

Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá

Año 2016

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá

Bogotá D.C. 2016



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2016

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

Bogotá D.C 2017

126PM04-PR84-M-A2-V2.0

INFORME ANUAL



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada
Secretario Distrital de Ambiente

Carlos Arturo Puerta Cárdenas
Subsecretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia
Director de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Edgar Alberto Rojas
Coordinador General SATAB-SIMCAB RMCAB

Diana Alexandra Ramírez Cardona
Coordinadora Técnica RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez
Eaking Ballesteros Urrutia
John Freddy Grajales
Jhonatan Ramírez Gamboa
Yessica Natalia Ramírez Yara
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Marco Antonio Sánchez
Grupo de Operación de la RMCAB

Angie Magelli Gomez Gomez
Línea de aire, ruido y radiación electromagnética
Área de Vigilancia en Salud Pública – Secretaría Distrital de Salud de Bogotá

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Septiembre de 2017, Bogotá - Colombia
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.
Año 2016.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

INFORME ANUAL

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	13
2	RESUMEN EJECUTIVO.....	14
3	CARACTERÍSTICAS DE LA RED	17
4	OBJETIVOS	20
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	20
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4.3	NORMATIVIDAD	20
5	INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO	21
5.1	PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS.....	22
5.2	PORCENTAJE DE DATOS VÁLIDOS	23
6	CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)..	26
6.1	MATERIAL PARTICULADO	26
6.1.1	PM ₁₀	26
6.1.2	PM _{2.5}	37
6.2	GASES.....	50
6.2.1	OZONO	50
6.2.2	DIÓXIDO DE NITRÓGENO	65
6.2.3	DIÓXIDO DE AZUFRE	75
6.2.4	MONÓXIDO DE CARBONO	84
7	INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA.....	96
8	ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA.....	100
9	METEOROLOGÍA.....	103
9.1	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y SINÓPTICAS DEL PERIODO	103
9.2	PRECIPITACIÓN.....	105
9.2.1	VARIACIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN	105
9.2.2	VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN	106
9.2.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN	107
9.2.4	NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN	110
9.3	TEMPERATURA	112
9.3.1	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA.....	116
9.4	DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO.....	117

INFORME ANUAL

9.4.1	VARIACIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO	118
9.5	RADIACIÓN SOLAR.....	124
9.5.1	VARIACIÓN ANUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR	124
9.6	HUMEDAD RELATIVA	125
9.6.1	VARIACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL	125
9.7	PRESIÓN	125
9.7.1	VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ANUAL.....	125
9.7.2	VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA	126
10	CALIDAD DEL AIRE Y SALUD	128
10.1	VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LOS EFECTOS EN SALUD POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ.....	128
10.2	ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD.....	128
10.2.1	PROBLEMÁTICA EN BOGOTÁ.....	130
10.3	VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA.....	132
10.3.1	MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA	132
10.3.2	MORBILIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA.....	135
10.4	VIGILANCIA AMBIENTAL	147
10.4.1	ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PM10 SEGÚN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD –OMS	147
10.4.2	ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE.....	148
10.5	VIGILANCIA SANITARIA.....	149
	BIBLIOGRAFÍA.....	152
	GLOSARIO.....	154
	ANEXOS.....	159

INFORME ANUAL

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2016.....	18
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2016.	22
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.	23
Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2016	24
Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2016.	25
Figura 6-1. Concentración anual de PM ₁₀ por estación para el año 2016.....	27
Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM ₁₀ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.	29
Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM ₁₀ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m ³)	32
Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.....	32
Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM ₁₀ por día de la semana para cada estación durante el año 2016	33
Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ ciclo mensual para el año 2016 por estación	34
Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	34
Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.....	35
Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones de PM ₁₀ por hora del día para cada estación durante el año 2016.....	36
Figura 6-10. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estación para los años 2012 a 2016.....	37
Figura 6-11. Promedios anuales de PM _{2.5} para el año 2016	38
Figura 6-12. Distribución espacial de los promedios anuales de PM _{2.5} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.	40
Figura 6-13. Comportamiento diario de las concentraciones de PM _{2.5} por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m ³)	42
Figura 6-14 Comportamiento de la concentración de PM _{2.5} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.....	43
Figura 6-15. Diagramas de caja de las concentraciones de PM _{2.5} por día de la semana para cada estación durante el año 2016	44
Figura 6-16. Comportamiento mensual de las concentraciones de PM _{2.5} para el año 2016 por estación	45
Figura 6-17. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM _{2.5} por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	45
Figura 6-18. Comportamiento de las concentraciones de PM _{2.5} ciclo horario por estación durante el año 2016.....	46
Figura 6-19. Diagramas de caja de las concentraciones de PM _{2.5} por hora del día para cada estación durante el año 2016.....	47
Figura 6-20. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM _{2.5} por estación para los años 2012 a 2016.....	48
Figura 6-21 Comportamiento de las concentraciones anuales de O ₃ para el año 2016... 51	

INFORME ANUAL

Figura 6-22 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O ₃ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.	52
Figura 6-23. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ ciclo semanal durante el año 2016 por estación	53
Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O ₃ ciclo semanal para cada estación durante el año 2016	54
Figura 6-25. Comportamiento mensual de la concentración de O ₃ para el año 2016 por estación	55
Figura 6-26. Diagramas de caja de las concentraciones de O ₃ ciclo mensual para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	56
Figura 6-27. Comportamiento horario de las concentraciones de O ₃ por estación y comparación con norma (120 µg/m ³)	58
Figura 6-28. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ en ciclo horario por estación durante el año 2016	59
Figura 6-29. Diagramas de caja de las concentraciones de O ₃ ciclo horario para cada estación durante el año 2016	60
Figura 6-30. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ (promedios móviles 8H) por estación y comparación con norma (80 µg/m ³)	62
Figura 6-31. Diagrama de cajas de O ₃ en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2012 y 2016 (con base en promedios móviles de 8H)	64
Figura 6-32. Promedios anuales de NO ₂ para el año 2016	65
Figura 6-33 Comportamiento diario de la concentración de NO ₂ por estación para el año 2016. Comparado con la norma diaria 150 µg/m ³	67
Figura 6-34. Comportamiento de las concentraciones de NO ₂ ciclo semanal durante el año 2016 por estación	68
Figura 6-35. Diagramas de caja de las concentraciones de NO ₂ por día de la semana para cada estación durante el año 2016	68
Figura 6-36. Comportamiento mensual de la concentración de NO ₂ para el año 2016 por estación	69
Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO ₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	70
Figura 6-38. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO ₂ y comparación con norma nacional 1h	72
Figura 6-39. Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ por estación durante el año 2016	73
Figura 6-40. Diagramas de caja de las concentraciones de NO ₂ por hora del día para cada estación durante el año 2016	73
Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO ₂ por estación para los años 2012 a 2016	74
Figura 6-42 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO ₂ para el año 2016	75
Figura 6-43. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO ₂ durante el año 2016 por estación	77
Figura 6-44 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo.	78
Figura 6-45. Comportamiento mensual de la concentración de SO ₂ para el año 2016 por estación	79

INFORME ANUAL

Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	79
Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones horarias de SO ₂ en el 2016 por estación	81
Figura 6-48. Comportamiento horario de las concentraciones de SO ₂ por estación durante el año 2016.....	82
Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por estación para los años 2012 a 2016.....	83
Figura 6-50 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8H) para el año 2016.....	84
Figura 6-51. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2016.....	85
Figura 6-52. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2016	85
Figura 6-53. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2016 por estación	86
Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo	87
Figura 6-55. Concentraciones horarias de CO en el año 2016.....	89
Figura 6-56. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2016.....	90
Figura 6-57. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016.....	90
Figura 6-58. Concentraciones 8 horas de CO en el 2016 por estación	93
Figura 6-59. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016	93
Figura 6-60 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2012 a 2016.....	95
Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM ₁₀ por estación. Año 2016	98
Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM _{2.5} por estación. Año 2016.....	98
Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O ₃ por estación. Año 2016	99
Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO ₂ por estación. Año 2016	99
Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO ₂ por estación. Año 2016.....	99
Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM ₁₀ por estación. Año 2016	102
Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM _{2.5} por estación. Año 2016	102
Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O ₃ por estación. Año 2016	102
Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2016	102
Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para SO ₂ por estación. Año 2016	103

INFORME ANUAL

Figura 9-1 Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA,2017	104
Figura 9-2. Variación temporal de la precipitación en Bogotá.	106
Figura 9-3. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2015 y el promedio mensual 2016.	107
Figura 9-4 Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2016.	109
Figura 9-5 Número de días con lluvia	111
Figura 9-6 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2016	113
Figura 9-7. Promedio de temperatura mensual multianual	114
Figura 9-8. Climograma de Bogotá en 2016	115
Figura 9-9 Temperatura máximas y mínimas	116
Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB- 2016..	117
Figura 9-11. Velocidad del viento promedio Bogotá	119
Figura 9-12. Rosa de vientos promedio anual por estación.....	121
Figura 9-13. Mapa Velocidad del Viento RMCAB - 2016.....	122
Figura 9-14. Distribución espacial de las Rosas de Viento consolidadas por estación 2016	123
Figura 9-15. Comportamiento multianual de la presión atmosférica.....	127
Figura 10-1 Distribución de la morbilidad por IRA en Bogotá D.C, según servicio que presta la atención del caso, año 2016. (Fuente: Base Sivigila distrital-Vigilancia IRA a semana epidemiológica 52 de 2016)	131
Figura 10-2 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2016 Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire material particulado SDA 2016 Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND 2016* (*PRELIMINARES)	133
Figura 10-3 Caracterización Mortalidad por IRA en Bogotá D.C. 2016. (Fuente: Análisis de Mortalidades por Infección Respiratoria Aguda. Bogotá 2016).....	133
Figura 10-4 Concentración promedio PM2.5, precipitación acumulada y promedio temperatura Bogotá año 2016. (Fuente: Temperatura, Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016).....	134
Figura 10-5 Comportamiento de la notificación en salas ERA Versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado PM2.5 por semana epidemiológica en Bogotá año 2016.Fuente: Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016. Base SIVIGILA evento 995 información Preliminar	135
Figura 10-6 Frecuencia de casos de sibilancias en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)	138
Figura 10-7 Frecuencia de casos de tos en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)	139
Figura 10-8 Frecuencia de casos de mocos y nariz tapada en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016	140
Figura 10-9 Frecuencia de casos de ausentismo escolar por sintomatología respiratoria en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)	141
Figura 10-10 Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM10 en Bogotá en el año 2016 (Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en	

INFORME ANUAL

datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaría Distrital de Ambiente.).....	147
Figura 10-11 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)	148
Figura 10-12 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)	148
Figura 10-13 Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2016.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016).....	150
Figura 0-1. Presentación del gráfico de <i>cajas</i> con una descripción de sus componentes.	159
Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de NO ₂ Guaymaral	161
Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de NO ₂ Puente Aranda	162
Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de NO ₂ Tunal.....	163
Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de NO ₂ Centro de Alto Rendimiento	164
Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Carvajal-Sevillana	165
Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Guaymaral.....	166
Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Kennedy.....	167
Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Las Ferias	168
Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Min. Ambiente	169
Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} San Cristóbal.....	170
Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Suba	171
Figura 0-13 Calendario de Concentraciones Diarias de SO ₂ Centro de Alto Rendimiento	172
Figura 0-14 Calendario de Concentraciones Diarias de SO ₂ Kennedy.....	173
Figura 0-16 Calendario de Concentraciones Diarias de SO ₂ Puente Aranda	174
Figura 0-18 Calendario de Concentraciones Diarias de SO ₂ San Cristóbal.....	175
Figura 0-19 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Usaquén.....	176
Figura 0-20 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Centro de Alto Rendimiento	177
Figura 0-21 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Carvajal-Sevillana	178
Figura 0-22 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Guaymaral	179
Figura 0-23 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Kennedy	180
Figura 0-24 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Las Ferias.....	181
Figura 0-25 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Min. Ambiente.....	182
Figura 0-26 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Puente Aranda.....	183
Figura 0-27 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ San Cristóbal.....	184
Figura 0-28 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Suba	185
Figura 0-29 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Tunal	186
Figura 0-30 Calendario de Concentraciones Diarias de PM ₁₀ Usaquén	187

INFORME ANUAL

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA.....	17
Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2016	19
Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.	21
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación.	23
Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro	25
Tabla 6-1. Promedios anuales de PM ₁₀ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	27
Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM ₁₀ durante el año 2016.....	30
Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM ₁₀ para los años 2012 a 2016	36
Tabla 6-4. Promedios anuales de PM _{2.5} para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	38
Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM _{2.5} durante el año 2016.....	41
Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de PM _{2.5} para los años 2012 a 2016	47
Tabla 6-7. Relación concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀ por estación	49
Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O ₃ durante el año 2016.....	57
Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O ₃ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	60
Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O ₃ durante el año 2016.....	61
Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O ₃ para los años 2012 a 2016	63
Tabla 6-12. Promedios anuales de NO ₂ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	66
Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO ₂ durante el año 2016.....	66
Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO ₂ durante el año 2016.....	70
Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO ₂ para los años 2012 a 2016	74
Tabla 6-16. Promedios anuales de SO ₂ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	76
Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO ₂ durante el año 2016.....	76
Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO ₂ durante el año 2016.....	80
Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO ₂ para los años 2012 a 2016	82

INFORME ANUAL

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2016.....	88
Tabla 6-21 Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración	91
Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2016.....	92
Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2012 a 2016	94
Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010)	97
Tabla 8-1 Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015	100
Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2016	104
Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación desde 2000 hasta 2016.	105
Tabla 9-3. Precipitación RMCAB 2000 - 2016.....	106
Tabla 9-4 Acumulados mensuales de precipitación de las estaciones de la RMCAB y total anual 2016.....	108
Tabla 9-5. Número de días con precipitación RMCAB 2016	110
Tabla 9-6. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2016	112
Tabla 9-7. Temperatura RMCAB 2000 - 2016.....	113
Tabla 9-8 Temperaturas máximas y mínimas	115
Tabla 9-9. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2016	118
Tabla 9-10. Promedio multianual de la velocidad del viento.....	119
Tabla 9-11. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB - 2016	124
Tabla 9-12. Promedio mensual y anual de la humedad relativa en la ciudad	125
Tabla 9-13. Variación multianual de la presión Atmosférica en la ciudad de Bogotá.....	125
Tabla 9-14. Presión atmosférica mensual multianual de las estaciones de la RMCAB-2016	126
Tabla 10-1 Caracterización sociodemográfica distribución por estrato y sexo, unidades centinela Bogotá 2016.	136
Tabla 10-2 Prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Bogotá 2016	137
Tabla 10-3 Razón de prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.	141
Tabla 10-4 Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.	143
Tabla 10-5 Análisis multivariado de sibilancias en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.....	144
Tabla 10-6 Comportamiento de la presencia de tos en el último año respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.....	145
Tabla 10-7 Análisis multivariado de tos en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.....	146
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu\text{g}/\text{m}^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.	160

1 INTRODUCCIÓN

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes y variables meteorológicas de forma continua en diferentes lugares la ciudad, posteriormente a través del sistema de adquisición de datos esta es enviada a una estación central donde es sometida a un proceso de validación final, y se evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá, dados por la Resolución 610 del 24 de marzo de 2010, del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Finalmente, se elaboran informes de análisis espaciales y temporales de la información capturada, así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación

Para el año 2016 la RMCAB estaba conformada por trece (13) estaciones de monitoreo de las cuales doce (12) son fijas y una (1) es móvil. Están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedio diarios y anuales obtenidos para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en Resolución 610 de 2010 del MAVDT, contempla el cálculo de número de excedencias frente a la norma (excedencias horarias o diarias), lo cual informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presentó un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

2 RESUMEN EJECUTIVO

Para el año 2016 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) estuvo conformada por trece (13) estaciones, doce (12) monitorean contaminantes y variables meteorológicas, y la (1) estación Bolivia exclusivamente variables meteorológicas.

Estas estaciones están ubicadas estratégicamente para tener la mayor cobertura de toda la ciudad, y continuamente registraron las concentraciones de los siguientes contaminantes criterio: material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , O_3), así como las variables meteorológicas: Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica que regulan el transporte de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá.

Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría Distrital de Ambiente son los estipulados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010.

El porcentaje de datos validos de la RMCAB para el año 2016 en promedio fue de 89%, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Comportamiento de la concentración de PM_{10}

En relación a la concentración de partículas inferiores a 10 micrómetros (PM_{10}) para un tiempo de exposición anual, las mayores concentraciones correspondieron a las estaciones de Suba, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el occidente de la ciudad. La mayor concentración anual de PM_{10} se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con $76 \mu g/m^3$, mientras que la menor concentración se presentó en la estación de San Cristóbal, con $27 \mu g/m^3$, por lo que el suroccidente es la zona que presenta niveles más altos de concentración para 2016.

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a $100 \mu g/m^3$ para un tiempo de exposición diario. El mayor número de excedencias diarias se presentó en la estación Carvajal-Sevillana 48, seguida de Kennedy con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Minambiente y San Cristóbal que no presentaron excedencias sobre la norma diaria.

Al analizar el comportamiento horario para PM_{10} , se concluye que la concentración aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana para todas las estaciones y disminuye en forma progresiva, hacia las horas de medio día para luego en la tarde tener un aumento de menor proporción hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. También se hace evidente que las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan las concentraciones más altas a lo largo del día, con valores entre 90 y $110 \mu g/m^3$.

INFORME ANUAL

Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

En relación a la concentración de partículas inferiores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) la mayor concentración para un tiempo de exposición anual se presentó en la estación de Kennedy, con un valor de ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la siguiente estación con mayor promedio anual fue Tunal, con $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto concuerda con los resultados obtenidos para PM_{10} , ya que las mayores concentraciones se presentaron al suroccidente de la ciudad.

Al analizar el comportamiento horario de $PM_{2.5}$ se observa que las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana que corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular, disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. Las altas concentraciones de la hora pico de la mañana está asociado a menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento) características de las primeras horas de la mañana.

Comportamiento de la concentración de O_3

La localidad de Usaquén, parte de las localidades de Suba, Barrios Unidos y Chapinero tienen el rango más alto de concentración (entre 30 y $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por otro lado, las localidades de Kennedy y Puente Aranda, parte de Antonio Nariño y Tunjuelito, se encuentran en el rango más bajo de contaminación por O_3 , con concentraciones entre 17 y $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comportamiento de la concentración de SO_2

Al analizar los resultados del comportamiento para SO_2 se concluye que ninguna de las estaciones sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se presentó en la estación Kennedy, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En cuanto a los ciclos horarios para el SO_2 las concentraciones más altas se presentan de 7 a 9 de la mañana, lo que sugiere que las fuentes móviles tiene influencia en los altos niveles presentados, posteriormente un descenso gradual de la concentración hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las horas de la tarde, incluso inferiores a las observadas en horas de la madrugada, este perfil es similar al de $PM_{2.5}$, lo que indica su relación con fuentes de combustión, los niveles de la madrugada posiblemente estén asociados al tráfico de vehículos de transporte en la mañana

Comportamiento de la concentración de NO_2

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2 para el año 2016 se puede observar que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes

INFORME ANUAL

con el comportamiento del material particulado como contaminante primario.

