



**ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**

Secretaría Distrital  
**Ambiente**

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

**Año 2013**

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

**Bogotá D.C. 2014**

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





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

**Néstor García Buitrago**  
Secretario Distrital de Ambiente

**Julio César Pulido Puerto**  
Subsecretario Distrital de Ambiente

**Haipha Thricia Quiñones Murcia**  
Directora de Control Ambiental

**Fernando Molano Nieto**  
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

**John Freddy Grajales**  
Coordinador RMCAB

**Claudia Patricia Cifuentes Forero**  
**Helberth Santiago Morales Pinilla**  
**Nicolás Cuadros Rubio**  
**Oscar Julián Guerrero Molina**  
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

**Darío Alejandro Gómez Flechas**  
**Henry Ospino Dávila**  
**Luz Dary González González**  
**Norbey Alirio Barahona González**  
**Oscar Eduardo Arredondo Pescador**  
Grupo de Operación de la RMCAB

**Edna Katalina Medina Palacios**  
**Rodrigo Sarmiento Suárez**  
Línea de aire, ruido y radiación electromagnética  
Área de Vigilancia en Salud Pública – Secretaría Distrital de Salud de Bogotá

Secretaría Distrital de Ambiente  
– SDA –

© Junio de 2014, Bogotá - Colombia  
Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2014.  
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

# **Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C.**

## **INFORME ANUAL 2013**

**Junio 2014**

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

## Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo .....	14
Introducción .....	18
1. Generalidades .....	19
1.1. Normatividad vigente .....	22
2. Indicadores de operación y desempeño .....	24
2.1. Porcentaje de captura de datos .....	24
2.2. Porcentaje de datos válidos .....	26
3. Evaluación y análisis de contaminantes .....	28
3.1. Material particulado – MP o PM ( <i>Particulate Matter</i> ) .....	28
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> .....	29
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM <sub>2.5</sub> .....	43
3.1.3. Relación de concentración de PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> .....	53
3.1.4. Comportamiento de la concentración de PST .....	54
3.2. Gases contaminantes .....	59
3.2.1. Comportamiento de la concentración de SO <sub>2</sub> .....	60
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	68
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO .....	76
3.2.4. Comportamiento de la concentración de O <sub>3</sub> .....	83
3.3. Índices de calidad del aire .....	92
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM <sub>10</sub> .....	93
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> .....	95
3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono .....	98
3.4. Síntesis de resultados .....	100
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas .....	111
4.1. Precipitación .....	113
4.2. Vientos .....	120
4.3. Temperatura Superficial .....	125
4.4. Radiación solar .....	130
4.5. Presión Atmosférica .....	132
4.6. Humedad Relativa .....	134
5. Meteorología y Calidad del Aire .....	135

---

5.1.	Análisis de vientos vs. Material particulado.....	135
5.2.	Episodio de máxima concentración .....	141
6.	Calidad del Aire y Salud.....	144
6.1.	Vigilancia epidemiológica ambiental y sanitaria de los efectos en salud por contaminación del aire en Bogotá .....	144
6.2.	Estado de conocimiento de la relación entre contaminación del aire y sus efectos en salud .....	145
6.2.1.	Hallazgos Internacionales.....	145
6.2.2.	Problemática en Bogotá .....	148
6.3.	Vigilancia epidemiológica.....	150
6.3.1.	Mortalidad por enfermedad respiratoria .....	150
6.3.2.	Morbilidad por enfermedad respiratoria .....	152
6.4.	Vigilancia ambiental.....	160
6.4.1.	Análisis de excedencias de contaminación del aire por PM <sub>10</sub> según la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud –OMS .....	160
6.4.2.	Índice de calidad del aire .....	163
6.4.3.	Riesgo atribuible.....	165
6.5.	Vigilancia Sanitaria .....	167
6.6.	Conclusión: Análisis de determinantes de la asociación entre contaminación del aire y efectos en salud pública. ....	169
	Bibliografía.....	171
	Glosario .....	174
A.	Anexo.....	179
	Lectura de Gráficos de <i>boxplot</i> .....	179

## Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el año 2013. ....	20
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2013. ....	24
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2013. ....	25
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2013. ....	27
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2013. ....	27
Figura 3-1. Promedios anuales de PM <sub>10</sub> durante el año 2013 por estación de monitoreo. ....	30
Figura 3-2. Material particulado (PM <sub>10</sub> ) promedio (superficie en colores). ....	31
Figura 3-3. Concentraciones promedio diarias y número de excedencias de PM <sub>10</sub> por estación durante el año 2013. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m <sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010). ....	32
Figura 3-4. Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el año 2013 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se muestran aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m <sup>3</sup> . ....	34
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el año 2013 en la estación Parque Simón Bolívar. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	35
Figura 3-6. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza. ....	36
Figura 3-7. Ciclo diario de PM <sub>10</sub> para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. ....	37
Figura 3-8. Ciclo anual de PM <sub>10</sub> para 12 estaciones de la RMCAB en base mensual. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. ....	38
Figura 3-9. Gráfico de boxplot para PM <sub>10</sub> en base diaria por días de la semana. ....	39
Figura 3-10. Gráfico de boxplot para PM <sub>10</sub> en base diaria por meses comparando el año 2013 con años anteriores. ....	40
Figura 3-11. Gráfico de boxplot para PM <sub>10</sub> diario por estaciones. Se presentan años 2009 a 2013. ....	41
Figura 3-12. Gráfico de boxplot para PM <sub>10</sub> en base diaria entre 2009 y 2013. ....	42
Figura 3-13. Promedio de PM <sub>2.5</sub> en la estación Kennedy para el año 2013 y comparación con la norma anual (25 µg/m <sup>3</sup> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010). ....	43
Figura 3-14. Máximo y excedencias de PM <sub>2.5</sub> en base diaria durante el año 2013. Estación Kennedy. ....	44
Figura 3-15. Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el año 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	46
Figura 3-16. Comportamiento de la concentración de PM <sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza. ....	47
Figura 3-17. Ciclo diario (izquierda) y anual (derecha) de la concentración de PM <sub>2.5</sub> en la estación Kennedy en el año 2013. ....	47
Figura 3-18. Máximos y excedencias de PM <sub>2.5</sub> en base diaria durante el cuarto trimestre de 2013. ....	48
Figura 3-19. Gráfico de boxplot para PM <sub>2.5</sub> por días de la semana en base diaria comparando el año 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy. ....	50
Figura 3-20. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM <sub>2.5</sub> por meses desde base diaria entre 2010 y 2013. ....	51

Figura 3-21. Gráfico de boxplot para PM <sub>2.5</sub> por estaciones (desde base diaria) entre 2010 y 2013.....	52
Figura 3-22. Concentración promedio de PST (TSP) durante el año 2013. Base diaria... 54	54
Figura 3-23. Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante año 2013. Base diaria.....	55
Figura 3-24. Gráfico de boxplot para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando 2013 con años anteriores. ....	56
Figura 3-25. Gráfico de boxplot para PST (TSP) por meses (desde base diaria) comparando para el 2009 - 2013. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal. ....	57
Figura 3-26. Gráfico de boxplot para PST en base diaria para años 2009 a 2013 para estación Carvajal. ....	58
Figura 3-27. Concentración promedio de SO <sub>2</sub> en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% durante el año 2013. ....	61
Figura 3-28. Máximos y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación durante el año 2013. ....	62
Figura 3-29. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base diaria por estación durante el año 2013.....	63
Figura 3-30. Gráfico de boxplot para SO <sub>2</sub> por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.....	64
Figura 3-31. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO <sub>2</sub> en base diaria, por meses, entre 2009 y 2013. 65	65
Figura 3-32. Gráfico de boxplot para SO <sub>2</sub> diario por estaciones entre 2009 y 2013. ....	66
Figura 3-33. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO <sub>2</sub> diario entre 2009 y 2013. ....	67
Figura 3-34. Concentración promedio de NO <sub>2</sub> en el año 2013 para las estaciones de la RMCAB que cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal igual o superior a 75%. Base de tiempo diaria. ....	69
Figura 3-35. Concentración horaria de NO <sub>2</sub> por estación durante el año 2013.....	70
Figura 3-36. Excedencias y concentración máxima de NO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el año 2013.....	71
Figura 3-37. Gráfico de boxplot para NO <sub>2</sub> por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.....	72
Figura 3-38. Gráfico de boxplot para NO <sub>2</sub> en base diaria por meses ente 2009 y 2013. ...	73
Figura 3-39. Gráfico de boxplot para NO <sub>2</sub> por estaciones en base diaria entre 2009 y 2013. ....	74
Figura 3-40. Gráfico de boxplot para NO <sub>2</sub> en base diaria entre 2009 y 2013.....	75
Figura 3-41. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO durante el año 2013. ....	76
Figura 3-42. Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación durante el año 2013.....	77
Figura 3-43. Gráfico de boxplot para CO en base diaria por días de la semana entre 2009 y 2013.....	79
Figura 3-44. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013. ...	80
Figura 3-45. Gráfico de boxplot para CO en base diaria por estaciones entre 2009 y 2013. ....	81
Figura 3-46. Gráfico de boxplot para CO en base diaria entre 2009 y 2013.....	82

Figura 3-47. Concentración máxima y excedencias de la norma para O <sub>3</sub> en base horaria por estación durante el año 2013.....	84
Figura 3-48. Concentración máxima y excedencias de la norma para O <sub>3</sub> en base 8 horas por estación durante el año 2013.....	86
Figura 3-49. Mapa de concentración promedio de O <sub>3</sub> en base de tiempo de 8 horas para el año 2013. Unidades: µg/m <sup>3</sup> .....	87
Figura 3-50. Gráfico de boxplot para O <sub>3</sub> en base diaria por días de la semana, comparando 2013 con años anteriores.....	88
Figura 3-51. Gráfico de boxplot para O <sub>3</sub> promedio mensual (desde base diaria) entre 2009 y 2013.....	89
Figura 3-52. Gráfico de boxplot de O <sub>3</sub> en función de las estaciones entre los años 2009 y 2013 (desde base diaria). ....	90
Figura 3-53. Gráfico de boxplot de O <sub>3</sub> con el comportamiento histórico en base diaria entre 2009 y 2013.....	91
Figura 3-54. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2013.....	93
Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el año 2013. ....	94
Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para el año 2013.....	94
Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio de PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para el año 2013. ....	95
Figura 3-58. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> por estación para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.....	96
Figura 3-59. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> por mes para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.....	97
Figura 3-60 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.....	97
Figura 3-61. Índice de calidad del aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> durante el cuarto trimestre de 2013. ....	98
Figura 3-62. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Base diaria.....	99
Figura 3-63. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.....	99
Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O <sub>3</sub> ). Base de 8 horas.....	99
Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013) .....	112
Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 comparada con el promedio registrado en 2013.....	114
Figura 4-3. Promedio de los acumulado precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1999 hasta 2013. ....	114
Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes). ....	115
Figura 4-5. Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).....	115

Figura 4-6. Mapa interpolado de acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013.....	118
Figura 4-7. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012. ....	119
Figura 4-8. Distribución de los vientos en Bogotá. ....	122
Figura 4-9. Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).....	123
Figura 4-10. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2013. ....	124
Figura 4-11. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2012 y su comparación con 2013. ....	125
Figura 4-12. Gráfica de la temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013.....	126
Figura 4-13. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2013. ....	128
Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.....	129
Figura 4-15. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006- 2012 y su comparación con 2013. ....	130
Figura 4-16. Acumulado de radiación de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). ....	131
Figura 4-17. Acumulado de radiación desde las 6h hasta las 18h para 2013.....	131
Figura 4-18. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. ....	132
Figura 4-19. Comparación de la presión en los últimos años. ....	133
Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses de 2013. ....	134
Figura 5-1 . PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada de 2013. ....	137
Figura 5-2 . PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana de 2013. ....	138
Figura 5-3 . PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde de 2013. ....	139
Figura 5-4 . PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche de 2013. ....	140
Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 17 de enero de 2013, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.....	141
Figura 5-6. PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 017 de enero de 2013. Fuente RMCAB. ....	142
Figura 5-7. PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.....	143

Figura 6-1. Comportamiento de la tasa de mortalidad por neumonía por ERA en menores de 5 años en Bogotá.....	149
Figura 6-2: Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética – Secretaría Distrital de Salud. ....	150
Figura 6-3. Comportamiento de la mortalidad por Enfermedad Respiratoria Aguda frente a la precipitación acumulada en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.....	151
Figura 6-4: Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM <sub>10</sub> respecto a la guía de la Organización Mundial de la Salud y casos de mortalidad por enfermedad respiratoria aguda en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.....	152
Figura 6-5: Comportamiento de la notificación en salas ERA Versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado PM <sub>10</sub> por semana epidemiológica en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud .....	153
Figura 6-6. Casos de Enfermedad Respiratoria en Menores de 5 años atendidos en las Salas ERA en Bogotá 2013 .....	154
Figura 6-7. Prevalencia de algún episodio de sibilancias en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud. ....	156
Figura 6-8. Prevalencia de tos en la noche en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.....	156
Figura 6-9. Prevalencia de tabaquismo pasivo en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética – Secretaría Distrital de Salud. ....	157
Figura 6-10. Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM <sub>10</sub> en Bogotá en el año 2013. 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 al mes de diciembre de 2013.....	161
Figura 6-11. Proporción de excedencias en cuanto a contaminación del aire en Bogotá por PM <sub>10</sub> respecto a la norma OMS en Bogotá 2011-2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.....	162
Figura 6-12. Promedio anual de material particulado PM <sub>10</sub> en Bogotá año 2013. 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 al mes de diciembre de 2013. ....	162
Figura 6-13. Índice de Calidad del Aire para PM <sub>10</sub> en las estaciones de la RMCAB en 2013. 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 al mes de diciembre de 2013 .....	165
Figura 6-14. Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2013.....	168
Figura 6-15. Factores determinantes de la exposición a contaminación del aire. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.....	170
Figura A-1. Gráfico de boxplot con una descripción de sus componentes. ....	179

## Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en 2013. ....	21
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (Environmental Protection Agency).....	22
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. ....	23
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro. .	25
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.....	27
Tabla 3-1. Promedio anual de PM <sub>10</sub> durante los años 2012 y 2013 y cambio de concentración entre los dos años. Se resalta en rojo las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m <sup>3</sup> .....	29
Tabla 3-2. Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM <sub>10</sub> durante el año 2013. Base de tiempo diaria.....	33
Tabla 3-3. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM <sub>10</sub> en promedios diarios entre 2009 y 2013. ....	42
Tabla 3-4. Promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> en la estación Kennedy en los años 2012 y 2013. La concentración anual no varió. ....	43
Tabla 3-5. Resumen de datos diarios de PM <sub>2.5</sub> para el año 2013 en la estación Kennedy. ....	45
Tabla 3-6. Resumen de datos diarios de PM <sub>2.5</sub> por estación para el cuarto trimestre del año 2013.....	49
Tabla 3-7. Concentración promedio de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana durante los últimos 4 años. Se considera solamente la estación Kennedy. ....	50
Tabla 3-8. Concentración promedio de PM <sub>2.5</sub> por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy. ....	52
Tabla 3-9. Resumen histórico de concentraciones de PM <sub>2.5</sub> para los años 2010 a 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.....	52
Tabla 3-10. Relación de concentraciones entre PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el cuarto trimestre de 2013. ....	53
Tabla 3-11. Concentración promedio y diferencia de concentración para los años 2012 y 2013 en la estación Carvajal. Promedios geométricos.....	55
Tabla 3-12. Resumen de datos diarios de PST para el año 2013. ....	55
Tabla 3-13. Concentración promedio de PST por día de la semana en el año 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos. ....	56
Tabla 3-14. Promedios geométricos de PST por mes entre 2009 y 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. ....	58
Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios diarios entre 2009 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal con los promedios geométricos.....	58
Tabla 3-16. Concentración promedio de SO <sub>2</sub> en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante durante el año 2013. Solamente se presentan los promedios de aquellas estaciones con un porcentaje de representatividad temporal superior a 75%. ...	60
Tabla 3-17. Resumen de datos de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para año 2013.	62
Tabla 3-18. Resumen de datos en base 24 horas de SO <sub>2</sub> por estación para el año 2013.	63

Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO <sub>2</sub> en promedios diarios entre 2009 y 2013. ....	67
Tabla 3-20. Representatividad temporal, promedio en 2012 y 2013 y cambio de concentración de NO <sub>2</sub> . ....	68
Tabla 3-21. Resumen de datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación para el año 2013. ....	70
Tabla 3-22. Resumen de datos diarios de NO <sub>2</sub> por estación para el año 2013. ....	71
Tabla 3-23. Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO <sub>2</sub> en base diaria entre 2009 y 2013. ....	75
Tabla 3-24. Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2013. ....	77
Tabla 3-25. Resumen de datos de CO por estación en 2013. Base de 8 horas. ....	78
Tabla 3-26. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios entre 2009 y 2013. ....	82
Tabla 3-27. Resumen descriptivo de datos de O <sub>3</sub> por estación para el año 2013. Base horaria. ....	83
Tabla 3-28. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O <sub>3</sub> en base 8 horas durante el año 2013. ....	85
Tabla 3-29. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O <sub>3</sub> en promedios de 8 horas entre 2009 y 2013. ....	91
Tabla 3-30. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010). ....	92
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ), año 2013. ....	101
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM <sub>2.5</sub> ), año 2013. ....	102
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2013. ....	102
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO <sub>2</sub> para 3 horas, año 2013. ....	103
Tabla 3-35. Consolidado de los promedios de SO <sub>2</sub> para 24 horas, año 2013. ....	104
Tabla 3-36. Consolidado de los promedios horarios de NO <sub>2</sub> , año 2013. ....	105
Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de NO <sub>2</sub> , año 2013. ....	106
Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2013. ....	107
Tabla 3-39. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2013. ....	108
Tabla 3-40. Consolidado de los promedios horarios de O <sub>3</sub> , año 2013. ....	109
Tabla 3-41. Consolidado de los promedios de O <sub>3</sub> para 8 horas, año 2013. ....	110
Tabla 4-1. Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013) ....	112
Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante 2013. ....	113
Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013. ....	116
Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013. ....	116
Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013, en mm/día. ....	117
Tabla 4-6. Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012. ....	119
Tabla 4-7. Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral y anual ....	120

Tabla 4-8. valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB. ....	120
Tabla 4-9. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante 2013 ....	125
Tabla 4-10. Promedios de temperatura anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013 a partir de datos diarios.....	126
Tabla 4-11. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica promedio registradas por las estaciones de la RMCAB en el año 2013. ....	127
Tabla 4-12. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global.....	130
Tabla 4-13. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión. ....	132
Tabla 4-14. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. ....	134
Tabla 6-1. Hospitales de primer nivel pertenecientes al Distrito Capital. ....	144
Tabla 6-2. Comportamiento histórico de casos de enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en Bogotá. ....	149
Tabla 6-3. Caracterización sociodemográfica de unidades centinela menores 5 años 2013. ....	155
Tabla 6-4. Prevalencia síntomas respiratorios menores 5 años Bogotá 2013. ....	155
Tabla 6-5. Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores de riesgos estudiados en menores de 5 años. ....	158
Tabla 6-6. Análisis estratificado sibilancias último año por grupo edad (0 a 5 años). ....	159
Tabla 6-7. Análisis multivariado de sibilancias último año 0 a 5 años. ....	160
Tabla 6-8. Recomendaciones en salud de acuerdo al índice de calidad del aire (AQI). .	164
Tabla 6-9. Incidencia síntomas respiratorios 5 localidades Bogotá 2008-2011. ....	166
Tabla 6-10. Porcentaje de Riesgo atribuible (%RA) síntomas respiratorios en la población por exposición a la contaminación por material particulado en 5 Localidades de Bogotá DC. ....	167

## Resumen ejecutivo

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 de 2006 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , PST), de gases contaminantes ( $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$ ) y las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa.

Entre los contaminantes monitoreados se destacan el material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros conocido como  $PM_{10}$ , el material particulado menor a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), las partículas suspendidas totales (PST) y el ozono ( $O_3$ ), pues en algunas oportunidades sus concentraciones superan los límites máximos permisibles por la normatividad. Los demás contaminantes (CO,  $NO_2$  y  $SO_2$ ) están presentes en concentraciones bajas con respecto a la norma de calidad del aire establecida. Por tanto, en lo registrado por la RMCAB no parecen representar riesgo para la salud de la población. Vale aclarar que los análisis comparativos con respecto a la normatividad nacional se llevan a cabo no sólo con respecto al promedio en el periodo encontrado (por ejemplo el promedio anual o el diario) sino también con respecto a las excedencias presentadas en cada estación.

La norma anual de  $PM_{10}$  ( $50 \mu g/m^3$ ) fue excedida por las estaciones ubicadas en el suroccidente y en el noroccidente: Carvajal, Kennedy y Suba, las cuales registraron concentraciones promedio anual de  $81 \mu g/m^3$ ,  $71 \mu g/m^3$  y  $55 \mu g/m^3$ , respectivamente. Por el contrario estaciones como Parque Simón Bolívar, Las Ferias y San Cristobal reportaron concentraciones entre  $32 \mu g/m^3$  a  $34 \mu g/m^3$ , lo cual evidencia la alta heterogeneidad espacial en la distribución de este contaminante en el área urbana de Bogotá. En comparación al año anterior 2012, el cambio más desfavorable se presentó en la estación Guaymaral pasando de 34 a  $50 \mu g/m^3$  en 2013, lo que implica un cambio importante en la dinámica de operación de ese sector de la ciudad; mientras que otros cambios menores se presentaron en las estaciones Carvajal y Sagrado Corazón con 5 y  $3 \mu g/m^3$ , respectivamente. En contraste, la mejor favorabilidad se presentó en la estación Las Ferias con un cambio de 46 a  $34 \mu g/m^3$ , seguido de Tunal pasando de 47 a  $43 \mu g/m^3$ . Por otro lado, el límite normativo diario de  $100 \mu g/m^3$ , presentó excedencias en las estaciones de Carvajal, Kennedy y Guaymaral con 67, 35 y 2 respectivamente, lo que puede implicar riesgos a la salud pública en sectores aledaños. Al hacer un análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 75% y el 100% del valor de la norma diaria, se pueden ver estaciones como Carvajal, Kennedy y Guaymaral con 149, 104 y 24 datos (lo que representa 41%, 29% y 7% del conjunto de datos), mientras que el resto de estaciones presentan este indicador por debajo de 5%. Con respecto a los días de la semana, resultan los domingos los que registran las menores concentraciones, debido a la reducción de actividades, pero vale mencionar que aumentó su concentración en relación al año 2012. De los días entre semana, el lunes resulta el de menor concentración, debido a la presencia

de festivos y a la baja influencia residual del día previo, mientras que martes y viernes los de mayor concentración. Se debe destacar el comportamiento del día sábado, el cual no se diferencia de los demás días de la semana e incluso en el caso de la estación Kennedy resulta el día de mayor concentración en toda la semana. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8am (dependiendo la estación) para estabilizarse alrededor de las 10am y hasta las 4-5pm, para empezar otro leve aumento hasta las 8-9pm. Con respecto al comportamiento mensual, los meses de febrero y noviembre (con sus meses vecinos) registran las mayores concentraciones diarias, en contraste con junio y julio con las menores, lo cual se encuentra asociado a la dinámica de los vientos.

El contaminante  $PM_{2.5}$  fue monitoreado entre enero y octubre de 2013 únicamente en la estación Kennedy y a partir del 01 de octubre 5 estaciones más (Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal) entraron en operación. Teniendo en cuenta este hecho, la norma anual fue evaluada únicamente en Kennedy y fue excedida con una concentración promedio de  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo la norma anual de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con respecto a la norma diaria de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la información obtenida, se pudo establecer 2 excedencias en la estación de Kennedy, mientras que las demás cumplieron con los límites normativos (solo reportado para cuarto trimestre). El comportamiento de este contaminante es similar al de  $PM_{10}$  con bajas concentraciones a mitad de año y en los días domingo y lunes.

El análisis de la relación de concentraciones entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  muestra la fracción de  $PM_{10}$  que es  $PM_{2.5}$  y varía en función de las actividades en las inmediaciones de la estación. La estación Parque Simón Bolívar tiene una relación relativamente alta (0,6), lo cual evidencia una influencia considerable por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y/o también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas; mientras que estaciones como Carvajal y Usaquén están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido (relación de 0,3). Por su parte estaciones como Kennedy y Tunal presentan influencia tanto de material proveniente de fuentes de combustión como por material resuspendido (relación de 0,4 – 0,5).

El material particulado suspendido total (PST) fue monitoreado en la estación Carvajal. Aunque no presentó excedencias de la norma diaria ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), se incumplió con el límite normativo anual ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con un promedio geométrico de  $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es importante considerar que Carvajal es una estación fuertemente influenciada por actividades de fuentes móviles (especialmente vehículos pesados) y también por fuentes industriales.

El ozono ( $O_3$ ), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar, presentó excedencias de los límites normativos en la norma horaria de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un total de 28 excedencias en las estaciones Guaymaral (8), Parque Simón Bolívar (7), Suba (6), Las Ferias (4), Fontibón (2) y Usaquén (1), excedencias que representan tan solo un 0,4% del total de datos recuperados. Se destaca que en 2012 el número de excedencias fueron 155, lo que representa una mejora considerable en términos del ozono horario en la ciudad. En términos de la concentración octohoraria el  $O_3$  en 2013 presentó 111 datos por encima de la norma ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo que corresponde a un 0,2% del total de datos y se debe destacar que en el año 2012 el número de estas excedencias estuvieron en 451, lo que al igual que

para la norma horaria, representa una mejora en la concentración de ozono en la ciudad. Lo anterior puede estar influenciado por una disminución en la concentración de los precursores que facilitan esta reacción como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, pues en el año 2013 se presentó un comportamiento en los niveles de radiación solar mayor en comparación al periodo histórico 2006-2012. La mayoría de concentraciones máximas se presentaron en los meses de enero y abril de 2013 entre la 01:00 p.m. y las 03:00 p.m., horas en donde el sol se encuentra en un punto alto y la reacción fotoquímica puede darse más fácil. Las mayores concentraciones se presentan en las estaciones ubicadas en el norte y centro de la ciudad y para los días domingos, una tendencia contraria a la observada para PM<sub>10</sub>. Guaymaral presentó un aumento notable de su concentración de ozono con respecto a 2012. El índice de calidad del aire para ozono, establece que la categoría buena se enmarca hasta una concentración de 59 ppb (aproximadamente 116 µg/m<sup>3</sup>) en base de 8 horas y el máximo obtenido en las estaciones de la RMCAB fue 101 µg/m<sup>3</sup> en la estación Guaymaral. Al comparar este valor de 59 ppb (que resulta el nivel en el que no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena”), no se observan excedencias por parte de estos promedios durante el año 2013. Y al comparar con los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos, la norma anual es 75 ppb (147 µg/m<sup>3</sup>) y tampoco hay excedencias de este límite.

El dióxido de azufre SO<sub>2</sub> y el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> en ningún momento excedieron los respectivos límites normativos establecidos por la Resolución 610 de 2010. Estos gases presentan concentraciones relativamente altas en el suroccidente de la ciudad siguiendo el comportamiento observado para PM<sub>10</sub>. Adicionalmente, Las Ferias registró la concentración más alta de NO<sub>2</sub>. Las concentraciones horarias y de ocho horas de monóxido de carbono CO igualmente no excedieron la norma ni tampoco el 50% del valor de la misma, demostrando que existe un bajo riesgo de que este contaminante exceda los límites establecidos.

En términos de protección a la salud pública, en todo momento se mantuvo la categoría buena para CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, demostrando que en este aspecto estos contaminantes son menos críticos en comparación con PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y O<sub>3</sub> cuando se trata de la protección de la salud de la población.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante 2013. Con respecto a la precipitación, durante el año se observaron dos meses con promedios muy por encima del promedio histórico de la RMCAB, alcanzando diferencias de 56.1 y 49.1 para noviembre y febrero, respectivamente. Por su parte, el mes con más déficit de precipitación fue junio con 29.5 mm menos que el promedio histórico. Analizando el acumulado de precipitación anual desde el año 1999, 2013 presentó un acumulado promedio de 847.3 mm, similar a varios años de la última década. Especialmente, el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del Sur de la localidad de Kennedy, Norte de Tunjuelito y Occidente de Puente Aranda. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado Centro - oriental al igual que al norte, en la localidad de Suba donde se aprecian valores significativos de precipitación.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio a lo largo del año, seguido de la estación de Carvajal. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Puente Aranda con promedios anuales de 8.1 y 6.6 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 y 1.1 m/s con valores máximos de 4.0 y 4.1 m/s. Geográficamente, se observó que el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al norte y nororiente de la ciudad además de algunos sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Las velocidades de viento promedio más altas se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón, alcanzando velocidades de hasta 3.2 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 m/s en el Nororiente hasta los 3.2 m/s en el Occidente de la ciudad.

Con referencia al promedio de temperatura en la ciudad (a partir de promedios diarios) se observaron valores por encima con respecto al periodo 1998-2012 durante el primer semestre con diferencias de hasta los 0.8°C, particularmente en los meses de mayo y abril y valores más cercanos al promedio histórico para el segundo semestre. Las temperaturas promedio anual más altas se encuentran hacia el occidente de la ciudad en las estaciones Carvajal y Kennedy con valores de 15.5 y 14.8°C, mientras que las temperaturas más bajas se encuentran hacia el sur-suroriente de la ciudad en estaciones San Cristobal y Tunal con 13.0 y 13.1°C, respectivamente. En relación a la variable temperatura máxima (la cual es reportada hacia el medio día), se encuentran los valores más altos hacia el norte de la ciudad en las estaciones Parque Simón Bolívar (20.8°C), Guaymaral (20.6°C) y Suba (20.5°C), mientras que los valores más bajos se presentan hacia el suroriente en la estación de San Cristobal con 15.5°C, lo que implica una diferencia de temperatura por encima de 5°C para esta variable. Por su parte la variable temperatura mínima, presenta el promedio más alto cercano a 11.5°C en el suroccidente en las estaciones de Carvajal y Kennedy, mientras que los valores más bajos se presentan al sur-suroriente hacia las estaciones de Tunal (8.5°C) y San Cristobal (8.6°C).

Para el año 2013 se incluye un capítulo de Calidad del Aire y Salud el cual fue realizado por la Secretaría Distrital de Salud y se basa en el comportamiento de la Enfermedad Respiratoria frente a la contaminación atmosférica por PM<sub>10</sub>.

## Introducción

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

Para el año 2013, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ , PST,  $PM_{2.5}$ ), de gases contaminantes ( $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$ ) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de cada las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el año 2013. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante el 2013, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública; en la parte final se presenta una síntesis de resultados por medio de tablas, lo cual permiten visualizar el comportamiento de cada contaminante en un sector específico de la ciudad. En el cuarto capítulo se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. En el quinto capítulo está relacionado con a la relación entre calidad del aire y comportamiento meteorológico evidenciando la relación de las concentraciones de  $PM_{10}$  con los vientos así como el episodio de máxima concentración en la ciudad. Finalmente, en el sexto capítulo se presenta la relación entre calidad del aire y salud, el cual fue realizado por los profesionales de la Secretaría Distrital de Salud.

## 1. Generalidades

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por trece estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad y depuración. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación.

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos de contaminantes y de variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones del entorno de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire.

En el presente informe no se considera la Estación Móvil porque está evaluando la calidad del aire en corredores viales bajo el Convenio 176 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (*U.S. Government Printing Office*, 2014). La Tabla 1-2 describe las Técnicas de Medición de los equipos por contaminante las cuales están acordes a los métodos de referencia de la EPA o sus equivalentes.

Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web <http://www.ambientebogota.gov.co>, vínculo “Calidad del aire en BOGOTÁ”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Se puede acceder directamente usando la dirección <http://201.245.192.252:81>



**Tabla 1-1.** Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en 2013.

Característica	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	P. Simón Bolívar	Sagrado Corazón	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal	Tunal	San Cristóbal	Móvil	
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°40'12.36"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N	---
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74 8'29.58"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W	---
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2591 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m	---
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	12 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal	---
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Carrera 96G # 17B-49	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	---
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo	
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	15 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m	
Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	22 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m		
Contaminantes	PM <sub>10</sub>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	PST											X			
	PM <sub>2.5</sub>		X			X	X				X	X	X		
	O <sub>3</sub>	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
	NO <sub>2</sub>	X		X		X	X			X	X		X		X
	CO		X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
SO <sub>2</sub>			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X					X				X		X	X	X
	H. Relativa	X				X	X				X		X	X	X
Presión Atm.	X				X			X		X				X	

**Tabla 1-2.** Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (*Environmental Protection Agency*).

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM <sub>10</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PST	Atenuación por Radiación Beta	
PM <sub>2.5</sub>	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O <sub>3</sub>	Espectrometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO <sub>2</sub>	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO <sub>2</sub>	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones, ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años.

### 1.1. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 1-3 presenta los niveles máximos para los contaminantes criterio.

**Tabla 1-3.** Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>10</sub>	50	Anual	Promedio geométrico 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>	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO <sub>2</sub>	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O <sub>3</sub>	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

## 2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2013. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados y en operación, mientras que en la segunda parte se presenta los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

### 2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el año 2013, en donde se puede ver que todos cumplen representatividad temporal superior al 75%. Sin embargo se observa que parámetros como el monóxido de carbono (CO) y el PM<sub>2.5</sub> presentaron porcentajes de captura relativamente inferiores en comparación con los demás parámetros. El comportamiento del monóxido de carbono se debió a que durante el periodo evaluado los analizadores de las estaciones San Cristóbal y Usaquén se encontraban en un proceso de mantenimiento en relación a las fuentes de infrarrojo (IR), lo cual conllevó a que el porcentaje de captura total de datos para estas dos estaciones, fuera comparativamente bajo, como se puede verificar en la Figura 2-2 y específicamente en la Tabla 2-1, en la que se encuentra un resumen del número de datos capturados por estación y por parámetro. En el caso de los monitores de PM<sub>2.5</sub> de las estaciones Carvajal y Usaquén, los porcentajes de captura de datos son relativamente bajos, en especial en Usaquén, debido a la puesta en operación de estos monitores en el año 2013, lo cual aporta a la disminución en dicho porcentaje.

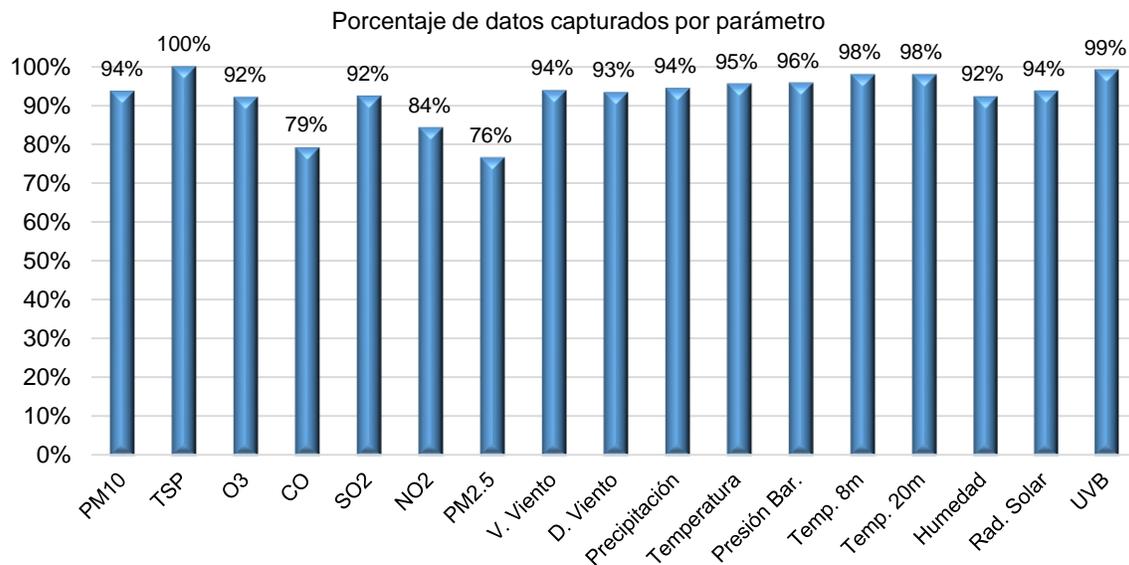


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Año 2013.

De acuerdo a la Figura 2-2 Bolivia, San Cristóbal y Usaquén presentaron un porcentaje de captura de datos relativamente bajo, lo cual es explicado de acuerdo a la Tabla 2-1, que para el caso de Bolivia se debió a fallas encontradas en el anemómetro. No se capturaron datos de NO<sub>2</sub> en Fontibón porque el equipo requiere cambio en la tarjeta electrónica de importación. Los porcentajes relativamente bajos de captura en San Cristóbal de humedad relativa y radiación solar se deben a operaciones de mantenimiento del datalogger.

El porcentaje total de captura de datos en el año 2013 fue de 91%. Las celdas vacías en esta tabla indican que el parámetro no es medido en la respectiva estación.

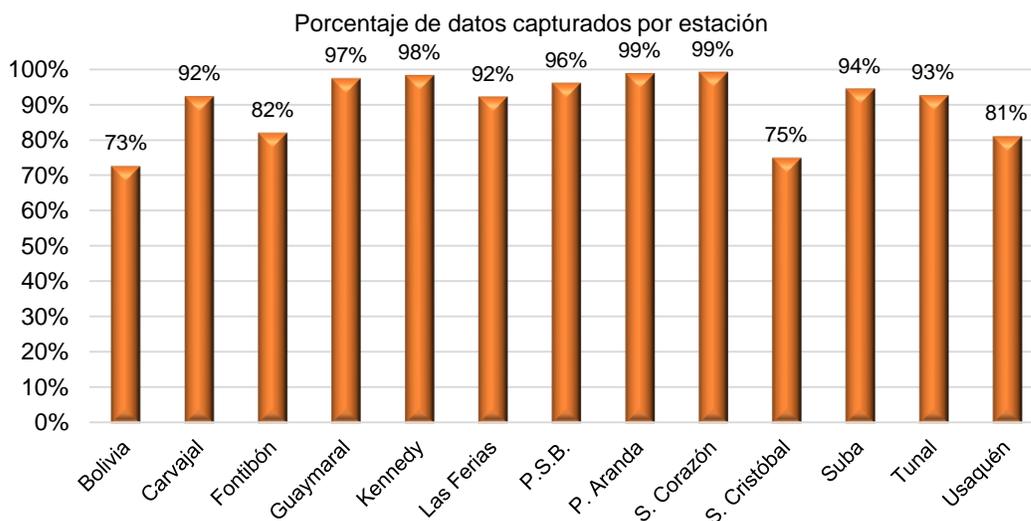


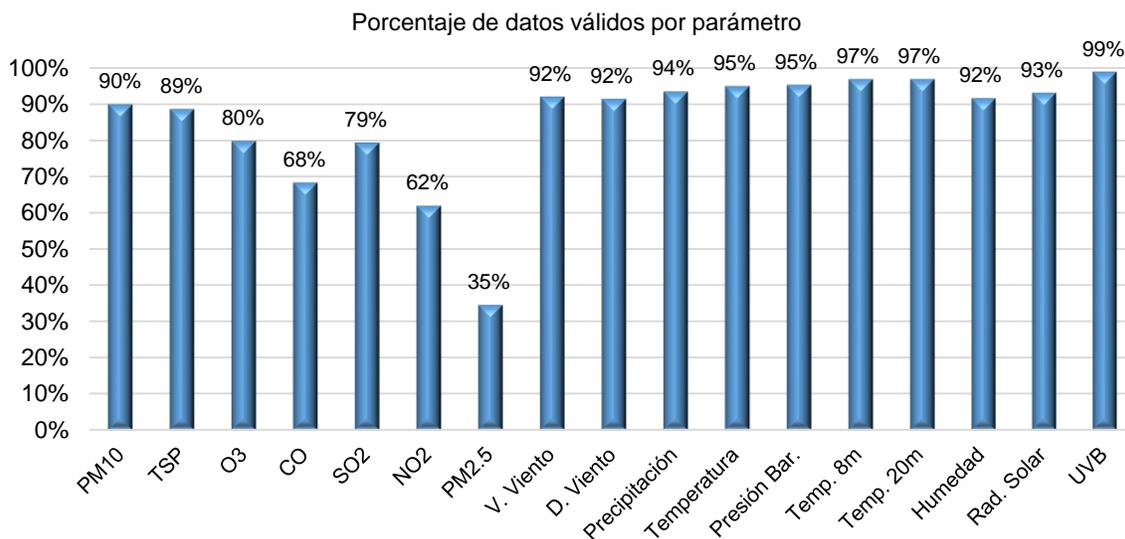
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Año 2013

Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro.

	PM <sub>10</sub>	TSP	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	V.V.	D.V.	P	T	P.B.	T8m	T20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								77%	64%	77%								73%
Carvajal	100%	100%	93%	100%	100%		32%	100%	100%	100%	100%							92%
Fontibón	85%		90%	93%	93%	0%		89%	93%	93%	93%	93%						82%
Guaymaral	98%		94%			96%		98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%		97%
Kennedy	100%			100%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		98%
Las Ferias	91%		93%	93%	92%	90%	93%	93%	93%	93%	93%	93%			93%			92%
P.S.B.	94%		90%	98%	96%	99%	80%	99%	98%	99%	99%				99%	99%	99%	96%
P. Aranda	98%		99%	99%	99%	99%		99%	99%	99%	99%							99%
S. Corazón	99%		99%					99%	99%	99%								99%
S. Cristóbal	85%		72%	27%	84%			85%	85%	85%	85%				68%	74%		75%
Suba	95%		93%		96%	94%		94%	94%	94%	94%							94%
Tunal	83%		95%	75%		95%	95%	95%	95%	95%	95%				95%	97%		93%
Usaquén	94%		94%	27%			59%	90%	94%	94%	94%							81%
Total	94%	100%	92%	79%	92%	84%	76%	94%	93%	94%	95%	96%	98%	98%	92%	94%	99%	91%

## 2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el año 2013 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 84%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)<sup>2</sup>. Este manual establece la metodología de cálculo de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas según corresponda lo establecido por contaminante en la Resolución 610 de 2010. De acuerdo a la Figura 2-3 el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO) y el material particulado PM<sub>2.5</sub> tienen un porcentaje válido inferior a 75%. Las causas del comportamiento del CO fueron las fallas en las fuentes de IR. Para el PM<sub>2.5</sub> se debió a la instalación de nuevos equipos, como se expuso en la sección anterior, cuyos datos fueron considerados válidos a partir del primero de octubre de 2013, posterior a la puesta a punto de los monitores a partir de procesos de ajuste operacional e intercomparación. El comportamiento del NO<sub>2</sub> se debe a que el equipo de la estación Fontibón se encuentra en mantenimiento y por tanto no es posible la captura de datos. Además varios datos capturados por las estaciones Guaymaral y Las Ferias fueron descartados en el proceso de validación por representar tendencias incongruentes que se atribuyen al funcionamiento de los equipos. De acuerdo a la Figura 2-4, las estaciones Bolivia, San Cristóbal y Usaquén fueron las únicas de la RMCAB que globalmente presentaron un porcentaje de recuperación de datos inferior a 75% debido a las razones operativas expuestas en la sección anterior. Por el contrario, Kennedy y Puente Aranda presentan un buen desempeño al presentar un porcentaje de datos válidos de 95%. La Tabla 2-2 es un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.



<sup>2</sup> El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.

Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2013.

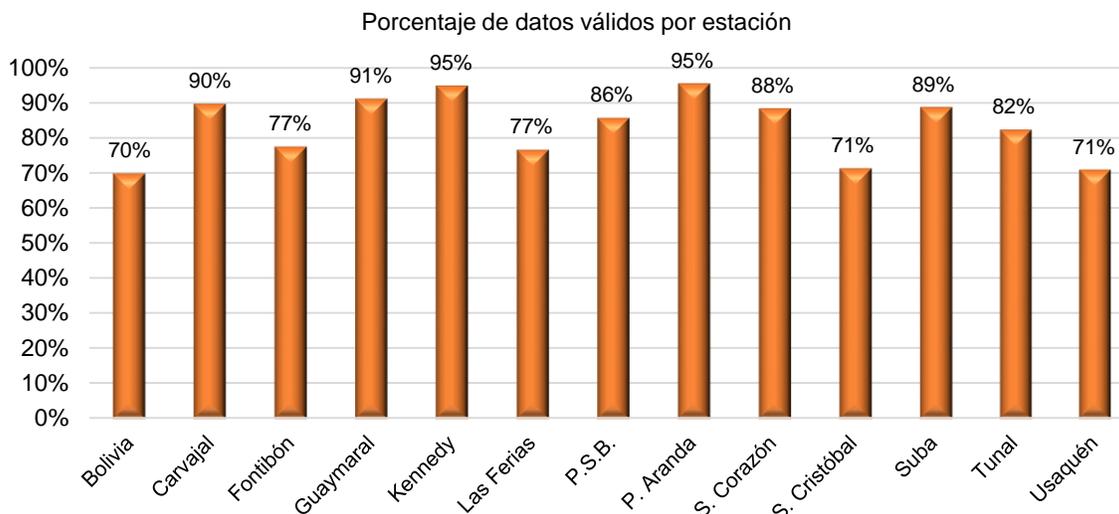


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Año 2013.

Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

	PM <sub>10</sub>	TSP	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>2.5</sub>	V.V.	D.V.	P	T	P.B.	T8m	T20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								77%	56%	77%								70%
Carvajal	99%	89%	91%	96%	98%		25%	100%	100%	100%	100%							90%
Fontibón	84%		82%	83%	74%	0%		81%	93%	93%	93%	93%						77%
Guaymaral	93%		93%			37%		96%	96%	96%	97%	97%	97%	97%	97%	97%		91%
Kennedy	97%			94%	61%	92%	97%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		95%
Las Ferias	85%		70%	85%	77%	28%	20%	92%	92%	92%	92%	92%			92%			77%
P.S.B.	87%		75%	86%	63%	90%	21%	99%	98%	99%	99%				99%	99%	99%	86%
P. Aranda	95%		84%	95%	99%	92%		99%	99%	99%	99%							95%
S. Corazón	96%		55%					98%	94%	99%								88%
S. Cristóbal	79%		67%	23%	71%			83%	83%	83%	83%				68%	73%		71%
Suba	92%		81%		92%	68%		94%	94%	94%	94%							89%
Tunal	80%		92%	50%		89%	22%	95%	95%	95%	95%				95%	96%		82%
Usaquén	94%		89%	6%			24%	83%	89%	90%	94%							71%
Total	90%	89%	80%	68%	79%	62%	35%	92%	92%	94%	95%	95%	97%	97%	92%	93%	99%	84%

### 3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, el PM<sub>10</sub>, y el PM<sub>2.5</sub>; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> y la tercera sección contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el año 2013 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentado en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

#### 3.1. Material particulado – MP o PM (*Particulate Matter*)

Dentro de los contaminantes más complejos presentes en el aire de las grandes ciudades se encuentra el material particulado, el cual está compuesto por partículas líquidas o sólidas que pueden ser de origen natural, resultantes de procesos como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios, o de origen antropogénico, provenientes del uso de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros. Este material tiene efectos sobre la salud humana dado su diámetro de partícula, puesto que una parte puede ingresar al tracto respiratorio y producir daños en los tejidos y órganos que lo conforman, o servir como vehículo para el transporte de bacterias y virus.

Resultan de interés las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> que además son las reguladas en el territorio colombiano por la Resolución 610 de 2010, como se presentó en la página 22. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras que las segundas, las de PM<sub>2.5</sub> tienen tamaño menor o igual a 2,5 µm y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas) y resultan respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST) y son fracciones de este el PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM<sub>10</sub> se controla con 100 µg/m<sup>3</sup> y el anual con 50 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM<sub>10</sub>

Para el seguimiento de este contaminante la RMCAB contó en el año 2013 con 12 monitores, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.

#### Comportamiento anual de PM<sub>10</sub>

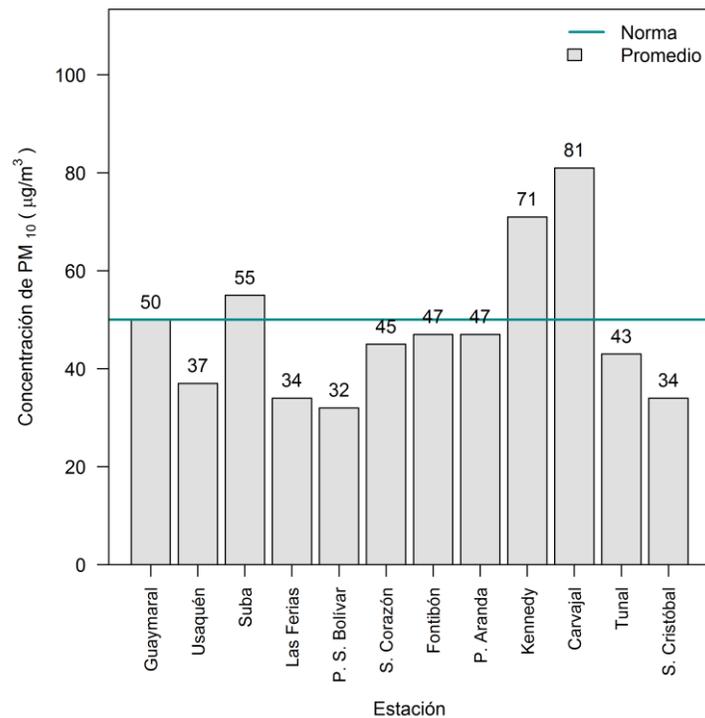
De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible en un tiempo de exposición anual para PM<sub>10</sub> es 50 µg/m<sup>3</sup>. La Tabla 3-1 y la Figura 3-1 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en promedios diarios) que monitorearon este contaminante durante 2013 y cuya representatividad temporal es superior a 75%. Las mayores concentraciones promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal con 81 µg/m<sup>3</sup> y Kennedy con 71 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-1.** Promedio anual de PM<sub>10</sub> durante los años 2012 y 2013 y cambio de concentración entre los dos años. Se resalta en rojo las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m<sup>3</sup>

Estación	Promedio 2013 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2012 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio 2013-2012 (µg/m <sup>3</sup> )
Guaymaral	50	34	16
Usaquén	37	36	1
Suba	55	53	2
Las Ferias	34	46	-12
Parque Simón Bolívar	32	34	-2
Sagrado Corazón	45	42	3
Fontibón	47		
Puente Aranda	47	48	-1
Kennedy	71	71	0
Carvajal	81	76	5
Tunal	43	47	-4
San Cristóbal	34	36	-2

Las estaciones que superaron el límite normativo anual en 2013 fueron Carvajal, Kennedy y Suba con promedios de 81 µg/m<sup>3</sup>, 71 µg/m<sup>3</sup> y 55 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Se resalta igualmente la estación Guaymaral que presentó una concentración promedio de 50 µg/m<sup>3</sup>, la cual resulta el límite normativo permisible.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-2 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM<sub>10</sub> (basado en promedios diarios) en las 12 estaciones durante el año 2013. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM<sub>10</sub> fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad.



**Figura 3-1.** Promedios anuales de PM<sub>10</sub> durante el año 2013 por estación de monitoreo.

Es de resaltar el aumento en la estación Guaymaral de 34 µg/m<sup>3</sup> a 50 µg/m<sup>3</sup> y aumentos más leves en Usaquén, Suba, Sagrado Corazón y Carvajal. Por el contrario, la estación Las Ferias registró un descenso notable de 46 µg/m<sup>3</sup> a 34 µg/m<sup>3</sup>. Descensos más leves fueron observados en Tunal, San Cristóbal, Parque Simón Bolívar y Puente Aranda.

### Comportamiento diario de PM<sub>10</sub> (24 h)

El comportamiento diario de la concentración de PM<sub>10</sub> se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m<sup>3</sup> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Cada dato diario se calcula a partir del promedio de los respectivos valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día.

Durante el año 2013 se reportó una representatividad temporal para el periodo mayor a 75% en las 12 estaciones analizadas, como se observa en la Tabla 3-2, columna “% de datos válidos”. Del total de datos registrados en las estaciones, el 3% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 104 valores: Carvajal (67), Kennedy (35) y Guaymaral (2). Las concentraciones máximas y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-3. La Tabla 3-2 resume los datos de PM<sub>10</sub> en base diaria para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el año 2013.

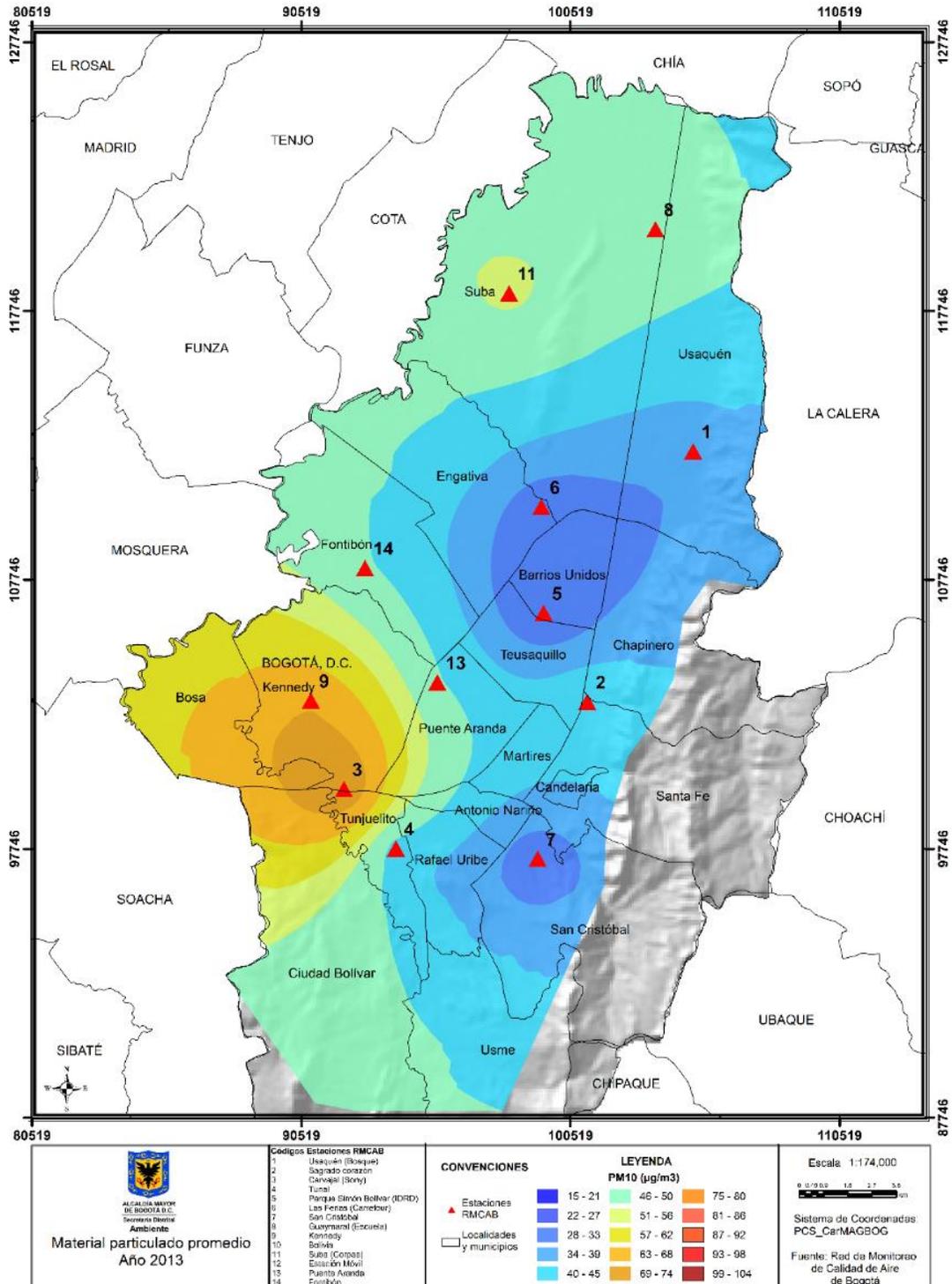
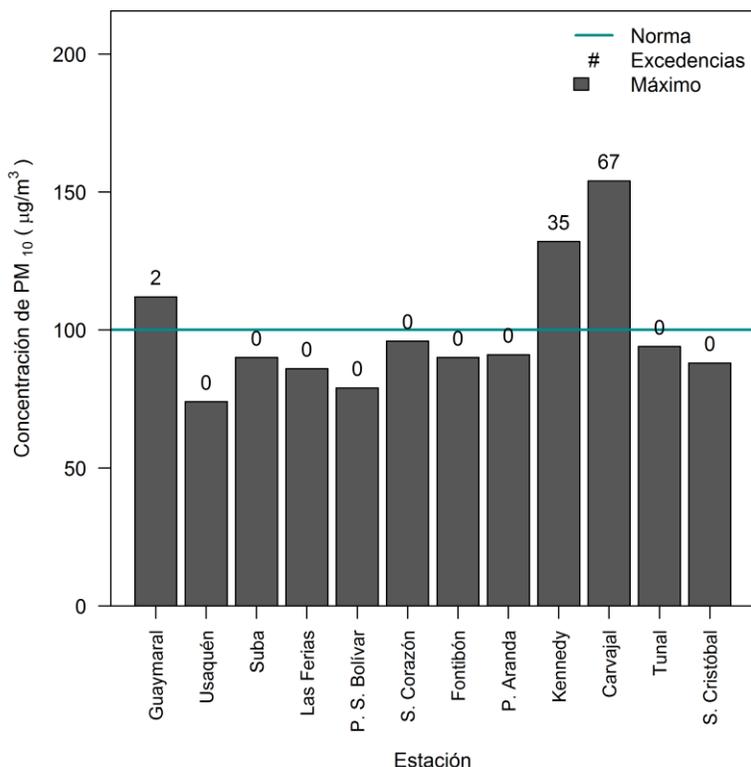


Figura 3-2. Material particulado (PM<sub>10</sub>) promedio (superficie en colores).



