

**VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN
DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ**

JULIANA CANCINO

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL

ASESOR
EDUARDO BEHRENTZ VALENCIA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.
2006



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	RESUMEN EJECUTIVO.....	3
3	JUSTIFICACIÓN.....	6
4	OBJETIVOS	8
4.1	OBJETIVOS GENERALES	8
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
5	ANTECEDENTES	9
5.1	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	9
5.2	REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE.....	10
5.2.1	Red PANAIRE	10
5.2.2	Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire.....	12
5.2.3	Estudio JICA - Red de Calidad del Aire de Bogotá	12
5.3	REDES DE MONITOREO A NIVEL NACIONAL	14
5.4	NORMATIVIDAD SOBRE CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA.....	15
6	RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ	19
6.1	CARACTERÍSTICAS DE LA RED	19
6.2	UBICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA RED	20
7	METODOLOGÍA	24
7.1	OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ.....	25



7.2	CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	25
7.3	VALIDACIÓN DE LOS REGISTROS DE LA RED.....	30
7.3.1	Etapa 1: Identificación de valores no válidos	30
7.3.2	Etapa 2: Elaboración de series de tiempo: valores fuera de rango.....	30
7.3.3	Etapa 3: Filtro Final.....	32
7.4	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA RED	32
8	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ	35
8.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	35
8.1.1	Generalidades de Bogotá.....	35
8.1.2	Condiciones Meteorológicas.	35
8.1.3	Parque Automotor.....	36
8.1.4	Combustible	37
8.1.5	Industria	39
8.2	DIAGNÓSTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN BOGOTÁ	40
8.2.1	Dióxido de Azufre.....	40
8.2.2	Dióxido de Nitrógeno	42
8.2.3	Monóxido de Carbono	44
8.2.4	Ozono.....	46
8.3	MATERIAL PARTICULADO	51
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
10	REFERENCIAS	61



LISTADO DE TABLAS

Tabla 5.1 Redes de calidad del aire de Colombia	14
Tabla 5.2 Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia (Resolución 601 de 2006)	16
Tabla 5.3 Estándares de calidad del aire	18
Tabla 6.1 Métodos de medición	20
Tabla 6.2 Localización de la red de calidad del aire	20
Tabla 6.3 Zonificación de la red de calidad del aire	21
Tabla 6.4 Estaciones y parámetros de medición	23
Tabla 7.1 Tamaño de la base de datos.....	26
Tabla 8.1 Índices de calidad del aire para PM_{10}	56



LISTADO DE FIGURAS

Figura 5.1 Mapa estaciones red monitoreo PANA IRE en Bogotá.....	11
Figura 5.2 Mapa estaciones red de monitoreo JICA	13
Figura 6.1 Ubicación estaciones RMCAB.....	22
Figura 7.1 Diagrama esquemático de la metodología utilizada	24
Figura 7.2 Estructura de las tablas que conforman la base de datos	29
Figura 7.3 Ejemplo de un valor fuera de rango: serie de tiempo para la estación IDRD 2005.	31
Figura 8.1 Precipitación promedio mensual diaria multianual	36
Figura 8.2 Distribución vehicular en Bogotá	37
Figura 8.3 Contenido de azufre en el diésel	38
Figura 8.4 Consumo de diésel en Bogotá.....	39
Figura 8.5 Variación del PIB Nacional y de Bogotá 1993 - 2005	40
Figura 8.6 Concentración Media Anual de SO ₂ en Bogotá	41
Figura 8.7 IPE de la norma anual de SO ₂ en Bogotá basado en la media diaria	42
Figura 8.8 Concentración media anual de NO ₂ en Bogotá.....	43
Figura 8.9: IPE de la norma anual de NO ₂ en Bogotá basado en la media diaria	44
Figura 8.10 Concentración media anual de CO en Bogotá.....	45
Figura 8.11 IPE de la norma anual de NO ₂ en Bogotá basado en la media diaria.....	46
Figura 8.12 Comportamiento de O ₃ y radiación solar	47
Figura 8.13 Relación entre la radiación solar y la concentración de O ₃ troposferico.....	48
Figura 8.14 Alta radiación: comportamiento NO, NO ₂ y O ₃	49
Figura 8.15 Baja radiación: comportamiento NO, NO ₂ y O ₃	49
Figura 8.16 Concentración media anual de O ₃ en Bogotá	50



Figura 8.17 Concentración media anual de PM_{10} en Bogotá	51
Figura 8.18 Relación entre la concentración de PM_{10} y el crecimiento económico de la ciudad de Bogotá.....	52
Figura 8.19 IPE de la norma anual de PM_{10} basado en la media diaria	53
Figura 8.20 Resumen Bogotá: excedencia de norma anual de PM_{10} en Bogotá basado en la media diaria	54
Figura 8.21 Series de tiempo para concentraciones medias diarias.....	55
Figura 8.22 Índices de calidad del aire para PM_{10} : estación Puente Aranda.....	57
Figura 8.23 Media móvil (periodo de 500) ¹ de la concentración de PM_{10} en la estación de Puente Aranda.....	58



1 INTRODUCCIÓN

La calidad del aire y la contaminación atmosférica se han convertido en un tema de interés en Colombia y en el resto del mundo. El notable deterioro de la calidad del aire y su directa relación con el desarrollo económico y las diversas actividades antropogénicas, han creado una creciente preocupación por entender los fenómenos que ocurren en la atmósfera.

Entender los fenómenos relacionados con la calidad del aire es de suma importancia ya que se ha establecido de forma clara la relación entre la contaminación atmosférica y el deterioro en las condiciones de la salud pública tanto para fenómenos agudos como crónicos (IDEAM, 2005).

Debido al continuo deterioro de la calidad del aire en Bogotá y a la preocupación no solo por parte de las diferentes entidades distritales responsables del cuidado del medio ambiente sino también por parte de algunos ciudadanos, hoy día existen políticas de control y mitigación que pretenden disminuir las emisiones de agentes contaminantes. Un ejemplo de este tipo de políticas es la Resolución No. 1208 de Septiembre de 2003 expedida por el Departamento Técnico Administrativa del Medio Ambiente (DAMA), “por la cual se dictan normas sobre la prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire”.

Desde agosto de 1997, Bogotá cuenta con una moderna red de monitoreo de la calidad del aire (RMCAB) que se encarga de hacer seguimiento, en tiempo real, de las concentraciones de los distintos contaminantes en la ciudad, así como de diversas variables meteorológicas. Algunos de los antecedentes de esta red de monitoreo incluyen



la red establecida por el Ministerio de Salud en 1967, el estudio realizado por la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) en 1991 y la expedición del Decreto 948 de 1995 que estableció el reglamento de protección y control de la calidad del aire y que, en particular en su artículo 68, faculta a los municipios, distritos y ciudades a velar por su adecuado control y protección.

La información proporcionada por la RMCAB es de gran utilidad para establecer el comportamiento de las concentraciones de contaminantes del aire a través del tiempo, así como para entender las relaciones entre ellos. Esta información también es útil para entender la relevancia de distintas variables meteorológicas que influyen en la calidad del aire. Adicionalmente, la información de la RMCAB puede utilizarse para elaborar un adecuado diagnóstico del estado de la calidad del aire en la ciudad.

Este trabajo tiene como fin organizar y validar la información suministrada por la RMCAB, esto para proporcionar una base de datos de la red y realizar un análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá con énfasis en la evolución de la contaminación por material particulado menor a 10 micras.



2 RESUMEN EJECUTIVO

En la ciudad de Bogotá se encuentra instalada una moderna red de monitoreo de calidad del aire operada por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). Esta red, a través de sus 15 estaciones, se encarga de medir las concentraciones de diferentes contaminantes atmosféricos así como algunas variables meteorológicas.

El presente trabajo tuvo como principal objetivo la elaboración de una base de datos estructurada y organizada con la información que proporciona la red, desde su inicio de operación en septiembre de 1997 hasta diciembre de 2005. Ya contando con esta base de datos, la investigación se centró en realizar un análisis cuantitativo del estado de la calidad del aire en la ciudad considerando sus cambios en el tiempo y futuras tendencias. Adicionalmente se buscó establecer los niveles de cumplimiento de la normatividad de la ciudad referente a los estándares de calidad del aire.

La creación de la base de datos se realizó con ayuda de la herramienta MICROSOFT ACCESS, la cual facilita la manipulación de grandes volúmenes de datos además de proporcionar una herramienta de consulta para relacionar concentraciones de diferentes contaminantes en las diferentes estaciones de la red en cualquier momento del tiempo.

Para realizar una evaluación adecuada de la calidad del aire de Bogotá con base en los datos de la red se realizó de forma previa una validación de los mismos. Esta validación consistió en depurar la base de datos de registros anómalos; descartando datos negativos, fuera de rango así como datos considerados no válidos.



La herramienta estadística utilizada para realizar dichos análisis fue el programa SPSS, en donde se ingresaron los datos a partir de la base ya creada. Se calcularon promedios, se generaron series de tiempo para entender el comportamiento de algunos contaminantes y se establecieron las tendencias de los contaminantes criterio (CO , NO_2 , SO_2 y O_3) con énfasis en el material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) ya que este es el que más causa problemas en términos de salud pública (Behrentz, 2006).

Se determinó que la red de calidad del aire de Bogotá, aunque moderna, tiene algunas falencias importantes. Entre estas falencias se encuentran los largos periodos en los cuales algunas estaciones no registran mediciones, el gran volumen de datos anómalos y la necesidad de expandir la red ya que algunas localidades de la ciudad no tienen cubrimiento.

De la evolución de la calidad del aire, se determinó que en cuanto a concentraciones de NO_2 , SO_2 ; CO y O_3 ; Bogotá se encuentra en el rango permitido por la normatividad que aplica en la ciudad (Resolución No. 1208 de 2003). Las concentraciones de SO_2 tienen una marcada tendencia a la baja. En el 2005 solo el 1% de los datos sobrepasaron la norma anual de calidad del aire. Para el resto de los contaminantes el comportamiento es difícil de resumir ya que varía de forma importante en las distintas estaciones y depende en gran parte de la de la zona de la ciudad que se analice.

De las zonas más perjudicadas de la ciudad son el occidente y el sur, en particular las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, las cuáles se caracterizan por presentar concentraciones elevadas, en comparación de otras localidades, de todos los contaminantes evaluados.



En relación al material particulado, se determinó que este es el contaminante prioritario en la ciudad. Las concentraciones de PM_{10} se encuentran muy por encima de la norma y durante el año 2005 cerca del 90% del tiempo la norma fue superada tendiendo a aumentar su concentración en la atmósfera.



3 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento económico que ha venido experimentando la ciudad de Bogotá durante los últimos años ha contribuido a que la calidad del aire de toda la ciudad se haya visto afectada, en especial en las zonas industriales de Puente Aranda y Fontibón

Gracias a la RMCAB, Bogotá cuenta con un extenso registro de datos relacionados con las concentraciones atmosféricas de diversos contaminantes. A partir de esta información es posible realizar un análisis formal, tanto cualitativo como cuantitativo, que nos permita evaluar su comportamiento a través del tiempo y proyectar el cambio que pueda tener la calidad del aire en la ciudad en el futuro. Así mismo, a través de esta información es posible determinar características particulares para cada contaminante y sus comportamientos y tendencias.

Los análisis realizados a la información proveniente de la red de medición proporcionarán información útil para evaluar la calidad del aire y pueden servir de soporte para adoptar medidas de contingencia en caso de que éstas sean necesarias. Adicionalmente, estos análisis permiten determinar si las medidas establecidas están generando los resultados esperados. Los análisis de los datos de calidad del aire también se convierten en la base de posibles sugerencias para la mejora de normas o planes de mitigación con el fin alcanzar mejores estándares de calidad de aire en la ciudad, tal y como lo han venido haciendo otras ciudades latinoamericanas como México D.F. y Santiago de Chile (CONAMA 2005)

Finalmente, la creación de una herramienta para la consulta y el adecuado manejo de la información proporcionada por la red es de primordial importancia para poder facilitar la



ejecución de los análisis mencionados anteriormente. El gran volumen de información existente y los formatos en que se encuentra registrada hacen indispensable la creación de un instrumento adecuado no solo para proporcionar un manejo ordenado de la información sino a la vez facilitar su consulta y posterior evaluación. En este trabajo se intenta dar solución a esta situación mediante la generación de una base de datos validada y ordenada de tal forma que los análisis antes mencionados puedan llevarse a cabo de manera más sencilla y oportuna.



4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVOS GENERALES

Organizar y validar la información proporcionada por la red de calidad del aire de Bogotá, con el fin de realizar un análisis del estado de la calidad del aire en la ciudad con énfasis en la evolución de la contaminación por PM_{10} .

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la totalidad de los registros de la RMCAB hasta diciembre de 2005.
- Crear una base de datos que facilite que la información pueda ser manejada y analizada por medio de herramientas computacionales de análisis estadístico.
- Efectuar una validación de los registros de la red para así depurar de la base de datos todas las mediciones anómalas.
- Realizar un análisis estadístico de la información validada para observar el comportamiento de las concentraciones de los diferentes contaminantes en diferentes zonas de la ciudad, su cambio en el tiempo y las zonas más afectadas.

Durante este análisis se hará énfasis en el material particulado menor a 10 micras por ser el probable causante de algunas enfermedades respiratorias (EPA. 2004) y el que más sobrepasa las normas vigentes (IDEAM, 2005).



5 ANTECEDENTES

5.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

La creación de la red de medición de Bogotá en 1997 condujo a que hoy en día existan y se desarrollen una serie de trabajos e investigaciones alrededor del tema de calidad del aire al servir ésta como base de información real sobre las condiciones ambientales en la ciudad.

En la Universidad de Los Andes se han realizado dos trabajos importantes sobre las redes de calidad del aire que han existido en Bogotá. El primero en 1975 por Arturo Torres Conde, donde se evaluó la contaminación atmosférica de Bogotá con base en los datos de la red PANAIRE (A. Torres et al, 1975). Posteriormente en 1999, Iván Darío Reyes Florez creo una metodología para analizar la información de la RMCAB y realizó un análisis de la conveniencia de la medida de restricción vehicular (I. Reyes et al, 1999).

A nivel internacional el estudio de la contaminación atmosférica y la calidad del aire inició tiempo atrás, cuando se hizo evidente que las actividades antropogénicas eran las principales causantes del deterioro del aire y, a mayor escala, causantes del cambio climático y de la destrucción de la capa de ozono (R.G. Derwent et al, 2005)

La investigación en el ámbito internacional se enfoca principalmente en la modelación (P. Goyal et al, 2005), el análisis del estado de la calidad del aire (C. Restrepo et al, 2004) y de la química atmosférica (S. Rodriguez et al, 2005). Los análisis de calidad del aire realizados en diferentes investigaciones comúnmente hacen uso de datos obtenidos a partir de redes de monitoreo donde se grafican series de tiempo y se realiza un análisis



estadístico pertinente como lo es en el caso de los estudio de la calidad del aire en Europa (R.G Derwent et al, 2005. y H.H Kock et al, 2005).

5.2 REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

Una red de monitoreo consiste en un conjunto de dispositivos de medición que en forma sistemática toman registros de la concentración de los diferentes contaminantes atmosféricos, con el fin de evaluar la calidad del aire y verificar el cumplimiento de la normatividad (DAMA, 2003).

En Colombia las redes de monitoreo de calidad del aire se han caracterizado por ser específicas para zonas determinadas por las corporaciones autónomas regionales así como en zonas de importancia económica tales como el Valle de Aburrá. Han existido dos redes importantes a nivel nacional previas a la red del DAMA: La red PANAIRE y la Red Nacional de Vigilancia de Calidad del Aire las cuales fueron operadas y administradas en años anteriores por el Ministerio de Salud (Rodolfo S. Marcelo et al, 1999).

5.2.1 Red PANAIRE

El primer intento de monitorear la calidad del aire en el país se llevó a cabo en el año 1967 cuando el Ministerio de Salud vinculó el país a la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire, conocida como la red PANAIRE. Esta red fue una iniciativa de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en la que se crearon redes de monitoreo alrededor de toda Latinoamérica.

La red PANAIRE instaló 88 estaciones en 24 ciudades de 14 países, de las cuales 5 fueron ubicadas en Bogotá (Figura 5.1). Estas estaciones realizaban muestreos diarios de



partículas totales en suspensión (PTS), de dióxido de azufre (SO₂), y muestras mensuales de polvo sedimentable (PS).