Para los ciclos horarios se observa que hay dos picos de concentración durante el día, uno a las 7 de la mañana y otro a las 7 de la noche, registrando concentraciones entre 40 a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y dos valles de concentraciones bajas, a las 3 de la mañana y las 2 de la tarde, con concentraciones entre 20 y 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se puede asociar al consumo de NO_2 y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 7:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O_3 .

Comportamiento de la concentración de CO

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2016, indica que para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Las Ferias y Kennedy las mayores concentraciones horarias se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que Tunal Y Carvajal presentaron concentraciones más altas al inicio del año

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO para el año 2016 indican que las mayores concentraciones se presentan los días martes y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento es similar al de material particulado, y se relaciona con la influencia de las emisiones de las fuentes de combustión, que predominan en los días hábiles de la semana.

3 CARACTERÍSTICAS DE LA RED

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por trece (13) estaciones de las cuales doce (12) son fijas y una (1) estación es móvil,

Para una descripción completa de las estaciones automáticas que conforman la RMCAB se puede consultar la página web: <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire> o directamente el enlace <http://201.245.192.252:81>.

La Tabla 3-1 presenta las técnicas de medición de los equipos de la RMCAB y los métodos de referencia EPA, en la Tabla 3-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 3-1 Corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

En el presente informe la Estación Móvil no se involucra en los análisis, dado que está dedicada a la evaluación la calidad del aire puntual en corredores viales bajo el Convenio 176 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A.

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQQA-0992-087
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

INFORME ANUAL

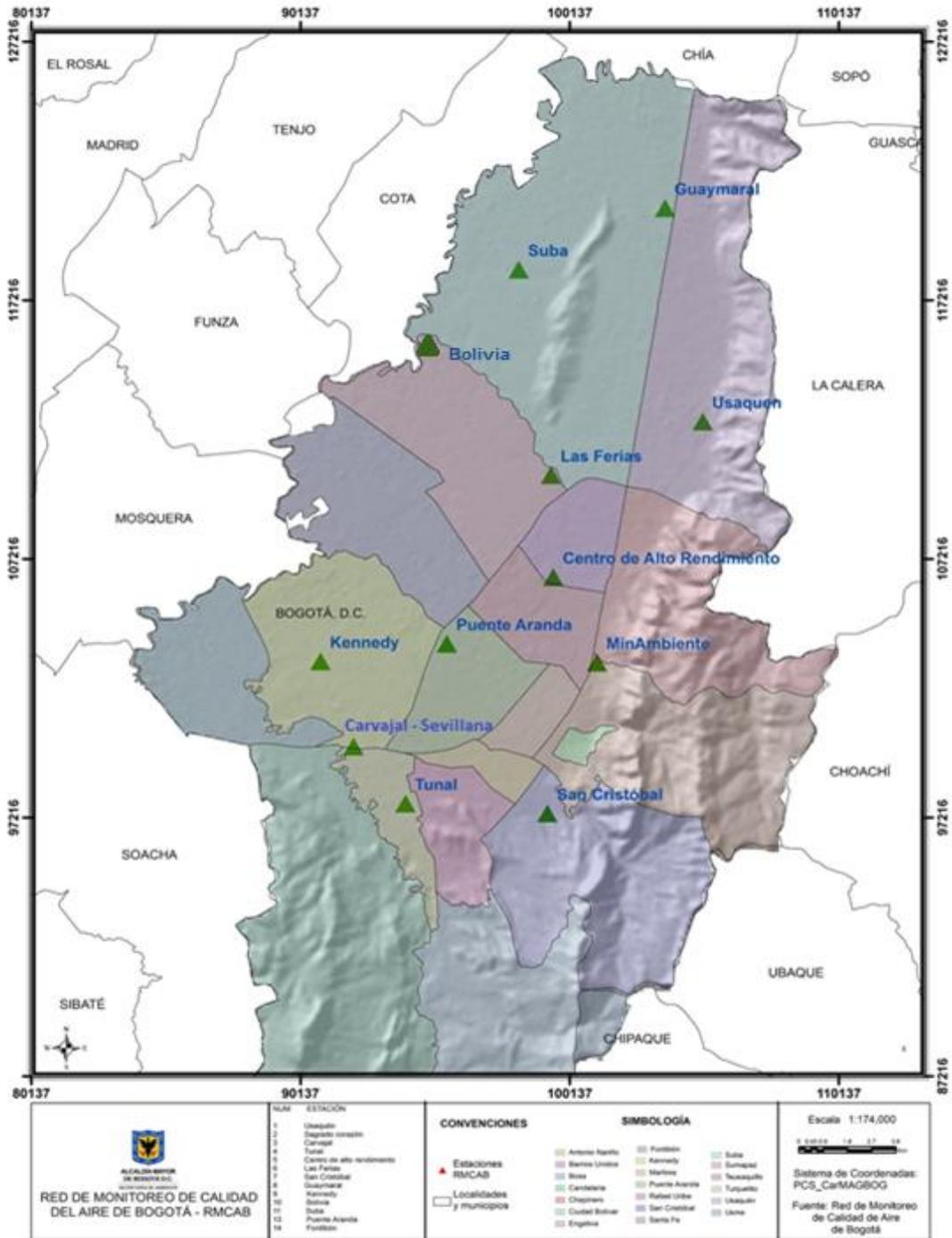


Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2016

INFORME ANUAL

Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2016

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

Nota:

Se realizó una actualización en la clasificación de las estaciones, considerando el entorno de cada una y determinando la influencia que sobre ellas tiene los diferentes tipos de fuentes emisoras.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) tiene como principal objetivo obtener información confiable sobre la concentración de los contaminantes de origen antropogénico y natural, y del comportamiento de las variables meteorológicas que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera de Bogotá.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.
- Dar cumplimiento a lo estipulado en el Acuerdo 367 de 2009, donde la RMCAB pone a disposición del público los datos generados en las estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad del aire dados por la **Resolución 610 del 24 de marzo de 2010.**
- Proveer información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas

4.3 NORMATIVIDAD

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

Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición	Cálculo
	100	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición, y en general de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para el registro de datos.

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2016. Se determina el porcentaje de datos capturados y validos por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación.

5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2016, 16 parámetros tienen un estadístico superior al 75%, y un parámetro está por debajo del umbral. Los parámetros meteorológicos presentan los mayores porcentajes de captura de datos >94%, mientras que para los parámetros relacionados con contaminación los registros están por el orden del 80%, exceptuando el NO₂ que presenta un porcentaje de captura de datos del 68%.

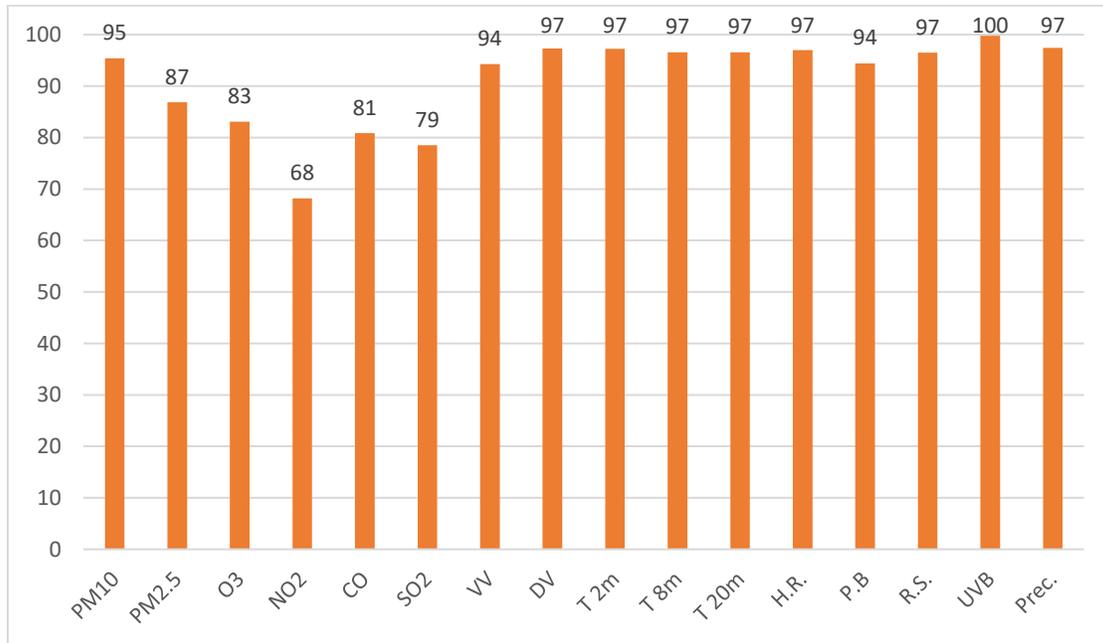


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2016.

La pérdida de datos es superior al 10% en 5 de los 17 parámetros medidos en la RMCAB. Estas pérdidas de datos se presentan generalmente por fallas mayores en los equipos de medición, fallas en el suministro de energía, incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año y fallas de comunicación por daños en los puertos.

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que el promedio de captura de la mayoría de estaciones es superior al 90%, exceptuando las estaciones de Kennedy, las Ferias y Carvajal. La estación Carvajal presenta el porcentaje más bajo de captura de datos con un promedio de 70% de los datos capturados. Esto se atribuye a la falla mayor en los equipos de medición de gases de la estación.

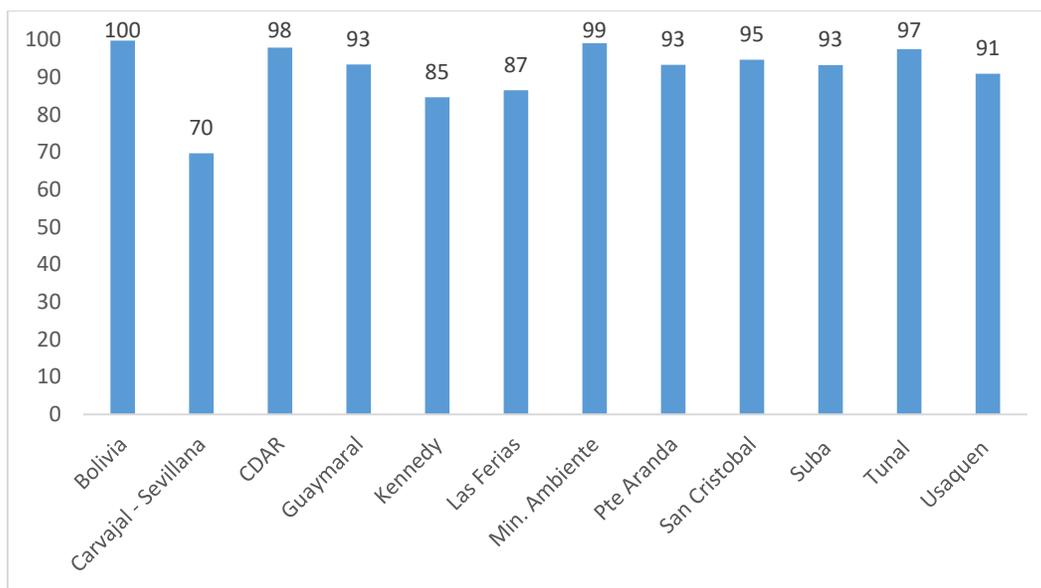


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.

En la Tabla 5-1 se presenta el resumen de datos capturados por instrumento y estación, los espacios en blanco en la tabla indican que no se dispone del equipo de medición requerido durante el periodo evaluado.

Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación.

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	UVB	Prec.	Prom
Bolivia							100	100								100	100
Carvajal	91	63	35	34	39	39	93	93	93							93	70
CDAR	94	99	89	99	99	96	100	100	100			100			100	100	98
Guaymaral	91	87	96	71			97	97	97	97	97	97	97	97	0	97	93
Kennedy	91	92	93	13	90	89	90	90	90			90	90	90	0	90	85
Las Ferias	96	95	42	68	73		96	96	96			96	96			96	87
Min. Ambiente	100	97	98	0			100	100								100	99
Pte Aranda	100	48	99	99	88	100	100	100	100							100	93
San Cristóbal	99	87	84		0	82	99	99	99			99		99	0	99	95
Suba	100	93	89			65	100	100	100							100	93
Tunal	92	98	93	93	97		100	100	100			100		100	0	100	97
Usaquén	97	97	97				62	95								97	91
Promedio	95	87	83	68	81	79	94	97	97	97	97	97	94	97	100	97	91

5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación busca determinar si los datos resultantes del monitoreo son confiables, representativos y de calidad. El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2016 fue de 89% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validados por instrumento. El parámetro con el mayor porcentaje de datos inválidos es SO₂, asociado a fallas mayores en la comunicación.

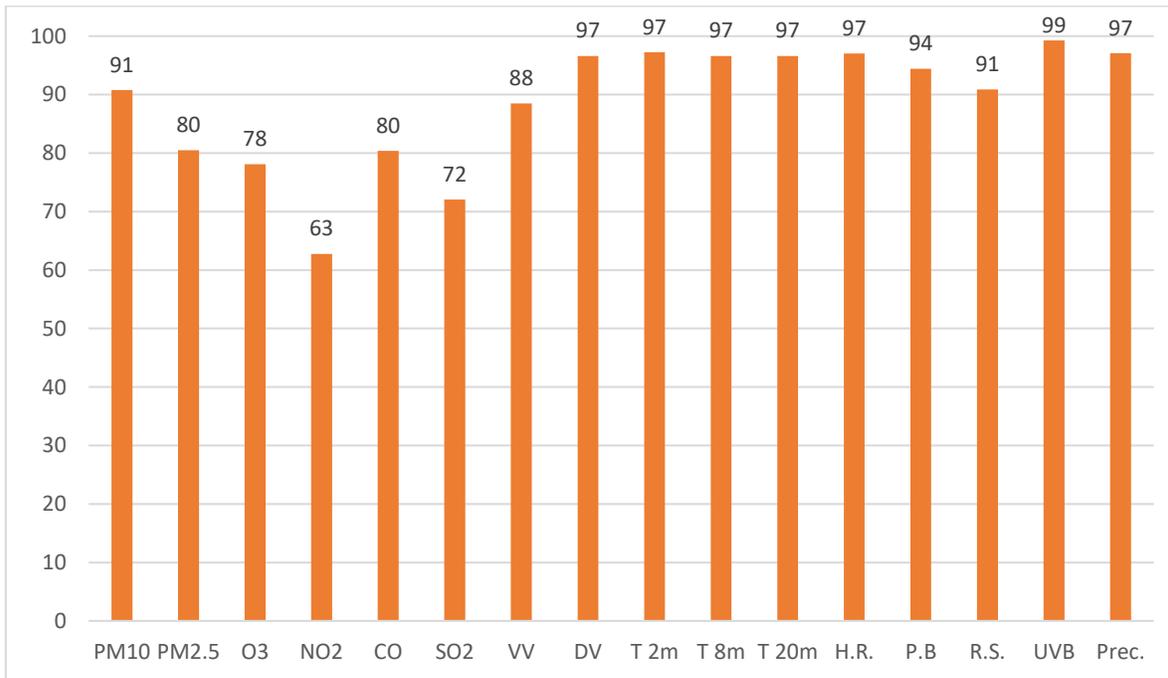


Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2016

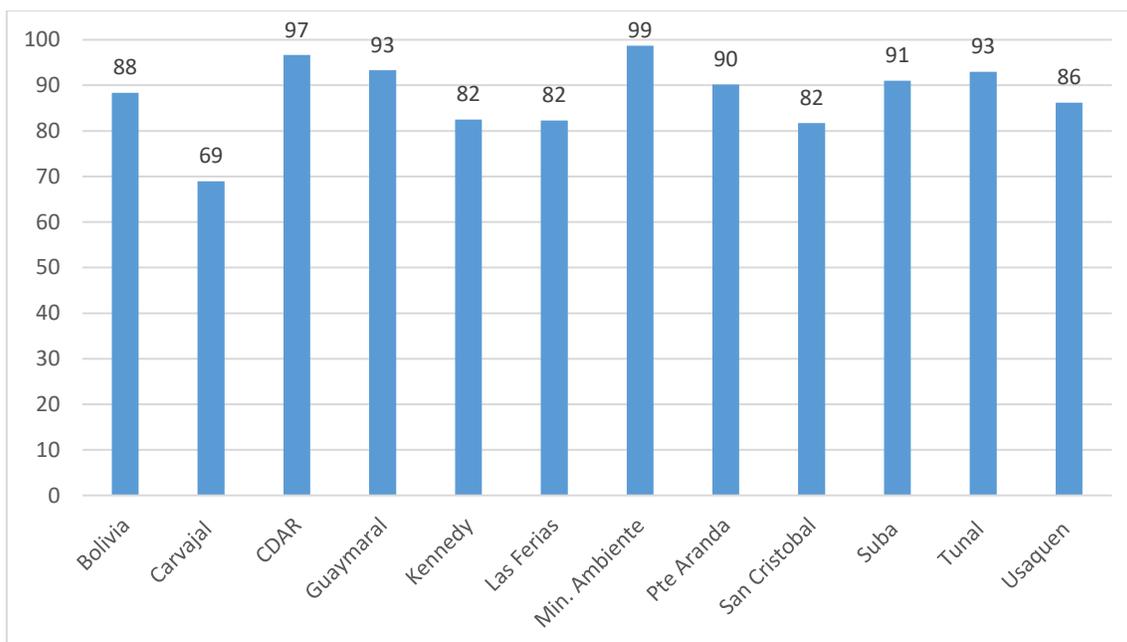


Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2016.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y por estación de medición del año 2016 se exponen en la Tabla 5-1. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2016 es de 89%.

Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro

Estación	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	UVB	Prec.	Prom
Bolivia							100	66								100	88
Carvajal	91	63	35	29	39	39	92	93	93							93	69
CDAR	87	93	89	99	98	96	100	100	100			100				100	97
Guaymaral	91	86	96	71			97	97	97	97	97	97	97	97	0	97	93
Kennedy	86	87	84	12	89	89	86	86	90			90	90	90	0	90	82
Las Ferias	93	87	37	39	72		96	96	96			96	96			96	82
Min. Ambiente	98	97	98				100	100								100	99
Pte. Aranda	97	22	93	99	92	100	100	100	100							100	90
San Cristóbal	89	67	66		0	44	56	99	99			99		99	0	99	82
Suba	82	93	89			65	100	100	100							100	91
Tunal	88	96	77	90	93		100	100	100			100		77	0	100	93
Usaquén	95	94	96				47	92								93	86
Promedio	91	80	78	63	80	72	88	97	97	97	97	97	94	91	99	97	89

6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS)

Este capítulo incluye reportes gráficos para el análisis de las concentraciones de los contaminantes, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas, según corresponda y la evaluación con los límites máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional. El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos

Las variaciones espaciales de las mediciones de concentraciones de ciertos contaminantes, se representan mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estos están sujetos a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria.