**Figura 3-3.** Concentraciones promedio diarias y número de excedencias de PM<sub>10</sub> por estación durante el año 2013. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m<sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010).

De acuerdo con la Tabla 3-2, las localidades más afectadas por PM<sub>10</sub> en 2013 fueron las ubicadas en el suroccidente de la ciudad, especialmente Kennedy y Bosa, y las menos afectadas San Cristóbal, Engativá, Teusaquillo y Usaquén. En el año 2012 se registraron en total 92 excedencias, en contraste con 104 del año 2013.

Por otro lado, se destaca la última columna de la Tabla 3-2 la cual muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, que para este caso se encuentra entre 90 µg/m<sup>3</sup> y 100 µg/m<sup>3</sup>. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Se puede ver que Sagrado Corazón, Puente Aranda y Tunal reportan datos en este rango (5 excedencias en conjunto), lo que evidencia que las zonas circundantes a estas tres estaciones están cerca de superar el límite normativo, además de las ya mencionadas por excedencias: Kennedy, Carvajal y Guaymaral.

**Tabla 3-2.** Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM<sub>10</sub> durante el año 2013. Base de tiempo diaria.

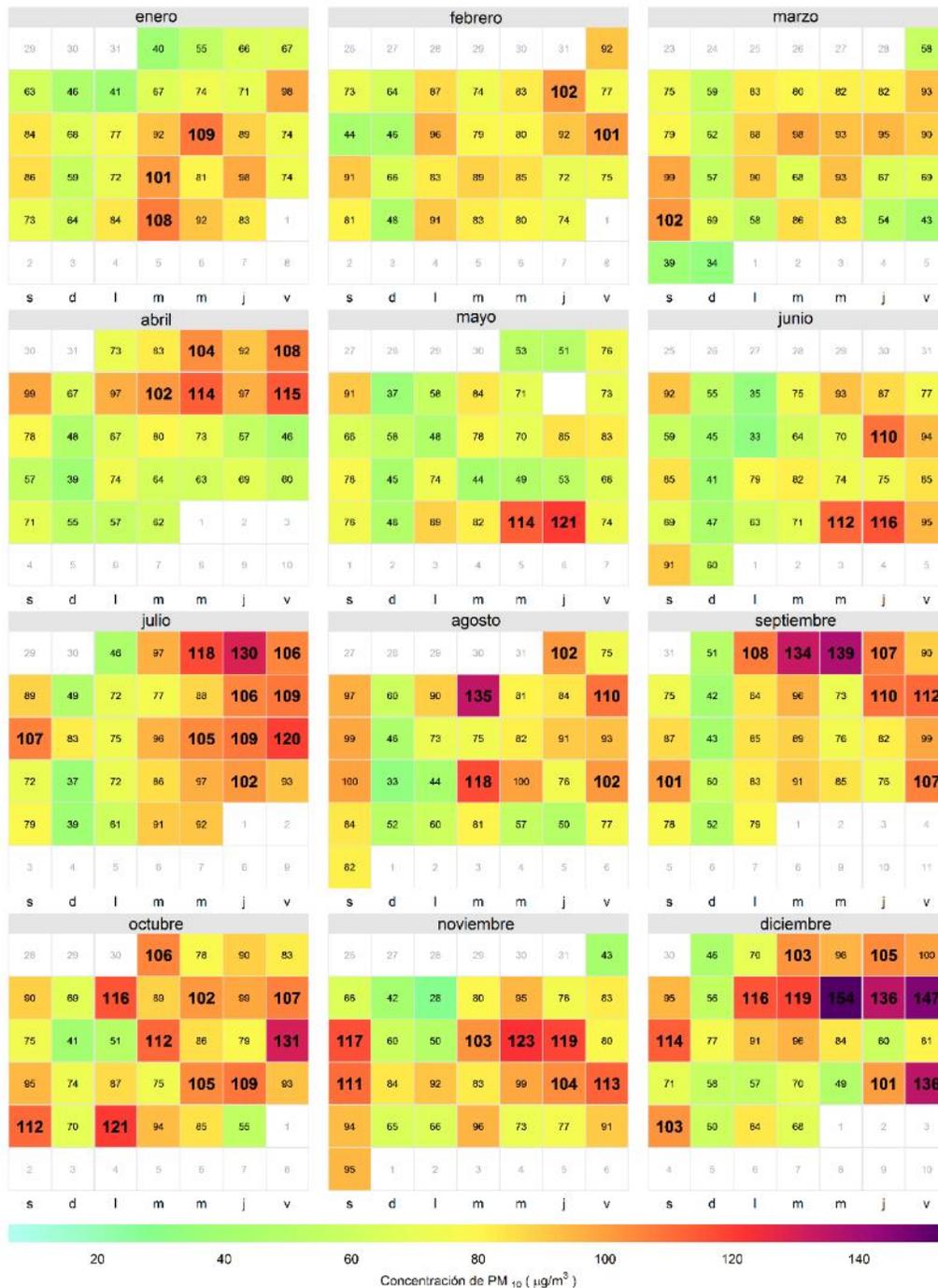
Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Excedencias de la norma 100 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma <sup>3</sup>
Guaymaral	339	93%	2	1%	112	13/09/2013	1
Usaquén	340	93%	0	0%	74	08/11/2013	0
Suba	328	90%	0	0%	90	17/01/2013	0
Las Ferias	301	82%	0	0%	86	16/01/2013	0
Parque Simón Bolívar	306	84%	0	0%	79	17/01/2013	0
Sagrado Corazón	348	95%	0	0%	96	17/01/2013	2
Fontibón	300	82%	0	0%	90	09/08/2013	0
Puente Aranda	344	94%	0	0%	91	04/09/2013	1
Kennedy	351	96%	35	10%	132	03/09/2013	31
Carvajal	364	100%	67	18%	154	11/12/2013	56
Tunal	287	79%	0	0%	94	04/09/2013	2
San Cristóbal	278	76%	0	0%	88	17/01/2013	0

### a) Calendario de contaminación por PM<sub>10</sub> durante 2013

La Figura 3-4 y la Figura 3-5 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal y Parque Simón Bolívar, respectivamente, mostrando el contraste en los niveles de concentración diarios entre las estaciones con la concentración promedio anual más alta y la más baja. Se observa una diferencia considerable porque Carvajal presenta una alta cantidad de excedencias de la norma diaria las cuales son inexistentes en Parque Simón Bolívar. Para ambos casos los meses de mayo y junio presentan los niveles de concentración más bajos. Se destaca la segunda semana de diciembre como un episodio de alta concentración en Carvajal ya que todos los días hábiles excedieron el límite normativo. Además, durante dicha semana se registró la concentración máxima en la RMCAB con 154 µg/m<sup>3</sup> el 11 de diciembre.

<sup>3</sup> Mayor a 90 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 100 µg/m<sup>3</sup>

Carvajal 2013



P. S. Bolívar 2013

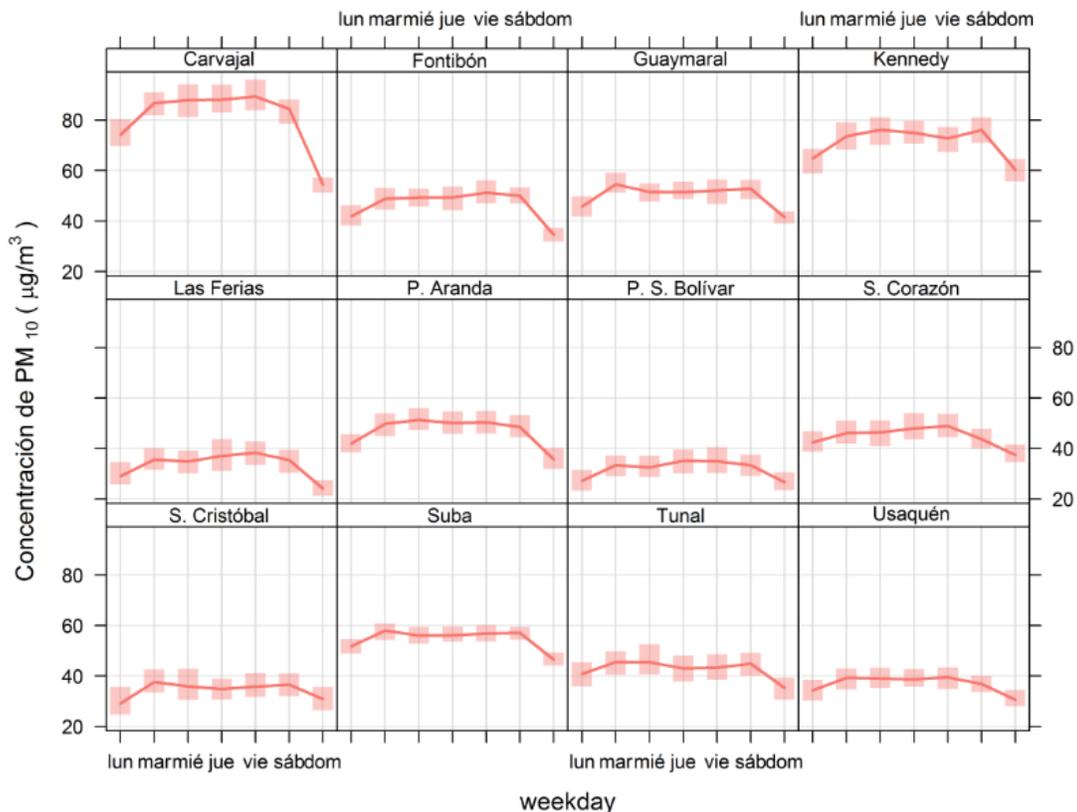


Figura 3-5. Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el año 2013 en la estación Parque Simón Bolívar. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

## b) Análisis promedio de PM<sub>10</sub> por día de la semana

La Figura 3-6 presenta el ciclo semanal de PM<sub>10</sub> por estación para el año 2013. Se puede ver que los días domingo registran las menores concentraciones en todas las estaciones, seguido por los lunes, lo cual también está asociado a la dinámica que tiene la ciudad el día anterior, por tener menor remanente de contaminantes que se alcanza a reflejar en el día lunes, además se debe tener en cuenta que en el año 2013 existieron 10 lunes festivos, lo cual tiene un impacto significativo en este descenso. Carvajal y Kennedy presentan la actividad más alta en los días entre semana, con valores promedio en el orden de 85 µg/m<sup>3</sup> y 75 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente; mientras que las demás estaciones se encuentran en el orden de 30 a 55 µg/m<sup>3</sup>. Los ciclos semanales más cambiantes se presentan de igual forma en Kennedy y Carvajal, ya que la concentración tiene una reducción significativa los días domingo, lo que evidencia la actividad desarrollada durante los días laborales en la zona.

Se debe destacar la actividad del sábado en la ciudad, pues en las 12 estaciones no hay grandes diferencias en comparación con los días entre semana y en la estación Kennedy resulta ser el día más alto en PM<sub>10</sub> de toda la semana. Las estaciones que presentan menor actividad en la semana resultan ser San Cristóbal y Usaquén, las cuales mantienen bajas concentraciones y una tendencia más constante.



**Figura 3-6.** Comportamiento de la concentración de PM<sub>10</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

### c) Tendencia horaria y mensual de PM<sub>10</sub>

Aunque no existe normatividad de PM<sub>10</sub> para tiempos de exposición de una hora y de un mes, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones medias mensuales y horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron este parámetro. La Figura 3-7 presenta los ciclos diarios por estación, en donde se puede ver que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 06:00 a.m. y 08:00 a.m. con incrementos más notables en Carvajal y Kennedy lo cual evidencia la actividad en el transporte en la ciudad. Posterior la actividad tiende a estabilizarse alrededor de las 10 a.m. y hasta las 4-5 p.m., para empezar nuevamente un leve aumento entre 06:00 p.m. y 08:00 p.m. que coincide con la denominada “hora pico” durante la cual aumenta el flujo vehicular. Es de notar que las estaciones Guaymaral y Suba presentan aumentos progresivos desde las 12:00 p.m. y hasta las 8:00 p.m., lo cual puede estar influenciado por la dinámica en el transporte.

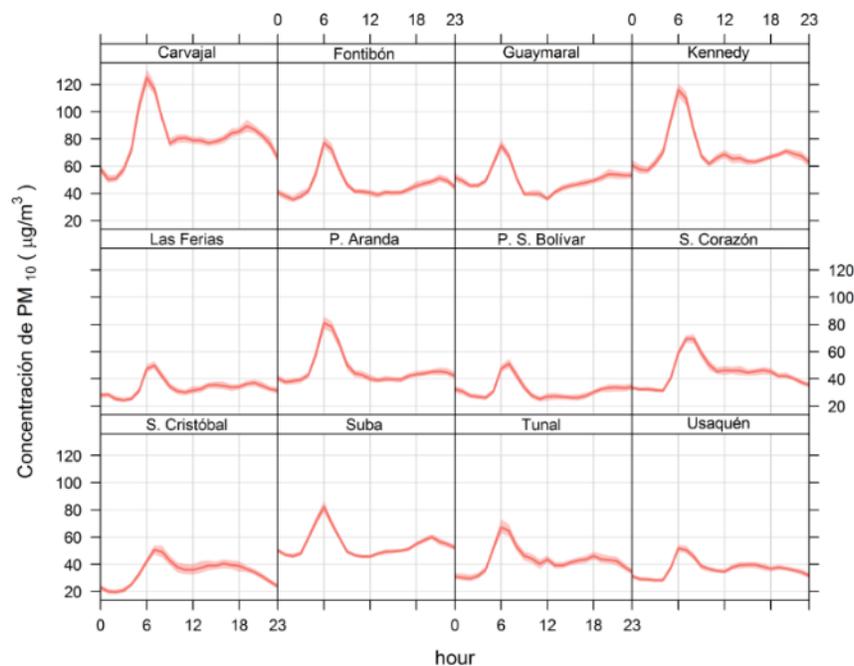
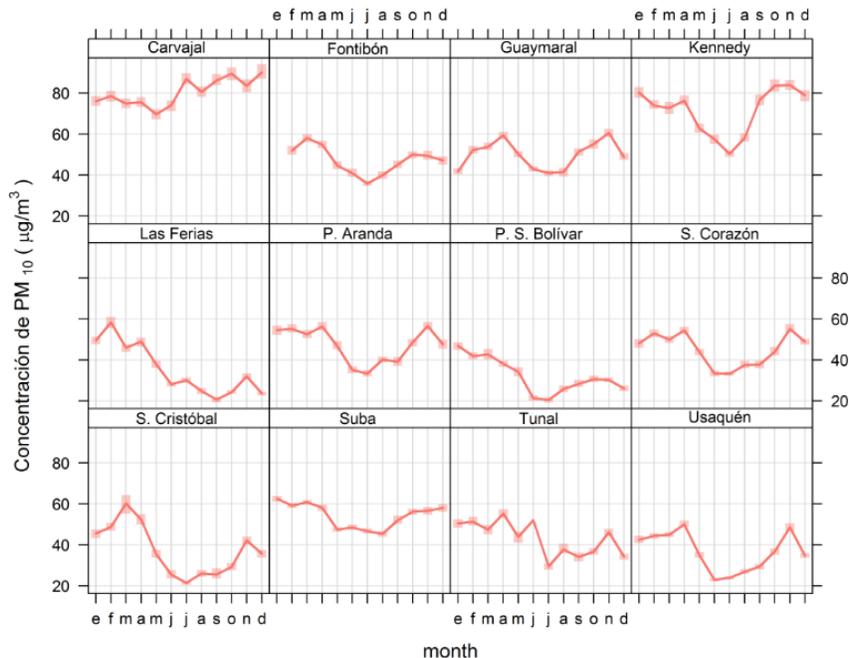


Figura 3-7. Ciclo diario de PM<sub>10</sub> para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.



**Figura 3-8.** Ciclo anual de PM<sub>10</sub> para 12 estaciones de la RMCAB en base mensual. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Con respecto al ciclo anual en base mensual, se puede ver en la Figura 3-8 un ciclo variable durante el año con los picos más altos durante febrero, marzo y abril, para luego descender hacia la mitad del año 2013 con los niveles de concentración más bajos (mayo, junio y julio) y en la mayoría de los casos volver a aumentar hacia noviembre. Sin embargo, en Carvajal la concentración fue aumentando progresivamente durante el año evidenciando un posible cambio en la dinámica de la ciudad con el transcurrir de los meses. Por el contrario la estación *Las Ferias*, presentó un descenso constante lo cual se refleja en su promedio anual de 34 µg/m<sup>3</sup>, según la Tabla 3-1.

### Comportamiento histórico de promedios de PM<sub>10</sub>

#### a) Análisis semanal

La Figura 3-9 es un gráfico de *boxplot*<sup>4</sup> con la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> para cada uno de los días de la semana desde el año 2009. Se puede ver una tendencia a la disminución en la concentración de PM<sub>10</sub> para los días entre semana, pero no para los sábados y domingos, los cuales disminuyeron hasta el año 2012, pero en 2013 presentaron importantes aumentos (igualando la concentración de 2011, pero con menor dispersión en los datos), lo que evidencia un cambio en la dinámica de la ciudad para estos dos días. En comparación con el año 2012 las concentraciones en 2013 tienden a presentar valores similares entre los días lunes y viernes.

<sup>4</sup> Una guía relacionada con la lectura de los diagramas de caja (*box-plot*) puede ser consultada en el Anexo 1.

Con respecto a los años 2009-2011, las concentraciones del año 2013 son generalmente menores indicando una mejora progresiva en la calidad del aire. Se puede ver que el año 2009 presenta la mayor dispersión de datos y en términos históricos los días domingo tienden a ser menos dispersos y a presentar las menores concentraciones, lo cual evidencia la reducción de las actividades en la ciudad. El lunes es el día que presenta las concentraciones más bajas de los días hábiles, lo cual puede atribuirse a la influencia del día anterior, sumado a los 10 lunes festivos en 2013. Por su parte los jueves y viernes resultan los días de mayor concentración.

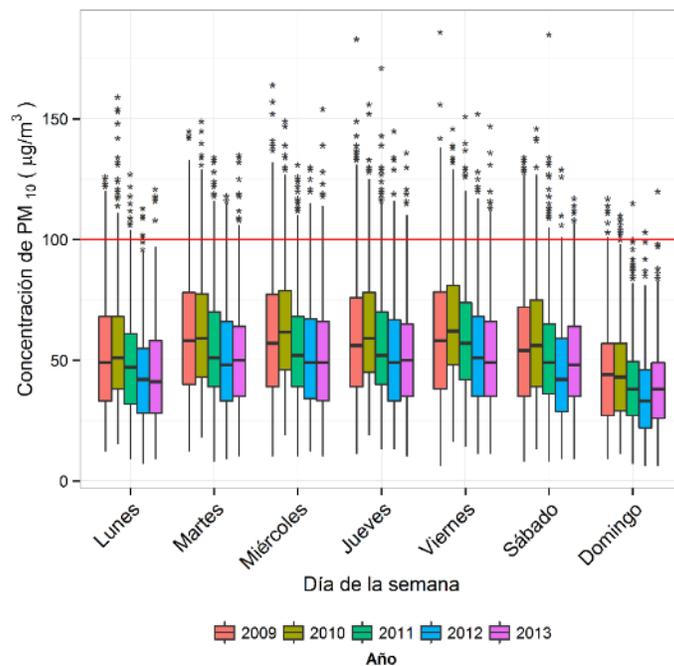
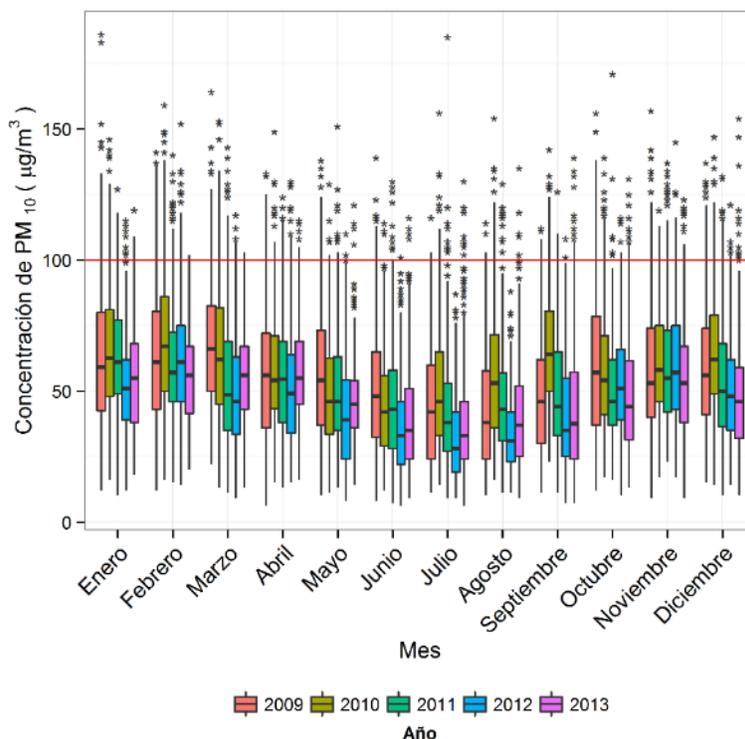


Figura 3-9. Gráfico de boxplot para PM<sub>10</sub> en base diaria por días de la semana.

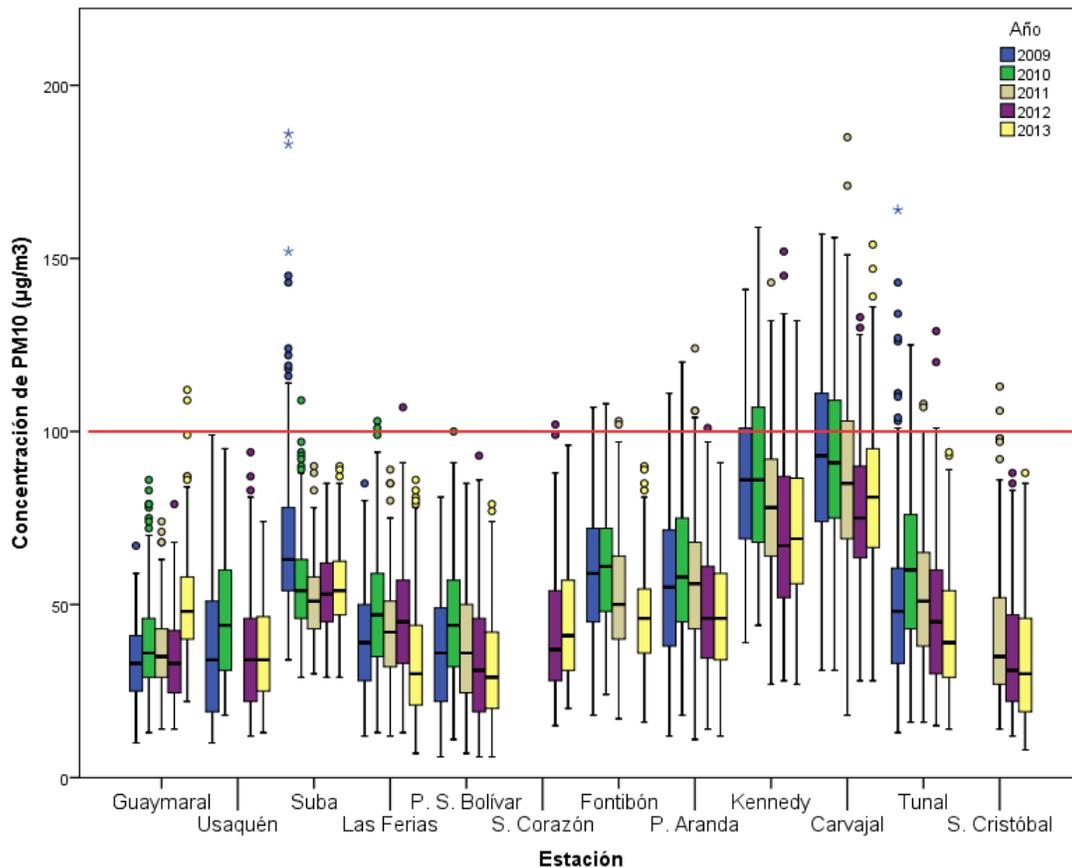
## b) Análisis mensual

En la Figura 3-10 se observa el comportamiento histórico de PM<sub>10</sub> en función de los meses del año. Los niveles de concentraciones más bajos se encuentran tradicionalmente en los meses de junio y julio mientras que enero, febrero y marzo registran valores un poco más altos. Este comportamiento puede estar asociado a la variabilidad meteorológica interanual, asociado al comportamiento de los vientos y las precipitaciones principalmente. Con respecto al año 2012 los meses de febrero, octubre, noviembre y diciembre de 2013 redujeron sus niveles de concentración. La dispersión de datos entre 2011, 2012 y 2013 es similar. La mayoría de máximas concentraciones de este contaminante se presentaron en los meses de enero y septiembre. Sin embargo, también hay ocurrencias en agosto, noviembre y diciembre.



**Figura 3-10.** Gráfico de *boxplot* para PM<sub>10</sub> en base diaria por meses comparando el año 2013 con años anteriores.

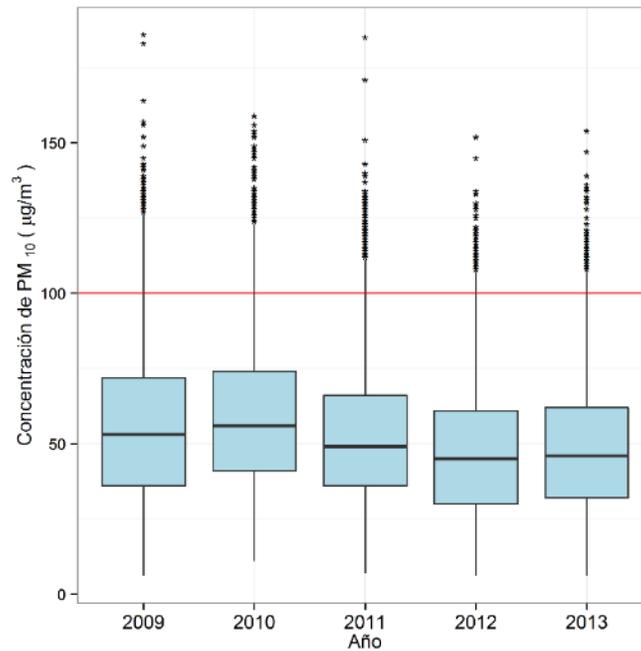
Con respecto al análisis por estaciones, la Figura 3-11 presenta dicho comportamiento, en donde se puede ver que las estaciones que registraron mayores niveles de concentración de PM<sub>10</sub> fueron, en su orden, Carvajal, Kennedy y Suba. Por su parte la estación Guaymaral muestra un aumento muy significativo en la concentración de PM<sub>10</sub> en 2013 en comparación los años anteriores y es posible observar los dos datos atípicos que fueron catalogados como excedencias en esta estación; mientras que Las Ferias presentó un descenso significativo en 2013. Las estaciones de San Cristóbal, Tunal, Font ibón y Parque Simón Bolívar han estado reduciendo progresivamente sus niveles de concentración. Las estaciones que registran una mayor dispersión en sus series de datos son Kennedy y Carvajal que históricamente han registrado los mayores valores de concentración promedio durante los últimos 5 años. Es posible que este comportamiento esté asociado a la actividad industrial relativamente elevada, a una alta densidad urbana y a un considerable tráfico de vehículos pesados, en comparación con otras zonas de la ciudad.



**Figura 3-11.** Gráfico de *boxplot* para PM<sub>10</sub> diario por estaciones. Se presentan años 2009 a 2013.

En lo referente al comportamiento general del contaminante en los últimos 5 años, se presenta una aproximación del consolidado del año en la Figura 3-12, lo cual no representa el comportamiento promedio del contaminante en la ciudad, pues se no considera la alta variabilidad espacial en las concentraciones de PM<sub>10</sub> como sí se evidencia en la Figura 3-2. Se puede ver que los años 2012 y 2013 registran los menores niveles de concentración y sus diagramas de caja son similares en magnitud, dispersión y cantidad de datos atípicos. De los 5 años estudiados, el año 2010 registra las mayores concentraciones, lo cual se evidencia en el valor de la mediana de los diagramas de caja anteriores.

La Tabla 3-3 contiene un resumen de máximos y mínimos entre el año 2009 y el año 2013. El valor máximo de todos los registros diarios de la RMCAB en 2013 fue 154 µg/m<sup>3</sup> (presentado en la estación Carvajal) pero es menor en comparación con los años 2009, 2010 y 2011.



**Figura 3-12.** Gráfico de *boxplot* para PM<sub>10</sub> en base diaria entre 2009 y 2013.

**Tabla 3-3.** Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en promedios diarios entre 2009 y 2013.

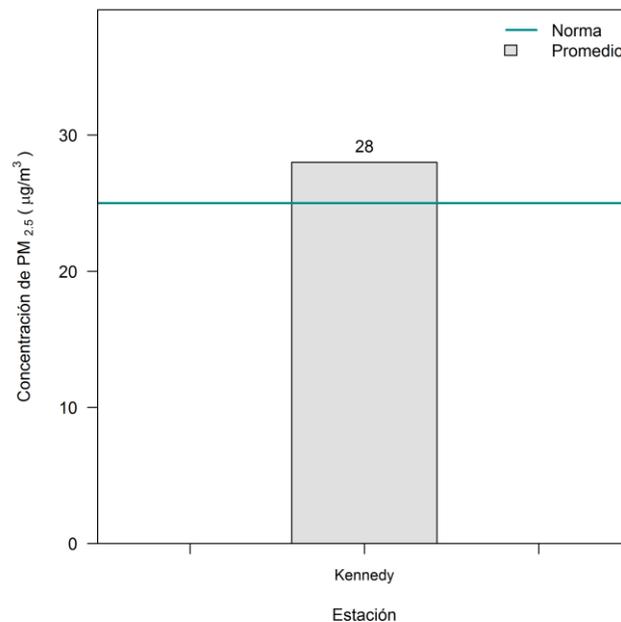
Año	Concentración de PM <sub>10</sub> en µg/m <sup>3</sup>	
	Máximo	Mínimo
2009	186	6
2010	159	11
2011	186	7
2012	152	6
2013	154	6

### 3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM<sub>2.5</sub>

Este contaminante tiene límite normativo anual de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y límite normativo diario de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A continuación se presentan los comportamientos observados en comparación con la norma.

#### Comportamiento anual de PM<sub>2.5</sub> (Estación Kennedy)

La Figura 3-13 presenta el promedio de este contaminante en la estación Kennedy para el año 2013 ya que es la única que tiene una representatividad anual superior a 75%. Esta estación superó la norma anual de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con una concentración promedio de 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es importante destacar que el sector suroccidental de Bogotá tiende a presentar concentraciones relativamente altas de material particulado por lo que su comportamiento no es representativo de las demás zonas de la ciudad.



**Figura 3-13.** Promedio de PM<sub>2.5</sub> en la estación Kennedy para el año 2013 y comparación con la norma anual (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

En el año 2012 la concentración de PM<sub>2.5</sub> en esta estación fue igualmente 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (con una representatividad temporal de 87%) lo que muestra que el comportamiento de este contaminante fue estable durante los dos años en mención. En el año 2011 fue 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 3-4.** Promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> en la estación Kennedy en los años 2012 y 2013. La concentración anual no varió.

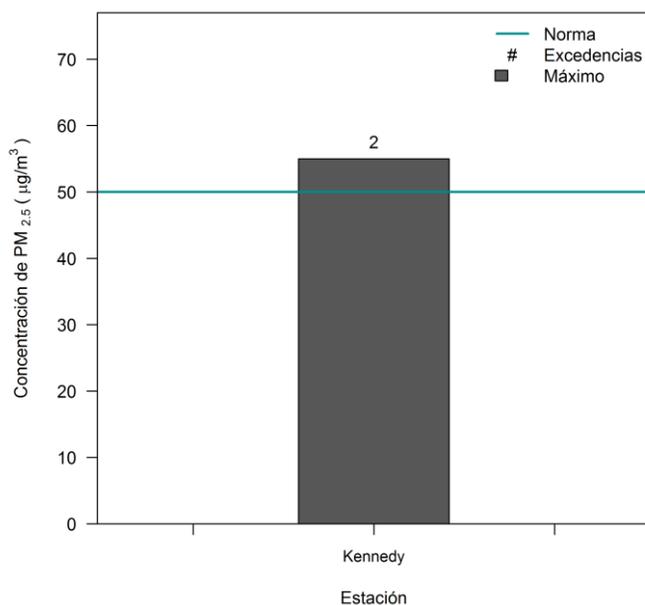
Estación	Promedio 2013 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio 2012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cambio 2013-2012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Kennedy	28	28	0

## Comportamiento diario de PM<sub>2.5</sub> (24h)

El reporte de las concentraciones diarias de este contaminante durante el año 2013 será dividido en dos secciones: la primera contendrá el análisis de la estación Kennedy (por ser la única estación disponible en operación) para todo el año 2013 (01 de enero a 31 de diciembre) y la segunda sección se referirá al análisis de las estaciones disponibles (incluyendo Kennedy), en el periodo de 01 de octubre de 2013 a 31 de diciembre de 2013, ya que durante el cuarto trimestre entraron en operación 5 monitores en las estaciones Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal.

### a) Sección 1. Estación Kennedy (01 enero a 31 diciembre 2013)

La Figura 3-14 contiene un resumen de la concentración máxima y del número de excedencias de la norma diaria de PM<sub>2.5</sub> para el año 2013.



**Figura 3-14.** Máximo y excedencias de PM<sub>2.5</sub> en base diaria durante el año 2013. Estación Kennedy.

La Tabla 3-5 contiene un resumen estadístico y de excedencias en la cual se puede ver una captura de datos válidos para 2013 de 356, lo cual corresponde a un 98% de representatividad temporal. Se presentaron dos excedencias del límite de 50 µg/m<sup>3</sup> establecido por la Resolución 610 de 2010 y un máximo de 55 µg/m<sup>3</sup> el día 16 de enero de 2013, día en que se registraron igualmente altas concentraciones de PM<sub>10</sub>.

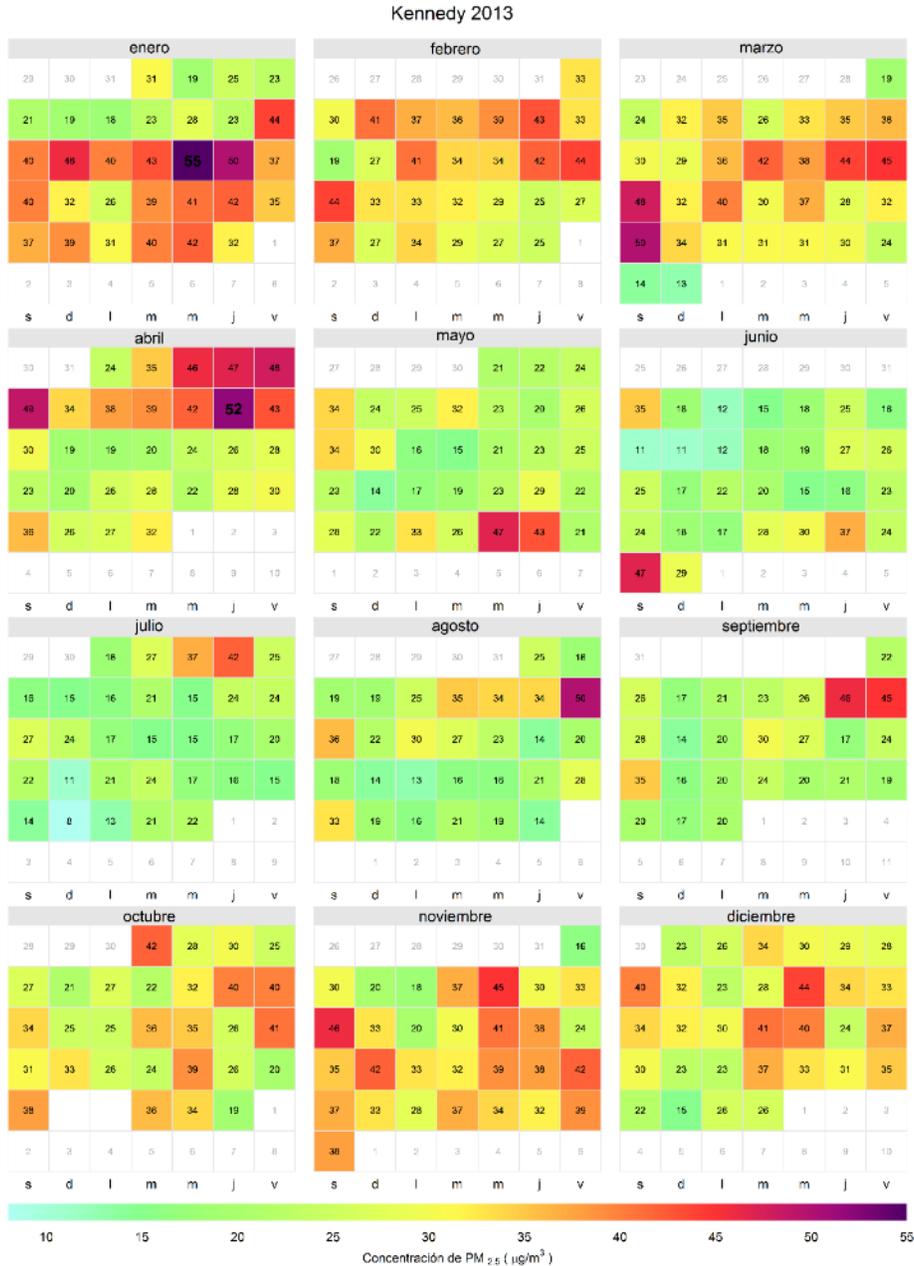
**Tabla 3-5.** Resumen de datos diarios de PM<sub>2.5</sub> para el año 2013 en la estación Kennedy.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Excedencias norma 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	%de excedencias	Máximo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma <sup>5</sup>
Kennedy	356	98%	2	1%	55	16/01/2013	13

En el año 2012 la representatividad temporal de la serie de datos fue 87% y se presentaron 13 excedencias de la norma diaria con un máximo de 63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el 17 de febrero de 2012. Por tanto, los datos de 2013 evidencian una mejora de la calidad del aire en este sector y una menor afectación de la salud pública si se tiene en consideración la reducción de los valores máximos y del número de excedencias, las cuales aún persisten. Se presentaron 13 datos entre el 90% y el 100% de la norma, lo que indica que un 3.5% de los datos en 2013 se encuentran muy cerca de superar el límite normativo.

La Figura 3-15 corresponde a un diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> durante el año 2013. Se observa que los dos días que excedieron la norma se encontraban en enero y abril. Julio fue el mes que presentó el mejor comportamiento de todo el año. Como se ha mencionado previamente, los domingos registran los menores niveles de concentración.

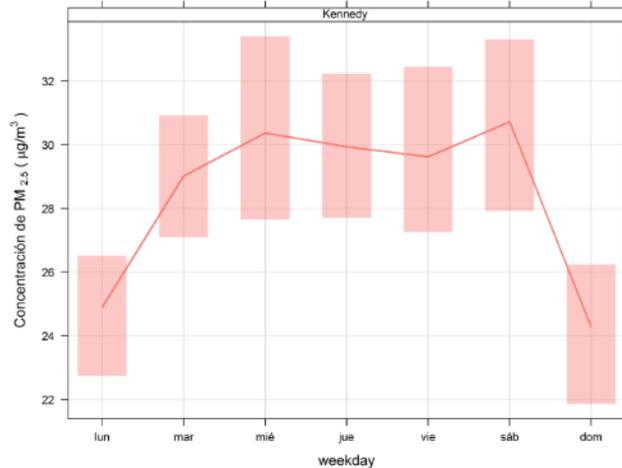
<sup>5</sup> Mayor a 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y menor o igual a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



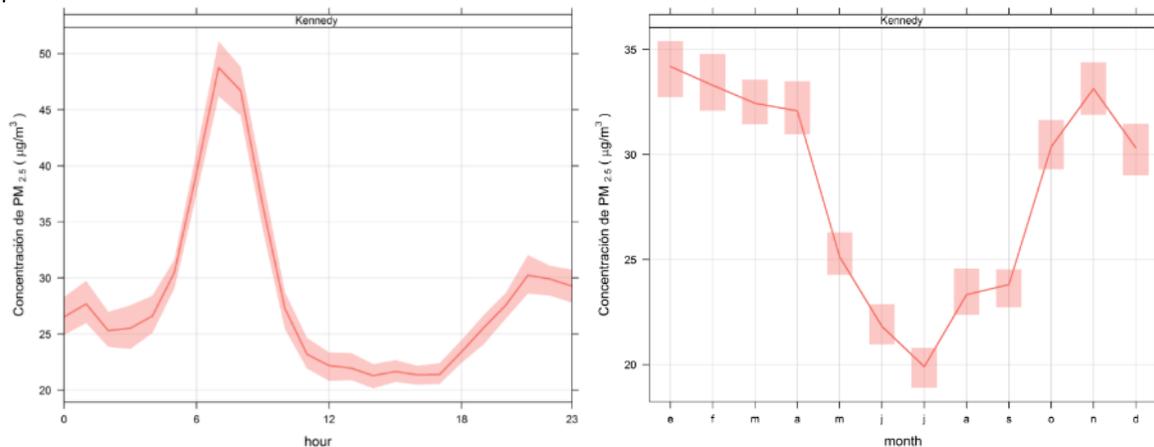
**Figura 3-15.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> durante el año 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

El perfil semanal de la Figura 3-16 muestra la alta variabilidad de los promedios diarios evidenciando la contribución de diferentes fuentes de emisión. En este caso los miércoles y viernes registran las concentraciones más altas en contraste con el lunes y el domingo. La Figura 3-17 muestra los perfiles diario y anual en esta estación. Como es usual para el material particulado, el pico de concentración se encuentra entre las 06:00 a.m. y las 08:00

a.m. Se registra un aumento menos pronunciado desde las 06:00 p.m y hasta las 9:00 p.m., quizás por actividades vehiculares. El ciclo anual muestra un descenso importante de la concentración entre los meses de mayo a septiembre, lo que se atribuye a una mejor dispersión de los contaminantes gracias al aumento de la velocidad del viento en la zona durante estos meses del año (ver sección 4.2).



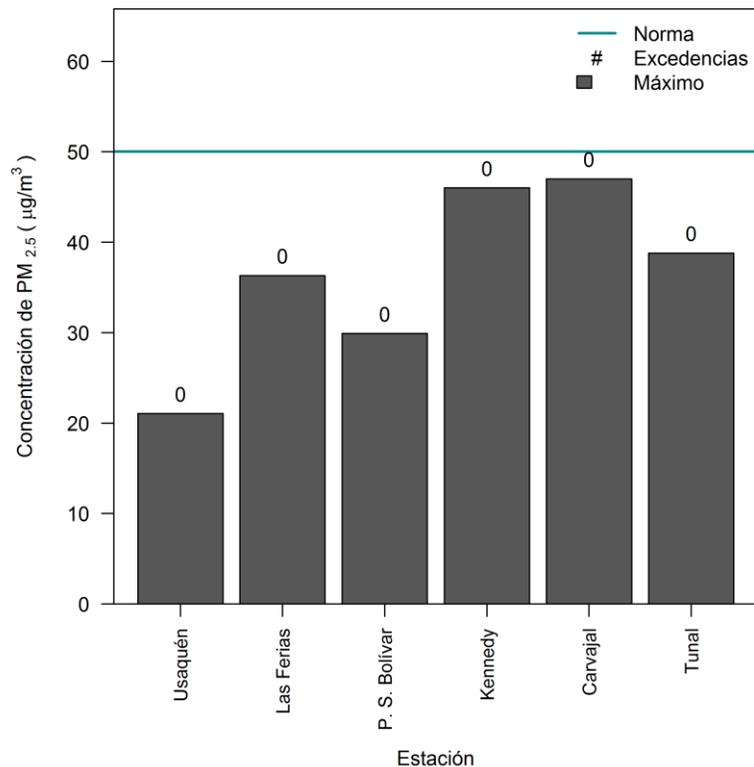
**Figura 3-16.** Comportamiento de la concentración de PM<sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.



**Figura 3-17.** Ciclo diario (izquierda) y anual (derecha) de la concentración de PM<sub>2.5</sub> en la estación Kennedy en el año 2013.

**b) Sección 2: Estaciones Kennedy, Usaqué, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal entre 01 octubre a 31 diciembre.**

Entre el 01 de octubre de 2013 y el 31 de diciembre de 2013, 6 estaciones monitorearon PM<sub>2.5</sub>. La Figura 3-18 corresponde a un resumen de los máximos y excedencias de este contaminante para el periodo en mención. Se observa que durante el cuarto trimestre no se presentaron excedencias de la norma diaria y que las máximas concentraciones fueron reportadas en las estaciones Kennedy y Carvajal, una tendencia que es concordante con los resultados del análisis de PM<sub>10</sub>.



**Figura 3-18.** Máximos y excedencias de  $PM_{2.5}$  en base diaria durante el cuarto trimestre de 2013.

La Tabla 3-6 contiene un resumen estadístico descriptivo, en donde se encuentran los promedios de cada estación de forma indicativa, pero se debe aclarar que estos valores no pueden ser comparados con la normatividad diaria o anual al tener tiempos de exposición diferentes. Carvajal y Kennedy registraron sus máximas concentraciones de forma simultánea el 09 de noviembre de 2013, situación asociada a un episodio generalizado de máxima concentración en el suroccidente de la ciudad.

En general y con excepción de Las Ferias, todas las estaciones que miden  $PM_{2.5}$  registraron los máximos para este periodo en noviembre. No se reporta el promedio de Las Ferias al no cumplir el criterio de representatividad temporal. Usaquén y Parque Simón Bolívar reportan los menores niveles de concentración los cuales contrastan en magnitud con los correspondientes a las estaciones Kennedy y Carvajal.

**Tabla 3-6.** Resumen de datos diarios de PM<sub>2.5</sub> por estación para el cuarto trimestre del año 2013.

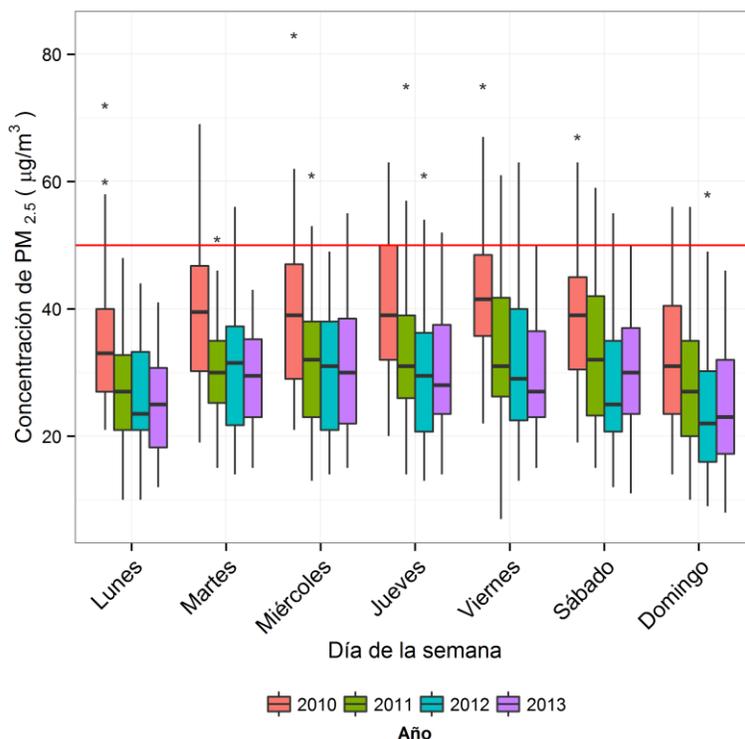
Estación	Número de datos	% de datos válidos	Promedio <sup>6</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	Excedencias norma diaria 50 µg/m <sup>3</sup>	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo	Excedencias sobre el 90% de la norma <sup>7</sup>
Usaquén	81	88%	10	0	21	20/11/2013	0
Las Ferias	63	68%		0	36	01/10/2013	0
Parque Simón Bolívar	73	79%	17	0	30	29/11/2013	0
Kennedy	90	98%	31	0	46	09/11/2013	1
Carvajal	91	99%	30	0	47	09/11/2013	2
Tunal	80	87%	19	0	39	20/11/2013	0

### Comportamiento histórico de promedios de PM<sub>2.5</sub>

El comportamiento histórico temporal de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> se describe en función de los días de la semana, los meses del año y las estaciones. Como se mencionó previamente solamente se cuenta con una representatividad temporal superior a 75% para la estación Kennedy durante el año 2013. Del presente análisis se excluye el año 2009 porque su representatividad temporal es 67%. El comportamiento en función de los días de la semana se ilustra en la Figura 3-19 y los valores de los respectivos promedios en la Tabla 3-7. Históricamente, los días domingo y lunes registran las menores concentraciones promedio mientras que los jueves y viernes las mayores. La dispersión de los datos es levemente menor los lunes. Este comportamiento es similar al observado para PM<sub>10</sub> y PST. Se destaca que en el año 2013 el día sábado presentó un aumento notable de su concentración en comparación con lo observado en 2012, además de ser la mayor concentración de los todos los 7 días de la semana, con un promedio de 31 µg/m<sup>3</sup>. La dispersión de los datos es similar entre los distintos años, mostrando similitudes en la dinámica y la actividad de la ciudad.

<sup>6</sup> Este promedio es meramente indicativo y no debe compararse con los límites normativos establecidos en la Resolución 610 de 2010 al tener tiempos de exposición diferentes.

<sup>7</sup> Mayor a 45 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 50 µg/m<sup>3</sup>



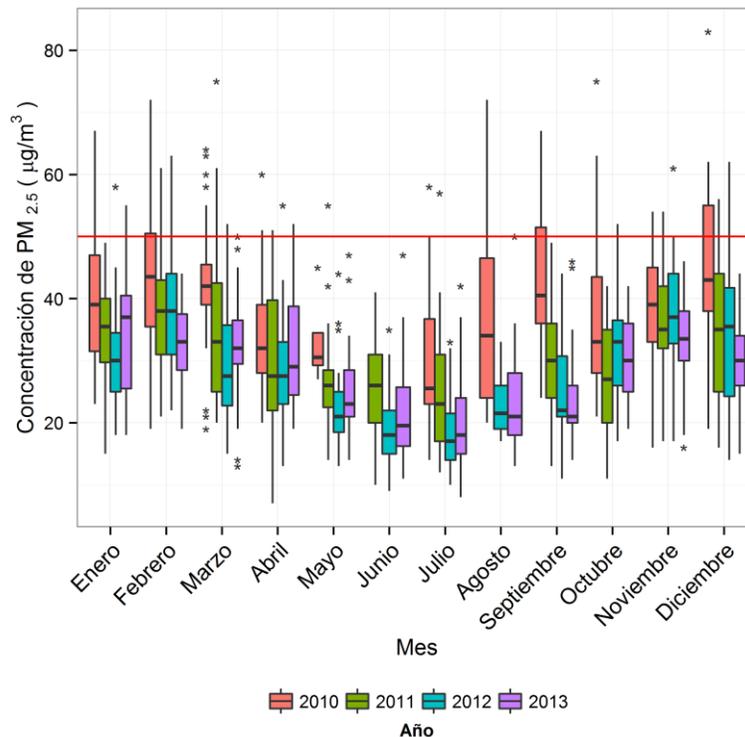
**Figura 3-19.** Gráfico de *boxplot* para PM<sub>2.5</sub> por días de la semana en base diaria comparando el año 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.

**Tabla 3-7.** Concentración promedio de PM<sub>2.5</sub> por día de la semana durante los últimos 4 años. Se considera solamente la estación Kennedy.

Promedio del contaminante PM <sub>2.5</sub> por días de la semana en µg/m <sup>3</sup>				
Día	2010	2011	2012	2013
Lunes	37	27	26	25
Martes	40	31	30	29
Miércoles	40	32	30	30
Jueves	41	33	30	30
Viernes	43	35	31	30
Sábado	39	33	28	31
Domingo	32	28	24	24

Las principales fuentes de PM<sub>2.5</sub> incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (*U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014*). Respecto a los demás días de la semana, el día domingo no muestra un descenso tan pronunciado en su concentración de PM<sub>2.5</sub>, en comparación con el descenso observado para PM<sub>10</sub>. Sin embargo, aún se evidencia la reducción en las actividades relacionadas con el tráfico vehicular. Es posible que el lunes, al menos durante las primeras horas, esté afectado por la menor contaminación remanente del día domingo, razón por lo que la comparación con otros días hábiles es menor.

La Figura 3-20 es un gráfico de *boxplot* histórico en función de los meses del año. Se observa, de forma similar al comportamiento de  $PM_{10}$ , que las mayores concentraciones se encuentran en los primeros y últimos meses del año mientras que hay descenso notable entre mayo y agosto. La dispersión de los datos es variable entre los años y los meses pero el año 2010 tiene una diferencia notable con el resto del conjunto. De acuerdo a la Tabla 3-8 se presentó un aumento de concentración en enero y en los meses de marzo a julio en comparación con el año 2012. Julio registra la menor concentración promedio mientras que enero la mayor. Los meses para los cuales no se registra información son aquellos que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal.



**Figura 3-20.** Gráfico de *boxplot* para  $PM_{2.5}$  por meses desde base diaria entre 2010 y 2013.

La Figura 3-21 corresponde a un gráfico de *boxplot* generalizado con el comportamiento histórico de la concentración media de  $PM_{2.5}$  entre 2010 y 2013 para la estación Kennedy. Desde el año 2010 la concentración media de  $PM_{2.5}$  se ha reducido progresivamente (ver Tabla 3-9) y el promedio anual es igual en los años 2012 y 2013 ( $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aunque hay una diferencia en la cantidad de datos atípicos y en la dispersión. El año 2010 tiene una mayor dispersión de datos en comparación con los demás.