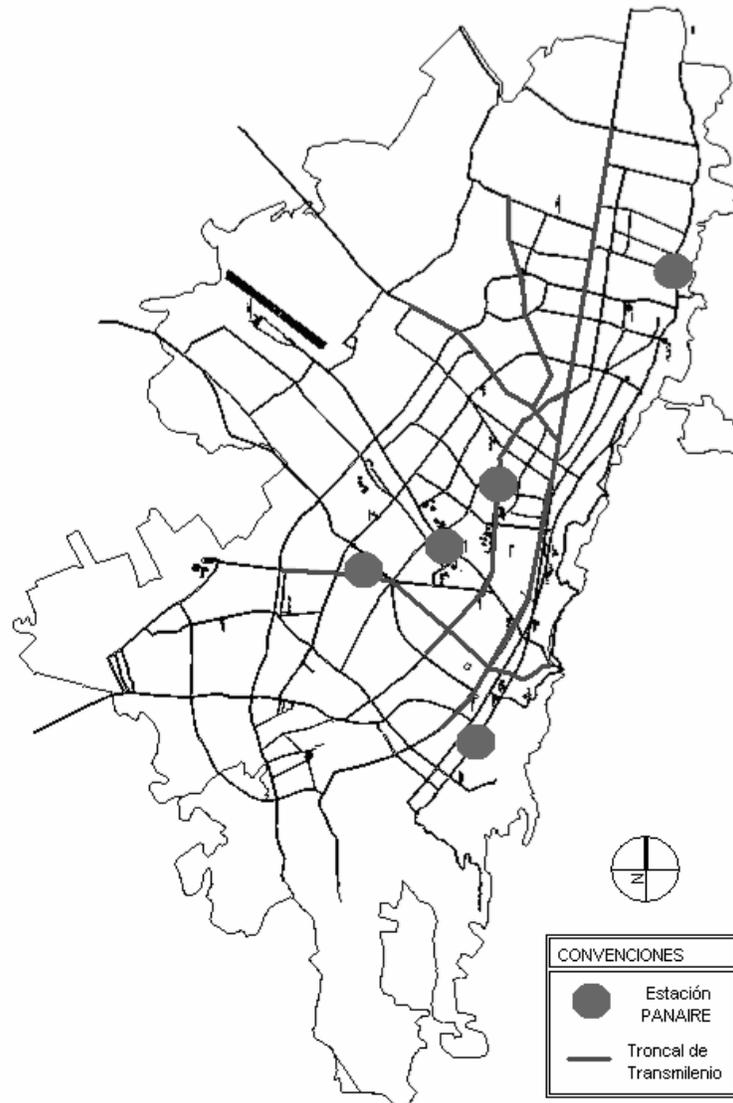


Figura 5.1 Mapa estaciones red monitoreo PANAIRE en Bogotá

Además de Bogotá, la red PANAIRE también contaba con estaciones en Barranquilla, Bucaramanga, Cali, Cartagena y Medellín. A partir de los monitoreos realizados por esta red se determinó que la calidad del aire en Bogotá y en el resto del país no era un



problema en ese entonces ya que las concentraciones registradas, en su mayoría, se ajustaban a las normas internacionales establecidas para la época (Rodolfo S. Marcelo et al, 1999).

5.2.2 Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire

A raíz de la expedición de la normatividad referente a la contaminación atmosférica en el país se creó la Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire. Entre la normatividad que sirvió de antecedente a la creación de esta red se incluye el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente expedido en 1974, la ley 09 de 1979 -Código Sanitario Nacional- la cual, en su artículo 41, facultó al Ministerio de Salud para fijar las normas sobre calidad del aire, estas normas se establecieron mediante el Decreto 02 de 1982. Posteriormente, en 1986 la Resolución 2308 estableció el procedimiento para el análisis de la calidad del aire.

En su concepción inicial se previó que la Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire estaría conformada por más de 50 estaciones de las cuales 10 estaban instaladas en Bogotá. El proyecto se puso en marcha en 1983 pero tan solo operó hasta 1990 ya que para ese año la mayoría de las estaciones se encontraban deterioradas y su operación era imposible.

5.2.3 Estudio JICA - Red de Calidad del Aire de Bogotá

La creación de la RMCAB tuvo como base un estudio realizado por JICA con la colaboración de la Secretaría de Salud del Distrito durante los años 1991 y 1992 siendo fruto de este estudio el Plan de Control de la Contaminación del Aire de Bogotá. El estudio en cuestión evaluó la situación de la calidad del aire en la ciudad y elaboró una serie de

sugerencias y recomendaciones sobre como se debería establecer la red de monitoreo y de cuáles parámetros se deberían tener en cuenta durante su operación (Cavallazi Torres, Marcelo, et al 1996).

Para la ejecución de este estudio desarrollado por JICA se instalaron 5 estaciones localizadas principalmente en la zona centro de la ciudad (Figura 5.2).

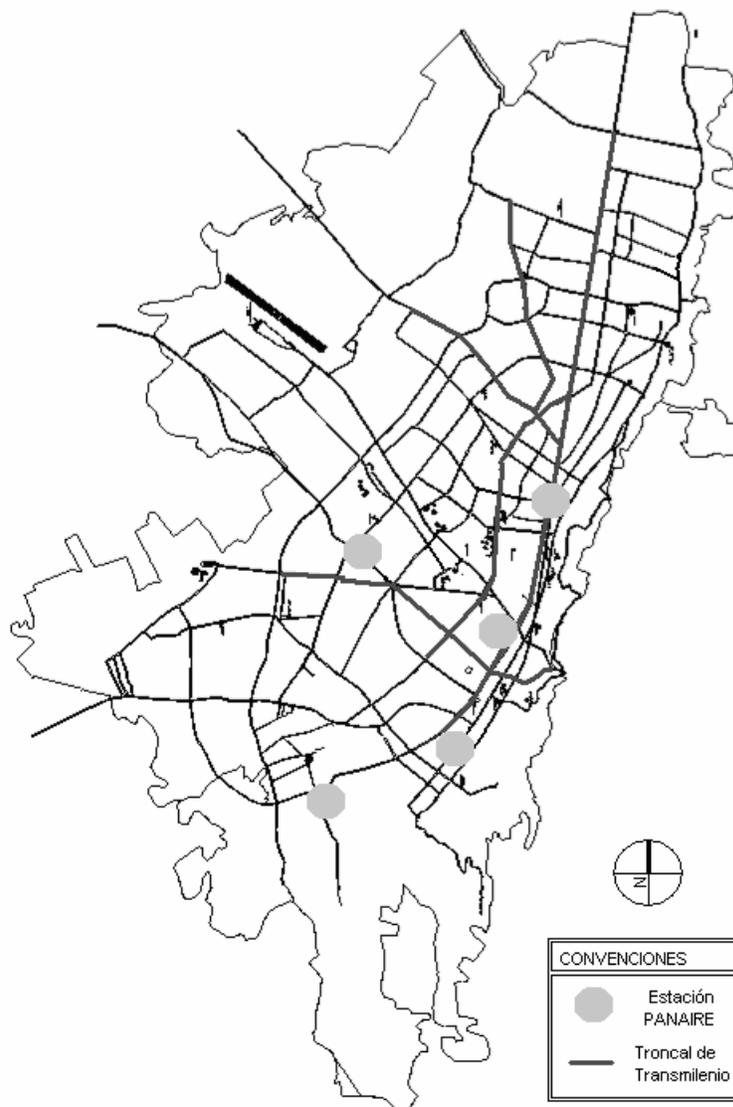


Figura 5.2 Mapa estaciones red de monitoreo JICA



5.3 REDES DE MONITOREO A NIVEL NACIONAL

A nivel nacional existen actualmente 18 redes de monitoreo situadas en las principales ciudades del país ubicadas principalmente en las zonas industriales; estas redes suman un total de 110 estaciones (Tabla 5.1).

Las redes más completas son las de Bogotá, Caldas, Risaralda, el Valle del Cauca y el Valle de Aburrá y la red más reciente es la instalada por el Departamento Administrativo del Medio Ambiente de Barranquilla (DAMAB).

Tabla 5.1 Redes de calidad del aire de Colombia

RED	CORPOGUAJIRA Guajira	CDMB Bucaramanga	CARDIQUE Bolívar	AMVA Valle de Aburrá	DAGMA Cali	DAMAB Barranquilla	CORNARE Yopal	CVC Valle del Cauca	CORPONOR Cucutá	DAMA Bogotá	CORPOBOYACA Sogamoso	CORPOCALDAS Manizales	CORPAMAG Magdalena	CRQ Armenia	CAR Cudnamarca	CARDER Pereira	IDEAM Colombia	GCB Barrancabermeja
No. Estaciones	6	6	4	15	9	3	5	3	5	13	4	3	10	4	11	4	1	4
Año Inicio	1999	2000	1998	2000	2000	2004	1997	2000	1999	1997	2001	1997	1999	2001	2002	2000	2003	1996
CONTAMINANTES MONITOREADOS																		
PST	X			X					X	X		X	X	X	X			X
PM ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SO ₂		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
NO ₂		X		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
O ₃		X	X	X	X	X		X		X	X	X				X	X	X
VARIABLES METEOROLÓGICAS MONITOREADAS																		
Dir. y Vel. Viento		X	X	X	X			X		X		X				X	X	
Precipitación		X	X	X	X			X		X		X				X	X	
Humedad Relativa		X		X	X			X		X		X				X	X	
Temperatura		X		X	X			X		X		X				X	X	
Radiación		X		X	X			X		X		X				X	X	
Presión		X						X		X		X				X	X	

Fuente: Documento soporte norma de calidad del aire. IDEAM. Noviembre 2005.



5.4 **NORMATIVIDAD SOBRE CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA**

La normatividad sobre la calidad del aire en Colombia ha venido avanzando y volviéndose más rigurosa, en especial en Bogotá, en donde el DAMA como ente encargado del medio ambiente en la ciudad, ha generado gran diversidad de normas sobre los temas relacionados con la contaminación atmosférica.

Las normas sobre calidad del aire que se han creado establecen entre sus aspectos más importantes; la clasificación de sustancias contaminantes, estándares de calidad del aire que determinan concentraciones permisibles, procedimientos y metodologías para las mediciones de la calidad del aire, niveles de prevención, alertar y emergencia según concentraciones de los contaminantes y su posibles riesgos asociados a la salud y el medio como también establecer las emisiones permisibles por fuentes fijas y móviles. (IDEAM. 2005)

En 1973 se expidió la Ley 23 cuyo propósito era “prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”. Esta ley sentó las bases para que en 1974 se expidiera el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y en 1979 el Código Sanitario Nacional como ya se mencionó en la sección 5.2.2 del presente capítulo. Posteriormente con el decreto 02 de 1982 el Ministerio de Salud reglamentó estos dos códigos en cuanto a emisiones atmosféricas (Tabla 5.3) que a la vez se encuentra derogado por el Decreto 948 de 1995, la Resolución No 601 de 2006 y el Decreto 979 de 2006.

El decreto 948 de 1995 estableció el reglamento de protección y control de la calidad del aire, el cual contiene normas para la protección atmosférica, mecanismos de prevención,



control y vigilancia, y estableció las funciones de las autoridades ambientales en relación con el tema.

El día 4 de Abril de 2006 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), expidió la resolución 601 por la cual se establece la nueva norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, y reglamenta los procedimientos para elaborar programas de reducción de contaminación. (Tabla 5.3)

Esta norma establece anticipadamente valores máximos de referencia. Para el año 2009 el límite anual permisible para PM_{10} será de $60 \mu g m^{-3}$ y para el 2011 de $50 \mu g m^{-3}$

Esta resolución en su Capítulo 5 en el Artículo 10, establece también los niveles de prevención, alerta y emergencia para los contaminantes criterio, de acuerdo a la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia (Resolución 601 de 2006)

CONTAMINANTE	PERIODO	PREVENCIÓN $\mu g m^{-3}$	ALERTA $\mu g m^{-3}$	EMERGENCIA $\mu g m^{-3}$
Monóxido de Carbono	8 horas	17000	34000	46000
Óxidos de Azufre	24 horas	500	1000	1600
Óxidos de Nitrógeno	24 horas	400	800	2000
Ozono	1 hora	350	700	1000
Material Particulado	24 horas	375	625	875
Material Particulado menor a 10 micras	24 horas	300	400	500

Para el caso de Bogotá el DAMA, expidió la resolución 1208 de 2003 que establece las normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y control de la



contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá D.C. (Tabla 5.3) Esta resolución del DAMA prevé un incremento en la severidad de la norma con el paso del tiempo. Cabe mencionar que para el 2010 los estándares establecidos serán muy similares a los estándares de Estados Unidos establecidos por la EPA (Tabla 5.3).

NOTA: Los análisis y puntos de referencia que se utilizaron en este trabajo se llevaron a cabo con base en las normas vigentes en Bogotá.



Tabla 5.3 Estándares de calidad del aire

CONTAMINANTE	PERIODO	NACIONAL		BOGOTÁ	EPA
		Decreto 02 de 1982	Resolución 601 de 2006	Resolución 1028 de 2003	NORMA AAQS*
Monóxido de Carbono ppm	8 horas	13	9	10	9
	1 hora	44	35	35	35
Oxidos de Azufre ppb	Anual	38	30	26	30
	24 horas	152	95	124	139
	3 horas	573	286	516	-
Oxidos de Nitrogeno ppb	Anual	53	53	53	53
	24 horas	-	80	111	-
	1 hora	-	106	170	-
Ozono ppb	8 horas	-	40	56	80
	1 hora	86	61	79	-
Material Particulado PST $\mu\text{g m}^{-3}$	Anual	100	100	85	-
	24 horas	400	300	280	-
PST Menor a $10 \mu\text{m}$ $\mu\text{g m}^{-3}$	Anual	-	70	55	50
	24 horas	-	150	155	150
PST Menor a $5 \mu\text{m}$ $\mu\text{g m}^{-3}$	Anual	-	-	-	15
	24 horas	-	-	-	65

*Ambient Air Quality Standars



6 RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ

6.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RED

Tal como se discutió en la sección 5.2.3, la instalación de la RMCAB se llevó a cabo con base en el estudio JICA realizado en 1992. El diseño original elaborado para la configuración de la red contaba con 32 estaciones distribuidas dentro del perímetro urbano de la ciudad.

La RMCAB cuenta hoy con 15 estaciones de las cuales 13 son de monitoreo mixto, donde se mide de manera automática parámetros de calidad del aire y variables meteorológicas, las dos restantes solo miden parámetros meteorológicos (Us me y Vitelma). La RMCAB es operada por el DAMA y a través de la oficina de DAMAIRE y su página en la internet se encarga también de reportar a la ciudadanía el estado de la calidad del aire.

La red utiliza dos tipos de sistemas de medición: muestreo puntual con sensores DASIBI y muestreo óptico (OP SIS), además de los sensores para las variables meteorológicas.

La RMCAB monitorea de forma constante los siguientes contaminantes: Óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , NO_x), dióxido de azufre (SO_2), material particulado (PST, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), benceno (C_6H_6), tolueno (C_7H_8), formaldehído (CH_2O) e hidrocarburos no metánicos (NMCH). Las variables meteorológicas que se monitorean incluyen: precipitación, temperatura, radiación solar, vientos, presión barométrica y humedad relativa. Los métodos de medición para cada contaminante se ilustran en la Tabla 6.1



Tabla 6.1 Métodos de medición

PARAMETRO	METODO MEDICIÓN
PST	Analizador Beta
PM ₁₀	Analizador Beta
PM _{2.5}	Analizador Beta
SO ₂	Fluorescencia UV
NO _x	Quimioluminiscencia
CO	Correlación IR
O ₃	Fluorescencia UV

6.2 UBICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA RED

Las estaciones que conforman la RMCAB están distribuidas por toda la ciudad aun cuando el mayor número de ellas se encuentra en la zona céntrica. En la Tabla 6.2, están identificadas las 15 estaciones de la red con su número (código), nombre, dirección y localidad donde se encuentran. En la Figura 6.1 se muestra la localización de dichas estaciones en el mapa de Bogotá.

El DAMA, ha zonificado la red según la ubicación de cada estación como se puede observar en la Tabla 6.2, donde aparecen cada una de la estaciones con su número (código), dirección, localidad, zona y los parámetros que mide.