6.1 MATERIAL PARTICULADO

6.1.1 PM_{10}

El PM_{10} representa la masa de las partículas cuyo diámetro varía entre 2,5 y 10 μm , algunas de las fuentes de emisión de estas partículas pueden ser móviles y fijas procedente de procesos mecánicos, como obras de construcción y resuspensión del polvo en vías.

La RMCAB contó con 11 equipos de medición de PM_{10} para el año de 2016, y todos ellos reportaron datos con una representatividad mayor al 75%, obteniendo un total de 3662 datos registrados por las estaciones de monitoreo.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

En la Figura 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} por estación de monitoreo. En 4 de las 11 estaciones de la RMCAB que registraron datos para el 2016 se sobrepasó el valor máximo permisible anual para PM_{10} ($50 \mu g/m^3$), las cuales corresponden a Suba, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el norte y suroccidente de la ciudad. La mayor concentración anual de PM_{10} se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con $76 \mu g/m^3$, mientras que la menor concentración se presentó en la estación de San Cristóbal, con $27 \mu g/m^3$. Esto indica que la zona que reportó mayor contaminación por PM_{10} fue el suroccidente de la ciudad, ya que las estaciones ubicadas en la zona presentaron las concentraciones anuales más altas.

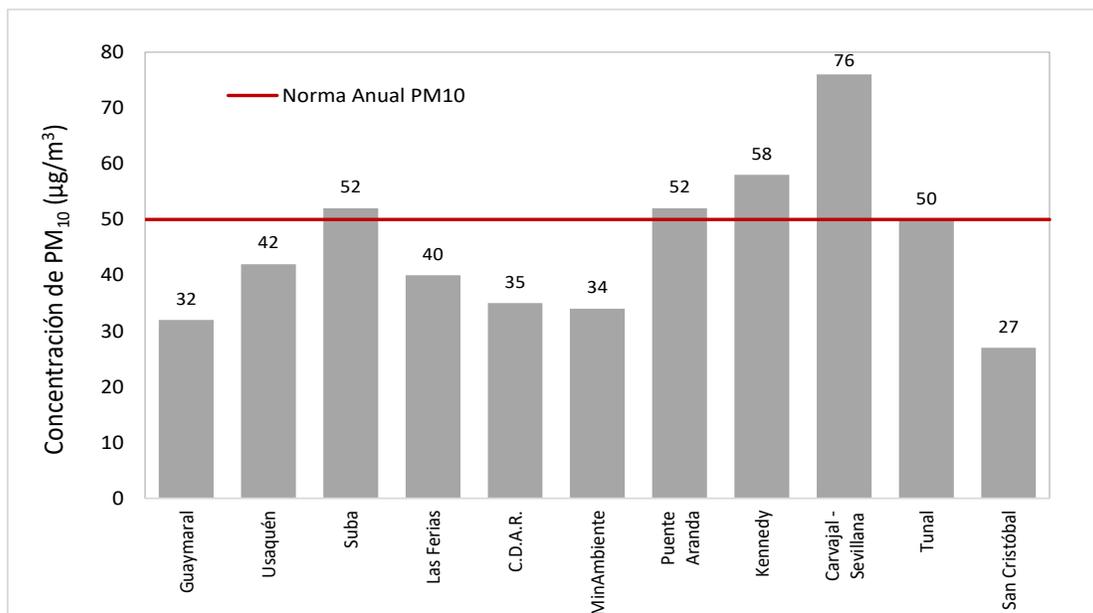


Figura 6-1. Concentración anual de PM₁₀ por estación para el año 2016

En la Tabla 6-1 se observa la comparación de los promedios anuales de PM₁₀ del año 2016 por estación con respecto a los promedios del año 2015. Se observa que en las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal se presentaron aumentos en la concentración en relación al año anterior, y en la estación MinAmbiente se mantuvo el mismo valor del año anterior; en las estaciones restantes disminuyó el valor de la concentración en relación al 2015.

El mayor incremento se presentó en la zona norte en la estación Usaquén, con 12 µg/m³ sobre el promedio del año anterior, y la mayor disminución ocurrió al suroccidente de la ciudad en la estación Carvajal-Sevillana, con una reducción de 11 µg/m³ sobre el promedio del 2015.

Tabla 6-1. Promedios anuales de PM₁₀ µg/m³ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM ₁₀ 2015	Promedio PM ₁₀ 2016	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	31	32	↑
Usaquén	30	42	↑
Suba	47	52	↑
Las Ferias	35	40	↑
Centro de Alto Rendimiento	28	35	↑
Ministerio de Ambiente	34	34	=
Puente Aranda	53	52	↓
Kennedy	66	58	↓
Carvajal-Sevillana	87	76	↓
Tunal	43	50	↑
San Cristóbal	26	27	↑

La distribución espacial de la concentración de PM_{10} , con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-2, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75%. En este mapa se puede observar que la mayor parte de las localidades de Kennedy y Bosa tienen el rango más alto de concentración (entre 57 y 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y le siguen en magnitud parte de las localidades de Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Puente Aranda, con concentraciones entre 47 y 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, las localidades de Santa Fe, Chapinero, Barrios Unidos, y parte de Usaquén se encuentran en el rango más bajo de contaminación, con concentraciones entre 26 y 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

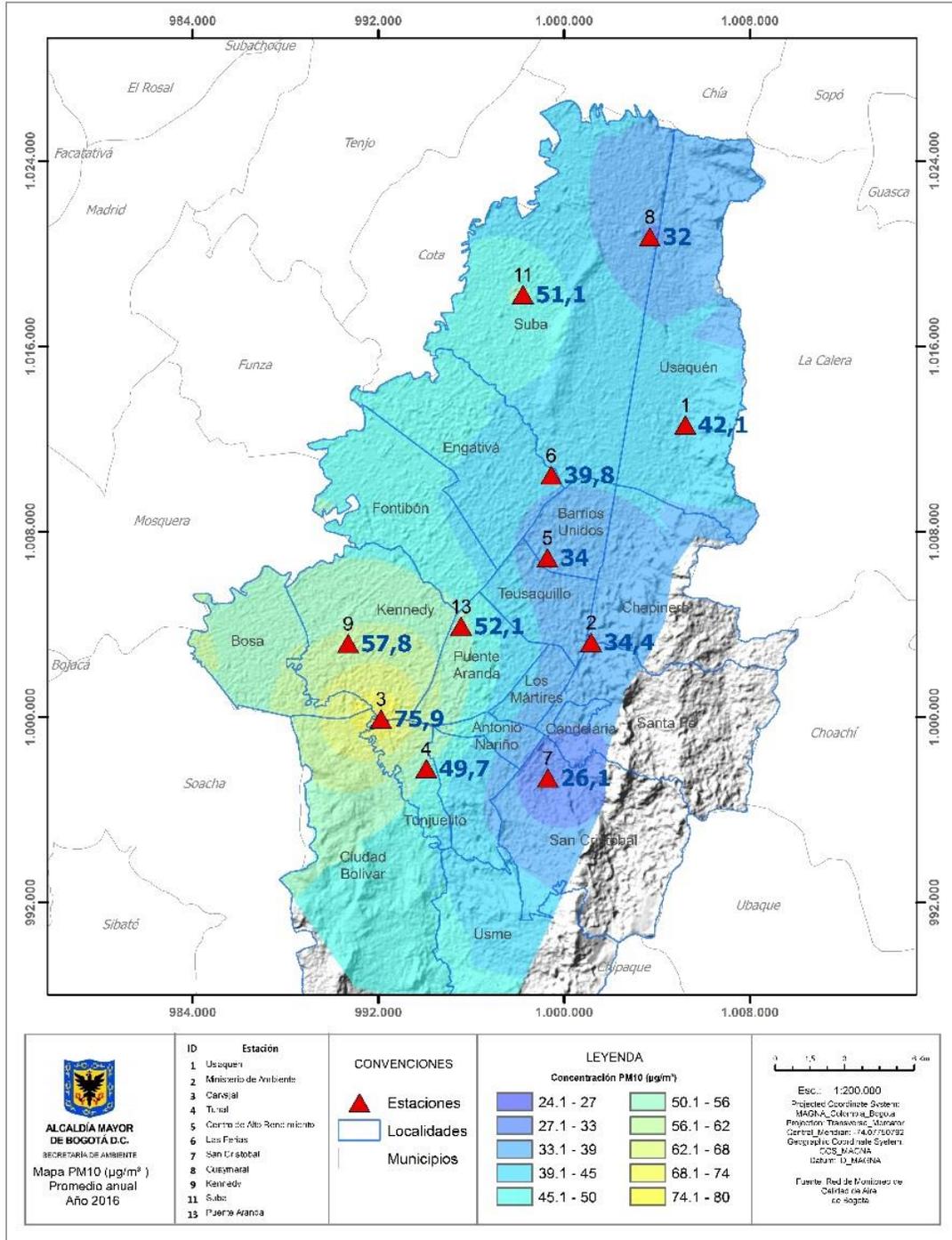


Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM₁₀ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año de 2016 las 11 estaciones que reportaron datos de PM_{10} tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de MinAmbiente y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, como se observa en la Tabla 5-2

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de PM_{10} para un tiempo de exposición diario, que es de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se presentaron un total de 85 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en la estación Carvajal-Sevillana (48), seguida de Kennedy con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Minambiente y San Cristóbal no presentaron excedencias sobre la norma diaria. Esta situación coincide con la cantidad de datos entre el 100 y 90%, la cual indica que para el 2016 la zona sur-occidental presentó el mayor número de excedencias, el resto de la ciudad tuvo niveles por debajo la norma.

Las concentraciones máximas diarias para el 2016 se presentaron en su mayoría en el mes de enero, en las zonas suroccidente y norte de la ciudad; los mayores valores se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana ($138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 20 de enero) y Tunal ($126 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30 de enero). Las demás excedencias ocurrieron en los meses de febrero y marzo, lo cual indica que los mayores niveles de contaminación por PM_{10} se presentaron en el primer trimestre del 2016. Ver Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{10} durante el año 2016

Estación	No. de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias de la norma anual $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	% excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ¹	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	331	90	32	0	0.0	0	75	05/03/2016
Usaquén	342	93	42	4	1.2	5	116	21/01/2016
Suba	293	80	52	2	0.7	4	105	15/01/2016
Las Ferias	346	95	40	1	0.3	2	104	21/01/2016
Centro de Alto Rendimiento	337	92	35	0	0.0	0	86	24/11/2016
MinAmbiente	356	97	34	0	0.0	1	94	03/02/2016
Puente Aranda	355	97	52	7	2.0	14	126	24/11/2016
Kennedy	317	87	58	12	3.8	7	114	03/02/2016
Carvajal-Sevillana	330	90	76	48	14.6	29	138	20/01/2016

¹Mayor a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor o igual a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estación	No. de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual PM ₁₀ (µg/m ³)	Excedencias de la norma anual 100 µg/m ³	% excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ¹	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Tunal	325	89	50	11	3.4	11	126	30/01/2016
San Cristóbal	327	89	27	0	0.0	0	90	17/01/2016

El comportamiento diario de las concentraciones de PM₁₀ por día durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria (100 µg/m³) se encuentra en la Figura 6-3, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones diarias se presentaron en los primeros meses del año, y las más bajas en la mitad del año. Además, la estación Carvajal-Sevillana presentó las concentraciones más altas durante el año, lo cual concuerda con el alto número de excedencias en el 2016.

Aunque la representatividad temporal de los datos en todas las estaciones fue mayor al 80%, los períodos en que hubo menor registro de datos fueron en el mes de abril para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, y en el mes de septiembre en la estación de Suba.

El comportamiento semanal de las concentraciones de PM₁₀ por estación para el año 2016 se muestra en la Figura 6-4 y en la Figura 6-5, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes, a excepción de las estaciones Las Ferias, Usaquén y Puente Aranda, en las que se presentaron mayores concentraciones los martes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos y los sábados. Esto posiblemente se debe a la dinámica de la ciudad, ya que el tráfico vehicular se reduce el fin de semana, en especial el tránsito de transporte de carga, y por la reducción de la actividad industrial, que es predominante en los días entre semana.

En relación a la norma diaria, las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal, Puente Aranda y Kennedy, tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los 100 µg/m³. En la estación Carvajal-Sevillana las excedencias aplican para todos los días de la semana, mientras que en las demás estaciones predominan las excedencias en los días martes y jueves. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

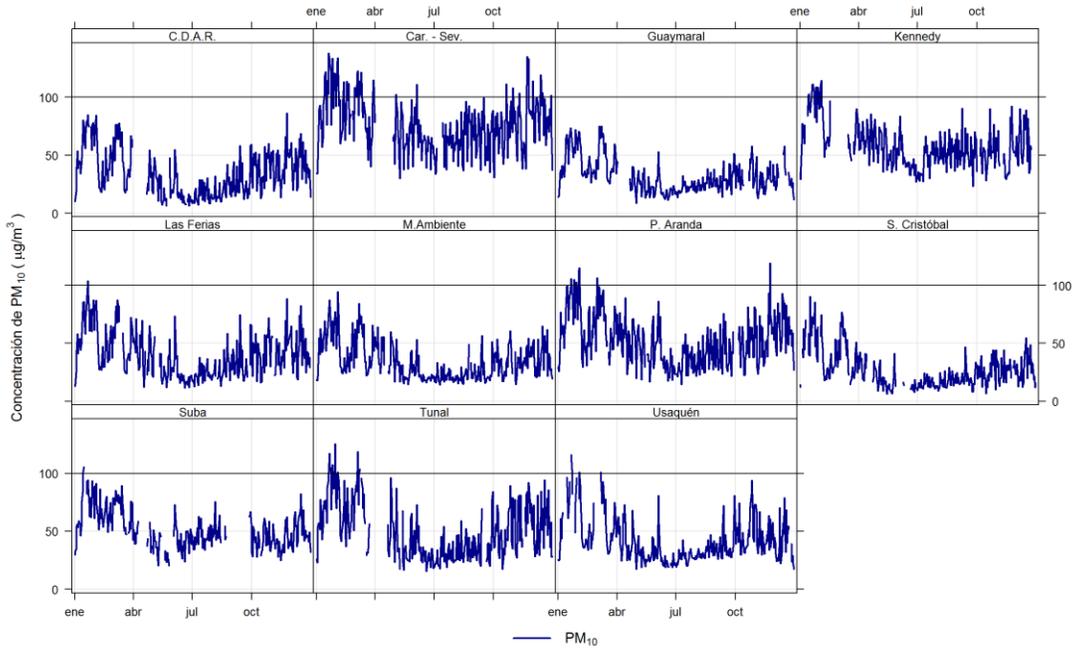


Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM₁₀ por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m³)

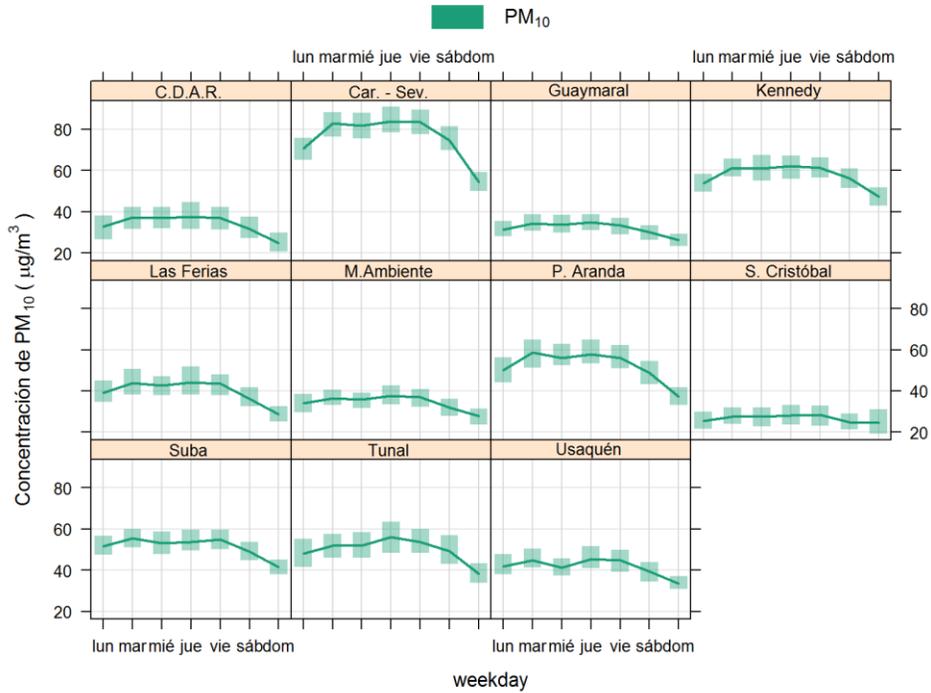


Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

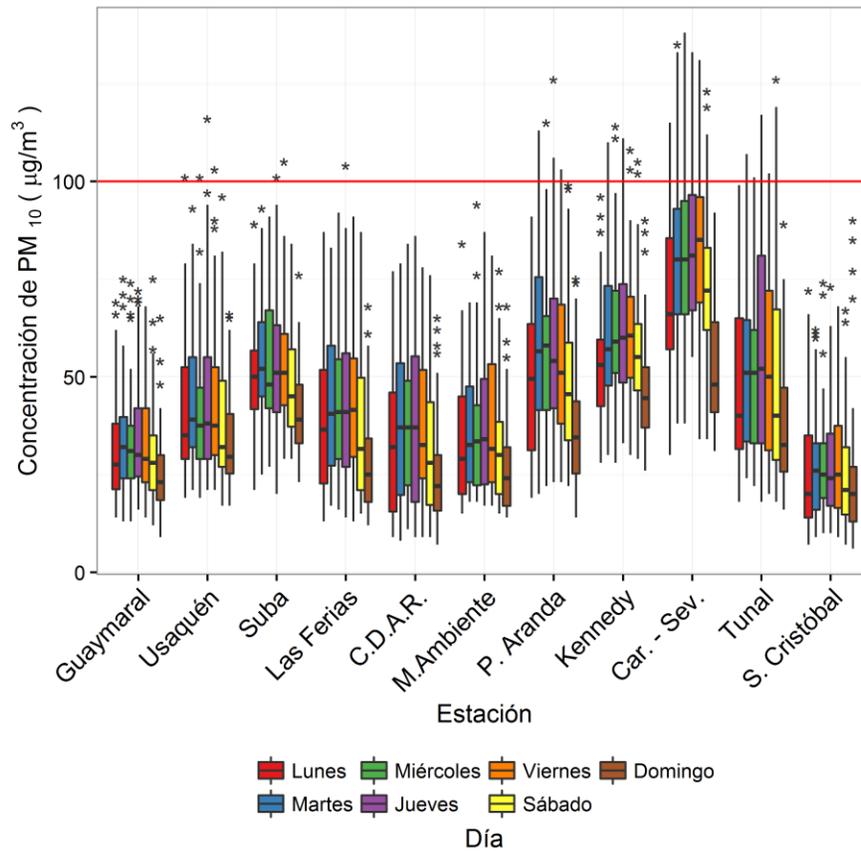


Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de PM_{10} para el año 2016 se representan en la Figura 6-6 y en la Figura 6-7, en las que se observa una tendencia a la reducción de las concentraciones en la primera mitad del año hasta el mes de junio, y luego un aumento gradual hasta el período Octubre – Diciembre. Además, se evidencia que las concentraciones más altas del año se presentaron en los meses de enero y marzo y las más bajas en junio y julio. Esto posiblemente se deba a la influencia de los vientos que se presentan a mitad de año que contribuyen a la dispersión de los contaminantes, además del inicio de la temporada de vacaciones, donde se presenta reducción de la flota vehicular que circula dentro de la ciudad.