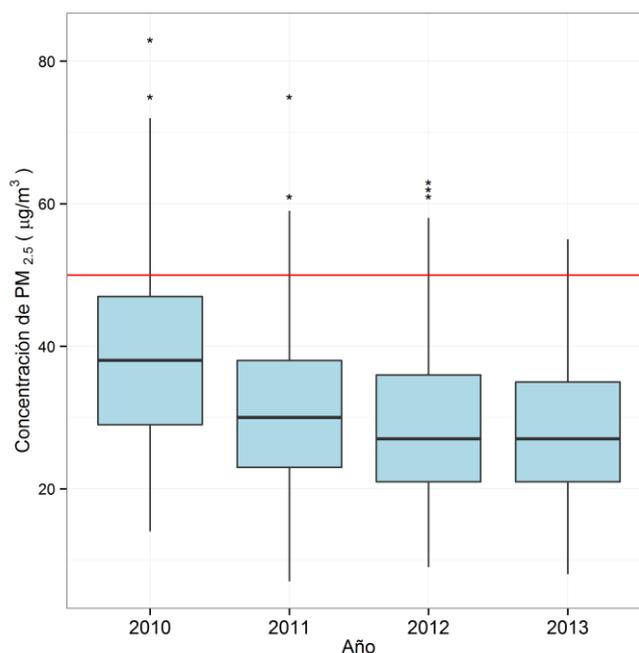
**Tabla 3-8.** Concentración promedio de PM<sub>2.5</sub> por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy.

Mes	Promedio del contaminante PM <sub>2.5</sub> por mes en µg/m <sup>3</sup>			
	2010	2011	2012	2013
Enero	39	34	31	34
Febrero	44	38	39	33
Marzo	42	36	29	33
Abril	34	29	29	32
Mayo	N.R.	26	23	25
Junio	N.R.	25	19	22
Julio	30	N.R.	18	20
Agosto	37	N.R.	23	23
Septiembre	43	N.R.	25	24
Octubre	37	27	33	30
Noviembre	38	36	38	33
Diciembre	45	35	34	30

NR: no representativo de acuerdo al criterio de 75% de representatividad temporal.

**Tabla 3-9.** Resumen histórico de concentraciones de PM<sub>2.5</sub> para los años 2010 a 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.

Año	Concentración media de PM <sub>2.5</sub> en µg/m <sup>3</sup>
2010	39
2011	31
2012	28
2013	28



**Figura 3-21.** Gráfico de *boxplot* para PM<sub>2.5</sub> por estaciones (desde base diaria) entre 2010 y 2013.

### 3.1.3. Relación de concentración de PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>

La Tabla 3-10 muestra la relación de concentraciones entre material particulado PM<sub>2.5</sub> y material particulado PM<sub>10</sub> en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el cuarto trimestre de 2014. Esta relación muestra la fracción de PM<sub>10</sub> que es PM<sub>2.5</sub> y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. Se observa que Parque Simón Bolívar tiene una relación relativamente alta (0,6), lo cual evidencia una considerable influencia por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y/o también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003). Por su parte estaciones como Carvajal y Usaquén están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido; mientras que estaciones como Kennedy y Tunal presentan influencia tanto de material proveniente de fuentes de combustión como por material resuspendido.

**Tabla 3-10.** Relación de concentraciones entre PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el cuarto trimestre de 2013.

Estación	Concentración de PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Concentración de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Relación de concentraciones PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>
Usaquén	10	40	0,3
Parque Simón Bolívar	17	28	0,6
Kennedy	31	82	0,4
Carvajal	30	88	0,3
Tunal	19	39	0,5

### 3.1.4. Comportamiento de la concentración de PST.

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST), la RMCAB durante el año 2013 contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal.

#### Comportamiento anual de la concentración de PST

El cálculo de la concentración anual de material particulado total o partículas suspendidas totales (PST) se basa en promedios geométricos de los datos diarios de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 y al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Para los demás contaminantes se usa el promedio aritmético.

El promedio geométrico se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_{prom} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n \log C_i}{n}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde  $C_{prom}$  es el promedio geométrico y  $\frac{\sum_{i=1}^n \log C_i}{n}$  es promedio de los logaritmos para los  $n$  valores de concentración del contaminante  $i$ .

El promedio geométrico de los datos diarios registrados en el año 2013 fue  $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor está por encima del límite normativo anual que corresponde a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. En el año 2012 se obtuvo un promedio más alto, que corresponde a  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los resultados pueden observarse en la Figura 3-22 y en la Tabla 3-11.

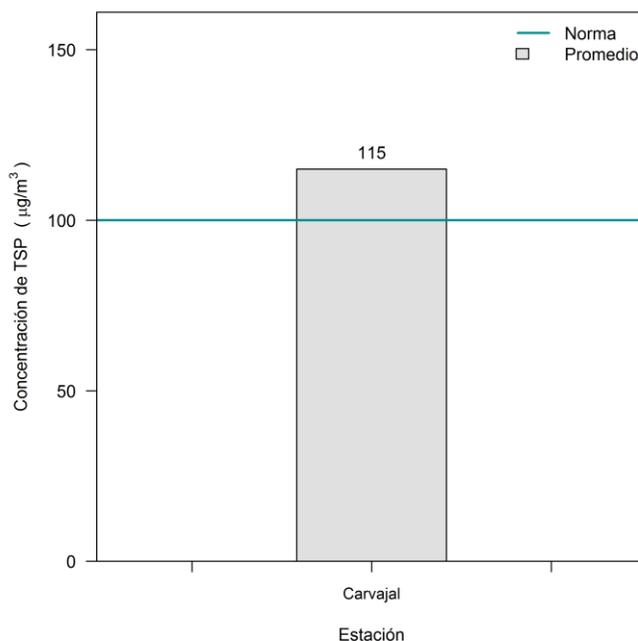


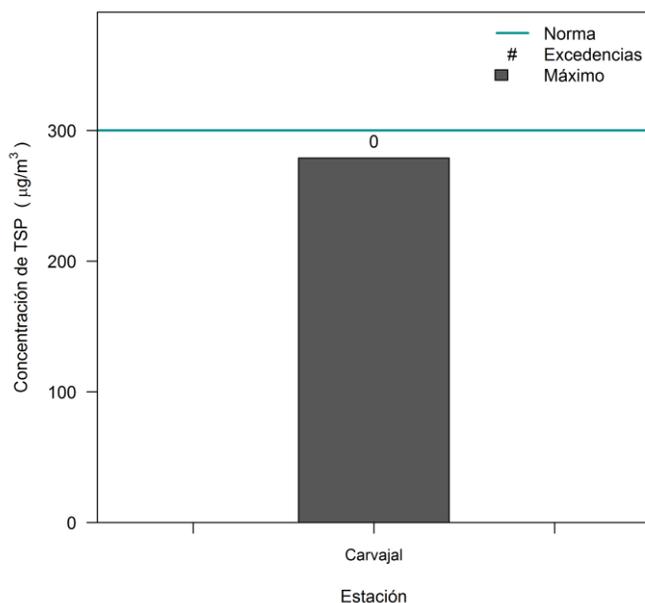
Figura 3-22. Concentración promedio de PST (TSP) durante el año 2013. Base diaria.

**Tabla 3-11.** Concentración promedio y diferencia de concentración para los años 2012 y 2013 en la estación Carvajal. Promedios geométricos.

Estación	Promedio 2013 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio 2012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cambio 2013-2012 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Carvajal	115	130	15

### Comportamiento diario de la concentración de PST

En la estación Carvajal se registraron 305 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de recuperación de 84%. Ningún promedio excedió la norma ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de acuerdo a la Resolución 610 de 2010). El valor máximo fue de  $279 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el día 11 de diciembre de 2013. Esta fecha también corresponde al promedio máximo de  $\text{PM}_{10}$  en la RMCAB (estación Carvajal) lo que demuestra congruencia en la tendencia y relación entre estos dos contaminantes. En la Figura 3-23 y en la Tabla 3-12 se resume lo expuesto anteriormente. Se muestra el número de excedencias y el valor máximo de los promedios diarios que fueron registrados en la estación Carvajal.



**Figura 3-23.** Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante año 2013. Base diaria.

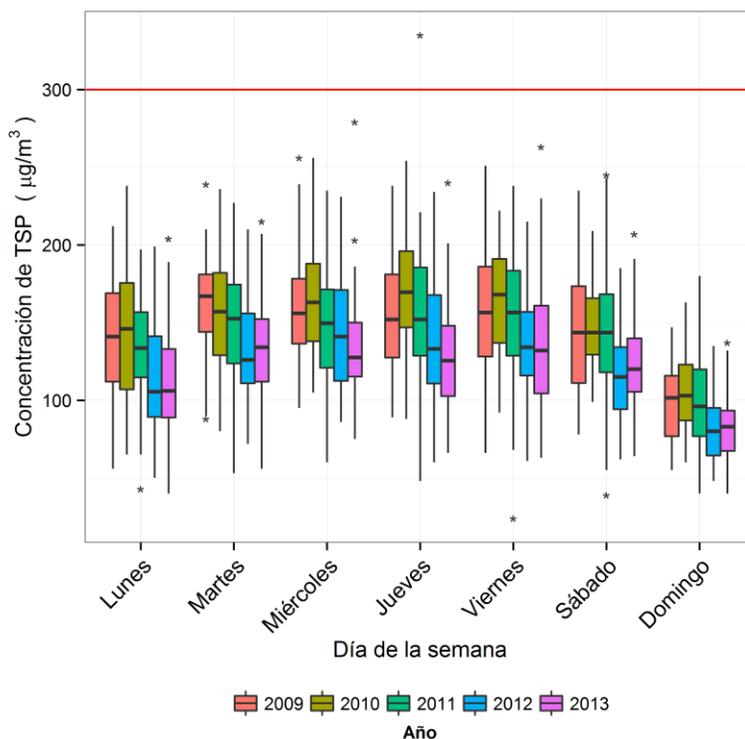
**Tabla 3-12.** Resumen de datos diarios de PST para el año 2013.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma <sup>8</sup>
Carvajal	305	84%	0	279	11/12/2013	1

<sup>8</sup> Mayor a  $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y menor o igual a  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$

### Comportamiento histórico de promedios de PST en base diaria.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana en el año 2013 se presenta en la Figura 3-24 y el histórico de las concentraciones promedio en la Tabla 3-13. Con excepción de los días sábado y domingo, la concentración promedio en el año 2013 disminuyó en comparación con los promedios de 2012. Con respecto a los promedios de 2009 a 2011, hay reducción en todos los días de la semana. En un marco general, los días domingo tienden a registrar las menores concentraciones y menor dispersión de datos debido a la reducción de actividades. Los días martes y viernes tienden a estar más afectados por contaminación atmosférica.

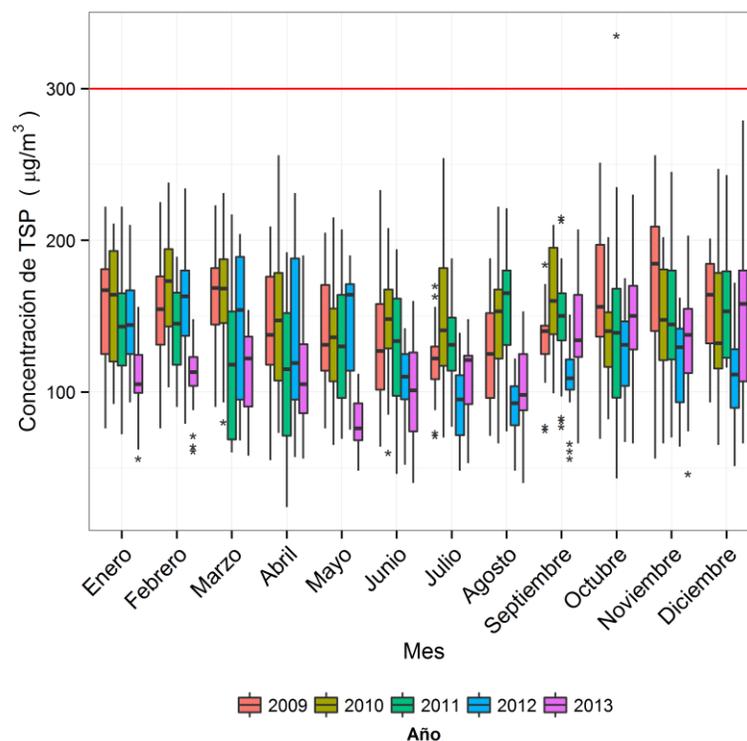


**Figura 3-24.** Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando 2013 con años anteriores.

**Tabla 3-13.** Concentración promedio de PST por día de la semana en el año 2013. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos.

Promedio geométrico del contaminante PST por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
Día	2009	2010	2011	2012	2013
Lunes	133	137	126	108	105
Martes	161	154	142	133	131
Miércoles	156	159	141	139	128
Jueves	152	167	142	133	126
Viernes	150	161	143	133	130
Sábado	141	145	132	112	121
Domingo	97	100	94	79	80

En la Figura 3-25 se puede observar el comportamiento histórico de la concentración de PST en función del mes a manera de diagrama de caja. Los promedios geométricos respectivos se muestran en la Tabla 3-14. Es importante aclarar que los promedios mensuales se reportan únicamente si los datos del mes en cuestión tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Por esta razón se observan espacios sin datos en la respectiva tabla. Aunque de una forma menos pronunciada que en el caso de  $PM_{10}$  se observa que los mínimos valores tienden a registrarse entre los meses de mayo a julio. El grado de dispersión de los datos es altamente variable entre meses del mismo año y entre distintos años. Los meses de mayo, julio y agosto de 2013 no cumplen con el criterio de representatividad temporal. La única excedencia presente se observó el 27 de octubre de 2011 con un valor de  $335 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 3-25.** Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por meses (desde base diaria) comparando para el 2009 - 2013. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.

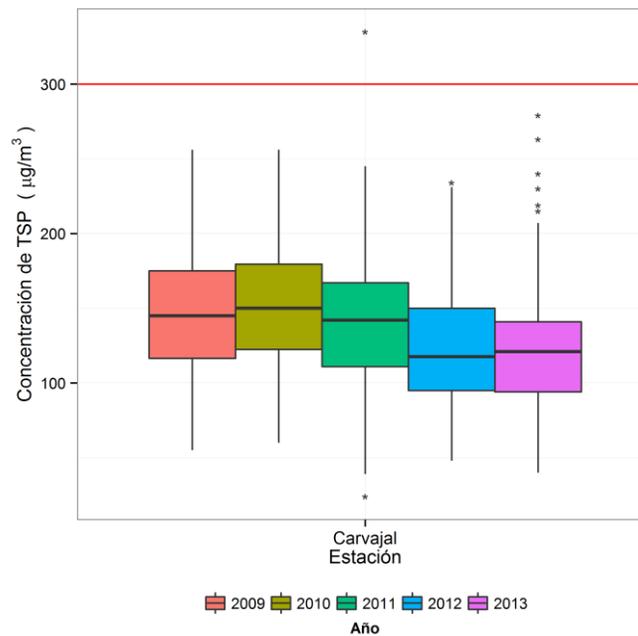
En la Figura 3-26 se muestra el comportamiento histórico generalizado de la concentración de PST entre 2009 y 2013. Aunque el año 2013 registró concentraciones un poco más altas que en 2012, estos resultan inferiores en comparación a los demás años. Aunque la dispersión de los datos es levemente inferior, la cantidad de datos atípicos aumentó de forma considerable. Es importante destacar que esta figura corresponde únicamente a la estación Carvajal y por este motivo no se presenta una gráfica por estaciones.

La Tabla 3-15 contiene un resumen de los promedios de PST entre 2009 y 2013. Se observa que aunque las concentraciones promedio anuales se han reducido progresivamente, aún exceden el límite normativo anual de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido en la Resolución 610 de 2010.

**Tabla 3-14.** Promedios geométricos de PST por mes entre 2009 y 2013. Se considera solamente la estación Carvajal.

Mes	Promedio del contaminante PST por mes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	2009	2010	2011	2012	2013
Enero	132	152	137	N.R.	107
Febrero	143	167	139	N.R.	109
Marzo	163	159	111	N.R.	110
Abril	135	144	98	129	106
Mayo	134	128	N.R.	N.R.	N.R.
Junio	123	140	N.R.	N.R.	96
Julio	118	140	N.R.	86	N.R.
Agosto	120	141	151	N.R.	N.R.
Septiembre	133	N.R.	143	N.R.	131
Octubre	155	136	126	122	146
Noviembre	161	143	146	119	128
Diciembre	153	139	N.R.	106	143

N.R.: No Representativo.



**Figura 3-26.** Gráfico de *boxplot* para PST en base diaria para años 2009 a 2013 para estación Carvajal.

**Tabla 3-15.** Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios diarios entre 2009 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal con los promedios geométricos.

Año	Promedio de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2009	161
2010	144
2011	134
2012	130
2013	115

### 3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y de reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO<sub>2</sub>, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO<sub>2</sub> 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.

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

El O<sub>3</sub> es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmósfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la luz solar.

### 3.2.1. Comportamiento de la concentración de SO<sub>2</sub>.

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio diarias y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

#### Comportamiento anual de SO<sub>2</sub>

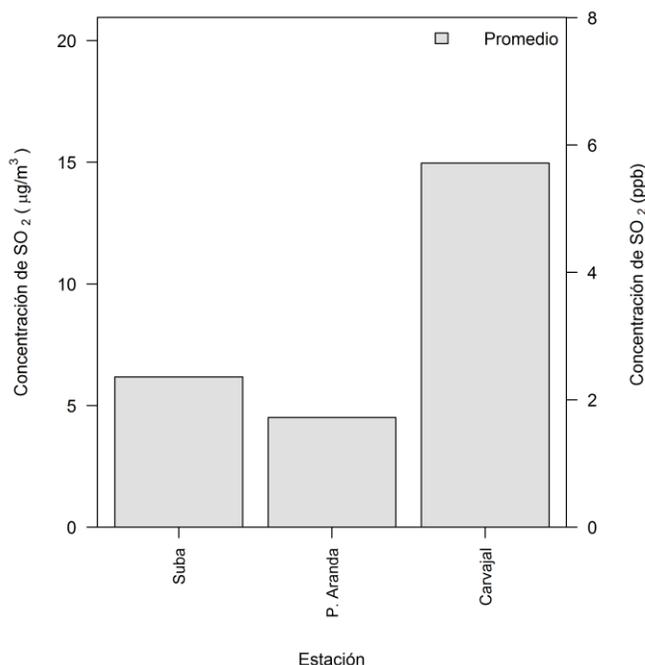
La Tabla 3-16 resume los promedios de dióxido de azufre durante el año 2013 en las estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal igual o superior a 75%. Por tanto, se muestran los datos de las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal, las cuales están ubicadas en la parte noroccidental, occidental y suroccidental de Bogotá. La estación Carvajal marca una diferencia considerable porque su promedio es notablemente superior. Esto se debe a que esta estación se ubica en las inmediaciones de un corredor vial (Autopista Sur) donde transita un alto flujo de vehículos de transporte público y de carga pesada y, además, hay una fuerte actividad industrial en la zona.

**Tabla 3-16.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante durante el año 2013. Solamente se presentan los promedios de aquellas estaciones con un porcentaje de representatividad temporal superior a 75%.

Estación	% de datos válidos	Promedio [µg/m <sup>3</sup> ]	Promedio [ppb]
Suba	90%	6	2.4
Las Ferias	71%	N.R.	N.R.
Parque Simón Bolívar	61%	N.R.	N.R.
Fontibón	70%	N.R.	N.R.
Puente Aranda	99%	5	1.7
Kennedy	58%	N.R.	N.R.
Carvajal	98%	15	5.7
Tunal	71%	N.R.	N.R.
San Cristóbal	67%	N.R.	N.R.

N.R.: No Representativo.

La Figura 3-27 presenta el diagrama de barras de las concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> para las estaciones que cumplieron el criterio de representatividad temporal. Se presentan dos escalas: µg/m<sup>3</sup> y ppb. Ninguna estación superó la norma anual establecida de 80 µg/m<sup>3</sup> (correspondiente a 31 ppb).



**Figura 3-27.** Concentración promedio de SO<sub>2</sub> en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% durante el año 2013.

### Comportamiento de SO<sub>2</sub> promedios móviles de 3 horas

Durante el periodo analizado se obtuvieron 60545 (sesenta mil quinientos cuarenta y cinco) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 77% de los posibles en el año 2013. En la Tabla 3-17 se muestra un resumen estadístico de los datos por estación, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-28 se visualizan las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma.

El valor límite permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m<sup>3</sup>) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. De acuerdo a la Tabla 3-17 la concentración más alta de SO<sub>2</sub> en el año 2013 fue 173 µg/m<sup>3</sup> en la estación Carvajal. La estación Kennedy registró 101 µg/m<sup>3</sup> como concentración máxima.

El día jueves 08 de agosto de 2013, entre 09:00 a.m. y 10:00 a.m., la concentración de SO<sub>2</sub> a nivel ciudad fue relativamente alta con un promedio de 39 µg/m<sup>3</sup> (15 ppb). Este evento pudo ser generado por condiciones meteorológicas adversas que impidieron la dispersión de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá.

El 21 de abril y el 19 de noviembre son otros días que registraron altas concentraciones por la coincidencia de los máximos de Parque Simón Bolívar y Tunal, Fontibón y Puente Aranda, respectivamente.

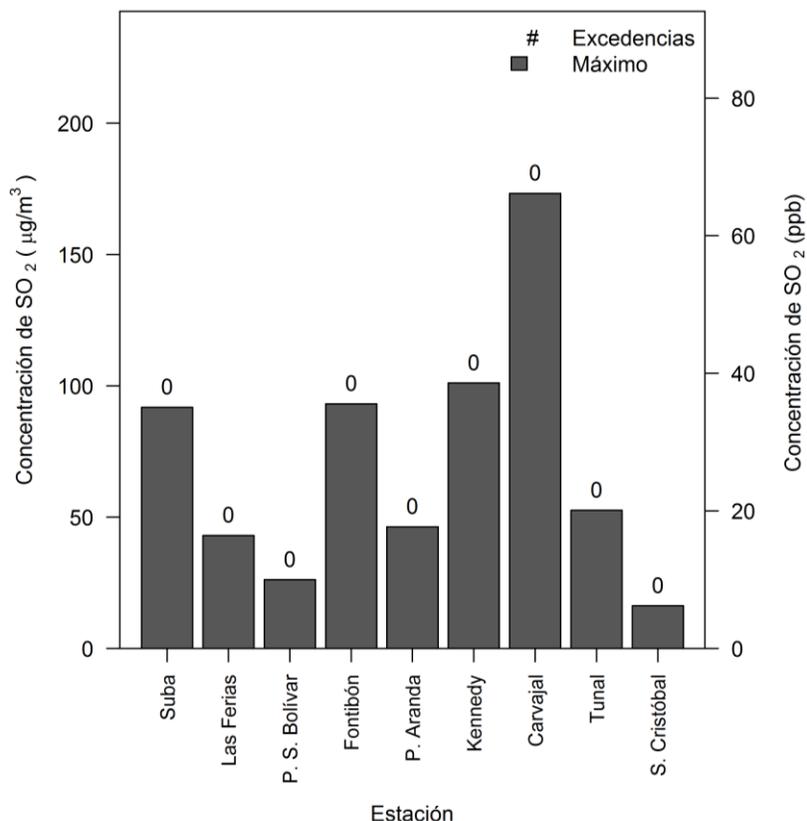


Figura 3-28. Máximos y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base de 3 horas por estación durante el año 2013.

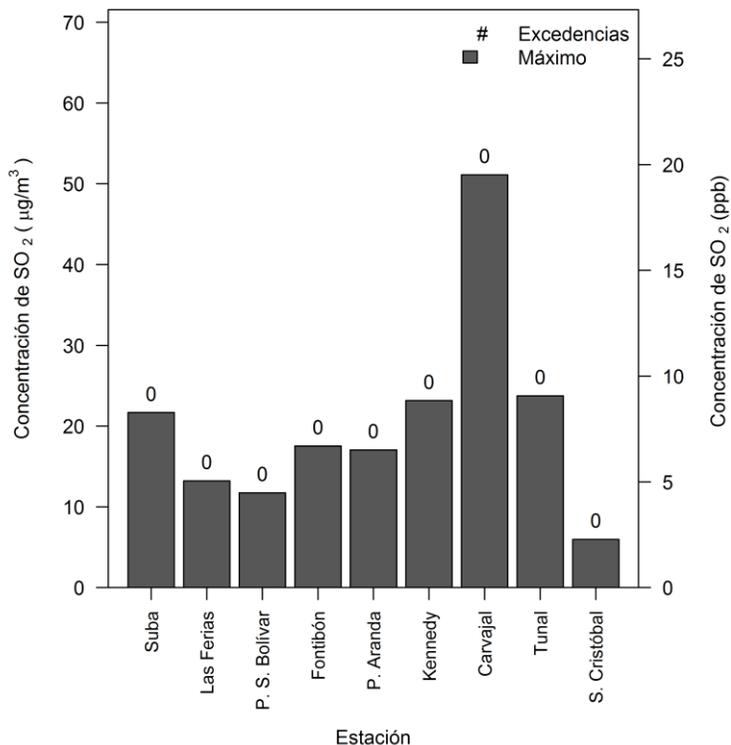
Tabla 3-17. Resumen de datos de SO<sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m³]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	90%	92	35	08/08/2013 09:00
Las Ferias (Carrefour)	75%	43	16	12/01/2013 09:00
Parque Simón Bolívar (IDRD)	61%	26	10	21/04/2013 17:00
Fontibón	71%	93	36	19/11/2013 02:00
Puente Aranda	98%	46	18	19/11/2013 03:00
Kennedy	59%	101	39	27/12/2013 02:00
Carvajal (Sony)	96%	173	66	29/09/2013 21:00
Tunal	72%	53	20	21/04/2013 17:00
San Cristóbal	69%	16	6	01/06/2013 11:00

### Comportamiento diario de la concentración de SO<sub>2</sub>

Se analizaron 2497 (dos mil cuatrocientos noventa y siete) valores diarios cuya representatividad temporal es del 76%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m<sup>3</sup>) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m<sup>3</sup>). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como PM<sub>10</sub> y ozono.

En la Figura 3-29 y la Tabla 3-18 se muestra un resumen de las concentraciones máximas de SO<sub>2</sub>, y el número de excedencias a la norma para cada una de las estaciones en base diaria. La estación Carvajal registra la concentración media más alta de la RMCAB con 51 µg/m<sup>3</sup> el día 13 de junio de 2013. Este valor es seguido con los máximos de las estaciones Tunal, Kennedy y Suba las cuales presentan valores similares. El valor máximo de Carvajal es notablemente mayor que sus equivalentes registrados en las demás estaciones. Esta zona se caracteriza por su fuerte actividad industrial y circulación de tráfico pesado. Por este motivo, los niveles de SO<sub>2</sub> son comparativamente más altos.



**Figura 3-29.** Concentraciones máximas y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base diaria por estación durante el año 2013.

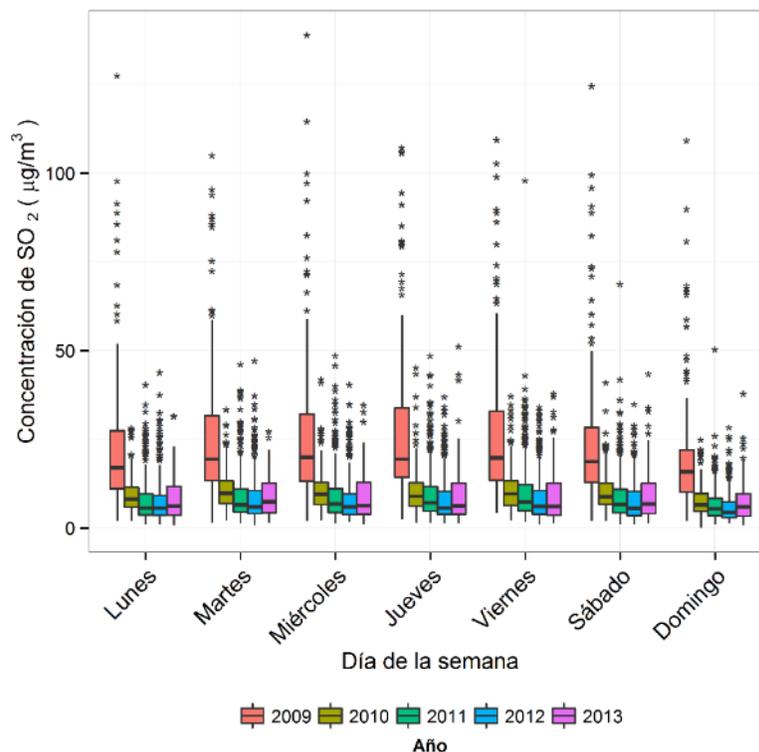
**Tabla 3-18.** Resumen de datos en base 24 horas de SO<sub>2</sub> por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba (Corpas)	90%	22	8	02/02/2013
Las Ferias (Carrefour)	71%	13	5	12/01/2013
Parque Simón Bolívar (IDRD)	61%	12	4	14/01/2013
Fontibón	70%	18	7	20/11/2013
Puente Aranda	99%	17	7	19/07/2013
Kennedy	58%	23	9	27/12/2013
Carvajal (Sony)	98%	51	20	13/06/2013
Tunal	71%	24	9	22/04/2013
San Cristóbal	67%	6	2	05/05/2013

### Comportamiento histórico de promedios de SO<sub>2</sub>. Base de tiempo diaria.

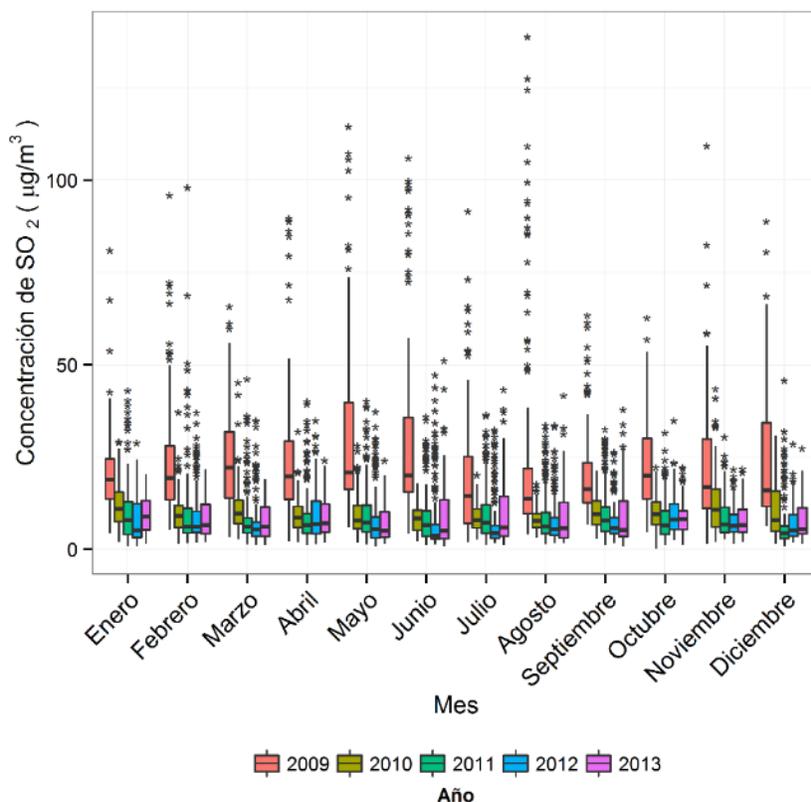
La Figura 3-30 es un gráfico *boxplot* que muestra las tendencias históricas de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana. El año 2009 registra, con una diferencia notable, los mayores niveles de concentración y dispersión en comparación con los 4 años siguientes, lo cual puede ser atribuible a la mejora en la calidad del combustible diésel en relación a su contenido de azufre (ver sitio del Observatorio Ambiental de Bogotá <http://www.oab.ambientebogota.gov.co>) y/o al proceso de modernización de la RMCAB en lo referente a la instalación de nuevos equipos marca THERMO y Teledyne API en dicho periodo. Además, un número reducido de estaciones en 2009 cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% de las cuales Carvajal tiene una concentración notablemente alta.

En comparación con el año 2012, los niveles de concentración entre lunes y viernes se mantuvieron constantes y hubo un aumento leve en los fines de semana (sábados y domingos). Con excepción del año 2009, la dispersión de los datos en 2013 es mayor en comparación con el periodo 2010 – 2012 y la cantidad de datos atípicos es menor. Los domingos y lunes registran las menores concentraciones, debido en el primer caso, a la reducción de actividades de tráfico y, en el segundo caso, a la capa residual del día anterior.



**Figura 3-30.** Gráfico de *boxplot* para SO<sub>2</sub> por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los meses del año se observa en la Figura 3-31. Con excepción de 2009, no se observa una diferencia notable entre los meses. El máximo valor diario registrado fue de 139 µg/m<sup>3</sup> en el mes de agosto de 2009. La variabilidad de los datos en 2013 aumentó en comparación con el periodo 2010 – 2012.



**Figura 3-31.** Gráfico de *boxplot* para SO<sub>2</sub> en base diaria, por meses, entre 2009 y 2013.

La Figura 3-32 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente y que cumplen el criterio de representatividad temporal anual de 75%. Como fue evidenciado en la Figura 3-27, las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal cumplieron en 2013 con el criterio de representatividad temporal de 75%. Se observa un cambio abrupto en la Estación Carvajal entre el año 2009 y el periodo 2011 – 2013 posiblemente por el cambio de los analizadores en el proceso de modernización de la RMCAB. En las demás estaciones las diferencias son menos marcadas. Con excepción de Suba, todas las estaciones de la RMCAB han reducido su concentración de forma progresiva lo que evidencia una mejoría de la calidad del aire en los años estudiados. La Figura 3-33 es un gráfico *boxplot* que describe la tendencia histórica general de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> entre 2009 y 2013 y la Tabla 3-19 es el resumen estadístico descriptivo correspondiente. Entre 2009 y 2012 los niveles de concentración se redujeron progresivamente. Sin embargo, se presentó un aumento leve en el año 2013 así como de la dispersión de los datos. La cantidad de datos atípicos tiende a mantenerse constante y en niveles similares de concentración con respecto a 2012. La

diferencia notable de 2009 se observa nuevamente así como la gran cantidad de valores atípicos.

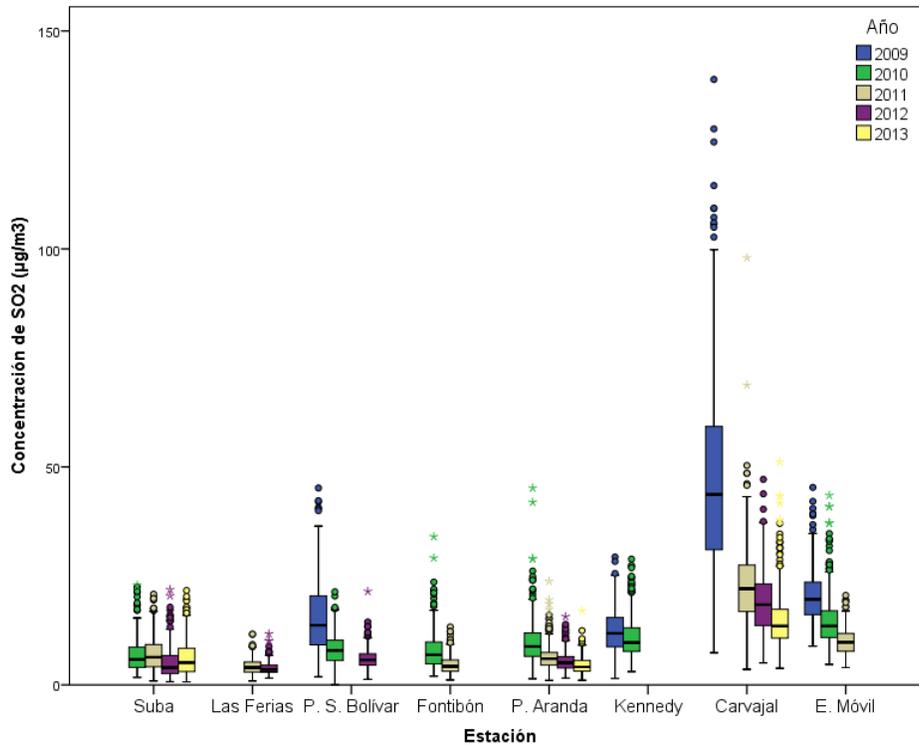
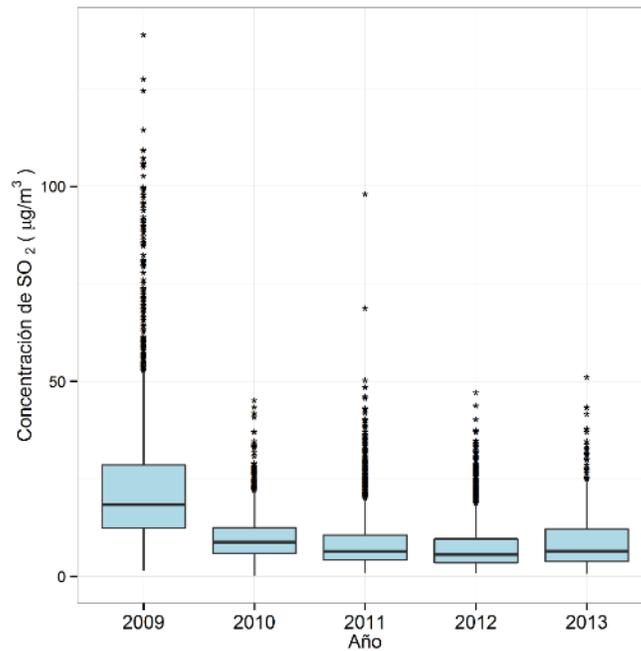


Figura 3-32. Gráfico de *boxplot* para SO<sub>2</sub> diario por estaciones entre 2009 y 2013<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Se presentan para este caso de SO<sub>2</sub> los datos de la estación móvil para los años 2009, 2010 y 2011 al estar ubicada en el mismo sitio durante estos tres años: Localidad: Puente Aranda, Zona Industrial, emplazada en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud (Carrera 32 No. 12-81).



**Figura 3-33.** Gráfico de *boxplot* para SO<sub>2</sub> diario entre 2009 y 2013.

**Tabla 3-19.** Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en promedios diarios entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de SO <sub>2</sub> en ppb			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	ppb	µg/m <sup>3</sup>
2009	53.0	139	0.2	1
2010	21.8	57	0.0	0
2011	37.4	98	0.2	1
2012	18.0	47	0.3	1
2013	19.5	51	0.2	0

### 3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO<sub>2</sub>

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO<sub>2</sub> para el año 2013 a partir de los datos obtenidos en 7 estaciones que se presentan en la Tabla 1-1. No se incluye la estación Carvajal ya que el analizador correspondiente requiere de estudios de intercomparabilidad de datos. Las estaciones Guaymaral, Suba y Las Ferias se descartan para el cálculo de promedios al presentar un porcentaje de representatividad temporal menor a 75%. En el año 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones Suba y Parque Simón Bolívar. En marzo de 2010 se inició el registro en la estación Kennedy.

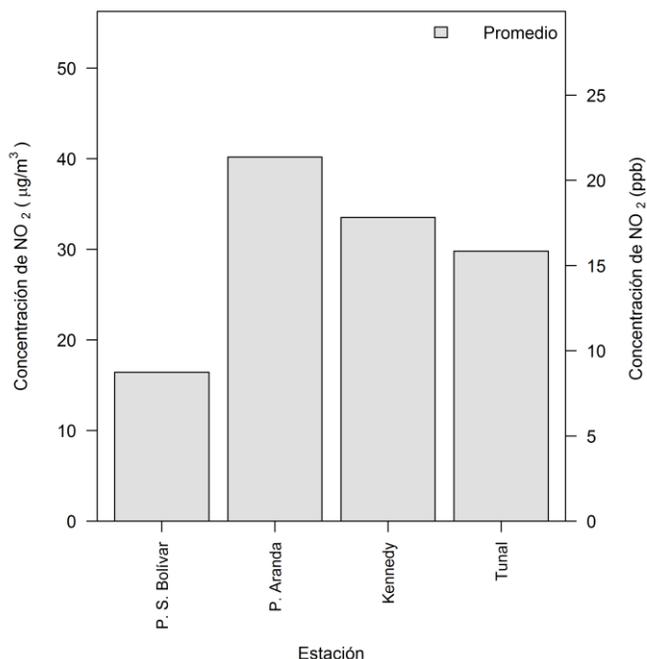
#### Comportamiento anual de NO<sub>2</sub>

La Tabla 3-20 contiene un resumen de promedios anuales de NO<sub>2</sub> en los años 2012 y 2013 para las estaciones de la RMCAB que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Se muestran las concentraciones tanto en partes por billón en volumen (ppb) como en microgramos por metro cúbico. Las estaciones que presentan datos para los dos años son Parque Simón Bolívar, Kennedy y Tunal, presentando las dos primeras reducciones en 2013 mientras que en la última la concentración se mantuvo constante.

**Tabla 3-20.** Representatividad temporal, promedio en 2012 y 2013 y cambio de concentración de NO<sub>2</sub>.

Estación	Representatividad temporal 2013	Promedio 2013 (ppb)	Promedio 2013 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2012 (ppb)	Promedio 2012 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio 2013-2012 (µg/m <sup>3</sup> )
Guaymaral	35%				0	
Suba	63%			12	23	
Las Ferias	27%				0	
Parque Simón Bolívar	86%	9	16	13	24	-8
Puente Aranda	91%	21	40		0	
Kennedy	93%	18	34	20	38	-4
Tunal	86%	16	30	16	30	0

La Figura 3-34 muestra las concentraciones de este contaminante en el año 2013 con base en los datos diarios. Se observa que con una gran diferencia la estación Parque Simón Bolívar reporta una concentración más baja en comparación con las otras tres. Esto se debe posiblemente a que Parque Simón Bolívar mide predominantemente concentraciones de fondo y las demás están ubicadas en las cercanías a corredores viales.



**Figura 3-34.** Concentración promedio de NO<sub>2</sub> en el año 2013 para las estaciones de la RMCAB que cumplieron con el porcentaje de representatividad temporal igual o superior a 75%. Base de tiempo diaria.

### Comportamiento horario de la concentración de NO<sub>2</sub>

Durante el periodo analizado se obtuvieron 43103 (cuarenta y tres mil ciento tres) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 70%. La Figura 3-35 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, en base de tiempo horaria. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m<sup>3</sup>, Resolución 610 de 2006) pero sí del 50% de la misma (100 µg/m<sup>3</sup>) en Guaymaral, Las Ferias, Puente Aranda, Kennedy y Tunal.

Los valores de porcentajes de representatividad temporal, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-21. Se observa un episodio sectorizado de alta concentración el 11 de enero de 2013 a las 10:00 a.m. hacia el sur-occidente de la ciudad (estaciones de Puente Aranda y Kennedy) y otro el 05 de febrero de 2013 entre 06:00 p.m. y 07:00 p.m. en el norte (estaciones de Guaymaral y Las Ferias). Sin embargo, la máxima concentración se reporta el 02 de septiembre de 2013 a las 10:00 a.m. en la estación Tunal.

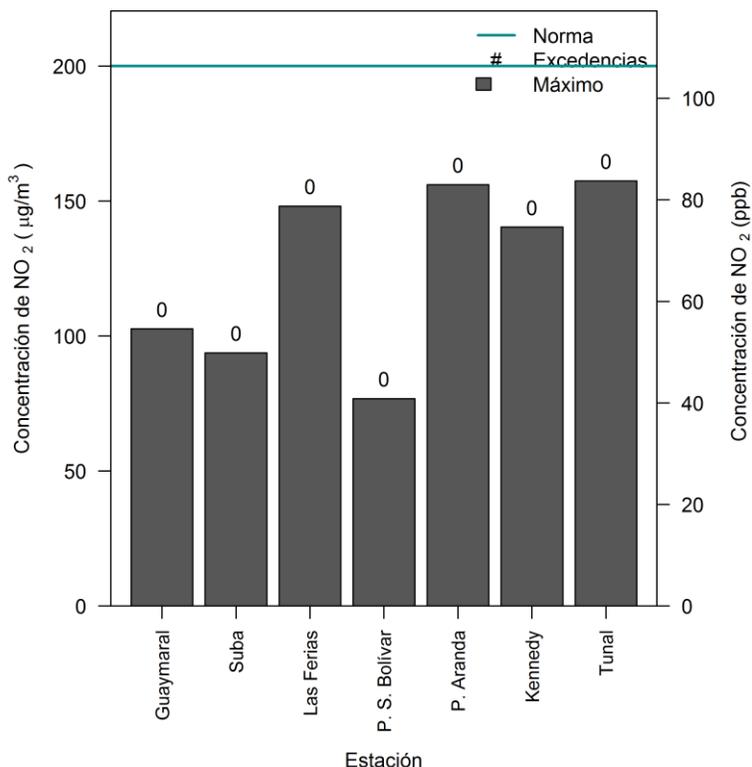


Figura 3-35. Concentración horaria de NO<sub>2</sub> por estación durante el año 2013.

Tabla 3-21. Resumen de datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	37%	55	103	05/02/2013 18:00
Suba	67%	50	94	28/10/2013 18:00
Las Ferias	29%	79	148	05/02/2013 19:00
Parque Simón Bolívar	89%	41	77	01/10/2013 10:00
Puente Aranda	90%	83	156	11/01/2013 10:00
Kennedy	92%	75	140	11/01/2013 10:00
Tunal	88%	84	157	02/09/2013 10:00

### Comportamiento diario de la concentración de NO<sub>2</sub>

En lo referente al año 2013, se calcularon 1756 (mil setecientos cincuenta y seis) promedios diarios de NO<sub>2</sub>, cuya representatividad temporal corresponde al 69% del total de datos posibles. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO<sub>2</sub> para 24 horas (150 µg/m<sup>3</sup>) como se observa en la Figura 3-36. En Las Ferias se registraron 3 excedencias al 50% de la norma (75 µg/m<sup>3</sup>). Esta última estación también registró la máxima concentración diaria del año con 84 µg/m<sup>3</sup> el 05 de febrero de 2013.

En la Tabla 3-22 se reportan los porcentajes de datos válidos, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. El 15 de marzo de 2013 se registró un episodio generalizado de alta concentración en la ciudad ya que estaciones con una distancia mutua considerable registraron elevadas concentraciones el mismo día. Estas son Guaymaral ( $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Suba ( $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Las Ferias ( $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Puente Aranda ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Kennedy ( $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

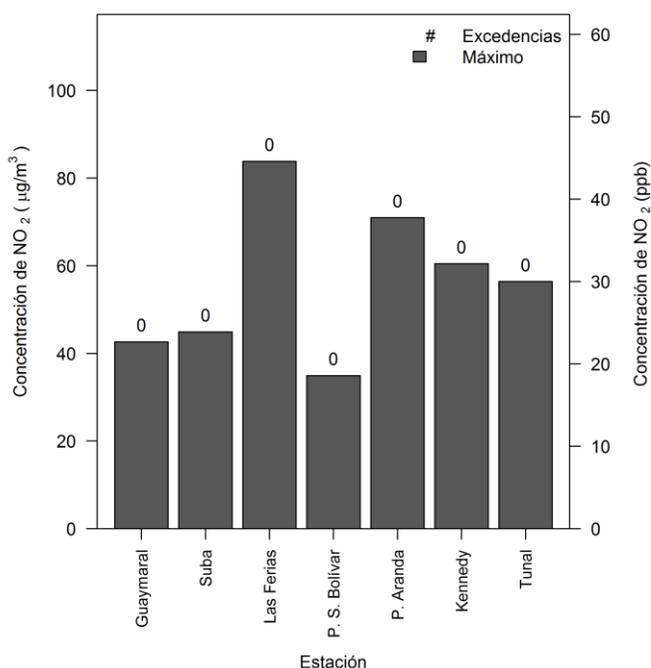


Figura 3-36. Excedencias y concentración máxima de  $\text{NO}_2$  en base diaria por estación para el año 2013.

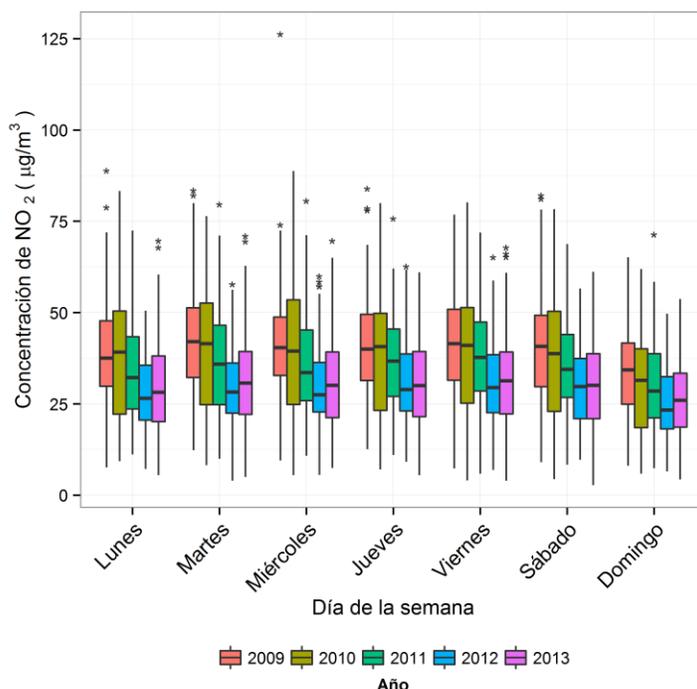
Tabla 3-22. Resumen de datos diarios de  $\text{NO}_2$  por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppb)	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	35%	23	43	22/03/2013
Suba	63%	24	45	19/07/2013
Las Ferias	27%	45	84	05/02/2013
Parque Simón Bolívar	86%	19	35	01/10/2013
Puente Aranda	91%	38	71	01/10/2013
Kennedy	93%	32	60	12/03/2013
Tunal	86%	30	56	25/11/2013

### Comportamiento histórico de promedios de $\text{NO}_2$ . Base de tiempo diaria.

Se presenta el comportamiento histórico a continuación, sin embargo debe considerarse el hecho de que el este parámetro no es medido con la misma intensidad en todas las estaciones ni entre los diferentes años, debido a asuntos relacionados con la operatividad

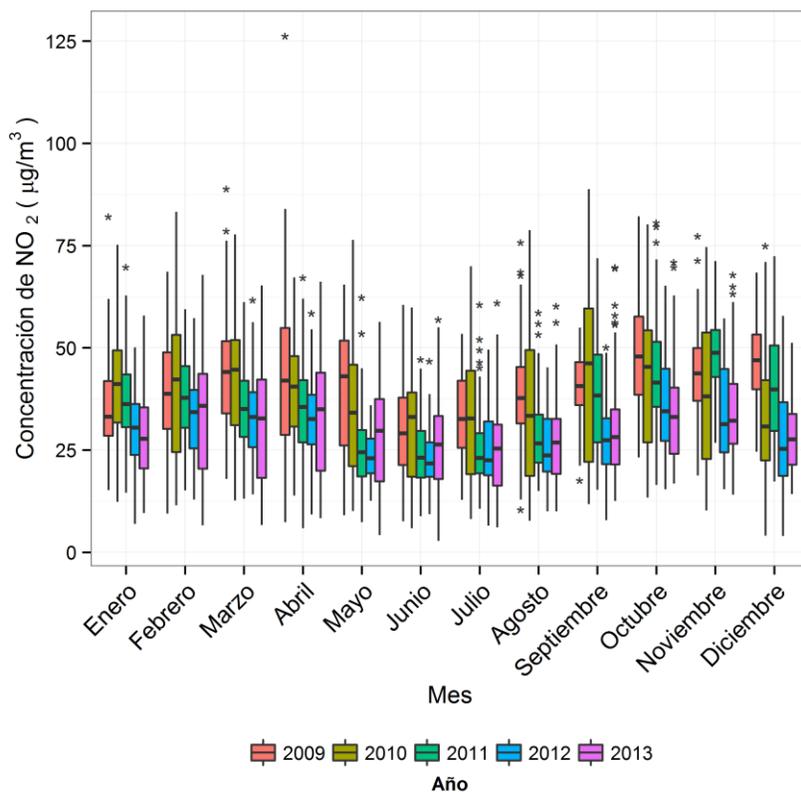
de la RMCAB y por eventos fortuitos que motivan el traslado o suspensión de una estación en particular. Para el año 2013 se cuenta con información representativa de 4 estaciones. La Figura 3-37 muestra el comportamiento de la concentración de NO<sub>2</sub> en función de los días de la semana entre 2009 y 2013. Como es usual los días domingo registran las menores concentraciones y presentan menor dispersión en sus datos. El máximo histórico registrado por las estaciones de la RMCAB fue el 08 de abril de 2009 en Parque Simón Bolívar, pero no se excede la norma diaria correspondiente de 150 µg/m<sup>3</sup> según la Resolución 610 de 2010. En comparación con el año 2012, las concentraciones se mantuvieron en niveles constantes para todos los días de la semana.



**Figura 3-37.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> por días de la semana (base diaria) comparando el año 2013 con años anteriores.

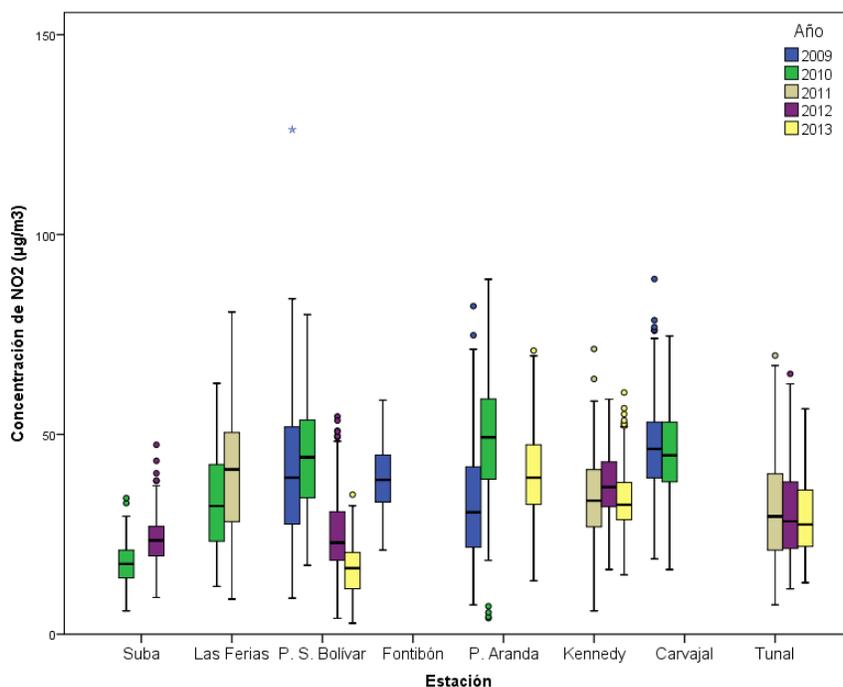
En la Figura 3-38 se presenta la distribución de los datos función de los meses del año entre 2009 y 2013. De forma similar al caso del material particulado PM<sub>10</sub>, las menores concentraciones se han observado históricamente en mitad de año, especialmente en los meses de junio y julio. Este comportamiento se atribuye a una mejor ventilación de la ciudad durante dicha época al aumentar la velocidad de los vientos la cual favorece la mezcla de contaminantes en el aire ambiente.

Los años 2009 y 2010 marcan una diferencia considerable en términos de niveles de contaminación en comparación con 2012 y 2013. Este hecho evidencia una mejora progresiva de la calidad del aire de la ciudad. Las concentraciones más altas se observan en febrero, octubre y noviembre. La dispersión de los datos aumenta drásticamente en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio y es significativamente mayor que la correspondiente al año 2012. Estos niveles se asemejan a los observados para el año 2010.