Tabla 6.2 Localización de la red de calidad del aire

CODIGO	NOMBRE	DIRECCIÓN	LOCALIDAD	ZONA	Latitud	Longitud	Altitud
1	Bosque	Trans. 9 No. 133 - 95	Usaquén	Norte	04°42'44.3"	74°02'06.6"	2,574
2	MAVDT	Calle 37 No. 8 - 40	Santa Fe	Centro	04°37'39.8"	74°04'14.1"	2,597
3	Sony	AutoSur No. 61 - 40	Kennedy	Suroccidente	04°35'55.5"	74°09'07.5"	2,541
4	Tunal	Crr 24 sur No. 49 - 86	Tunjuelito	Sur	-	-	-
5	IDRD	Calle 63 No. 47 - 06	Barrios Unidos	Centro	04°39'30.5"	74°05'2.3"	2,577



6	Carrefour	Calle 81 No. 68 - 50	Engativa	Noroccidente	04°41'37.0"	74°05'09.5"	2,563
7	Cazuca	Calle 14 No. 6 - 54	Ciudad Bolívar	Suroccidente	04°25'57.1"	74°11'17.4"	2,546
8	Escuela	AutoNorte Km. 13	Suba	Norte	04°47'13.0"	74°02'52.0"	2,575
9	Kennedy	Crr 86 sur No. 40 - 55	Kennedy	Suroccidente	04°37'29.9"	74°09'40.7"	2,569
10	Santo Tomas	Carrera 9 No. 72 - 90	Chapinero	Centro	04°39'34.0"	74°03'35.0"	2,600
11	Corpas	Av Corpas Km. 13	Suba	Noroccidente	04°45'54.4"	74°05'48.4"	2,569
13	Puente Aranda	Carrera 65 No. 19 - 95	Puente Aranda	Centroccidente	04°38'04.8"	74°07'15.0"	2,581
14	Fontibon	Carrera 95 No. 24 - 49	Fontibon	Noroccidente	04°40'23.1"	74°08'42.2"	2,576
15	Usme		Usme	Sur	-	-	-
16	Vitelma		San Cristobal	Sur	-	-	-

Tabla 6.3 Zonificación de la red de calidad del aire

ZONA	ESTACIÓN	CARACTERISTICAS
Norte	1 - Bosque 8 - Escuela	Zona residencial. Baja densidad poblacional. Alto tráfico vehicular.
Noroccidente	5 - Carrefour 11 - Corpas 14 - Fontibón	Zona mixta (residencial y comercial). Alto tráfico vehicular.
Sur	3 - Sony 4 - Tunal	Zona mixta (residencial y comercial). Alto tráfico vehicular.
Suroccidente	7 - Cazucá 9 - Kennedy	Zona Industrial y residencial. Alto tráfico vehicular.
Centro	2 - MAVDT 5 - IDR 10 - Santo Tomas	Zona comercial, industrial e institucional. Alto tráfico vehicular.
Centroccidente	13 - Puente Aranda	Zona Industrial. Alto tráfico vehicular

Fuente: Informe Anual de Calidad Del Aire De Bogotá 2005. DAMA Bogotá. Marzo de 2006

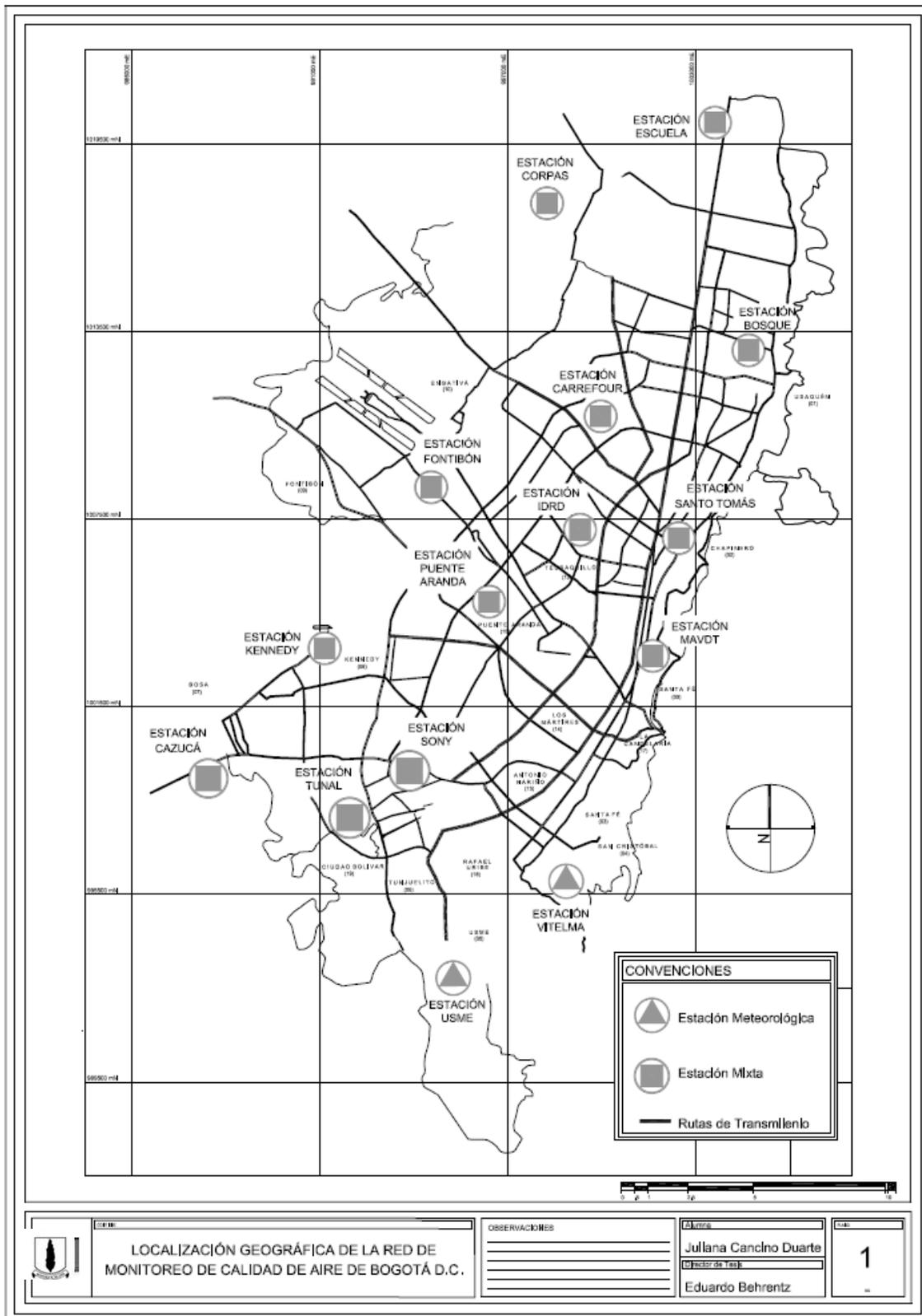


Figura 6.1 Ubicación estaciones RMCAB



Tabla 6.4 Estaciones y parámetros de medición

	ESTACIÓN	Bosque	MAVDT	Sony	Tunal	IDRD	Carrefour	Cazuca	Escuela	Kennedy	Santo Tomas	Corpas	Puente Aranda	Fontibon	Usme	Vitelma
CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	PM ₁₀	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	PM 2.5					X				X						
	PST	X		X				X								
	CO			X		X	X	X				X	X	X		
	SO ₂	X	X	X		X	X	X		X	X		X			
	NO	X		X		X	X	X			X	X	X	X		
	NO ₂	X	X	X		X	X	X			X	X	X	X		
	NO _x	X		X		X	X	X			X	X	X	X		
	O ₃		X	X		X	X	X				X	X	X		
	CH ₄			X												
	Benceno		X													
	Tolueno		X													
Formaldehído		X							X							
METEOROLOGÍA	PRECP	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	VIENTOS	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	TEMP			X	X	X		X				X	X	X	X	X
	HUMEDAD								X							
	PRESION															
	ORT VIENTO								X							
	RADIACIÓN					X			X						X	X

7 METODOLOGÍA

La elaboración de este proyecto se desarrolló en cuatro etapas: En primer lugar se obtuvo la información de la RMCAB; posteriormente se ingreso esta información en una base de datos en Microsoft-ACCESS, en donde se procedió a realizar una validación de la información después de ordenar la misma de manera tal que su análisis fuese mas sencillo. El cuarto y último paso consistió en analizar la información de la RMCAB, haciendo énfasis en las concentraciones de PM_{10} . El diagrama esquemático de esta metodología se resume en la Figura 7.1 .

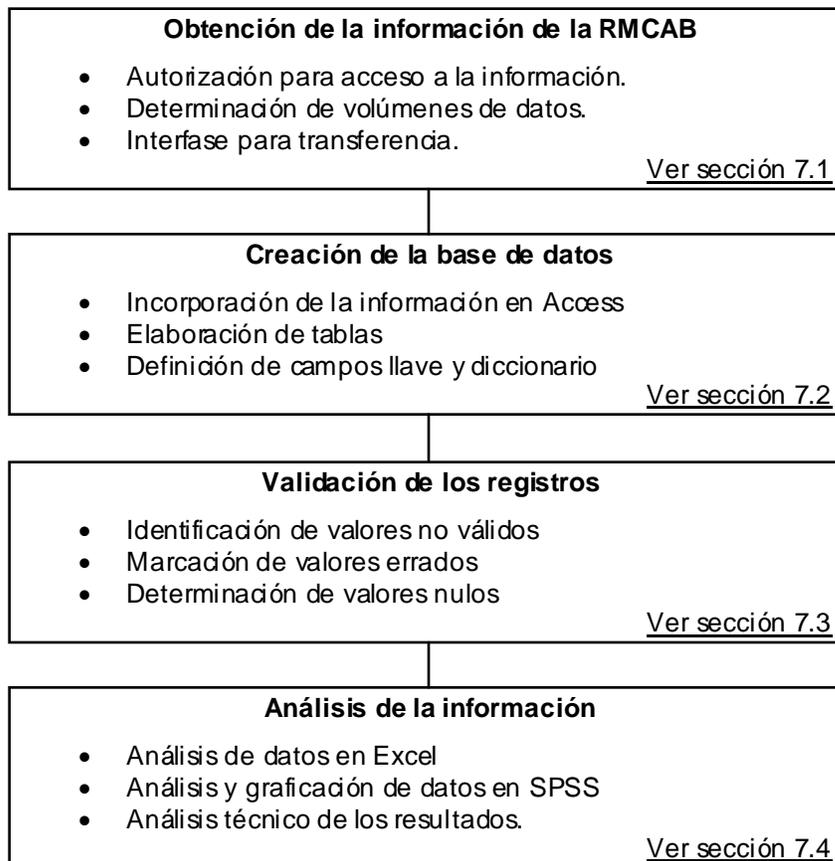


Figura 7.1 Diagrama esquemático de la metodología utilizada



7.1 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTÁ

Para obtener la información registrada por la red de calidad de aire de Bogotá se trabajó en colaboración con el DAMA. Como se mencionó anteriormente en la sección 3, el primer paso consistió en obtener el registro completo de la red desde el inicio de su funcionamiento en Septiembre de 1997 hasta Diciembre de 2005. Los registros se encuentran en dos formatos distintos en términos de resolución temporal: registros horarios y registros diez-minútales (registros tomados cada diez minutos). Desde Septiembre de 1997 a Diciembre de 2001 los registros son horarios. Los registros de Enero de 2002 a Diciembre de 2005 son diez-minútales. Cada registro es un dato particular de concentración de cualquiera de los contaminantes o dato meteorológico obtenido por la red.

Cada variable medida por la red (contaminante o meteorológica) cuenta con un total de 248.375 registros, los cuales fueron organizados en la base de datos. De este total de registros se eliminaron los considerados como no válidos. El tamaño total de la base de datos alcanzó una cifra superior a los 110 millones de registros (ver Tabla 7.1).

7.2 CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para organizar la información de la RMCAB, fue necesario establecer una metodología que permitiera un manejo ordenado y estructurado de la misma, de tal manera que el uso de aplicaciones computacionales especializadas en análisis estadístico fuese más sencillo.



La base de datos se desarrolló utilizando como herramienta MICROSOFT ACCESS. Esta aplicación sirve para conformar bases de datos mediante la creación de tablas que contienen registros con la información y pueden relacionarse entre sí a través de un campo denominado “llave”.

La base de datos creada cuenta con 16 tablas. Cada una de estas tablas cuenta con una librería de variables que contribuye al mejor entendimiento de la base de datos. Esta librería se conoce como el “diccionario de la base de datos” en la cual se define cada uno de los campos (columnas) que conforman cada tabla así como las unidades de concentración en los que se encuentran los registros de cada campo. Los campos hacen referencia a cada una de las variables medidas por la red, por ejemplo el campo de CO contiene los registros de las concentraciones de CO para todo el tiempo monitoreado.

Del total de 16 tablas, 15 corresponden a cada una de las estaciones de la RMCAB con las variables medidas por cada una ellas, las cuales varían dependiendo del tipo de estación. La tabla restante resume la información de cada estación que conforma la red. En esta última tabla se especifica que tipo de contaminante y variables meteorológicas se registran, así como su ubicación en la ciudad en términos de la dirección, zona y localidad (ver tablas 6.2 y 6.4).

Tabla 7.1 Tamaño de la base de datos

Nombre Tabla	Número de Campos	Número de Registros	Total de Datos
Estaciones RMCAB	28	15	420
Estación 1 BOSQUE	26	248,375	6,457,750
Estación 2 MAVDT	20	248,375	4,967,500
Estación 3 SONY	34	248,375	8,444,750
Estación 4 TUNAL	16	248,375	3,974,000
Estación 5 IDR D	40	248,375	9,935,000



Nombre Tabla	Número de Campos	Número de Registros	Total de Datos
Estación 6 CARREFOUR	32	248,375	7,948,000
Estación 7 CAZUCA	32	248,375	7,948,000
Estación 8 ESCUELA	42	248,375	10,431,750
Estación 9 KENNEDY	20	248,375	4,967,500
Estación 10 STO. TOMAS	24	248,375	5,961,000
Estación 11 CORPAS	30	248,375	9,935,000
Estación 13 PTE ARANDA	30	248,375	9,935,000
Estación 14 FONTIBON	30	248,375	9,935,000
Estación 15 USME	20	248,375	4,967,500
Estación 16 VITELMA	20	248,375	4,967,500
		TOTAL	110,775,670

Las tablas que contienen las mediciones registradas por la red cuentan con 8 campos en común y se encuentran relacionadas mediante la fecha y hora en la que los datos fueron registrados. Esta relación permite comparar las mediciones realizadas por diferentes estaciones para un contaminante o variable meteorológica específica para un momento dado. Los campos en común tienen como fin agrupar los datos en diferentes categorías para facilitar su análisis.

Los campos que contienen mediciones de las concentraciones de contaminantes, cuentan a su vez con un control que identifica la validez de la información registrada. En este control pueden encontrarse cuatro tipos de valores:

- “V” significa que el registro es válido.
- “SD” significa que el registro no tiene información.
- “FR” significa que el registro esta fuera de rango.
- “DN” significa que el dato no es válido.



Un ejemplo de la estructura de las tablas que hacen referencia a cada una de la estaciones en la base de datos se muestra en la Figura 7.2.



Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
FECHA Y HORA	Fecha/Hora	Día, mes, año y hora de la toma del registro. Llave de la tabla
Estación	Número	Identificación de la estación, código
Fecha	Fecha/Hora	Fecha de la toma del registro
Hora	Fecha/Hora	Hora de la toma del registro
Día	Texto	Día de la semana de la toma del registro
Mes	Número	Mes (1 - 12) de la toma del registro
Año	Número	Año de la toma del registro
Día/Noche	Número	Momento del día en el que fue tomado el dato 0=Noche 1=Día
SO2	Texto	Concentración de Dioxido de Azufre: Medido en ppb
Ctr SO2	Texto	Control de validación del dato de SO2 (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
PST	Texto	Concentración de Particulas Suspendidas Totales: Medido en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ctr PST	Texto	Control de validación del dato de PST (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
NO	Texto	Concentración de Óxido Nitrico: Medido en ppb
Ctr NO	Texto	Control de validación del dato NO (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
NO2	Texto	Concentración de Dioxido de Nitrogeno: Medido en ppb
Ctr NO2	Texto	Control de validación del dato NO2 (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
PM10	Texto	Concentración de Material Particulado menor a 10 micras: Medido en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ctr PM10	Texto	Control de validación del dato PM10 (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
NOx	Texto	Concentración de Oxidos de Nitrogeno: Medido en ppb
Ctr NOx	Texto	Control de validación del dato NOx (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
VV	Texto	Velocidad del Viento: Medido en m/s
Ctr VV	Texto	Control de validación del dato VV (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
DV	Texto	Dirección del Viento: Medido en grados
Ctr DV	Texto	Control de validación del dato DV (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)
Lluvias	Texto	Precipitación: Medido en mm
Ctr Llvs	Texto	Control de validación del dato (V=Dato Valido; SD=Casilla Sin Dato; FR=Dato fuera de Rango; DN=Dato No Valido)

Figura 7.2 Estructura de las tablas que conforman la base de datos

*Tabla estación El Bosque



7.3 VALIDACIÓN DE LOS REGISTROS DE LA RED

La validación de los registros de la RMCAB se realizó mediante un proceso no formal que constó de 3 etapas. La ejecución de cada una de estas etapas permitió establecer cuáles de los registros no deberían ser tomados en cuenta. Estos registros fueron descartados al momento de realizar los análisis del estudio de la calidad del aire en la ciudad.

7.3.1 Etapa 1: Identificación de valores no válidos

Las estaciones de la red de monitoreo no siempre están funcionando correctamente. Es común que durante extensos períodos de tiempo no se lleve a cabo registro alguno. En estos casos, en el campo de control correspondiente se registró como “SD” (sin dato).

Datos negativos de concentración no tienen significado físico. De esta manera los datos negativos fueron identificados no validos (“DN”).

Fue común encontrar registros positivos rodeados de negativos, casos en los cuales los datos fueron descartados y marcados como “FR” (fuera de rango).

7.3.2 Etapa 2: Elaboración de series de tiempo: valores fuera de rango

La identificación de los valores que se encuentran fuera del rango normal de concentraciones es un proceso complejo. Para este propósito se elaboraron líneas de tendencia de las concentraciones de cada uno de los contaminantes. A partir de las gráficas generadas fue posible determinar si existía alguna inconsistencia en los registros, por ejemplo en forma de elevaciones o descensos súbitos en la concentración de algún contaminante. Como ejemplo de este procedimiento se muestra la Figura 7.3 la cual corresponde a los registros de la estación IDRD para el mes de Julio del año 2005. En

esta figura es posible observar un súbito crecimiento de la concentración de SO_2 que no tienen explicación alguna.