Las altas concentraciones en los primeros meses del año se vieron influenciadas por los incendios forestales sobre los cerros orientales a inicios del mes de febrero, especialmente en las estaciones ubicadas sobre la zona oriental de la ciudad.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-7, se observa que para la estación Carvajal-Sevillana en los meses de enero, febrero y marzo las concentraciones tuvieron la tendencia a superar la norma diaria de PM_{10} , y en menor proporción las concentraciones diarias registradas en la estación Puente Aranda, Kennedy, Tunal y Usaquén se presentaron valores que sobrepasaron la norma para el mes de enero.

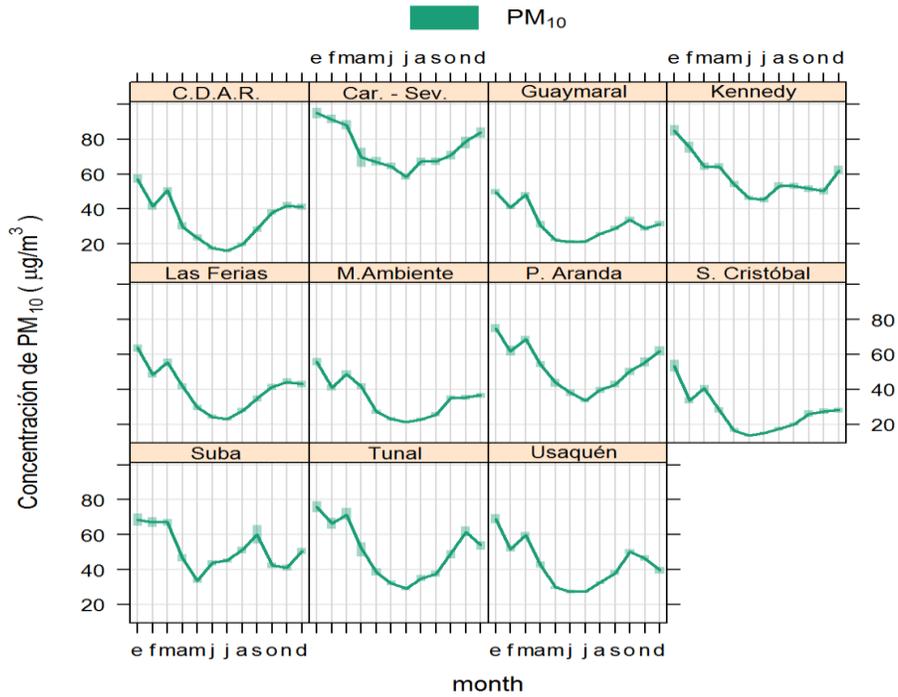


Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ ciclo mensual para el año 2016 por estación

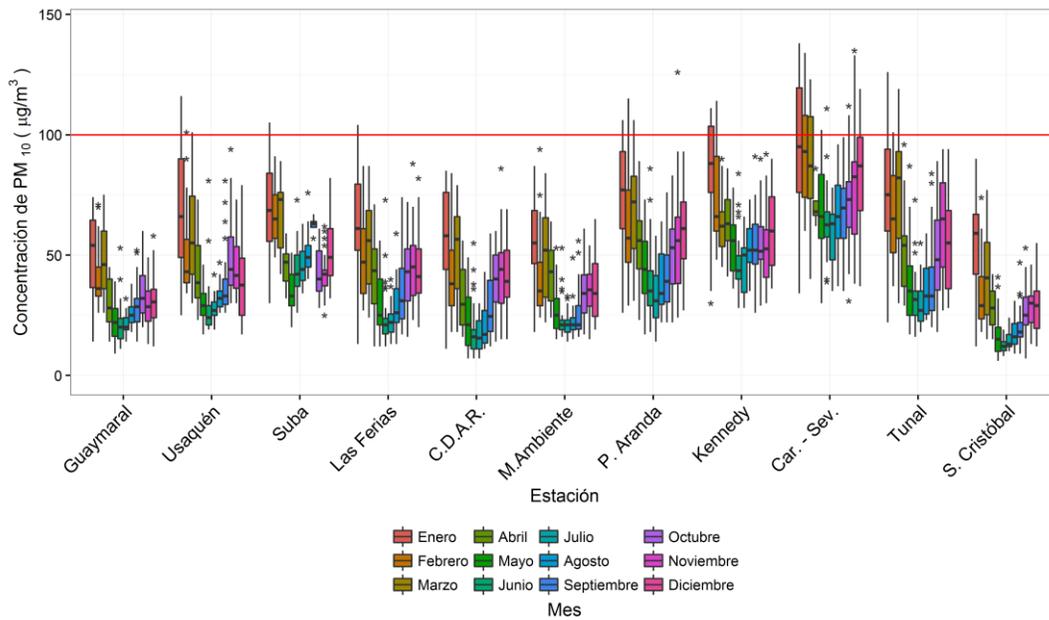


Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-8 se observa el perfil horario de las concentraciones durante el día, la cual aumenta entre las 7 y las 8 de la mañana para todas las estaciones, disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presenta las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana. También se hace evidente que las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan las concentraciones más altas a lo largo del día, con valores entre 90 y 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la estación San Cristóbal tiene la tendencia de las concentraciones más bajas, que se mantienen bajo 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 6-9 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de PM_{10} en el año 2016, se observa que la mayor variación de datos se presentó en las estaciones Suba y Tunal, en las que se presentaron los registros horarios más altos, aunque dentro de los valores de los diagramas de caja las mayores concentraciones persisten en la estación Carvajal-Sevillana. Por otro lado, en la estación MinAmbiente se presentó la menor variación de las concentraciones por hora, lo que indica que a lo largo del año el comportamiento de las concentraciones horarias no tuvo grandes variaciones.

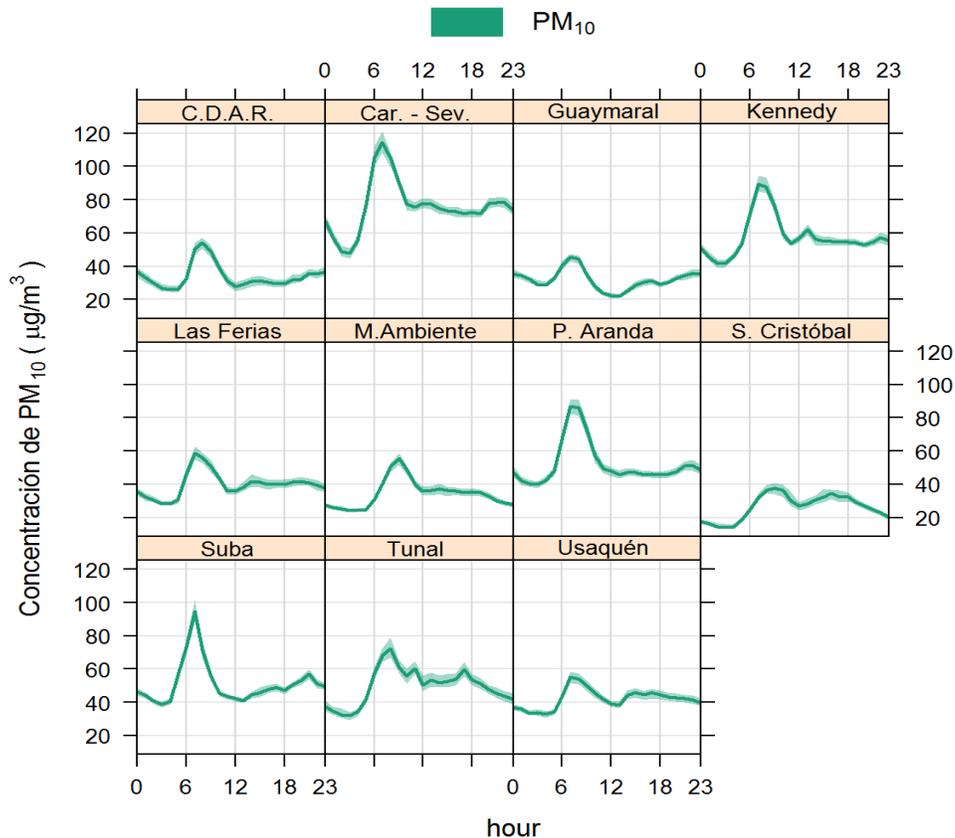


Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

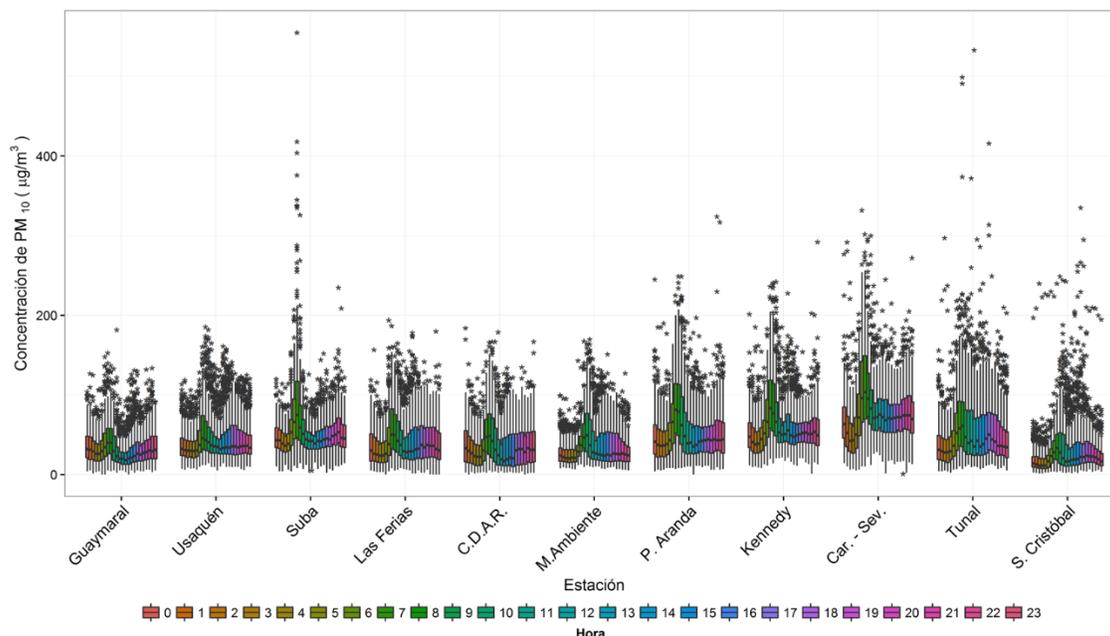


Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones de PM₁₀ por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTÓRICO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 presenta un resumen de los promedios de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de PM₁₀ para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 1 µg/m³ con respecto al año anterior, pero disminuyó en mayor proporción con respecto a las concentraciones presentadas en los años 2012 al 2014. El valor máximo de PM₁₀ es el más bajo que se ha presentado en los últimos cinco años.

Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM₁₀ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad µg/m ³	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	48	152	04/08/2012	Carvajal-Sevillana
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana
2016	45	138	20/01/2016	Carvajal-Sevillana

En los últimos cinco años se observa que, para todas las estaciones, a excepción de Fontibón y Guaymaral, hay datos representativos para el análisis de información. Según la Figura 6-10 en las estaciones del suroccidente (Carvajal-Sevillana, Puente Aranda y Kennedy) las concentraciones diarias tienden a sobrepasar la norma diaria en mayor medida con relación a las demás estaciones; en estas estaciones también se han presentado los valores más altos, junto con la estación Tunal, aunque en el 2016 se presentaron menos valores extremos que en los años anteriores.

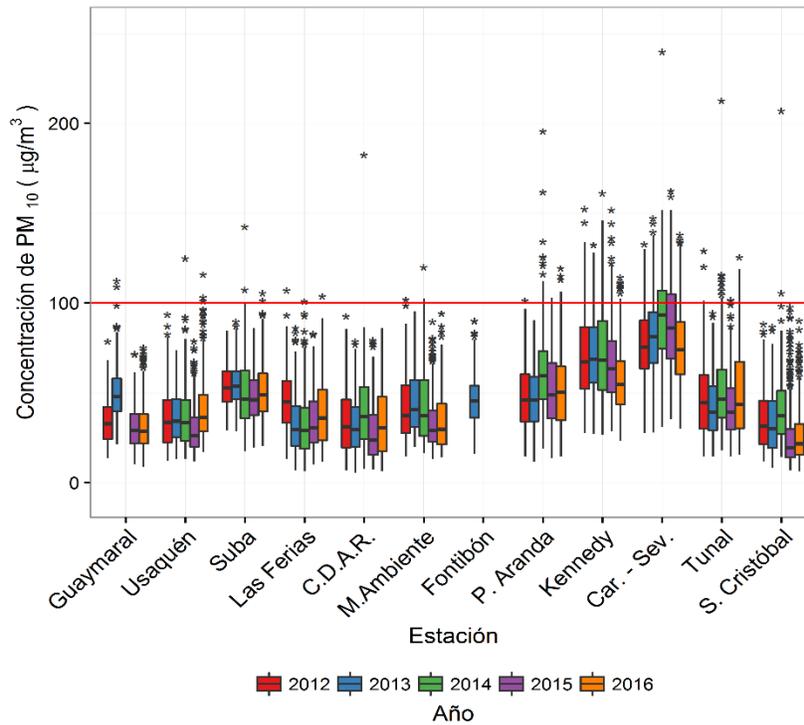


Figura 6-10. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} por estación para los años 2012 a 2016

6.1.2 $PM_{2.5}$

El $PM_{2.5}$ representa la masa de las partículas cuyo diámetro es inferior a $2.5 \mu m$, las fuentes de estas partículas finas incluyen todo tipo de combustiones, incendios forestales, y algunos procesos industriales.

Para el año 2016, ocho (8) estaciones reportaron datos de $PM_{2.5}$ con una representatividad temporal mayor al 75%.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-11 presenta el comportamiento anual por estación y su comparación con la norma anual nacional de $PM_{2.5}$. Se puede observar que solo la estación de Kennedy sobrepasó el valor de $25 \mu g/m^3$, con un valor de concentración de $30 \mu g/m^3$, la siguiente estación con mayor promedio anual fue Tunal, con $23 \mu g/m^3$, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con $10 \mu g/m^3$. Esto concuerda con los resultados obtenidos para PM_{10} , ya que las mayores concentraciones se presentaron al suroccidente de la ciudad.

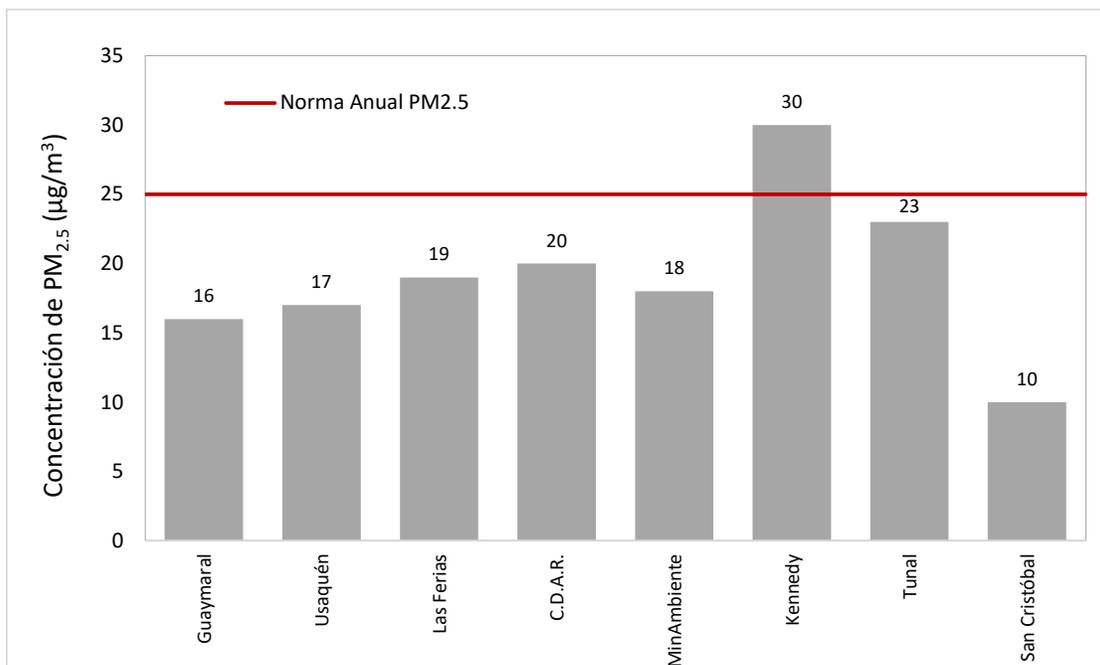


Figura 6-11. Promedios anuales de PM_{2.5} para el año 2016

La comparación de las concentraciones de PM_{2.5} por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-4. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015. El mayor incremento se presentó en la estación Usaquén, con un incremento de 4 µg/m³. En las estaciones de Suba, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-4. Promedios anuales de PM_{2.5} para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM _{2.5} 2015 (µg/m ³)	Promedio PM _{2.5} 2016 (µg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	14	16	↑
Usaquén	13	17	↑
Suba	22	N.R.	N.A.
Las Ferias	N.A.	19	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	18	20	↑
MinAmbiente	15	18	↑
Puente Aranda	N.R.	N.R.	N.A.
Kennedy	27	30	↑
Carvajal-Sevillana	31	N.R.	N.A.
Tunal	21	23	↑
San Cristóbal	9	10	↑

La distribución espacial de la concentración de $PM_{2.5}$, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-12. Se elaboró un mapa mediante el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de las estaciones Suba, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana). En este mapa se puede observar que la mayor parte de la localidad de Kennedy, parte de Bosa y Ciudad Bolívar tienen el rango más alto de concentración (entre 31 y 35 $\mu g/m^3$), y le siguen en magnitud parte de las localidades de Fontibón, Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Puente Aranda, con concentraciones entre 26 y 30 $\mu g/m^3$. Por otro lado, las localidades de San Cristóbal, parte de Santa Fe y Candelaria, se encuentran en el rango más bajo de contaminación, con concentraciones entre 11 y 15 $\mu g/m^3$.

