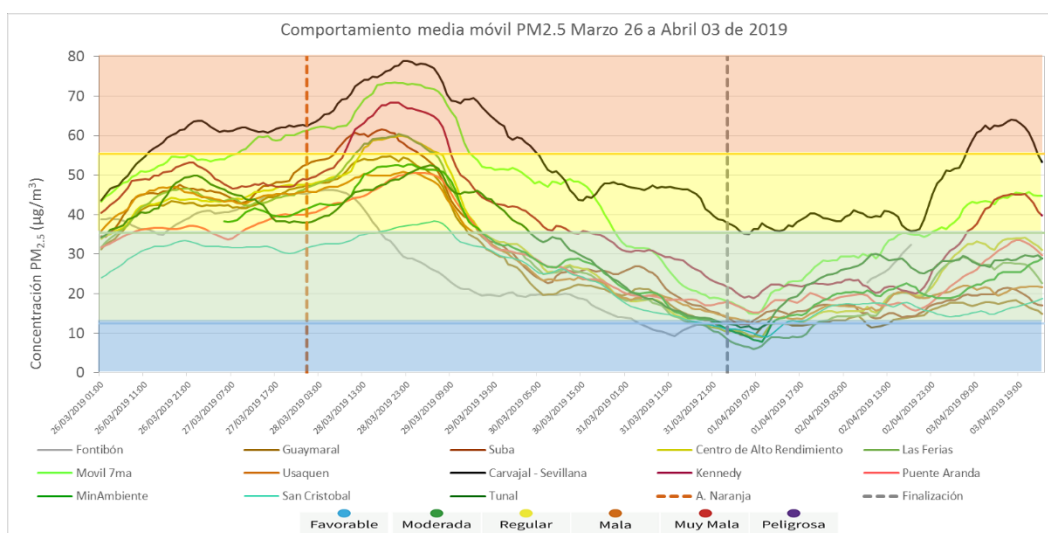


Figura 12-6. Concentraciones media móvil PM<sub>2.5</sub> Marzo 26 a Abril 03 de 2019

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.

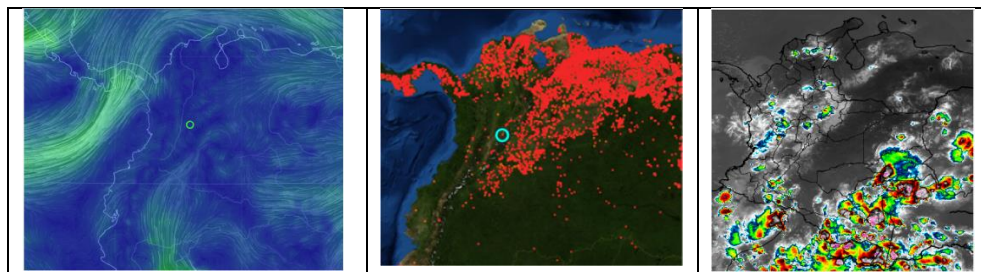


Figura 12-7. a) Modelación de vientos para el 28 de marzo de 2019. b) Puntos caliente registrados en Colombia y Venezuela - Marzo 28 de 2019 c) Mapa de precipitaciones de Marzo 26 de 2019

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 intervención<sup>6</sup>.

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<sup>1</sup>.

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.

---

<sup>6</sup> 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. GESTIÓN 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%).

<sup>7</sup> Documento Conpes 3550 de 2008. Disponible en: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Evaluaci%C3%B3n\\_Ambiental\\_Estrategica/documento\\_conpes.pdf](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):

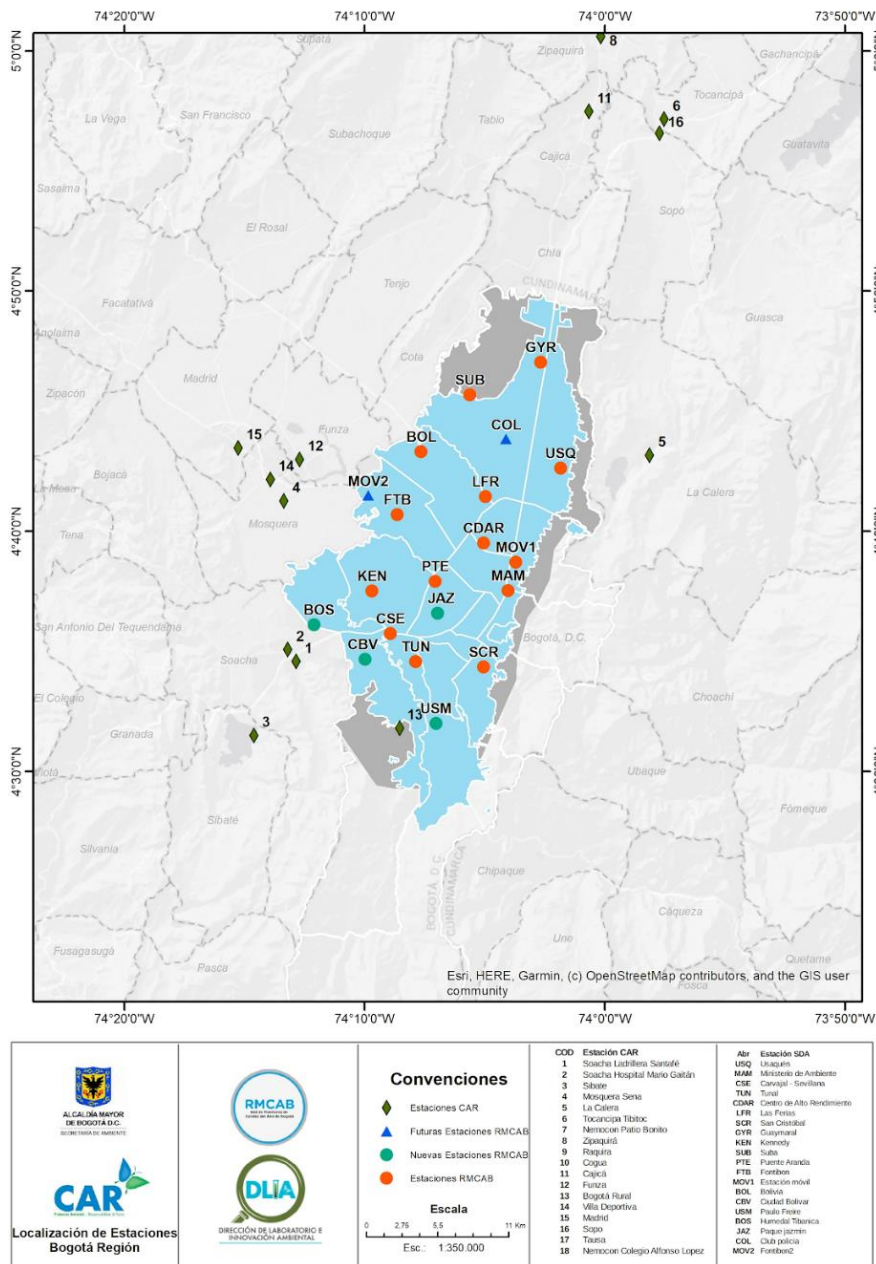


Figura 13-2. Localización de estación de monitoreo de calidad del aire Bogotá Región

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 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.

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 <sup>8</sup>

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).

<sup>8</sup> 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  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de elevación del  $\text{PM}_{10}$  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  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  incrementaba la mortalidad cardiovascular un 0,69%.

A largo plazo, los efectos están más relacionados con el  $\text{PM}_{2,5}$ . 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  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aumento<sup>9</sup>

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  $\text{PM}_{10}$ . Solarte en 2002 sustentó que un incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $\text{PM}_{10}$  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 Secretaría 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

<sup>9</sup> 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<sup>10</sup>

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<sup>5</sup>

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)

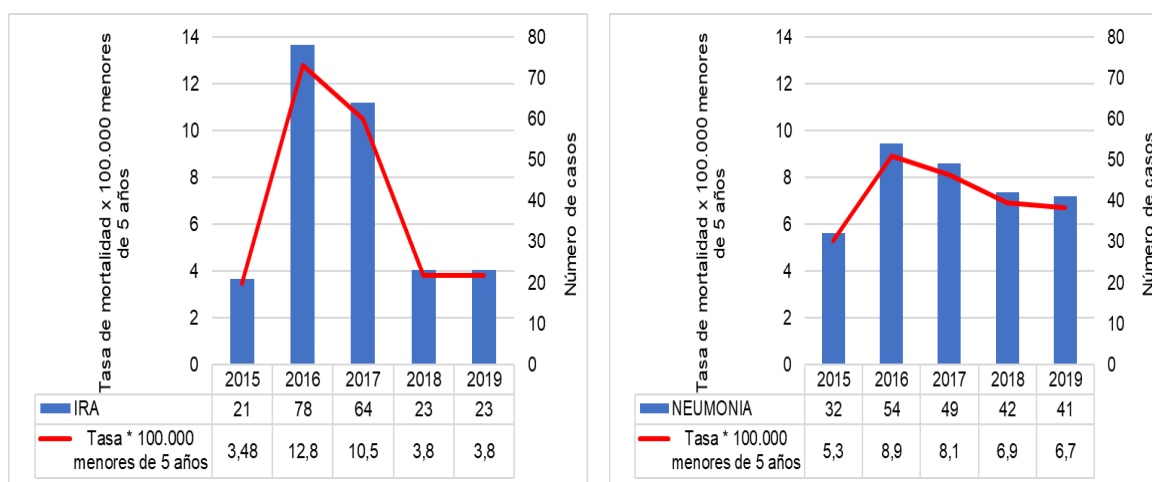


Figura 13-5. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en menores de cinco años. Bogotá, Periodo 2015 a 2019 datos preliminares

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 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<sup>11</sup>. De igual manera, la localidad de Bosa registró el mayor número de muertes por

<sup>10</sup> Boletín epidemiológico semanal: Infección Respiratoria Aguda. Disponible en: [https://www.ins.gov.co/buscador- eventos/BoletinEpidemiologico/2019\\_Boletin\\_epidemiologico\\_semana\\_40.pdf](https://www.ins.gov.co/buscador- eventos/BoletinEpidemiologico/2019_Boletin_epidemiologico_semana_40.pdf)

<sup>11</sup> El impacto mundial de la enfermedad respiratoria. Disponible en: [https://www.who.int/gard/publications/The\\_Global\\_Impact\\_of\\_Respiratory\\_Disease\\_ES.pdf](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 anuales se encontraron entre 22 y 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### **13.3.2. MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA**

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaría 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.



INFORME ANUAL

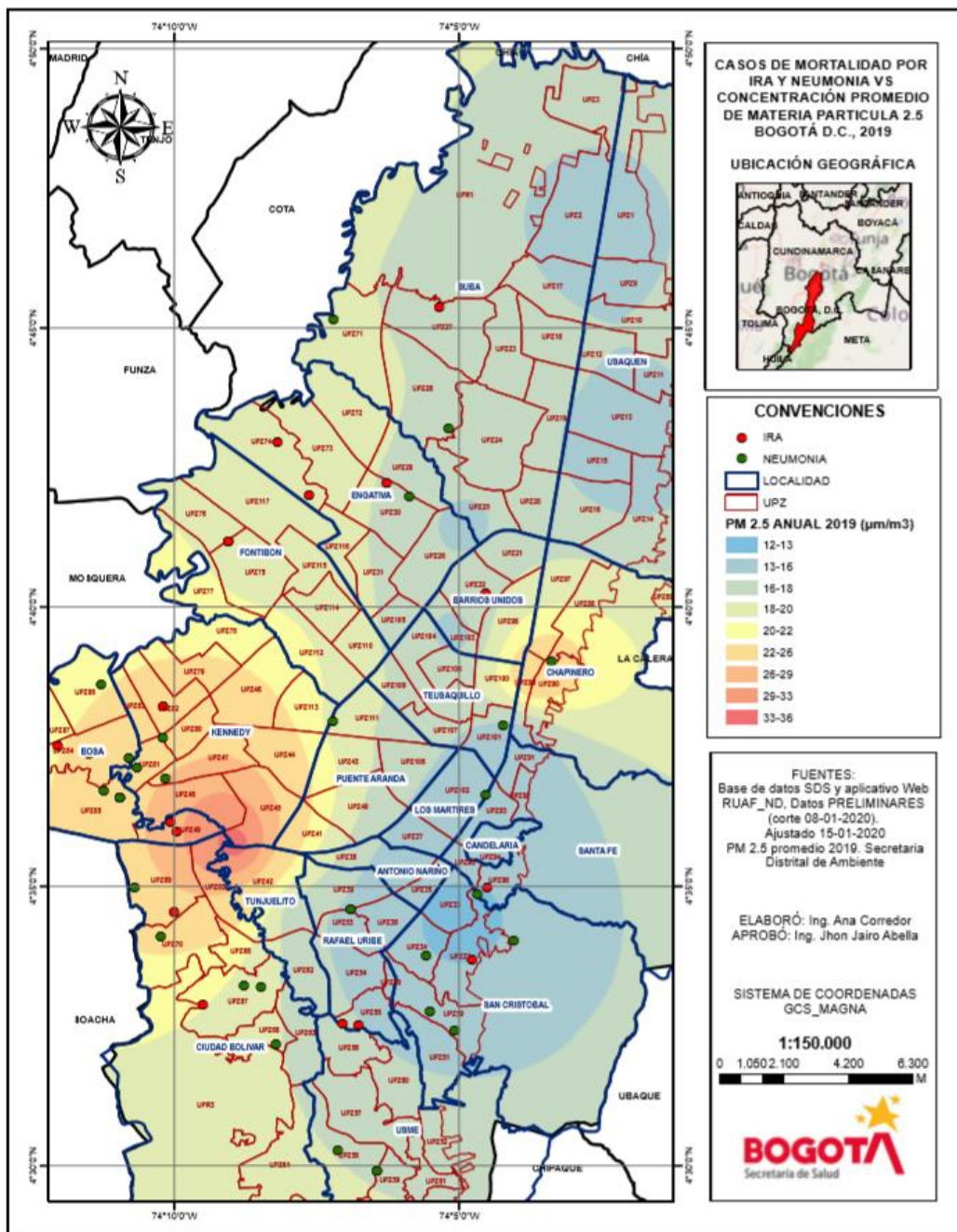


Figura 13-6. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria y Neumonía en menores de 5 años y material particulado 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Bogotá, 2019

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.<sup>12</sup>

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 hacia el aumento y con una variación del 79% ( $R^2=0,79$ ). 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.