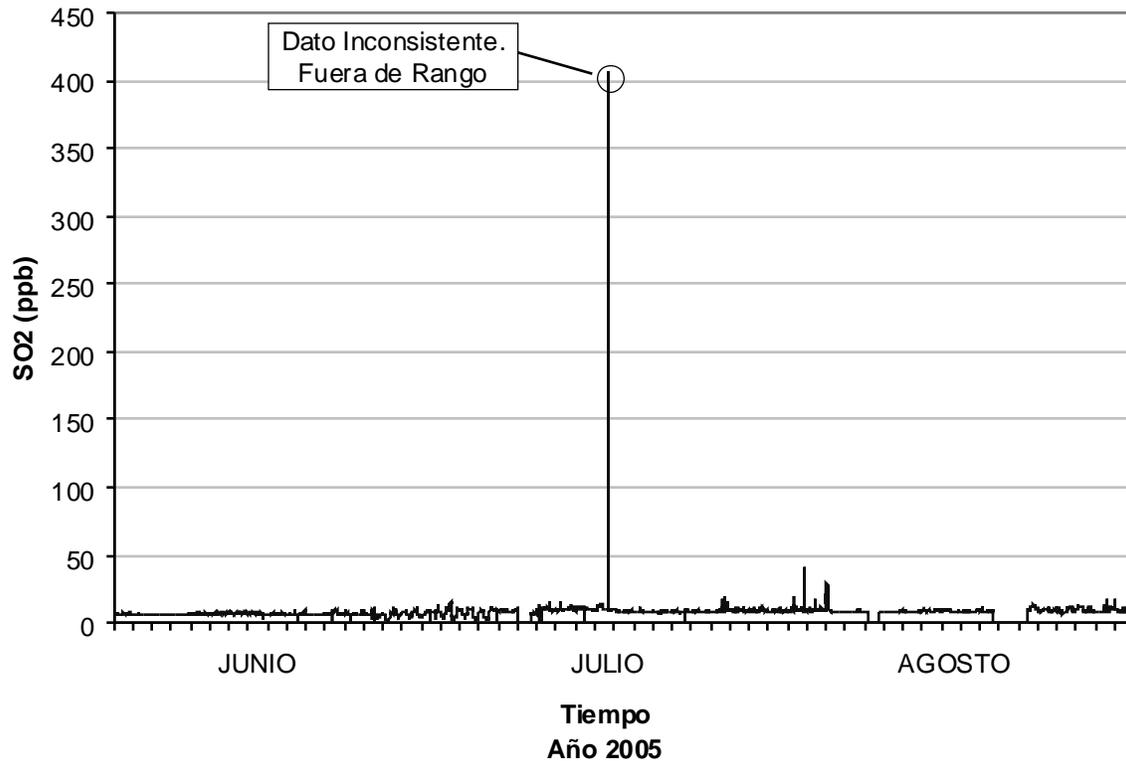


Figura 7.3 Ejemplo de un valor fuera de rango: serie de tiempo para la estación IDRD 2005.

Después de establecer la existencia de una irregularidad en el registro de la concentración del contaminante, se identificó la fecha y hora del registro para ubicarlo en la base de datos. Una vez encontrado el dato “sospechoso” se observaron las mediciones anteriores y posteriores a la anomalía para determinar si en realidad el dato se encuentra fuera de rango. Finalmente, si es el caso, el dato es reconocido como anómalo y el campo de control es marcado como “FR”.



7.3.3 Etapa 3: Filtro Final

Este último filtro tiene como fin descartar registros inexactos que se presentan cuando una estación reinicia la medición de concentraciones después de que los sensores han estado fuera de operación, por ejemplo por una rutina de mantenimiento o calibración.

Se identificaron los registros que no contaban con datos por largos lapsos de tiempo con el fin de encontrar los primeros valores registrados al momento del reinicio de las mediciones para así establecer si estas no se vieron afectadas mientras el sensor entraba en funcionamiento.

También se identificaron mediciones de datos no consecutivos y solitarios para observar si estaban fuera de rango y descartarlos. Los datos inexactos y erróneos hallados mediante este método se identificaron en el campo de control como un registro "FR". En repetidas ocasiones se observó que al reiniciar las mediciones los primeros registros estaban fuera de rango.

7.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA RED

La evaluación de la información de RMCAB, muestra los niveles de contaminación en la ciudad a través del tiempo, sus cambios, y las posibles tendencias hacia un futuro. Una vez organizada y validada la información proporcionada por la red en la base de datos descrita anteriormente, se procedió a realizar un análisis cuantitativo del estado de la calidad del aire.

Para realizar este análisis se utilizó un software con aplicaciones estadísticas conocido como SPSS. Con esta herramienta y la ayuda de MICROSOFT EXCEL se realizó una serie de análisis cuantitativos de los registros de la RMCAB.



Con el fin de agrupar y evaluar la información se calcularon promedios aritméticos para diferentes series de datos definidas en el tiempo; se calcularon promedios horarios, diarios, mensuales y anuales como lo dispone la resolución No. 1208 de 2003 para cada uno de los contaminantes y teniendo en cuenta también los análisis propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM) en el documento *“Análisis e Interpretación de Datos de la Calidad del Aire”*

Con los resultados obtenidos se elaboraron gráficas con el fin de observar el comportamiento y tendencias de los diferentes contaminantes. La presentación gráfica de los datos calculados se realizó siguiendo modelos de análisis similares de evaluaciones de la calidad del aire (ver Sección 5.1).

Tanto los datos como los promedios calculados fueron confrontados y evaluados según los estándares de calidad de aire establecidos en la resolución ya mencionada, con el fin de observar el grado de cumplimiento con la normatividad vigente a nivel nacional y distrital (ver Tabla 5.3).

Para determinar cuantitativamente el grado de contaminación atmosférica en toda la ciudad se definió un índice para establecer la frecuencia de excedencia de la norma de calidad del aire. Este índice se denominó el índice porcentual de excedencias (IPE). El IPE se calcula a partir de los promedios diarios obtenidos para cada contaminante, los cuales se comparan con las normas anual y diaria (ver ecuación 1). Se establece entonces el número de veces que el promedio diario excede la norma y se divide esta cantidad por el total de valores existentes.



$$IPE = \frac{\text{No. Veces que el promedio diario excede la norma}}{\text{No. Total de promedio existentes}} \times 100$$

Ecuación 1 Cálculo IPE

Para ejemplificar el uso de la ecuación anterior vamos a tomar el cálculo del IPE de PM_{10} en la estación de Puente Aranda para el 2005. El número de promedios diarios calculados para dicho año fueron 347, el número de veces que dichos promedios superaron la norma anual y la norma diaria fueron 347 y 50 respectivamente, por lo que entonces:

IPE de la norma anual de PM_{10} :

$$IPE = \frac{347}{347} \times 100 = 100\%$$

IPE de la norma diaria de PM_{10} :

$$IPE = \frac{50}{347} \times 100 = 14\%$$



8 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ

8.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

8.1.1 Generalidades de Bogotá

Bogotá se encuentra situada en una sabana que lleva su mismo nombre a una altitud de 2,640 m.s.n.m, sobre la cordillera oriental de los Andes. El área total del distrito es aproximadamente de 1,732 km² y está limitado por un sistema montañoso al oriente.

La ciudad esta dividida en 19 localidades: Antonio Nariño, Barrios Unidos, Bosa, Chapinero, Ciudad Bolívar, Engativá, Fontibón, Kennedy, La Candelaria, Los Mártires, Puente Aranda, Rafael Uribe, Santafé, San Cristóbal, Suba, Teusaquillo, Tunjuelito, Usaquén, Usme, y una localidad rural San Juan del Sumapaz.

Bogotá figura como una de las ciudades más pobladas de Latinoamérica con 7'881.156 habitantes y cuenta con una densidad poblacional aproximada de 4.550 habitantes por kilómetro cuadrado. (DA NE, censo 2005)

8.1.2 Condiciones Meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas y climatológicas de Bogotá influyen dramáticamente en su calidad el aire. Por ejemplo, dada su considerable altitud y su ubicación cerca al Ecuador hace que los niveles de radiación registrados por la red superan frecuentemente los 1,000 W-h/m².

Bogotá cuenta con un régimen de lluvias bimodal con lluvias en las épocas de Marzo-Abril y Octubre-Noviembre como se observa en la Figura 8.1, y una precipitación total anual de alrededor de 800 mm. La frecuencia con que llueve sobre la ciudad es alta pero no es

uniforme sobre toda su área, al sur llueve con menos frecuencia mientras que cerca los cerros orientales llueve más frecuentemente.

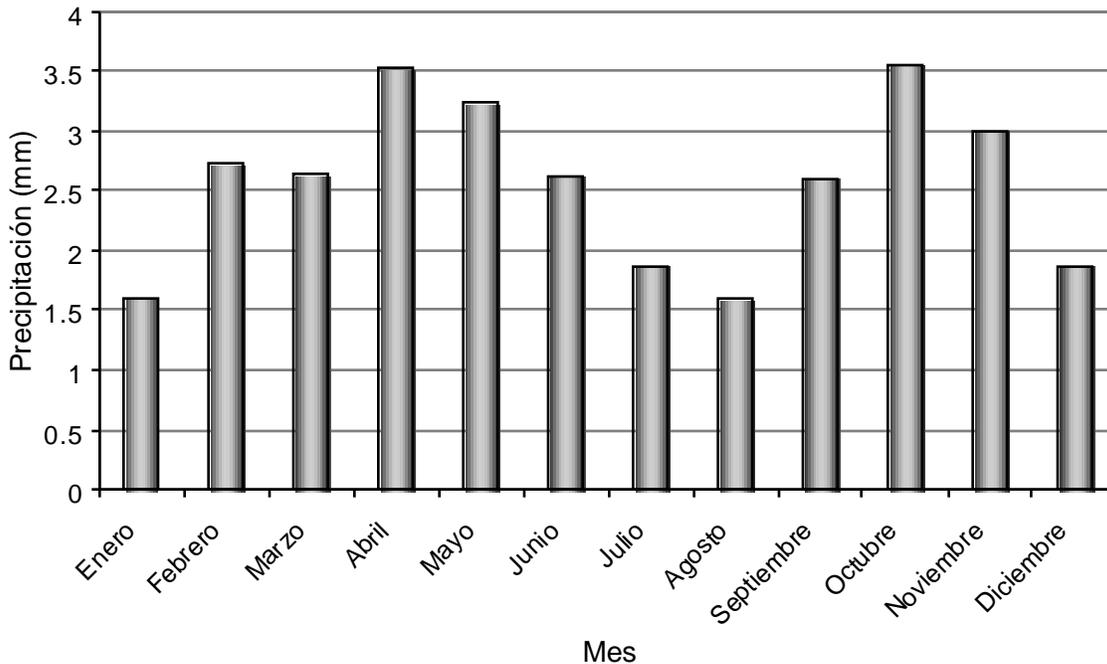


Figura 8.1 Precipitación promedio mensual diaria multianual

La velocidad y dirección del viento varían durante el día. En horas de la mañana entre las 6:00 y 11:00 los vientos predominantes van hacia el occidente mientras que en las horas de la tarde (12:00 y las 18:00) se desplazan hacia el norte. Existe una época marcada de vientos fuertes en el mes de Agosto. La temperatura media de la ciudad es de 14°C, en las noches la temperatura puede bajar hasta 4°C y durante el día subir hasta 25°C (DAMA, 2006).

8.1.3 Parque Automotor

El parque automotor en Bogotá está conformado aproximadamente por 1'200.000 vehículos de los cuales alrededor de 750.000 están registrados en la ciudad (Ministerio de

Transporte, 2006). En la Figura 8.2 se muestra la distribución por tipo de vehículo de la flota vehicular Bogotana según el informe del Ministerio de Transporte de Enero de 2006.

La edad media de la flota vehicular para el transporte público es 15 años mientras que para los vehículos particulares es de 10. (Secretaría de Transito y Transporte de Bogotá, 2006). Estos valores son considerablemente altos en comparación con otras ciudades latinoamericanas. Para vehículos particulares en Sao Paulo, Santiago de Chile y México la edad media es de aproximadamente 6 años (Lents et al., 2004)

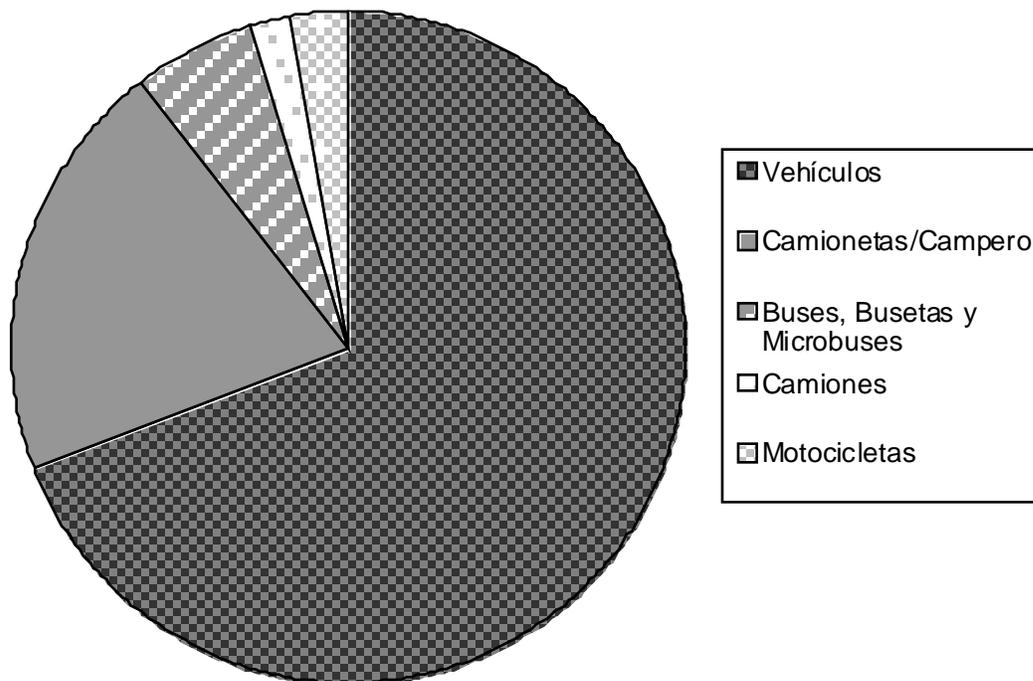


Figura 8.2 Distribución vehicular en Bogotá
Fuente: Reporte del Ministerio de transporte. Enero de 2006

8.1.4 Combustible

Los combustibles utilizados por los vehículos en la ciudad de Bogotá son el diésel, la gasolina y el gas natural vehicular. Este último ha cobrado gran importancia en los últimos años. Entre estos combustibles, el diésel es uno de los principales causantes de problemas asociados a la contaminación atmosférica por la baja calidad de éste en el

país. El diésel utilizado en Colombia se caracteriza por tener un alto contenido de azufre. En la Figura 8.3 se compara el contenido de azufre en el diésel utilizado en Bogotá y el resto del país con el de otros países de Latinoamérica.

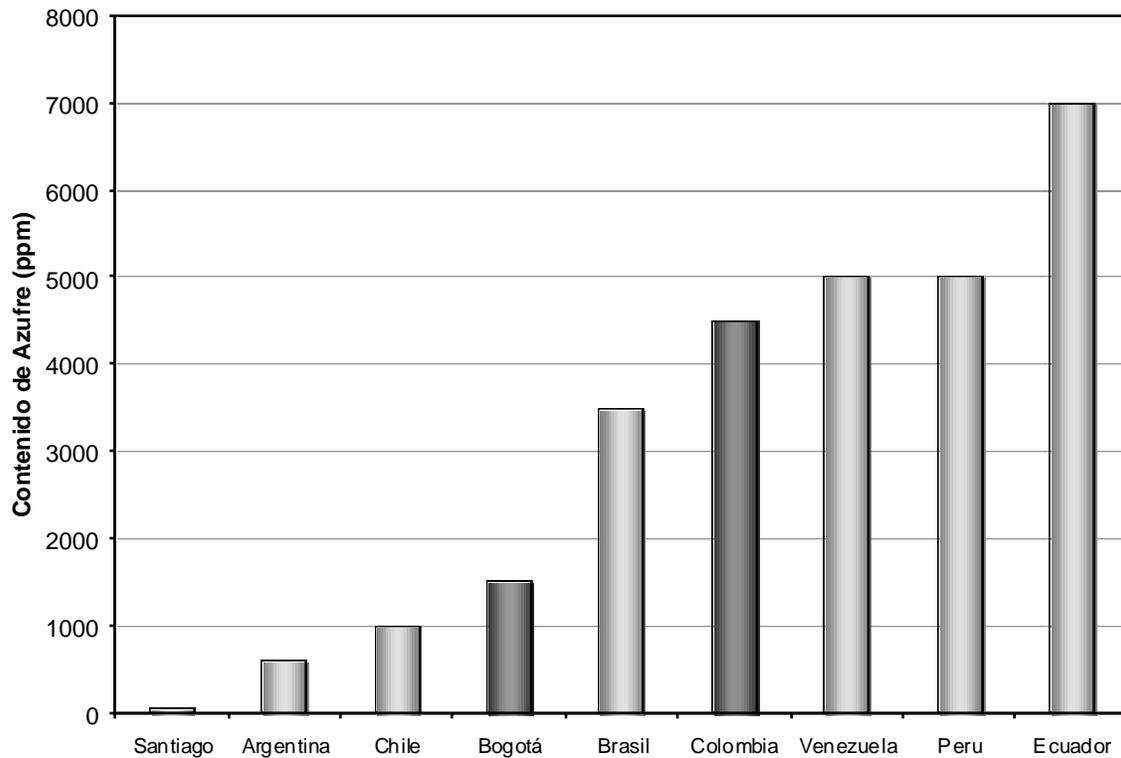


Figura 8.3 Contenido de azufre en el diésel

Fuente: Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe ARPEL

El consumo del diésel en Bogotá (Figura 8.4) ha venido en aumento por ser un combustible más económico que la gasolina. Para Junio de 2006 el precio de la gasolina por galón fue de \$5.665 mientras que el diésel fue de \$4.397. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2006)

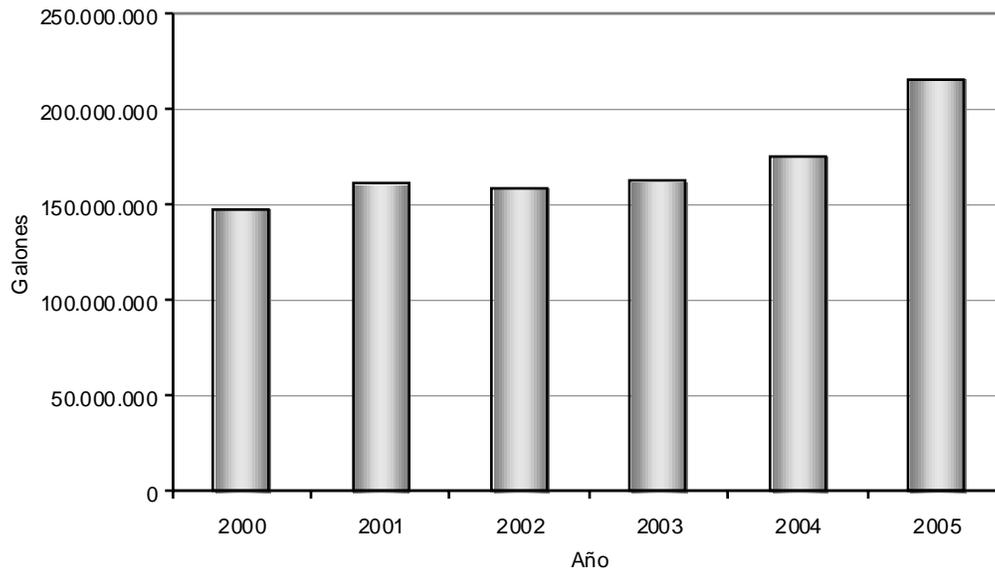


Figura 8.4 Consumo de diésel en Bogotá

Fuente: Análisis de costos asociados al mejoramiento de la calidad del combustible en Colombia. Silvia Maria Arrieta. 2006

8.1.5 Industria

Bogotá es un centro industrial en el que existen todo tipo de actividades económicas. Entre las actividades más representativas se encuentran la construcción, fábricas manufactureras e industrias prestadoras de servicios, las cuales aportan el mayor crecimiento económico de la ciudad (Cámara de Comercio de Bogotá, CCB, 2006). Las localidades en donde se concentra el mayor número de industrias son Fontibón y Puente Aranda. El producto Interno Bruto (PIB), de la ciudad está ligado directamente al PIB del país (Ver Figura 5.1), Bogotá representa alrededor del 25% del PIB nacional (Banco de La República y Departamento Nacional de Estadística, 2005).