A partir de los comportamientos a nivel de localidad representados en el mapa, es importante mencionar que no es recomendable la generalización del comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales, y es más factible su sectorización por estación para los respectivos análisis.

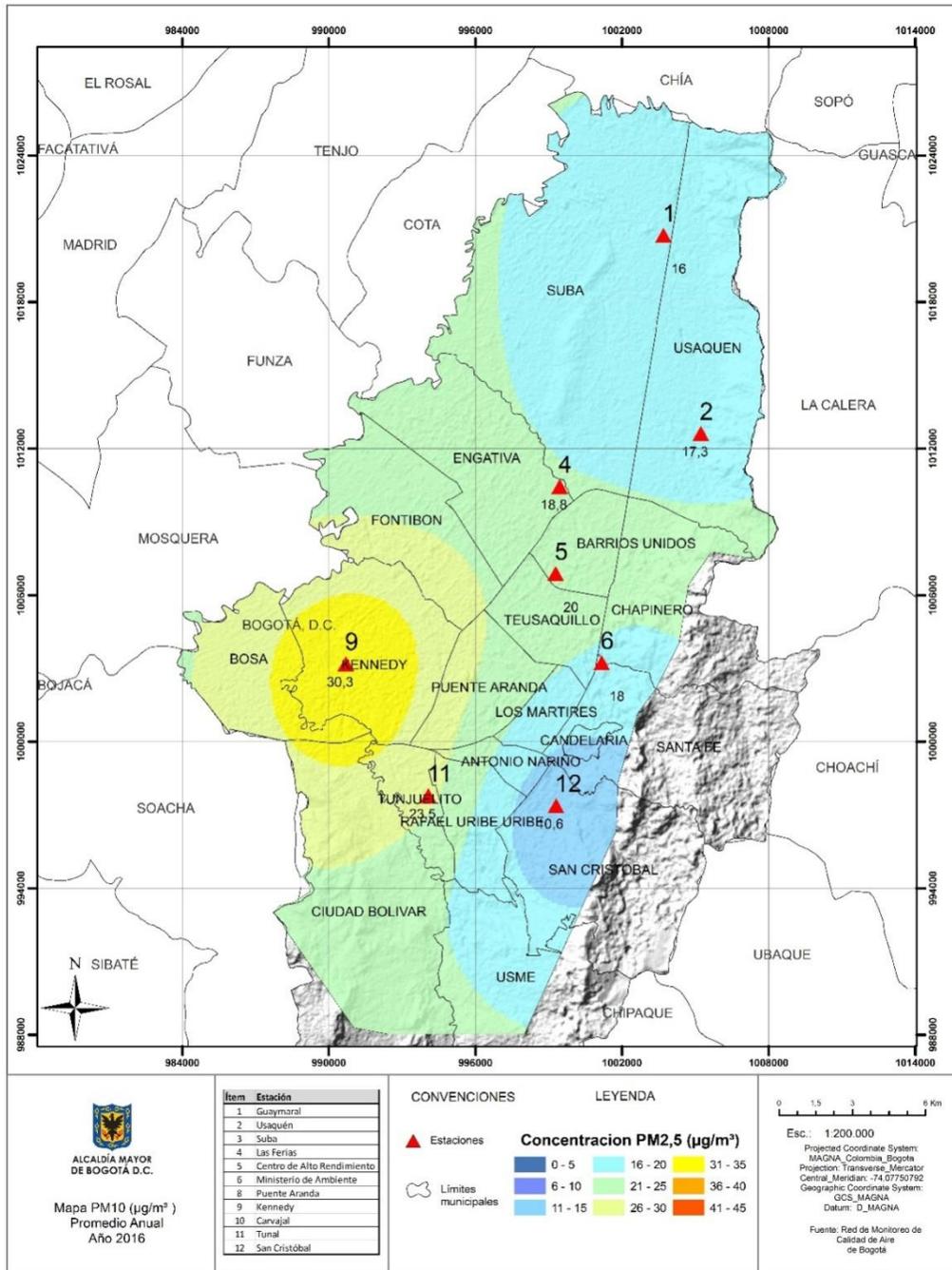


Figura 6-12. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{2.5} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTOS DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año de 2016 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 97% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-5.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de $PM_{2.5}$ para un tiempo de exposición diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se presentaron un total de 51 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en la estación Kennedy, con 15 excedencias, seguida de Carvajal-Sevillana con 12 excedencias, en contraste las estaciones Guaymaral, Las Ferias, Puente Aranda y San Cristóbal no presentaron excedencias sobre la norma diaria. La estación Tunal posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el 2016 se presentaron en su mayoría en el mes de febrero, principalmente en el centro y suroccidente de la ciudad. El 3 de febrero se presentó el mayor número de máximos, incluyendo las estaciones Suba, Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana y San Cristóbal. Los valores máximos más altos se presentaron en MinAmbiente, con $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Carvajal-Sevillana con $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el día 3 de febrero.

Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de $PM_{2.5}$ durante el año 2016

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias de la norma $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ²	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	312	85	16	0	0.0	0	44	11/03/2016
Usaquén	341	93	17	5	1.5	6	59	11/03/2016
Suba*	240	66	22	2	0.8	5	51	03/02/2016
Las Ferias	310	85	19	0	0.0	3	47	21/01/2016
Centro de Alto Rendimiento	360	98	20	2	0.6	9	53	03/02/2016
MinAmbiente	356	97	18	4	1.1	6	69	03/02/2016

² Mayor a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor o igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias de la norma $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ²	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo
Puente Aranda*	80	22	23	0	0.0	0	44	24/11/2016
Kennedy	323	88	30	15	4.6	10	59	03/02/2016
Carvajal-Sevillana *	231	63	30	12	5.2	9	65	03/02/2016
Tunal	357	98	23	11	3.1	12	61	25/12/2016
San Cristóbal	295	81	10	0	0.0	0	41	03/02/2016

*Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas.

El comportamiento diario de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentra en la Figura 6-13, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones diarias se presentaron en los primeros meses del año, y para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente, Kennedy y Tunal también hubo altas concentraciones a final de año, mientras que las más bajas se presentaron en la mitad del año.

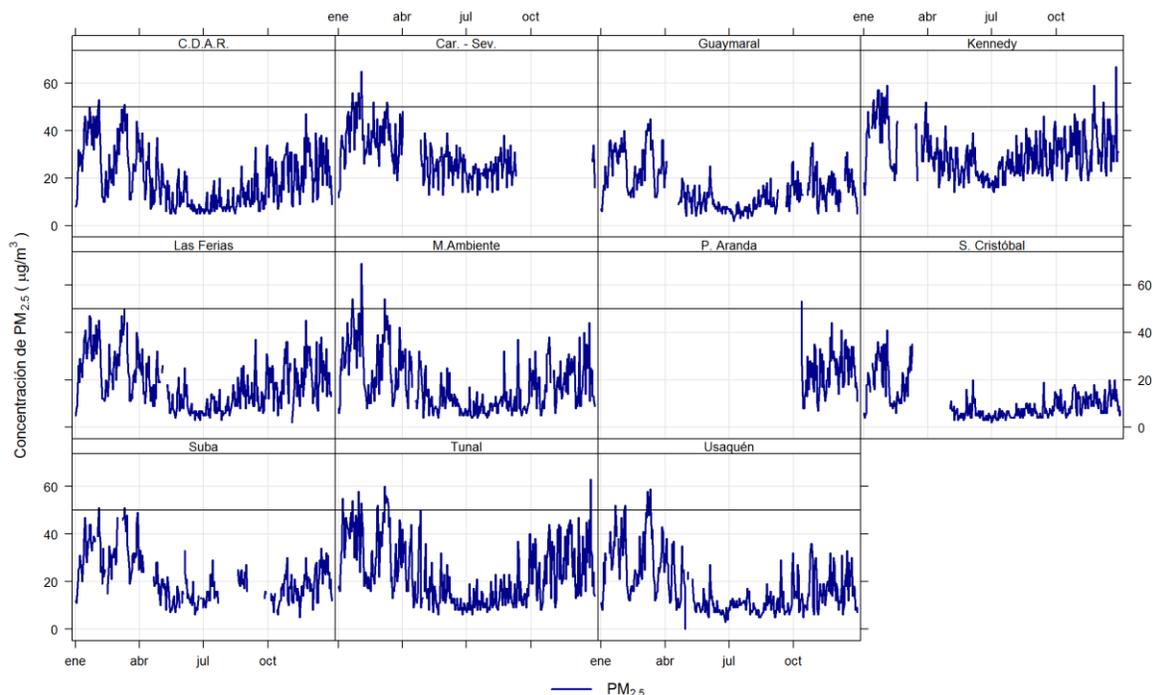


Figura 6-13. Comportamiento diario de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

El comportamiento semanal de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-14 y en la Figura

6-15, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, lo cual esta posiblemente asociado a las variaciones de la actividad industrial, y a la reducción del tráfico vehicular los fines de semana.

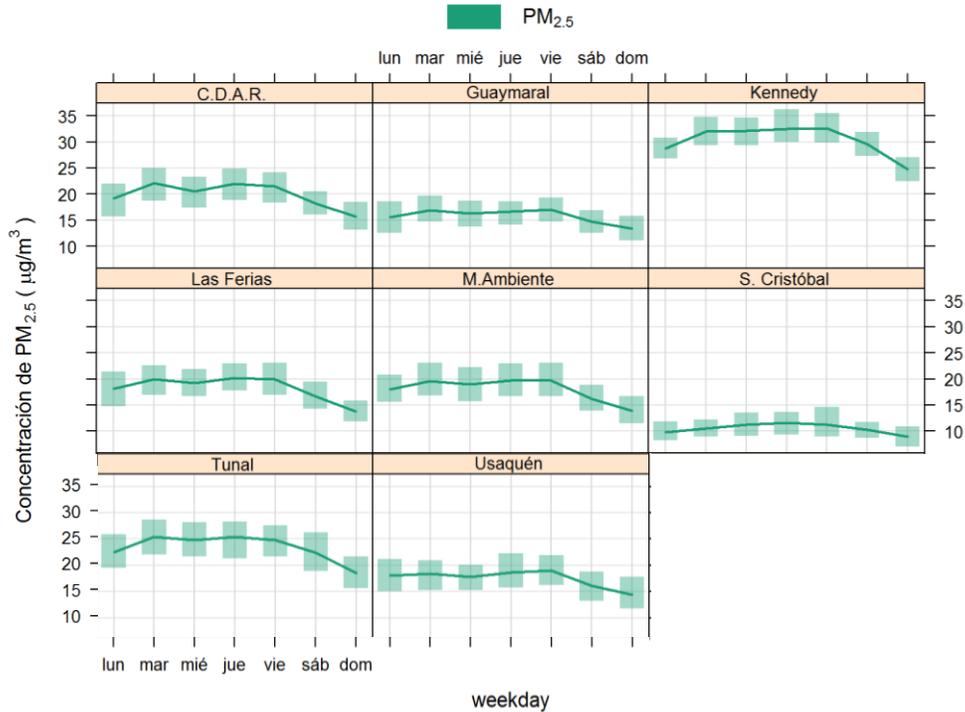


Figura 6-14 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2016.

La Figura 6-15 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana, donde se observa que las estaciones de Kennedy y Tunal tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los $50 \mu g/m^3$ en los días hábiles de la semana. Para las estaciones MinAmbiente y Usaqué se presentaron algunos valores extremos sobre la norma.

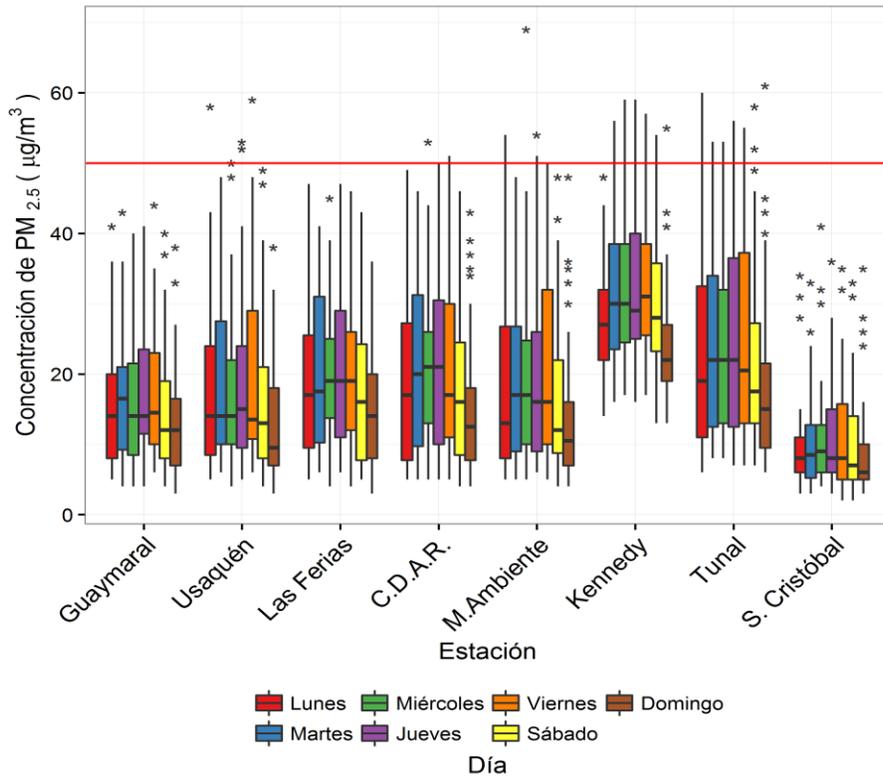


Figura 6-15. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{2.5} por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de PM_{2.5} para el año 2016 se representan en la Figura 6-16 y en la Figura 6-17, en las que se observa que el año inicia con concentraciones altas en los tres primeros meses, luego hay una tendencia a la reducción de las concentraciones hasta la primera mitad del año, luego un aumento gradual hasta el mes de octubre, en el cual empieza un periodo estable hasta diciembre.

Lo anterior posiblemente puede tener influencia de los vientos que se presentan a mitad de año que contribuyen a la dispersión de los contaminantes, y a la reducción en la flota vehicular que circula dentro de la ciudad a causa de la temporada de vacaciones escolares. Las altas concentraciones en los primeros meses del año se asocian principalmente a los incendios forestales que se presentaron en los cerros orientales a inicios del mes de febrero.

La Figura 6-17 presenta los diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{2.5} por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo, donde se puede observar que las estaciones Kennedy, Tunal, MinAmbiente y Usaquén en los meses de enero, febrero y marzo tuvieron la tendencia a superar la norma diaria de PM_{2.5}.

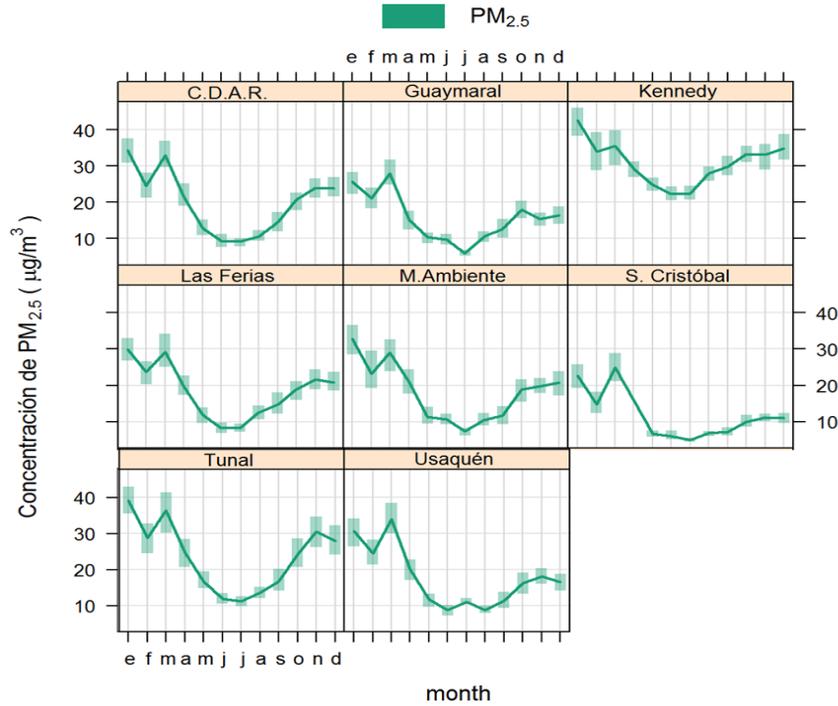


Figura 6-16. Comportamiento mensual de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2016 por estación

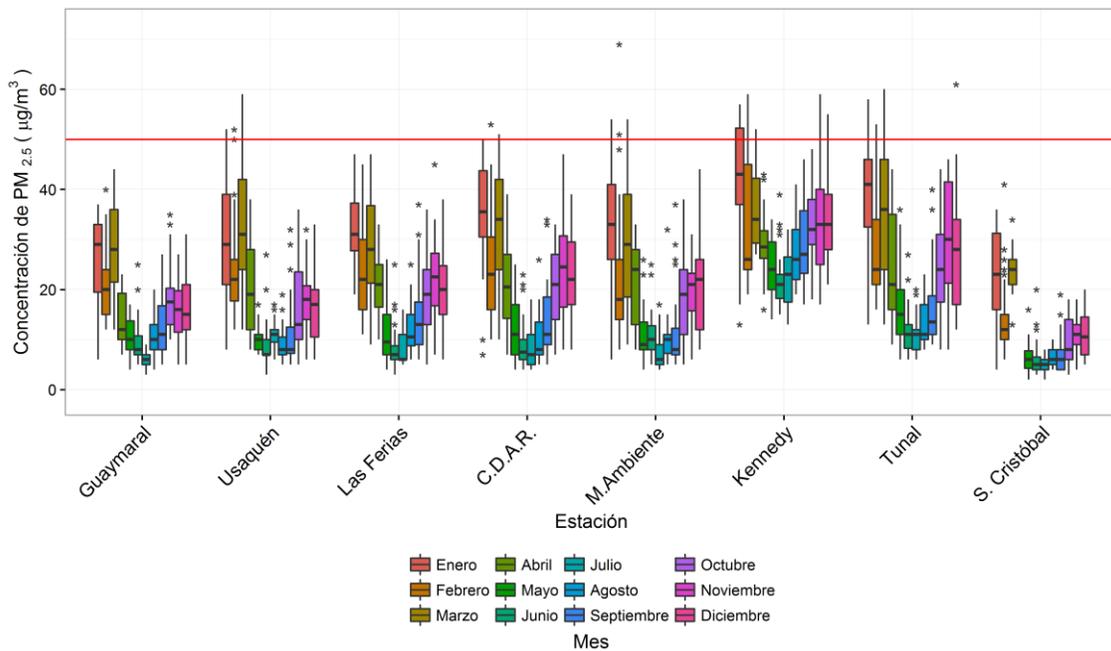


Figura 6-17. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-18 se presenta el comportamiento horario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación durante el año 2016. Al analizar dicho comportamiento, se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén los valores aumentan entre las 7 y las 8 de la mañana, lo cual corresponde con las horas de mayor tráfico vehicular, después disminuye hacia las horas de medio día y se incrementa en menor proporción en las horas de la tarde, hasta que desciende y presentan las menores concentraciones entre las 3 y 4 de la mañana.