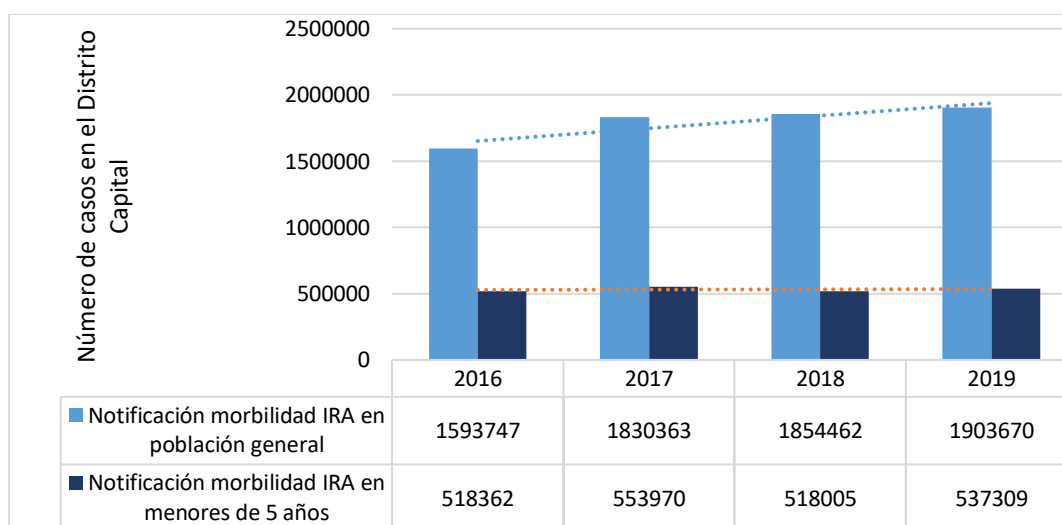


Figura 13-7. Morbilidad por IRA (evento 995- SIVIGILA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2016 a 2019  
Fuente: Base de datos SIVIGILA. Vigilancia de IRA.2016-2019

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

<sup>12</sup> Informe del comportamiento de la infección respiratoria aguda. Disponible en: <https://www.bogota.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.<sup>13</sup>

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.

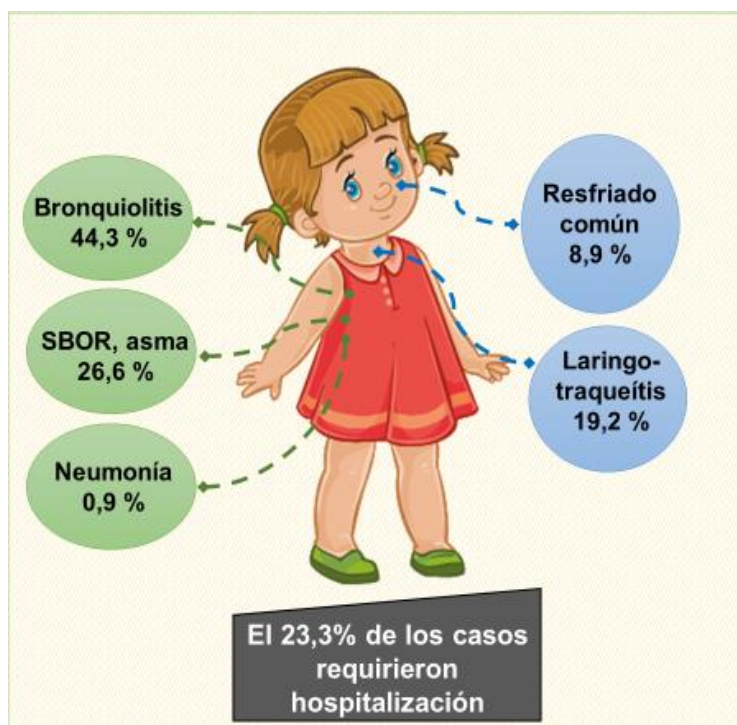


Figura 13-8. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2019  
Fuente: Base de datos Salas ERA.2019

#### o 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.

<sup>13</sup> 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 en la proporción según sexo, mientras que en los adultos mayores predominó el sexo femenino (Figura 13-9).

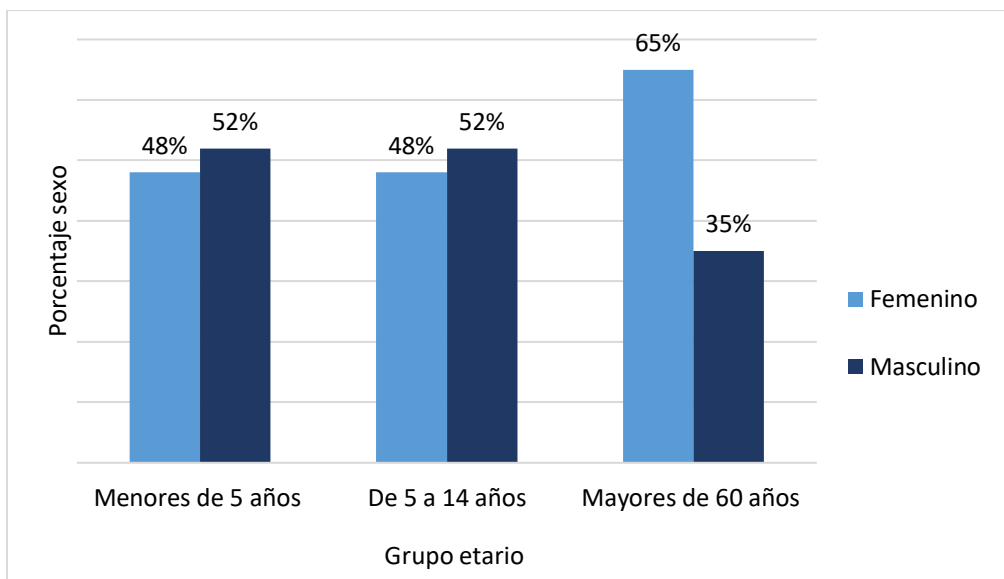


Figura 13-9. Distribución por sexo según grupo etario. Bogotá 2019  
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

La Figura 13-10 muestra la distribución de la población según estrato socioeconómico prevaleciendo el estrato 2 y le sigue el estrato 3.

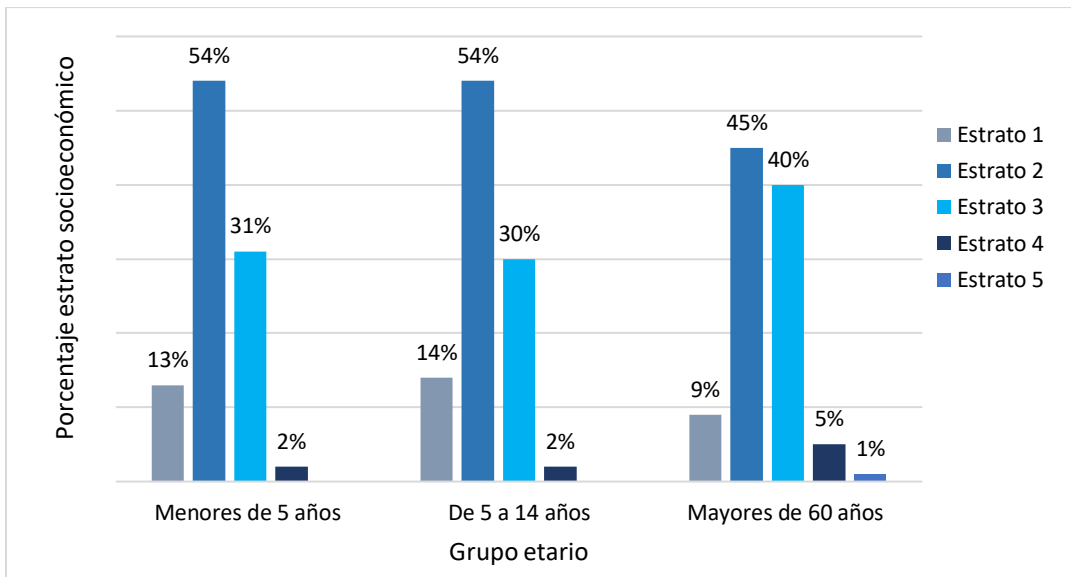


Figura 13-10. Distribución por estrato socioeconómico según grupo etario. Bogotá 2019  
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

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).

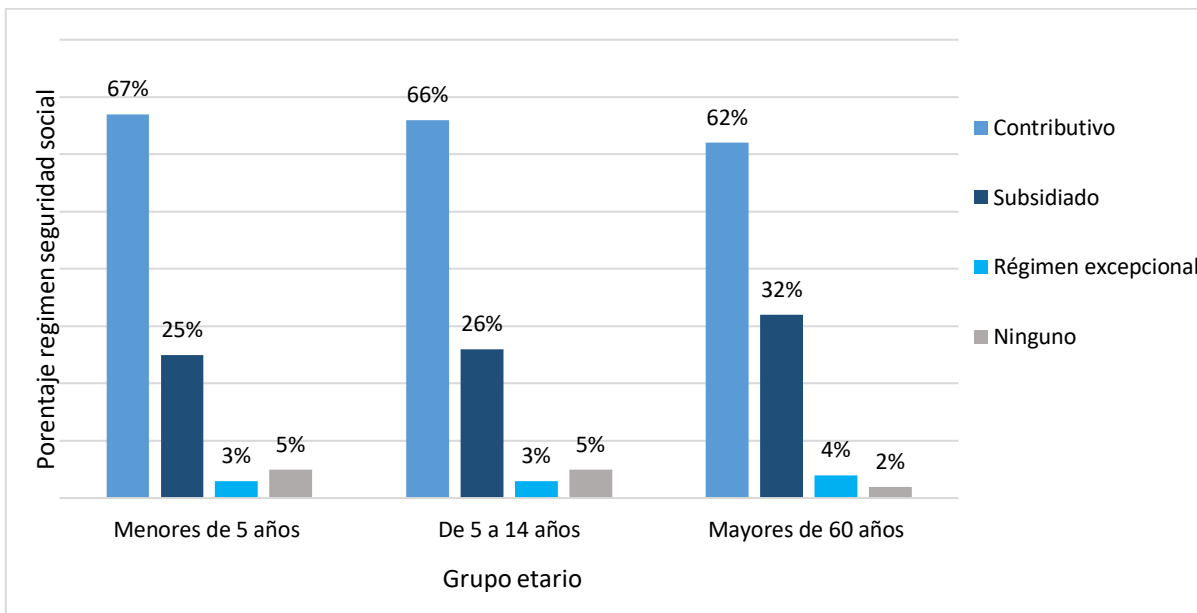


Figura 13-11. Distribución por régimen de seguridad social según grupo etario. Bogotá 2019  
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM, 2019

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 cardíaca y con el síndrome de muerte súbita del lactante <sup>14</sup>.

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,

<sup>14</sup> 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<sup>15</sup>. 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<sup>16</sup>. 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%.

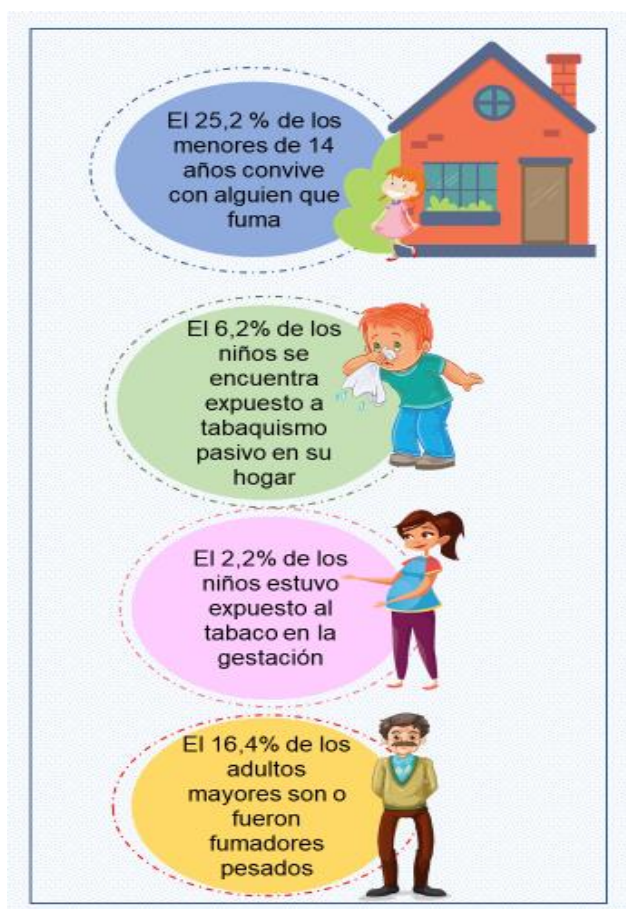


Figura 13-12. Prevalencias por exposición al humo de tabaco en menores de 14 años y mayores de 60 años  
Fuente: Sistema de Información Línea de Aire, Ruido y REM. 2019

<sup>15</sup> 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>

<sup>16</sup> 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%
<b>Sibilancias en el último año</b>			
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
<b>Tos seca</b>			
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%
<b>Tos seca</b>			
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
<b>Despertar por tos</b>			
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 Secretaría 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<sub>10</sub> En Bogotá 2019

Para el año 2019 la RMCAB reporto un total de 101.042 datos válidos de material particulado PM<sub>10</sub>, 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<sub>10</sub> 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<sub>10</sub> 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 µg/m<sup>3</sup> 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.