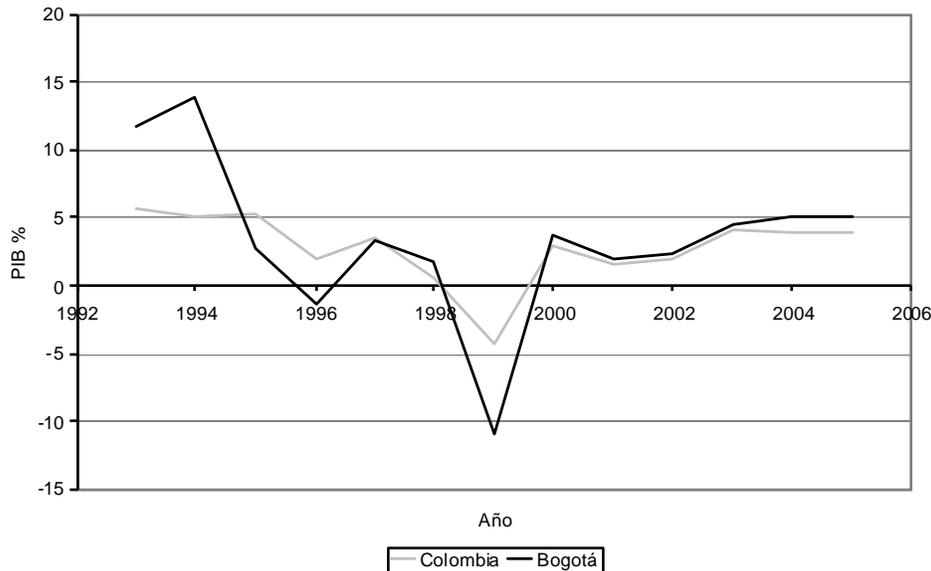


Figura 8.5 Variación del PIB Nacional y de Bogotá 1993 - 2005

Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá 2006

8.2 DIAGNÓSTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN BOGOTÁ

Entre los distintos contaminantes medidos por la RMCAB, en este trabajo se analizarán solamente aquellos considerados como contaminantes criterio; SO_2 , NO_2 , CO , O_3 y PM_{10} con énfasis en este último.

8.2.1 Dióxido de Azufre

En general, la RMCAB no registra concentraciones elevadas de SO_2 . En su gran mayoría estas concentraciones se encuentran por debajo de la norma anual del distrito (26 ppb). Lo mismo ocurre para las normas diarias y de 3 horas. En la Figura 8.6 se muestra un resumen de las concentraciones (media anual) de SO_2 en Bogotá. Se observa que en las zonas norte, noroccidente, centro y suroccidente las concentraciones son bajas, mientras que en las zonas sur y centroccidente son más altas.

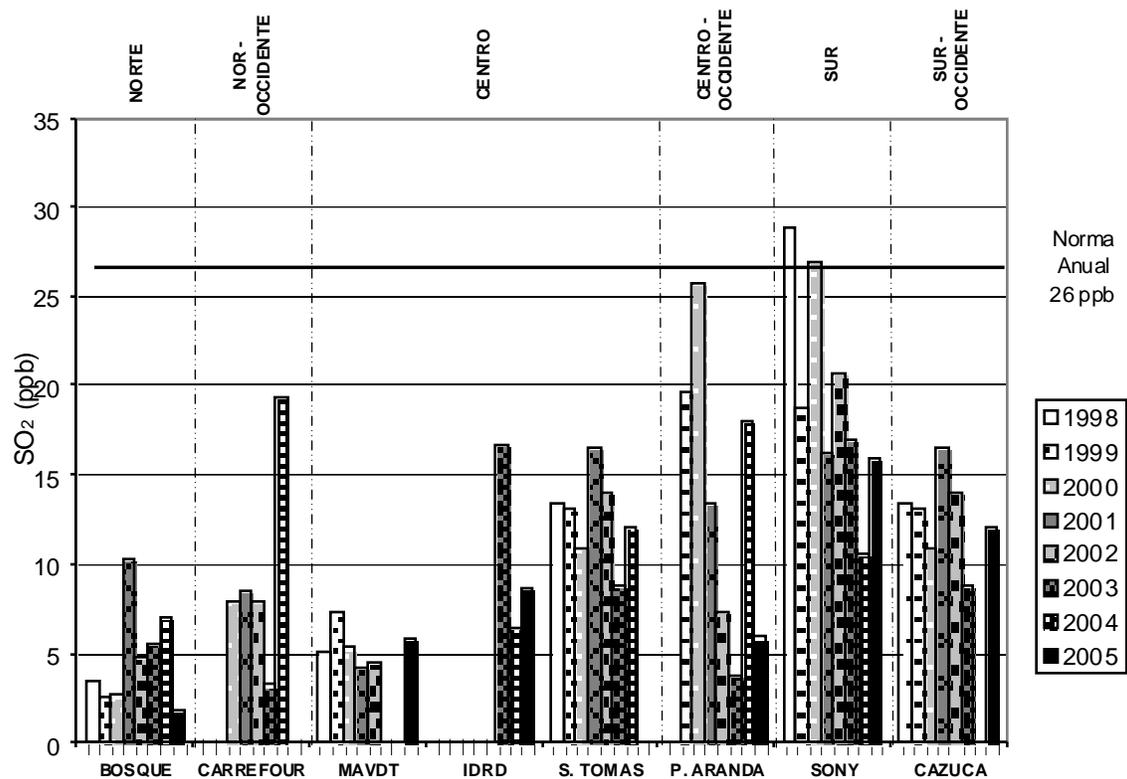


Figura 8.6 Concentración Media Anual de SO₂ en Bogotá

En las estaciones del sur y sur-occidente se alcanza apreciar una tendencia de disminución de las concentraciones de SO₂. La estación Carrefour registra un aumento considerable de 16 ppb en el 2004 en comparación con el año inmediatamente anterior.

En las estaciones de Puente Aranda, Sony y Cazucá ubicadas en las zonas industriales de Bogotá se registran las concentraciones más elevadas de SO₂, mientras que en las zonas comerciales y residenciales se registraron las concentraciones más bajas (Bosque, Carrefour y MAVDT).

Ahora bien, observando el IPE (ver sección 7.4) para la norma anual de SO₂ (Figura 8.7), el año que presentó el mayor número de excedencias fue el 2003 con un 8%.

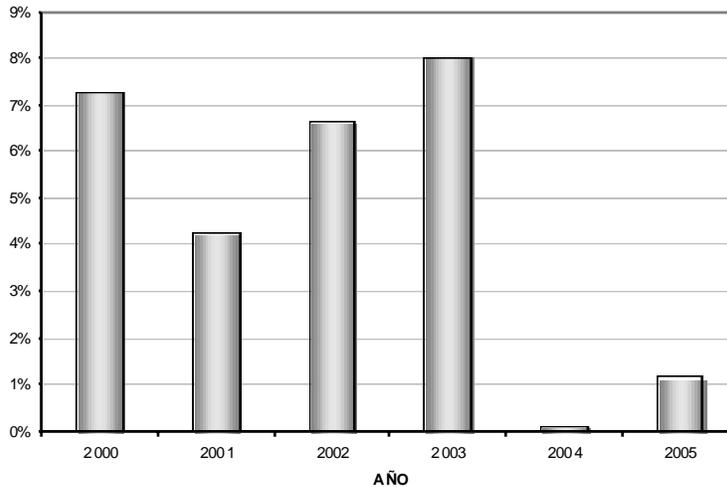


Figura 8.7 IPE de la norma anual de SO_2 en Bogotá basado en la media diaria

En resumen se puede afirmar que la concentración atmosférica de SO_2 no representa un problema para la ciudad ya que los valores se encuentran dentro de la norma establecida.

8.2.2 Dióxido de Nitrógeno

Al igual que para el caso del SO_2 , las concentraciones de NO_2 en la ciudad se ajustan fácilmente a la norma anual del DAMA (53 ppb). En la Figura 8.8 se ilustran las concentraciones (media anual) de NO_2 para Bogotá en los últimos años. En esta figura se observa que la norma no es superada en ninguna ocasión. En la mayoría de los casos, las concentraciones se encuentran por debajo del 50% del valor de la norma.

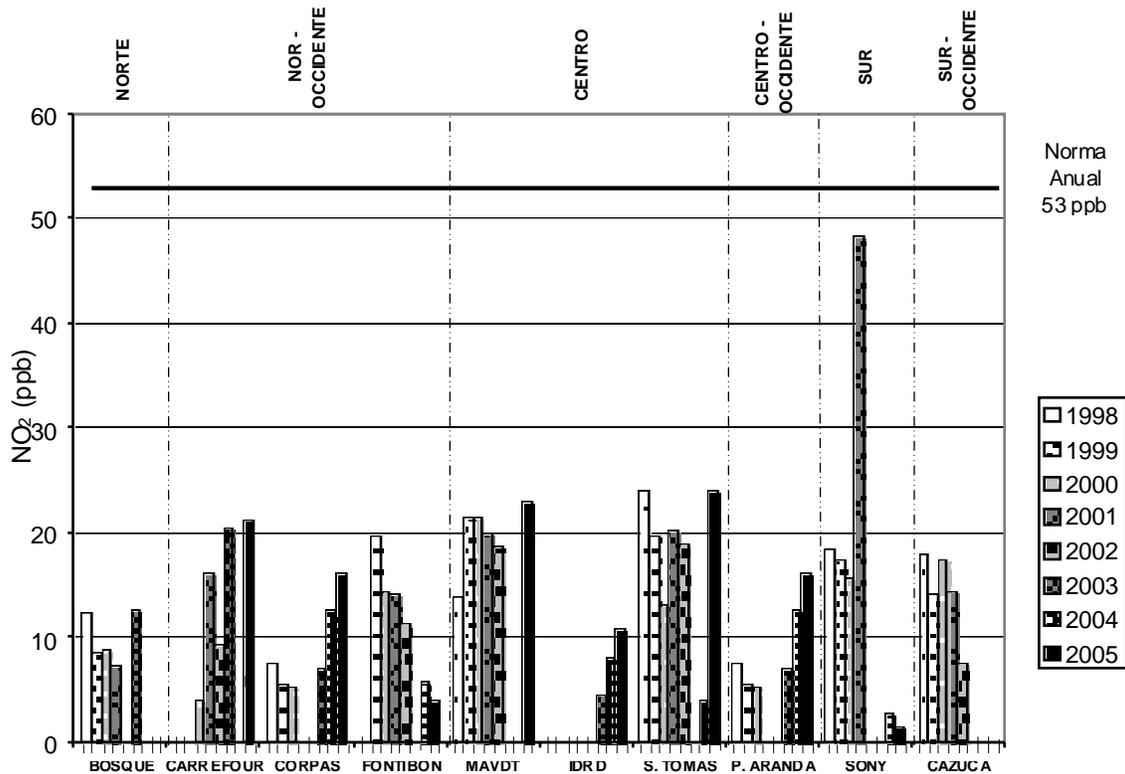


Figura 8.8 Concentración media anual de NO₂ en Bogotá

La Figura 8.8 demuestra que la zona que registra las menores concentraciones es el norte de la ciudad, mientras que la zona sur y suroccidente muestran nuevamente las más altas concentraciones. A pesar de esto las concentraciones observadas no alcanzan a superar la norma anual. De forma similar, las normas diarias y horarias no se violan en ninguna ocasión.

Cabe mencionar que los registros de NO₂ mostraron numerosas inconsistencias y por esta razón durante el proceso de validación fueron eliminados un gran número de estos datos. Para la estación Sony se tuvieron que eliminar todos los registros del año 2003 y una parte importante de los registros del 2004. Los datos válidos que fueron utilizados para calcular las medias resultaron siendo pocos lo que afectó los resultados para dicha estación. El calculo del IPE para la norma anual de NO₂ no arrojó resultados consistentes.

Para el 2003 y el 2004 el índice de porcentaje de excedencia fue 0%, valor no válido si tenemos en cuenta que para estos años 5 de las 10 estaciones no tuvieron registros consistentes de las concentraciones de NO_2 como se observa en la Figura 8.9. Para los años donde las mediciones fueron consistentes como lo el 2001 y el 2005 el índice de porcentaje de excedencia es de 10 y 3.9% respectivamente.

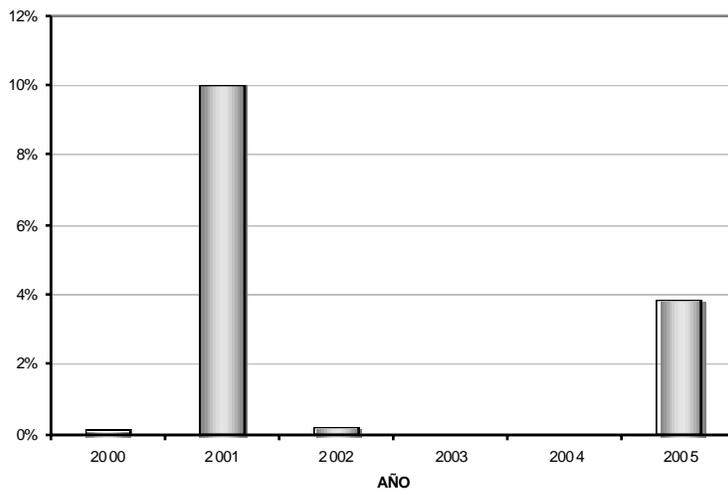


Figura 8.9: IPE de la norma anual de NO_2 en Bogotá basado en la media diaria

En las Figura 8.12 y Figura 8.15, se observan las variaciones de las concentraciones de NO_2 durante un día típico: inicialmente se presenta un incremento en las concentraciones de NO en las horas de la mañana el cual al poco tiempo se convierte en NO_2 . La alta concentración de NO en la mañana se debe al gran flujo vehicular en las horas de alta congestión. Hacia la media mañana se observa la estabilización de la concentración de los óxidos nitrogenados que se debe a las reacciones fotoquímicas en las que se encuentra involucrado el NO_2 para la formación del ozono.

8.2.3 Monóxido de Carbono

El CO registra concentraciones (medias anuales) muy bajas relativas a la norma anual, comportamiento que se puede observar en la Figura 8.10. Las estaciones Fontibón, Sony

y Cazucá registran las concentraciones más altas mientras que las demás estaciones marcan concentraciones máximas de 2 ppm. Al igual que los contaminantes ya analizados, las concentraciones más altas se registran en el occidente y sur de la ciudad.

En las estaciones de Cazucá, Corpas y Sony se presenta una disminución de la concentración hasta el año 2003. En el 2003, en 4 de las 5 estaciones que cuentan con información válida, existe un incremento importante de la concentración en relación a las medias de los demás años. Para el año 2002, se registraron valores muy similares en todas las estaciones.