Las concentraciones de la hora pico de la mañana son mayores que las de la noche, lo que posiblemente está asociado a un menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento), características de las primeras horas de la mañana.

Las estaciones Las Ferias, San Cristóbal y Tunal tuvieron dinámicas diferentes, con pocas variaciones en el día o aumento de las concentraciones en horas de la tarde. Esto posiblemente se deba a fenómenos locales de transporte de contaminación e influencia de fenómenos meteorológicos. También se evidencia que la estación Kennedy presenta las concentraciones más altas, con valores altos cercanos a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la estación San Cristóbal tiene la tendencia a presentar concentraciones más bajas, que se mantienen bajo $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la Figura 6-19 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal, siendo esta primera la que presenta los valores más altos y mayor número de valores extremos.

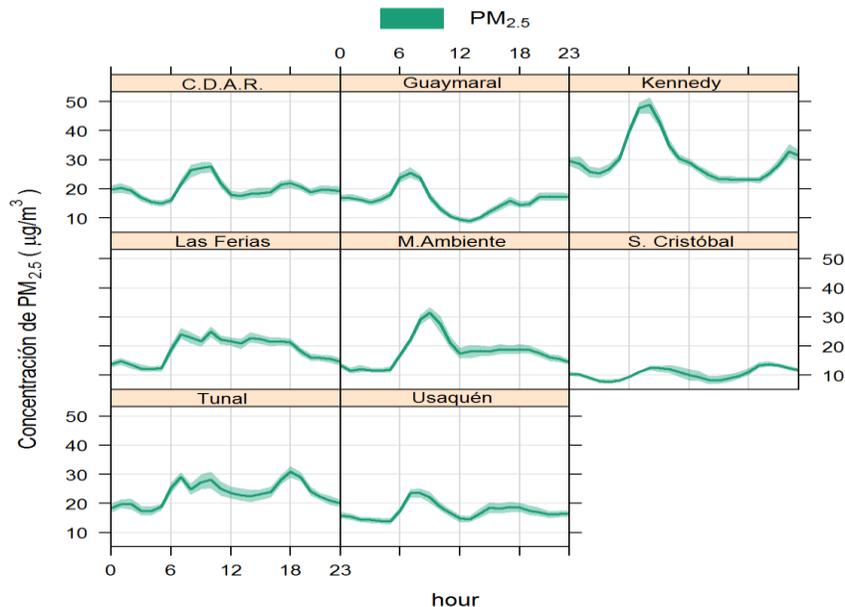


Figura 6-18. Comportamiento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ ciclo horario por estación durante el año 2016

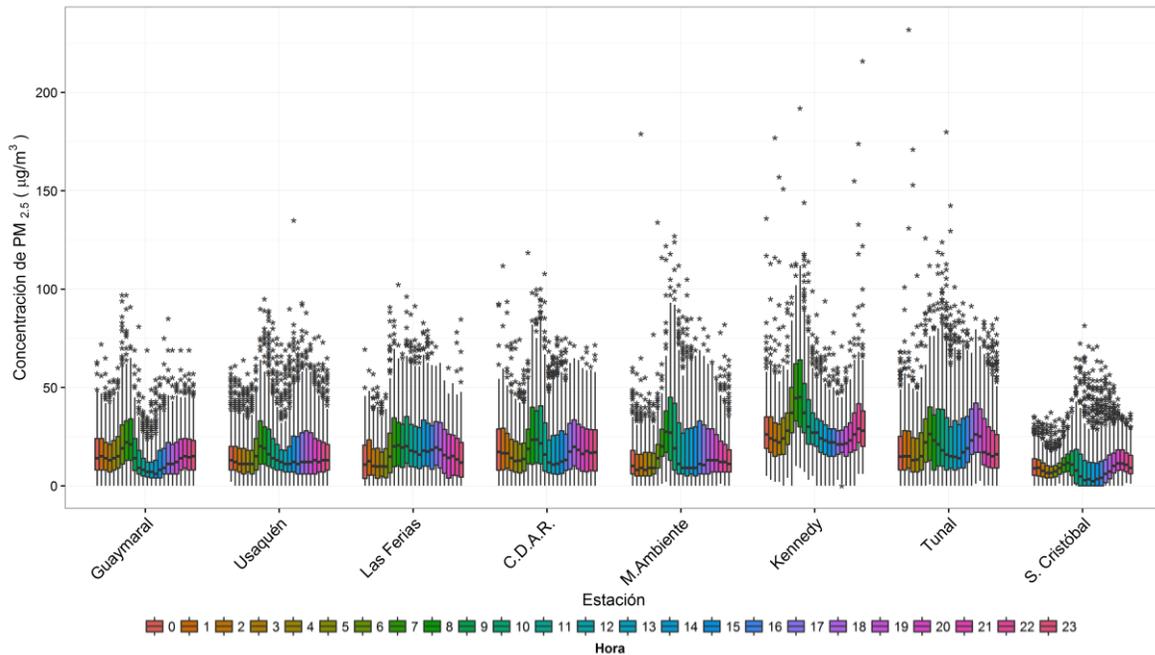


Figura 6-19. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-6 contiene un resumen de la concentración promedio de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de $PM_{2.5}$ para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 se mantuvo igual al promedio calculado en el 2015, y disminuyó con respecto a las concentraciones presentadas en los años 2012 al 2014. El valor máximo de $PM_{2.5}$ para el 2016 es $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y se presentó en la estación MinAmbiente, en contraste a los años anteriores en donde el valor más alto se presentaba en la zona suroccidental de la ciudad, lo cual evidencia la influencia del incendio forestal sobre la contaminación por $PM_{2.5}$ en el oriente de la ciudad.

Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de $PM_{2.5}$ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
2012	28	63	17/02/2012	Kennedy
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy
2016	19	69	03/02/2016	MinAmbiente

La Figura 6-20 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2012 a 2016, donde en las estaciones Kennedy, Carvajal-Sevillana, y Tunal las concentraciones diarias tienden a sobrepasar la norma diaria en mayor medida, en comparación a las demás estaciones.

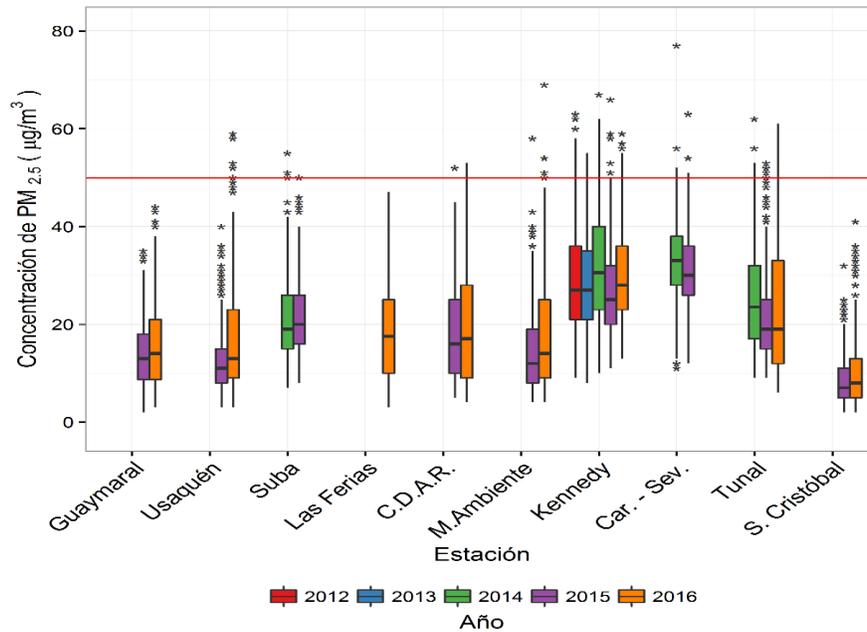


Figura 6-20. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2012 a 2016

RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 6-7 muestra la relación de concentraciones promedio del año 2016 entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 75%. Ocho (8) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas se presentaron en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente y Kennedy, lo que indica que en estas zonas hubo una mayor influencia de fuentes de combustión que emiten material particulado fino. Las fracciones más bajas se presentaron en San Cristóbal y Usaquén, lo que significa que hubo una mayor influencia de emisiones de partículas gruesas, asociadas a cenizas o material resuspendido.

En resumen, las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas (Baker y Scheff, 2007; Real y Sartelet, 2011; Sun, Lin, y Wang, 2003) y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

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

Tabla 6-7. Relación concentraciones PM_{2.5}/PM₁₀ por estación

Estación	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Relación de concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀
Guaymaral	16	32	0.50
Usaquén	17	42	0.40
Suba	N.R.	52	N.A.
Las Ferias	19	40	0.48
Centro de Alto Rendimiento	20	35	0.57
MinAmbiente	18	34	0.53
Puente Aranda	N.R.	52	N.A.
Kennedy	30	58	0.52
Carvajal - Sevillana	N.R.	76	N.A.
Tunal	23	50	0.46
San Cristóbal	10	27	0.37

6.2 GASES

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera. A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas.

6.2.1 OZONO

El O_3 es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratósfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el ozono estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante que en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos afecta las mucosas y tejidos pulmonares, y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmósfera y por lo tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.^{3 4}

Para el año 2016, ocho (8) estaciones reportaron datos de O_3 con una representatividad temporal mayor al 75%, además, se obtuvieron 59598 datos válidos 8 horas de concentración, que corresponden al 84% total de los datos capturados.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-1 muestra los promedios anuales de O_3 por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, esto con el fin de tener una comparación de las estaciones y no contrastarlo con los límites máximos permisibles, ya que estos no consideran un tiempo de exposición anual.

El mayor valor se presentó en la estación Usaquén, con $38 \mu g/m^3$ (por debajo del presentado en 2015- $47 \mu g/m^3$), y el valor más bajo se presentó en la estación Puente Aranda, con $15 \mu g/m^3$. La estación Usaquén se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles inusualmente elevados en horas de la noche.

³ Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

⁴ DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE.UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA – Monóxido de Carbono. 2012

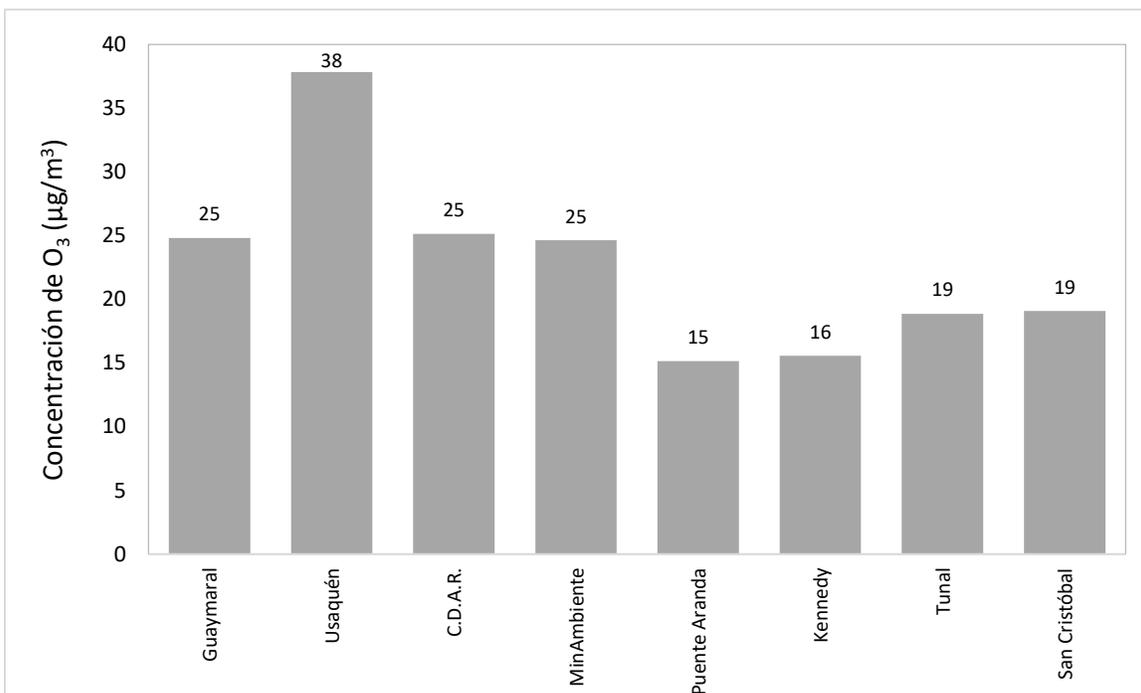


Figura 6-21 Comportamiento de las concentraciones anuales de O₃ para el año 2016

Las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual puede deberse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Cabe destacar el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios

La distribución espacial de la concentración de O₃ en la ciudad puede verse en la Figura 6-22, donde a través de una interpolación por el método de Krigging se generó un mapa teniendo en cuenta los valores por estación con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de las estaciones Suba, Las Ferias y Carvajal-Sevillana). En este mapa se puede observar que la localidad de Usaquén, parte de las localidades de Suba, Barrios Unidos y Chapinero tienen el rango más alto de concentración (entre 30 y 39 µg/m³). Por otro lado, las localidades de Kennedy y Puente Aranda, parte de Antonio Nariño y Tunjuelito, se encuentran en el rango más bajo de contaminación por O₃, con concentraciones entre 15 y 21 µg/m³.

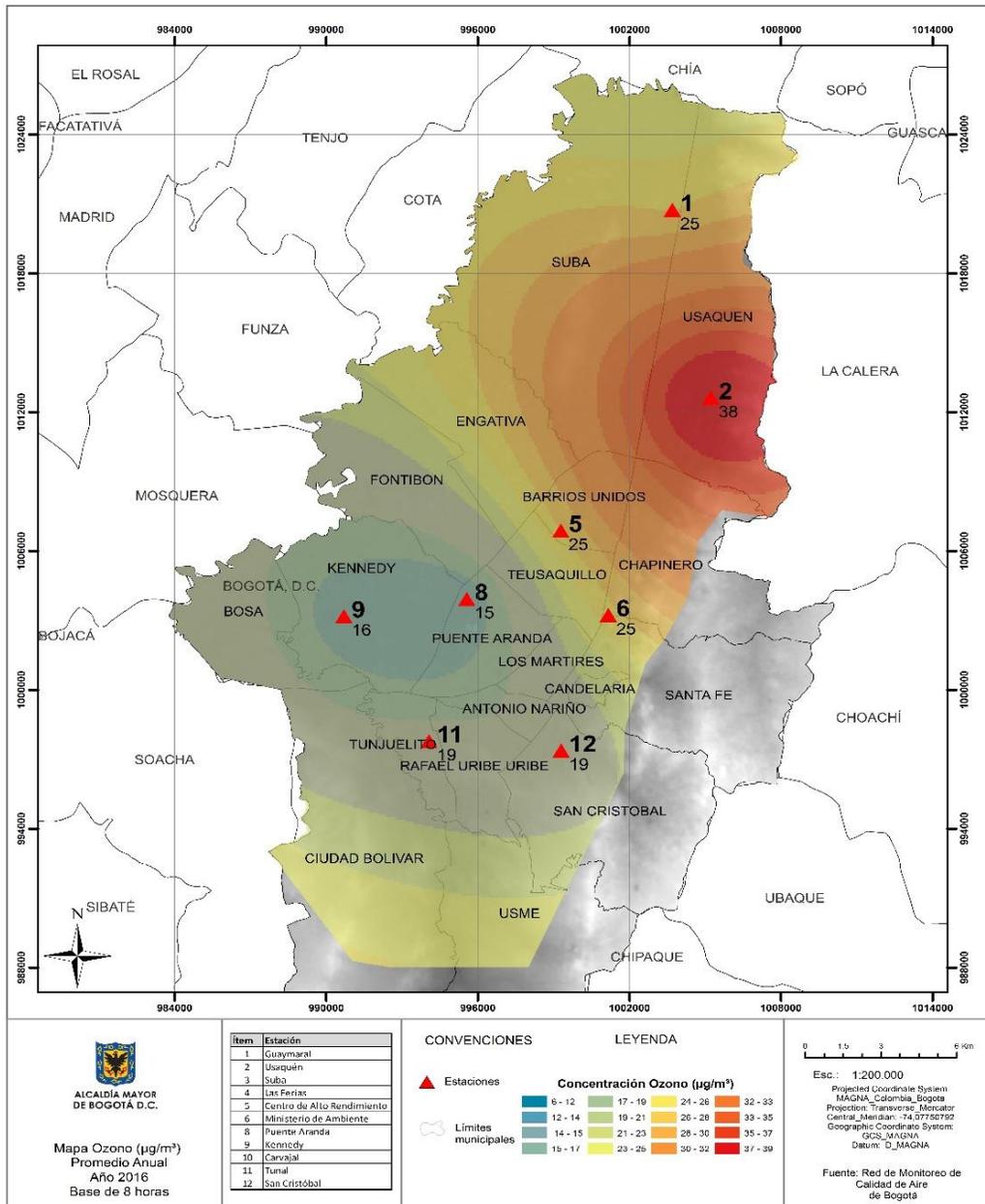


Figura 6-22 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O₃ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento semanal de las concentraciones de O₃ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-23, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los domingos; y las menores concentraciones ocurren en los jueves y viernes. Este comportamiento es inverso al que posee el material particulado, debido a que las concentraciones de ozono aumentan en los días de mayor radiación solar y en los días más despejados, cuando hay menor contaminación por Material Particulado.