**Figura 3-38.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> en base diaria por meses ente 2009 y 2013.

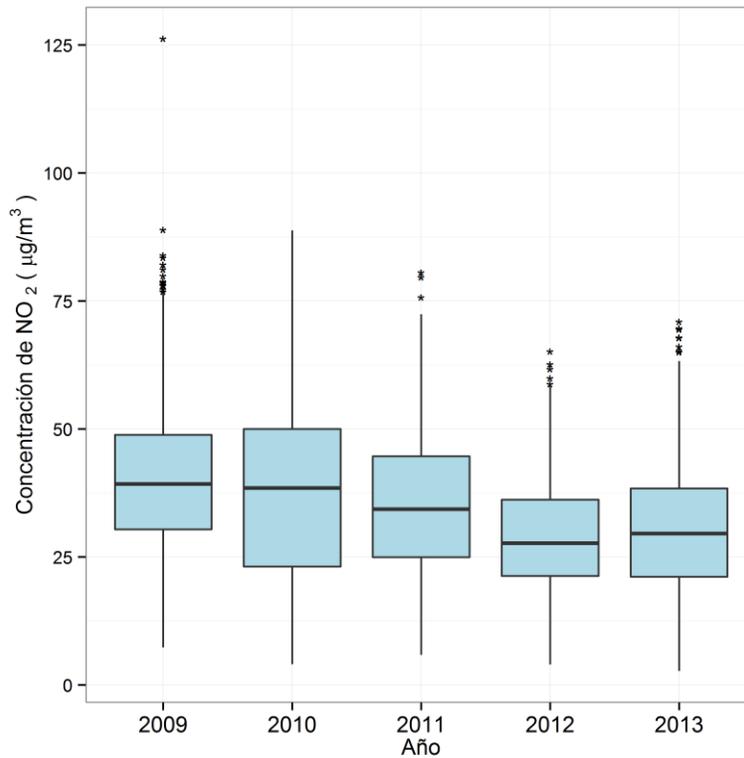
La Figura 3-39 presenta la distribución de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los años. Por tanto, se muestra un total de 4 estaciones para el 2013. Como se mencionó previamente, en comparación con el 2012 hay disminución de las concentraciones en Parque Simón Bolívar y Kennedy así como niveles relativamente constantes en Tunal. Las concentraciones en Puente Aranda son mayores respecto al año 2009 pero menores si se comparan con los datos de 2010. Los menores niveles de dispersión se observan en Suba, Parque Simón Bolívar y Kennedy.



**Figura 3-39.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> por estaciones en base diaria entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-40 se encuentra un gráfico *boxplot* con la distribución general de los datos entre 2009 y 2013. En comparación con el año 2012, la variabilidad aumentó aunque la cantidad de datos atípicos se mantuvo relativamente constante. El año más disperso fue 2010 debido posiblemente a influencia de la variabilidad climática y meteorológica. La concentración de NO<sub>2</sub> se ha reducido progresivamente con el transcurrir de los años.

La Tabla 3-23 es un resumen histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO<sub>2</sub> entre 2009 y 2013. Los valores máximos se redujeron progresivamente entre 2009 y 2012 evidenciando mejora de la calidad del aire. Sin embargo, se presentó un leve aumento en 2013.



**Figura 3-40.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> en base diaria entre 2009 y 2013.

**Tabla 3-23.** Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en base diaria entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de NO <sub>2</sub>			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	ppb	µg/m <sup>3</sup>
2009	67	126	3	6
2010	47	89	2	4
2011	47	89	3	6
2012	41	77	2	4
2013	45	84	1	3

### 3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el año 2013 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) en base de 1 hora y de 8 horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-1. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 69% en base horaria respecto al máximo posible de información a obtener. Las estaciones Usaquén, Tunal y San Cristóbal no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% y fueron descartadas para el cálculo de promedios.

#### Comportamiento horario de CO

Se obtuvieron 54058 (cincuenta y cuatro mil cincuenta y ocho) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB durante el año 2013. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m<sup>3</sup>, Resolución 610 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma (20 mg/m<sup>3</sup>). En la Tabla 3-24 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el valor máximo horario (en ppm y en mg/m<sup>3</sup>) y el día y hora en que ocurrieron. El máximo valor se registró en la estación Tunal el 04 de septiembre de 2013 a las 08:00 a.m. con 7,1 mg/m<sup>3</sup>. La estación Usaquén tiene un porcentaje de representatividad temporal de solamente 5% de manera que el valor máximo reportado corresponde a una muestra muy reducida de información.

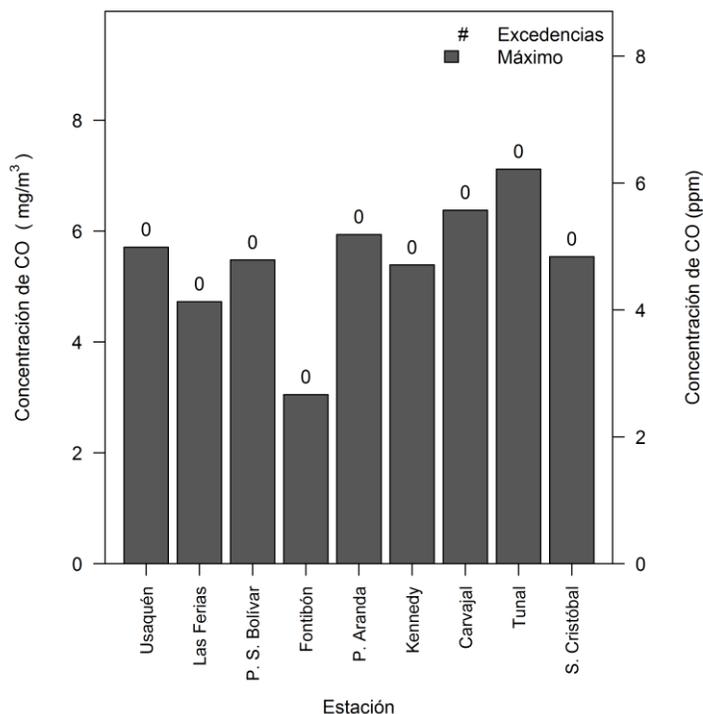


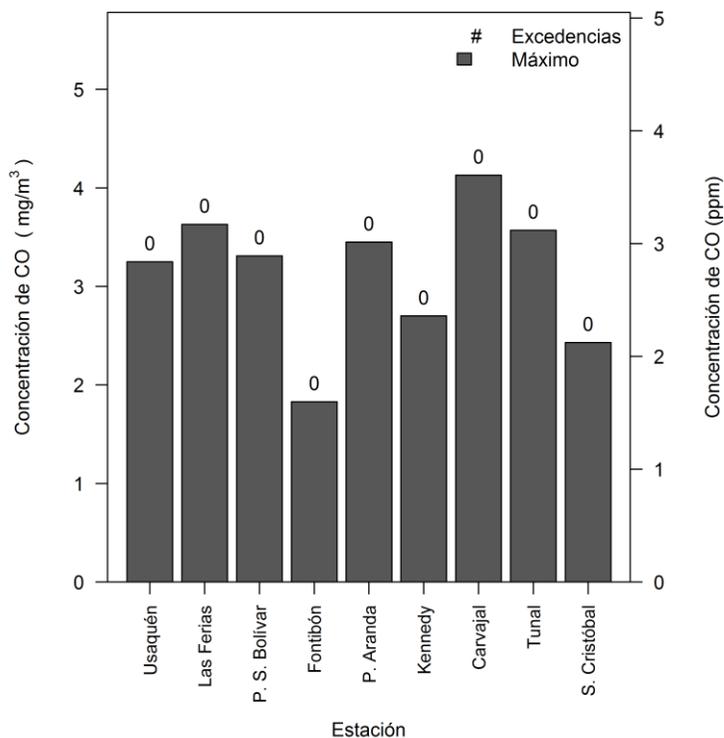
Figura 3-41. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO durante el año 2013.

**Tabla 3-24.** Resumen de datos horarios de CO por estación para el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	5%	5,0	5,7	0	11/02/2013 08:00
Las Ferias	85%	4,1	4,7	0	22/03/2013 21:00
Parque Simón Bolívar	85%	4,8	5,5	0	03/05/2013 20:00
Fontibón	83%	2,7	3,1	0	14/06/2013 07:00
Puente Aranda	96%	5,2	5,9	0	11/01/2013 09:00
Kennedy	94%	4,7	5,4	0	03/09/2013 07:00
Carvajal	96%	5,6	6,4	0	19/10/2013 02:00
Tunal	50%	6,2	7,1	0	04/09/2013 08:00
San Cristóbal	23%	4,8	5,5	0	23/03/2013 11:00

### Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

Para el año 2013 se calcularon 53452 (cincuenta y tres mil cuatrocientos cincuenta y dos) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 68% de los datos posibles en el periodo. La estación Carvajal registró el máximo episodio de concentración promediada de 8 horas, con 4,1 mg/m<sup>3</sup> (Figura 3-42) el 24 de diciembre a las 06:00 a.m. Consecuentemente, no se presentaron excedencias al límite normativo (10 mg/m<sup>3</sup> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).



**Figura 3-42.** Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación durante el año 2013.

La Tabla 3-25 presenta un resumen de los datos de CO en función de las concentraciones en base de 8 horas. Se incluye el porcentaje de datos válidos y la máxima concentración con respectiva fecha y hora de ocurrencia.

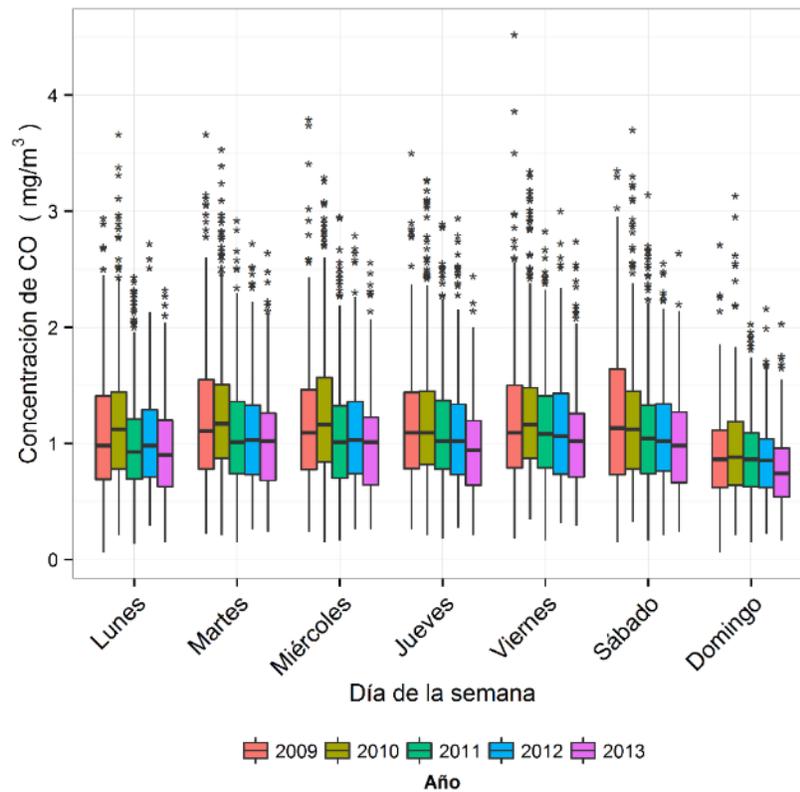
**Tabla 3-25.** Resumen de datos de CO por estación en 2013. Base de 8 horas.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	5%	2.8	3.3	0	08/02/2013 23:00
Las Ferias	85%	3.2	3.6	0	23/03/2013 13:00
Parque Simón Bolívar	84%	2.9	3.3	0	04/09/2013 03:00
Fontibón	82%	1.6	1.8	0	16/03/2013 01:00
Puente Aranda	96%	3.0	3.5	0	03/05/2013 23:00
Kennedy	94%	2.4	2.7	0	16/03/2013 01:00
Carvajal	95%	3.6	4.1	0	24/12/2013 06:00
Tunal	47%	3.1	3.6	0	30/11/2013 00:00
San Cristóbal	22%	2.1	2.4	0	23/03/2013 12:00

### Análisis de tendencias históricas

La elaboración de los *boxplot* de tendencias históricas que se presentan a continuación consideró promedios diarios. Si bien no existe una norma diaria para este contaminante, los cálculos se desarrollan con el objetivo de visualizar el comportamiento de una forma más clara mediante la suavización de las tendencias y la reducción de datos atípicos.

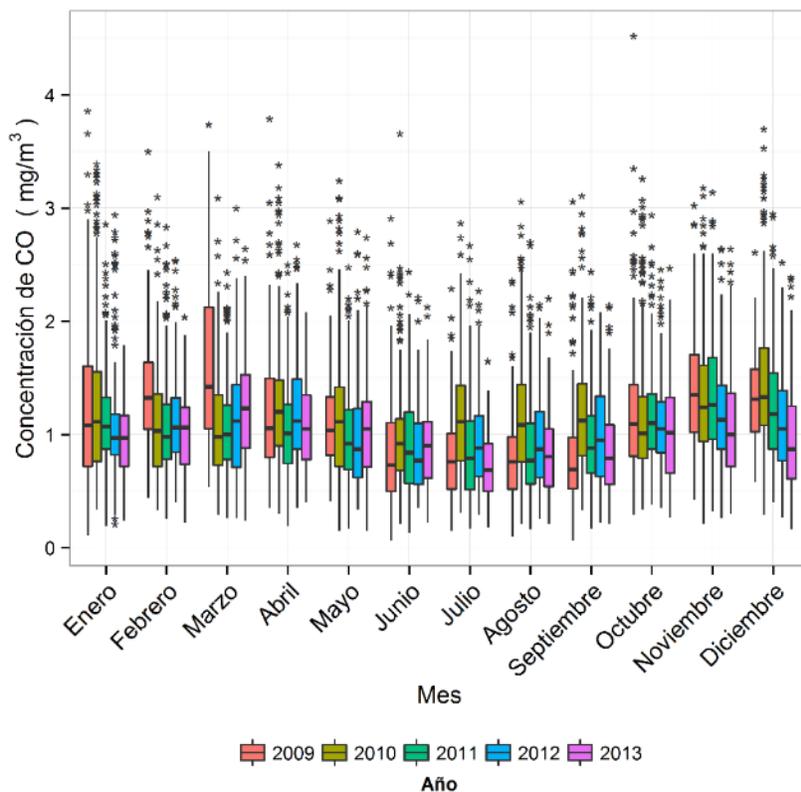
La Figura 3-43 muestra las tendencias históricas de la concentración de monóxido de carbono entre 2009 y 2013 en función de los días de la semana. El domingo registra los menores niveles de concentración y de dispersión de datos mientras que los días viernes y sábado tienden a mantener concentraciones más altas. Esto se debe a que los domingos presentan generalmente un cambio sustancial de actividad en comparación con los demás días de la semana. En comparación con el año 2012, las concentraciones de CO disminuyeron en todos los días de la semana. A partir de 2010 se observa una tendencia clara de reducción de los niveles de este contaminante. La cantidad de datos atípicos entre los diferentes años es comparable. A pesar de que el domingo registra las concentraciones más bajas, la diferencia con los demás días no es tan alta si se tienen en cuenta los límites normativos (40 mg/m<sup>3</sup> horario y 10 mg/m<sup>3</sup> en ocho horas de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).



**Figura 3-43.** Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por días de la semana entre 2009 y 2013.

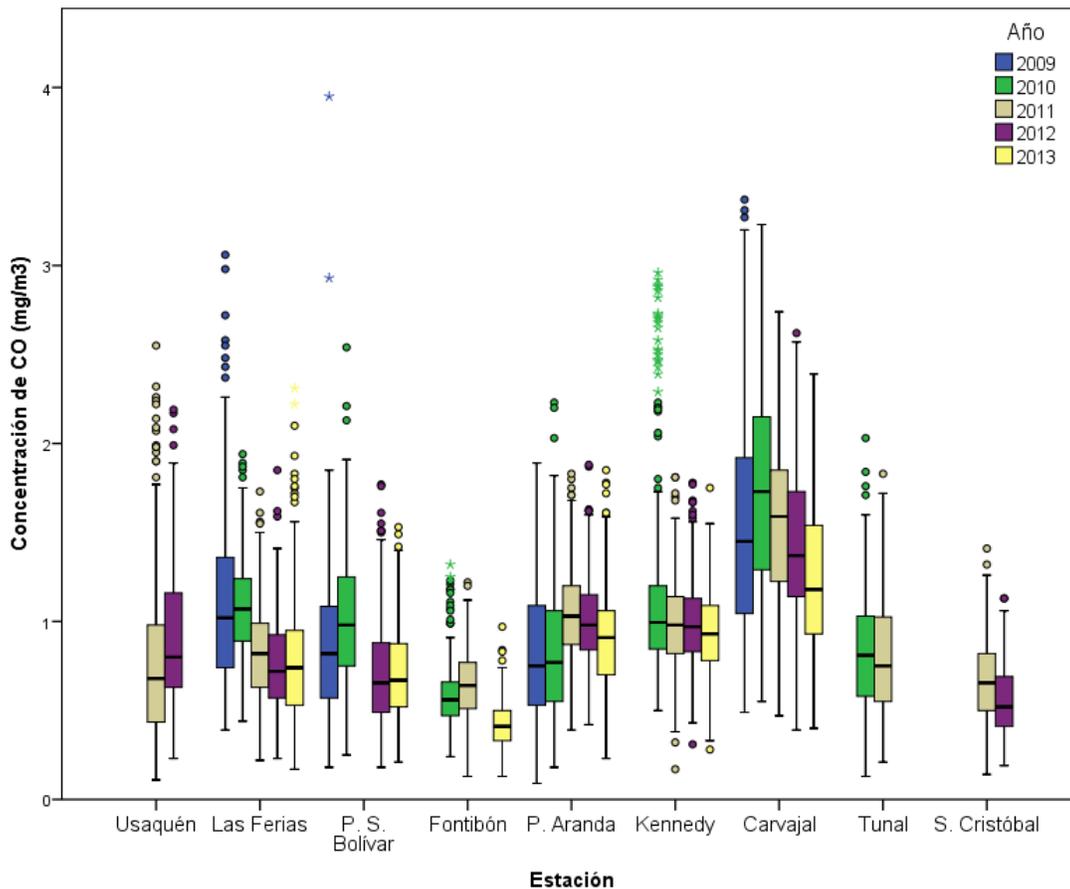
La Figura 3-44 representa la tendencia de la concentración de CO en función de los meses del año entre 2009 y 2013 en base diaria. Marzo de 2009 registra niveles más altos así como mayor dispersión y octubre del mismo año el valor atípico más alto. En general, se observan mayores concentraciones en noviembre y diciembre y menores en junio y julio. Esta tendencia es similar a la observada para material particulado PM<sub>10</sub>.

Los cambios de niveles de concentración en los diferentes años discriminados entre los 12 meses son variables. Diciembre y enero son los únicos meses que han reducido su concentración progresivamente desde el año 2010. Por el contrario, marzo registra un aumento gradual. Marzo y mayo fueron los únicos meses del año 2013 que aumentaron su concentración en comparación con los niveles registrados en 2012.



**Figura 3-44.** Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-45 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO entre 2009 y 2013 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La base de tiempo es 24 horas al igual que las dos figuras anteriores. Los mayores niveles de concentración se observan en Carvajal en todos los años estudiados, un hecho que es concordante con las características de los alrededores de la estación (zona industrial y en las inmediaciones de la Autopista Sur y La Avenida Boyacá). Desde el año 2010 esta estación ha reducido sus concentraciones promedio de forma progresiva. Las menores concentraciones se observan en las estaciones Fontibón y San Cristóbal. Con excepción de Las Ferias y Parque Simón Bolívar, todas las estaciones redujeron sus niveles de concentración en el año 2013. La variabilidad de los datos no mostró una tendencia definida ya que se observaron tanto aumentos como reducciones de la misma.



**Figura 3-45.** Gráfico de boxplot para CO en base diaria por estaciones entre 2009 y 2013.

La Figura 3-46 muestra el comportamiento generalizado histórico de las concentraciones de monóxido de carbono entre 2009 y 2013 en base diaria. Como se ha mencionado, desde 2010 hay una reducción progresiva de los niveles de concentración de este contaminante así como de los valores máximos. La dispersión de los datos es similar a lo largo de los diferentes años. La Tabla 3-26 es un resumen descriptivo del comportamiento general de este contaminante.

En resumen, el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del  $PM_{10}$  y el  $O_3$ . Sus concentraciones promedio no exceden en ningún caso la normatividad.

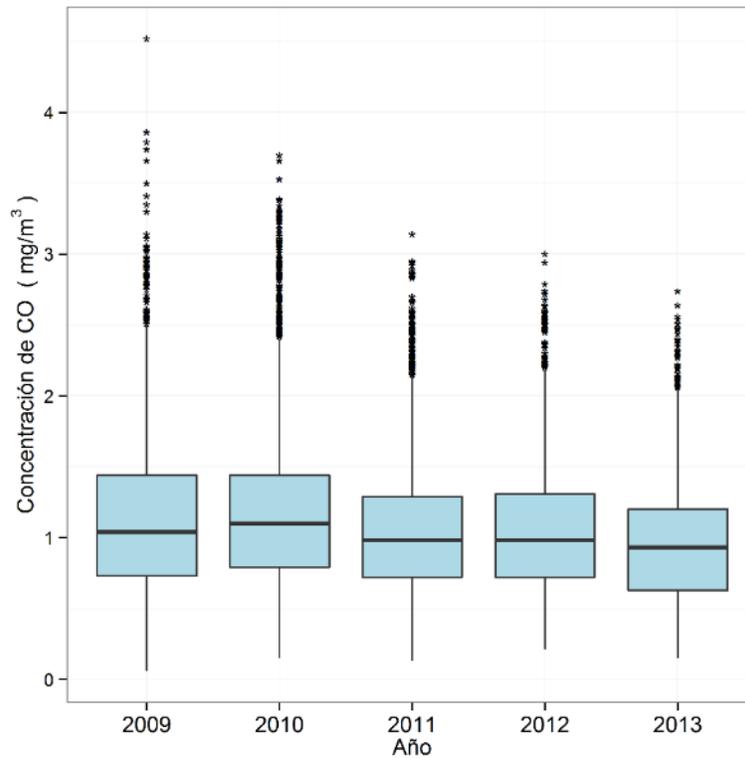


Figura 3-46. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria entre 2009 y 2013.

Tabla 3-26. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de CO en ppm y mg/m <sup>3</sup>			
	Máximo		Mínimo	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
2009	16.1	18.4	0.0	0.0
2010	11.8	13.5	0.0	0.0
2011	7.9	9.0	0.0	0.0
2012	6.1	7.0	0.0	0.0
2013	6.2	7.1	0.0	0.0

### 3.2.4. Comportamiento de la concentración de O<sub>3</sub>

La RMCAB contó con doce (12) equipos para monitorear ozono durante el año 2013, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1.

#### Comportamiento horario de O<sub>3</sub>

Durante el año 2013 se obtuvieron 76589 (setenta y seis mil quinientos ochenta y nueve) promedios horarios de O<sub>3</sub>, lo que representa un porcentaje de recuperación de los datos de 80%. El porcentaje de recuperación, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m<sup>3</sup> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora se presentan en la Tabla 3-27. Se presentó un total de 28 excedencias en las estaciones Guaymaral (8), Parque Simón Bolívar (7), Suba (6), Las Ferias (4), Fontibón (2) y Usaquén (1). Estas excedencias representan un 0,4% del total de datos recuperados.

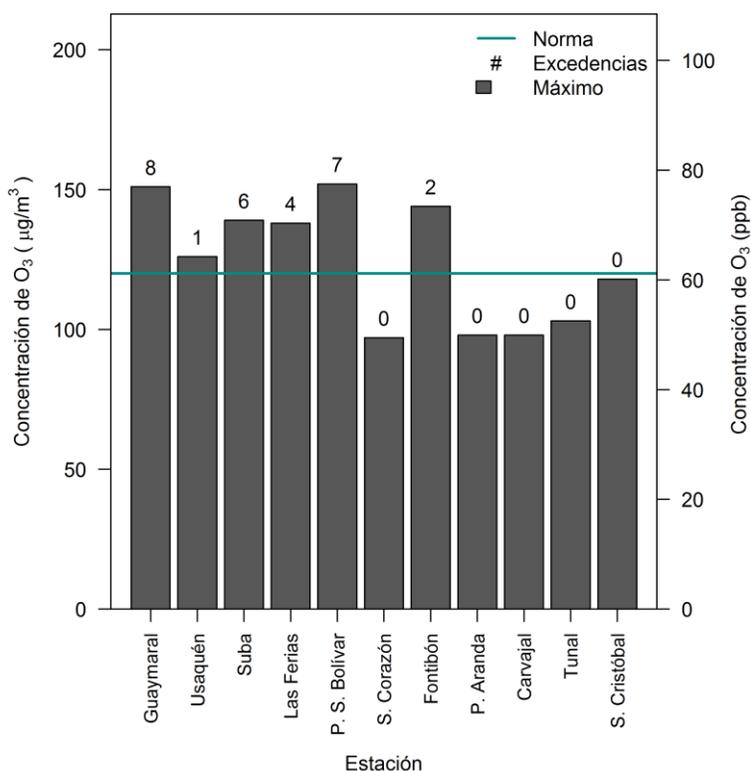
La mayoría de concentraciones máximas se presentaron en los meses de enero y abril de 2013 entre la 01:00 p.m. y las 03:00 p.m, horas en donde el sol se encuentra en un punto alto y la reacción fotoquímica puede darse más fácil. En el día 06 de abril entre 01:00 p.m. y 02:00 p.m. se registró un episodio singular y generalizado de alta contaminación por ozono en Bogotá ya que en dicha hora las estaciones Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón, Fontibón y Carvajal registraron sus valores más altos en la serie anual. El máximo valor registrado fue 152 µg/m<sup>3</sup> en la estación Parque Simón Bolívar.

**Tabla 3-27.** Resumen descriptivo de datos de O<sub>3</sub> por estación para el año 2013. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Máximo [ppb]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	94%	8	0,1%	151	77	04/04/2013 17:00
Usaquén	89%	1	0,0%	126	64	18/10/2013 14:00
Suba	81%	6	0,1%	139	71	26/01/2013 14:00
Las Ferias	69%	4	0,1%	138	70	26/01/2013 14:00
Parque Simón Bolívar	74%	7	0,1%	152	78	06/04/2013 14:00
Sagrado Corazón	53%	0	0,0%	97	49	06/04/2013 14:00
Fontibón	82%	2	0,0%	144	74	06/04/2013 14:00
Puente Aranda	83%	0	0,0%	98	50	11/01/2013 15:00
Carvajal	92%	0	0,0%	98	50	06/04/2013 13:00
Tunal	91%	0	0,0%	103	53	25/03/2013 13:00
San Cristóbal	66%	0	0,0%	118	60	25/03/2013 13:00

En base horaria, 4 estaciones no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% (Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón y San Cristóbal). Sin embargo, se reportan los valores de concentración máxima y de excedencias al corresponder estos a eventos singulares, como se muestra en la Figura 3-47.

En el año 2012 se registraron 155 excedencias de la norma horaria, un porcentaje de recuperación del 87% y una estación (Fontibón) que no cumplió con el criterio de representatividad temporal para el cálculo de promedios. De la Figura 3-47 se puede ver un total de excedencias de 28, valor muy por debajo total registrado en 2012.



**Figura 3-47.** Concentración máxima y excedencias de la norma para O<sub>3</sub> en base horaria por estación durante el año 2013.

### Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O<sub>3</sub>

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 75608 (setenta y cinco mil seiscientos ocho) promedios que representan el 79% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el año 2013. Se obtuvieron 111 datos por encima de la norma (80 µg/m<sup>3</sup>, Res. 610 de 2010) correspondiendo a 0,2% del total. Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrieron los máximos por estación se presentan en la Tabla 3-28. En la Figura 3-48 se muestran las concentraciones máximas y las excedencias en base de ocho horas de O<sub>3</sub>, para cada una de las estaciones.

Como se observa a partir de la Figura 3-48, el mayor número de excedencias se concentran en el sector norte, occidental y central. En la estación Suba se registró el mayor número de excedencias con 39, seguida por Parque Simón Bolívar y Fontibón con 22 cada una, Guaymaral con 17 y Las Ferias con 10. En el año 2012 se obtuvieron 451 excedencias totales lo que evidencia una reducción considerable. Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón y San Cristóbal fueron descartadas del cálculo de estas excedencias al no cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%.

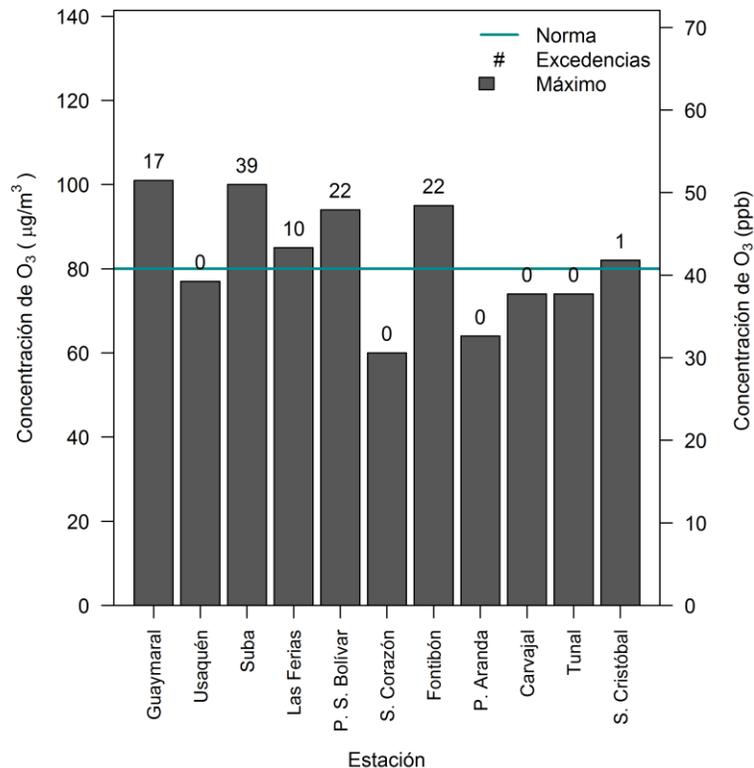
**Tabla 3-28.** Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O<sub>3</sub> en base 8 horas durante el año 2013.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8 h) 80 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	94%	17	0,2%	51	101	04/04/2013 18:00
Usaquén)	89%	0	0,0%	39	77	15/02/2013 06:00
Suba	81%	39	0,6%	51	100	14/02/2013 18:00
Las Ferias	67%	10	0,2%	43	85	25/03/2013 17:00
Parque Simón Bolívar	72%	22	0,4%	48	94	06/04/2013 18:00
Sagrado Corazón	48%	0	0,0%	30	60	25/03/2013 17:00
Fontibón	82%	22	0,3%	48	95	06/04/2013 18:00
Puente Aranda	84%	0	0,0%	32	64	11/01/2013 18:00
Carvajal	92%	0	0,0%	38	74	06/04/2013 17:00
Tunal	91%	0	0,0%	38	74	06/04/2013 17:00
San Cristóbal	64%	1	0,0%	42	82	25/03/2013 18:00

Al comparar con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb que es el nivel en el que no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena” (*U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013*) no se observan excedencias por parte de los promedios de ocho horas durante el año 2013. Según los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos, la norma anual es 75 ppb y consecuentemente tampoco hay excedencias de este límite.

Las horas de concentración máxima sugieren que los máximos niveles de O<sub>3</sub> en base de 8 horas ocurren predominantemente entre las 05:00 p.m. y las 07:00 p.m., lo cual y a pesar de no ser concordante con la realidad teniendo en cuenta que una mayor concentración de ozono está asociada a alta radiación solar, es importante tener en cuenta que los valores de dichas horas son el resultado de promediar las 8 horas pasadas, cuando la radiación solar es considerable, donde están incluidas horas cercanas al medio día que registran los niveles más altos de esta variable. Los días 25 de marzo y 06 de abril se caracterizaron por presentar valores singularmente altos de concentración.

La Figura 3-49 es un mapa de la concentración promedio de ozono en una base temporal de 8 horas para el año 2013 en las estaciones de la RMCAB que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La interpolación fue hecha con el método *Kriging* con base en las localizaciones espaciales de la información disponible. Las localidades del norte de la ciudad registran las mayores concentraciones de este gas contaminante mientras que el suroccidente las menores. Esta tendencia es contraria a la que se observa para material particulado, monóxido de carbono y dióxido de azufre. Las razones de estos comportamientos requieren mayor investigación.



**Figura 3-48.** Concentración máxima y excedencias de la norma para O<sub>3</sub> en base 8 horas por estación durante el año 2013.

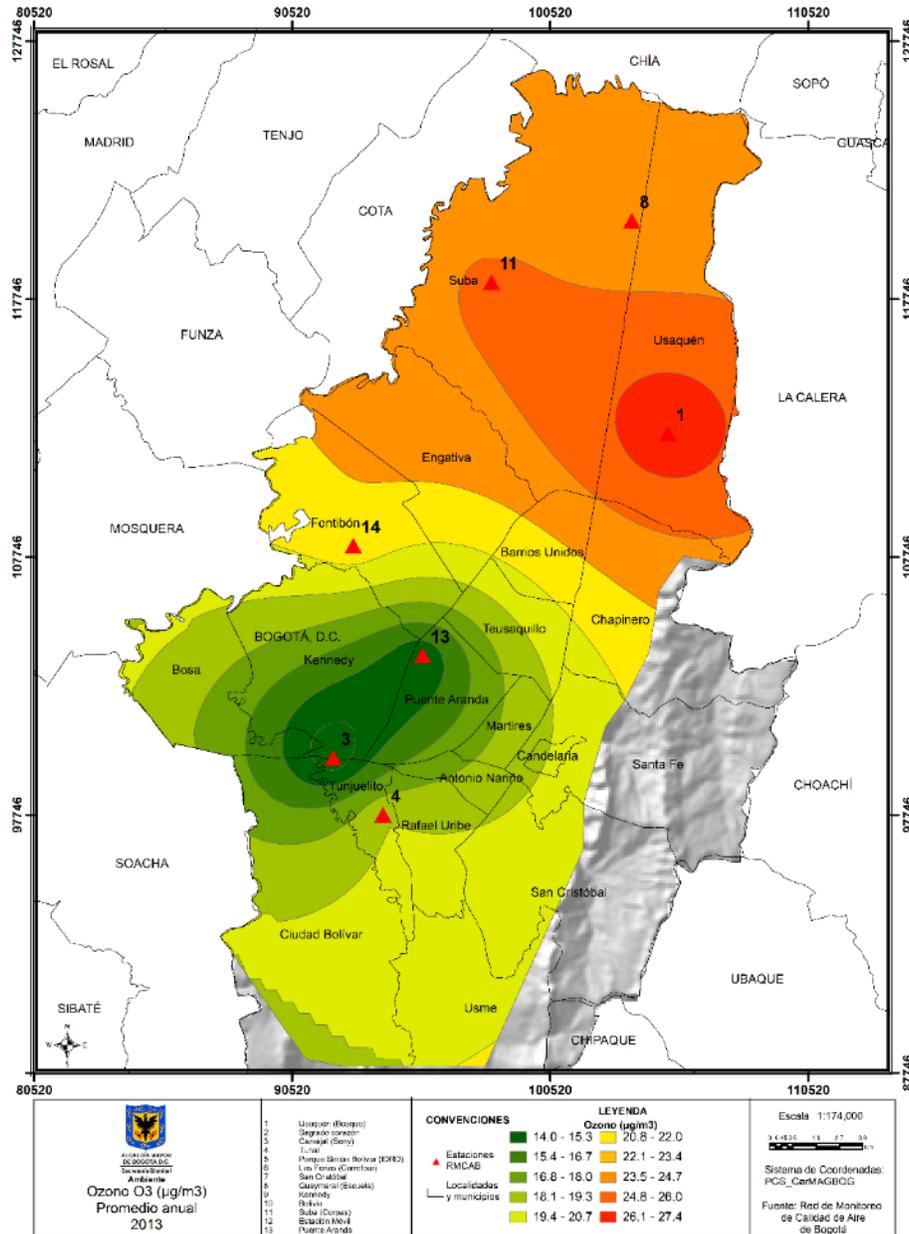
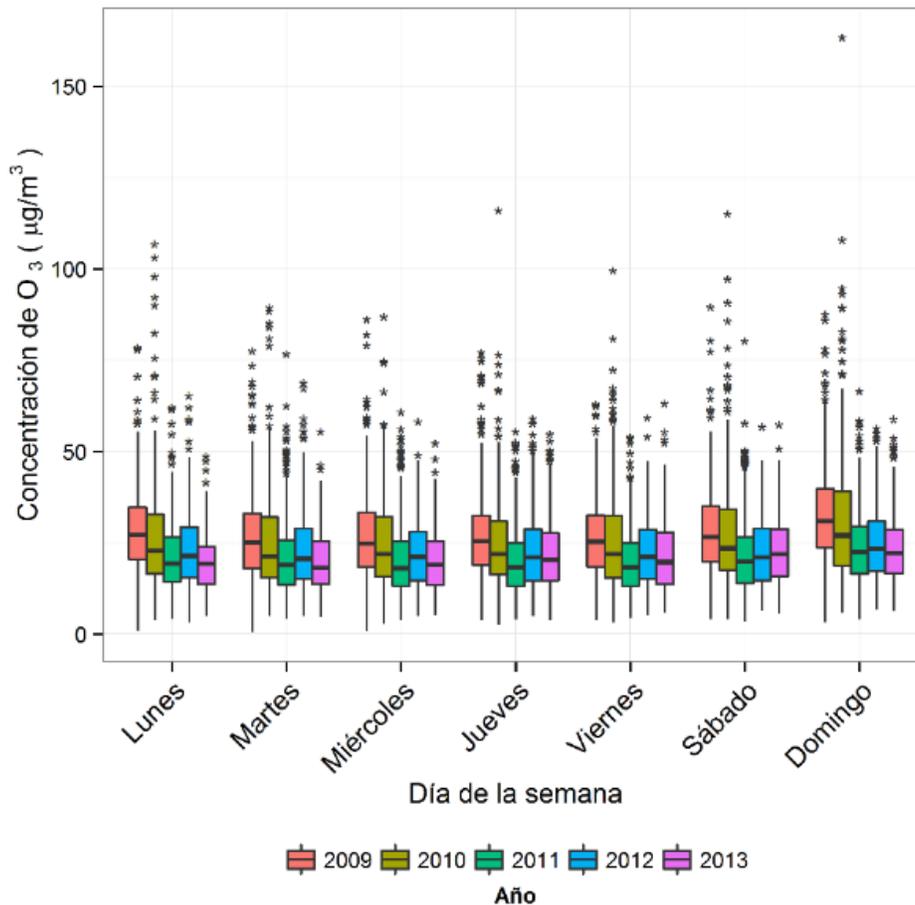


Figura 3-49. Mapa de concentración promedio de O<sub>3</sub> en base de tiempo de 8 horas para el año 2013. Unidades: µg/m<sup>3</sup>.

### Comportamiento histórico del O<sub>3</sub>

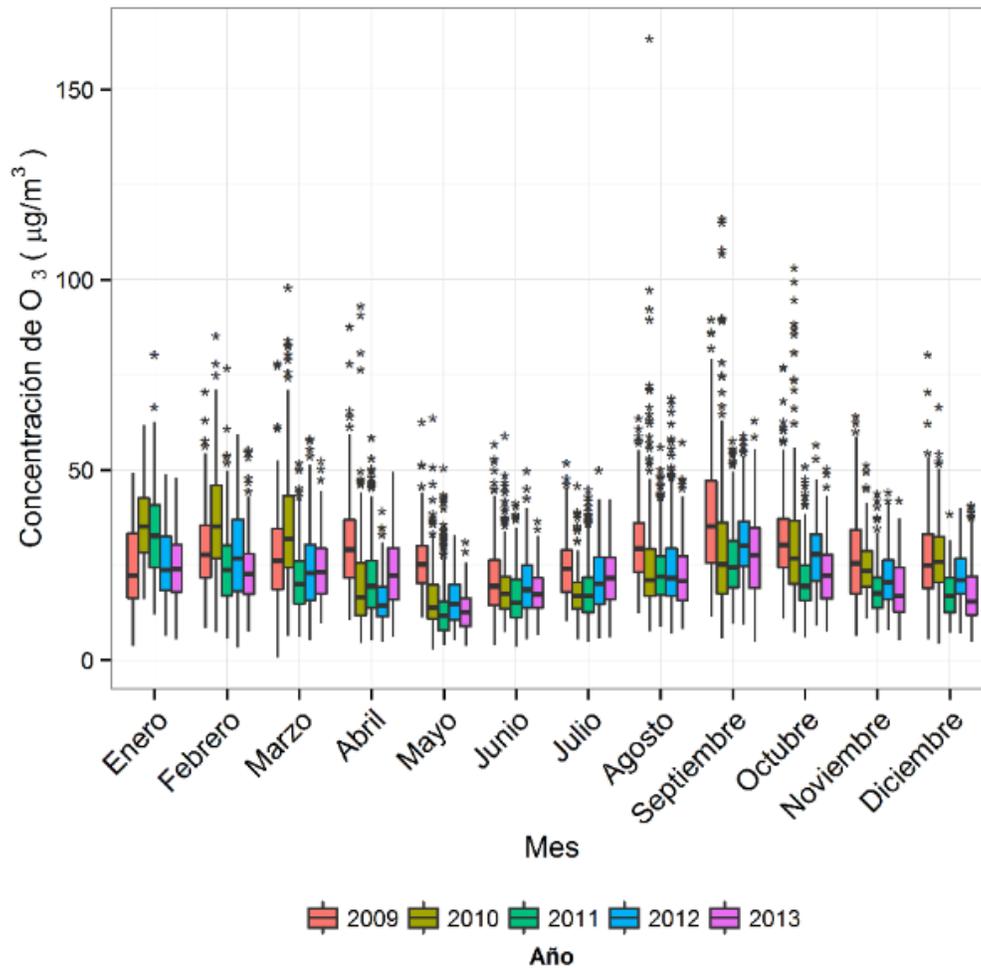
La Figura 3-50 contiene la tendencia histórica de la concentración de ozono (base de 24 horas) en función de los días de la semana entre los años 2009 y 2013. Los diagramas de caja entre los diferentes días son similares en magnitud y dispersión, sin embargo el domingo registra niveles levemente mayores. Los años 2009 y 2010 presentan las mayores concentraciones de ozono, las cuales se reducen sensiblemente en periodos posteriores.

La dispersión de datos es mayor en el año 2010. El día 22 de agosto de 2010 en la estación Usaquéen se registra la mayor concentración diaria con un valor de  $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lo cual se evidencia en la respectiva figura. Al comparar los resultados de los años 2012 y 2013 se observa que las concentraciones diarias se han mantenido relativamente constantes.



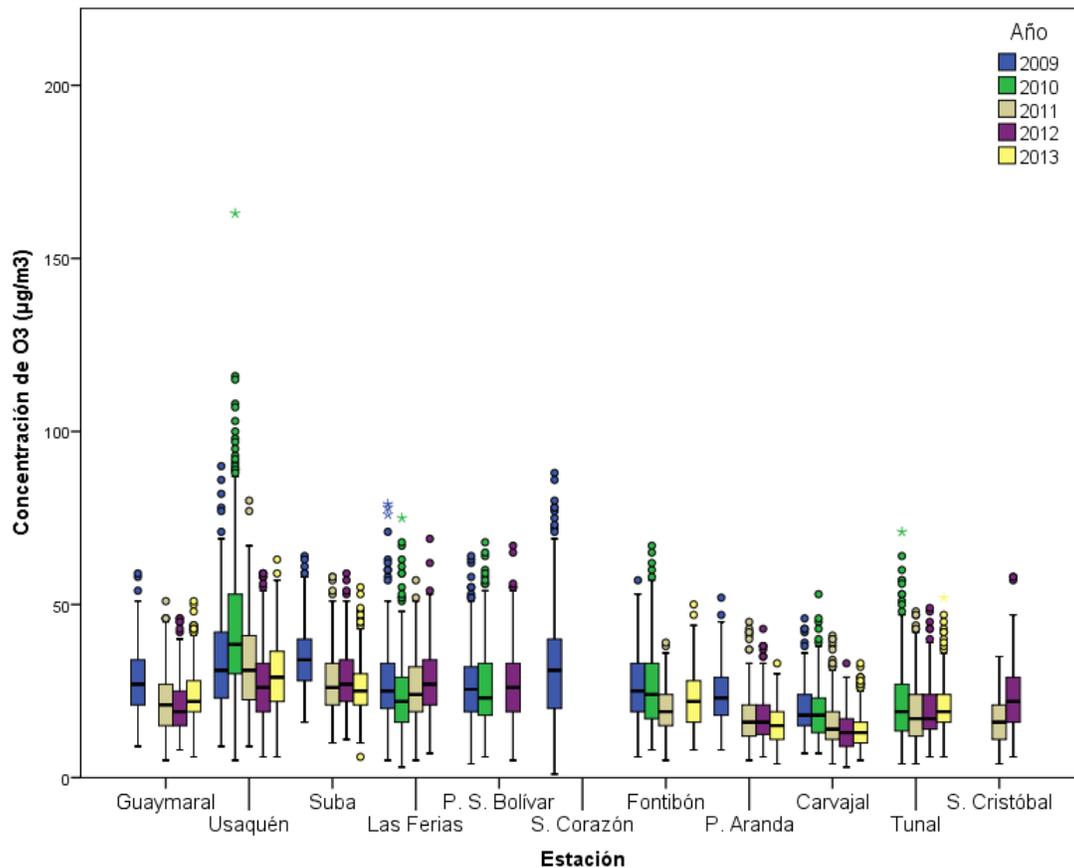
**Figura 3-50.** Gráfico de *boxplot* para O<sub>3</sub> en base diaria por días de la semana, comparando 2013 con años anteriores.

La Figura 3-51 muestra el comportamiento de los promedios diarios de concentración de ozono en función de los meses entre 2009 y 2013. Los meses de enero, febrero, septiembre y octubre han registrado históricamente los valores más altos de concentración, especialmente el mes de septiembre de 2009. Por el contrario, en abril, mayo y junio se encuentran las menores concentraciones. En cuanto a la dispersión de los datos, los años 2009 y 2010 son los más dispersos. Históricamente mayo ha registrado un rango de distribución más reducido de sus datos.



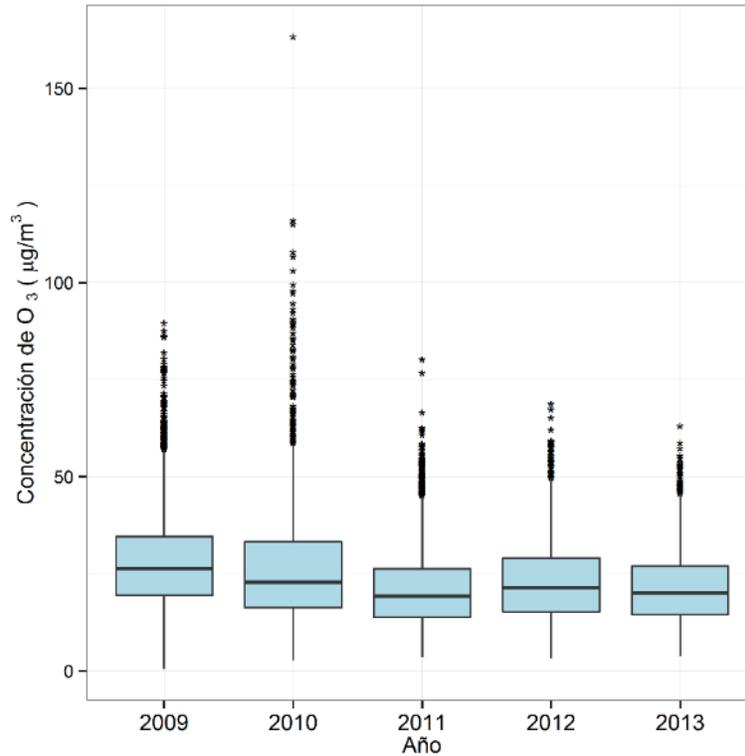
**Figura 3-51.** Gráfico de *boxplot* para O<sub>3</sub> promedio mensual (desde base diaria) entre 2009 y 2013.

La Figura 3-52 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de las estaciones de monitoreo. Puente Aranda y Carvajal han registrado los menores valores en los últimos 5 años, así como la menor dispersión de datos. Usaquén, Sagrado Corazón y Suba han registrado históricamente niveles altos. Con respecto al año 2012, hay disminución de la concentración en Suba y Puente Aranda. La disminución progresiva en Guaymaral fue interrumpida por un aumento repentino en 2013. Carvajal se caracteriza por presentar las mayores concentraciones de material particulado, un hecho que contrasta con las bajas concentraciones de ozono.



**Figura 3-52.** Gráfico de *boxplot* de O<sub>3</sub> en función de las estaciones entre los años 2009 y 2013 (desde base diaria).

El resumen general del comportamiento de ozono entre 2009 y 2013 se presenta en la Figura 3-53. La dispersión de datos entre 2011 y 2013 es similar y se observa una disminución de los niveles de concentración en 2013. Aunque en 2009 se registran mayores niveles de concentración, en 2010 hay una mayor cantidad de datos atípicos y de dispersión. La Tabla 3-29 es un resumen histórico de las concentraciones de ozono en base de 8 horas, en donde se puede ver que la magnitud del valor máximo ha estado reduciéndose con el transcurrir de los años. No se presentan resultados en base diaria al no existir normatividad correspondiente.



**Figura 3-53.** Gráfico de *boxplot* de O<sub>3</sub> con el comportamiento histórico en base diaria entre 2009 y 2013.

**Tabla 3-29.** Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O<sub>3</sub> en promedios de 8 horas entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de O <sub>3</sub> en ppb			
	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	ppb	µg/m <sup>3</sup>
2009	81	160	0	0
2010	104	204	0	0
2011	65	128	0	0
2012	67	132	0	0
2013	51	101	0	0

### 3.3. Índices de calidad del aire

El presente capítulo presenta el Índice de Calidad del Aire (ICA) para los contaminantes criterios ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $O_3$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  y  $NO_2$ ). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (*U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013*), donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-30.

**Tabla 3-30.** Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010).

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	$O_3$ 8h ppm	$O_3$ 1h Ppm (1)	$PM_{10}$ 24h $\mu g/m^3$	$PM_{2.5}$ 24h $\mu g/m^3$	$CO$ 8h ppm	$SO_2$ 24h ppm	$NO_2$ 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

(1) Para  $O_3$  se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.

(2) Para  $NO_2$  se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.

(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.

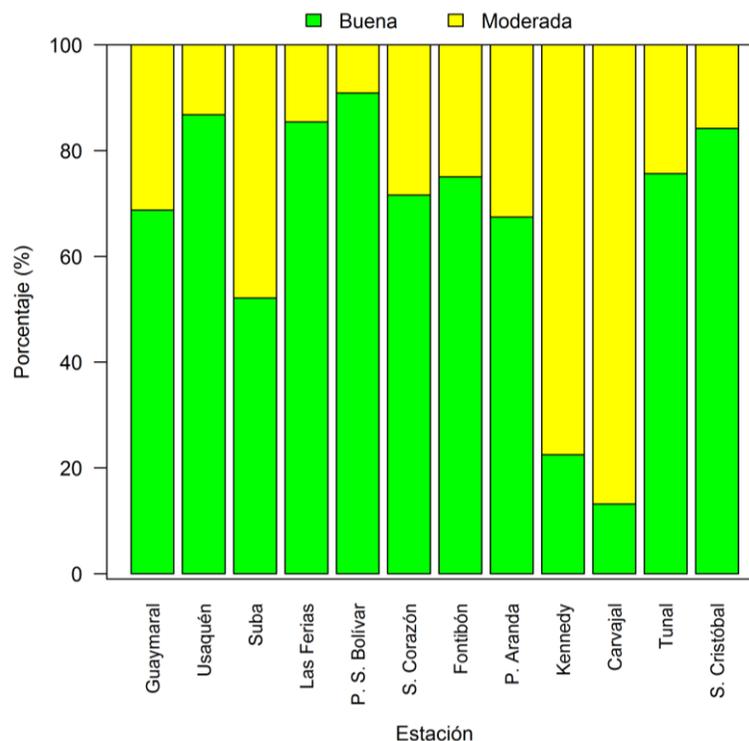
(4) Los números entre paréntesis se asocian valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse debido a que los contaminantes alcanzan niveles no saludables.

### 3.3.1. Índice de calidad del aire para PM<sub>10</sub>.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM<sub>10</sub> puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La Figura 3-54 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM<sub>10</sub> en función de la estación de monitoreo. La categoría “Buena” tiende a predominar para la mayoría de las estaciones, especialmente para Parque Simón Bolívar, Usaquén y San Cristóbal. Contrariamente, las estaciones Kennedy y Carvajal tienen una predominancia de la categoría “Moderada” la cual representa un riesgo a la salud especialmente para personas con enfermedades respiratorias. No se registran categorías superiores o más críticas en términos de calidad del aire.



**Figura 3-54.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el año 2013.

La Figura 3-55 muestra una discriminación del ICA en función de los meses del año 2013. En concordancia con la Figura 3-10 los meses de enero a abril tienen una mayor afectación de la calidad del aire en comparación con el periodo mayo a septiembre. Este comportamiento puede estar relacionado con el aumento de las velocidades de viento a mitad de año, que da lugar a una mayor ventilación y consecuentemente a una reducción de los niveles de concentración. De acuerdo a esta figura marzo podría ser el mes con mayor incidencia en la salud pública, dado que tiene la mayor proporción de calidad de aire como moderado.

La Figura 3-57 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Todos los días registran las categorías de “Buena” y “Moderada”. Sin embargo, los días domingo y lunes tienen una mejor calidad del aire en lo referente a este contaminante. Este comportamiento está asociado a la reducción de actividades en los domingos y la influencia de la capa residual del día anterior en los días lunes.

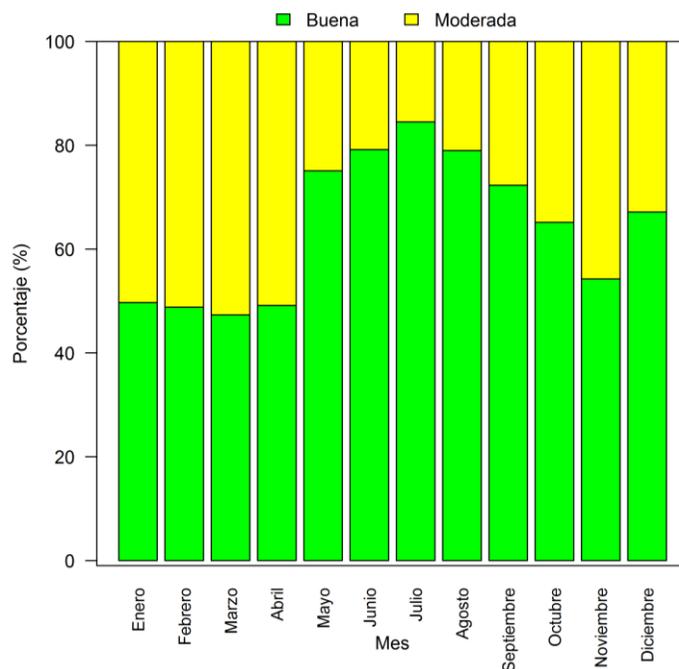


Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el año 2013.