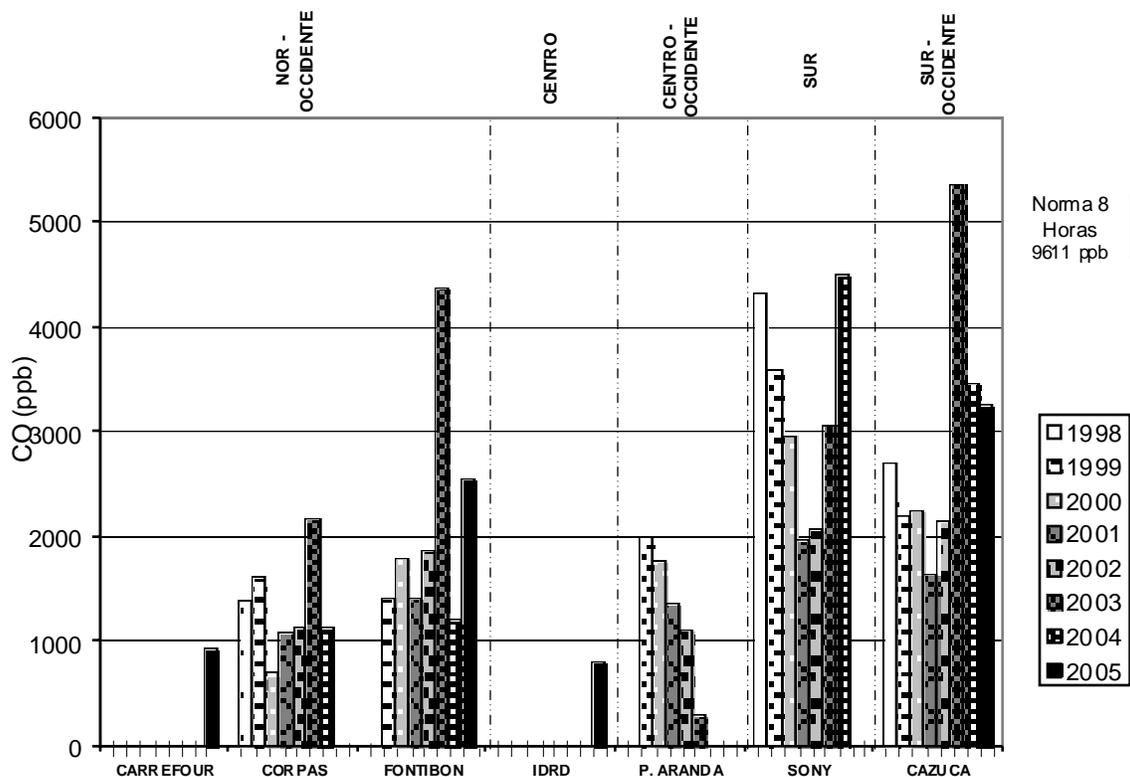


Figura 8.10 Concentración media anual de CO en Bogotá

Para la estación Puente Aranda las concentraciones medidas de CO son muy bajas, fenómeno que no se esperaría si se tiene en cuenta las características de la zona donde

se encuentra localizada la estación. Las mediciones de las estaciones Sony, Cazucá y Fontibón sí son consistentes con su localización en zonas de alta actividad industrial.

El cálculo del índice porcentual de excedencia para la norma de CO varia ya que para este contaminante no hay norma anual. Los promedio diarios se compararon con la norma horaria y de 8 horas. Para la norma horaria el promedio diario no supera la norma mientras que para la norma de 8 horas en el 2003 y el 2004 se presenta una índice de excedencia de la norma de 2 y 0.3% como se observa en la Figura 8.11.

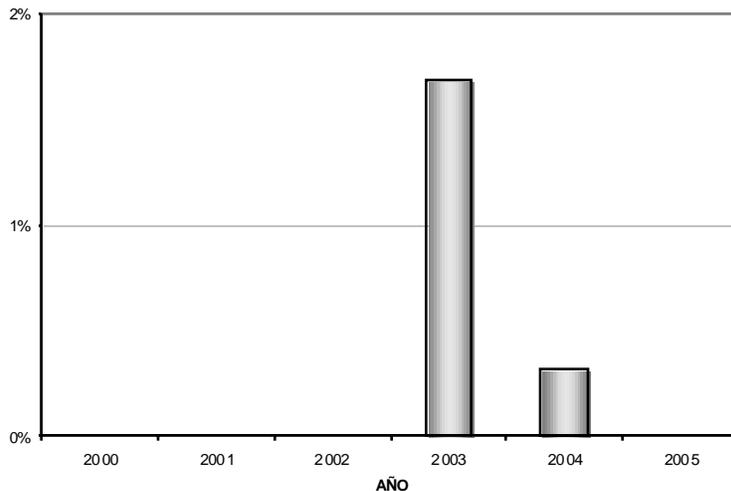


Figura 8.11 IPE de la norma anual de CO en Bogotá basado en la media diaria

8.2.4 Ozono

Las concentraciones de ozono tienen un comportamiento diferente a aquellas de contaminantes ya analizados. El ozono troposférico es un contaminante secundario, que se produce a partir del NO_2 y la radiación solar. Es esta razón por la que en los análisis realizados no se tuvo en cuenta las concentraciones de O_3 en la noche.

En la Figura 8.12 se observa el comportamiento del ozono en relación con la radiación solar. A medida que aumenta la radiación solar la concentración de ozono sube, llegando

a valores máximos alrededor del medio día cuando la incidencia de los rayos solares es mayor. En general, para todas las estaciones la concentración de O_3 en la noche se mantiene constante alrededor de 5 ppb.

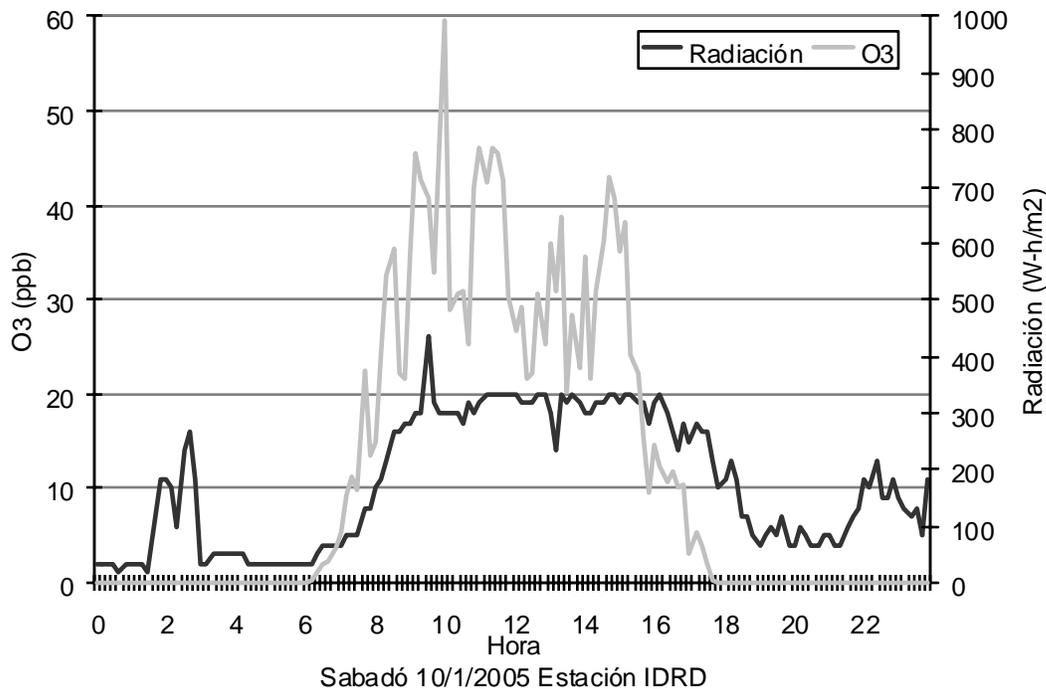


Figura 8.12 Comportamiento de O_3 y radiación solar

La Figura 8.13 Relación entre la radiación solar y la concentración de O_3 permite observar más claramente la relación entre la radiación solar y formación de O_3 . En esta gráfica de dispersión es evidente que la concentración de O_3 es directamente proporcional a la radiación solar, a mayor radiación solar hay más O_3 troposférico presente, con una relación r^2 de 0.6301.

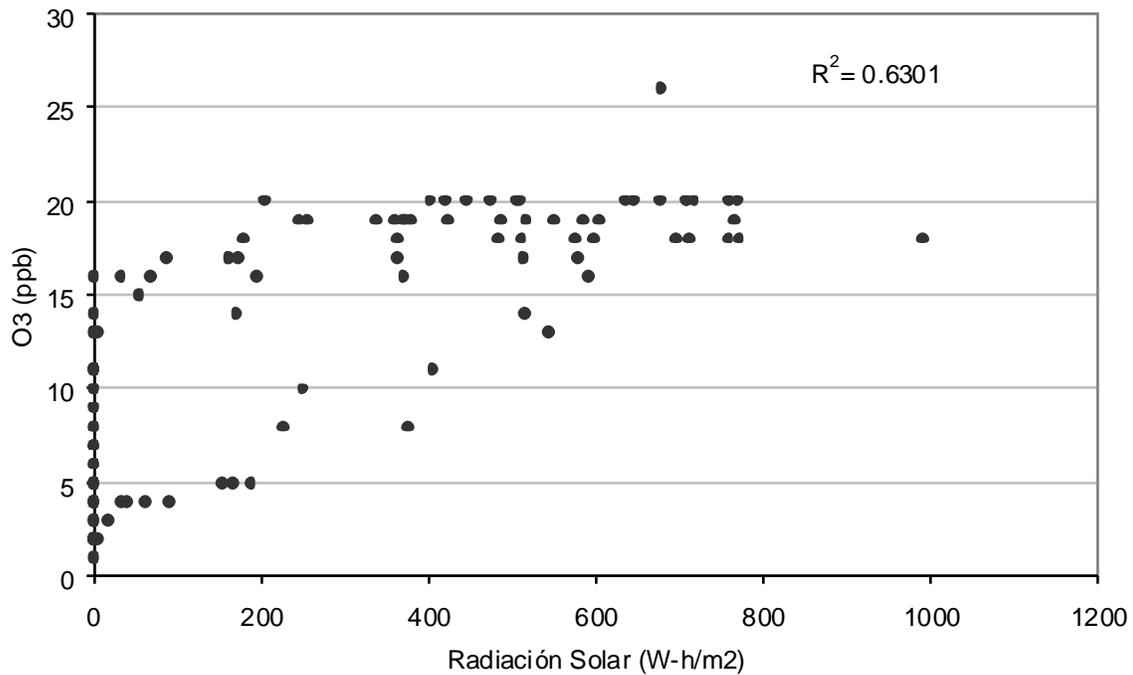


Figura 8.13 Relación entre la radiación solar y la concentración de O₃ troposferico.

En la Figura 8.14 y Figura 8.15 se observa la diferencia de la concentración de ozono para un día de alta y uno de baja radiación. Para observar este comportamiento se buscaron días de características similares en cuanto a precipitación, día de la semana y época del año. La radiación promedio de los días de alta y baja radiación fue de 409 y 110 W-h m⁻², respectivamente. Para el caso del día de alta radiación el promedio de la concentración de O₃ fue de 29 ppb llegando a su valor máximo a las 12 del día.

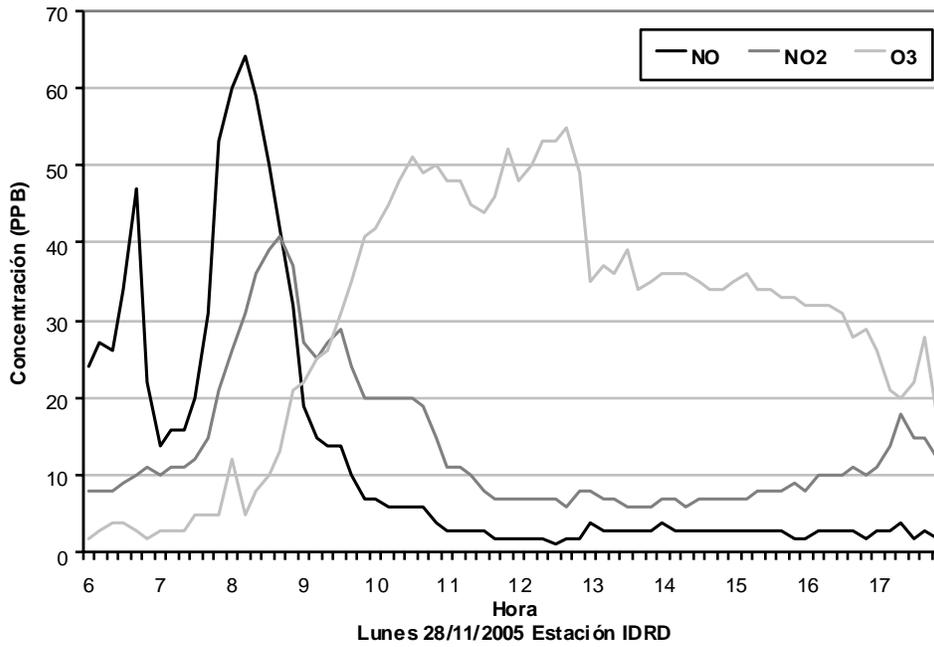


Figura 8.14 Alta radiación: comportamiento NO, NO₂ y O₃

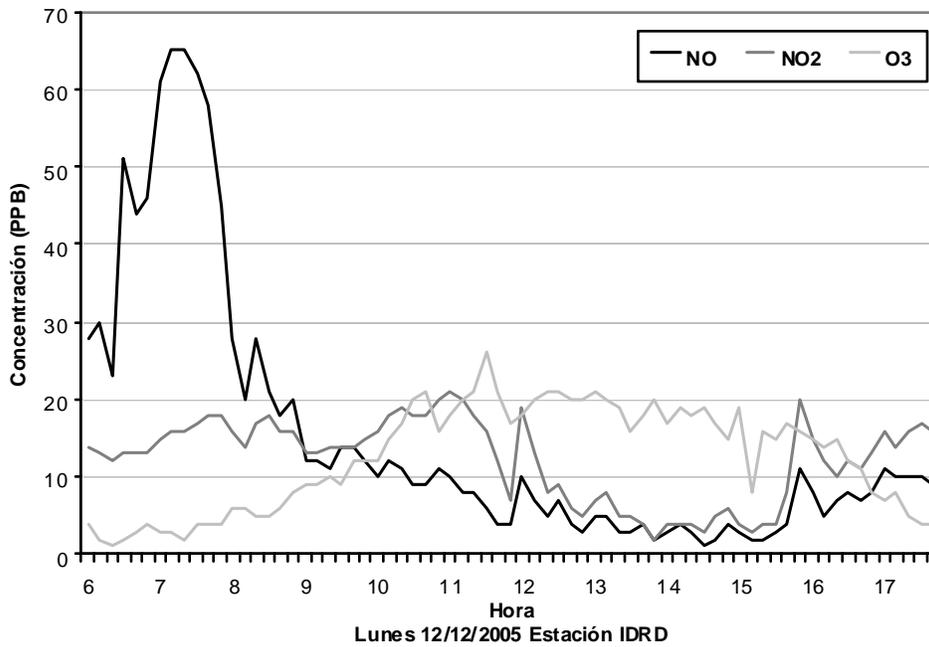


Figura 8.15 Baja radiación: comportamiento NO, NO₂ y O₃

Es evidente en las figuras anteriores que la concentración de los óxidos de nitrógeno se ve afectada por la formación del ozono (ver sección 8.2.2). La concentración de NO_2 disminuye a medida que la concentración de O_3 aumenta, alcanzando valores mas bajos para el día de alta radiación donde el potencial de formación de O_3 es mayor consumiendo mas NO_2 en la reacción fotoquímica.

Las concentraciones medias anuales de O_3 se encuentran muy por debajo de la norma de 8 horas. En la Figura 8.16 se observan las concentraciones medias anuales donde se destaca que el potencial de formación de O_3 es similar en toda Bogotá independiente de la zona y las actividades que se realicen.

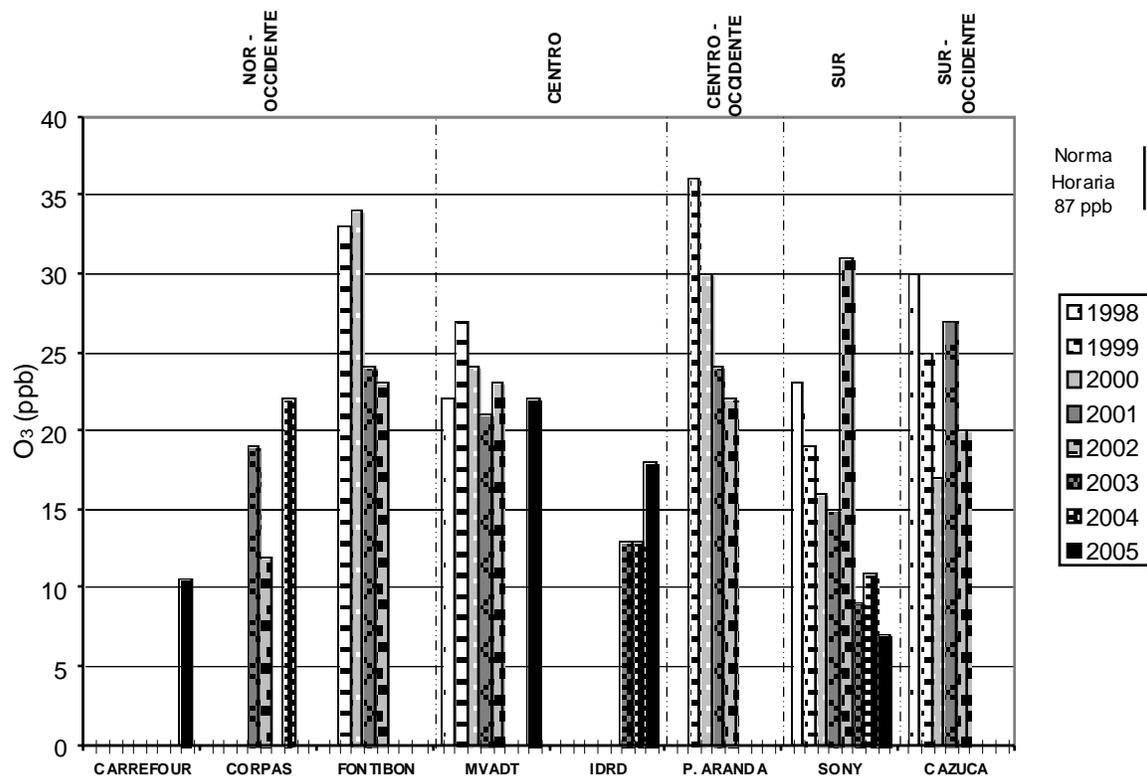


Figura 8.16 Concentración media anual de O_3 en Bogotá

El índice porcentual de excedencia para el O_3 , al igual que para el caso del CO , debe realizarse comparando la media diaria con la norma horaria y de 8 horas. En este caso no se registró ninguna excedencia alguna para ninguna de las dos normas.