En la Figura 6-24 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana, con respecto a la norma horaria. Se observa que las concentraciones registradas tienen varios datos extremos que sobrepasan la norma horaria, siendo la estación de Usaquén la que tiene los valores extremos más altos, en contraste con la estación Tunal que no registró ningún dato sobre la norma horaria.

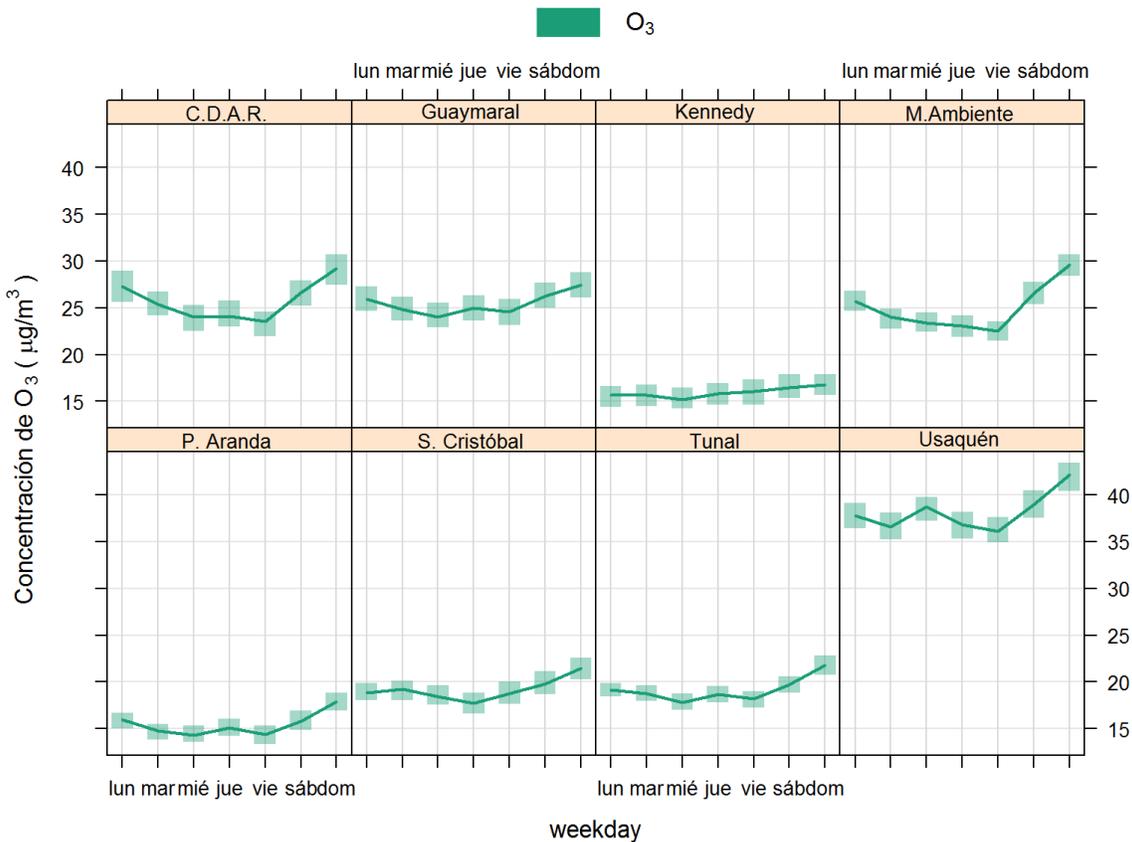


Figura 6-23. Comportamiento de las concentraciones de O₃ ciclo semanal durante el año 2016 por estación

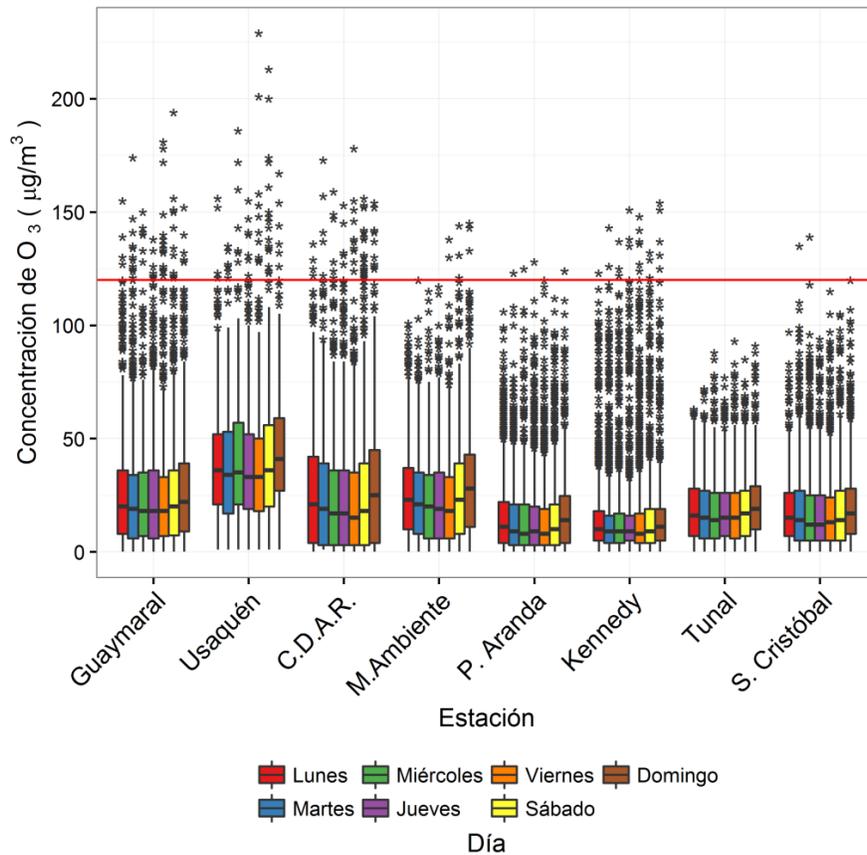


Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O₃ Ciclo semanal para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de O₃ para el año 2016 se representan en la Figura 6-25, en la que se observa que el año inicia con concentraciones altas en los tres primeros meses, luego hay una tendencia a la reducción de las concentraciones en la primera mitad del año hasta el abril y mayo, cuando hay concentraciones más bajas, luego hay un aumento gradual hasta los meses de septiembre y octubre, y un nuevo descenso hasta diciembre. Además se evidencia que las concentraciones más altas del año se presentaron en los meses de Enero y Marzo, y en septiembre para las estaciones Tunal y Usaquén. Esa situación se da debido a las altas temperaturas que se presentaron en esos meses, las cuales se relacionaron a altos niveles de radiación solar.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-26, se observa que para la estación Usaquén presenta el mayor número de datos extremos que superan la norma, especialmente en los períodos de Enero - Marzo y Agosto - Octubre, mientras que la estación Tunal no reporta datos sobre la norma horaria, y tiene baja dispersión de datos la mayoría de los meses del año.

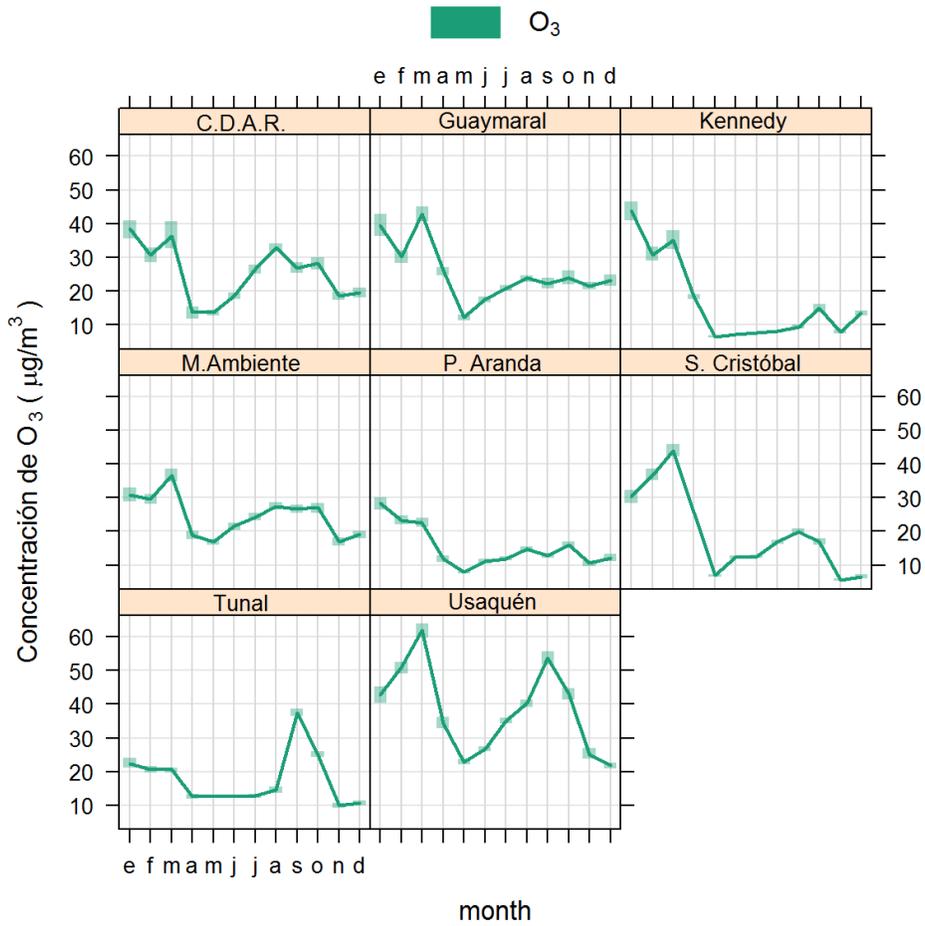


Figura 6-25. Comportamiento mensual de la concentración de O₃ para el año 2016 por estación

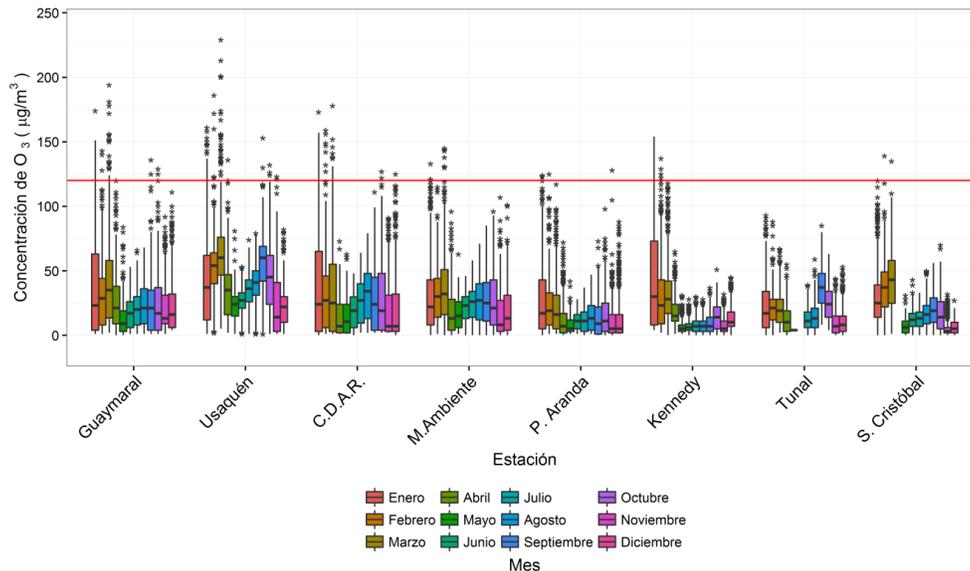


Figura 6-26. Diagramas de caja de las concentraciones de O₃ Ciclo mensual para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIOS POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O₃ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 120 µg/m³. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 11 estaciones que reportaron datos de O₃, 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Guaymaral y Usaquén las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 96%, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-8.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de O₃ para un tiempo de exposición horario, (120 µg/m³), se presentaron un total de 303 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en las estaciones Guaymaral y Suba, con 63 excedencias, seguida de Usaquén y Centro de Alto Rendimiento con 60 excedencias, en contraste, la estación Tunal no presentó excedencias sobre la norma horaria. La estación Suba posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de O₃ para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de marzo, principalmente en el norte y centro de la ciudad. El 11 de marzo se presentó el mayor número de máximos, incluyendo las estaciones Usaquén, Suba y Centro de Alto Rendimiento. El valor máximo más alto se presentó en Suba, con 229 µg/m³ el 11 de marzo, seguido de Suba con 217 µg/m³ el 11 de marzo.

Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O₃ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 1 h 120 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁵	Máximo (µg/m ³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	96	25	63	0.75	44	194	12/03/2016 14:00
Usaquén	96	38	60	0.71	32	229	11/03/2016 14:00
Suba*	66	29	63	1.09	47	217	11/03/2016 14:00
Las Ferias*	37	23	14	0.43	15	147	26/01/2016 14:00
Centro de Alto Rendimiento	89	25	60	0.77	40	178	11/03/2016 13:00
MinAmbiente	93	25	9	0.11	18	145	13/03/2016 15:00
Puente Aranda	94	15	5	0.06	6	128	17/11/2016 13:00
Kennedy	84	16	24	0.32	33	154	17/01/2016 14:00
Carvajal-Sevillana*	35	19	2	0.06	6	137	31/01/2016 12:00
Tunal	77	19	0	0	0	93	29/01/2016 14:00
San Cristóbal	80	19	3	0.03	5	139	03/02/2016 14:00

* Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento de las concentraciones horarias de O₃ durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (120 µg/m³) se encuentra en la Figura 6-27, en la cual se observa que para todas las estaciones las mayores concentraciones horarias se presentaron en los cuatro primeros meses del año, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de julio, en la estación Suba no hubo registro de datos entre agosto y octubre, y en la estación Ferias no hubo registro de datos entre marzo y julio. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Tunal hubo periodos cortos en el primer semestre del año en que no hubo captura de datos, sin embargo, con los registros del resto del año se obtuvo la representatividad temporal necesaria para la realización de los análisis.

⁵ Mayor o igual a 108 µg/m³ y menor o igual a 120 µg/m³.

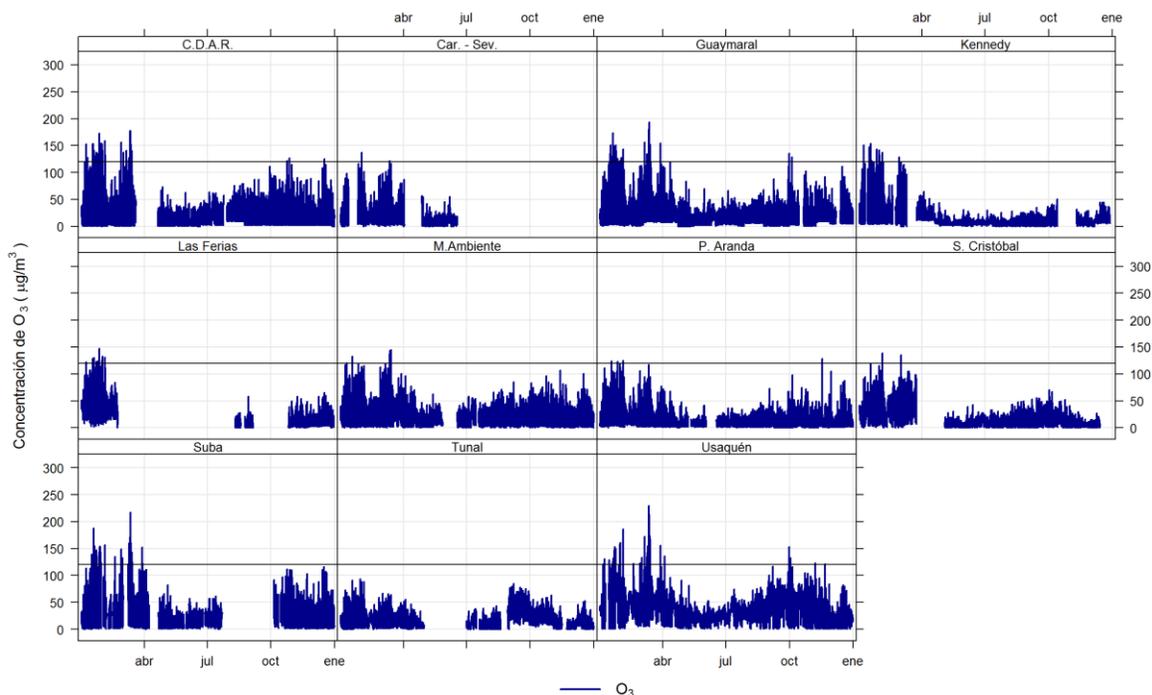


Figura 6-27. Comportamiento horario de las concentraciones de O₃ por estación y comparación con norma (120 µg/m³)

En la Figura 6-28 se observa el ciclo horario. En general se observa que las mayores concentraciones se presentan entre la 1 y 3 de la tarde, y hay un descenso hasta las horas de la noche, para presentar un ligero aumento a las 3 de la mañana, siendo más notable este comportamiento en la estación de Usaqué. Esta estación es la que tiene la tendencia a presentar las concentraciones más altas, llegando a registrar hasta 55 µg/m³ en horas de la tarde. Las estaciones Kennedy, Tunal y San Cristóbal presentan las concentraciones más bajas, por debajo de 30 µg/m³.

En la Figura 6-29 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de O₃ en el año 2016, se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Guaymaral, las cuales, junto con Usaqué y Centro de Alto Rendimiento, presentan el mayor número de valores extremos que sobrepasan la norma horaria.