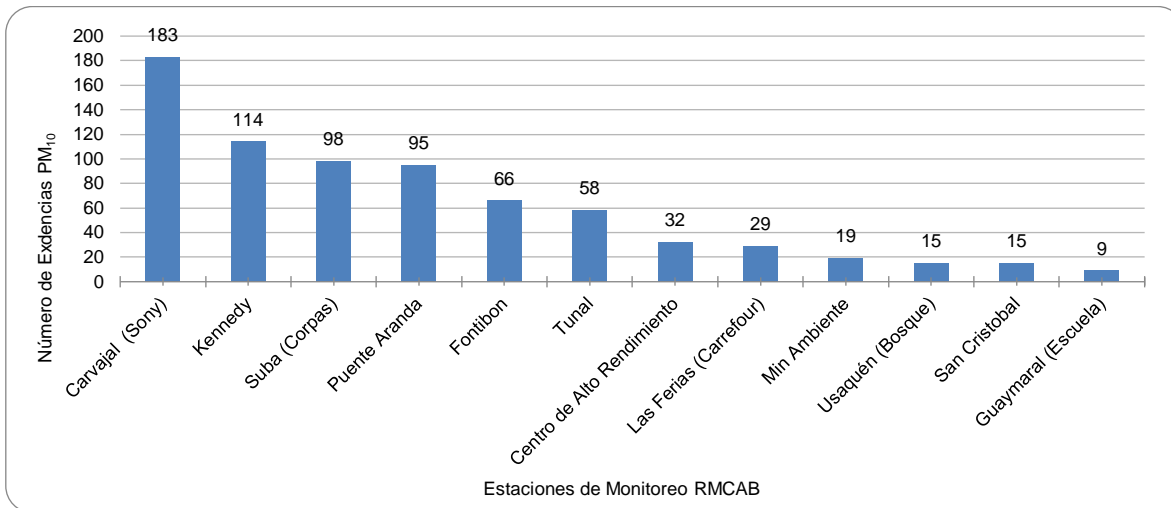


Figura 13-13. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM<sub>10</sub> en Bogotá año 2019

Fuente: Datos analizados por Secretaría Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaría 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<sub>10</sub> 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<sup>3</sup>) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 (50µg/m<sup>3</sup>), 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.

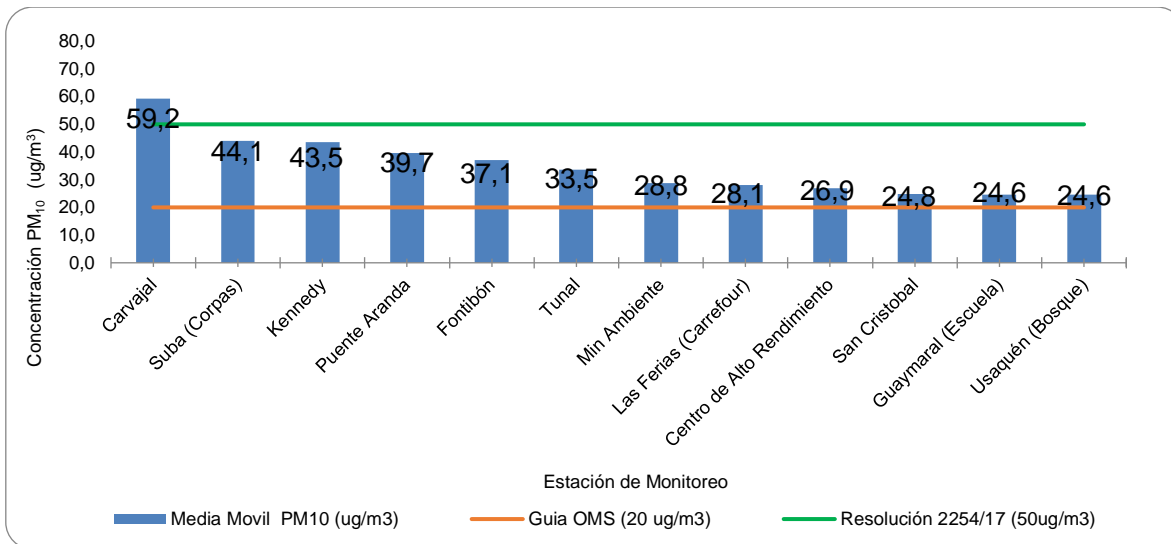


Figura 13-14. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2019

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<sub>10</sub>) 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<sup>3</sup>.

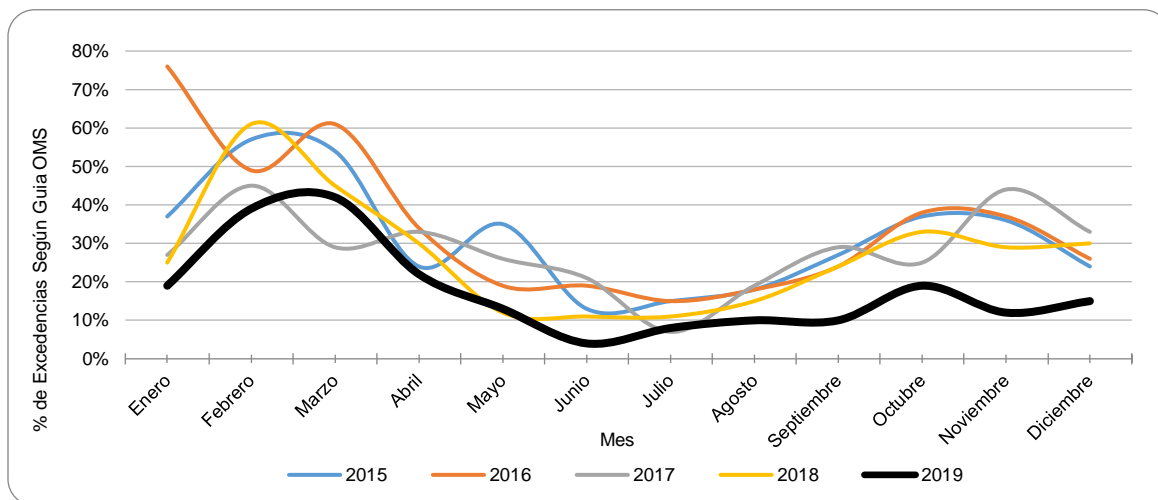


Figura 13-15. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2019

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<sub>10</sub>, 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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<sub>10</sub> por metro cúbico de aire. En 2019, la concentración rondó los 35 microgramos.

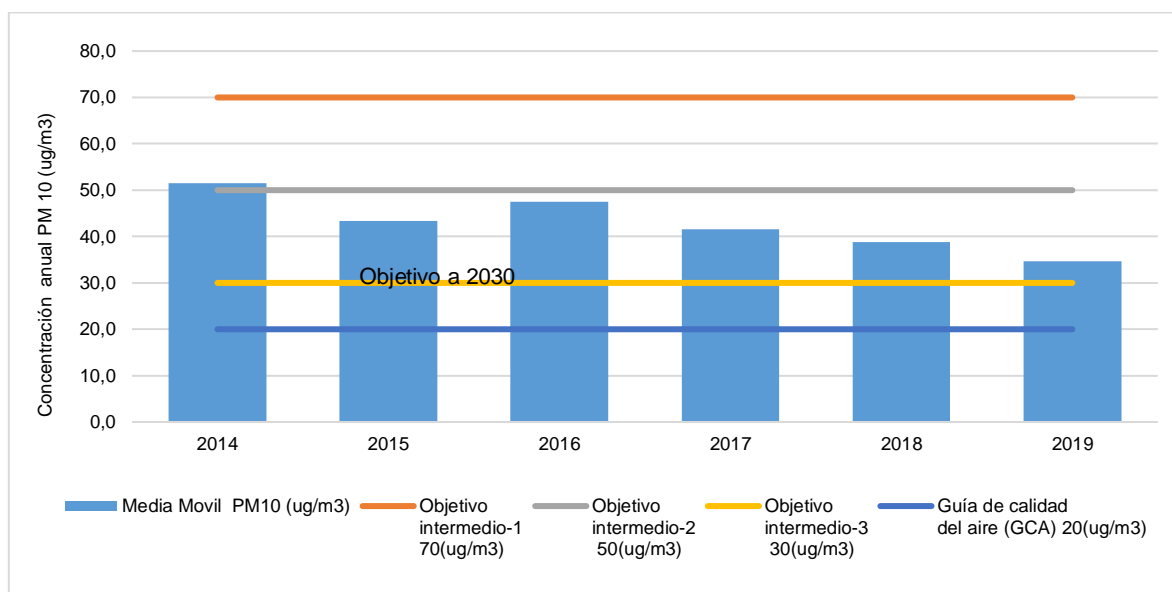


Figura 13-16. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM<sub>10</sub> Bogotá 2015-2019

Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente

### 13.4.2. Material Particulado PM<sub>2.5</sub> En Bogotá 2019

Por otra parte, para el material particulado PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> respecto a la guía OMS de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  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.

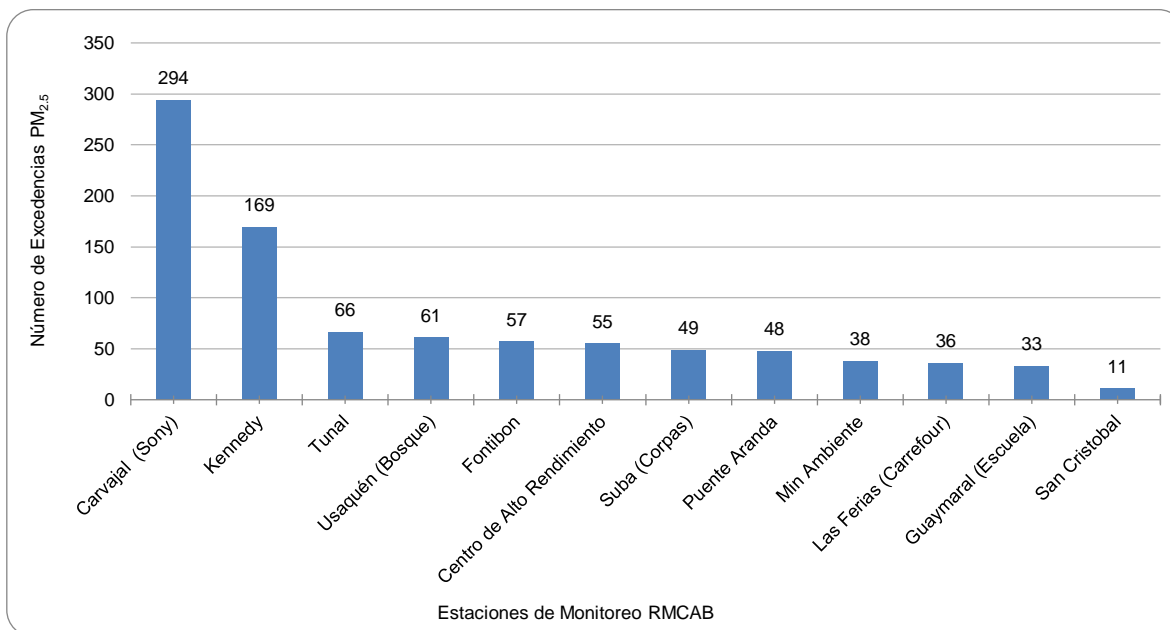


Figura 13-17. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM<sub>2.5</sub> en Bogotá año 2019

Fuente: Datos analizados por Secretaría Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaría Distrital de Ambiente.

De igual forma se realizó análisis estadístico de los datos de PM<sub>2.5</sub> 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 (10µg/m<sup>3</sup>) y con respecto a la norma nacional Resolución 2254 de 2017 (25µg/m<sup>3</sup>), de igual forma que con el PM<sub>10</sub> 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.