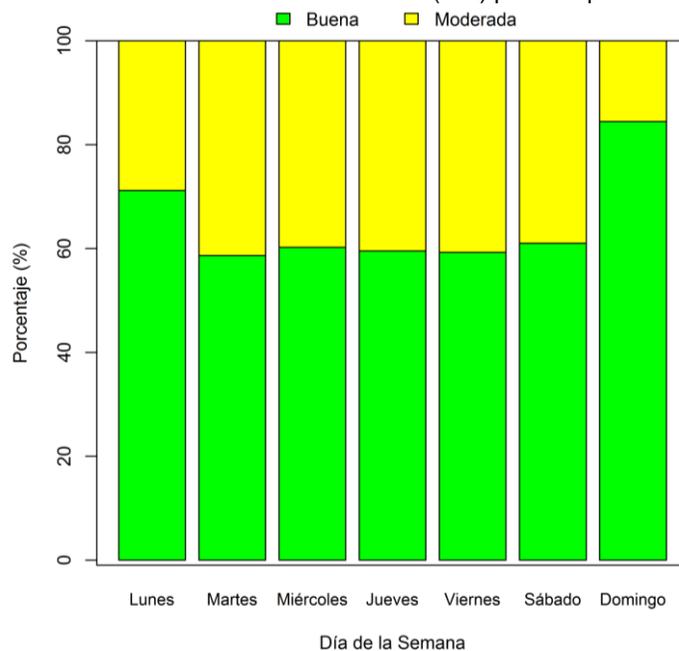


Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para el año 2013.

bLa Figura 3-57 clasifica las estaciones de acuerdo al valor del Índice de Calidad del Aire de este contaminante. Concordante con la discusión anterior, Kennedy y Carvajal (ubicadas en el suroccidente de Bogotá) registran los valores más altos y son las únicas estaciones que son clasificadas en la categoría “Moderada”: Estas estaciones son seguidas en valor por Suba, Guaymaral, Fontibón y Puente Aranda.

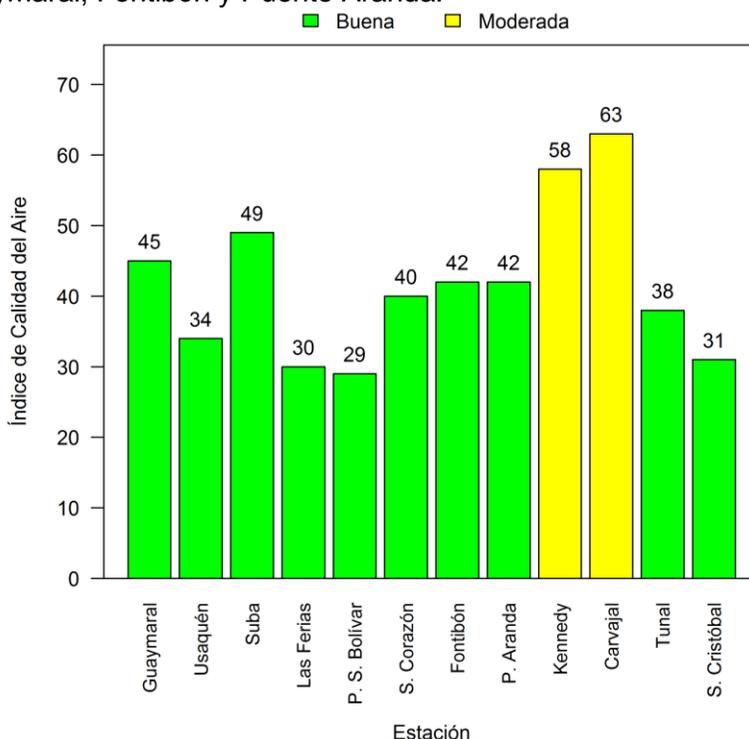


Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para el año 2013.

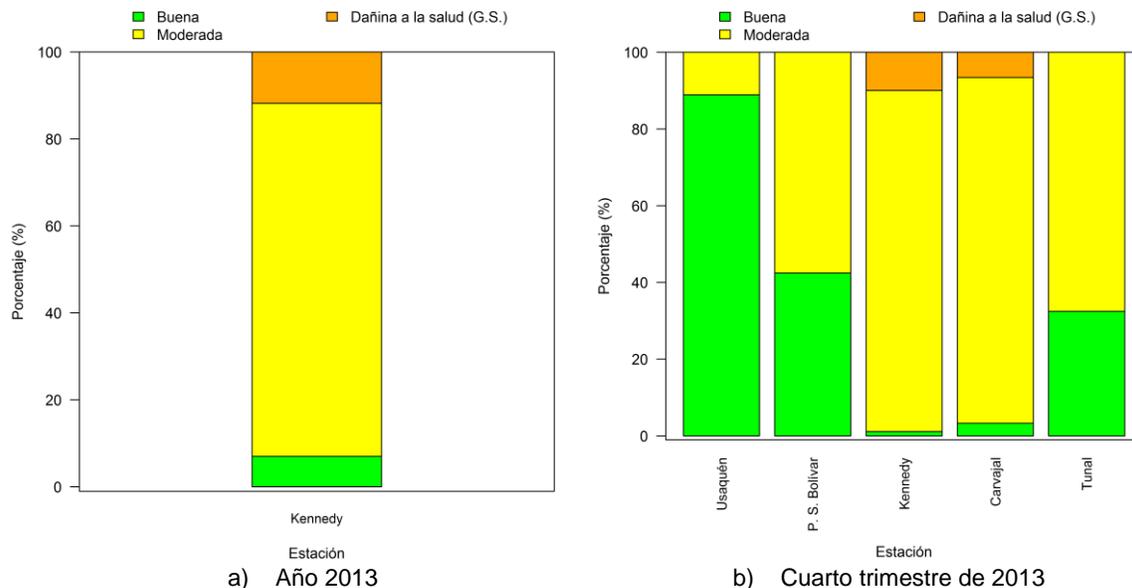
### 3.3.2. Índice de calidad del aire para PM<sub>2.5</sub>

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. De forma consistente con la sección 3.1.2, el índice de calidad del aire para este contaminante se presentará para la estación Kennedy entre el 01 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2013 y para esta y las demás estaciones entre el 01 de octubre de 2013 y el 31 de diciembre de 2013.

La Figura 3-58 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios diarios en las dos secciones descritas. Se observa la predominancia de la categoría “Moderada” y participación más reducida de las categorías “Buena” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. El PM<sub>2.5</sub> es el único contaminante criterio del año 2013 que registra esta última categoría la cual se refiere específicamente a afectaciones en personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, adultos mayores y niños. Es importante considerar que Kennedy es una estación que, junto con Carvajal, presenta los niveles más altos de PM<sub>10</sub>. Entonces, es posible que otros sectores de la ciudad hayan niveles comparativamente menores en los primeros 3 trimestres de

2013. En términos numéricos, la estación registra un índice de 76, que se enmarca en la categoría “Moderada”.

En lo que respecta al cuarto trimestre de 2013, Kennedy y Carvajal continúan registrando la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”. En contraste, la localidad de Usaquén presenta una calidad del aire predominantemente “Buena”.

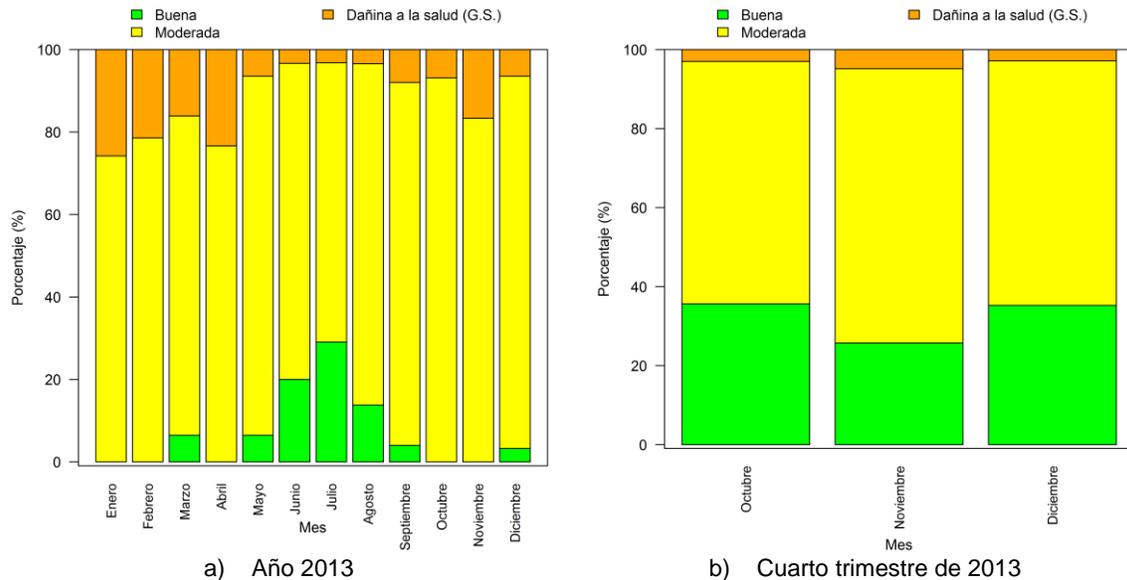


**Figura 3-58.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> por estación para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.

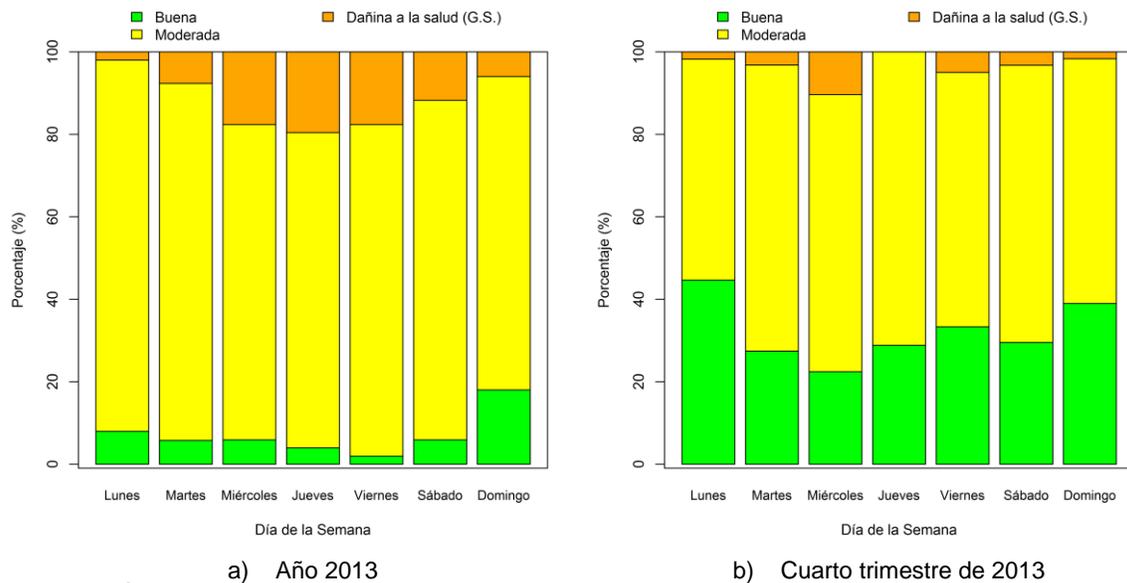
La Figura 3-59(a) corresponde a la disgregación del Índice de Calidad del Aire en función de los meses. De forma concordante a las tendencias de las concentraciones de material particulado, se obtienen índices más saludables en la mitad del año. En contraste, enero, febrero, marzo, abril y noviembre son los más contaminados. Todos los meses del año registran la categoría “Dañino para grupos sensibles”. Como se ha mencionado previamente esta descripción solamente aplica para la estación Kennedy. Los meses del cuarto trimestre para las 5 estaciones tienen un comportamiento similar. Noviembre registra niveles levemente más altos de contaminación.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-59 muestra que la calidad del aire en la estación Kennedy fue menos favorable los días miércoles, jueves y viernes. Durante el cuarto trimestre el conjunto de las 5 estaciones mostró una mejor calidad del aire los jueves y domingos. El comportamiento del día jueves es atípico y contrasta con el observado para los miércoles y viernes.

En general, durante el cuarto trimestre de 2013 la única estación que registró una categoría “Buena” fue Usaquén con un ICA de 31. En contraste, Kennedy presentó un nivel moderado con un ICA de 82 lo cual se atribuye a los altos niveles de concentraciones de material particulado registrados en la zona suroccidental de la ciudad.



**Figura 3-59.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> por mes para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.



**Figura 3-60** Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM<sub>2.5</sub> por día de la semana para a) año 2013 en la estación Kennedy y b) cuarto trimestre de 2013.

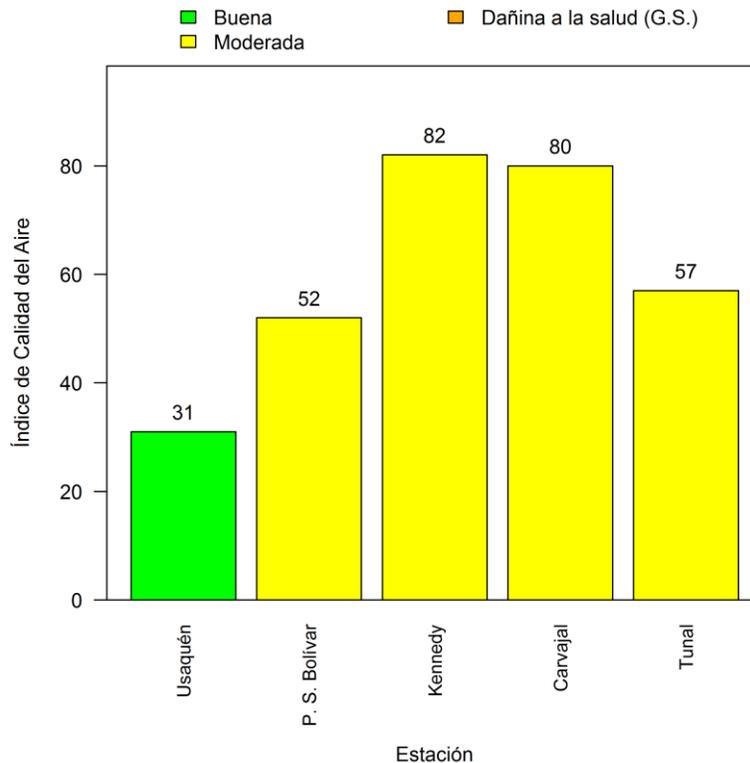
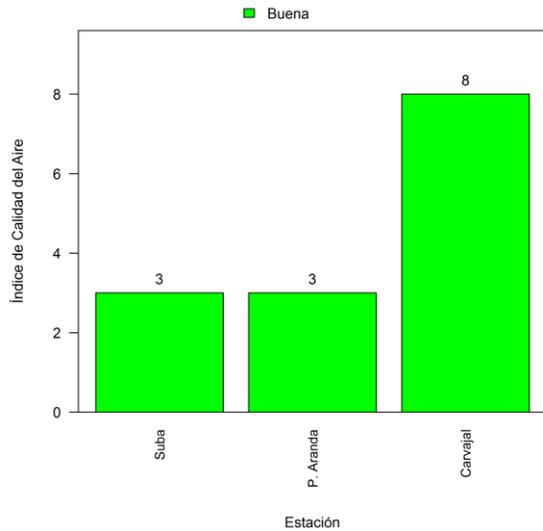


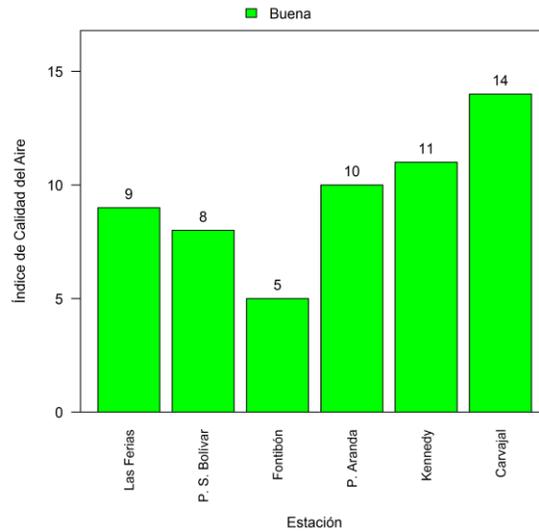
Figura 3-61. Índice de calidad del aire (ICA) para  $PM_{2.5}$  durante el cuarto trimestre de 2013.

### 3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono.

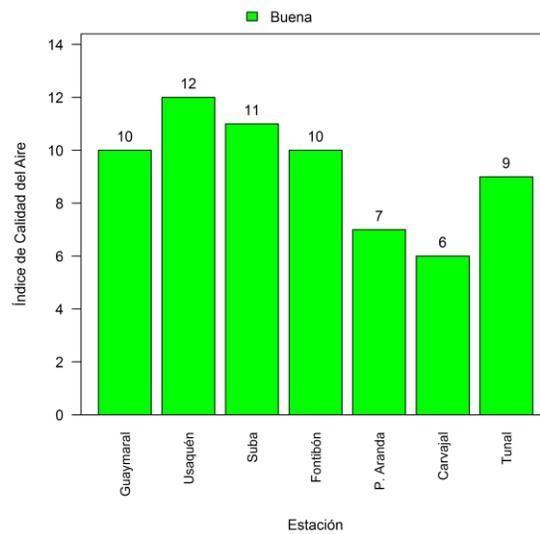
Todas las mediciones de estos contaminantes en sus respectivas bases temporales registran una categoría “Buena”. El máximo valor promedio del índice fue 14 y corresponde a monóxido de carbono en la estación Carvajal. Teniendo en cuenta que el corte entre la categoría “Buena” y “Moderada” es 50 y que ningún dato individual registra una categoría diferente a “Buena”, se puede afirmar que los niveles de concentración de estos contaminantes representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ .



**Figura 3-62.** Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Base diaria.



**Figura 3-63.** Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.



**Figura 3-64.** Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O<sub>3</sub>). Base de 8 horas.

### 3.4. Síntesis de resultados

Se presenta una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para el caso de  $PM_{10}$  se presenta en la Tabla 3-31 el comportamiento de los promedios de 24 horas para el año 2013, en donde se puede ver en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en 2013 y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la afección a la norma. Finalmente, en la última columna se presentan los valores promedio de las concentraciones durante el año las cuales deben ser comparados con su respectiva norma anual.

Una síntesis similar a la descrita anteriormente, se realiza para los promedios diarios de  $PM_{2.5}$  en la Tabla 3-32 y para PST en la Tabla 3-33. La síntesis de resultados para los gases contaminantes  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  y  $O_3$  se presenta de la Tabla 3-34 a la Tabla 3-41.

Es importante aclarar que los contaminantes que no registran la columna de promedio, corresponden a aquellos que no poseen norma anual de acuerdo a la Resolución 610 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**Tabla 3-31.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>10</sub> . Año 2013 [Norma: 100 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio anual <sup>10</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]
Norte	Guaymaral	339	93%	2	1%	120	24	112	1.1	50
	Usaquén	340	93%	0	0%	69	0	74	0.7	37
	<b>Subtotal</b>	<b>679</b>	<b>93%</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>	<b>189</b>	<b>24</b>	<b>112</b>	<b>1.1</b>	<b>44</b>
Noroccidente	Suba	328	90%	0	0%	188	10	90	0.9	55
	Las Ferias	301	82%	0	0%	47	6	86	0.9	34
	<b>Subtotal</b>	<b>629</b>	<b>86%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>235</b>	<b>16</b>	<b>90</b>	<b>0.9</b>	<b>45</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	306	84%	0	0%	40	2	79	0.8	32
	Sagrado Corazón	348	95%	0	0%	99	16	96	1.0	45
	<b>Subtotal</b>	<b>654</b>	<b>90%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>139</b>	<b>18</b>	<b>96</b>	<b>1.0</b>	<b>39</b>
Suroccidente	Fontibón	300	82%	0	0%	102	12	90	0.9	47
	Puente Aranda	344	94%	0	0%	123	18	91	0.9	47
	Kennedy	351	96%	35	10%	154	104	132	1.3	71
	Carvajal	364	100%	67	18%	108	149	154	1.5	81
	<b>Subtotal</b>	<b>1359</b>	<b>93%</b>	<b>102</b>	<b>7%</b>	<b>487</b>	<b>283</b>	<b>154</b>	<b>1.5</b>	<b>62</b>
Sur	Tunal	287	79%	0	0%	75	13	94	0.9	43
	San Cristóbal	278	76%	0	0%	54	4	88	0.9	34
	<b>Subtotal</b>	<b>565</b>	<b>77%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>129</b>	<b>17</b>	<b>94</b>	<b>0.9</b>	<b>39</b>

<sup>10</sup> Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 50 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-32.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>2.5</sub> [Norma diaria: 50 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio anual <sup>11</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]
Suroccidente	Kennedy	356	98%	2	1%	142	62	55	1.1	28

**Tabla 3-33.** Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio Geométrico <sup>12</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]
Suroccidente	Carvajal	305	84%	0	0%	55	4	279	0.9	115

<sup>11</sup> Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 25 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>12</sup> Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 100 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO<sub>2</sub> para 3 horas, año 2013.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO <sub>2</sub> [Norma: 750 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Promedio Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	7923	90%	0	0%	0	0	92	0.1
	Las Ferias	6534	75%	0	0%	0	0	43	0.1
	<b>Subtotal</b>	<b>14457</b>	<b>83%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>92</b>	<b>0.1</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	5314	61%	0	0%	0	0	26	0.0
	<b>Subtotal</b>	<b>5314</b>	<b>61%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0.0</b>
Suroccidente	Fontibón	6206	71%	0	0%	0	0	93	0.1
	Puente Aranda	8611	98%	0	0%	0	0	46	0.1
	Kennedy	5159	59%	0	0%	0	0	101	0.1
	Carvajal	8452	96%	0	0%	0	0	173	0.2
	<b>Subtotal</b>	<b>28428</b>	<b>81%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>173</b>	<b>0.2</b>
Sur	Tunal	6282	72%	0	0%	0	0	53	0.1
	San Cristóbal	6064	69%	0	0%	0	0	16	0.0
	<b>Subtotal</b>	<b>12346</b>	<b>70%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>0.1</b>

**Tabla 3-35.** Consolidado de los promedios de SO<sub>2</sub> para 24 horas, año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de SO <sub>2</sub> [Norma diaria: 250 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio <sup>13</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]
Noroccidente	Suba	330	90%	0	0%	0	0	22	0.1	6
	Las Ferias	259	71%	0	0%	0	0	13	0.1	
	<b>Subtotal</b>	<b>589</b>	<b>81%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>0.1</b>	<b>6</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	222	61%	0	0%	0	0	12	0.1	
	<b>Subtotal</b>	<b>222</b>	<b>61%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0.1</b>	
Suroccidente	Fontibón	254	70%	0	0%	0	0	18	0.1	
	Puente Aranda	360	99%	0	0%	0	0	17	0.1	5
	Kennedy	211	58%	0	0%	0	0	23	0.1	
	Carvajal	358	98%	0	0%	0	0	51	0.2	15
	<b>Subtotal</b>	<b>1183</b>	<b>81%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>51</b>	<b>0.2</b>	<b>10</b>
Sur	Tunal	258	71%	0	0%	0	0	24	0.1	
	San Cristóbal	245	67%	0	0%	0	0	6	0.0	
	<b>Subtotal</b>	<b>503</b>	<b>69%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>0.1</b>	

<sup>13</sup> Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 80 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 3-36. Consolidado de los promedios horarios de NO<sub>2</sub>, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de NO <sub>2</sub> [Norma: 200 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	3251	37%	0	0	2	0	103	0.5
	<b>Subtotal</b>	<b>3251</b>	<b>37%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>103</b>	<b>0.5</b>
Noroccidente	Suba	5848	67%	0	0	0	0	94	0.5
	Las Ferias	2498	29%	0	0	47	0	148	0.7
	<b>Subtotal</b>	<b>8346</b>	<b>48%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>47</b>	<b>0</b>	<b>148</b>	<b>0.7</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	7796	89%	0	0	0	0	77	0.4
	<b>Subtotal</b>	<b>7796</b>	<b>89%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>77</b>	<b>0.4</b>
Suroccidente	Puente Aranda	7926	90%	0	0	42	1	156	0.8
	Kennedy	8091	92%	0	0	3	0	140	0.7
	<b>Subtotal</b>	<b>16017</b>	<b>91%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>1</b>	<b>156</b>	<b>0.8</b>
Sur	Tunal	7693	88%	0	0	24	1	157	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>7693</b>	<b>88%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>157</b>	<b>0.8</b>

Tabla 3-37. Consolidado de los promedios diarios de NO<sub>2</sub>, año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de NO <sub>2</sub> [Norma: 150 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio <sup>14</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]
Norte	Guaymaral	126	35	0	0%	0	0	43	0.3	26
	<b>Subtotal</b>	<b>126</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>43</b>	<b>0.3</b>	<b>26</b>
Noroccidente	Suba	230	63	0	0%	0	0	45	0.3	25
	Las Ferias	100	27	0	0%	3	0	84	0.6	45
	<b>Subtotal</b>	<b>330</b>	<b>45</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>84</b>	<b>0.6</b>	<b>35</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	315	86	0	0%	0	0	35	0.2	16
	<b>Subtotal</b>	<b>315</b>	<b>86</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>35</b>	<b>0.2</b>	<b>16</b>
Suroccidente	Puente Aranda	332	91	0	0%	0	0	71	0.5	40
	Kennedy	340	93	0	0%	0	0	60	0.4	34
	<b>Subtotal</b>	<b>672</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>71</b>	<b>0.5</b>	<b>37</b>
Sur	Tunal	313	86	0	0%	0	0	56	0.4	30
	<b>Subtotal</b>	<b>313</b>	<b>86</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>56</b>	<b>0.4</b>	<b>30</b>

<sup>14</sup> Comparar con el límite normativo anual correspondiente a 100 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 3-38. Consolidado de los promedios horarios de CO, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Usaquén	480	5%	0	0%	0	0	6	0.1
	<b>Subtotal</b>	<b>480</b>	<b>5%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0.1</b>
Noroccidente	Las Ferias	7450	85%	0	0%	0	0	5	0.1
	<b>Subtotal</b>	<b>7450</b>	<b>85%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0.1</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	7464	85%	0	0%	0	0	5	0.1
	<b>Subtotal</b>	<b>7464</b>	<b>85%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0.1</b>
Suroccidente	Fontibón	7267	83%	0	0%	0	0	3	0.1
	Puente Aranda	8417	96%	0	0%	0	0	6	0.2
	Kennedy	8255	94%	0	0%	0	0	5	0.1
	Carvajal	8382	96%	0	0%	0	0	6	0.2
	<b>Subtotal</b>	<b>32321</b>	<b>92%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0.2</b>
Sur	Tunal	4359	50%	0	0%	0	0	7	0.2
	San Cristóbal	1984	23%	0	0%	0	0	6	0.1
	<b>Subtotal</b>	<b>6343</b>	<b>36%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0.2</b>

Tabla 3-39. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, año 2013.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m <sup>3</sup> ]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Usaquén	474	5%	0	0%	0	0	3	0.3
	<b>Subtotal</b>	<b>474</b>	<b>5%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0.3</b>
Noroccidente	Las Ferias	7419	85%	0	0%	0	0	4	0.4
	<b>Subtotal</b>	<b>7419</b>	<b>85%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0.4</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	7326	84%	0	0%	0	0	3	0.3
	<b>Subtotal</b>	<b>7326</b>	<b>84%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0.3</b>
Suroccidente	Fontibón	7159	82%	0	0%	0	0	2	0.2
	Puente Aranda	8424	96%	0	0%	0	0	3	0.3
	Kennedy	8230	94%	0	0%	0	0	3	0.3
	Carvajal	8296	95%	0	0%	0	0	4	0.4
	<b>Subtotal</b>	<b>32109</b>	<b>92%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0.4</b>
Sur	Tunal	4155	47%	0	0%	0	0	4	0.4
	San Cristóbal	1969	22%	0	0%	0	0	2	0.2
	<b>Subtotal</b>	<b>6124</b>	<b>35%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0.4</b>

Tabla 3-40. Consolidado de los promedios horarios de O<sub>3</sub>, año 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de O <sub>3</sub> [Norma: 120 µg/m <sup>3</sup> ]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	8200	94%	8	0%	340	57	151	1.3
	Usaquén	7794	89%	1	0%	228	10	126	1.1
	<b>Subtotal</b>	<b>15994</b>	<b>91%</b>	<b>9</b>	<b>0%</b>	<b>568</b>	<b>67</b>	<b>151</b>	<b>1.3</b>
Noroccidente	Suba	7108	81%	6	0%	340	62	139	1.2
	Las Ferias	6027	69%	4	0%	314	35	138	1.2
	<b>Subtotal</b>	<b>13135</b>	<b>75%</b>	<b>10</b>	<b>0%</b>	<b>654</b>	<b>97</b>	<b>139</b>	<b>1.2</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	6498	74%	7	0%	388	63	152	1.3
	Sagrado Corazón	4640	53%	0	0%	26	2	97	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>11138</b>	<b>64%</b>	<b>7</b>	<b>0%</b>	<b>414</b>	<b>65</b>	<b>152</b>	<b>1.3</b>
Suroccidente	Fontibón	7160	82%	2	0%	417	66	144	1.2
	Puente Aranda	7302	83%	0	0%	84	2	98	0.8
	Carvajal	8086	92%	0	0%	66	3	98	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>22548</b>	<b>86%</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>	<b>567</b>	<b>71</b>	<b>144</b>	<b>1.2</b>
Sur	Tunal	7990	91%	0	0%	123	4	103	0.9
	San Cristóbal	5784	66%	0	0%	127	6	118	1.0
	<b>Subtotal</b>	<b>13774</b>	<b>79%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>250</b>	<b>10</b>	<b>118</b>	<b>1.0</b>

Tabla 3-41. Consolidado de los promedios de O<sub>3</sub> para 8 horas, año 2013.

Información de los promedios de 8 horas de concentración de O <sub>3</sub> [Norma: 80 µg/m <sup>3</sup> ]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	8198	94%	17	0%	987	195	101	1.3
	Usaquén	7788	89%	0	0%	1676	80	77	1.0
	<b>Subtotal</b>	<b>15986</b>	<b>91%</b>	<b>17</b>	<b>0%</b>	<b>2663</b>	<b>275</b>	<b>101</b>	<b>1.3</b>
Noroccidente	Suba	7102	81%	39	1%	1088	197	100	1.3
	Las Ferias	5828	67%	10	0%	959	141	85	1.1
	<b>Subtotal</b>	<b>12930</b>	<b>74%</b>	<b>49</b>	<b>0%</b>	<b>2047</b>	<b>338</b>	<b>100</b>	<b>1.3</b>
Centro	Parque Simón Bolívar	6304	72%	22	0%	1065	208	94	1.2
	Sagrado Corazón	4243	48%	0	0%	204	0	60	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>10547</b>	<b>60%</b>	<b>22</b>	<b>0%</b>	<b>1269</b>	<b>208</b>	<b>94</b>	<b>1.2</b>
Suroccidente	Fontibón	7166	82%	22	0%	880	203	95	1.2
	Puente Aranda	7321	84%	0	0%	186	2	64	0.8
	Carvajal	8077	92%	0	0%	161	13	74	0.9
	<b>Subtotal</b>	<b>22564</b>	<b>86%</b>	<b>22</b>	<b>0%</b>	<b>1227</b>	<b>218</b>	<b>95</b>	<b>1.2</b>
Sur	Tunal	7933	91%	0	0%	483	37	74	0.9
	San Cristóbal	5648	64%	1	0%	602	37	82	1.0
	<b>Subtotal</b>	<b>13581</b>	<b>78%</b>	<b>1</b>	<b>0%</b>	<b>1085</b>	<b>74</b>	<b>82</b>	<b>1.0</b>

## 4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

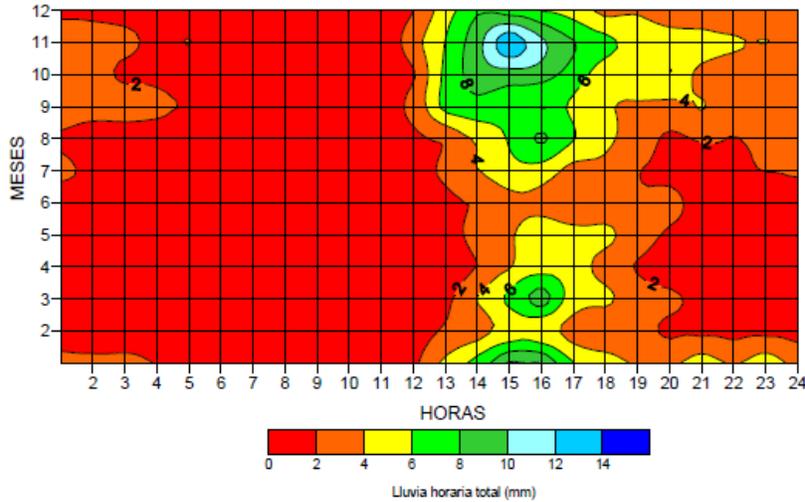
Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el año 2013. La RMCAB a través de los sensores localizados en las estaciones presentadas en la Tabla 1-1, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

### Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo:

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A lo largo de 2013 se presentó una fase neutral según informes de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA, 2012), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un máximo de  $-0.2^{\circ}\text{C}$  en el promedio de los trimestres marzo abril mayo (MAM), abril mayo junio (AMJ) y septiembre octubre noviembre (SON) y un mínimo de  $-0.6$  en enero febrero marzo (EFM). Esto significa que durante 2013 la lluvia y otras variables meteorológicas respondieron a la climatología y eventos de escala menor, con tendencia a valores promedio.

### Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del Noreste y Sudeste, los cuales confluyen en la región tropical formando la ZCIT, que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, 2000). La Figura 4-1 presenta la precipitación horaria para cada uno de los 12 meses del año de la estación del aeropuerto El Dorado, en donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre – noviembre, donde además se puede ver que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde.



**Figura 4-1.** Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto EIDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013)

En Bogotá se presentan dos regímenes de vientos, los generales y los vientos locales, los primeros son los de influencia sinóptica asociados a los alisios, los cuales toman direcciones Noreste y Sureste sobre la ciudad y la sabana. Estos vientos traen consigo gran cantidad de humedad que producen lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y además estos vientos arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad (IDEAM, 2004). Por su parte, los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias, y viajan hacia el Nororiente, Oriente y Occidente, con velocidades medias de 4 a 6 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes ascendentes, que junto con el calentamiento diurno, apoyan la formación de nubes de amplio despliegue vertical favoreciendo las precipitaciones fuertes y la ocurrencia de tormentas eléctricas, granizadas y torbellinos en zonas locales y a veces de poca extensión. También favorecen la dispersión de los contaminantes en algunas zonas, pero en los meses de la segunda temporada de lluvias arrastran contaminantes sobre zonas de alta emisión (SDA, 2011).

Para referencia del lector se presentan algunos promedios de variables meteorológicas en el periodo 1971 al 2000 en la estación del aeropuerto EIDorado, Bogotá. (Tabla 4-1)

**Tabla 4-1.** Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013)

Estación	Ciudad	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Apto Eldorado P1-2	Bogotá	PRECIPITACION (mm)												
		29	44	66	101	93	54	43	46	72	106	90	52	797
		TEMPERATURA MEDIA (°C)												
		13.0	13.4	13.8	14.0	14.0	13.8	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.1	13.1
		TEMPERATURA MEDIA MAXIMA (°C)												
		19.8	19.9	19.8	19.5	19.2	18.7	18.2	18.6	19.0	19.1	19.3	19.5	19.2
		TEMPERATURA MEDIA MINIMA (°C)												
		5.6	6.5	7.6	8.6	8.7	8.3	7.7	7.3	7.1	7.7	7.9	6.3	7.4
HUMEDAD RELATIVA (%)														
79	80	81	82	81	79	77	77	79	82	83	81	80		

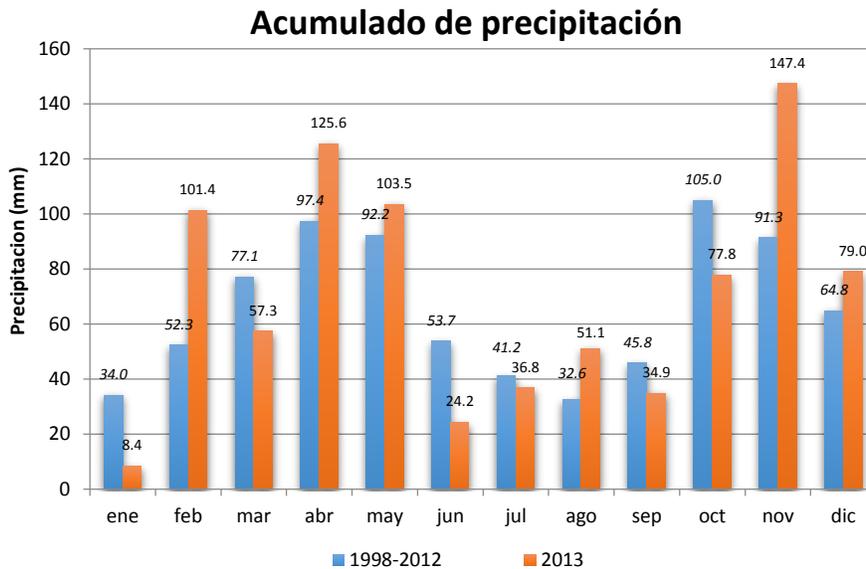
## 4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la Tabla 4-2, en donde se observa el porcentaje de representatividad de datos capturados válidos durante los meses del año. No obstante y a pesar de que la estación de Fontibón exhibió buena representatividad temporal, la información reportada no presenta congruencia espacial con las demás estaciones.

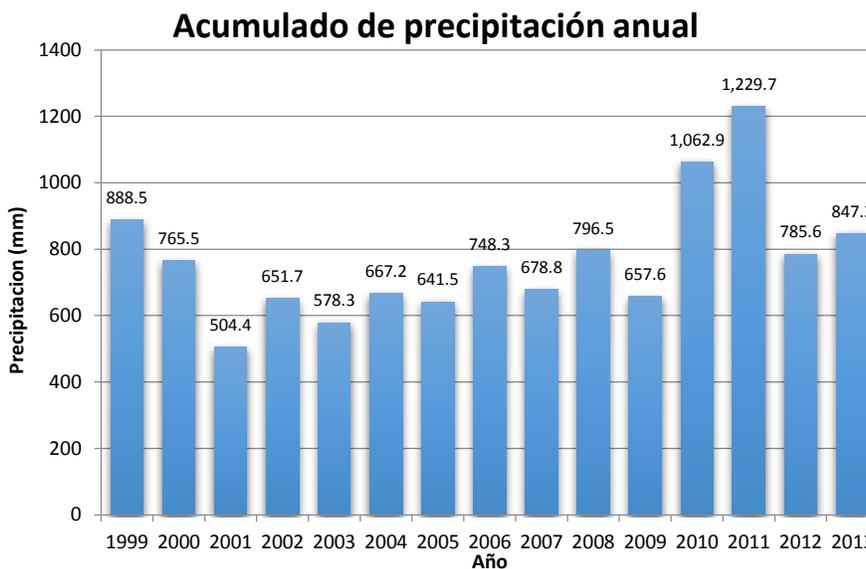
**Tabla 4-2.** Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante 2013

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	99	99	100	99	100	98	0	57	98	99	100	100	96
Usaquén (Bosque)	95	94	100	90	99	85	100	73	92	100	50	100	90
Suba (Corpas)	99	100	99	85	100	100	95	82	79	99	93	100	94
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Sagrado Corazón (MAVDT)	99	98	100	100	100	100	100	100	100	95	100	97	99
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Puente Aranda	99	100	94	94	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Carvajal (Sony)	99	100	99	100	100	100	99	100	100	100	100	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	99	100	100	87	95
San Cristóbal	81	99	55	44	92	99	100	88	82	97	93	59	82
Bolivia	100	70	87	38	0	0	95	100	100	100	100	100	77

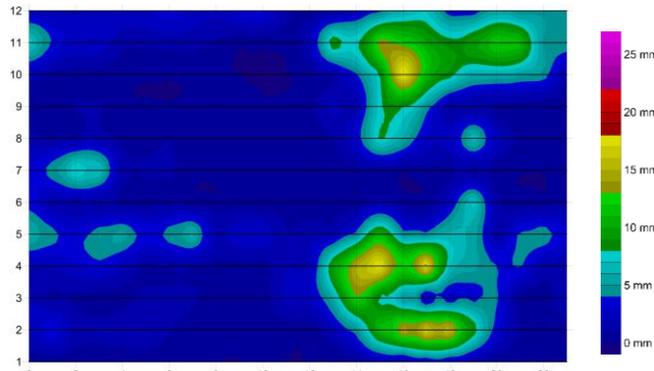
La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio de precipitación en el periodo 1998-2012 con respecto a los promedios obtenidos en 2013, que si bien es cierto no representan una climatología de Bogotá, resultan útiles para hacer una comparación con el promedio obtenido en los últimos años. Durante el año se observaron dos meses con promedios muy por encima del promedio histórico, alcanzando diferencias de 56.1 y 49.1 para noviembre y febrero, respectivamente. Por su parte, el mes con más déficit de precipitación fue junio con 29.5 mm menos del promedio histórico presentado. Como referencia de comparación anual, se presenta la Figura 4-3, la cual muestra el acumulado de precipitación desde el año 1999, en donde se puede ver que en 2013 se presentó un acumulado promedio de 847.3 mm, similar a varios años de la última década, sin embargo es de resaltar que esta comparación no es directa, pues no resultan las mismas estaciones de medición en cada años, de manera que se presenta como referencia de tendencias. El comportamiento general de la precipitación durante 2013 en forma horaria y para cada mes del año, se presenta en la Figura 4-4, en donde los colores representan el acumulado de lluvia horaria durante el año; acorde con la estacionalidad bogotana. Se pueden ver las dos épocas lluviosas del año en el segundo y último trimestre, además de presentarse las mayores precipitaciones en horas de la tarde-noche y unas lluvias más pequeñas en horas de la madrugada y a mediados del año. Por su parte la Figura 4-5 presenta el mismo comportamiento anterior, pero discriminado para cada una de las estaciones de la RMCAB, en donde se puede ver un comportamiento similar, en particular, se muestra que durante la primera temporada de lluvias, Las Ferias y Parque Simón Bolívar registraron sus mayores valores cerca del mediodía (12-15 hlc); horas más tarde (14 – 18 hlc) se observó este comportamiento en estaciones como Guaymaral y Usaquén. Asimismo estaciones como Sagrado Corazón, Tunal y San Cristóbal presentaron sus mayores acumulados en el mes de febrero e iniciando la noche. Durante la segunda temporada de lluvias prevalecieron las precipitaciones en horas de la noche en la mayoría de las estaciones. Para ambas temporadas, las madrugadas y mañanas presentaron un acumulado bajo de lluvias.



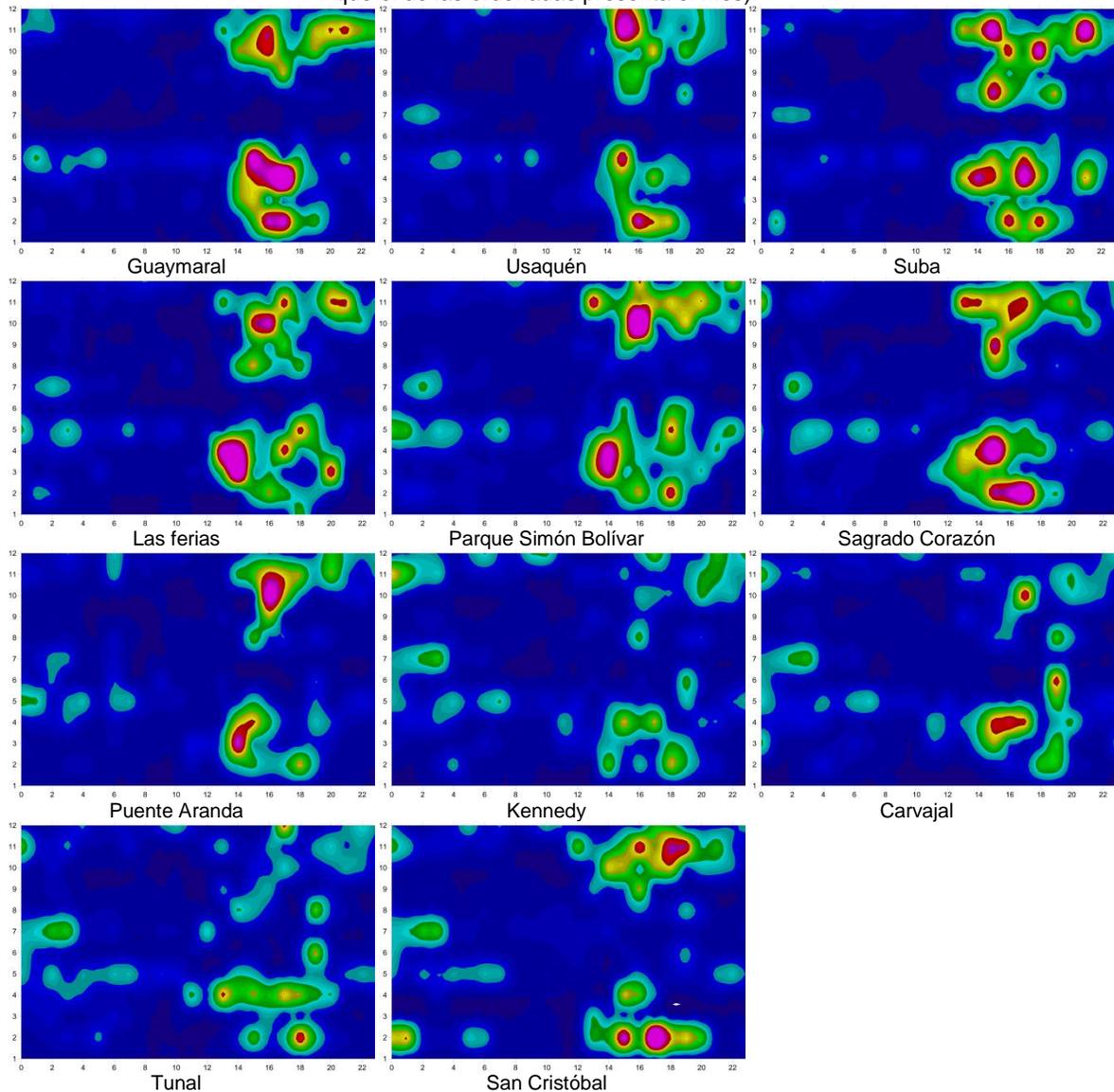
**Figura 4-2** Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 comparada con el promedio registrado en 2013.



**Figura 4-3.** Promedio de los acumulado precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 1999 hasta 2013.



**Figura 4-4.** Acumulado de precipitación promedio en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).



**Figura 4-5.** Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

Los datos presentados en la Tabla 4-3 representan los acumulados del año de cada estación de la red, hasta 2013.

**Tabla 4-3.** Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral			577		540		491	646	821	656	1048	1394	630	828
Usaquén						910		780	946	624	1291	1276	825	703
Suba	650	671			1007				570	642	1018	1155	820	930
Las ferias	606	592	667		675	882	861	655	695	759	1321	1429	889	855
Simón Bolívar					739	752	1030	707	848	815	1523	1710	889	964
Sagrado Corazón										811			913	911
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522			
Puente Aranda		564			248	425	580	701		855	877	808	692	660
Kennedy							611	546	838	559	644	587		688
Carvajal	585	317	580	401	577		689	669		620	970	1024	612	678
Tunal								539	686	542	1071	1066	665	711
San Cristóbal													937	865

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, característica de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. Para realizar una comparación del número de días húmedos por estación (registro diario superior a 1.0 mm), se presenta la Tabla 4-4, la cual muestra que en la estación Parque Simón Bolívar (ubicada en la localidad de Barrios Unidos) se registró el mayor número de días de lluvia con 117, seguido de Suba con 104 días. Por otra parte, Usaquén registró 84 días, consolidándose como la estación con menor número de días de lluvia. La estación de Las Ferias presenta mayores volúmenes promedio de lluvia en el día, como se nota en la Tabla 4-5 mientras que las más bajas precipitaciones son observadas en la estación de Puente Aranda con 6.7 mm/día.

**Tabla 4-4.** Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral			81		78		82	85	117	87	126	152	101	91
Usaquén						94		91	105	76	147	123	98	84
Suba	99	91			107				101	90	129	152	110	104
Las ferias	84	78	80		108	119	101	87	118	105	137	152	103	88
Simón Bolívar					109	110	119	91	118	102	148	160	100	117
Sagrado Corazón										94			110	101
Fontibón	105	66	84	82	101	90	70	94		68	98			
Puente Aranda		76			55	99	112	109		114	127	124	103	99
Kennedy							84	87	104	78	105	92		95
Carvajal	107	57	93	62	93		85	103		91	125	130	96	97
Tunal								84	97	83	131	134	100	92
San Cristóbal													114	98

El mapa de la Figura 4-6 presenta el área de Bogotá con la interpolación de los acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013. Los sectores sombreados (en gris) correspondientes al Oriente y Sur, representan a terrenos que por su condición orográfica, no son aptos para ser incorporados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*. Se puede observar el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del Sur de la localidad de Kennedy, Norte de Tunjuelito y Occidente de Puente Aranda. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado Centro

- oriental de la ciudad, al igual que buena parte de la localidad de Suba, donde se aprecian valores de precipitación promedio por arriba de 900mm.

**Tabla 4-5.** Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013, en mm/día.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Guaymaral</b>			7.1		6.9		6.0	7.6	7.0	7.5	8.3	9.2	6.2	9.1
<b>Usaquén</b>						9.7		8.6	9.0	8.2	8.8	10.4	8.4	8.4
<b>Suba</b>	6.6	7.4			9.4				5.6	7.1	7.9	7.6	7.5	8.9
<b>Las ferias</b>	7.2	7.6	8.3		6.2	7.4	8.5	7.5	5.9	7.2	9.6	9.4	8.6	9.7
<b>Simón Bolívar</b>					6.8	6.8	8.7	7.8	7.2	8.0	10.3	10.7	8.9	8.2
<b>Sagrado Corazón</b>										8.6			8.3	9.0
<b>Fontibón</b>	6.5	7.1	7.8	7.0	6.8	6.1	7.4	5.9		5.6	5.3			
<b>Puente Aranda</b>		7.4			4.5	4.3	5.2	6.4		7.5	6.9	6.5	6.7	6.7
<b>Kennedy</b>							7.3	6.3	8.1	7.2	6.1	6.4		7.2
<b>Carvajal</b>	5.5	5.6	6.2	6.5	6.2		8.1	6.5		6.8	7.8	7.9	6.4	7.0
<b>Tunal</b>								6.4	7.1	6.5	8.2	8.0	6.6	7.7
<b>San Cristóbal</b>			7.1		6.9		6.0	7.6	7.0	7.5	8.3	9.2	6.2	9.1

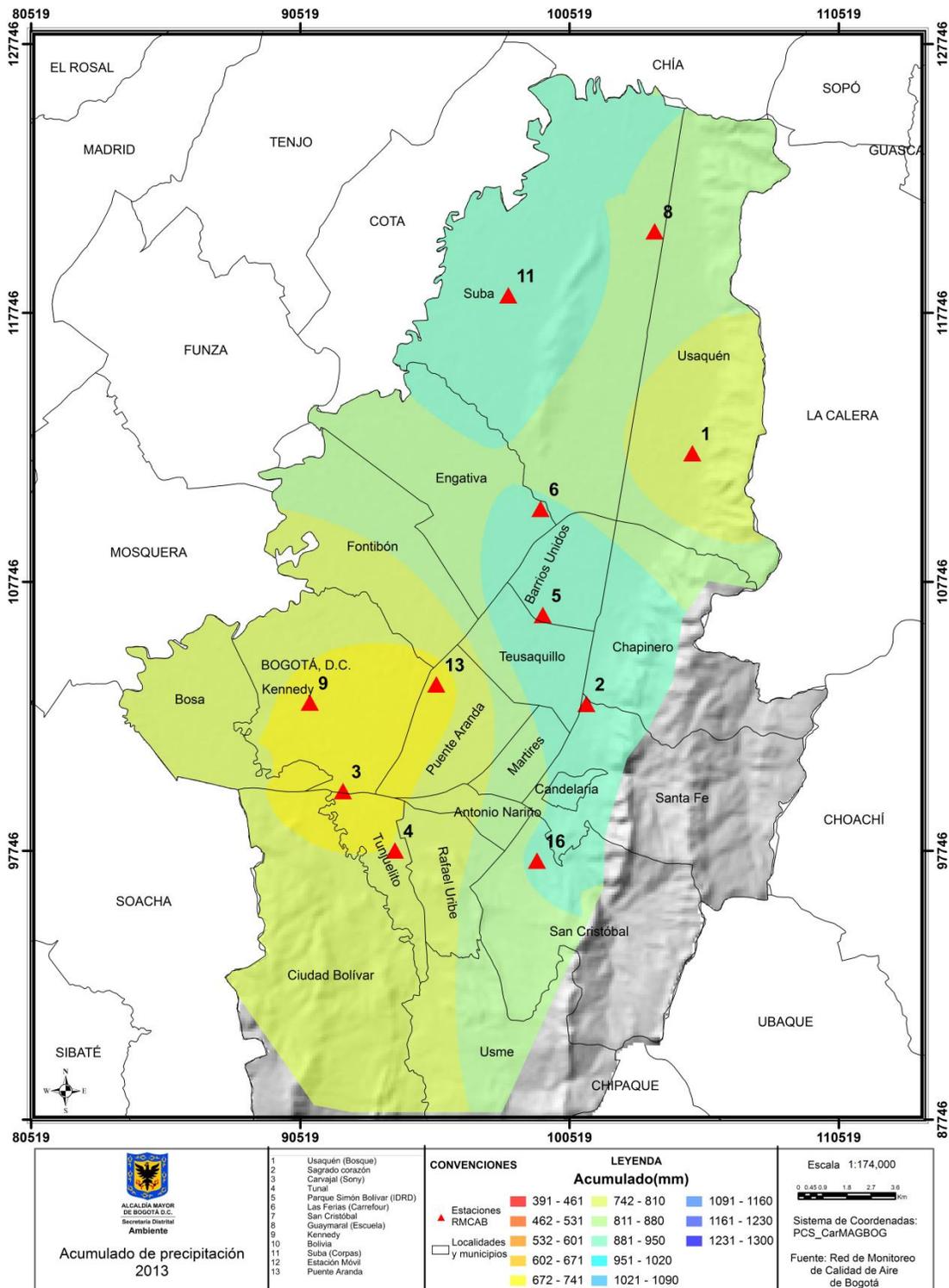
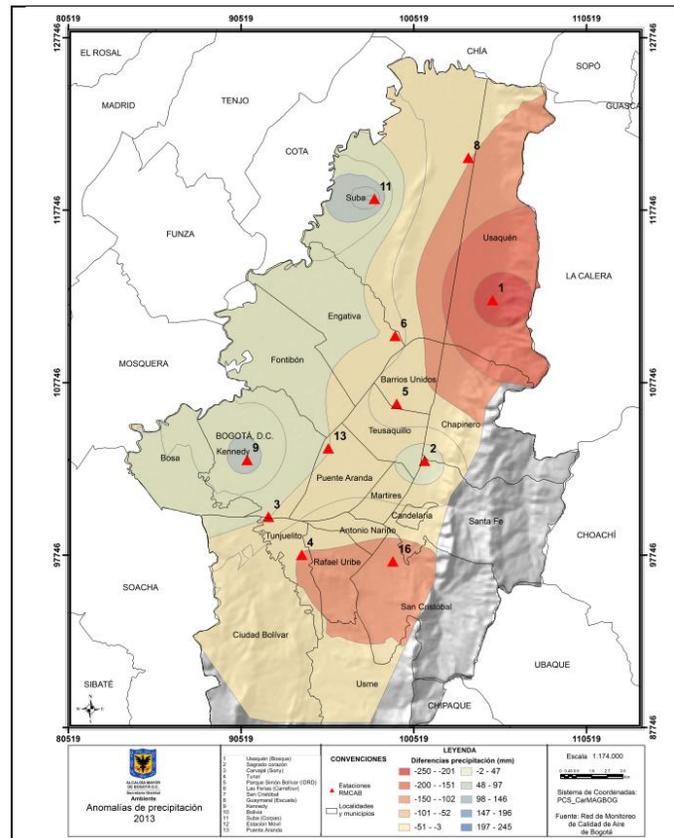


Figura 4-6. Mapa interpolado de acumulados de precipitación en las estaciones de la RMCAB en 2013.