8.3 MATERIAL PARTICULADO

La norma anual para PM_{10} fue superada en la mayoría de la estaciones. En la Figura 8.17 se resumen las medias anuales de PM_{10} donde es evidente que este es el contaminante más crítico de la ciudad. De las 11 estaciones que miden PM_{10} , 7 registran medias superiores a la norma anual, siendo las zonas más afectadas la occidental y el sur de la ciudad. En la zona norte las estaciones no registran medias anuales superiores a la norma.

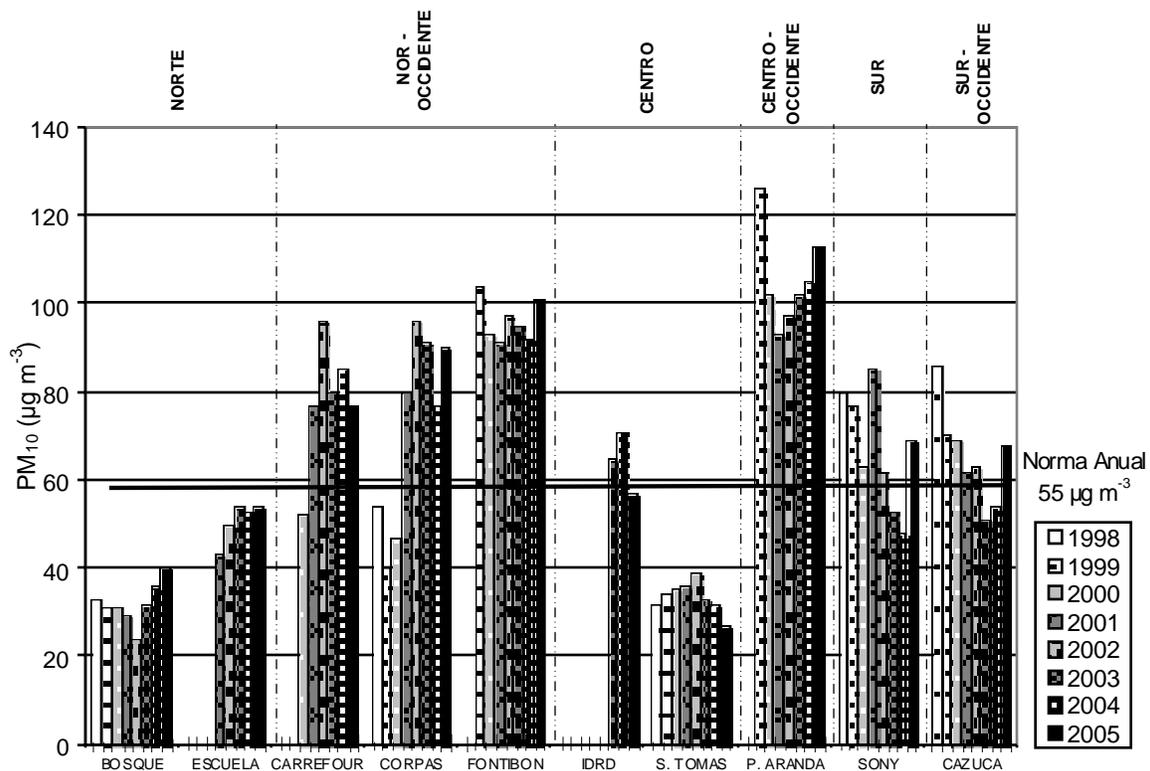


Figura 8.17 Concentración media anual de PM_{10} en Bogotá

En la mayoría de los casos, las estaciones registran un descenso hasta el año 2003, a partir del cual las concentraciones aumentan nuevamente. Este fenómeno está directamente relacionado con el crecimiento económico de la ciudad. En la Figura 8.5 se muestra la variación del PIB de Bogotá donde es claro un aumento a partir del 2002, el cual está ligado con el desarrollo industrial de la ciudad. En la Figura 8.18 se observa gráficamente la relación entre el crecimiento económico y la concentración de PM_{10} para las estaciones ubicadas en las principales zonas industriales de Bogotá. Es evidente que a partir del crecimiento del PIB en el 2002, la concentración de PM_{10} aumentó de manera sostenida.

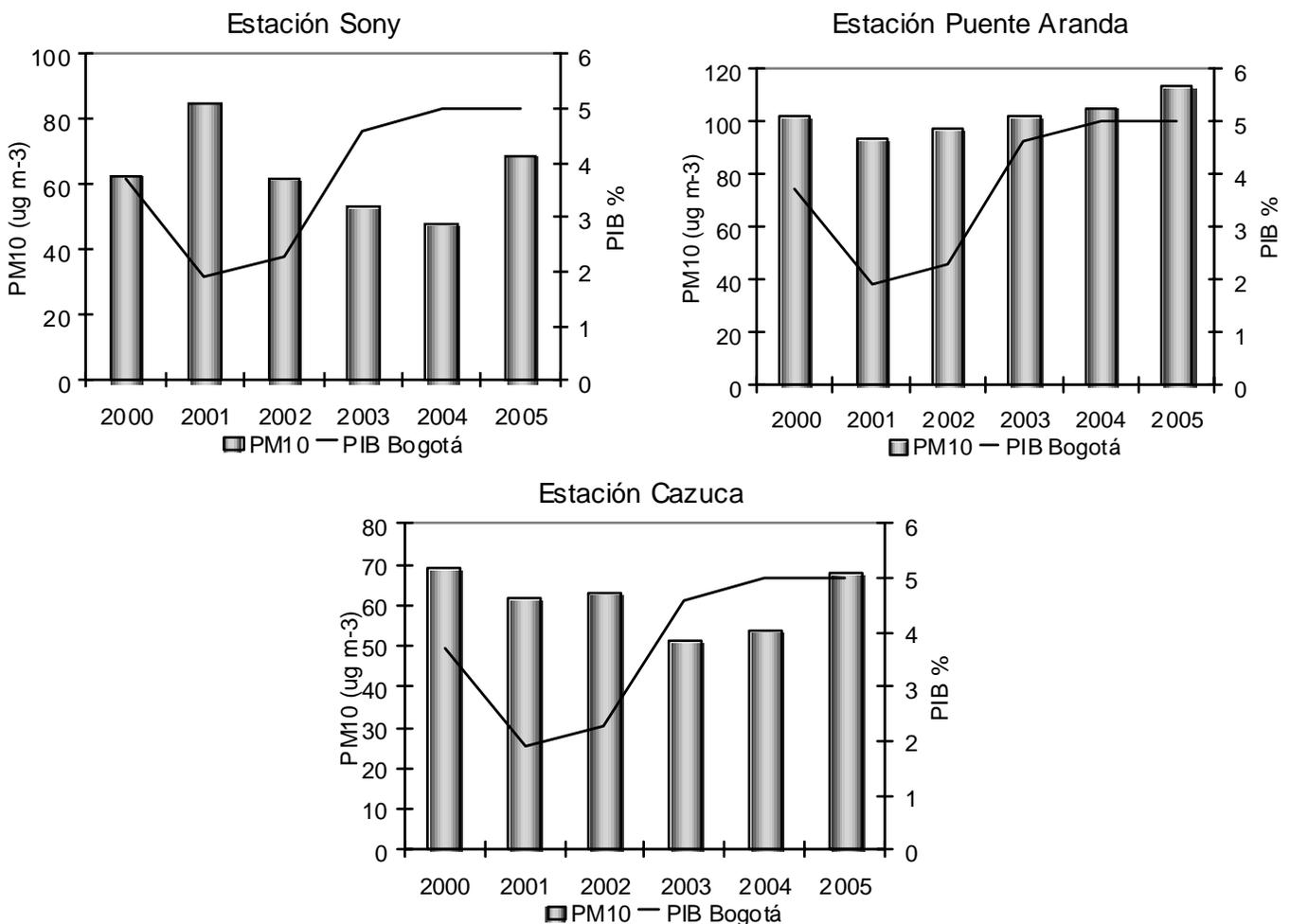


Figura 8.18 Relación entre la concentración de PM_{10} y el crecimiento económico de la ciudad de Bogotá



Las estaciones que registran las concentraciones de PM_{10} más altas son Puente Aranda seguida por Fontibón, Corpas y Sony, todas estas situadas en zonas industriales.

En la Figura 8.19 se ilustra el índice porcentual de excedencia para la norma anual de PM_{10} basado en la media diaria para las estaciones que muestran las concentraciones más críticas. En los cuatro casos ilustrados se observa una marcada tendencia al aumento, en algunos casos llegando a exceder la norma más del 90% del tiempo. De nuevo es evidente que la estación que registra el mayor número de excedencias es la ubicada en la localidad de Puente Aranda.

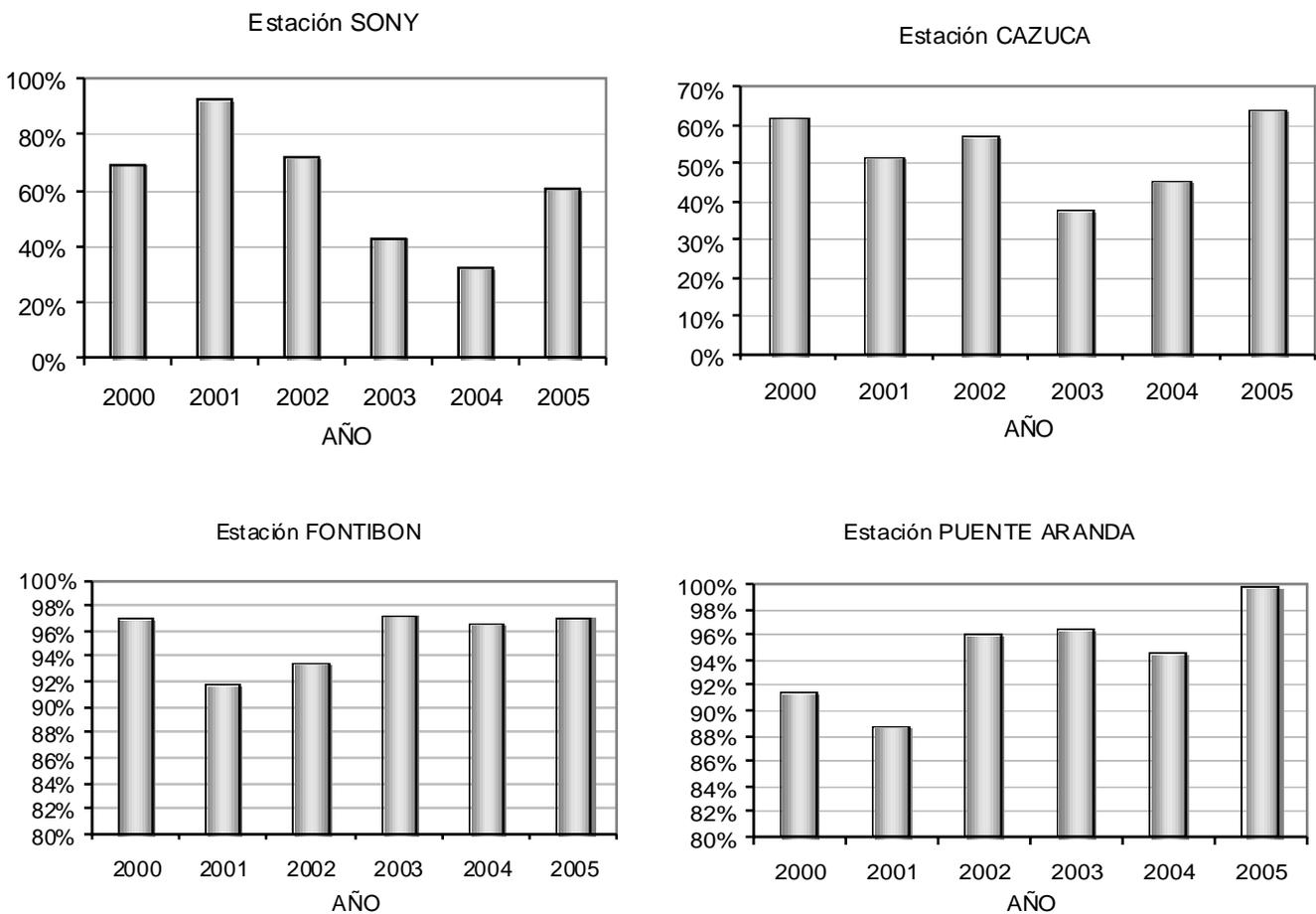


Figura 8.19 IPE de la norma anual de PM_{10} basado en la media diaria

En la Figura 8.20 se resume el índice porcentual de excedencia para toda Bogotá, se observa que a partir del 2001 el 50% del tiempo se esta violando la norma anual y que aunque en general para toda la ciudad en el 2003 y 2004 se presento una reducción del porcentaje de excedencia en comparación con el 2002, hay zonas específicas de la ciudad que en estos años registraron un aumento en este índice como se observó en la figura anterior.

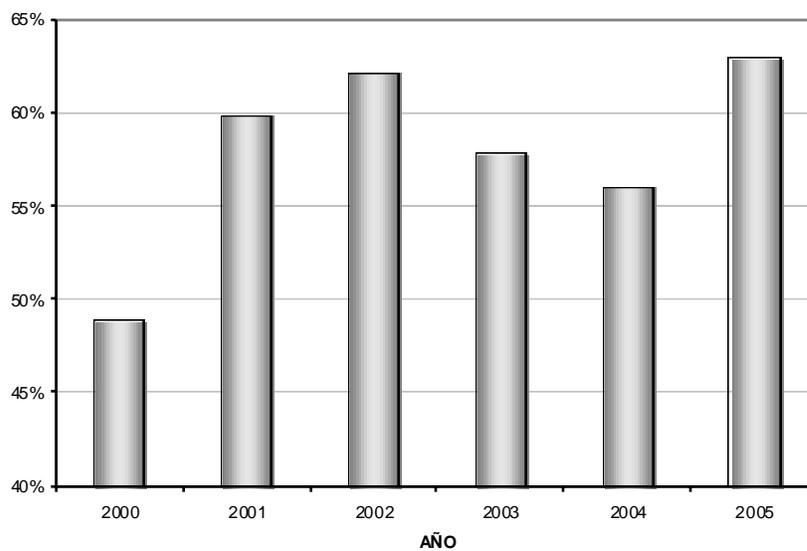


Figura 8.20 Resumen Bogotá: excedencia de norma anual de PM_{10} en Bogotá basado en la media diaria

Con el fin de observar el comportamiento de las concentraciones medias diarias en el 2005 para algunas zonas de Bogotá se realizaron series de tiempo. En la Figura 8.21 se puede observar que en ellas se encuentran definidas la norma anual y diaria para PM_{10} . Se ve que para el caso de estas tres estaciones alrededor del 90% de los promedios diarios se encuentran sobre la norma anual. Se destaca que la estación de Puente Aranda en el 2005 mas del 11% de los promedio diarios se encontraron por en encima de la norma diaria.