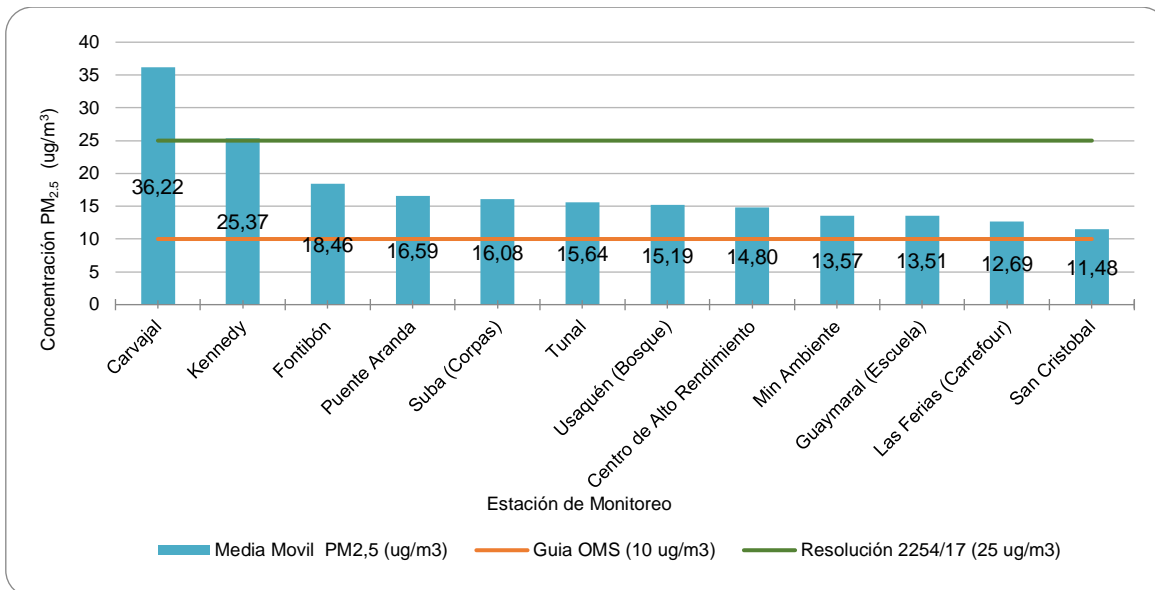


Figura 13-18. Promedio anual y excedencia a la normativa Guía OMS de material particulado PM<sub>2.5</sub> en Bogotá en el año 2019

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<sub>2.5</sub> 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)

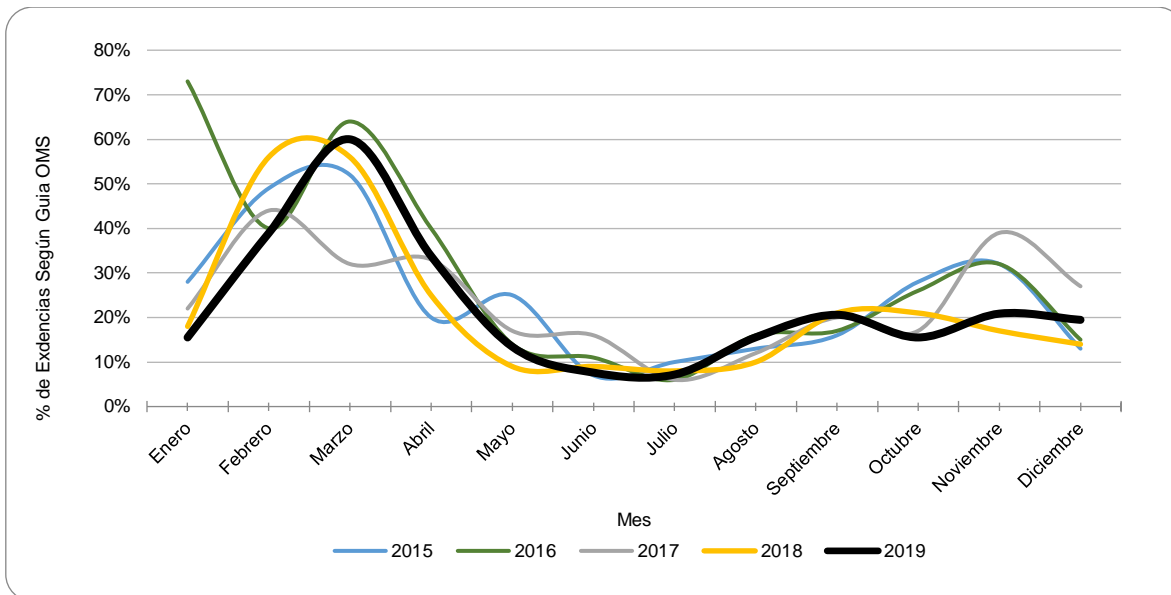


Figura 13-19. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM<sub>2.5</sub> respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2019

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<sub>2,5</sub>, 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<sup>3</sup> 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)



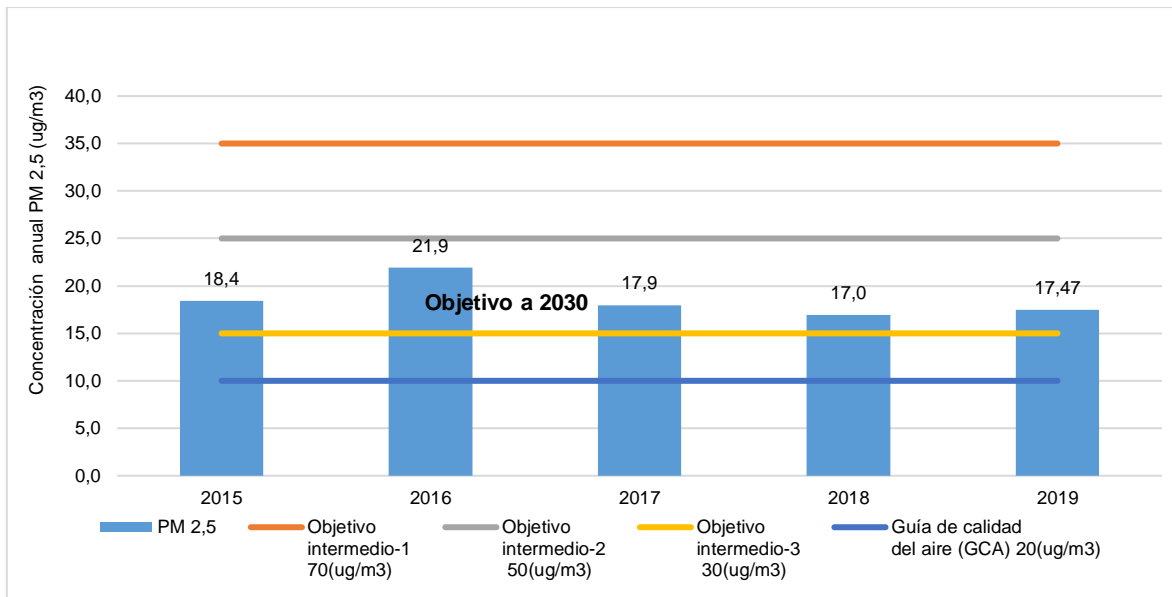


Figura 13-20. Cumplimiento de recomendaciones calidad del aire para exposición anual establecida por OMS para material particulado PM2.5 Bogotá 2015-2019

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.

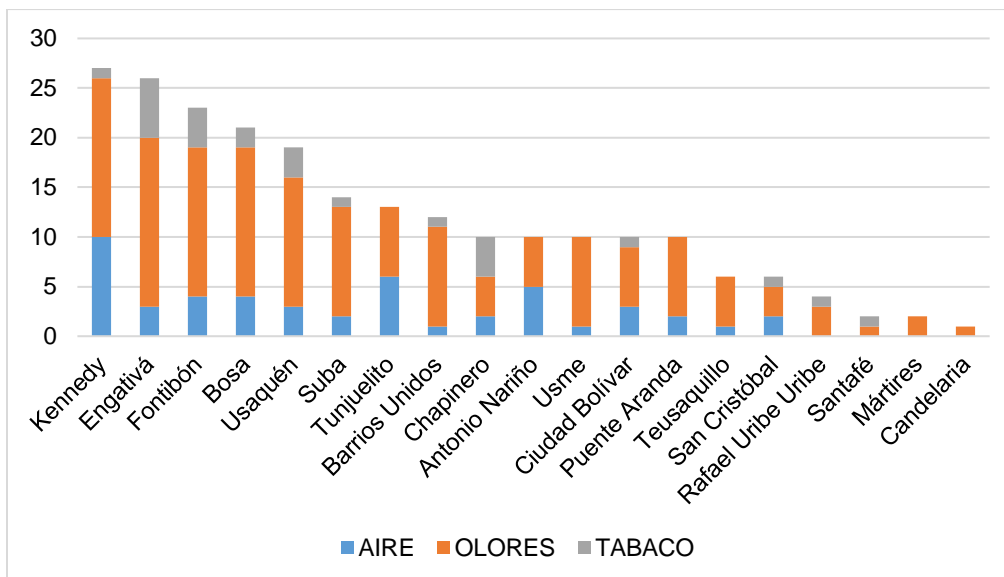


Figura 13-21. Quejas atendidas por contaminación del aire, olores y humo de tabaco en Bogotá 2019.  
Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2019

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 afectarles 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 es 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.

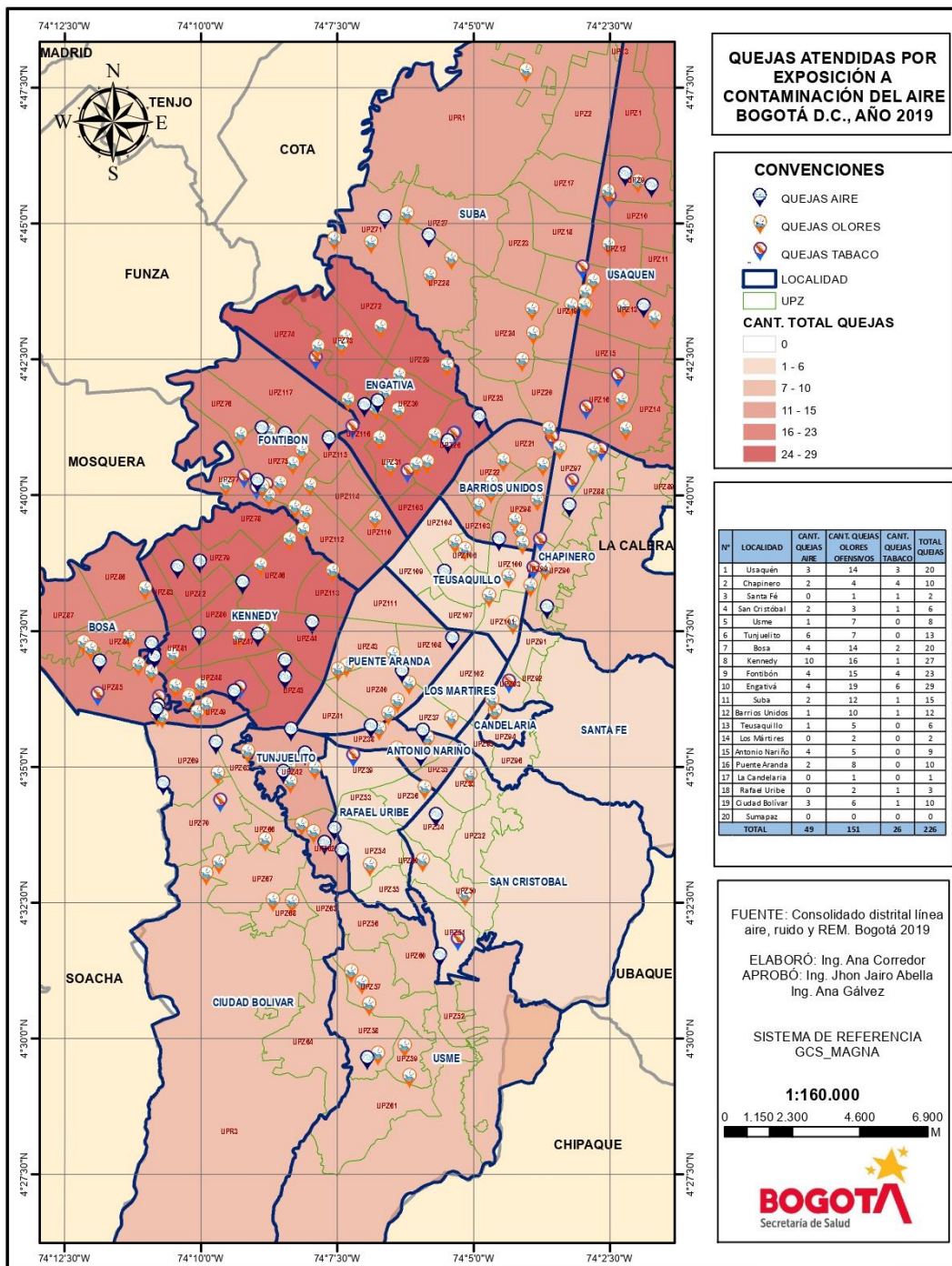


Figura 13-22. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire, olores ofensivos y humo de tabaco en Bogotá, 2019

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 Secretaría 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 Secretaría

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/-lit> 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 encuestó 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 generar 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, Público, 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](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](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](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](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 Bargalló, 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*.

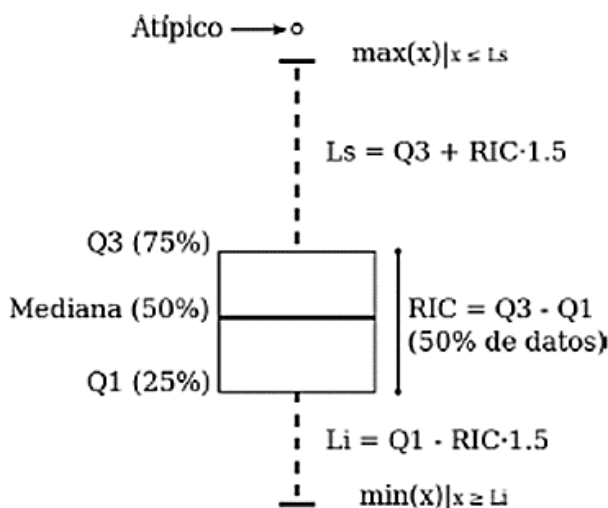


Figura 15-1. Presentación del gráfico de cajas con una descripción de sus componentes.