En la Figura 4-7 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB del año 2013 con respecto al periodo historico 1998-2012 o anomalía de precipitación (notése que cada estación tiene una historia distinta, según la Tabla 4-5 dada la fecha de inicio de operación). Se observa una importante diferencia entre lo sucedido en Suba, donde la anomalía resulta significativa a favor de 2013 alcanzando los 165 mm seguido de la estacion de sagrado corazón, mientras que en Usaquén se presentó un deficit que superó los 247 mm. La Tabla 4-6, especifica los valores encontrados, los cuales fueron calculados con valores de la Tabla 4-3.

**Tabla 4-6.** Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012.

Estación	Anomalía
Guaymaral (Escuela)	34.0
Usaquén (Bosque)	-247.5
Suba (Corpas)	165.0
Las Ferias (Carrefour)	61.4
Parque Simón Bolívar (IDRD)	-38.0
Sagrado corazón	148.3
Fontibón	-133.9
Puente Aranda	-4.8
Kennedy	57.1
Carvajal (Sony)	46.2
Tunal	-22.4
San Cristóbal 2009	-112.6



**Figura 4-7.** Anomalías de precipitación del año 2013 con respecto al periodo 1998-2012.

## 4.2. Vientos

Durante 2013 la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones de la Tabla 4-7 la cuál presenta la representatividad de los datos capturados validos trimestral y anual, en donde se puede ver un buen porcentaje de captura de datos para casi todas las estaciones, con excepción de Bolivia. Por su parte la Tabla 4-8 presenta los valores promedio y los valores de velocidad máxima en el año para las estaciones. Fontibón y Kennedy son las estaciones en que se registraron los mayores valores promedio de velocidad de viento a lo largo del año seguido de Carvajal; en velocidades máximas se observó a Fontibón y Puente Aranda con promedios anuales de 8.1 y 6.6 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 y 1.1 m/s con valores máximos de 4.0 y 4.1 m/s.

**Tabla 4-7.** Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral y anual

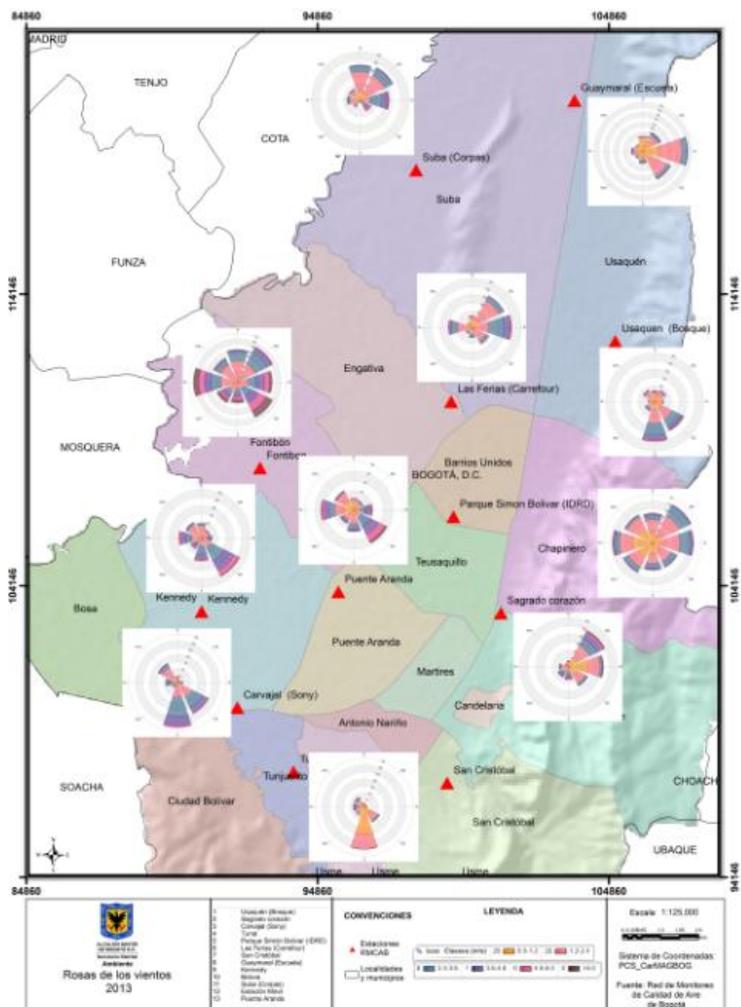
ESTACIÓN	Velocidad del viento (%)					Dirección del viento (%)				
	EFM	AMJ	JAS	OND	2013	EFM	AMJ	JAS	OND	2013
Guaymaral (Escuela)	96	99	93	99	97	96	99	93	100	97
Usaquén (Bosque)	96	75	61	100	83	95	77	85	96	88
Suba (Corpas)	99	95	85	97	94	99	95	85	97	94
Las Ferias (Carrefour)	81	96	98	94	92	81	96	98	94	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	100	99	98	99	99	100	97	98	98
Sagrado Corazón (MAVDT)	96	100	100	97	98	93	97	98	92	93
Fontibón	73	67	100	85	81	87	98	100	85	93
Puente Aranda	98	98	100	100	99	98	98	100	100	99
Kennedy	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
San Cristóbal	99	100	90	83	83	80	78	90	83	83
Carvajal (Sony)	91	95	100	100	100	99	100	100	100	100
Tunal	80	78	100	96	95	91	95	100	96	95
Bolivia	86	13	98	99	77	86	13	46	100	56

**Tabla 4-8.** valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

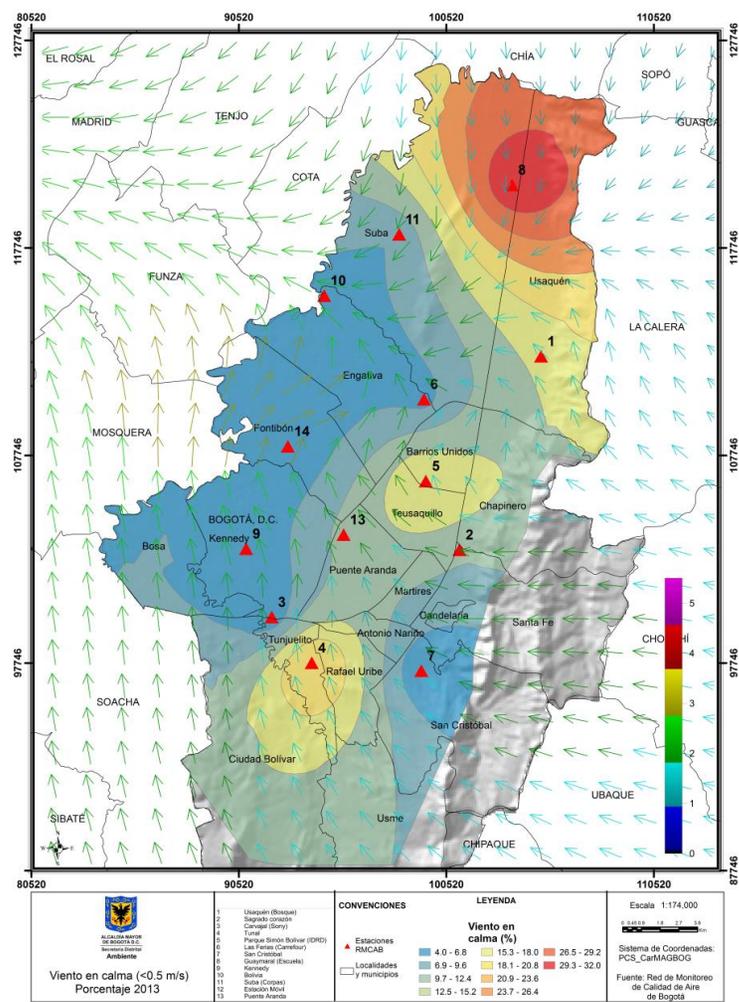
Estación	Promedios de velocidad del viento (m/s)					Valores máximos de velocidad del viento (m/s)				
	EFM	AMJ	JAS	OND	2013	EFM	AMJ	JAS	OND	2013
Guaymaral	1.0	1.0	1.2	0.9	1.0	3.8	3.7	4.8	3.6	4.0
Usaquén	1.6	1.9	2.0	1.3	1.7	5.8	6.5	6.2	5.4	6.0
Suba	1.9	1.9	2.3	1.7	2.0	5.2	5.2	6.4	4.9	5.4
Las ferias	1.8	1.9	2.0	1.8	1.9	5.0	5.1	5.4	5.0	5.2
Simón Bolívar	1.4	1.4	1.6	1.4	1.4	4.7	4.5	4.4	4.7	4.6
sagrado corazón	1.7	1.7	2.0	1.6	1.8	6.1	7.0	6.5	6.2	6.4
Fontibón	2.9	2.9	3.4	2.9	3.0	8.0	7.8	8.6	8.1	8.1
Puente Aranda	2.0	2.0	2.5	1.9	2.1	6.6	6.1	7.1	6.5	6.6
Kennedy	2.4	2.5	2.9	2.3	2.5	6.3	6.1	7.2	6.0	6.4
Carvajal	2.3	2.3	2.7	2.1	2.4	5.1	5.1	5.7	5.2	5.3
Tunal	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	4.4	3.9	3.6	4.3	4.1
San Cristóbal	2.2	2.3	2.3	2.1	2.2	5.6	6.0	6.1	5.3	5.8
Bolivia	2.2		2.6	2.1	2.3	2.2	2.2	2.6	2.1	2.3

La Figura 4-8(a) presenta la rosa de vientos para cada estación de la RMCAB durante el año 2013, las cuales han sido construidas a partir de los datos diezminutales de velocidad y dirección del viento en todo el año. Varias estaciones, ubicadas en sectores del Sur y Occidente de la ciudad registraron vientos predominantes del Sur y Sureste como es el caso de Puente Aranda, Kennedy, Carvajal, y Tunal; Fontibón mostró una predominancia del Oeste aunque con amplia variabilidad de direcciones. Al Norte y Oriente del área capitalina se observaron vientos del Norte y Este como lo fue en Suba y Guaymaral a diferencia de Usaquén en donde predominaron del Sur. En Parque Simón Bolívar se

registró una importante variabilidad de la dirección de los vientos con predominancia del Este - noreste, mientras que en Sagrado Corazón predominaron del Noreste. Asimismo, la Figura 4-8(b) presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que hacia el occidente, los vientos tienden a estar en movimiento, a diferencia del Norte en donde más del 30% de los datos del año se presentaron en calma, lo cual indica una menor dispersión de los contaminantes.



a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB

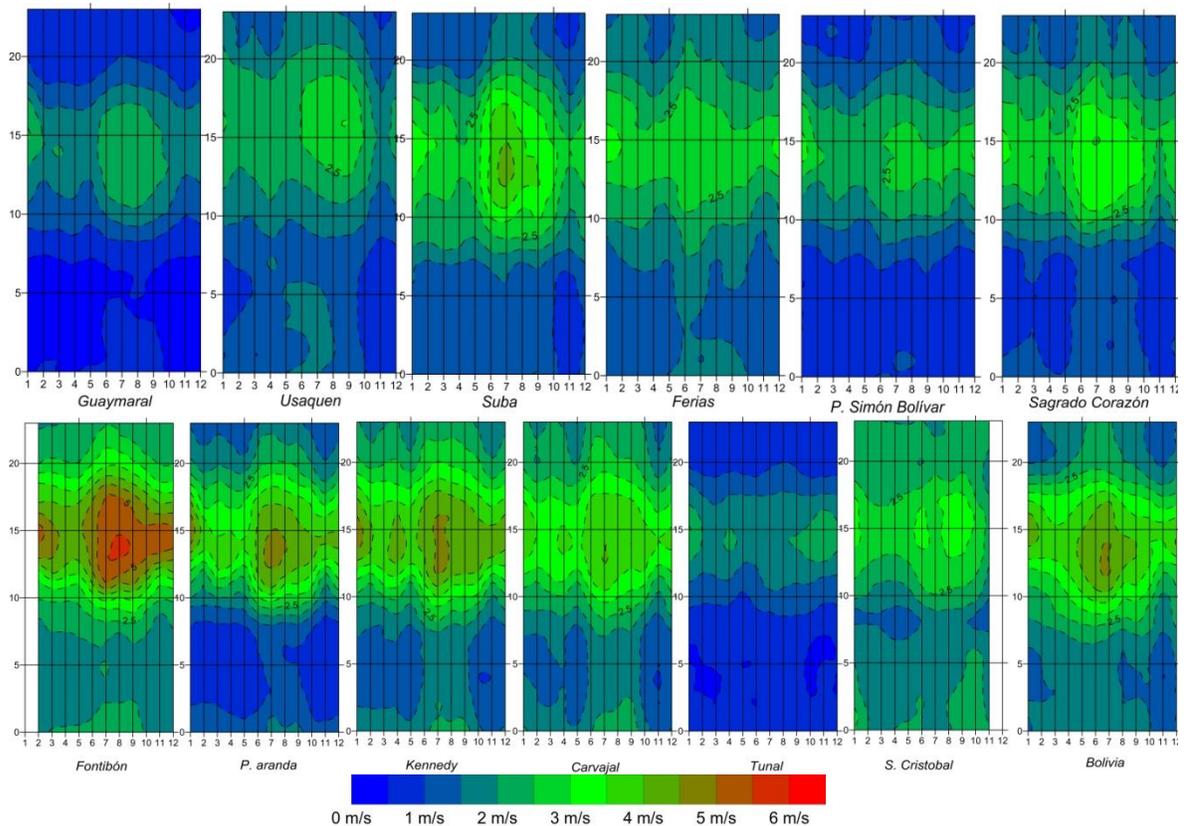


b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos año 2013

Figura 4-8. Distribución de los vientos en Bogotá.

Se presenta el comportamiento de los vientos por estación en la Figura 4-9, en donde se puede ver el comportamiento de cada mes en relación a las horas del día. En términos generales se puede ver que las velocidades más altas de viento, ocurren entre los meses 6 a 10 (junio a octubre) y en la franja horaria de la tarde. Se puede ver que la estación Fontibón presenta los mayores promedios, condición que es característica según se observa en los diagramas de Puente Aranda, Kennedy y Carvajal; mientras que en estaciones como Guaymaral y Tunal los vientos tienen características débiles.

Como complemento, se presenta una interpolación de la velocidad de los vientos superficiales para 2013, además de la dirección predominante de los vientos (mostrado como vectores con color que indica su velocidad) en la Figura 4-10. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento al norte y nororiente de la ciudad y sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Las velocidades de viento promedio más altas se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón, alcanzando velocidades de hasta 3.2 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 m/s en el Nororiente hasta los 3.2 m/s en el Occidente de la ciudad.



**Figura 4-9.** Velocidad del viento promedio de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

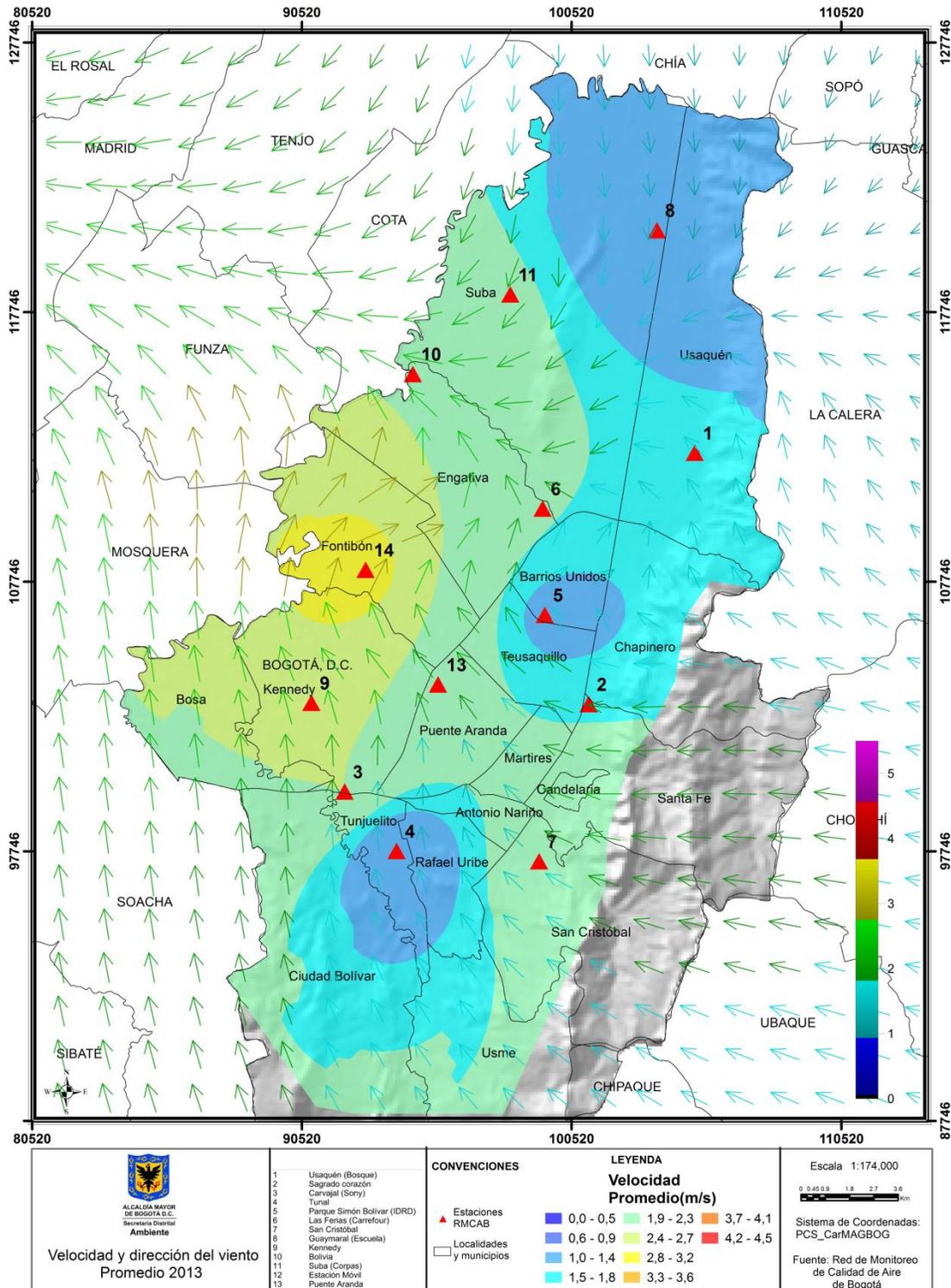


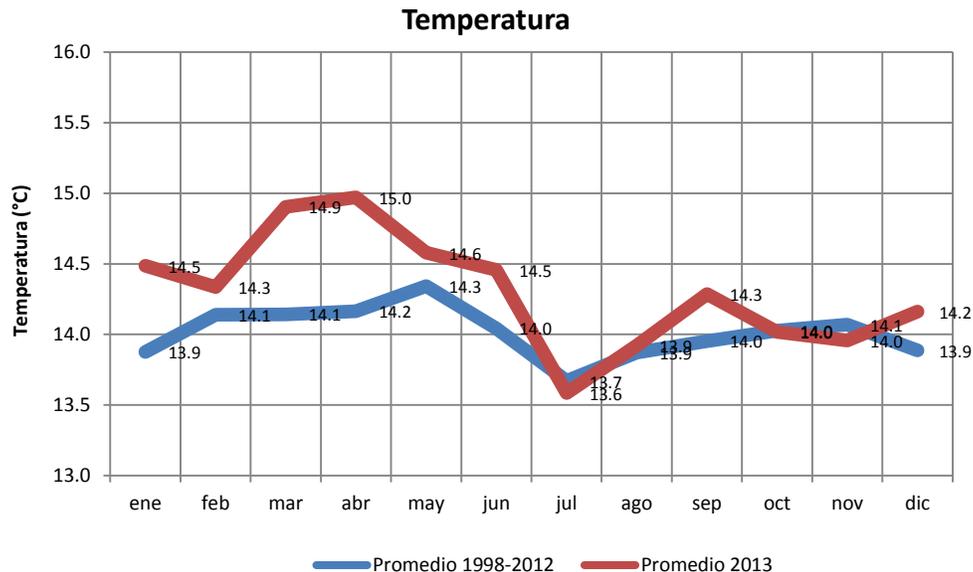
Figura 4-10. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante 2013.

### 4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas para la variable temperatura se presentan en la Tabla 4-9, donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos (la única estación no considerada fue Bolivia, por ausencia de datos en varios meses). El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el año se caracterizó por valores moderadamente por encima de los promedios (periodo 1998-2012) durante el primer semestre con diferencias de hasta los 0.8°C, particularmente en los meses de mayo y abril y más cerca a los valores normales durante el segundo semestre. Dichos valores promedio de temperatura superficial se pueden apreciar en la Figura 4-11 para las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura histórico.

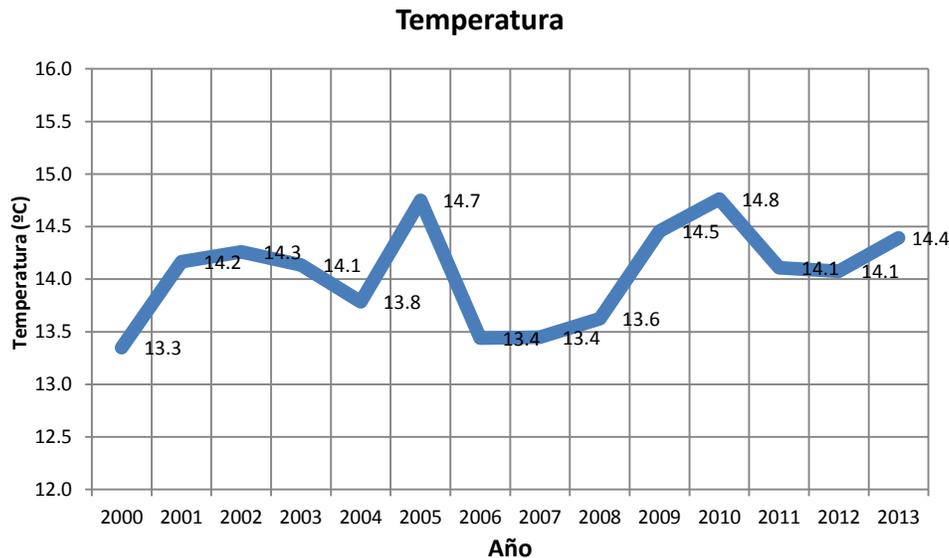
**Tabla 4-9.** Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante 2013

Estación	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	80	98	99	100	100	97
Usaquén (Bosque)	95	94	100	91	99	84	100	72	92	100	100	100	94
Suba (Corpas)	99	100	99	85	99	100	95	81	79	99	93	100	94
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Puente Aranda	99	100	94	94	100	100	100	100	100	100	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Carvajal (Sony)	99	100	99	100	100	99	99	100	100	100	100	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	100	100	100	87	95
San Cristóbal	88	98	55	43	91	99	100	89	82	96	93	59	83
Bolivia	100	70	87	38	0	0	95	100	100	100	100	14	62



**Figura 4-11.** Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 y su comparación con 2013.

La Figura 4-12, muestra la evolución de la temperatura media anual (promedio construido a partir de promedios diarios) en el periodo 1998-2013. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2010 alcanzando los 14.8 °C mientras que el de menor temperatura fue en 2000, con 13.3°C.



**Figura 4-12.** Gráfica de la temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013.

La Tabla 4-10 muestra esta evolución distribuida en las estaciones de la RMCAB.

**Tabla 4-10.** Promedios de temperatura anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013 a partir de datos diarios.

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral 2m	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	13.6	13.5	13.5	13.8	14.4	14.9	14.3	14.3	14.6
Usaquén								12.6	12.0	14.6	15.1	14.4	14.4	14.7
Suba	10.6	12.8	13.6		12.7	15.3	12.8	13.2	13.7	12.9	13.4	14.0	14.0	14.3
Las ferias	15.6	15.9	16.0	16.2	15.3	15.7		14.2	13.4	14.0	14.2	13.8	13.9	14.2
Parque Simón Bolívar					15.8	15.8		14.4	14.0	14.7	14.9	14.5	14.6	14.8
Fontibón	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.1	14.0	13.9	14.2	14.8	14.6	13.7	13.8	14.1
Puente Aranda	14.0	14.5	14.6	14.7	14.5	14.7	14.6	14.6	14.0	14.6	14.6	14.0	13.8	13.7
Kennedy									13.7	14.8	14.8	14.4	14.5	14.8
Carvajal						12.8	12.4	11.3	14.1	15.4	15.5	15.0	15.2	15.5
Tunal							12.3		14.2	14.6	17.5	13.2	13.4	13.1
San Cristóbal										13.5	13.2	13.8	13.0	13.0

Adicionalmente la Tabla 4-11 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas<sup>15</sup> en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. La estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11,3°C seguido

<sup>15</sup> Se trata de la variable temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria, las cuales son reportadas hacia el medio día y en horas de la madrugada, respectivamente.

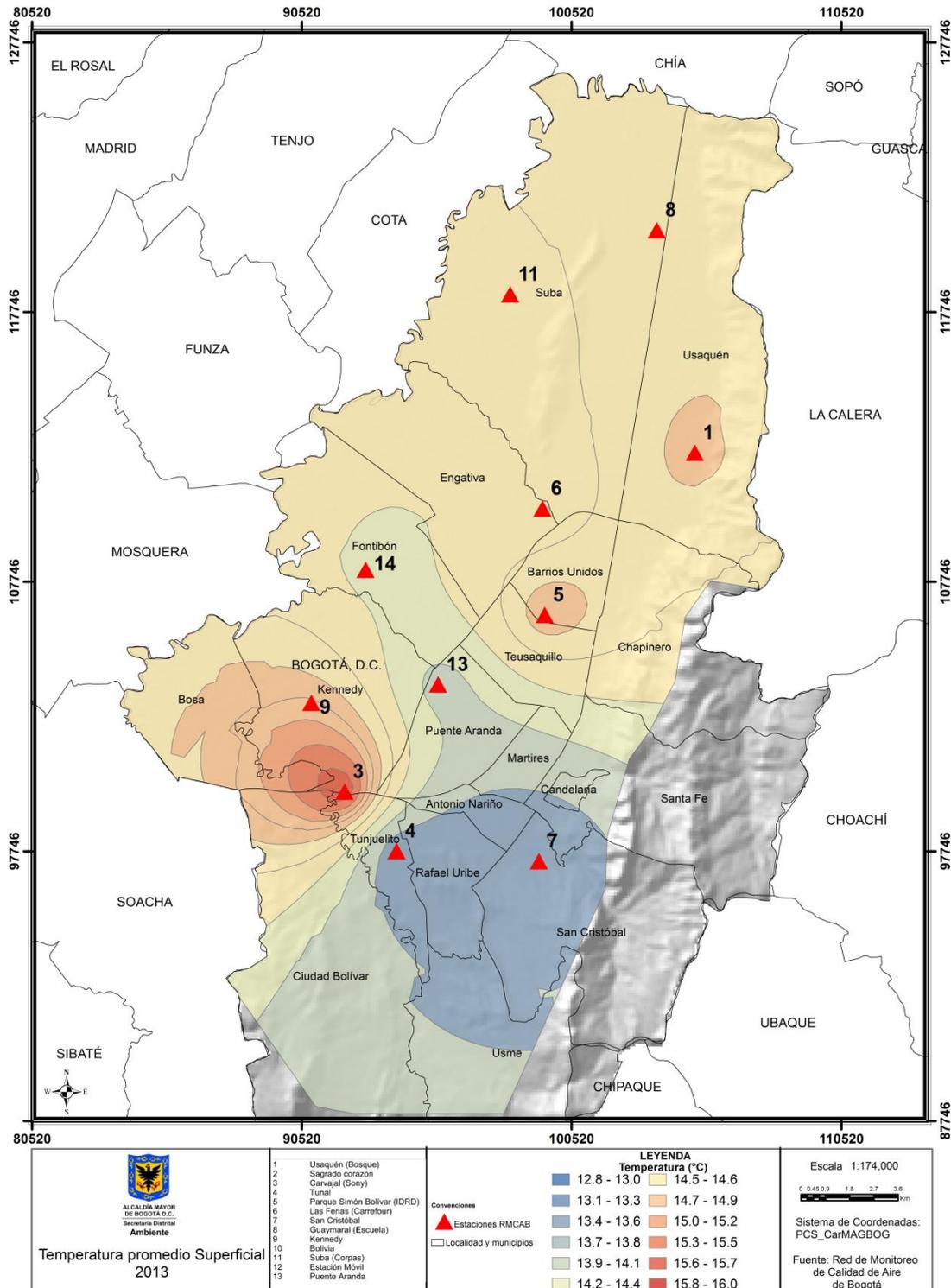
de Suba con 11.2°C mientras que la estación de San Cristóbal se consolida como la de menor amplitud con 6,8 °C; pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. La historia de este tipo de análisis muestra que la amplitud térmica en Bogotá no supera los 12°C.

**Tabla 4-11.** Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica promedio registradas por las estaciones de la RMCAB en el año 2013.

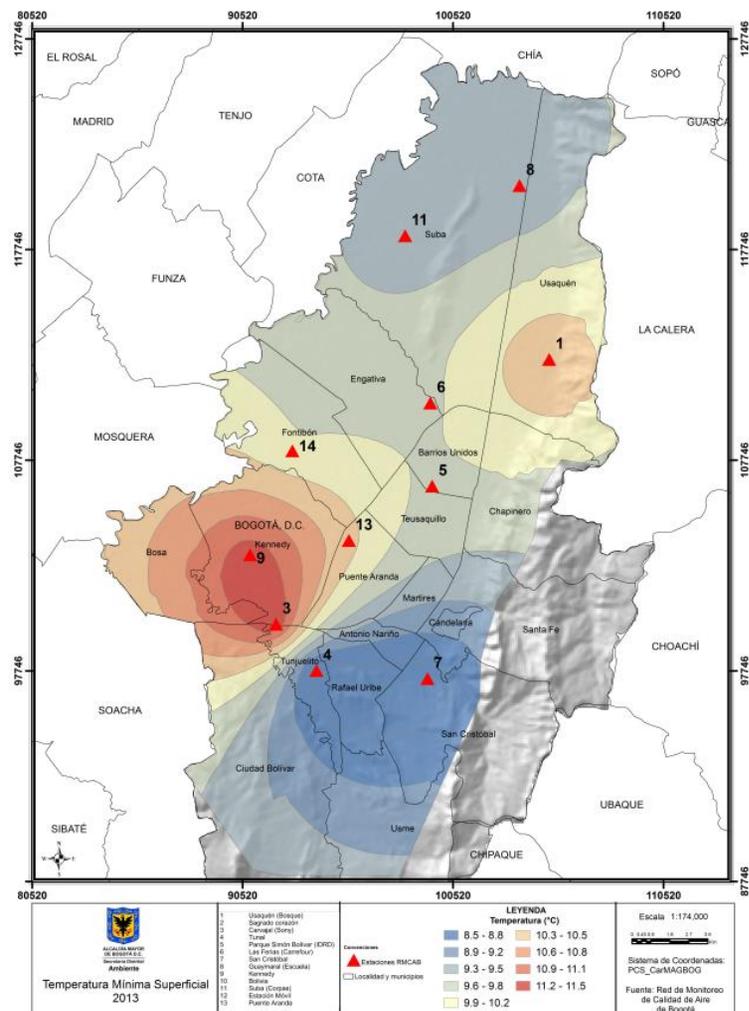
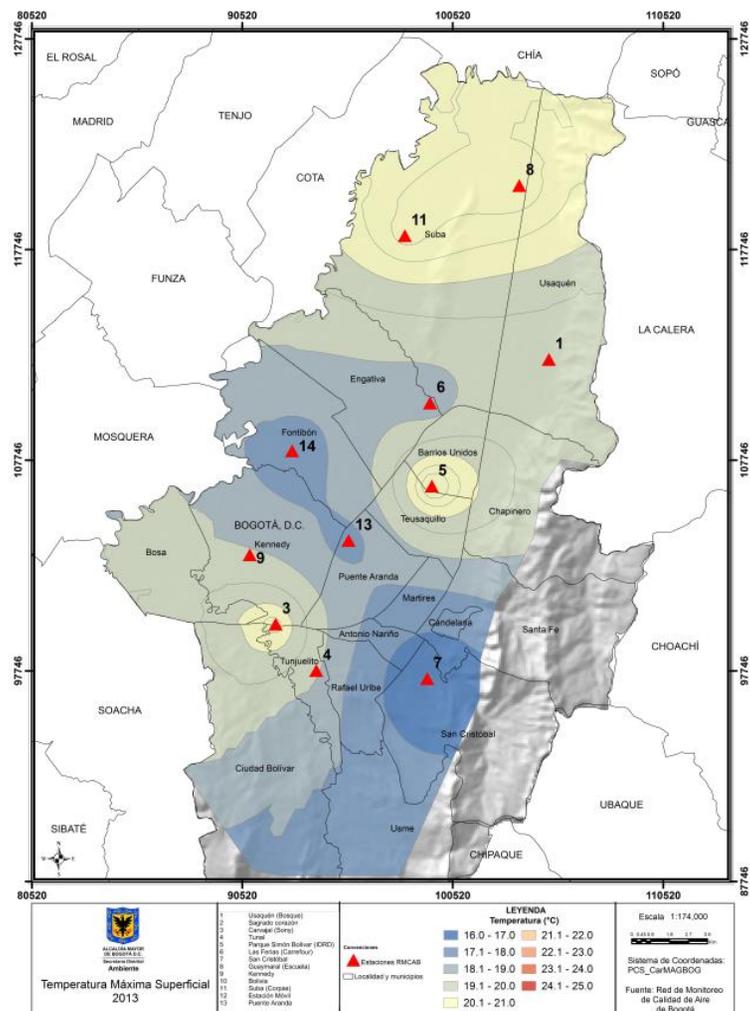
ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Guaymaral 2m	20.6	9.5	11.3
Usaquén	18.9	10.9	8.1
Suba	20.5	9.5	11.2
Las ferias	18.3	10.1	8.3
Parque Simón Bolívar	20.8	10.1	10.9
Fontibón	17.4	10.2	7.3
Puente Aranda	17.6	10.6	7.0
Kennedy	18.8	11.7	7.1
Carvajal	20.3	11.8	8.6
Tunal	18.8	8.5	10.4
San Cristóbal	15.5	8.6	6.8

El mapa de la Figura 4-13 muestra la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el año 2013 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados, principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al Suroriente de la capital. Los mayores promedios se encuentran en gran parte del Occidente particularmente en la localidad de Kennedy mientras que al Norte de la ciudad se presentaron valores relativamente homogéneos.

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 4-14 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente. Las temperaturas máximas presentaron diferencias de hasta 5°C, observándose en la localidad de San Cristóbal los menores valores y al norte los mayores, los cuales alcanzaron hasta 21°C; por su parte las temperaturas mínimas, presentan el promedio más alto cercano a 11.5°C en el Occidente del área capitalina y en zonas aledañas a la estación de Tunal valores de hasta 8.5°C.



**Figura 4-13.** Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2013.



Promedio Temperatura máxima 2013

Promedio Temperatura mínima 2013

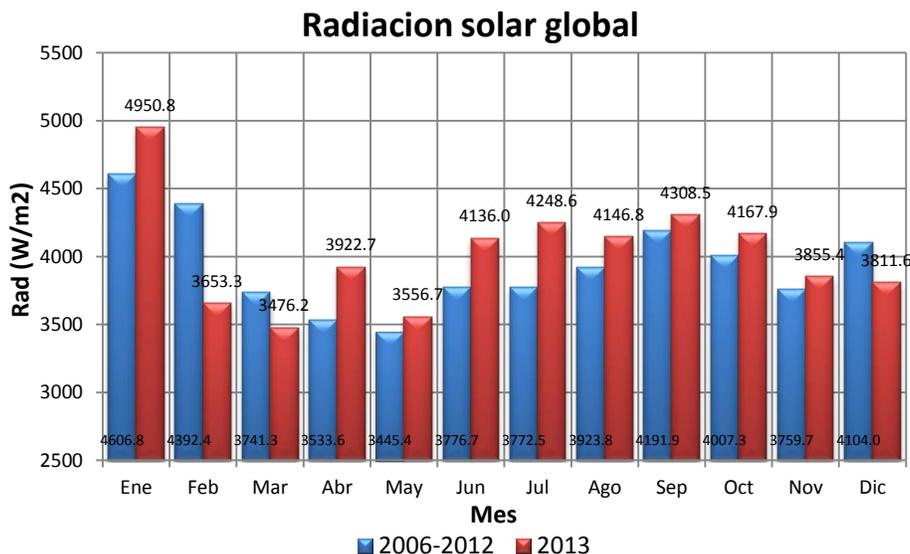
Figura 4-14. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

#### 4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 4-15, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2012 de radiación mensual promedio para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable y su comparación con el promedio de radiación global durante el año. Se puede observar que la radiación durante a lo largo de 2013 fue ligeramente mayor en su acumulado respecto al periodo histórico de referencia, con un tope en el mes de enero que alcanzó 4950 W/m<sup>2</sup> y una diferencia con el periodo de referencia de 344 W/m<sup>2</sup>. No obstante los meses de febrero, marzo y diciembre presentaron una diferencia negativa en sus acumulados la más significativa de 739 W/m<sup>2</sup> en el mes de febrero. La Tabla 4-12 presenta la representatividad de los datos; para este análisis no se ha tenido en cuenta la estación de San Cristóbal por falta de información.

**Tabla 4-12.** Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global.

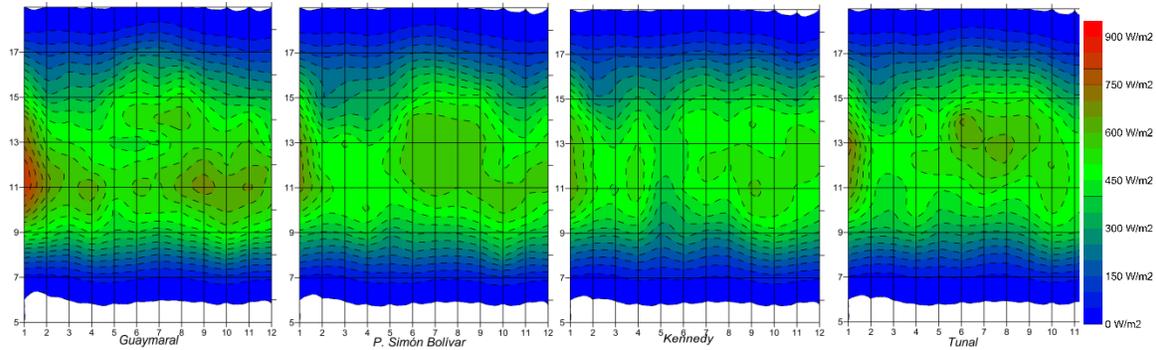
Estación	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY.	JUNE	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	100	100	99	100	99	100	83	99	100	100	100	97
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	99	100	100	100	100	98	100	94	99	100	99
Kennedy	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Tunal	100	100	87	98	95	94	100	100	100	89	100	88	96
San Cristóbal	94	100	78	68	46	0	100	60	0	32	93	59	73



**Figura 4-15.** Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2012 y su comparación con 2013.

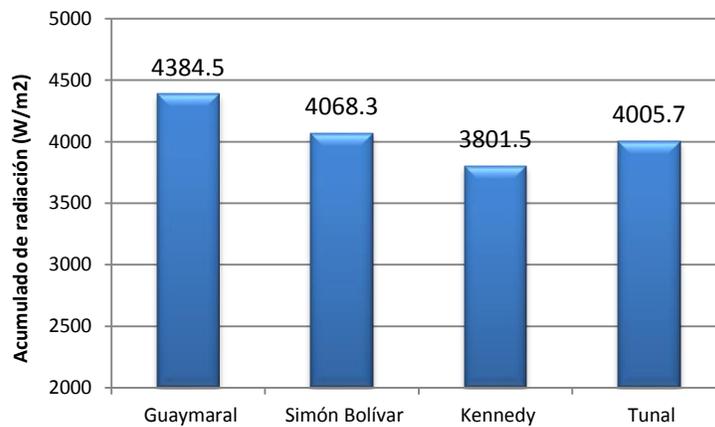
La Figura 4-16 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora, entre las 5 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Se observa que las estaciones con mayor acumulado fueron Guaymaral y Tunal; en Tunal se presentó los mayores valores hacia la 1 pm, durante el mes de enero, julio y agosto, mientras que en Guaymaral los más significativos se presentaron en enero y en el último trimestre; por su parte Kennedy presenta el menor registro con un acumulado no mayor a los 600 W/m<sup>2</sup> al

medio día; en la estación de Parque Simón Bolívar se presentó un acumulado similar desde las 11 am hasta pasadas las 2 de la tarde.



**Figura 4-16.** Acumulado de radiación de las estaciones en 2013 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

La Figura 4-17 presenta el resumen, en donde se confirma que la estación con mayor acumulado de radiación se presentó en Guaymaral seguido de la estación Tunal.



**Figura 4-17.** Acumulado de radiación desde las 6h hasta las 18h para 2013.

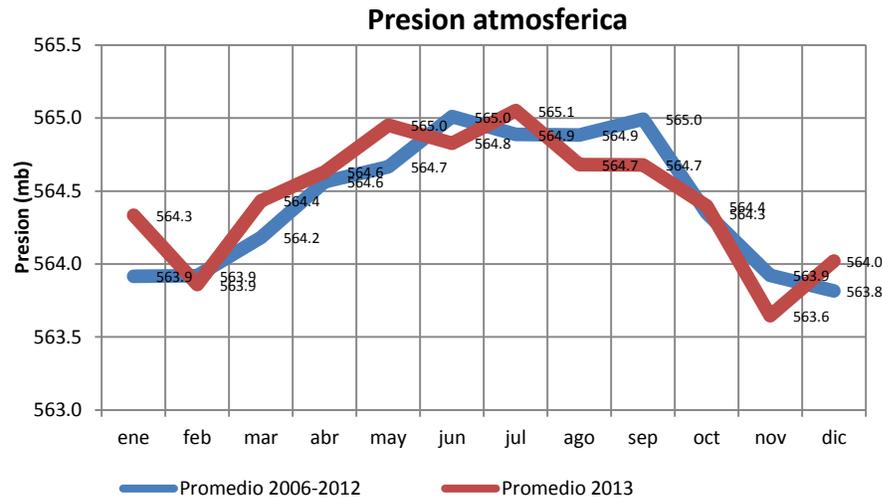
## 4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 4-13. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al Occidente de la Ciudad).

**Tabla 4-13.** Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.

Estaciones	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	81	98	99	100	100	97
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Fontibón	75	99	88	99	100	96	100	100	100	100	82	73	93
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100

La Figura 4-18 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general en lo corrido del año la presión estuvo por encima durante el primer trimestre y por debajo del promedio histórico en el segundo trimestre. Como se observa en la Figura 4-19, los valores trimestrales en los últimos años han sido bastante similares.



**Figura 4-18.** Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

### Presión atmosférica

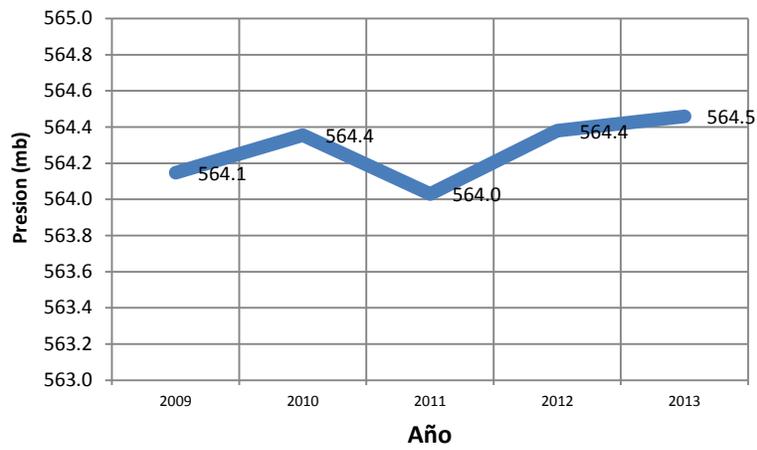


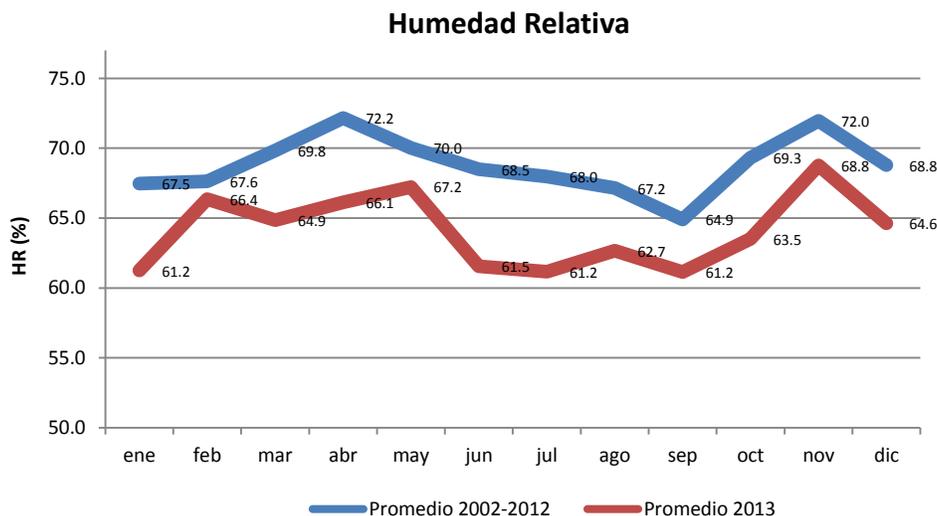
Figura 4-19. Comparación de la presión en los últimos años.

## 4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describió en la Tabla 4-14 la cuál presenta la representatividad de los datos tomados. La Figura 4-20 muestra que la humedad relativa en el año estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2012, en especial el mes de julio en donde la diferencia alcanzó 6.8%.

**Tabla 4-14.** Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY.	JUN.	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2013
Guaymaral (Escuela)	91	99	100	98	100	98	100	81	98	99	100	100	97
Las Ferias (Carrefour)	99	39	100	93	100	96	100	95	100	100	86	95	92
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	99	99	100	100	100	100	97	100	94	100	100	99
Kennedy	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100
Tunal	98	99	76	98	95	91	100	100	100	100	100	77	94
San Cristóbal	88	99	55	34	0	0	100	60	0	32	93	59	68



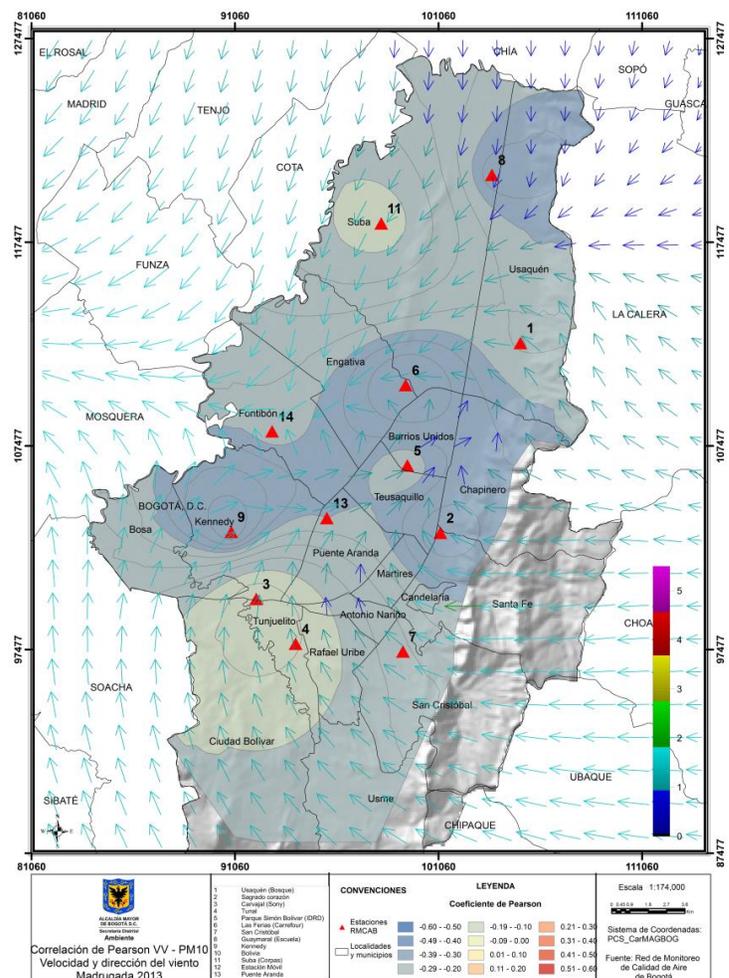
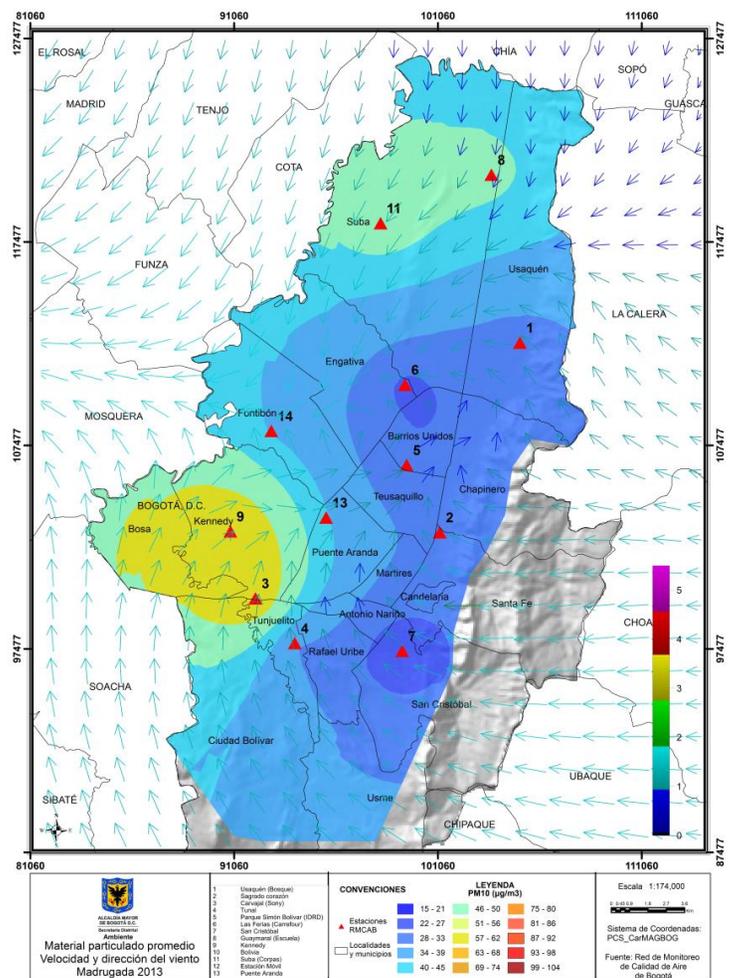
**Figura 4-20.** Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses de 2013.

## 5. Meteorología y Calidad del Aire

### 5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado  $PM_{10}$  y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el año. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Las Figura 5-1, Figura 5-2, Figura 5-3 y Figura 5-4 representan el promedio de la concentración de  $PM_{10}$  con los vectores de viento (mapas del costado izquierdo) así como la interpolación el coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el  $PM_{10}$  nuevamente con los vectores de viento (mapas de la derecha). Examinando los resultados de los mapas, se encuentra que en horas de la madrugada (Figura 5-1), cuando los vientos predominan del sureste y Noreste y los cuales confluyen al Occidente de la ciudad con valores no mayores a los 2 m/s, se presentan concentraciones altas de  $PM_{10}$ , particularmente en la localidad de Kennedy en donde se presentan vientos del suroeste. Al revisar la correlación en esta área, se presenta de modo inverso, a saber; a mayor velocidad del viento menor concentración de material particulado, aunque en la estación de Tunal, en donde se apreciaron valores altos de concentración se observaron correlaciones de menor valor; de esta forma se concluye que la velocidad del viento, que no es alta, contribuye a dispersar el material particulado en sectores del Norte, Centro y Occidente de la ciudad y es indiferente en zonas del Sur y Suroriente en horas de la madrugada. Durante las horas de la mañana, considerando el inicio de la actividad antropogénica, se presenta un aumento considerable en la concentración de material particulado que a su vez es fortalecido por las condiciones estables de la atmósfera producto del descenso de temperatura de la madrugada. La Figura 5-2 muestra que el Occidente de la ciudad presenta valores significativos en  $PM_{10}$ , con vientos que, según el coeficiente de correlación de la zona y con velocidades que están entre los 2 y 3 m/s provenientes del sureste, son indiferentes o favorecen la dispersión del contaminante. En el resto de la ciudad se mantiene esta tendencia, a mayor velocidad del viento, el  $PM_{10}$  tiende a disminuir; a esta altura del día los vientos ya han alcanzado valores de hasta 3m/s con dirección del Suroriente al Sur de la Ciudad y del Norte - Nororiente al Norte del área. En el caso de la tarde, (Figura 5-3) se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y aumento de la velocidad del viento. Así mismo, se observa que fue en este grupo horario en el que se presentaron los mayores acumulados de lluvia, lo que ratifica la inestabilidad en el área además del probable lavado atmosférico. No obstante, el viento participó en algunos casos con tendencia negativa según los registros de las estaciones como muestra el mapa de correlaciones, en donde el  $PM_{10}$  aumentó cuando el viento elevaba su velocidad, manifestándose especialmente en la zona Suroccidental de la capital, mientras que en la zona Nororiental el viento favoreció a la disminución de la concentración del material

particulado. Los vientos alcanzaron velocidades de hasta 5m/s los cuales fueron predominantes del Este – Sureste con tendencia a confluir en los municipios de la sabana Occidente de Bogotá. Por la noche según la Figura 5-4 las condiciones fueron similares a las de la madrugada en términos de la concentración del PM10 y de la correlación con la velocidad del viento aunque en este grupo horario aún se aprecian vientos con velocidades cercanas a los 3 m/s y de dirección predominante del Este –Sureste al Sur de la Ciudad y del Noreste al Norte.