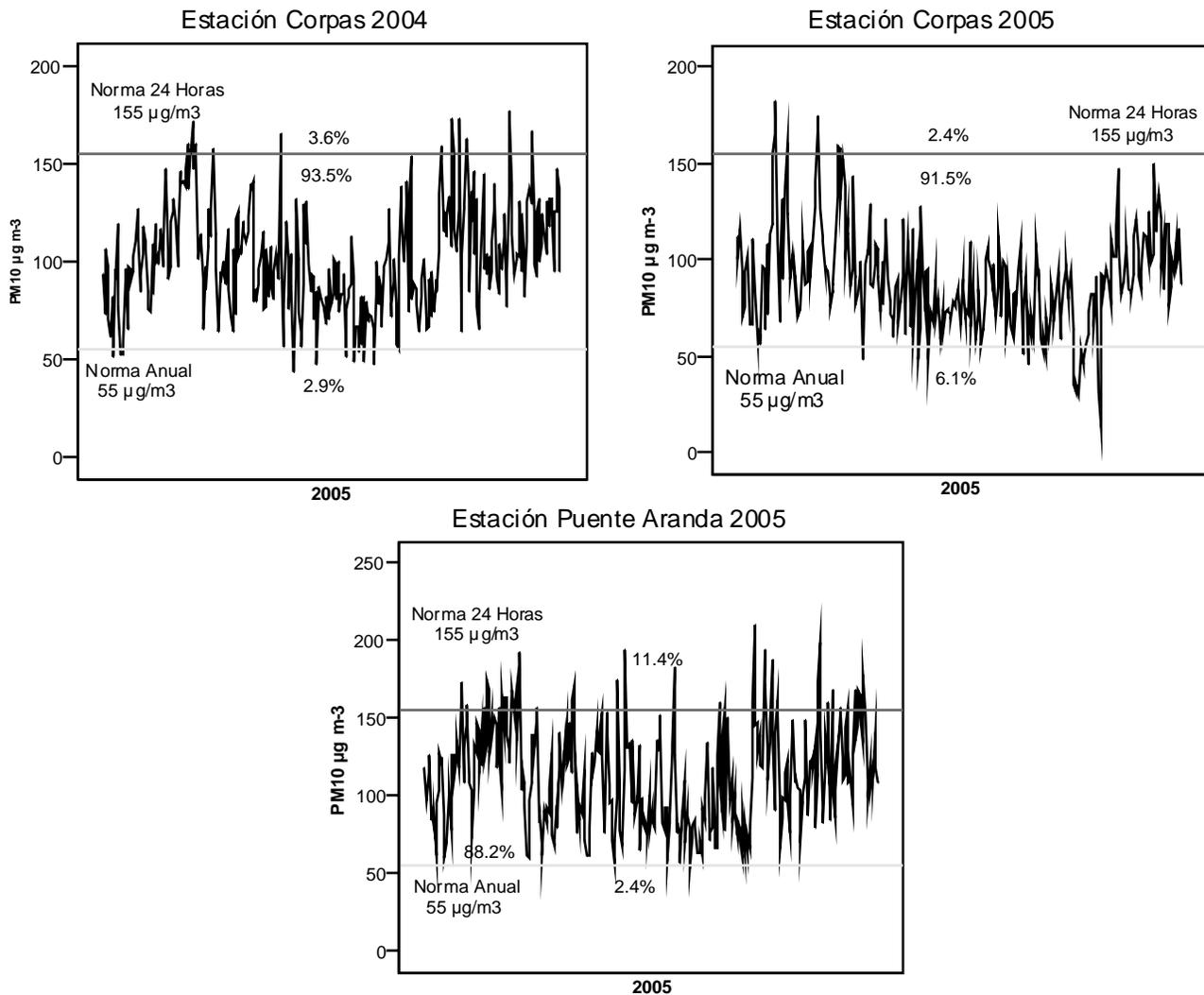


Figura 8.21 Series de tiempo para concentraciones medias diarias

Para los análisis que se presentan a continuación, utilizamos el índice de calidad del aire (AQI) establecido por la EPA. Para el caso de PM_{10} este índice se define de acuerdo a los rangos presentados en la Tabla 8.1. A cada uno de estos rangos se le atribuye una calificación que identifica el estado de la calidad del aire en relación con las implicaciones que este tiene con la salud. Las calificaciones van de “bueno” a “muy desfavorable”.



Tabla 8.1 Índices de calidad del aire para PM₁₀.

AQI*	µg m ⁻³	Calificación
0 - 50	0-54	Bueno
50 - 100	55-154	Moderado
100 - 150	155-254	Desfavorable para Grupos Sensibles
150 - 200	255-354	Desfavorable
200 - 300	355-424	Muy Desfavorable

*AQI: Índice de Calidad del Aire

Con base en estos índices se generaron una serie de graficas basadas en los promedio diarios de las concentraciones de PM₁₀ registradas en la estación de Puente Aranda. En la Figura 8.22, se observa que la mayoría de las concentraciones medidas se encuentran dentro del rango “moderado”. Sin embargo, en repetidas ocasiones se alcanza el nivel definido como “Desfavorable para grupos sensibles”, esta calificación hace referencia a niños y ancianos, que por sus características fisiológicas los hacen mas vulnerables a los efectos nocivos de la contaminación.

Es claro que en el 2002 los casos del AQI por encima de 100 son menores que los que se observan para el 2005. En los 4 años presentados alrededor del 90% de los datos se encuentran dentro del rango “moderado” el cual indica que la calidad del aire es aceptable pero no la ideal para grupos altamente sensibles. Dado que los promedio diarios se encuentren en su mayoría dentro de este rango es posible afirmar que la calidad del aire no es buena y su deterioro en términos de contaminación por PM₁₀ es una realidad pues son contados los casos donde las concentraciones se encuentran dentro del rango “bueno”.

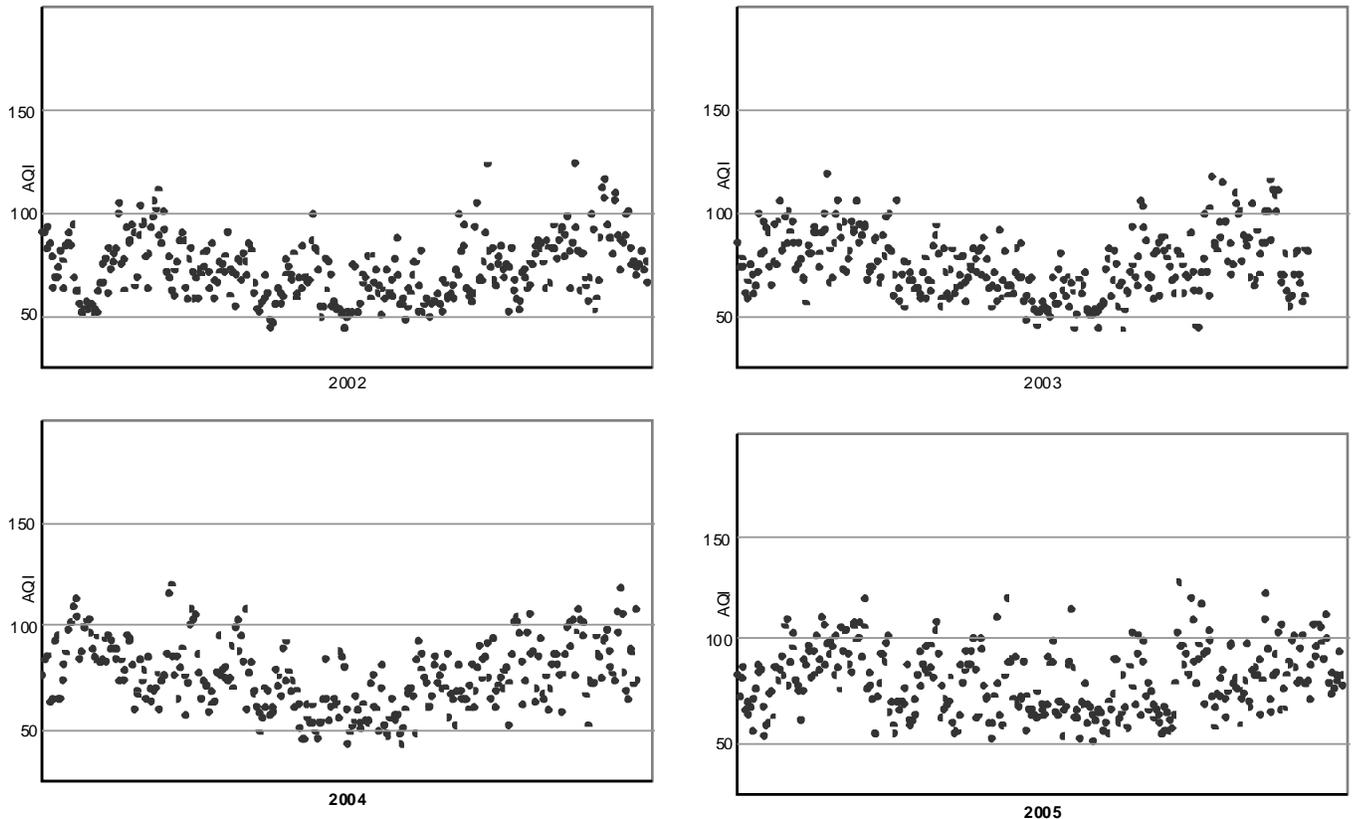


Figura 8.22 Índices de calidad del aire para PM_{10} : estación Puente Aranda

Finalmente, en la Figura 8.23 se observa la media móvil diaria de la concentración de PM_{10} para la estación de Puente Aranda. Es aquí donde se hace evidente una marcada tendencia al incremento de la concentración atmosférica de PM_{10} en el tiempo. A partir del 2001 la concentración esta aumentando pasando de alrededor de $90 \mu\text{g m}^{-3}$ hasta llegar a registrar promedios de $115 \mu\text{g m}^{-3}$. Este comportamiento se podría generalizar para las estaciones de Sony, Cazuca, Corpas y Fontibón al presentar características similares. Esto muestra que por lo menos en gran parte de la ciudad la contaminación por PM_{10} esta en aumento, situación preocupante si se tiene en cuenta que es el más perjudicial para la salud.

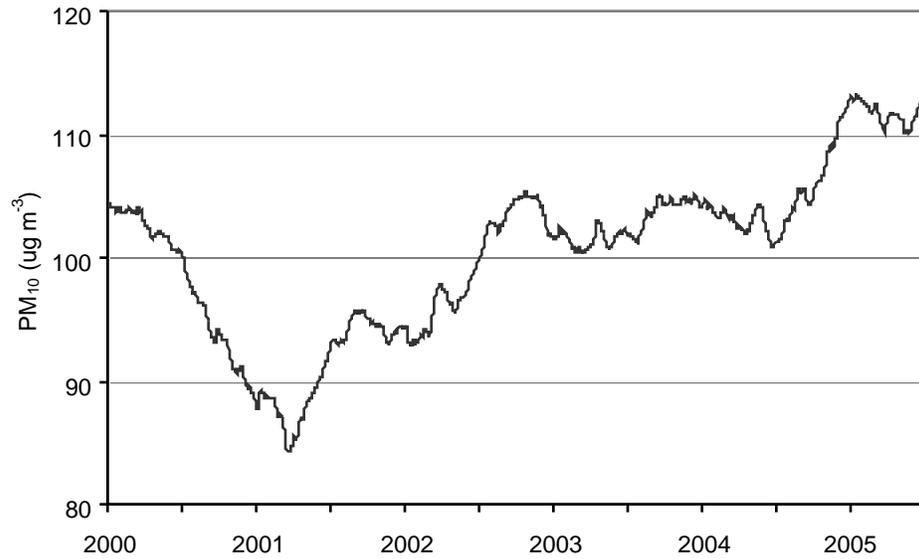


Figura 8.23 Media móvil (periodo de 500)¹ de la concentración de PM₁₀ en la estación de Puente Aranda

¹ Para calcular la media móvil se tomó el promedio diario de las concentraciones de PM₁₀ para la estación de Puente Aranda desde el 2000 hasta el 2005, contando con 1667 datos. Para lograr observar alguna tendencia se optó por un periodo (k) de 500.



9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La creación de la base de datos de la RMCAB representa un avance importante que pretende acceder fácilmente a la información de la calidad del aire de la capital del país.

De los resultados de los análisis realizados, se puede concluir que los contaminantes NO_2 , SO_2 , O_3 y CO no representan un problema para la ciudad. Las bajas concentraciones de estos gases no representan un peligro para la calidad de vida de los ciudadanos.

De acuerdo al índice porcentual de excedencia, una métrica que fue definida durante el desarrollo de este trabajo, el nivel de violación de la norma de calidad del aire para el SO_2 fue de tan solo el 1% en el año 2005.

Este mismo indicador demostró que la excedencia de la norma de calidad del aire para NO_2 y CO fue de 4% y 0%, respectivamente en el año 2005. Para el caso del ozono, el porcentaje de excedencia en el último año también fue de 0%

La situación para el material particulado es totalmente contraria, ya que las concentraciones atmosféricas de PM_{10} sobrepasan de forma consistente las normas establecidas. De las 11 estaciones que cuentan con la capacidad de medir PM_{10} , 7 registran medias por encima de la norma anual. Las estaciones que registran las concentraciones de PM_{10} más altas son Puente Aranda, Fontibón, Corpas y Sony, llegando a exceder la norma anual más del 80% del tiempo,

El hallazgo quizás más importante de los análisis fue la identificación de una clara tendencia al alza en los niveles de contaminación atmosférica en la ciudad por material particulado. Es decir, el problema actual de contaminación no solo es severo sino que



continuara deteriorándose a no ser que se implementen medidas drásticas para la reducción de emisiones provenientes tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles. Esta tendencia es especialmente evidente en la localidad de Puente Aranda.

De los resultados obtenidos no solo para el caso de PM_{10} si no de los demás contaminantes, seria interesante realizar mapas de isoconcentración a partir de las mediciones obtenidas con el fin de establecer zonas críticas y observar la distribución de las concentraciones sobre la ciudad



10 REFERENCIAS

Air Resources Board. National Air and Ambient Quality Standards: información disponible en: www.arb.ca.gov/homepage.htm.

Arrieta, Silvia Maria. 2006. *Análisis de Costos Asociados al Mejoramiento de la Calidad del Combustible en Colombia*. Uniandes. Bogotá, Colombia.

Banco de La Republica y Departamento Nacional de Estadística 2005. *Informe de Coyuntura Económica Regional Bogotá-Cundinamarca*. Bogotá, Colombia

Behrentz, Eduardo. 2006. *Contaminación Atmosférica en Bogotá: Relación entre Salud Pública y Calidad del Combustible Vehicular y Propuesta de Acciones Pertinentes*. Revista ANDESCO – Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos Domiciliarios y Actividades Complementarias. No.12 Paginas 11 – 17.

Cámara de Comercio de Bogotá CCB. 2006. *Análisis del Comportamiento de la Economía Bogotana hasta el Tercer Trimestre de 2005 y de las Líneas de Crédito de Bogotá*. Observatorio Económico de Bogotá No 20.

Carlos Restrepo, Rae Zimmerman, George Thurston, Jessica Clemente, John Gorczyński, Mianhua Zhong, Martin Blaustein, Lung Chi Chen. 2004. *A comparasion of ground-level air quality data with New York State Department of Environmental Conservation monitoring stations data in South Bronx, New York*. Atmospheric Environment 38. Paginas 5295-5304.

Cavallazi Torres, Marcelo. 1996. *Contaminación atmosférica en Bogotá: situación actual y recomendaciones para su monitorio*. Revista Cámara de Comercio de Bogotá 97. Paginas 85 - 93.

Comisión Nacional del Medio Ambiente – CONAMA. 2003. *Evaluacion de la Calidad del Aire en Santiago de Chile*. Área Descontaminación Atmosférica Conama Región Metropolitana de Santiago. Chile

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2006. Censo 2005. Información Disponible en: www.dane.gov.co



Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA. 2003. *La Prevención y el Control de la Contaminación Atmosférica en Bogotá*. Bogotá

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA. Base de Datos Red de Medición de la Calidad del Aire de Bogotá RMCAB.

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente – DAMA. *Informe Anual de Calidad del aire de Bogotá Año 2005*. Bogotá, Marzo de 2006.

Environmental Protection Agency EPA. Air Quality Index. Información disponible en: www.epa.gov/eftpages/airairquality.html

EPA . 2004. *The Particle Pollution Report Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2003*. U.S. Environmental Protection Agency office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division Research Triangle Park, North Carolina.

H.H Kock, E.Bieber, R. Ebinghaus, T.G, Spain, B. Thess. 2005. *Comparasion of long-term trends and seasonal variations of atmospheric mercury concentrations at the two European coastal monitoring stations Mace Head, Ireland, and Zingst, Germany*. Atmospheric Environment 39. Paginas 7549 – 7556.

Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM. Red de Estaciones Hidrometeorológicas de Colombia – Bogotá. Datos de Precipitación y Vientos.

Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM. 2005. *Análisis e Interpretación de Datos de la Calidad del Aire Bogotá*

Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales – IDEAM. 2005. *Documento Soporte Norma de Calidad del Aire*. Subdirección de estudios ambientales. Bogotá

Lents, J., 2004. *Estudio de la Actividad Vehicular en Sao Paulo*. International Sustainable System Research. California.

Ministerio de Transporte. 2006. *Reporte de la Distribución Vehicular en Bogotá*. Disponible en: www.mintransporte.gov/Servicios/Estadisticas/Transporte_Automotor



P.Goyala, Andy T. Chanb, Neeru Jaiswala. *Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities*. Atmospheric Environment. Article in Press.

R.G. Derwent, P.G. Simmonds, S.O'Doherty, D.S. Stevenson, W.J. Collins. M.G. Sanderson, C.E Johnson, F.Dentener, J. Cofala, R. Mechler, M. A mann. 2006. *External influences on Europe's air quality: Baseline Methane, Carbon Monoxide and Ozone From 1990 to 2030 at Mace Head, Ireland*. Atmospheric Environment 40. Paginas. 844 – 855.

R.G. Derwent, T.J. Davies, M. Delaney, G.J. Dollard, R.A. Field, P. Dumitrescu, P.D. Nason, B.M.R. Jones, S.A. Pepler. 2000. *Analysis and interpretation of the continuous hourly monitoring data for 26 C2C8 hydrocarbons at 12 United Kingdom sites during 1996*. Atmospheric Environment 34. Paginas. 297 – 312.

Reyes Florez, Iván Darío. 1999. *Metodología para el análisis de la información de la red de calidad del aire de Santa Fe de Bogotá: relaciones entre contaminantes atmosféricos: análisis de la medida pico y placa*. Santafe de Bogotá. Bogotá. Universidad de Los Andes.

Rodolfo Sáenz. Marcelo E.. 1999. *Monitoreo de la Calidad del Aire en America Latina*. Programa de Control de Contaminación del Aire, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud Oficina. Lima.

Secretaria de Transito y Transporte de Bogotá (SST). Información disponible en: www.transitoBogotá.gov.co

Sergio Rodriguez, Rita Van Dingenen, Jean-Philippe Putaud, Sebastiao Martins-Dos santos, Davide Roselli. 2005. *Nucleation and growth of new particles in the rural atmosphere of Northern Italy-relationship to air quality monitoring*. Atmospheric Environment 39. Paginas 6734 - 6746.

Torres Conde, Arturo. 1975. *Evaluación y proyección de la contaminación atmosférica en Bogotá en base a los datos de la red "Panair"*. Bogotá. Universidad de Los Andes.

Unidad de Planeación Minero Energética UPME. *Boletín Mensual de Precios*. Ministerio de Minas y Energía. Julio 2006.