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  $Q1 - (RIC \times 1.5)$ , donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ( $Q3 - Q1$ ). **Ls**, límite superior, corresponde a  $Q3 + (RIC \times 1.5)$ , 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 ( $\text{mg}/\text{m}^3$  y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) estarán en condiciones de referencia correspondientes a  $25^\circ\text{C}$  y  $760\text{ mm Hg}$ .

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1144,9	ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO <sub>2</sub>	2,6186	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO <sub>2</sub>	1,8804	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O <sub>3</sub>	1,9620	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de  $760\text{ mm Hg}$  y a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , 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:

$$\text{Factor de Conversión [ppb o ppm]} = \frac{M * P}{\bar{R} * T} * \frac{1}{1000} \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \text{ o } \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$$

Donde:

M: masa molar del gas contaminante [g/mol]

P: presión atmosférica [Pa]

$\bar{R}$ : constante universal de los gases ideales =  $8,314472 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

T: temperatura absoluta [K]

### C. Promedios mensuales de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y O<sub>3</sub> para el año 2019

Tabla 15-2. Concentraciones mensuales de PM<sub>10</sub> 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	-



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

Tabla 15-3. Concentraciones mensuales de PM<sub>2.5</sub> 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<sub>3</sub> 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

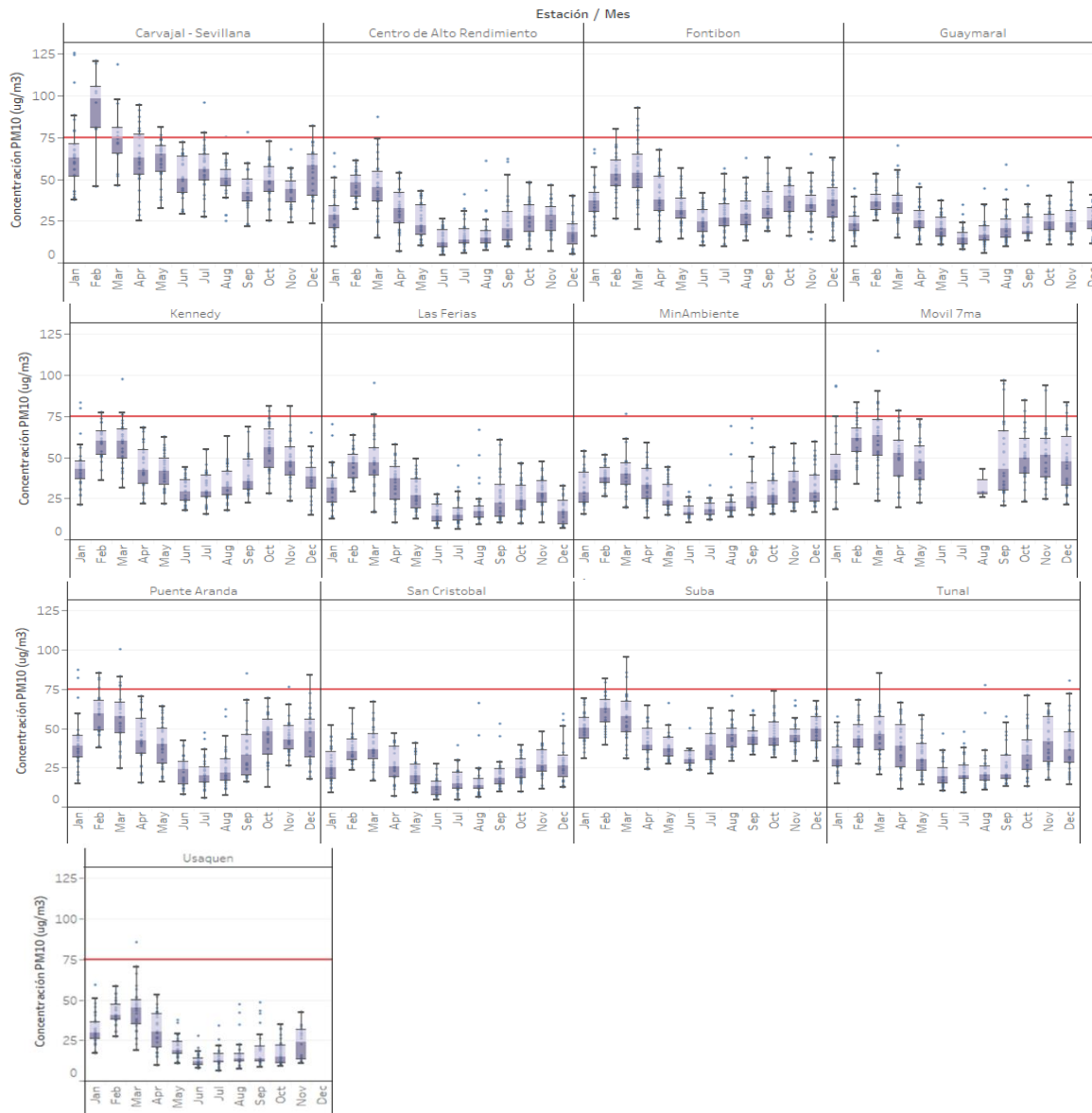
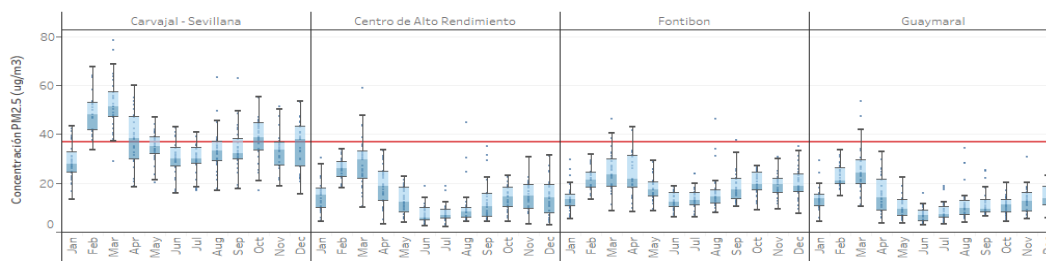


Figura 15-2. Boxplot de concentraciones diarias de  $\text{PM}_{10}$  por mes. Año 2019



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

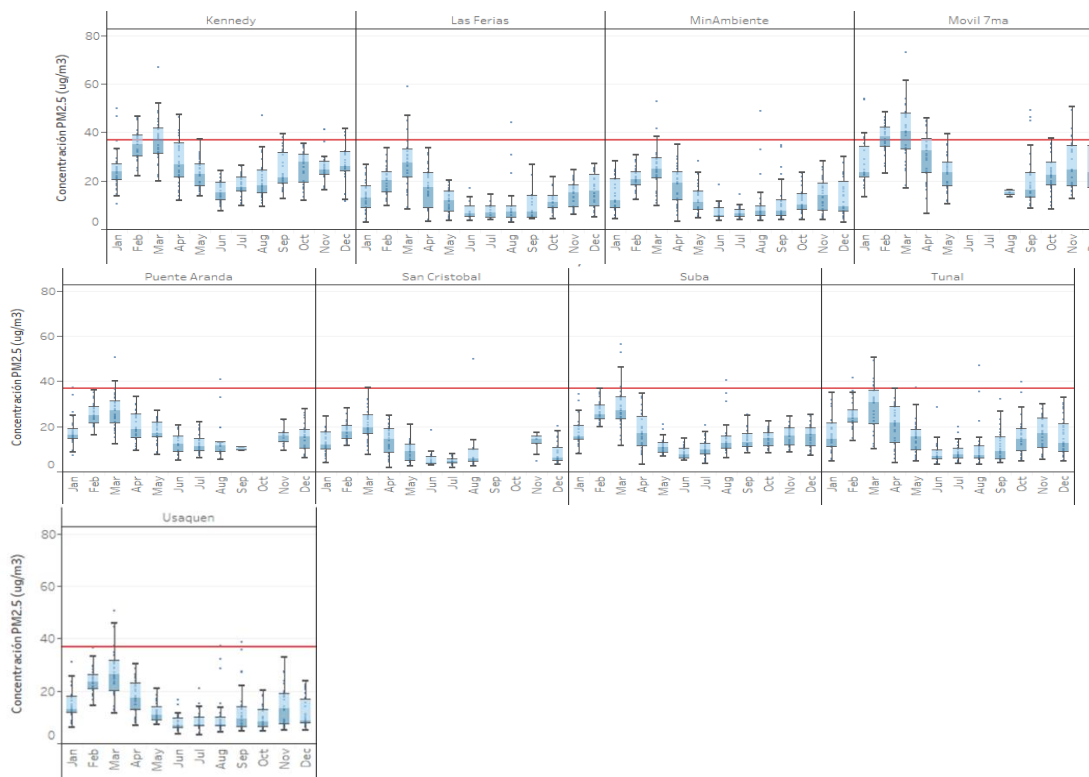
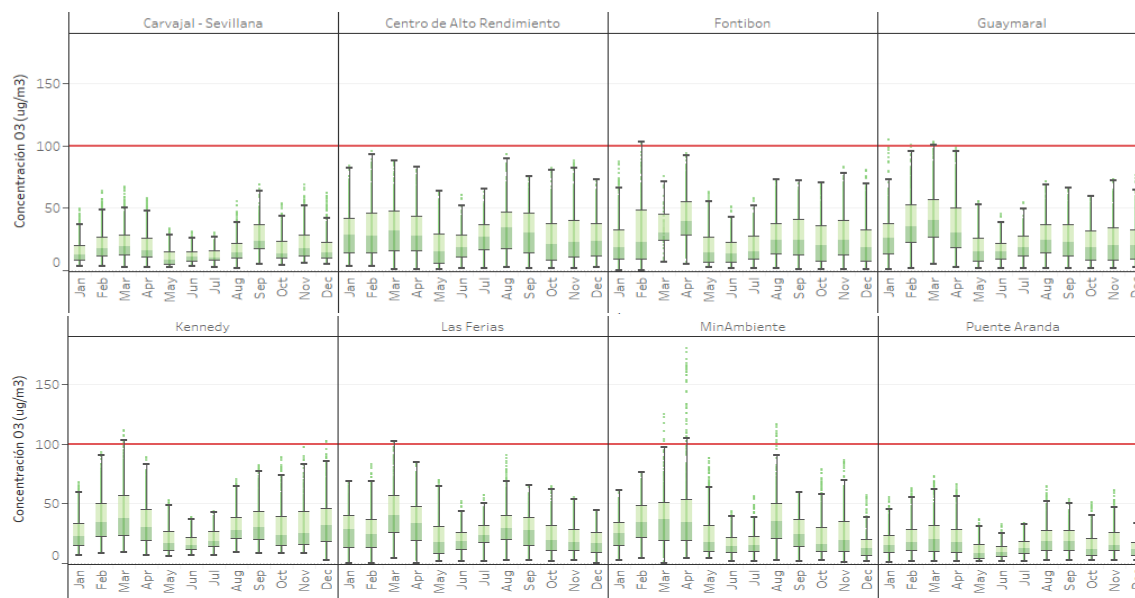


Figura 15-3. Boxplot de concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  por mes. Año 2018



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

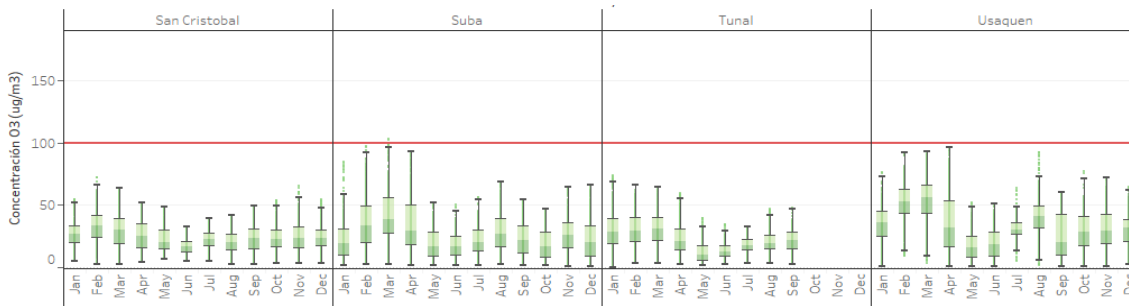


Figura 15-4. Boxplot de concentraciones 8 horas de O<sub>3</sub> por mes. Año 2019