**Figura 5-1 . PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada de 2013.**

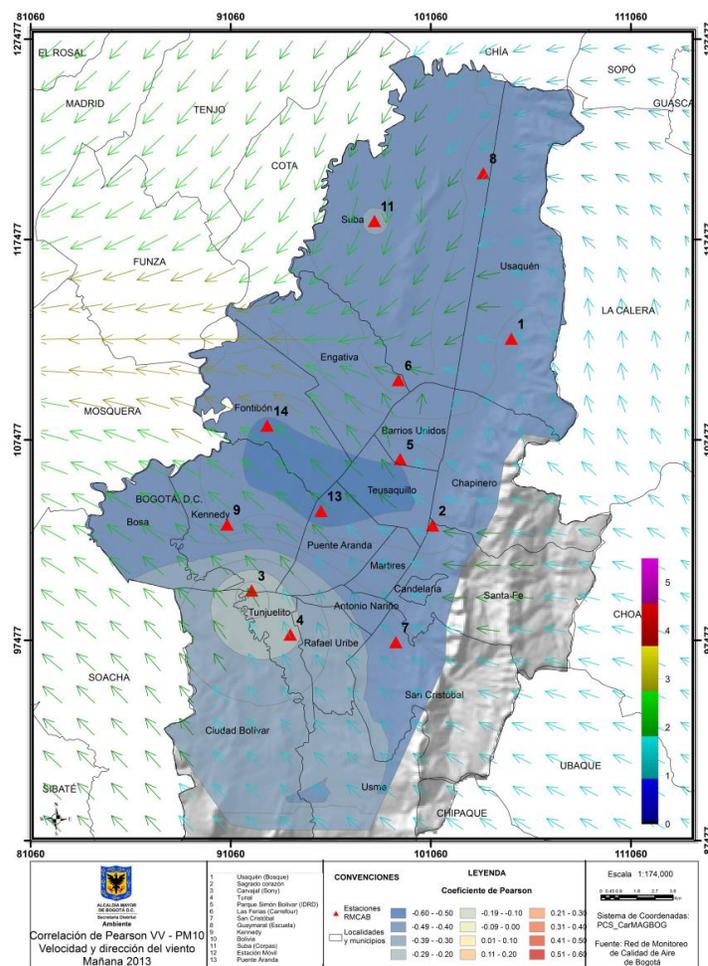
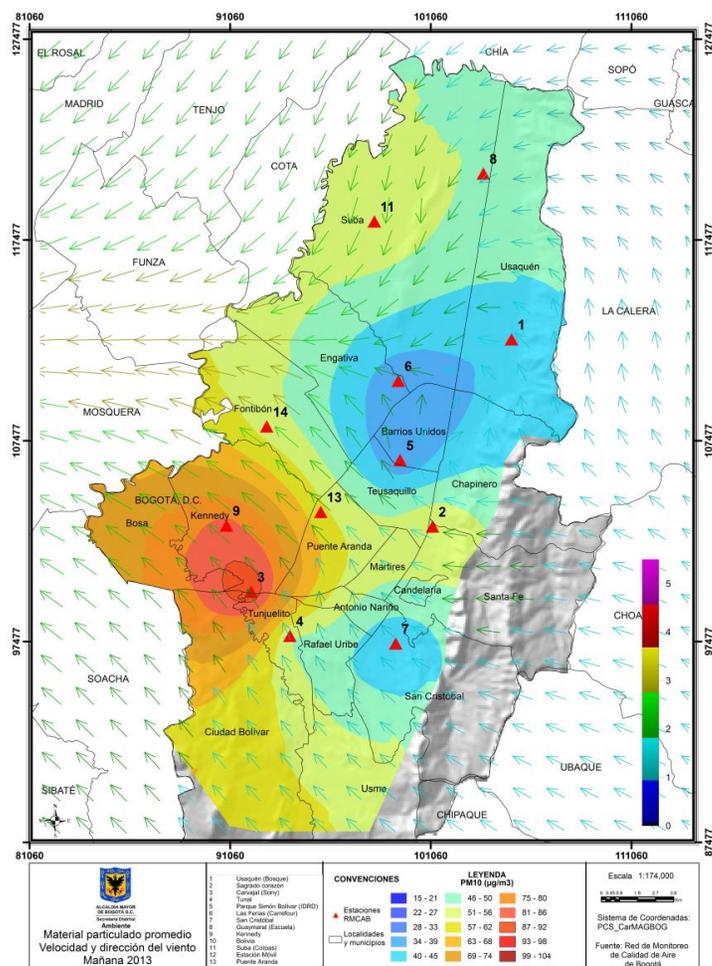
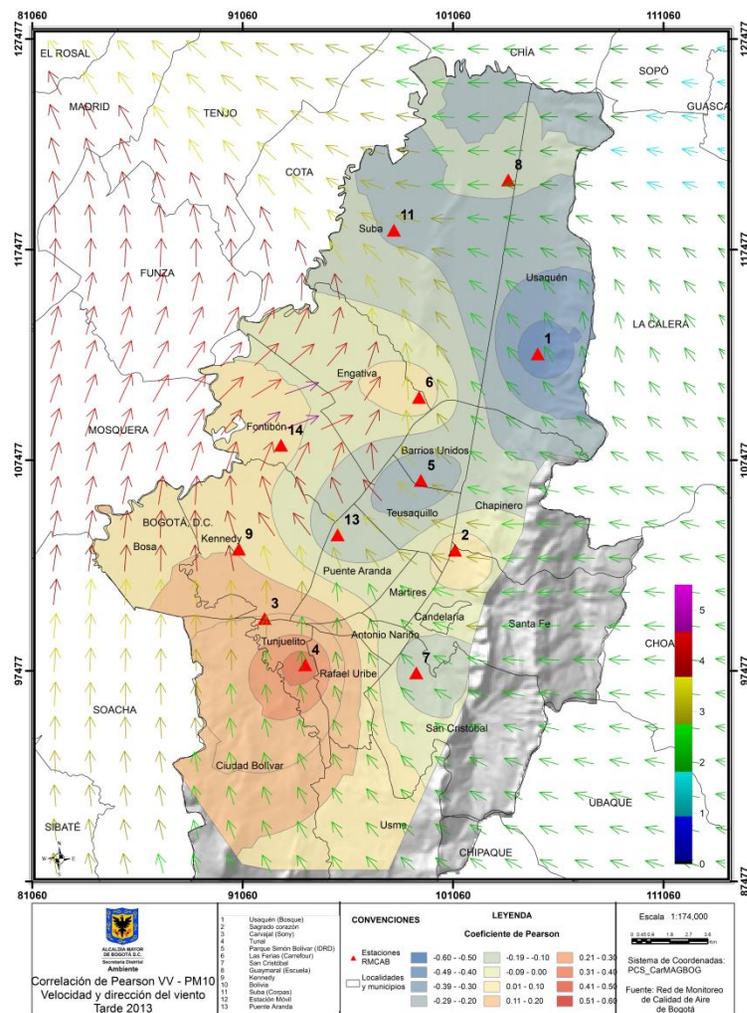
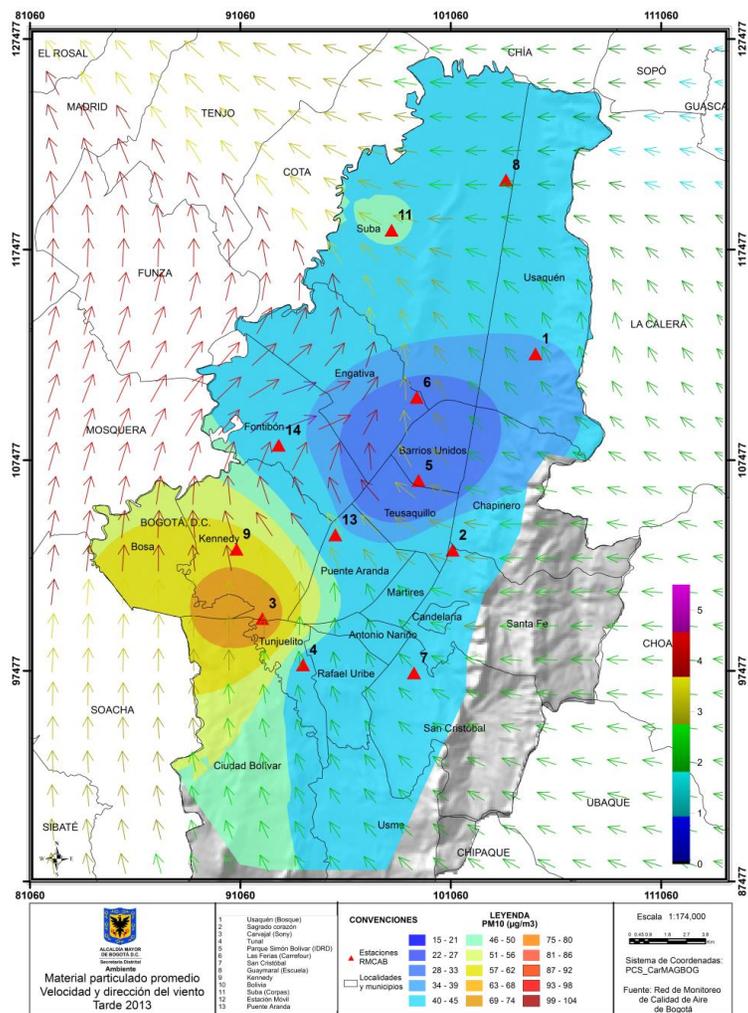
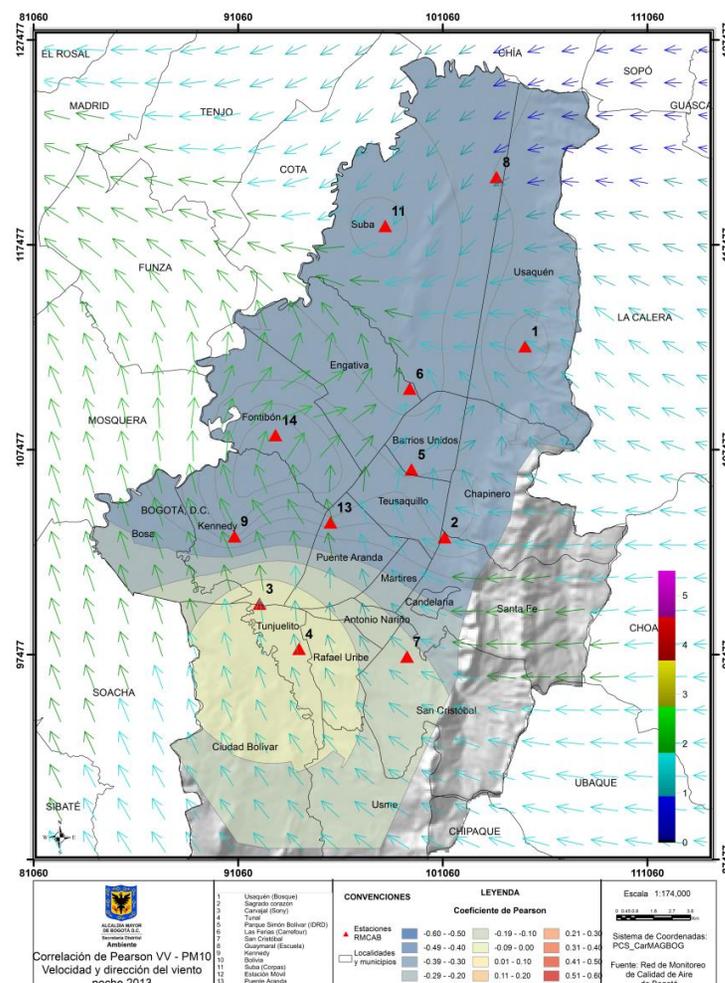
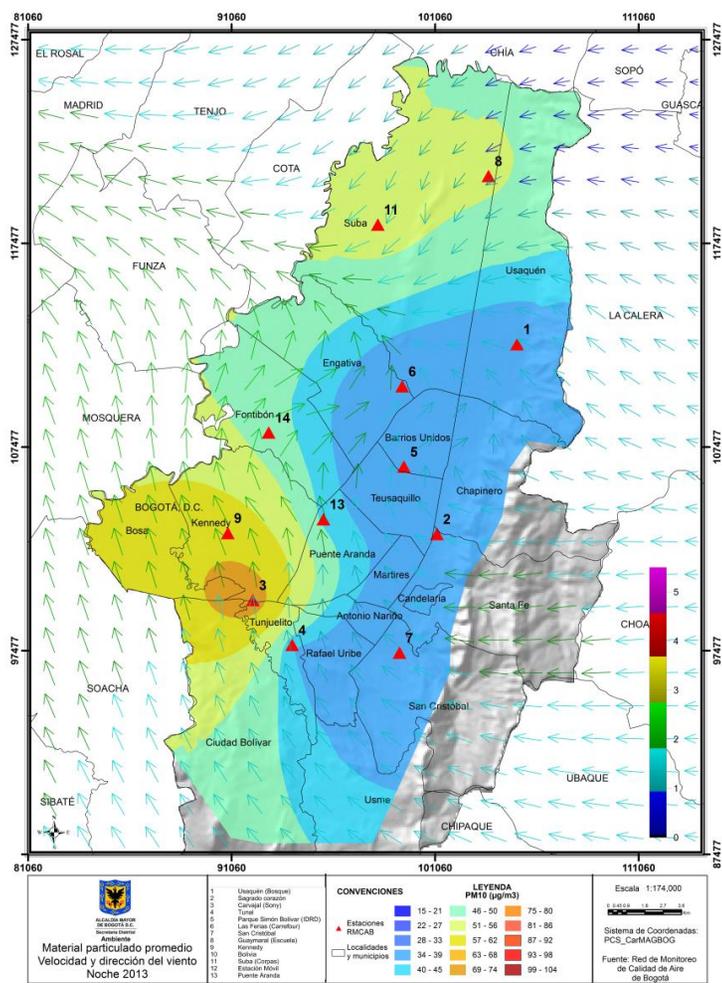


Figura 5-2 . PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana de 2013.



**Figura 5-3 .** PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde de 2013.



**Figura 5-4 .** PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche de 2013.

## 5.2. Episodio de máxima concentración

El 17 de enero de 2013 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 5-5 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional EIDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 0.82, CAPE = 39.17) las condiciones eran estables con baja probabilidad de lluvia en horas de la mañana, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo en las primeras capas lo que produjo precipitaciones de carácter ligero. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas medias, la más significativa y con un alto gradiente de temperatura en los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de PM<sub>10</sub> durante varias horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM<sub>10</sub> en horas de las tarde, como se observa en los mapas de la Figura 5-7. La concentración fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, sector cuyos vientos fueron predominantes del Oeste, tendencia que se mantuvo a lo largo del día como se observa en el mapa de la Figura 5-6. En la madrugada, la concentración no fue significativa y en horas de la noche se observaron valores que muestran que no hubo una dispersión regular de manera que el promedio del día se acercó a los 121 µg/m<sup>3</sup> en esta zona.

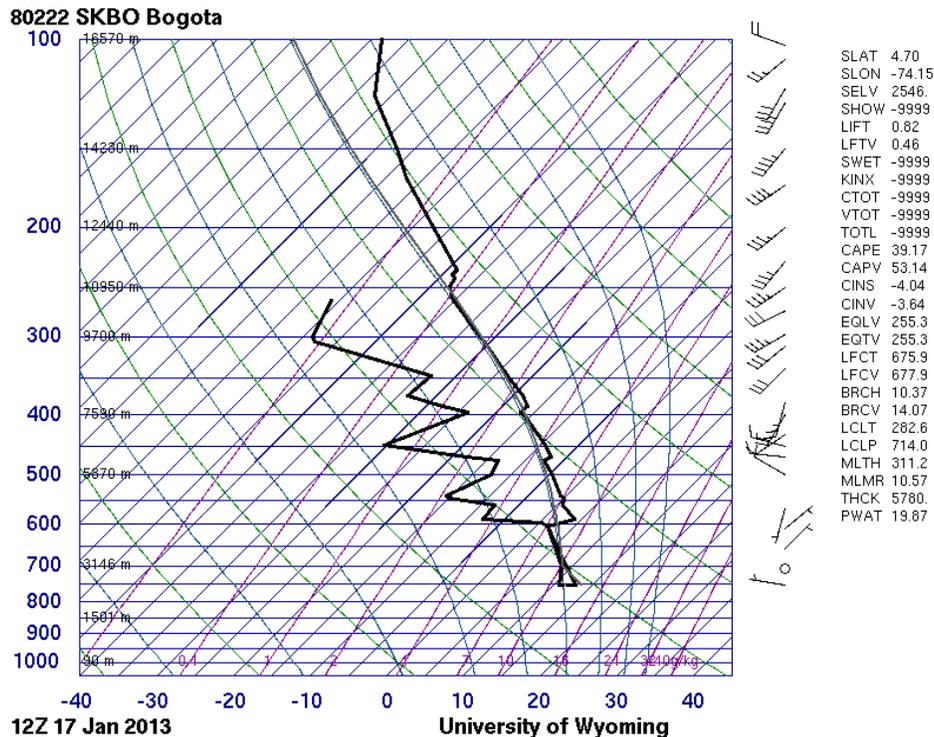
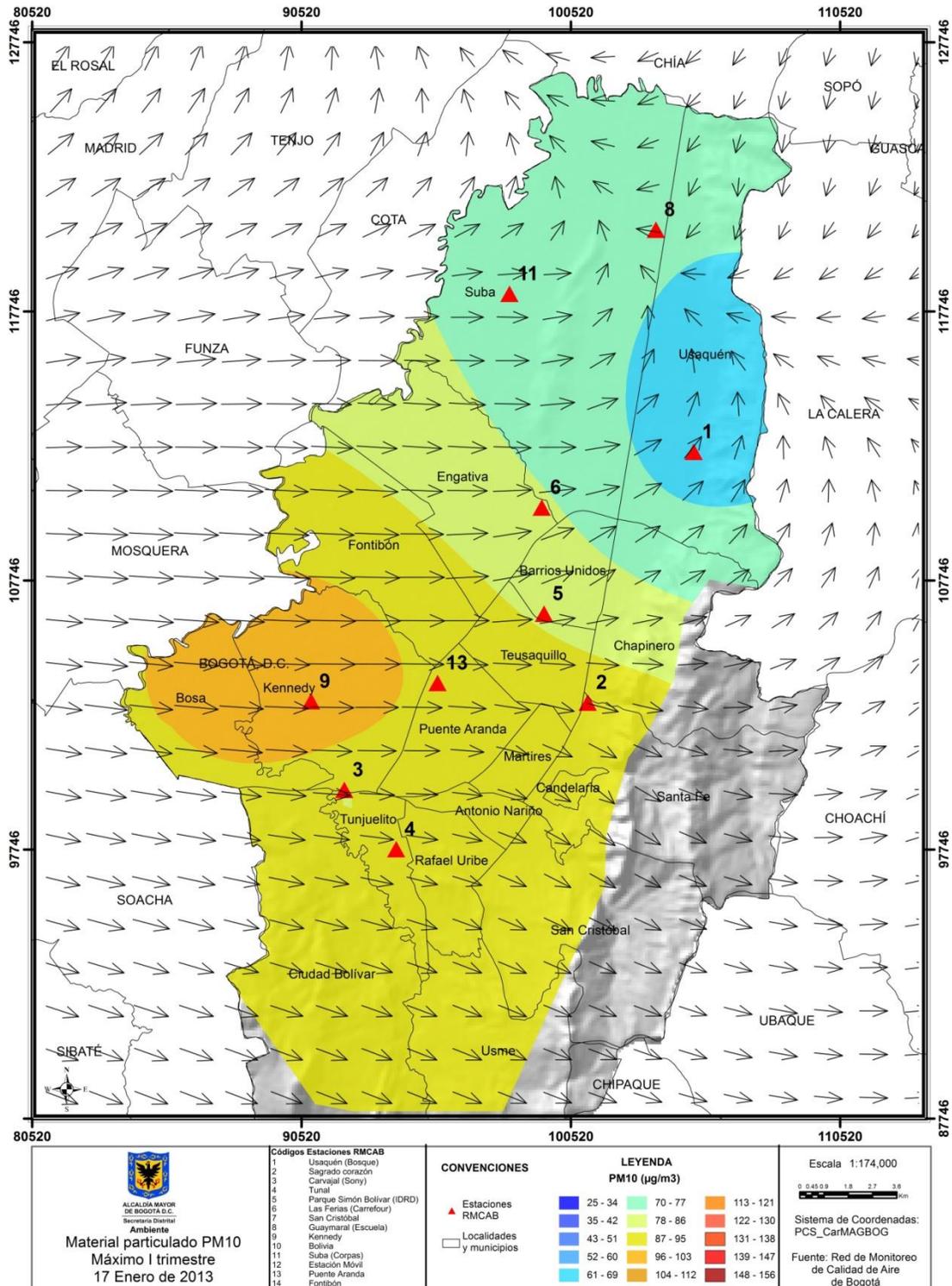


Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 17 de enero de 2013, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.



**Figura 5-6.** PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 017 de enero de 2013. Fuente RMCAB.

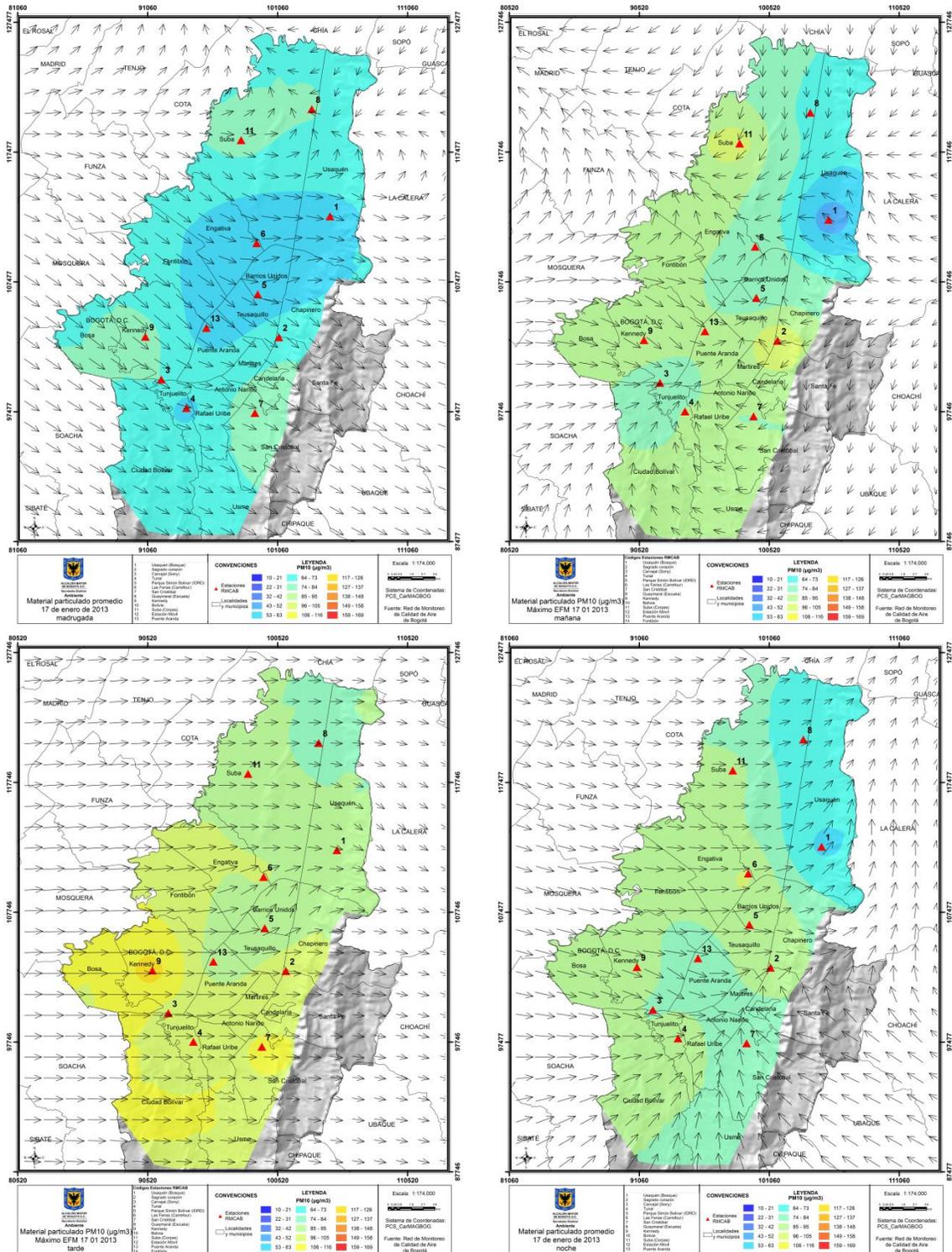


Figura 5-7. PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

## 6. Calidad del Aire y Salud

### 6.1. Vigilancia epidemiológica ambiental y sanitaria de los efectos en salud por contaminación del aire en Bogotá

Para realizar vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire, la Secretaría Distrital de Salud tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

- **Vigilancia Epidemiológica:** Vigila los posibles efectos en salud en la población debido a la exposición a contaminación del aire.
- **Vigilancia Sanitaria:** Está enfocada a la atención de quejas presentadas por las partes interesadas respecto a contaminación del aire.
- **Vigilancia Ambiental:** Contempla el monitoreo contaminación del aire a nivel extramural por medio de fuentes secundarias como redes de calidad del aire.

Las anteriores acciones son realizadas a través de los hospitales primer nivel del Distrito de la siguiente manera:

**Tabla 6-1.** Hospitales de primer nivel pertenecientes al Distrito Capital.

Hospital	Area de Influencia
ESE Hospital Usaquén	Localidad de Usaquén
ESE Hospital Chapinero	Localidades de Chapinero, Barrios Unidos y Teusaquillo
ESE Hospital Centro Oriente	Localidades de La Candelaria, Santa Fe y Los Mártires
ESE Hospital Usme	Localidad de Usme
ESE Hospital San Cristóbal	Localidad de San Cristóbal
ESE Hospital Pablo VI Bosa	Localidad de Bosa
ESE Hospital del Sur	Localidades de Kennedy y Puente Aranda
ESE Hospital Fontibón	Localidad de Fontibón
ESE Hospital Engativá	Localidad de Engativá
ESE Hospital Suba	Localidad de Suba
ESE Hospital Rafael Uribe Uribe	Localidades de Rafael Uribe Uribe y Antonio Nariño
ESE Hospital Vista Hermosa	Localidad de Ciudad Bolívar

## **6.2. Estado de conocimiento de la relación entre contaminación del aire y sus efectos en salud**

### **6.2.1. Hallazgos Internacionales**

Entendiendo como efecto a todo cambio perjudicial mensurable debido a un contaminante del aire, puede decirse que la contaminación atmosférica ha sido estudiada como factor asociado a fenómenos nocivos tan distintos como los efectos sobre la salud humana o el calentamiento global. Varios son los eventos de salud de las poblaciones que se han asociado con la contaminación del aire, los cuales pueden ser expresados mediante indicadores de morbilidad y mortalidad, entre ellos se destacan las enfermedades del sistema respiratorio como el asma, la EPOC y las infecciones, pero también se han estudiado efectos sobre el sistema cardiovascular, el cáncer de órganos blanco diferentes al pulmón, resultados adversos en la gestación o alteraciones en el desarrollo de los niños (Laumbach, 2010). Varios aspectos relacionados con los cambios morfológicos y funcionales de las personas mayores pueden contribuir a aumentar su vulnerabilidad al exponerse a los contaminantes del aire.

#### **a) Enfermedades Respiratorias en niños**

La respiratoria es la principal vía de ingreso de los contaminantes atmosféricos al organismo por lo que es lógico que las patologías que más se han asociado con estos sean las respiratorias. Diversos estudios han demostrado asociación entre la exposición a material particulado (medido como PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) y gases contaminantes del aire, con un aumento de la frecuencia de la morbilidad y la mortalidad por enfermedades respiratorias como el asma, síndrome broncoobstructivo, bronquiolitis y las infecciones respiratorias en niños (Alvis & Hoz, 2008; Barnett *et al.*, 2005; Curtis, Rea, Smith-Willis, Fenyves, & Pan, 2006). Existe evidencia de que la contaminación del aire está asociada con enfermedad respiratoria, en especial en niños menores de 14 años y que de este grupo poblacional el más susceptible es el de los menores de 5 años (Gauderman *et al.*, 2004). Los estudios han mostrado que en la población de niños, los contaminantes ambientales incluyendo el ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el PM<sub>10</sub> contribuyen a la ocurrencia de síntomas respiratorios, cambios en la función pulmonar, aumento en las infecciones respiratorias e incremento en las consultas de urgencia, hospitalizaciones y mortalidad. Así mismo se ha evidenciado el efecto de la contaminación del aire en el ausentismo escolar medido este como impacto del efecto adverso de la contaminación del aire (Gilliland *et al.*, 2001).

Se ha valorado el efecto de diversas formas, en algunos casos han evaluado la frecuencia de síntomas respiratorios y su relación con los niveles de los contaminantes más comunes (PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), la frecuencia de patologías específicas como el asma o la bronquiolitis a través de los sistemas de registro de los servicios de urgencias, hospitalización o consulta externa asociando el aumento de estos eventos con una mayor concentración de los contaminantes mencionados, de hecho, se afirma que puede empeorar la sintomatología relacionada con asma incluso con niveles de PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> por debajo de las normas EPA de EEUU (Van Hee, Kaufman, Budinger, & Mutlu, 2010). Estos hallazgos se han demostrado tanto para la contaminación intramural como para la extramural (Alvis & Hoz, 2008).

Investigaciones realizadas en Europa, Norte y Centro América sobre la asociación entre el resultado final del embarazo y la contaminación del aire con CO, SO<sub>2</sub>, formaldehído, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, han estudiado diversos efectos como el aumento de la frecuencia de partos pretérmino, el retardo en el crecimiento intrauterino, el bajo peso al nacer, mortalidad de los recién nacidos, síndrome de muerte súbita, y malformaciones congénitas cardíacas (Brauer *et al.*, 2008). También se ha estudiado el efecto de la exposición materna a contaminantes del aire en relación con el riesgo de desarrollar asma en el primer año de vida de los niños, encontrándose un riesgo incrementado de presentar esta patología (Salam *et al.*, 2005).

Aunque no hay uniformidad en los hallazgos se considera justificado vigilar los eventos que han demostrado una consistencia en la asociación y que son susceptibles de ser vigilados a nivel nacional como el bajo peso al nacer. Para medir los desenlaces, se han utilizado los sistemas de registro de estadísticas vitales, de consultas de urgencias y hospitalización, algunos estudios han utilizado pruebas específicas como la medición del volumen espiratorio forzado del primer segundo VEF<sub>1</sub>, la capacidad vital forzada CVF y su relación (VEF<sub>1</sub>/CVF). La medición de la exposición usualmente se ha basado en monitores estacionarios y en mediciones integradas de un período de tiempo, aunque se han hecho estudios con sistemas personales de medición de la exposición (Van Hee *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2005).

Los niños que viven en áreas altamente contaminadas están más propensos a buscar atención médica por síntomas respiratorios y crisis de asma (Ward, Milledge, & West, 1989). Los niños especialmente los menores de 5 años, están constantemente expuestos a los efectos adversos generados por los contaminantes debido a que su sistema respiratorio está en desarrollo, su mayor nivel de ventilación por minuto, a los altos niveles de actividad física y su mayor tiempo de permanencia al aire libre. Con relación al material particulado, la literatura señala una amplia evidencia epidemiológica y experimental entre las concentraciones de material particulado y las tasas de morbilidad y mortalidad (WHO & Europe, 2005). Los efectos en la salud del material particulado dependen del tamaño de partícula, su concentración y varía según las fluctuaciones diarias de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. El material particulado entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> es conocido como respirable ya que puede penetrar los mecanismos de defensa del sistema respiratorio y llegar hasta los bronquios o incluso al alveolo pulmonar, como es el caso de las partículas ultra finas que están por debajo de 2,5 µm y medir incluso menos de 0,1 µm de diámetro. Su efecto sobre la salud humana puede deberse a su tamaño, su composición química y su contenido microbiológico (Sarnat, Coull, Schwartz, Gold, & Suh, 2006).

La recopilación que hacen Pope & Dockery en el 2006 establece las siguientes características en la relación entre contaminación del aire y salud (Pope & Dockery, 2006):

- Se evidencia una función de concentración respuesta entre PM y eventos en salud.
- La exposición a PM puede ser a corto (horas, días) y largo plazo (años).
- La función concentración – respuesta parece ser lineal.
- La exposición a PM produce una cascada de eventos (fisiopatológicos) a nivel cardiopulmonar.
- El riesgo de mortalidad por niveles elevados de PM es relativamente pequeño y más población está expuesta a exposiciones crónicas con efecto acumulativo.

Varias características de las personas influyen en la susceptibilidad al material particulado respirable: enfermedad respiratoria o cardiovascular preexistente, diabetes, uso de medicamentos, edad, sexo, raza, estado socioeconómico, servicios de salud, nivel educativo, características de la vivienda, diferencias genéticas, entre otros.

Existe evidencia que el PM impacta la salud de los niños de la siguiente manera: déficit en la función pulmonar, alteración en el crecimiento de la función pulmonar, incremento en la enfermedad respiratoria y en los síntomas, aumento en los ausentismos escolares, aumento en las consultas y hospitalizaciones por enfermedad respiratoria, mortalidad infantil y en menores de 5 años (aumento de mortalidad posneonatal).

En Colombia también se ha encontrado esta asociación. En la investigación de Aristizábal en 1997 se estableció una asociación significativa aunque débil entre infecciones respiratorias agudas y PM<sub>10</sub>. En la Investigación de Solarte, se evidenció que un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en las concentraciones de PM<sub>10</sub> producía un aumento de al menos el 8% en el número de consultas por enfermedad respiratoria aguda en niños menores de 14 años. Así mismo se estableció que los síntomas (tos, flemas, silbidos, fiebre y dolor de cabeza) aumentaban de manera significativa con el incremento de concentración de PM<sub>10</sub>. Los síntomas se asociaban mejor en el grupo de niños asmáticos que en el de no asmáticos, sin embargo ambos grupos son susceptibles de presentar síntomas debido a partículas respirables en la atmósfera (Aristizabal, Suescún, & Patiño, 1997; Solarte, Caicedo, & Restrepo, 2002). Dado lo anterior, se realizó una investigación conjunta entre la Secretaría Distrital de Salud y la Universidad de la Salle en la localidad de Puente Aranda evidenciando que un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en los niveles de PM<sub>10</sub> ocasionaría un incremento del 4% en las consultas por IRA, para un periodo de latencia de seis días. Al ser excedida la norma Distrital (180 µg/m<sup>3</sup>) en el 25% del día, para un periodo de latencia de seis días, se produce un aumento del 29% en el número de consultas por ERA en niños menores a cinco años. Al excederse la norma internacional (EPA) para concentración diaria de PM<sub>10</sub> medida en valores absolutos, en un 25% del día, habría un incremento del 22% en el número de consultas y un 10% si la concentración es medida en medias móviles 24 horas para un periodo de latencia de seis días (Hernández-Flórez *et al.*, 2007).

## **b) Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Personas Mayores**

Estudios realizados en Asia y Norteamérica han demostrado que en las personas mayores la exposición a niveles bajos o moderados de contaminantes del aire aumentan la frecuencia de morbilidad respiratoria tipo asma, bronquitis y EPOC, esta asociación se ha demostrado tanto para PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, aunque los resultados para este último no han sido consistentes (Curtis *et al.*, 2006). La medida de frecuencia de la enfermedad usada en estos estudios fue la incidencia de asma y bronquitis y la tasa de ingresos hospitalarios para la EPOC. También se ha demostrado una asociación entre el aumento de la concentración de los contaminantes criterio y una mayor frecuencia de eventos cardiovasculares en las personas mayores (Villeneuve *et al.*, 2003). Algunos estudios señalan al PM<sub>2,5</sub> como el factor que presenta una mayor fuerza de asociación con estos efectos, los estudios midieron los efectos a través de sistemas de registro de consulta a urgencias o ingresos hospitalarios y se midió la mortalidad a través de los registros de hechos vitales (Linares & Díaz, 2009).

### **c) Cáncer**

Se ha estudiado la asociación entre el cáncer y varios contaminantes del aire, y después de una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible más reciente, los principales expertos del mundo convocados por el Programa de Monografías de la IARC llegaron a la conclusión de que existen pruebas suficientes de que la exposición a la contaminación del aire causa cáncer de pulmón, así como una asociación positiva con un mayor riesgo de cáncer de vejiga catalogando la contaminación del aire en el grupo 1 (el agente es cancerígeno para los seres humanos).

### **d) Efectos en el Embarazo**

El artículo de Curtis *et al.*, permite identificar que los resultados relacionados con el parto pretérmino no son consistentes, mientras que los estudios tienden a indicar que este tipo de exposición se asocia con bajo peso al nacer. También menciona que la exposición a PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, y CO se han relacionado con malformaciones cardíacas y urinarias (Curtis *et al.*, 2006). Una revisión sistemática que incluyó 57 investigaciones, analizó la relación entre la exposición intramural a humo de tabaco ambiental y el bajo peso al nacer, la talla pequeña para la edad gestacional y la prematurez. Concluye que el riesgo de bajo peso al nacer es un 22% mayor en el grupo de expuesto, pero que no tiene efecto en la talla pequeña para la edad gestacional o en la duración de la gestación (Leonardi-Bee, Smyth, Britton, & Coleman, 2008). Además, Salvi y Barnes 2009 reportan los resultados de un estudio en Guatemala muestran que los niños nacidos de madres expuestas a humo de cigarrillo presentan de 60 a 70 gramos menos de peso al nacer respecto a niños expuestos a contaminantes de estufas, chimeneas, electricidad o gas. El bajo peso al nacer es un factor de riesgo para presentar EPOC que está asociado con crecimiento deficiente de pulmones e inadecuada función pulmonar durante la infancia y la edad adulta (Salvi & Barnes, 2009).

## **6.2.2. Problemática en Bogotá**

En Bogotá, la enfermedad respiratoria es el principal problema de salud pública que afecta a la población infantil en Bogotá.

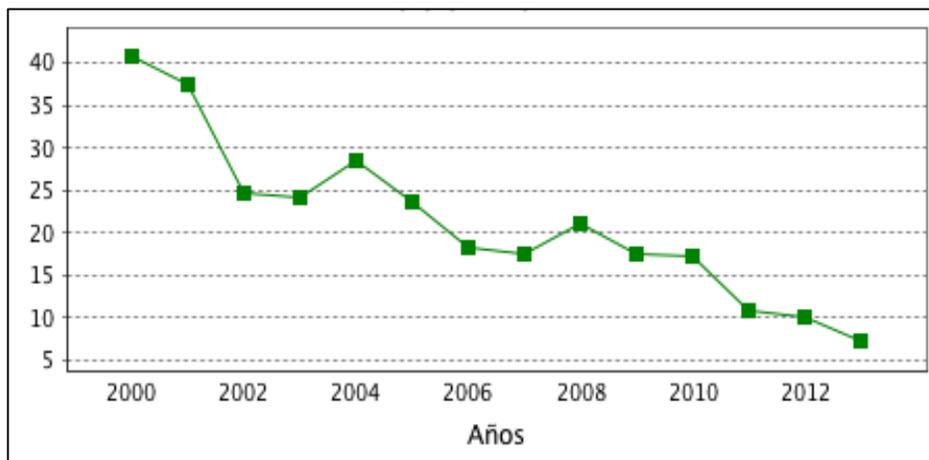
Según datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica SIVIGILA, en Bogotá D.C. durante los últimos 4 años se han atendido anualmente en promedio entre 300.000 y 520.000 menores de 5 años por enfermedad respiratoria y este número se ha ido incrementando a través de los años como se observa en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2.** Comportamiento histórico de casos de enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en Bogotá.

Año	Casos de enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años
2009	435.733
2010	457.411
2011	307.307
2012	518.519
2013	519.330

Fuente: SIVIGILA 2013, Secretaría Distrital de Salud

Respecto a la mortalidad por enfermedad respiratoria, se ha presentado una tendencia decreciente. La tasa de mortalidad por neumonía expresa el riesgo de morir por este evento por cada 100.000 menores de 5 años. La neumonía es quizás el evento más grave de las llamadas Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) por lo cual internacionalmente se toma como evento trazador. Los datos preliminares muestran que esta tasa ha tenido en general una tendencia a la disminución, al pasar de 21 casos por 100.000 menores de 5 años en el año 2008 a 7,2 por 100.000 menores de 5 años en el año 2013<sup>16</sup>. En la Figura 6-1 se observa el comportamiento durante los últimos 10 años.



Fuente Estadísticas Vitales Grupo ASIS, Secretaría de Salud datos preliminares.

**Figura 6-1.** Comportamiento de la tasa de mortalidad por neumonía por ERA en menores de 5 años en Bogotá.

Por otro lado la prevalencia de asma y sibilancias está condicionada a los contaminantes del aire intra y extradomiciliario. En el estudio de efectos de la contaminación por PM<sub>10</sub> en síntomas respiratorios en tres localidades de Bogotá realizado en los años 2007-2008 se evidenció que (Hernández-Flórez *et al.*, 2007):

- Mayor contaminación por PM<sub>10</sub> a nivel intramuros que extramuros en los jardines infantiles, esto se asocia con una alta prevalencia de síntomas respiratorios en las localidades estudiadas.
- Una disminución de PM<sub>10</sub> poblacional (intramuros y extramuros) disminuiría en un 28,5% las sibilancias en niños menores de 5 años.

<sup>16</sup>Datos preliminares Abril 2014  
Informe Anual de Calidad del Aire  
Año 2013  
Página 149 de 179  
126PM04-PR84-M-A2-V2.0

- Una disminución de PM<sub>10</sub> intramuros disminuiría en un 41,1% el ausentismo escolar en los jardines infantiles por enfermedad respiratoria en niños menores de 5 años.
- La contaminación del aire por PM<sub>10</sub> es un factor asociado a síntomas respiratorios en menores de 5 años pero esta relación si bien es lineal no es unicausal sino que existen factores modificadores del efecto como el tabaquismo pasivo, ubicación y condiciones de la vivienda y el jardín infantil, el colecho y antecedente de bajo peso al nacer.

En Bogotá a partir del año 2007 se ha mejorado la calidad de aire al disminuir los promedios anuales de material particulado respirable (PM). Sin embargo, todavía se presentan episodios de excedencia que afectan la salud de los niños y aún no se ha alcanzado el nivel recomendado por la Organización Mundial de la Salud.

### 6.3. Vigilancia epidemiológica

#### 6.3.1. Mortalidad por enfermedad respiratoria

En relación al comportamiento de la mortalidad por enfermedad respiratoria en menores de 5 años, para el año 2013 se presentaron 80 casos en donde las localidades con mayor incidencia fueron Suba, Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Bosa y Engativá. Sin embargo, revisando la tasa de incidencia las localidades más afectadas son Chapinero y San Cristóbal como se muestra en la Figura 6-2.

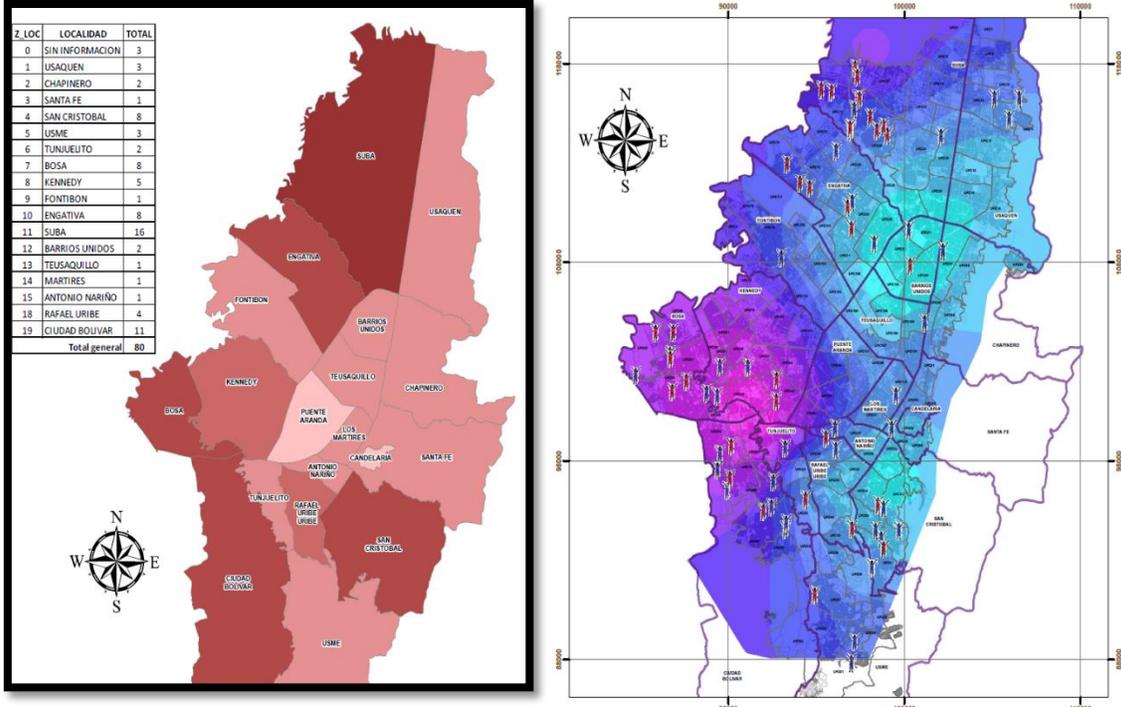
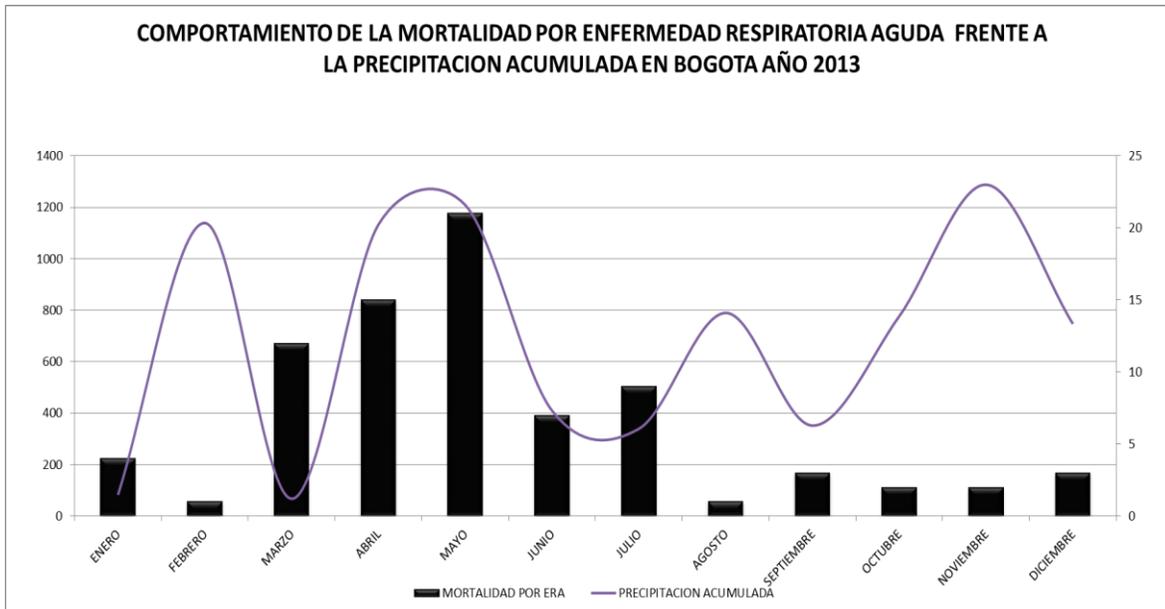


Figura 6-2: Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Respecto a la presencia de estos casos en relación con los niveles de contaminación del aire y lluvias, se evidencia que 48 casos se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición de contaminación del aire por PM<sub>10</sub> en Bogotá. Adicionalmente, la mayoría de los casos se presentaron en el primer semestre del año (69 casos) en donde los meses de marzo, abril y mayo se presentó un ascenso en la incidencia, sin embargo, cabe anotar que en estos meses también se presentó un pico de lluvias en la ciudad como se evidencia en la Figura 6-3.



**Figura 6-3.** Comportamiento de la mortalidad por Enfermedad Respiratoria Aguda frente a la precipitación acumulada en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética – Secretaría Distrital de Salud

En relación con la contaminación del aire por material particulado PM<sub>10</sub>, en el primer semestre se registraron mayores excedencias (50%) sobre la guía de la Organización Mundial de la Salud –OMS- en comparación con el segundo semestre del año (35%), como se evidencia en la Figura 6-4.

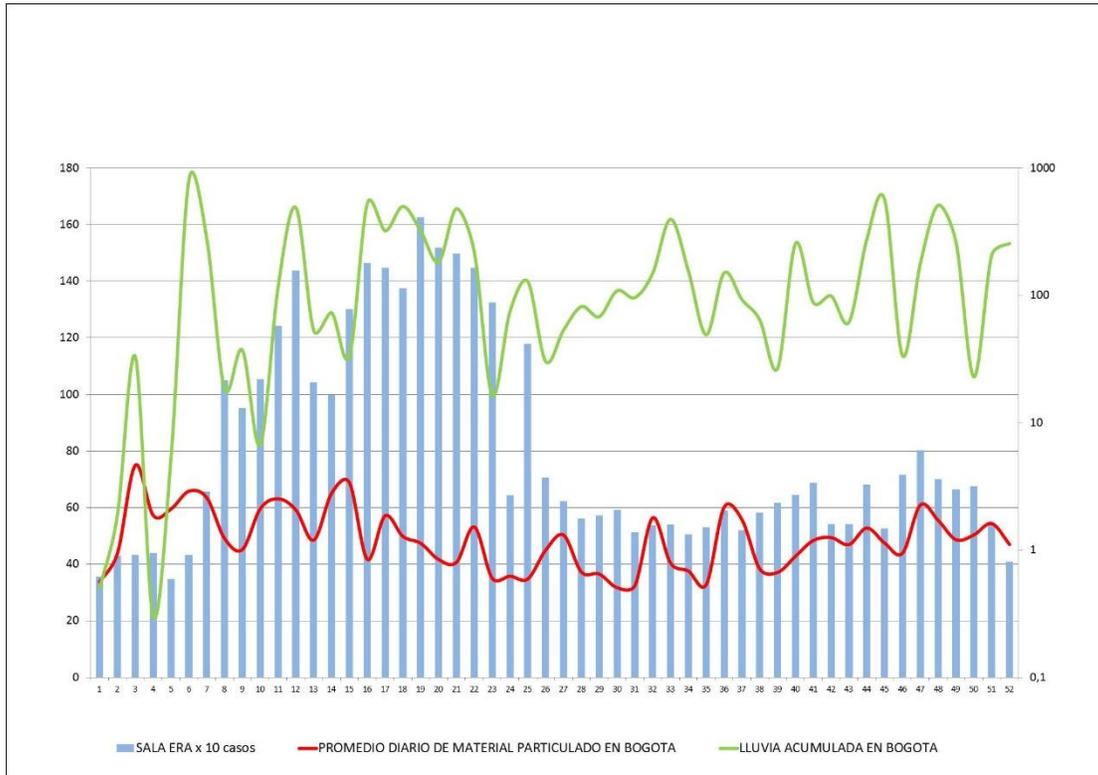


**Figura 6-4:** Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM<sub>10</sub> respecto a la guía de la Organización Mundial de la Salud y casos de mortalidad por enfermedad respiratoria aguda en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

### 6.3.2. Morbilidad por enfermedad respiratoria

#### a) Morbilidad atendida

Para el año 2013, se reportaron un total de 1.489.735 casos de enfermedad respiratoria aguda en todos los grupos de edad reportados por el sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA, en donde el 58% se presentaron en el primer semestre del año. Adicionalmente, se presentaron un total de 41805 casos atendidos de Enfermedad Respiratoria Aguda en menores de 5 años en las 110 salas ERA en el Distrito Capital, de los cuales el 65% se atendió en el primer semestre del año; para este mismo periodo se presentó la mayor ocurrencia de lluvia (4802 mm de lluvia acumulada) y la mayor concentración promedio de contaminación del aire por material particulado PM<sub>10</sub> (52 ug/m<sup>3</sup>) respecto al segundo semestre como se evidencia en la Figura 6-5.



**Figura 6-5:** Comportamiento de la notificación en salas ERA versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado  $PM_{10}$  por semana epidemiológica en Bogotá año 2013. Fuente: Grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

En relación a los casos atendidos en SALAS ERA, las localidades de mayor notificación son Chapinero, Suba y Ciudad Bolívar como se evidencia en la Figura 6-6.

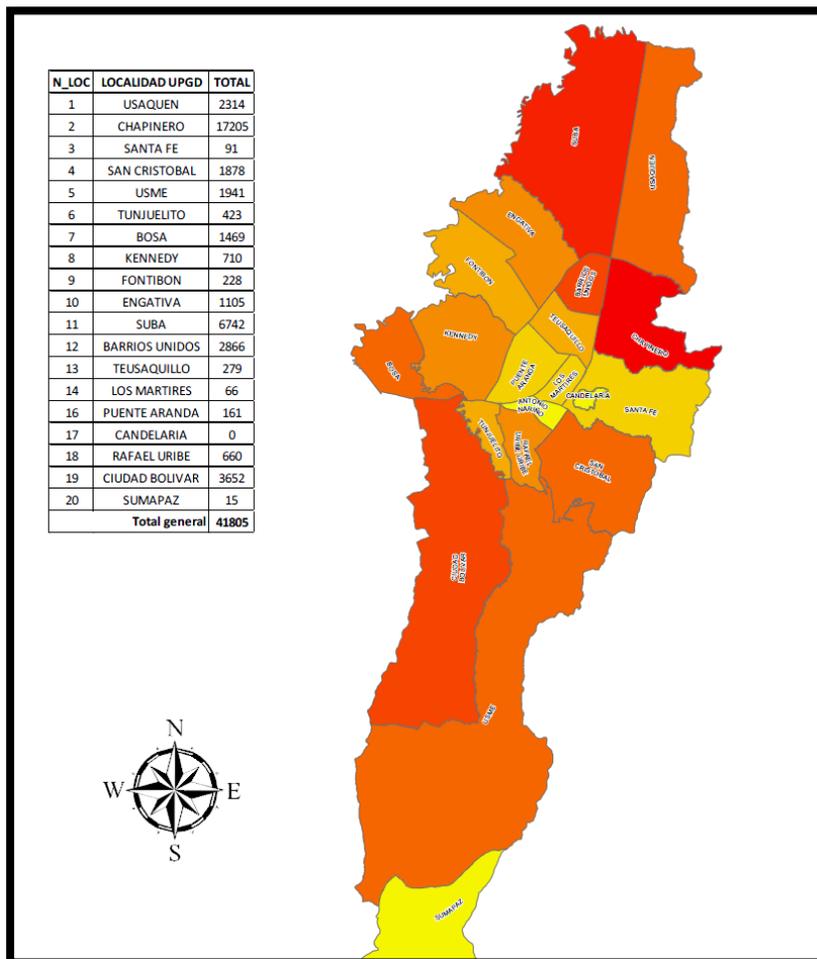


Figura 6-6. Casos de Enfermedad Respiratoria en Menores de 5 años atendidos en las Salas ERA en Bogotá 2013

### b) Morbilidad sentida

La morbilidad sentida se determina por medio de una vigilancia centinela basada en la aplicación de una encuesta de prevalencia de síntomas respiratorios y factores de riesgo de exposición a contaminación del aire; para el año 2013 se evaluó una muestra de 5729 menores de 5 años, los cuales fueron discriminados de acuerdo a la exposición a contaminación del aire en unidades centinela (jardines infantiles) del área urbana de Bogotá: mayor exposición 3145 (55%), menor exposición 2580 (45%). La mayor parte de la población pertenecía al estrato 2 (50%), seguido del estrato 3 (33%) y el estrato 1 (13%). Las características demográficas se presentan en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3.** Caracterización sociodemográfica de unidades centinela menores 5 años 2013.

	Estrato	Masculino	Femenino	Total	Edad meses (Promedio)
<b>Total Bogotá</b>	1	381 (50%)	375 (50%)	756	37 (± 13.6)
	2	1438 (50%)	1424 (50%)	2862	
	3	987 (53%)	879 (47%)	1866	
	4	110 (52%)	100 (48%)	210	
	5	4 (50%)	4 (50%)	8	
	6	15 (56%)	12 (44%)	27	
	<i>Total</i>	<i>2935 (51%)</i>	<i>2794 (49%)</i>	<i>5729</i>	

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética-Secretaría Distrital de Salud

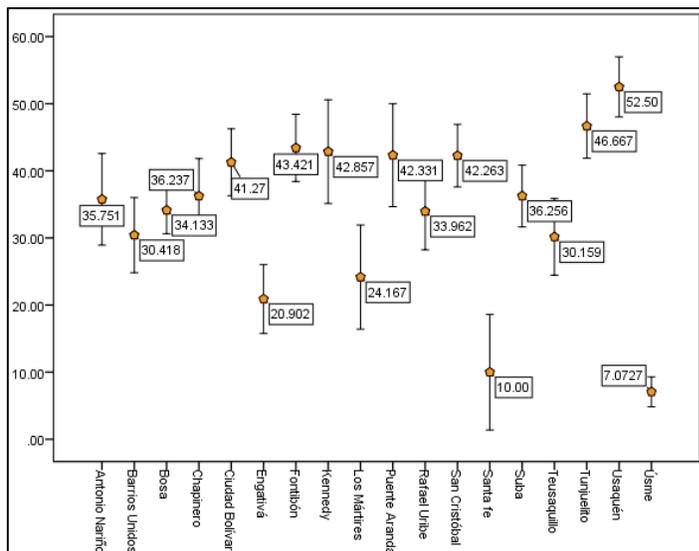
A través de un diseño epidemiológico transversal, se analizó la presencia de síntomas respiratorios y sus posibles factores asociados a través de una encuesta de prevalencia basada en el cuestionario ISAAC (*The International Study Asthma and Allergies in Childhood*). Los síntomas respiratorios más asociados a los contaminantes del aire intra y extradomiciliarios son las sibilancias y la tos seca, que se asocian al diagnóstico de asma bronquial; las sibilancias se reconocen como un silbido en el pecho, que la mayoría de las veces se acompaña de dificultad para respirar. En la Tabla 6-4 se presenta la prevalencia de síntomas respiratorios encontrados.