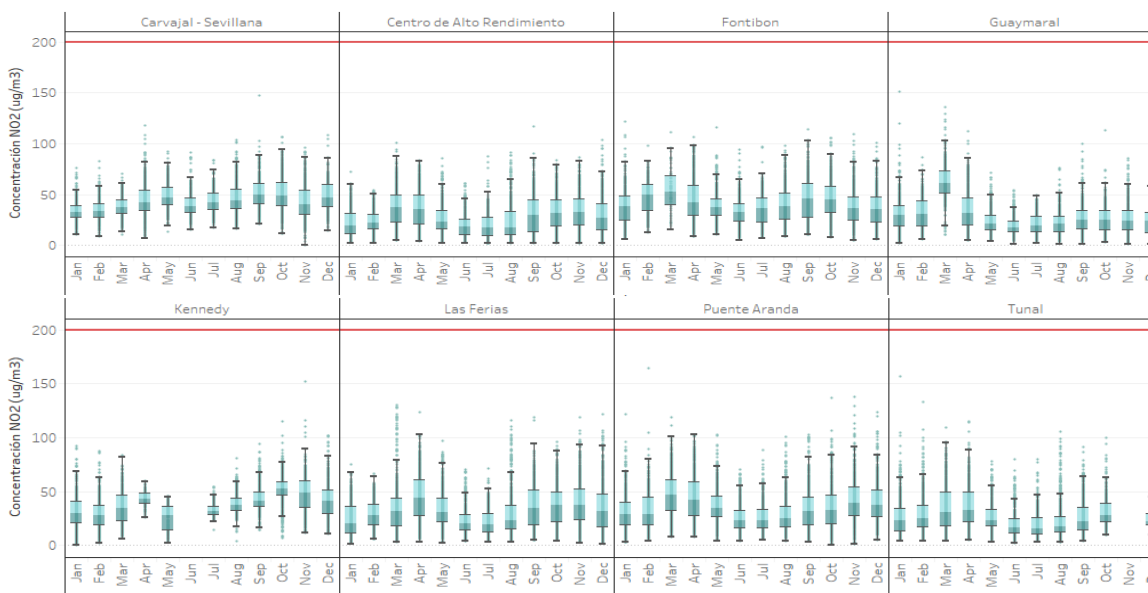
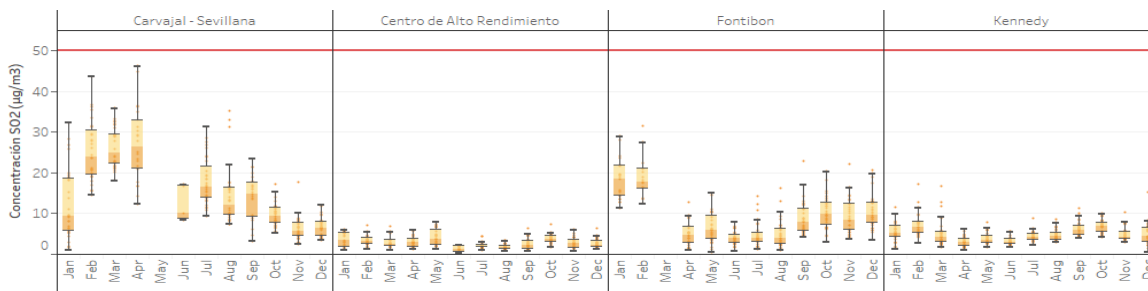


Figura 15-5. Boxplot de concentraciones horarias de NO<sub>2</sub> por mes. Año 2018



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

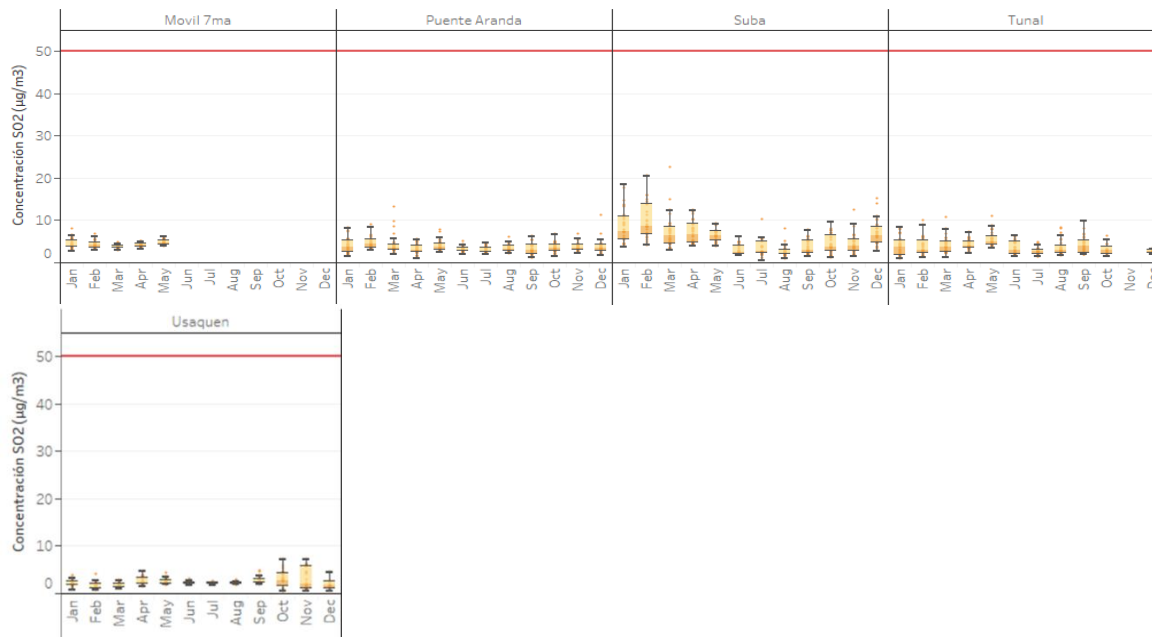


Figura 15-6. Boxplot de concentraciones 24 horas de SO<sub>2</sub> por mes. Año 2019

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

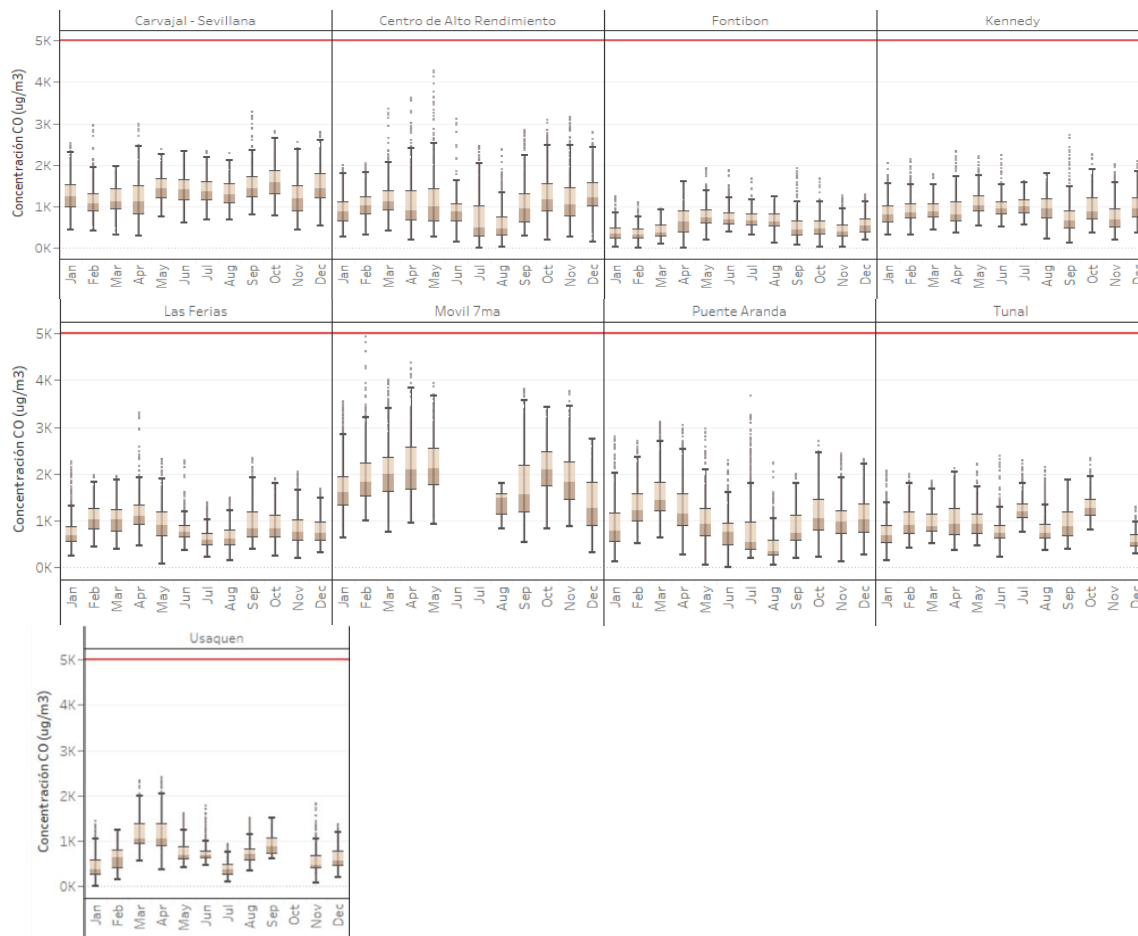


Figura 15-7. Boxplot de concentraciones 8 horas de CO por mes. Año 2019

## E. Calendar plot del contaminante PM<sub>2.5</sub> para el año 2019

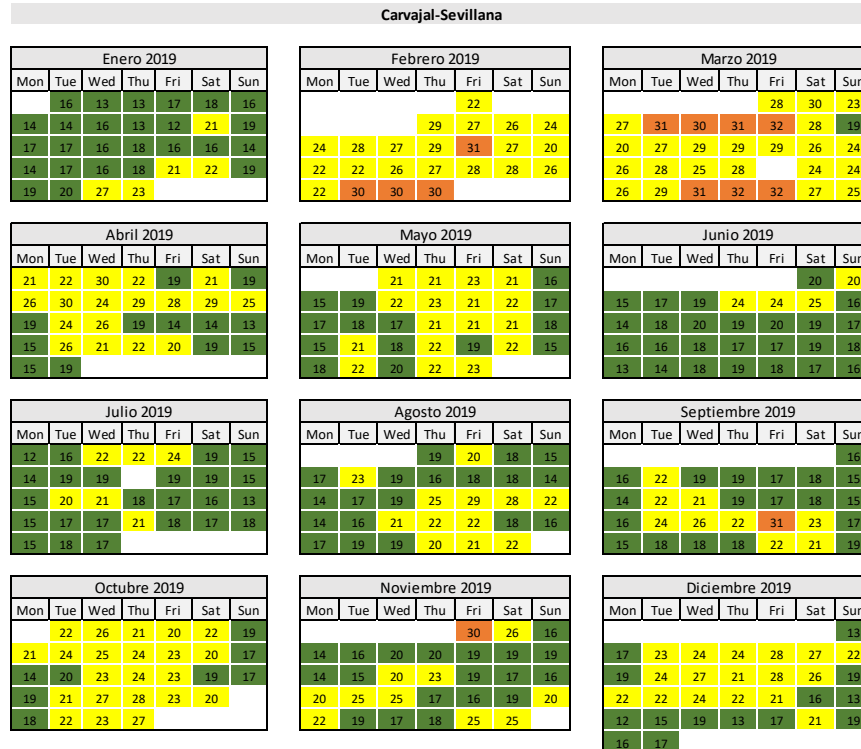


Figura 15-8. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Carvajal-Sevillana

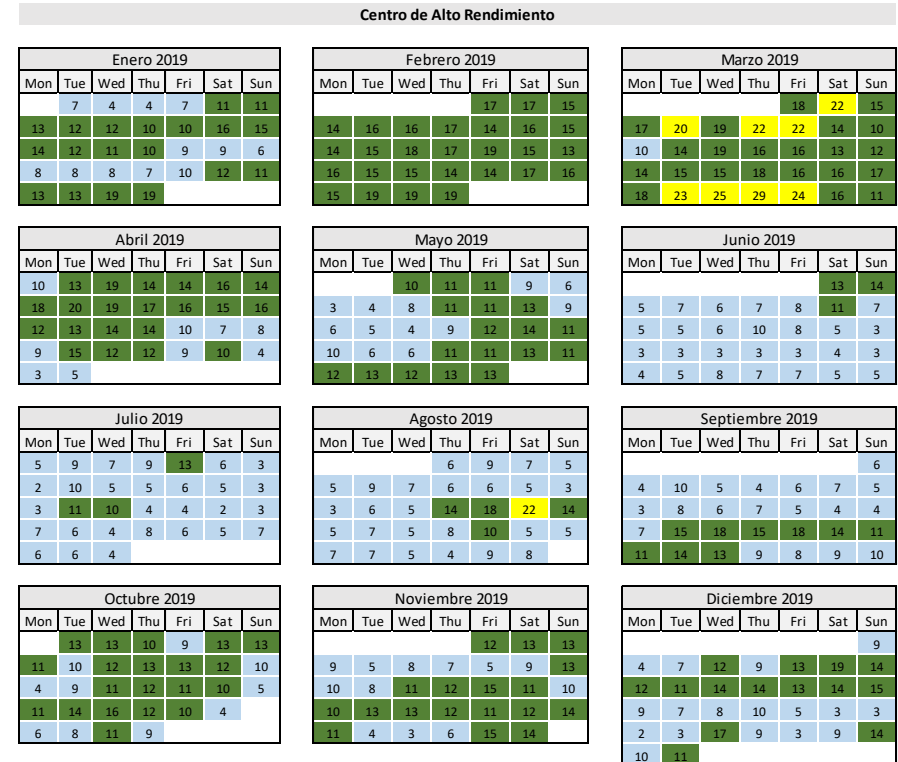


Figura 15-9. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Centro de Alto Rendimiento



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB  
**INFORME ANUAL**

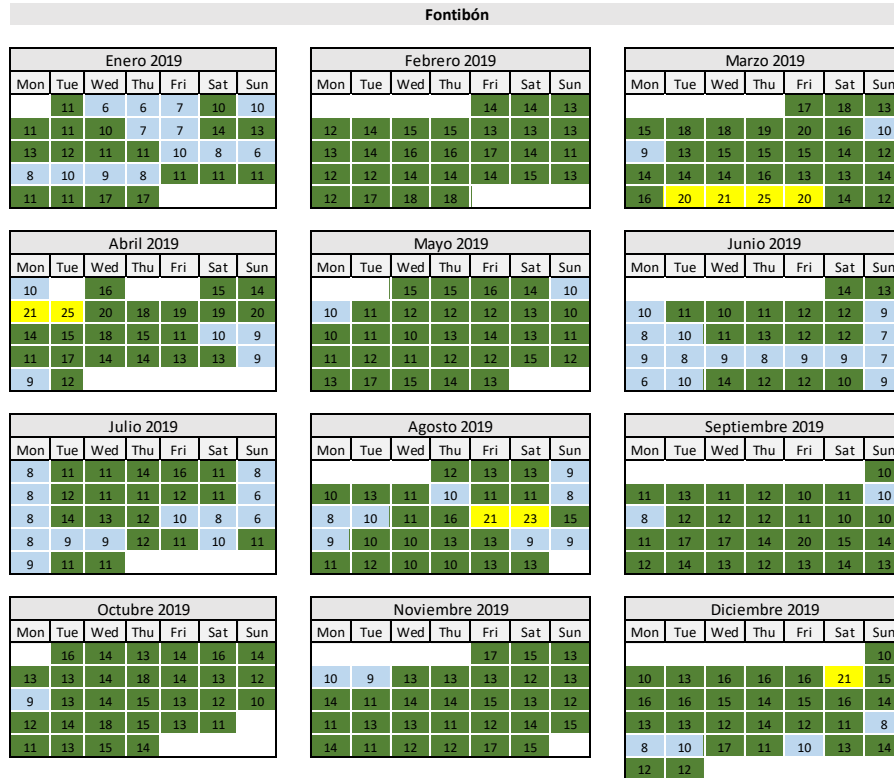
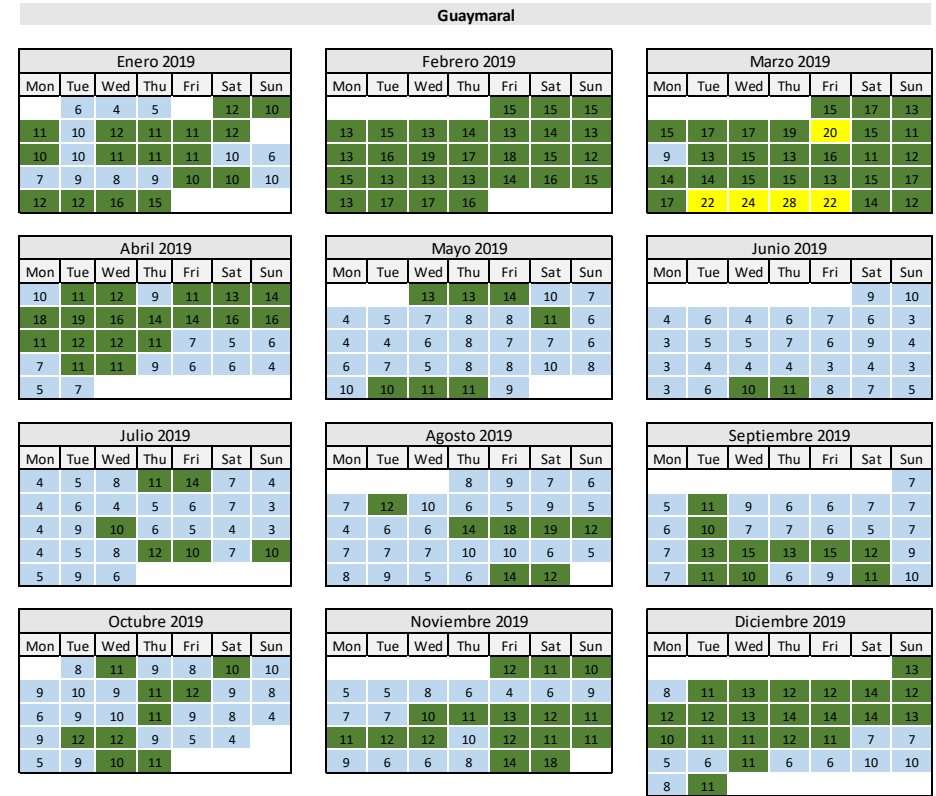