**Tabla 6-4.** Prevalencia síntomas respiratorios menores 5 años Bogotá 2013.

Síntoma Respiratorio	N (%)
Sibilancias alguna vez en la vida	2025 (35%)
Sibilancias durante el último año	790 (13.8%)
Tos seca en la noche	1056 (18.4%)
Sibilancias durante el ejercicio	191 (3.3%)
Tos durante el ejercicio	609 (10.6%)
Ausentismo escolar	1043 (18.2%)

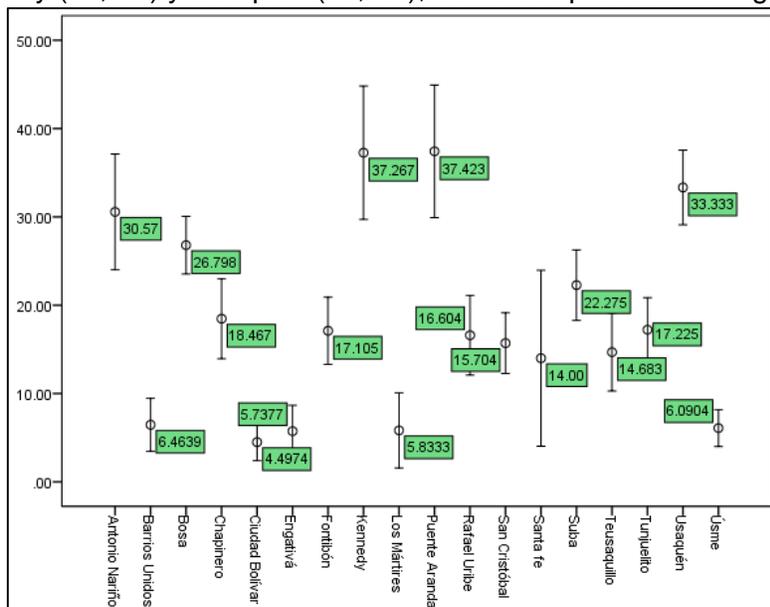
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Teniendo en cuenta el estudio de asma en niños en América Latina que resalta la importancia de síntomas respiratorios relacionados con asma, se tiene que para niños entre 6-7 años la prevalencia de sibilancias alguna vez en la vida oscila entre el 4,1% y el 26,9% (Mallol, 2004a). Para el caso de Bogotá, la prevalencia o proporción de sibilancias que es un síntoma compatible con asma en menores de 5 años es del 35% y las localidades con mayor prevalencia son Usaquén (52%), Tunjuelito (46%), Fontibón (43%), Kennedy (42%) y Puente Aranda (42%). En la Figura 6-7 se presenta dicha relación.



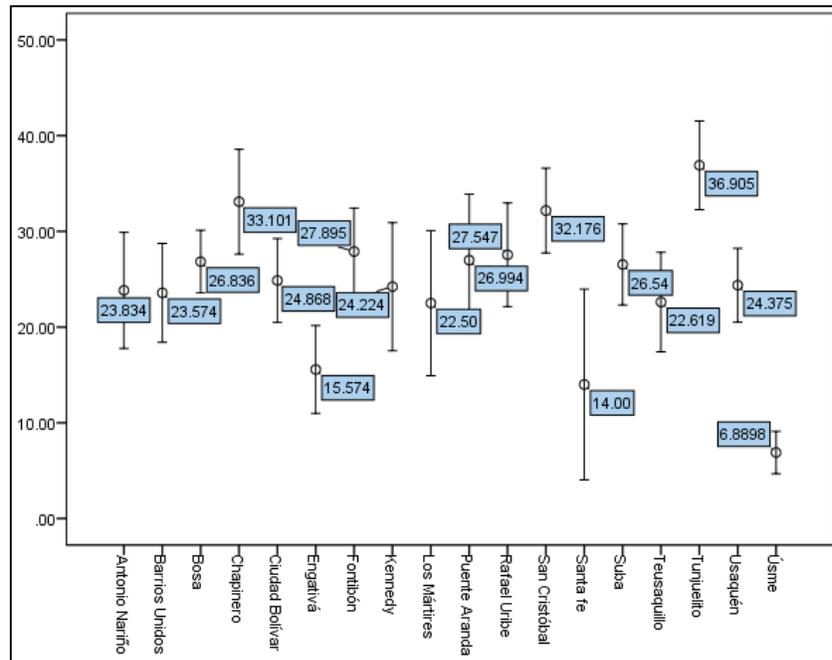
**Figura 6-7.** Prevalencia de algún episodio de sibilancias en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Para el evento de tos en la noche, las localidades más afectadas fueron Puente Aranda (37,4%), Kennedy (37,2%) y Usaquén (33,3%), como se aprecia en la Figura 6-8.



**Figura 6-8.** Prevalencia de tos en la noche en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

En relación al tabaquismo pasivo o exposición a humo de tabaco de segunda mano, las localidades que presentaron mayor proporción de menores de 5 años expuestos fueron Tunjuelito (36,9%), Chapinero (33,1%) y San Cristóbal (32,1%). El comparativo por localidad se puede observar en la Figura 6-9.



**Figura 6-9.** Prevalencia de tabaquismo pasivo en menores de 5 años por localidad en Bogotá. Año 2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

Posteriormente se comparó la prevalencia entre los expuestos a distintos factores de riesgo con relación a los no expuestos. Durante el año 2013, se presentaron sibilancias compatibles con asma bronquial asociado a exposición a contaminación del aire, en particular por factores como humo de segunda mano, humedad en las viviendas y tráfico vehicular pesado. Lo anterior implica que la presencia de estos factores aumentan la probabilidad de presentar casos de sibilancias en un 44% para los expuestos a humo de segunda mano, en un 26% para los que presentan humedad en las viviendas y en un 17% para los expuestos a tráfico vehicular pesado (camiones, buses y busetas). En la Tabla 6-5 se presentan los resultados del comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores de riesgos estudiados en menores de 5 años en Bogotá.

**Tabla 6-5.** Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores de riesgos estudiados en menores de 5 años.

Prevalencia sibilancias en el último año			
Principales Factores Asociados a Enfermedad Respiratoria	Sí	No	RP (IC 95%)
	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	
Alto nivel exposición material particulado	479 (15,2%)	311 (12,1%)	1,11 (0,99-1,25)
Humo de segunda mano	111 (21,7%)	121 (13,1%)	1,44 (1,17-1,76)*
Tabaquismo embarazo	24 (15%)	762 (13,7%)	0,94 (0,67-1,30)
Exposición a sustancias tóxicas	99 (18,8%)	683 (13,2%)	1,11 (0,96-1,33)
<b>SOCIODEMOGRAFICO</b>			
Sexo Femenino	362 (13%)	618 (22%)	1,00 (0,89-1,11)
Bajo peso al nacer	155 (20,4%)	227 (29%)	1,12 (0,98-1,29)
No lactancia materna exclusiva	36 (11,8%)	75 (24%)	0,86 (0,65-1,13)
Déficit cualitativo vivienda	60 (12,1%)	730 (14%)	0,88 (0,71-1,09)
Hacinamiento crítico	99 (14,5%)	691 (13,7%)	0,95 (0,80-1,13)
<b>INTRADOMICILIARIO</b>			
Colecho	413 (15,7%)	281 (14,7%)	1,08 (0,96-1,22)
Humedad en la vivienda	224 (20,5%)	566 (12,2%)	1,26 (1,12-1,42)*
Animales domésticos en la vivienda	249 (13,7%)	540 (13,8%)	0,98 (0,87-1,10)
Fábrica en la vivienda	142 (16,2%)	648 (13,3%)	1,08 (0,94-1,24)
<b>Extradomiciliario</b>			
Exposición a tráfico pesado	401 (17%)	389 (11,5%)	1,17 (1,05-1,31)*
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	229 (16,1%)	561 (13%)	0,91 (0,80-1,03)

NOTA: \*Estas diferencias son significativas a nivel estadístico.

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Adicional a esto, para descartar la confusión de las variables y estudiar posibles efectos de interacción se tomó el síntoma respiratorio sibilancias en el último año como síntoma trazador de asma bronquial y no se observó confusión para ninguna de las variables evaluadas según las pruebas estadísticas realizadas. Por otro lado, se encontró modificación del efecto entre alta exposición a contaminación atmosférica por material particulado y humedad en la vivienda. Otro factor que presenta una ligera interacción con la contaminación extramural es la exposición a humo de tabaco de segunda mano. En la Tabla 6-6 se presenta los principales factores evaluados en el análisis estadístico estratificado.

Para evaluar factores de confusión entre las distintas variables se realiza un análisis estadístico estratificado.<sup>17</sup>

**Tabla 6-6.** Análisis estratificado sibilancias último año por grupo edad (0 a 5 años).

Variables		Exposición a material particulado	Sibilancias Último Año				Breslow Day (valor p)
			Sí	No	Bivariado		
			Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	Razón de Prevalencia Cruda (Ic 95%)	Razón de Prevalencia Ajustada (Ic 95%)	
Humo de segunda mano	SI	Mayor exposición	81 (50%)	80 (50%)	1,18 (0,95-1,48)	1,17 (0,94-1,46)	0,08
		Menor exposición	30 (35%)	57 (65%)			
	NO	Mayor exposición	74 (31%)	166 (69%)			
		Menor exposición	47 (31%)	103 (69%)			
Humedad en la vivienda	SI	Mayor exposición	152 (49%)	161 (51%)	1,11 (0,99-1,25)	1,10 (0,98-1,24)	0,042
		Menor exposición	72 (36%)	126 (64%)			
	NO	Mayor exposición	327 (35%)	600 (65%)			
		Menor exposición	239 (34%)	462 (66%)			
Bajo peso al nacer	SI	Mayor exposición	94 (40%)	139 (60%)	1,13 (1,01-1,27)	1,13 (1,01-1,27)	0,50
		Menor exposición	61 (41%)	98 (59%)			
	NO	Mayor exposición	381 (38%)	615 (62%)			
		Menor exposición	246 (33%)	499 (67%)			
Tipo tráfico vehicular	Pesado	Mayor exposición	262 (42%)	364 (58%)	1,11 (0,99-1,25)	1,10 (0,98-1,23)	0,74
		Menor exposición	139 (37%)	234 (73%)			
	Liviano	Mayor exposición	217 (35%)	397 (65%)			
		Menor exposición	172 (33%)	354 (67%)			

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Para analizar la asociación de cada uno de los factores evaluados con relación a los síntomas respiratorios se realizó un análisis multivariado por regresión logística binaria. Este mostró una asociación entre sibilancias en el último año con cercanía a tráfico pesado y exposición a humo de segunda mano como se muestra en la Tabla 6-7.

<sup>17</sup> Pruebas de Mancel Haenszel y Breslow Day. Este análisis se basa en el control del efecto de la contaminación del aire sobre los síntomas respiratorios, por otros factores que inciden en los efectos de salud como lo son variables sociodemográficas y otras exposiciones ambientales.

**Tabla 6-7.** Análisis multivariado de sibilancias último año 0 a 5 años.

Sibilancias en el último Año		
Variable	Coefficiente Beta	RP (IC 95%)
Exposición a material particulado	0,20	1,22 (0,87-1,73)
Exposición humo de tabaco de segunda mano	0,58	1,78 (1,28-2,49)
Cercanía tráfico pesado vehicular	0,36	1,44 (1,03-2,00)

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Con base en lo anterior, se observa una afectación importante por asma y síntomas respiratorios en Bogotá durante el 2013 con respecto a otros países de América Latina (Mallol, 2004b). La relación de la contaminación atmosférica y los síntomas respiratorios es paradójica, ya que aunque no se encontró asociación estadística al pertenecer a una unidad centinela de alta exposición, sí estuvo asociado con la exposición a tráfico vehicular pesado que es el principal aportante a la contaminación del aire en Bogotá. Por último, es importante mencionar que la exposición a humo de tabaco de segunda mano sigue siendo el principal condicionante de los síntomas respiratorios en menores de 5 años, con lo cual se hace necesario fortalecer la prevención de consumo de tabaco al interior de los hogares.

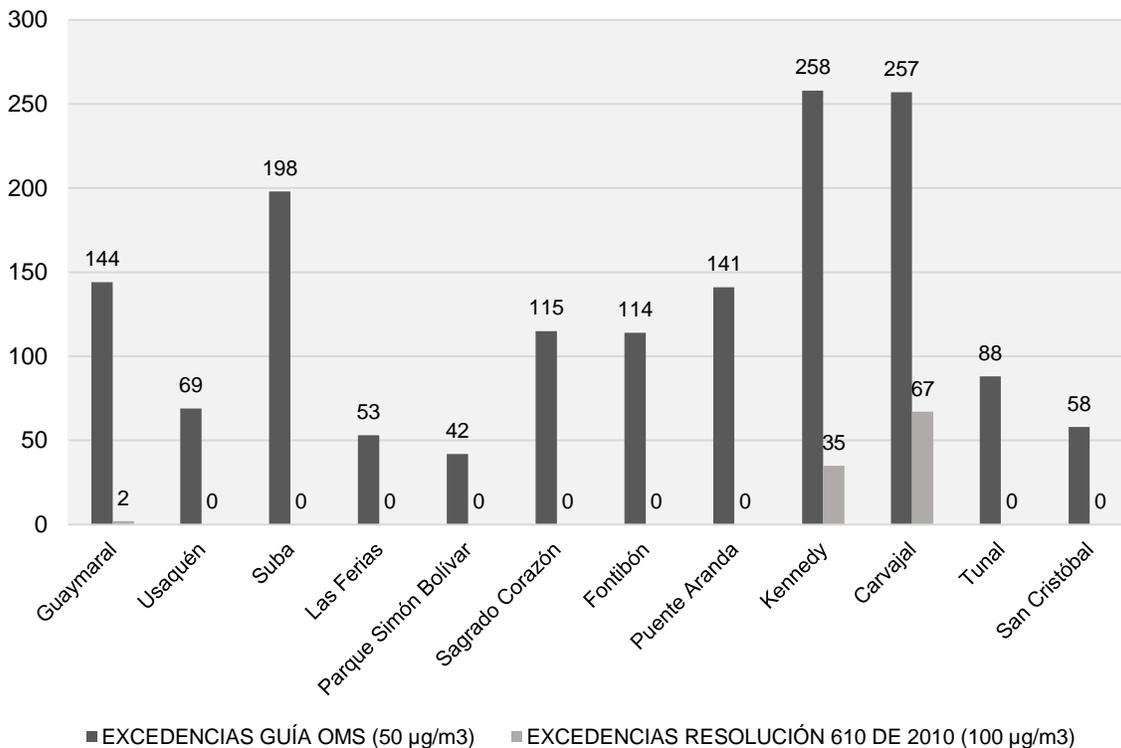
## 6.4. Vigilancia ambiental

### 6.4.1. Análisis de excedencias de contaminación del aire por PM<sub>10</sub> según la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud –OMS

Para el año 2013 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá reporto un total de 3886 datos válidos de material particulado PM<sub>10</sub>. Los datos fueron reportados por 12 estaciones las cuales fueron: Guaymaral, Usaquén, Suba, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Sagrado Corazón, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal, Tunal y San Cristóbal.

Las estaciones que reportaron mayores índices de contaminación teniendo en cuenta la guía OMS de 50 µg/m<sup>3</sup> fueron Kennedy y Carvajal con un 13% (n=515 excedencias), y Suba con un 5% (n=198 excedencias) con respecto al total de datos diarios.

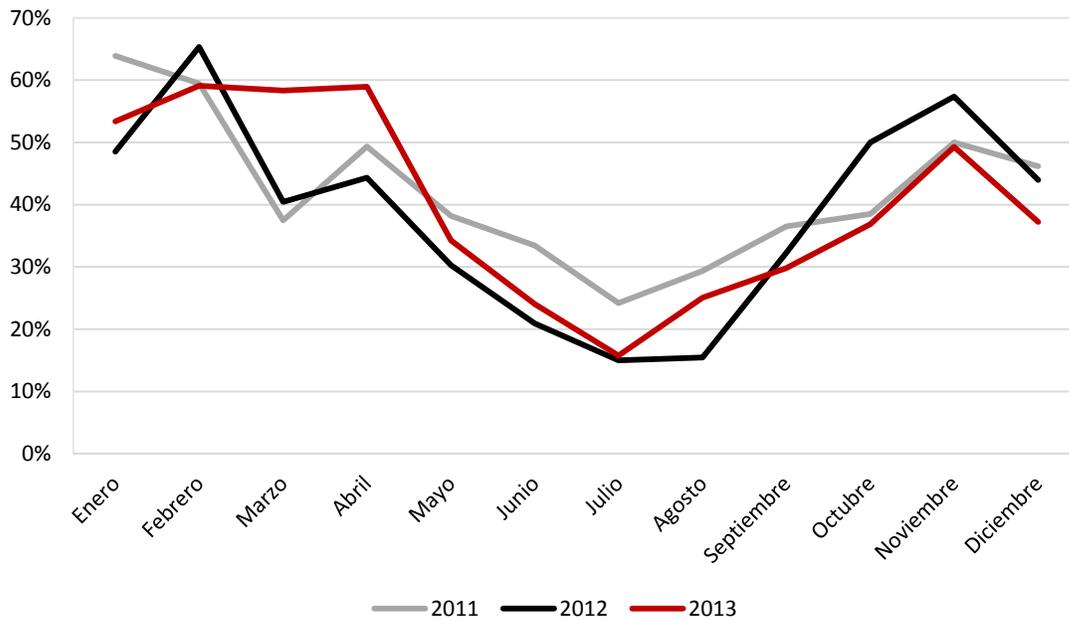
Adicionalmente, en el Distrito se reportaron un total de 1537 excedencias de los promedios diarios respecto a la guía OMS de 50 µg/m<sup>3</sup> representando un 40% respecto al total de los datos reportados en el año. Para este mismo periodo se presentaron un total de 104 excedencias de la norma nacional Resolución 610 de 2010 que corresponden a 100 µg/m<sup>3</sup> representando 3% respecto al total de los datos reportados, estas se evidenciaron únicamente en las estaciones de Carvajal, Kennedy y Guaymaral como se muestra en la Figura 6-10.



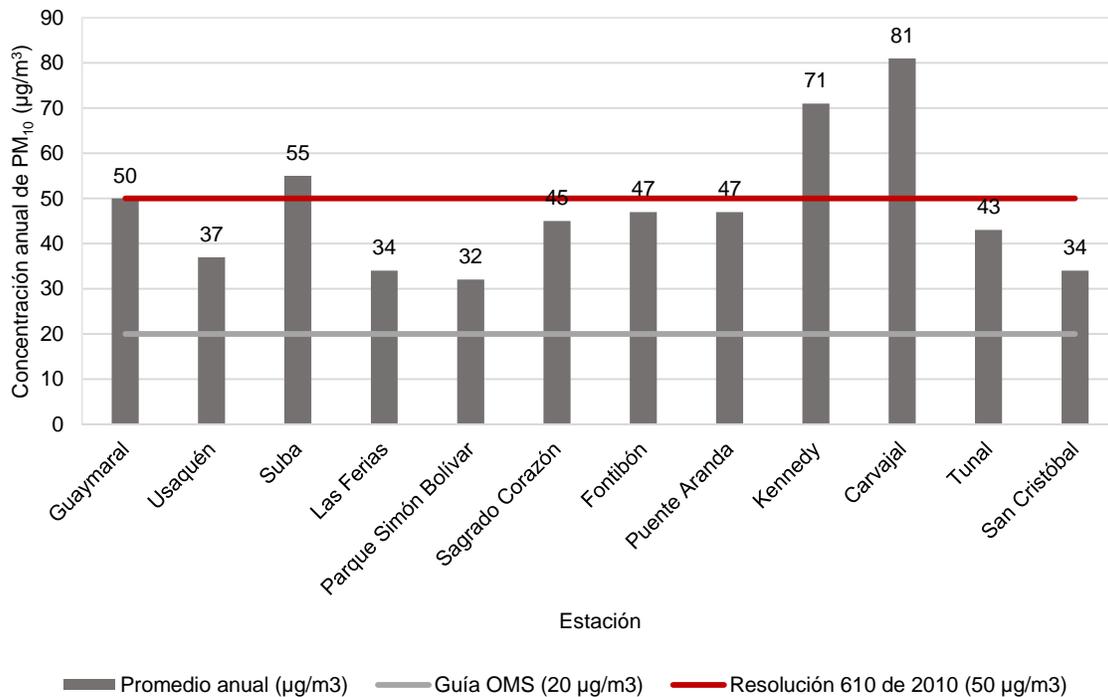
**Figura 6-10.** Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM<sub>10</sub> en Bogotá en el año 2013.  
Fuente: Datos analizados por Secretaría Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaría Distrital de Ambiente al mes de diciembre de 2013.

Cabe anotar que en el transcurso del año se presentan dos picos de contaminación, el primero en el mes de febrero-abril y el segundo en el mes de noviembre como se evidencia en la Figura 6-11 en comparación con años anteriores.

En relación con la concentración anual de material particulado PM<sub>10</sub> en el año 2013, se evidencia que respecto a la guía de la Organización Mundial de la Salud –OMS- esta sobrepasa los niveles en todas las estaciones. Sin embargo la norma nacional (Resolución 610 de 2010) es menos estricta estipulando una media anual de 50 µg/m<sup>3</sup>, en donde para Bogotá solo se cumple en el 75% de las estaciones (n=9/12) como se muestra en la Figura 6-12.



**Figura 6-11.** Proporción de excedencias en cuanto a contaminación del aire en Bogotá por PM<sub>10</sub> respecto a la norma OMS en Bogotá 2011-2013. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.



**Figura 6-12.** Promedio anual de material particulado PM<sub>10</sub> en Bogotá año 2013. 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 al mes de diciembre de 2013.

De igual manera, se puede percibir que las estaciones en donde se reportan los mayores niveles de contaminación del aire son Carvajal con  $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y Kennedy con  $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo cual es consistente con el comportamiento histórico.

#### **6.4.2. Índice de calidad del aire**

Para la evaluación del riesgo en salud que se deriva de los altos niveles de contaminantes criterio, no solamente se deben tener en cuenta las concentraciones, ya que éstas afectan de una manera desigual a la población expuesta. Por tanto, ciertos grupos vulnerables son más propensos a sufrir los efectos negativos de la contaminación del aire. Estos grupos vulnerables son los niños menores de 14 años, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con patología respiratoria y cardiovascular. Debido a lo anterior, se ha diseñado un índice de riesgo el cual es función de la exposición por la vulnerabilidad, que como se ha mencionado en el presente informe es basado en la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Este indicador se denomina Índice de Calidad del Aire y permite convertir las concentraciones en una clasificación del riesgo y generar recomendaciones en salud, como se observa en la Tabla 6-8.

Aunque el índice de calidad del aire es un indicador sobre los efectos agudos de la contaminación del aire, también es útil como una aproximación de los efectos crónicos. En este informe se presentan los índices de calidad del aire mensuales y anuales por estación de monitoreo para material particulado  $\text{PM}_{10}$ , debido a que es el contaminante de mayor preocupación para la salud pública en Bogotá y cuyos datos tienen una mejor representatividad. Durante el año 2013, las estaciones de Kennedy y Carvajal presentaron los índices más altos para material particulado  $\text{PM}_{10}$ , seguidas de la estación de Suba. Las estaciones de Kennedy y Carvajal presentan un índice anual moderado, mientras que el resto de las estaciones reportan índices anuales buenos. Para los índices de calidad del aire mensuales, los meses con peores índices fueron abril (el 75% de las estaciones presentaron un índice moderado), marzo y noviembre (50% estaciones presentaron un índice moderado). Los índices de calidad del aire para  $\text{PM}_{10}$  mensuales se presentan en la Figura 6-13.

**Tabla 6-8.** Recomendaciones en salud de acuerdo al índice de calidad del aire (AQI).

Valor del Indicador de calidad de aire (PM <sub>10</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> )	Efectos en salud	Recomendaciones
0-50, Bueno	Pese a que los niveles de contaminación están por debajo de la norma de calidad del aire, cualquier concentración de contaminantes podría presentar efectos en salud como el mínimo de inicio de síntomas o molestias asociadas al sistema respiratorio tales como irritación de mucosas en grupos sensibles y en algunas personas sanas.	Prestar atención a la presencia de los mínimos síntomas asociadas al sistema respiratorio que puedan presentarse en las personas. Sin embargo dentro de esta categoría toda la población podrá realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
51-100, Moderado	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como (irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos) en personas sensibles y con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas podría presentarse irritación de mucosas.	Personas extremadamente sensibles como niños con síntomas compatibles con asma y adultos mayores de 60 años con enfermedad cardio- cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Se recomienda en el horario de las 10 am 5 pm realizar actividad física fuerte o prolongada realizar ventilación de la vivienda. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
101 – 150, Insalubre para grupos sensibles	Personas de los grupos sensibles pueden presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares o complicación de las mismas. En cuanto a las personas sanas se podría presentar un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como (irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos).	Personas con enfermedad cardíaca o respiratoria ya mencionadas, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada en ningún horario. Se recomienda en el horario de las 10 am 5 pm realizar actividad física fuerte o prolongada. Si desea realizar actividad física es conveniente realizarla en espacios cerrados y no por mucho tiempo. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria.
151- 200, Insalubre	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos sensibles. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Personas con enfermedad cardiovascular o respiratoria, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar la actividad física fuerte o prolongada. Los demás grupos poblacionales deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria
201- 300, Insalubre para toda la población	La población sensible presenta efectos severos y la población en general padece de mayor número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Personas con enfermedad cardíaca o respiratoria, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás población debe evitar la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta por parte de la autoridad sanitaria
301 – 500, Peligroso	Continua la activación de la alerta epidemiológica pues la población en general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular	Efectos severos en toda la población. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria restringiendo la salida al aire libre de toda la población, en caso de salir al aire libre se recomienda el uso de tapabocas.

Fuente: Datos adaptados por la Secretaría Distrital de Salud.

CATEGORÍA SEGÚN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (AQI)												
BUENO (0-50µg/m <sup>3</sup> )				INSALUBRE (151-200µg/m <sup>3</sup> )								
MODERADO (51-100µg/m <sup>3</sup> )				MUY INSALUBRE (201-300µg/m <sup>3</sup> )								
INSALUBRE PARA GRUPOS SENSIBLES (101-150µg/m <sup>3</sup> )				PELIGROSO (>301µg/m <sup>3</sup> )								
REPORTE RMCAB GRUPO PM <sub>10</sub> AÑO 2013												
MES	Sony Carvajal (Kennedy)	Tunal (Tunjuelito)	Corpas (Suba)	Guaymaral (Suba)	Parque Simón Bolívar (Barrios Unidos)	Las Ferias (Engativá)	San Cristóbal	Sagrado Corazón (Santa Fe)	El Bosque (Usaquén)	Fontibón	Puente Aranda	Kennedy Central
ENERO	61	46	55	38	44	45	46	45	39	ND	51	64
FEBRERO	63	48	53	48	38	54	46	49	41	50	51	60
MARZO	62	44	54	51	41	43	57	47	42	52	50	60
ABRIL	61	51	52	53	35	46	51	51	46	51	52	62
MAYO	58	41	44	47	31	35	33	44	33	42	43	55
JUNIO	61	9	44	40	17	26	26	31	21	38	32	53
JULIO	67	20	43	38	19	27	20	31	22	33	31	46
AGOSTO	64	33	42	39	22	31	24	35	25	37	38	52
SEPTIEMBRE	66	31	45	47	25	22	22	34	26	41	36	61
OCTUBRE	68	34	52	51	30	23	27	41	34	47	45	65
NOVIEMBRE	65	32	52	54	28	29	39	51	32	46	52	65
DICIEMBRE	69	32	53	45	24	22	34	45	32	44	44	63
PROMEDIO ANUAL	64	40	50	46	30	35	36	42	33	44	44	59
RECOMENDACIONES SEGÚN AQI	Ninguna Recomendación		Personas con problemas respiratorios, evitar actividades al aire libre. Niños y ancianos limitar sus actividades al aire libre.									
	Ninguna Recomendación		Personas con problemas respiratorios, niños y ancianos evitar actividades al aire libre y público en general limitar sus actividades.									
	Ninguna Recomendación		Público en general evitar actividades al aire libre y personas con problemas respiratorios, niños y ancianos limitarse a actividades en el interior.									

Figura 6-13. Índice de Calidad del Aire para PM<sub>10</sub> en las estaciones de la RMCAB en 2013. 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 al mes de diciembre de 2013

### 6.4.3. Riesgo atribuible

La contaminación del aire por material particulado no es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria aguda sino un factor asociado, que en combinación con otros factores como la desnutrición, la contaminación intra domiciliaría por tabaquismo pasivo, las deficientes condiciones higiénicas, la falta de vacunación, el clima, entre otras, produce un aumento de las enfermedades respiratorias. Los estudios epidemiológicos actuales no establecen un umbral crítico por debajo del cual no se afecte la salud, pero si está comprobado que la disminución en la contaminación del aire, disminuye el número de consultas de urgencias y de hospitalizaciones en especial en grupos vulnerables como niños y en adultos mayores de 60 años. Para establecer la proporción de casos que se pueden atribuir a la contaminación del aire en Bogotá, a partir del año 2007 se realizó seguimiento a los síntomas respiratorios a una cohorte de 3278 niños menores de 5 años pertenecientes a jardines infantiles de mayor y menor exposición en 5 localidades de Bogotá (Suba, Tunjuelito, Kennedy, Puente Aranda y Fontibón).

Antes de calcular la fracción atribuible (proporción del total de los casos que se pueden atribuir a la contaminación del aire) en la población, inicialmente se calcula la incidencia de casos en el grupo más expuesto y en el grupo menos expuesto. La incidencia representa el número de casos nuevos, que aparecen en una población susceptible y a lo largo de un

periodo de tiempo, expresando de esa manera la velocidad de ocurrencia de una enfermedad. Con relación a la incidencia de síntomas respiratorios se observó que en el grupo de mayor exposición la tos se presentó con mayor frecuencia, con una razón de tasas de incidencia o riesgo relativo (RR) de 1,23 (IC 95% 1,13-1,34); igualmente, el grupo más expuesto tuvo mayor incidencia de expectoración (RR=1,64, IC 95% 1,47-1,84). Así mismo, el grupo de mayor exposición tuvo mayor incidencia de sibilancias, tanto diurnas (RR=1,79, IC 95% 1,40-2,28) como nocturnas (RR=2,19 IC 95% 1,70-2,83). La incidencia de síntomas respiratorios se presenta en la Tabla 6-9.

**Tabla 6-9.** Incidencia síntomas respiratorios 5 localidades Bogotá 2008-2011.

Síntomas	Mayor Exposición		Tasa Incidencia (*10000)	Menor Exposición		Tasa Incidencia (*10000)	Razón Tasas (IC 95%)
	Eventos	Días Exposición		Eventos	Días Exposición		
Tos	1202	214.501	56,04	915	201170	45,4	1,23 (1,13,-1,34)
Expectoración	841	239.357	35,14	483	226.132	21,36	1,64 (1,47-1,84)
Ausentismo escolar	168	244.179	6,88	119	229.086	5,19	1,32 (1,04-1,67)
Sibilancias diurnas	186	241.029	7,7	98	227.315	4,3	1,79 (1,40-2,28)
Sibilancias nocturnas	190	202.007	9,40	86	200.723	4,28	2,19 (1,70-2,83)

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

La proporción atribuible en la población se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Riesgo Atribuible} = \frac{\text{Incidencia Global} - \text{Incidencia de menos expuestos}}{\text{Incidencia Global}} \times 100$$

Con relación a la proporción de riesgo atribuible en la población por exposición a contaminación del aire, se encontró que dicha proporción osciló de acuerdo a cada uno de los síntomas en menores de 5 años, desde un 37% para sibilancias nocturnas (IC 95% 26-47,8%) hasta 10,6% para tos (IC 95% 6,3-15%). Por tanto, las sibilancias fueron el síntoma respiratorio más asociado a la exposición a altos niveles de contaminación del aire por material particulado. Los resultados de los cálculos de la proporción de los riesgos atribuibles se presentan en la Tabla 6-10.

**Tabla 6-10.** Porcentaje de Riesgo atribuible (%RA) síntomas respiratorios en la población por exposición a la contaminación por material particulado en 5 Localidades de Bogotá DC.

Síntomas	Tasa Incidencia Global (*10000)	Diferencia Riesgo (*10.000)	Fracción atribuible en expuestos (IC 95%)	Porcentaje de Riesgo atribuible población (IC 95%)
Tos	50,93	10,5	18,8% (11,5-25,5%)	10,6 % (6,3-15%)
Sibilancias diurna	6,06	3,40	44 % (28,6-56,2%)	28,9% (17,1-39,8%)
Sibilancia nocturna	6,85	5,12	54,4% (41,2-64,6%)	37,4% (26-47,8%)
Expectoración	28,44	13,78	39,2 % (32-45,6%)	24,9% (19,4-30,1%)
Ausentismo escolar	6,06	1,68	24,5 % (4,5-40,3%)	14,3% (2,3-25,8%)

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Con base en los resultados anteriores, se puede mencionar que los casos de Enfermedad Respiratoria en Bogotá que pueden ser atribuidos a la contaminación del aire están en el rango de 10 a 37% de la totalidad de casos. Sin embargo, esta es una estimación puntual que puede variar por año y por zona, por tanto se debe considerar una proporción más flexible incluida en el intervalo de confianza del 95 %, que va desde un 6% a un 47%.

## 6.5. Vigilancia Sanitaria

Este proceso consta de las quejas recibidas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que están afectando la salud; para el año 2013 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 96 quejas en el Distrito Capital, de las cuales 60 se relacionaron con contaminación del aire por material particulado y las restantes se atendieron por problemas de olores. Figura 6-14.

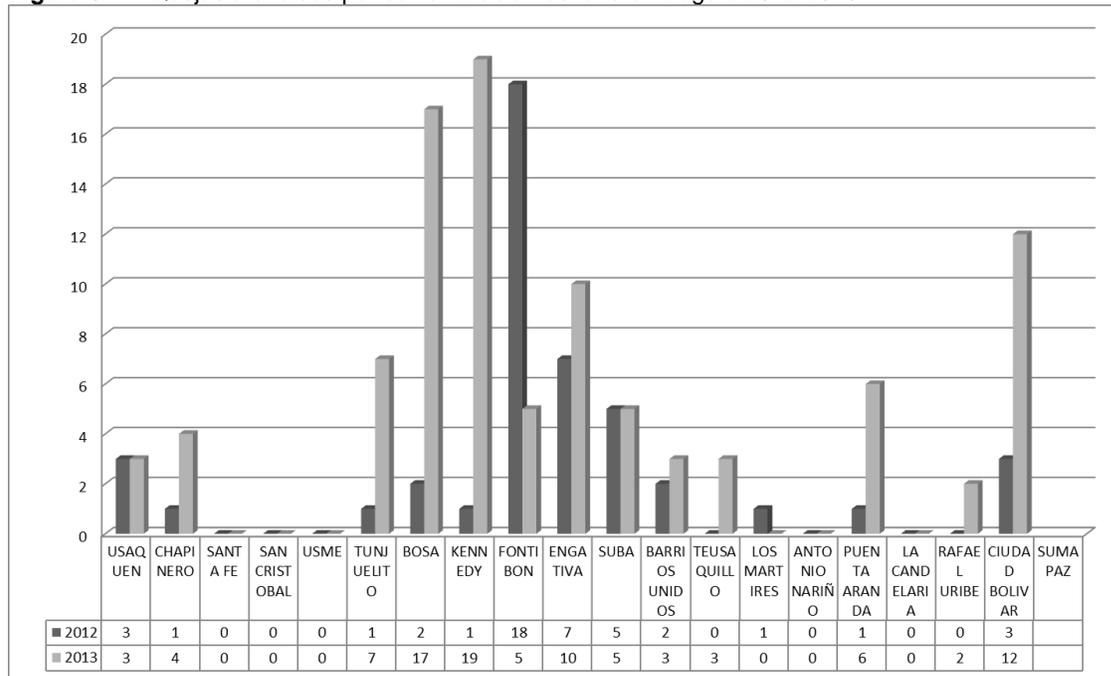
En el proceso de atención de quejas, se logró encuestar a 448 personas en 34 UPZ, de estas personas el 52% eran de sexo femenino y 42% de sexo masculino. En el 93% de los casos el tipo de fuente objeto de la queja fue fija y el restante de área como quemas a cielo abierto.

Al encuestar a las personas respecto a la forma que percibían la contaminación del aire dentro del hogar el 22% lo percibe en forma de polvo, el 37% en forma de olor, el 34% en forma de humo, 8% en forma de gas y 6% en forma de vapores.

El tiempo de exposición a la problemática objeto de la queja en un 29% es menor a un año y en el 65% de las ocasiones en horario diurno, así como el 26% de las personas comentaron percibir otra fuente de contaminación tales como cercanía a fuentes de agua contaminadas, tráfico vehicular y empresas en el sector.

Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas en la atención de las quejas, se tiene que al 13% le diagnosticaron alguna enfermedad respiratoria o cardiovascular y el 39% considera que ha empeorado su estado de salud.

**Figura 6-14.** Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2013.



Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud

Respecto a la exposición intradomiciliaria, el 92% de las viviendas tiene ventanas hacia la calle en sus habitaciones, el 22% no tiene ventanas en la cocina y en el 90% de los casos el combustible utilizado para cocinar es gas natural seguido del gas propano con un 7%. Adicional a esto, en el 17% de las viviendas encuestadas se presenta algún tipo de fábrica o negocio que genere material particulado lo que incrementa el riesgo para presentar enfermedad respiratoria en los habitantes. Añadido a esta situación, y teniendo en cuenta las costumbres de los habitantes de las vivienda encuestadas se tiene que en el 13% de los casos hay alguna persona de la vivienda que fuma, en el 8% de los casos hay alguna persona que trabaja en contacto con sustancias tóxicas y que de este porcentaje, el 83% cambia su ropa antes de llegar a la casa. Cabe señalar que teniendo en cuenta las condiciones locativas en el 35% de los casos se evidenció hongos o humedades en alguna superficie (techo, pared, piso) dentro de la vivienda y el 59% se encuentra en alguna de las habitaciones; adicional a esto, el 45% de las personas encuestadas posee y convive con un animal y en su mayoría (60%) son perros seguido de los gatos con un 21%; al indagar en donde duermen estos animales se comprobó que el 86% duerme en la casa pero no en la habitación de algún menor de edad. Finalmente se encontró que en el 43% de los casos las viviendas han tenido presencia de roedores o cucarachas.

De igual manera, en donde la exposición extramural teóricamente puede llegar a ser mayor, se indaga que en 50% de las viviendas se encuentra a 100 metros de alguna vía destapada o en construcción y en el 65% de los casos circula por estas tráfico pesado.

## **6.6. Conclusión: Análisis de determinantes de la asociación entre contaminación del aire y efectos en salud pública.**

Teniendo en cuenta el marco de referencia establecido por el Ministerio de Salud y Protección Social en su Plan Decenal de Salud Pública en donde se basa su análisis en la metodología de fuerzas motrices se tiene que para el caso de la contaminación del aire se considera inicialmente lo relacionado con los determinantes de salud de tipo estructural como lo pueden ser las políticas relacionadas con el consumo de combustibles (gas, madera, alcohol, y energía eléctrica), políticas económicas (nivel de ingresos), políticas de uso de suelo (asentamientos humanos en zonas industrializadas) y de regulación de contaminantes, estas sumadas a factores biofísicos como las condiciones climáticas generan presiones relacionadas con los determinantes intermedios del individuo entre los cuales se pueden encontrar el déficit estructural de las viviendas, barreras de acceso a servicios de salud y educación, aumento de parque automotor, cercanía a fuentes de contaminación como vías de alto tráfico vehicular, vías en mal estado, cercanía a industrias, o fuentes hídricas contaminadas generadoras de olores ofensivos, entre otros estableciendo por consiguiente un estado o niveles de contaminantes del aire que dependen de las fuentes que los emiten configurando una exposición de los individuos que afecta la calidad del aire en su entorno más próximo, así como lo relacionado con el uso o funcionamiento de equipos que puedan generar algún tipo de emisión a nivel intradomiciliario, entre estos se pueden encontrar el uso de sustancias químicas a nivel cotidiano, el funcionamiento de electrodomésticos, hábitos personales, aseo de viviendas, materiales de los elementos constitutivos del espacio, consumo de cigarrillo, tipo de combustibles para cocinar, tenencia de animales, etc.

Dado lo anterior, la calidad del aire está condicionada por la frecuencia de la exposición, tipo de sustancia, tipo de fuente y controles. En primer lugar, la frecuencia de la exposición está supeditada por el tiempo en que el individuo permanece en un lugar contaminado, así como de la periodicidad con que lo hace; respecto al tipo de sustancia que afecta la calidad del aire pueden variar desde sustancias generadas por diferentes fuentes a nivel extramural o sustancias de uso cotidiano en viviendas (productos de limpieza, aerosoles, productos de control de vectores, etc.), sustancias de uso en instituciones de educación (productos químicos en laboratorios de enseñanza), productos de consumo individual (cigarrillo, tabaco o cigarrillo electrónico) o contaminantes generados por combustión de materiales o equipos (gasodómicos, combustibles fósiles especialmente en zonas rurales). Ahora bien, esta exposición puede variar considerablemente dependiendo del tipo de control que haya en el ambiente, tales como los mecanismos de minimización de contaminantes en fuentes fijas industriales o vehículos del parque automotor, así como la ventilación y diseño de espacios sus materiales constitutivos, entre otros.

Este nivel de calidad del aire genera un efecto en los individuos impactando de alguna manera sus condiciones de salud y de calidad de vida supeditada por factores propios del individuo como enfermedades de base, alimentación o nivel de inmunización que en combinación con factores externos como los climáticos, el ambiente laboral o la contaminación del aire especialmente en ciudades industrializadas están relacionados principalmente con el aumento o no de síntomas respiratorios como evento agudo y de tipo

cardiovascular principalmente en grupos vulnerables, bajo peso al nacer y cáncer de pulmón como eventos crónicos.

Fuerza motriz	Políticas relacionadas con el consumo	Políticas económicas (nivel de ingresos)	Políticas de uso de suelo	Políticas Ambientales y de movilidad	Políticas de Educación y de Salud	Estructura del Gobierno (National, Regional y Local)
Presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Uso de combustibles no limpios en actividades económicas y viviendas</li> <li>•Aumento en la demanda de productos de consumo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Déficit cualitativo de vivienda (diseño de viviendas sin parámetros mínimos habitables, inadecuada ventilación, inadecuados materiales de construcción, etc)</li> <li>•Funcionamiento de fabricas en viviendas</li> <li>•Aumento de la demanda de uso de combustibles de acuerdo al precio</li> <li>•Ausencia de incentivos económicos para cambio a tecnologías limpias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Planificación territorial inadecuada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento de parque automotor</li> <li>•Inequidad en los modos de transporte</li> <li>•Fijación de niveles normativos a nivel extramural pero no intramural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Barreras de acceso a educación y formación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Inoperancia de las entidades de gobierno.</li> <li>•Inequidad a nivel de los territorios para acciones de vigilancia y control</li> <li>•Diferentes estructuras de gobierno a nivel local para la atención de necesidades básicas.</li> </ul>
Estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Inadecuadas practicas de uso de combustibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fuentes internas de contaminación del aire</li> <li>•Hacinamiento</li> <li>•Humedad</li> <li>•Uso de tecnología contaminante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Ubicación de viviendas, centros educativos, entre o otros, en cercanía a vías de alto tráfico vehicular, vías en mal estado, cercanía a industrias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desconocimiento real de contaminantes a nivel extramural e intramural según territorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estilos de vida inadecuados (consumo de tabaco, manejo de mascotas, uso de gasodomeesticos sin parámetros normales)</li> <li>•Deficientes coberturas de inmunización</li> <li>•Desconocimiento de herramientas de participación comunitaria por parte de la población</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento de actividades contaminantes sin vigilar</li> <li>•Intervenciones del estado desintegradas.</li> <li>•Generación y análisis de información en forma desarticulada</li> <li>•Deficiente cobertura en la prestación de servicios públicos</li> </ul>
Exposición	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento en la emisión de contaminantes a nivel extramural e intramural.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento de inequidades sociales y generación de problemas ambientales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desconocimiento del tipo y la cantidad de emisiones de contaminantes del aire a nivel intramural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tabaquismo pasivo</li> <li>•Inadecuado manejo de mascotas en viviendas</li> <li>•Ausencia de control social en problemáticas ambientales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Deficientes intervenciones del estado para abordar problemáticas en salud ambiental</li> <li>•Ausencia de diagnósticos intersectoriales del estado de la calidad del aire a nivel intramural y extramural.</li> <li>•Inadecuadas practicas de eliminación de residuos (quema de residuos en sitios contiguos a viviendas)</li> </ul>
Efecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento o no de síntomas respiratorios como evento agudo y de tipo cardiovascular principalmente en grupos vulnerables, bajo peso al nacer y cáncer de pulmón como eventos crónicos</li> <li>•Presencia de intoxicaciones por sustancias químicas</li> <li>•Quejas de la comunidad frente a problemáticas por exposición a contaminación del aire</li> </ul>					

Figura 6-15. Factores determinantes de la exposición a contaminación del aire. Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

## Bibliografía

Alvis, N., & Hoz, F. D. La. (2008). Contaminación del aire domiciliario y enfermedades respiratorias (infección respiratoria aguda baja, epoc, cáncer de pulmón y asma): evidencias de asociación. *Revista Facultad de Medicina de La Universidad Nacional de Colombia*, 56, 54–64.

Aristizabal, G., Suescún, J., & Patiño, R. (1997). Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda, Santa fe de Bogotá. *Universidad Del Bosque. Secretaría Distrital de Salud*.

Baker, K., & Scheff, P. (2007). Photochemical model performance for PM<sub>2.5</sub> sulfate, nitrate, ammonium, and precursor species SO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, and NH<sub>3</sub> at background monitor locations in the central and eastern United States. *Atmospheric Environment*, 41(29), 6185–6195. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.04.006

Barnett, A. G., Williams, G. M., Schwartz, J., Neller, A. H., Best, T. L., Petroeschevsky, A. L., & Simpson, R. W. (2005). Air pollution and child respiratory health: A case-crossover study in Australia and New Zealand. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 171, 1272–1278. doi:10.1164/rccm.200411-1586OC

Brauer, M., Lencar, C., Tamburic, L., Koehoorn, M., Demers, P., & Karr, C. (2008). A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 116, 680–686. doi:10.1289/ehp.10952

Carlaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.

Carlaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, Volume 27-28, 52-61.

Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., & Pan, Y. (2006). Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International*. doi:10.1016/j.envint.2006.03.012

Gauderman, W. J., Avol, E., Gilliland, F., Vora, H., Thomas, D., Berhane, K., ... Peters, J. (2004). The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *The New England Journal of Medicine*, 351, 1057–1067. doi:10.1056/NEJMoa040610

Gilliland, F. D., Berhane, K., Rappaport, E. B., Thomas, D. C., Avol, E., Gauderman, W. J., ... others. (2001). The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illnesses. *Epidemiology*, 12(1), 43–54.

Hernández-Flórez, L. J., Aristizabal-Duque, G., Quiroz, L., Medina, K., Rodríguez-Moreno, N., Sarmiento, R., & Osorio-García, S. D. (2007). Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de cinco años de Bogotá. *Revista de Salud Pública*. scielo.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Hentet junio 2013 fra sitio web de IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

Laumbach, R. J. (2010). Outdoor air pollutants and patient health. *American Family Physician*.

Leonardi-Bee, J., Smyth, A., Britton, J., & Coleman, T. (2008). Environmental tobacco smoke and fetal health: systematic review and meta-analysis. *Archives of Disease in Childhood. Fetal and Neonatal Edition*, 93, F351–F361. doi:10.1136/adc.2007.133553

Linares, C., & Díaz, J. (2009). Efecto de las partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid. *Gaceta Sanitaria*, 23, 192–197. doi:10.1016/j.gaceta.2008.04.006

Mallol, J. (2004a). El asma en niños de América Latina. *Allergologia et Immunopathologia*, 32(3), 100–103. doi:10.1016/S0301-0546(04)79294-0

Mallol, J. (2004b). El asma en niños de América Latina. *Anales de Pediatría*, 60, 3–5.  
Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*. doi:10.1080/10473289.2006.10464485

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.

NOAA. (2012, agosto 9). *National Weather Service. Climatic Prediction Center*. Hentet fra [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (2014, agosto 04). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Hentet fra [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Hentet fra <http://www.R-project.org/>

Real, E., & Sartelet, K. (2011). Modeling of photolysis rates over Europe: impact on chemical gaseous species and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(4), 1711–1727. doi:10.5194/acp-11-1711-2011

Salam, M. T., Millstein, J., Li, Y. F., Lurmann, F. W., Margolis, H. G., & Gilliland, F. D. (2005). Birth outcomes and prenatal exposure to ozone, carbon monoxide, and particulate matter: Results from the Children's Health Study. *Environmental Health Perspectives*, 113, 1638–1644. doi:10.1289/ehp.8111

Salvi, S. S., & Barnes, P. J. (2009). Chronic obstructive pulmonary disease in non-smokers. *Lancet*, 374, 733–743. doi:10.1016/S0140-6736(09)61303-9

Sarnat, S. E., Coull, B. A., Schwartz, J., Gold, D. R., & Suh, H. H. (2006). Factors affecting the association between ambient concentrations and personal exposures to particles and gases. *Environmental Health Perspectives*, 114, 649–654. doi:10.1289/ehp.8422

SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. I S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.

Solarte, P., Caicedo, M., & Restrepo, S. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*, 5.

Sun, C., Lin, Y., & Wang, C. (2003). Relationships among particle fractions of urban and non-urban aerosols. *Aerosol Air Qual Res*, 3(1), 7–15. Retrieved from <http://aerosol.ieecas.cn/aaqrkw/kwllwqj/201207/W020120720524958026954.pdf>

U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5)*.

U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.

U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment*.

Van Hee, V. C., Kaufman, J. D., Budinger, G. R. S., & Mutlu, G. M. (2010). Update in environmental and occupational medicine 2009. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 181(11), 1174–1180.

Villeneuve, P. J., Burnett, R. T., Shi, Y., Krewski, D., Goldberg, M. S., Hertzman, C., ... Brook, J. (2003). A time-series study of air pollution, socioeconomic status, and mortality in Vancouver, Canada. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 13, 427–435. doi:10.1038/sj.jea.7500292

Ward, M., Milledge, J. S., & West, J. B. (1989). *High altitude medicine and physiology*. Chapman and hall medical London.

WHO, & Europe, W. H. O. R. O. for. (2005). *Air Quality guidelines global update. Report on a Working Group meeting, Bonn, Germany, 18-20 October 2005*.

Wu, C.-F., Delfino, R. J., Floro, J. N., Quintana, P. J. E., Samimi, B. S., Kleinman, M. T., ... Sally Liu, L.-J. (2005). Exposure assessment and modeling of particulate matter for asthmatic children using personal nephelometers. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.01.061

## Glosario

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

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

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

**Analizador:** equipo instrumental necesario para realizar en análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que produce señales de salida que pueden ser cíclicas o puntuales.

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

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

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

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

**Barómetro:** instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

**Concentración de fondo:** fracción de la calidad del aire observada que no se puede relacionar directamente con las fuentes que se estudian en el área de interés.

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

**Condiciones normales para normas de calidad del aire:** las normas de emisión previstas en la Resolución 610 de 2010 están establecidas teniendo en cuenta las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

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

**Contaminación atmosférica:** es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

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

**Datalogger:** Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

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

**Ecuación para la conversión de unidades:** Para hacer la conversión de unidades de concentración de partes por millón (ppm) a microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] = \frac{C[\text{ppm}] \times \text{PM}}{24,466} \times 10^3$$

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

$C \left[ \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right]$  = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.

$C[\text{ppm}]$  = Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.

PM = Peso molecular del agente contaminante conocido en kilogramos por kmol.

24,466 = Volumen de una kmol en  $\text{m}^3/\text{kmol}$  a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.

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

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

**Estabilidad atmosférica:** característica de la atmósfera que afecta el movimiento vertical del aire.

**Estación de monitoreo:** es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos de referencia y de variables meteorológicas, manuales o automáticos, que están situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.

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

**Excedencia:** una excedencia de los valores límite de calidad del aire ocurre cuando la concentración de los contaminantes criterio excede los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 610 de 2010.

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

**Generador de aire cero:** dispositivo utilizado para generar aire cero.

**Hidrometeoro:** fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos

situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

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

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

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

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

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

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

**Media aritmética:** es la sumatoria de todos los datos a promediar dividida por el número total de datos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Norma de calidad del aire o nivel de inmisión:** es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire,

establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

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

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

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

**Promedio anual:** promedio de los datos diarios de concentración del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 273 días. En el caso de PST el promedio es geométrico y no aritmético.

**Promedio diario:** promedio de los datos horarios del contaminante cumpliendo la representatividad temporal mínima del 75%, que para el caso equivale a un mínimo de 18 horas.

**Promedio Geométrico:** antilogaritmo de la media aritmética de los logaritmos de los valores observados. Su cálculo sigue la siguiente ecuación:

$$C_{\text{prom geom}} = 10^{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n \log(C_i)}{n} \right]} \quad \text{para } i = 1, 2, 3 \dots, n$$

Donde:

$C_{\text{prom geom}}$ : Promedio geométrico de concentración

$\sum_{i=1}^n \log(C_i)$ : Suma de los  $n$  logaritmos de los valores de concentración del contaminante  $i$ .

$10^{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n \log(C_i)}{n} \right]}$ : Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los “ $n$ ” valores de concentración del contaminante  $i$ .

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

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

**Rango crítico:** véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

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

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

**Unidades:** Las unidades más utilizadas son:

mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico.

µg/m<sup>3</sup>: microgramos por metro cúbico.

ppm: partes por millón.

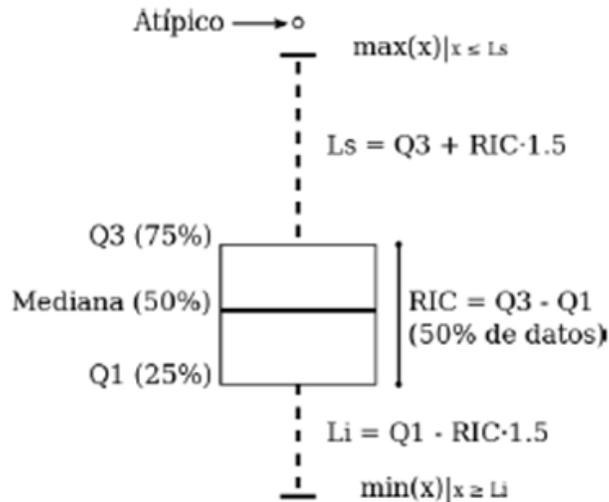
ppb: partes por billón.

**Validación:** confirmación por medio de análisis que incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, calibración de equipos y análisis de los datos.

## Anexo

### Lectura de Gráficos de *boxplot*

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico *boxplot*.



**Figura A-1.** Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. Si se tiene el conjunto de datos en orden ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **Mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, 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 ( $Q3 - Q1$ ). Los puntos por fuera de los límites, se les llama valores **atípicos**.