Figura 15-10. Calendar plot de PM<sub>2,5</sub> para la estación Fontibón



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB  
**INFORME ANUAL**

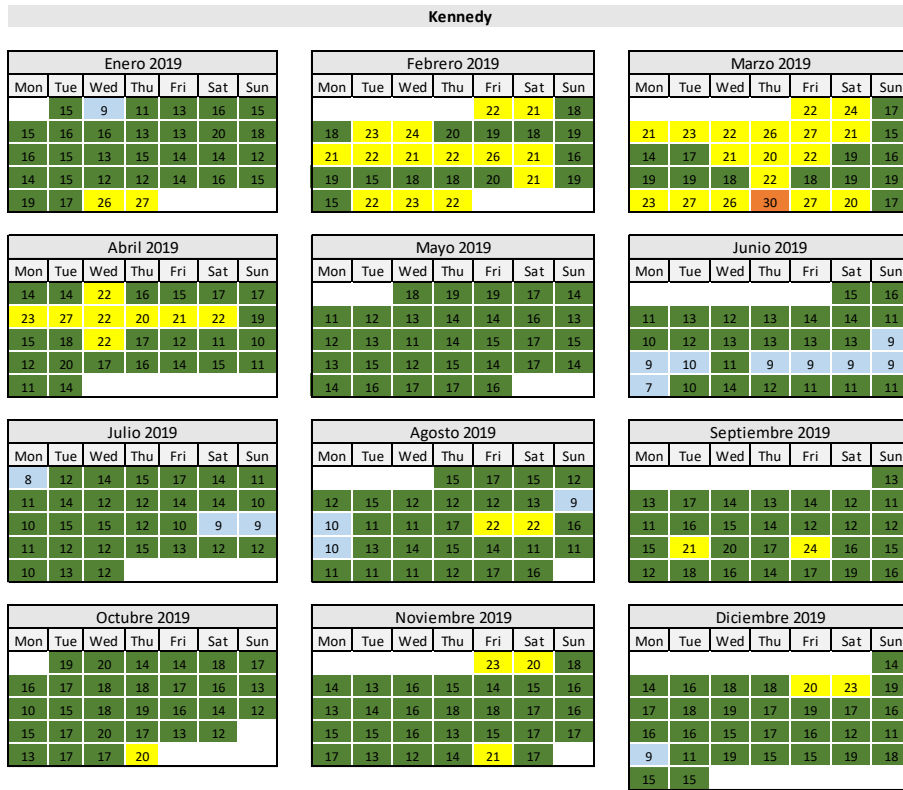


Figura 15-12. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Kennedy

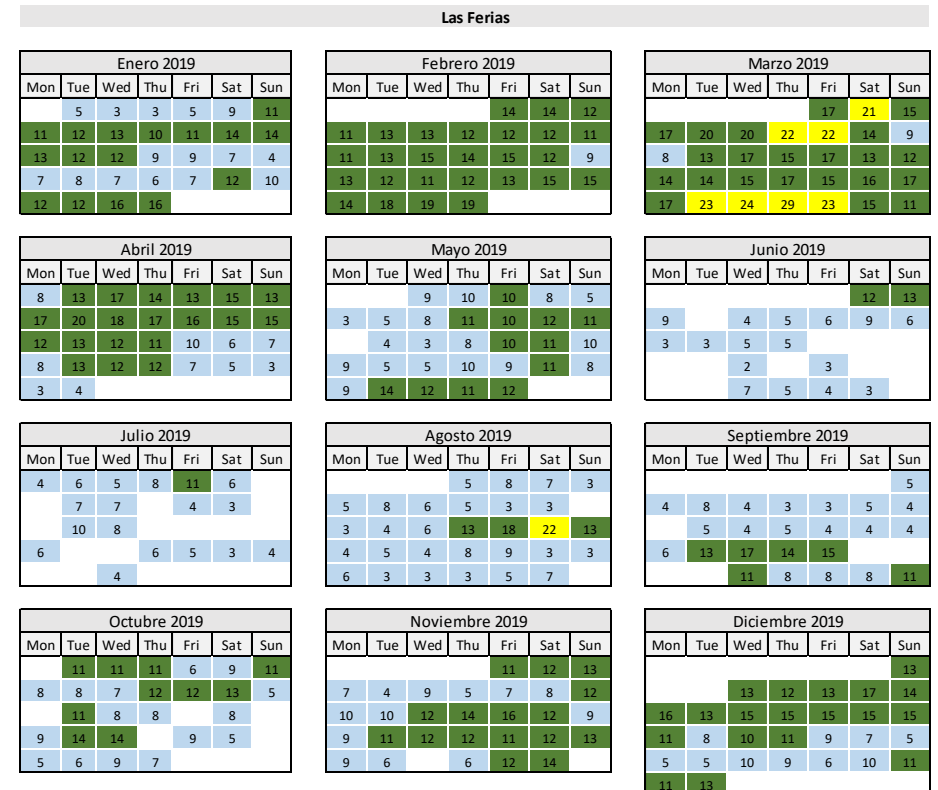


Figura 15-13. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Las Ferias

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

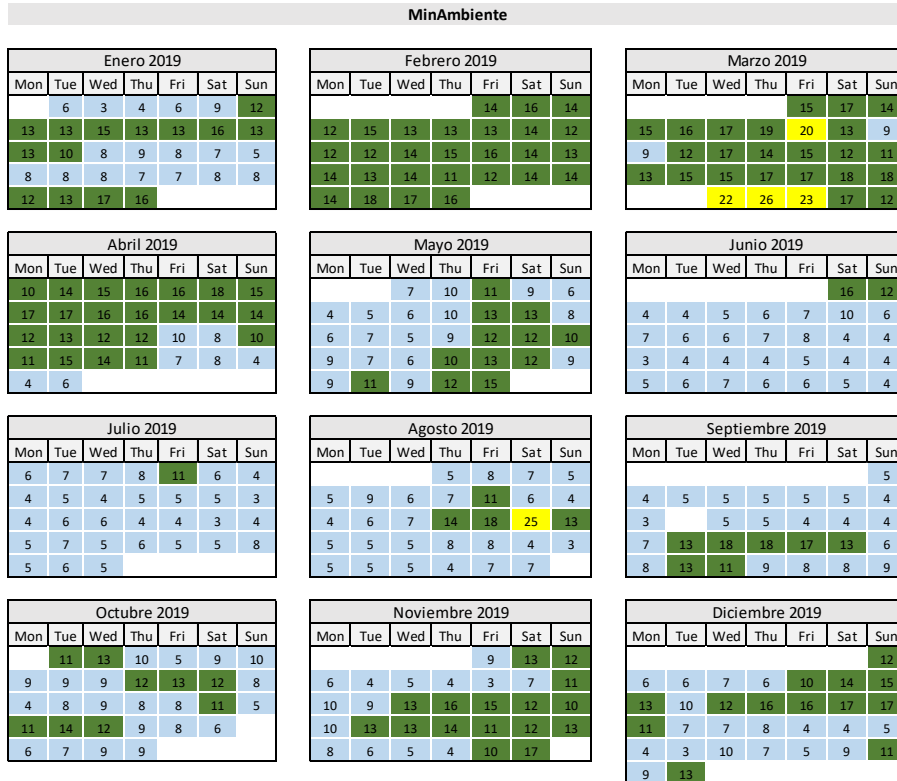


Figura 15-14. Calendar plot de  $PM_{2.5}$  para la estación MinAmbiente

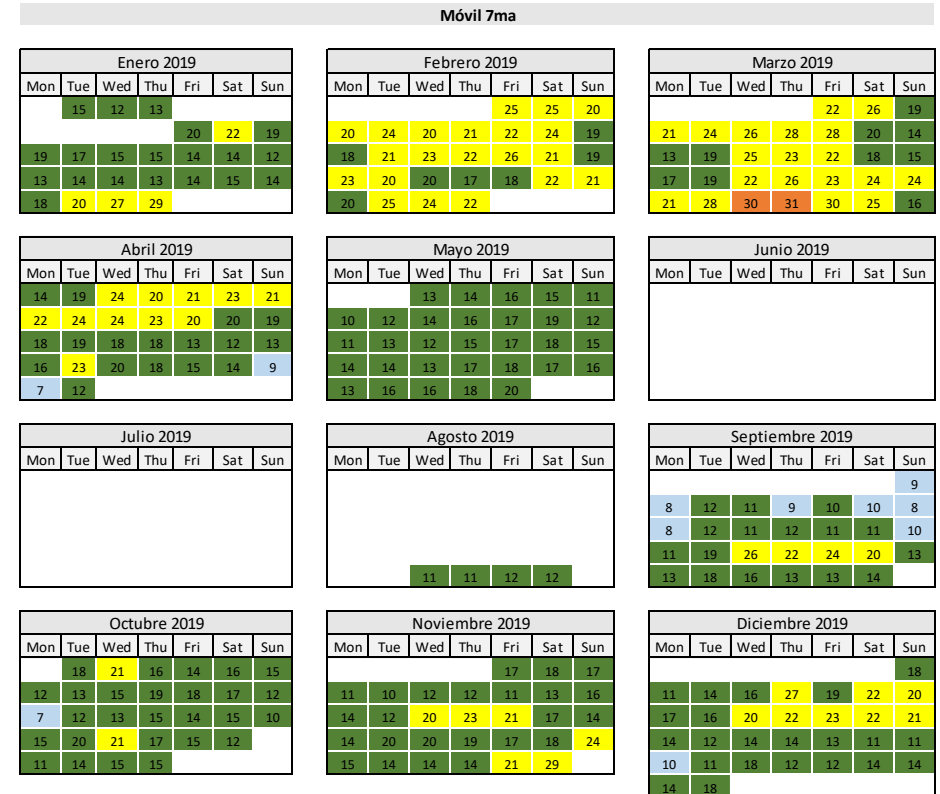


Figura 15-15. Calendar plot de  $PM_{2.5}$  para la estación Móvil 7ma

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

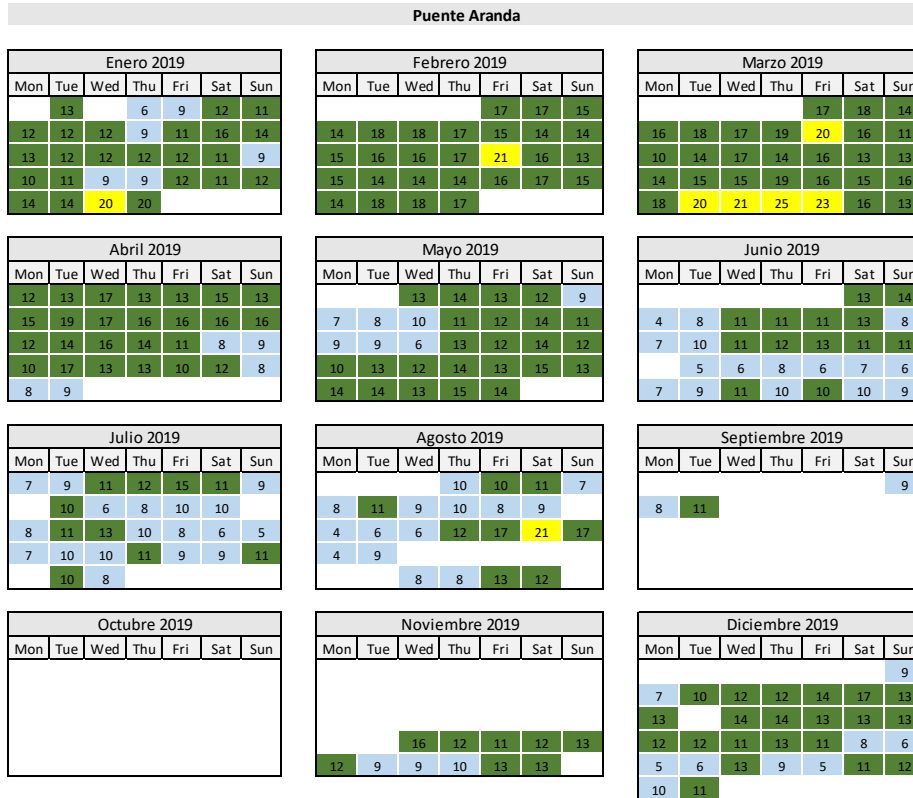


Figura 15-16. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Puente Aranda

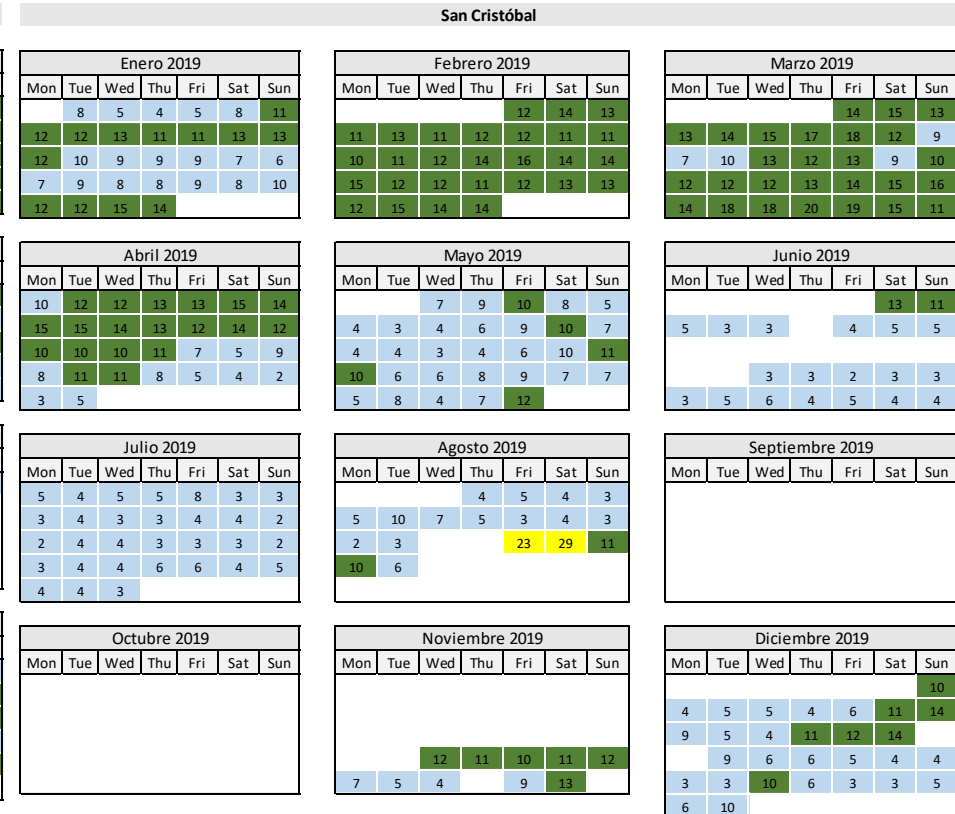


Figura 15-17. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación San Cristóbal

Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RM CAB  
**INFORME ANUAL**

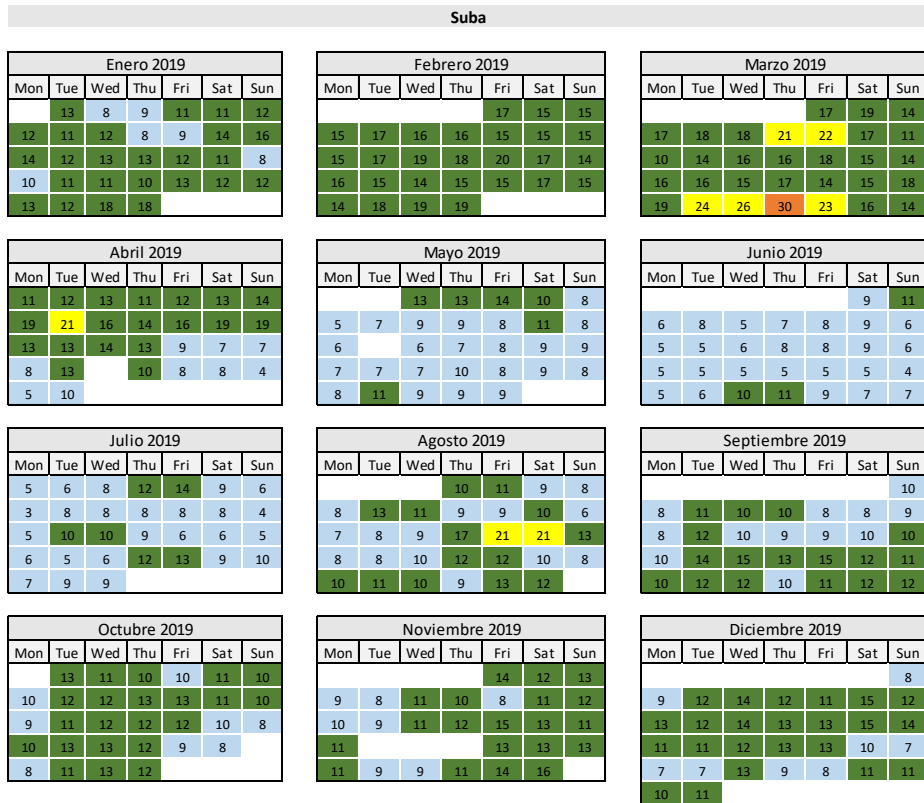
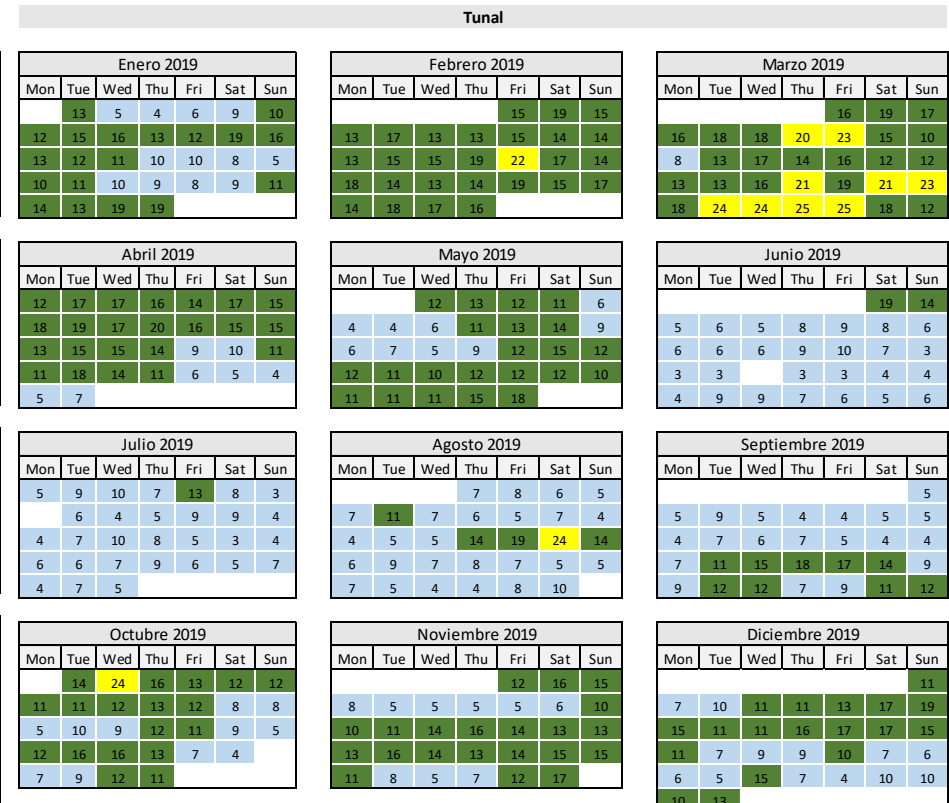


Figura 15-18. Calendar plot de PM<sub>2.5</sub> para la estación Suba



Secretaría Distrital de Ambiente  
Dirección de Control Ambiental  
Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual-SCAAV  
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB  
**INFORME ANUAL**

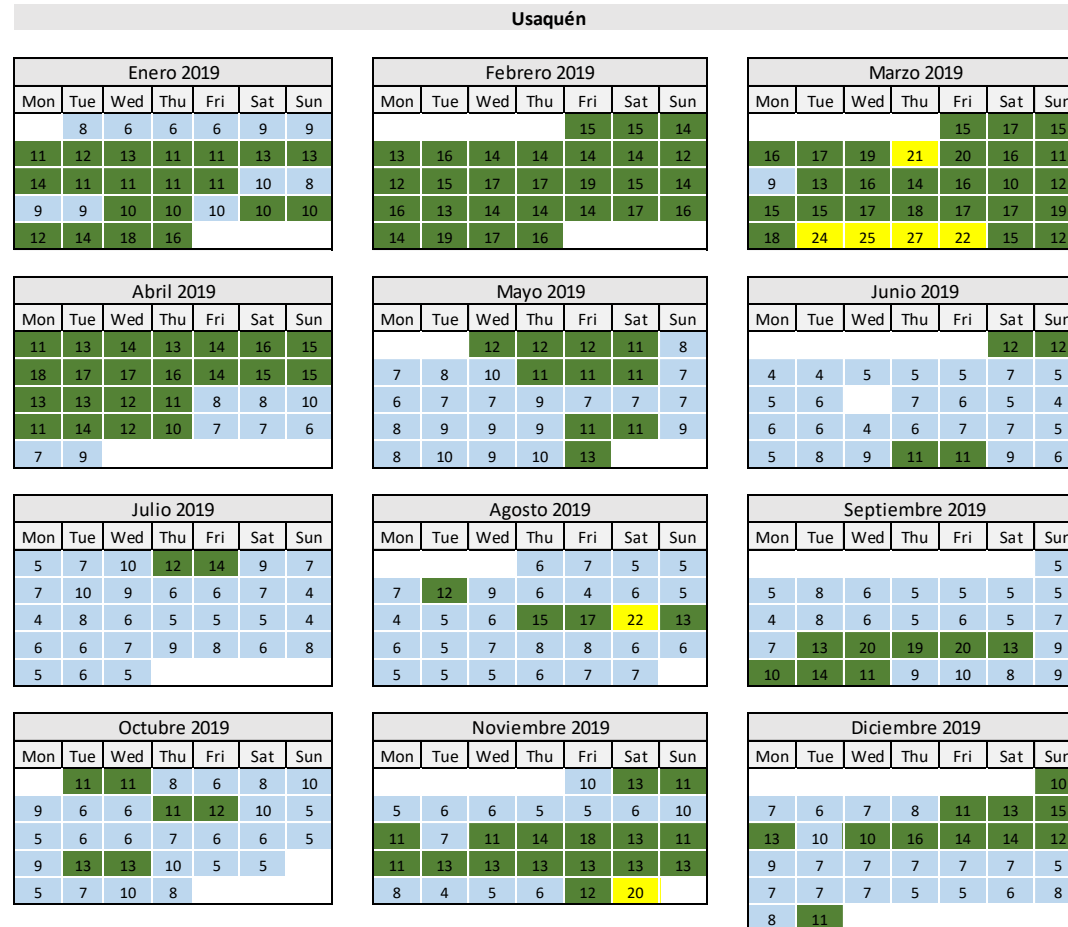


Figura 15-20. Calendar plot de  $PM_{2.5}$  para la estación Usaquén

## NOTA

El análisis realizado en el presente informe mensual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad del 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 <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub>
PA10-PR07 (v. 5.0)	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación de los analizadores de los gases NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO y O <sub>3</sub>

### **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