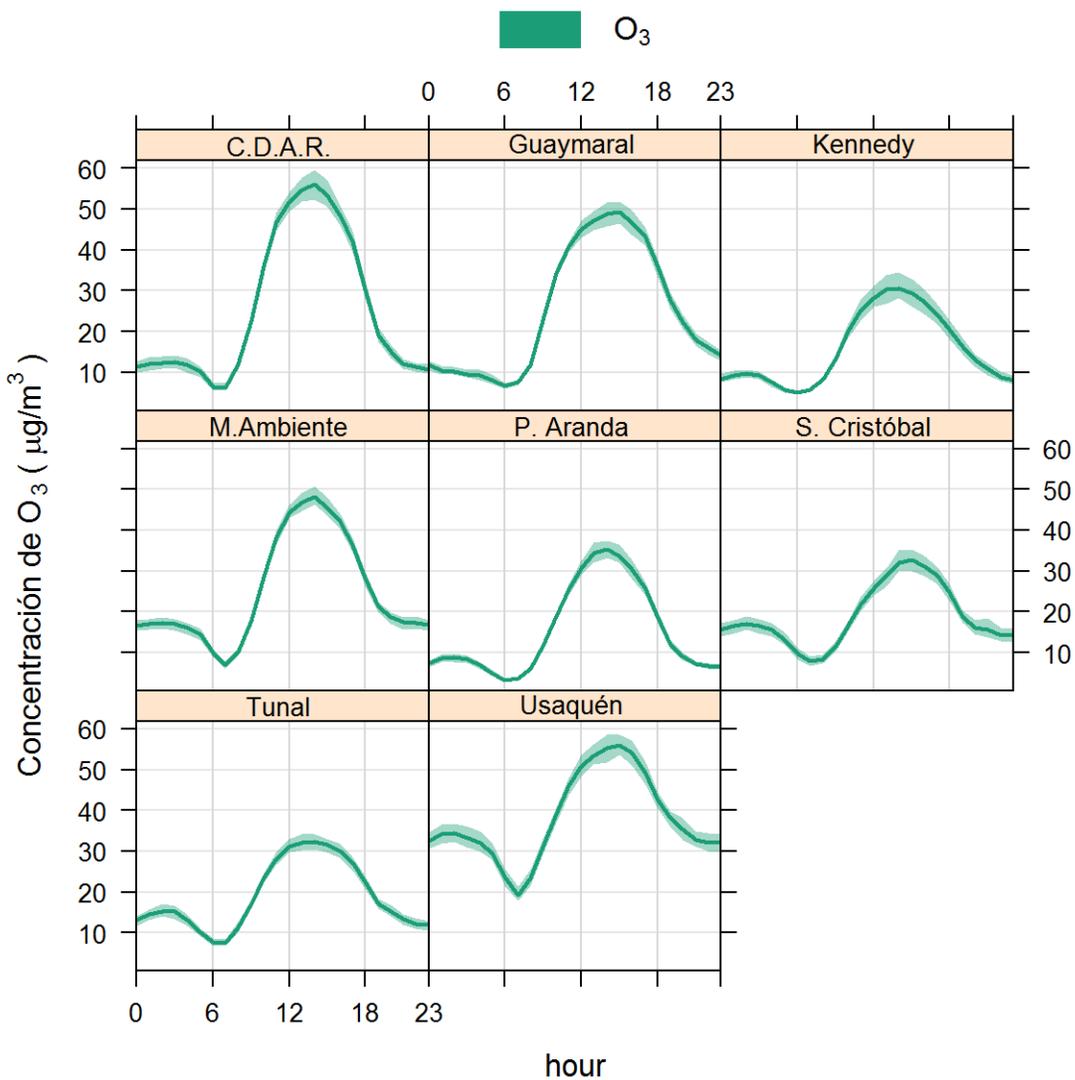


Figura 6-28. Comportamiento de las concentraciones de O₃ en ciclo horario por estación durante el año 2016

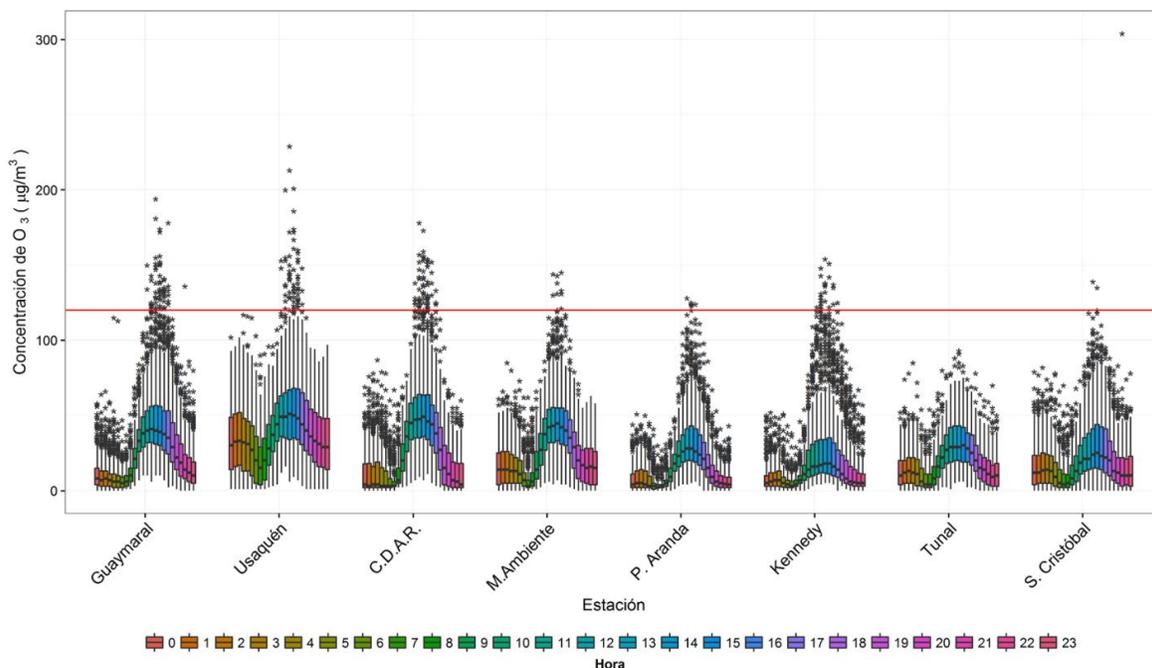


Figura 6-29. Diagramas de caja de las concentraciones de O₃ ciclo horario para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO MEDIAS MÓVILES DE 8H POR ESTACIÓN

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de O₃ por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-9. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones disminuyeron con respecto a las reportadas en el 2015, a excepción de la estación Guaymaral, que presentó un aumento de 3 µg/m³ sobre el valor del 2015. La mayor disminución de concentración se presentó en la estación San Cristóbal, con una reducción de 11 µg/m³. En las estaciones de Suba, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O₃ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio O ₃ 2015 (8h) (µg/m ³)	Promedio O ₃ 2016 (8h) (µg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016
Guaymaral	22	25	↑
Usaquén	47	38	↓
Centro de Alto Rendimiento	26	25	↓
Ministerio de Ambiente	N.A.	25	N.A.
Puente Aranda	17	15	↓
Kennedy	22	16	↓

Estación	Promedio O ₃ 2015 (8h) (µg/m ³)	Promedio O ₃ 2016 (8h) (µg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016
Tunal	20	19	↓
San Cristóbal	30	19	↓

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O₃ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 80 µg/m³. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de O₃ registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 11 estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de O₃, 8 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Guaymaral y Usaquén las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 96%, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-10.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de O₃ para un tiempo de exposición de 8 horas, (80 µg/m³), se presentaron un total de 1064 excedencias sobre la norma. El mayor número de excedencias se presentó en las estaciones Guaymaral y Suba, con 246 y 216 excedencias respectivamente, en contraste, la estación Tunal no presentó excedencias sobre la norma 8 horas. La estación Usaquén posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas 8 horas de O₃ para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de enero, El 12 de marzo se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Guaymaral, Usaquén y MinAmbiente, seguido de Suba con un máximo de 139 µg/m³ el 11 de marzo.

Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O₃ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma (8h) 80 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m ³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	96	25	185	2.2	85	128	12/03/2016 17:00
Usaquén	96	38	246	2.9	254	143	12/03/2016 17:00
Suba*	65	29	216	3.8	104	139	11/03/2016 17:00
Las Ferias*	37	23	57	1.8	44	103	30/01/2016 18:00
Centro de Alto Rendimiento	89	25	153	2.0	81	121	30/01/2016 18:00
MinAmbiente	93	25	28	0.3	33	104	12/03/2016 18:00
Puente Aranda	94	15	11	0.1	15	95	17/01/2016 19:00
Kennedy	84	16	134	1.8	47	125	17/01/2016 19:00
Carvajal-Sevillana*	35	19	16	0.5	28	92	31/01/2016 17:00

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma (8h) $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Tunal	77	19	0	0.0	0	68	29/01/2016 18:00
San Cristóbal	80	19	18	0.3	39	89	22/03/2016 20:00

* Promedios con base en media 8 horas, incluye estaciones no representativas con fines indicativos y revisión.

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan en la Figura 6-30, en la cual se puede observar que para todas las estaciones las mayores concentraciones se presentaron en los cuatro primeros meses del año, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año.

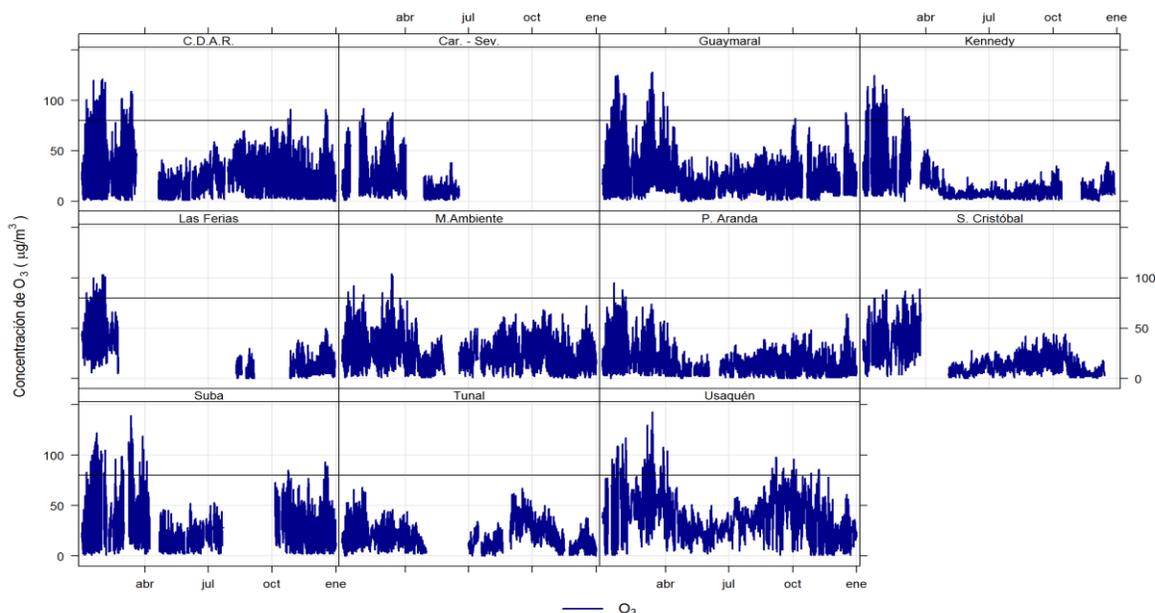


Figura 6-30. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8H) por estación y comparación con norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

COMPORTAMIENTO HISTORICO

Un resumen histórico de las concentraciones promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas para los periodos comprendidos por los años 2012-2016 se presentan en la Tabla 6-11.

Para el periodo de estudio, el promedio ciudad del año 2016 disminuyó $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de O_3 para el 2016 es $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Usaquén, donde también se presentaron valores máximos en 2015 y 2013.

Para todos los años, los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche donde el efecto de radiación a través del día es más notorio; se debe tener en cuenta que por ser medias móviles, se presenta un desplazamiento natural de los valores máximos, frente a lo reportado en los datos horarios.

El aumento de los promedios de concentración, indican que se han aumentado las fuentes de emisión de precursores y que las excedencias a la norma pueden llegar a ser aún más frecuentes. Los promedios se muestran a manera de comparación entre estaciones ya que no existe norma anual para este contaminante.

Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O₃ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad (datos 8h) µg/m ³	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
2012	23	132	16/02/2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén
2016	23	143	12/03/2016 17:00	Usaquén

La Figura 6-31 presentan los diagramas de caja de todas las estaciones, donde históricamente se puede observar que las estaciones que han presentado los valores más altos de O₃ son Usaquén y Guaymaral.

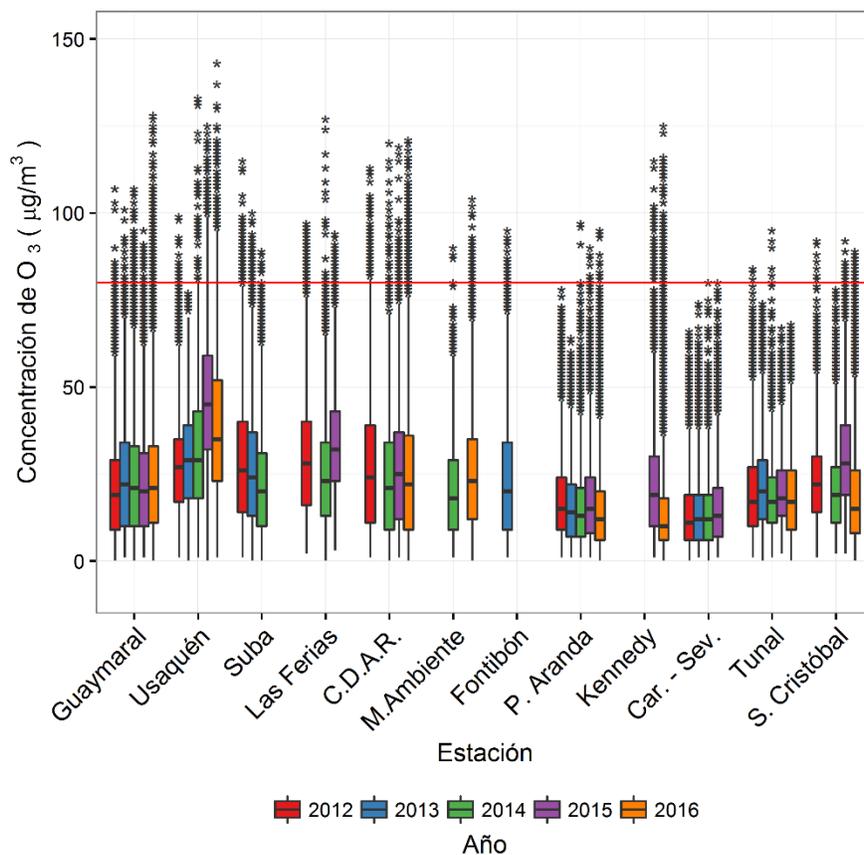


Figura 6-31. Diagrama de *cajas* de O₃ en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2012 y 2016 (con base en promedios móviles de 8H)

6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

El NO₂ 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 NO₂ participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O₃) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias

Para el año 2016, tres (3) estaciones reportaron datos de NO₂ con una representatividad temporal mayor al 75%.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-32 presenta el comportamiento anual de las tres (3) estaciones que reportaron datos de NO₂ con una representatividad temporal mayor al 75% y su comparación con la norma anual nacional (100 µg/m³). Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el valor de 100 µg/m³, todas las estaciones presentaron comportamientos anuales con un orden de magnitud similar.

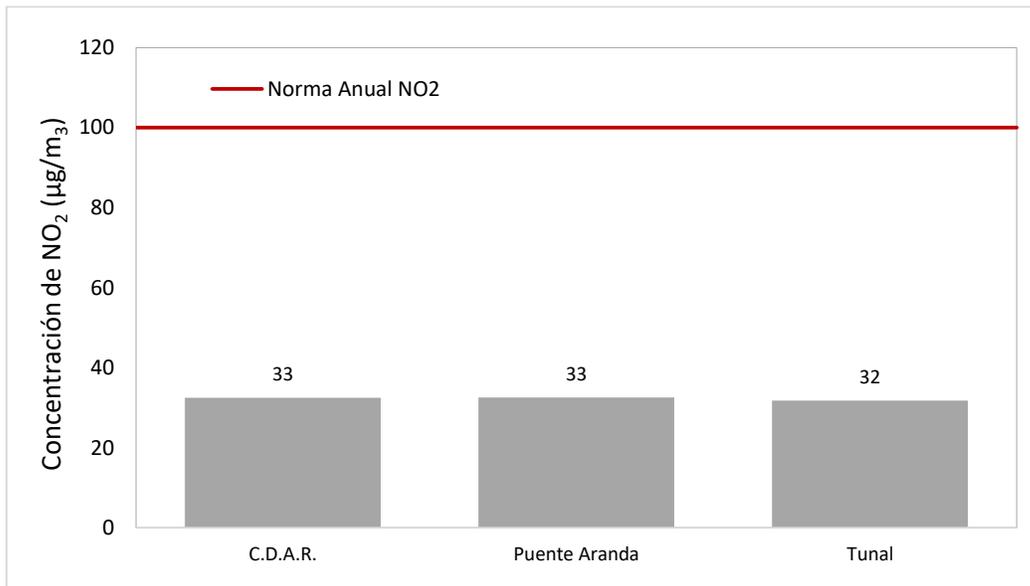


Figura 6-32. Promedios anuales de NO₂ para el año 2016

La comparación de las concentraciones anuales de NO₂ por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Figura 6-12. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015 en Puente Aranda y Tunal, mientras que en el Centro de Alto Rendimiento hubo una disminución de 1 µg/m³ con respecto al año anterior. En las estaciones de Guaymaral, Las Ferias, Kennedy y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-12. Promedios anuales de NO₂ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio NO ₂ 2015 (µg/m ³)	Promedio NO ₂ 2016 (µg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016 (µg/m ³)
Guaymaral	24	N.R.	N.A.
Suba	N.R.	N.R.	N.A.
Las Ferias	41	N.R.	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	33	32	↓
Puente Aranda	32	33	↑
Kennedy	N.R.	N.R.	N.A.
Carvajal - Sevillana	53	N.R.	N.A.
Tunal	29	32	↑

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 150 µg/m³. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de NO₂ para un tiempo de exposición diario, (150 µg/m³), solo se presentó una excedencia sobre la norma en la estación Tunal. Esta estación además posee el mayor número de datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de NO₂ para el 2016 se presentaron en los meses de Abril y Octubre, principalmente en el norte y centro de la ciudad. El 06 de Octubre se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Tunal, con 158 µg/m³ el 29 de Septiembre, seguido de Las Ferias con 117µg/m³ el 06 de Octubre (Ver Tabla 6-13)

Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO₂ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 150 µg/m ³	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Guaymaral*	69	22	0	44	01/04/2016	0
Las Ferias*	39	48	0	117	06/10/2016	1

Centro de Alto Rendimiento	99	33	0	71	04/04/2016	0
Puente Aranda	99	33	0	65	06/10/2016	0
Kennedy*	11	21	0	30	02/02/2016	0
Carvajal-Sevillana *	28	55	0	77	10/03/2016	0
Tunal	89	32	1	158	29/09/2016	2

*Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento de las concentraciones 24 horas de NO₂ durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma (150 µg/m³) se presentan en la Figura 6-33 en la cual se puede observar que los niveles se reducen en los meses de junio y julio, producto de la variabilidad anual de la velocidad de los vientos. También se puede observar la baja representatividad de 4 de las 7 estaciones que miden este contaminante.

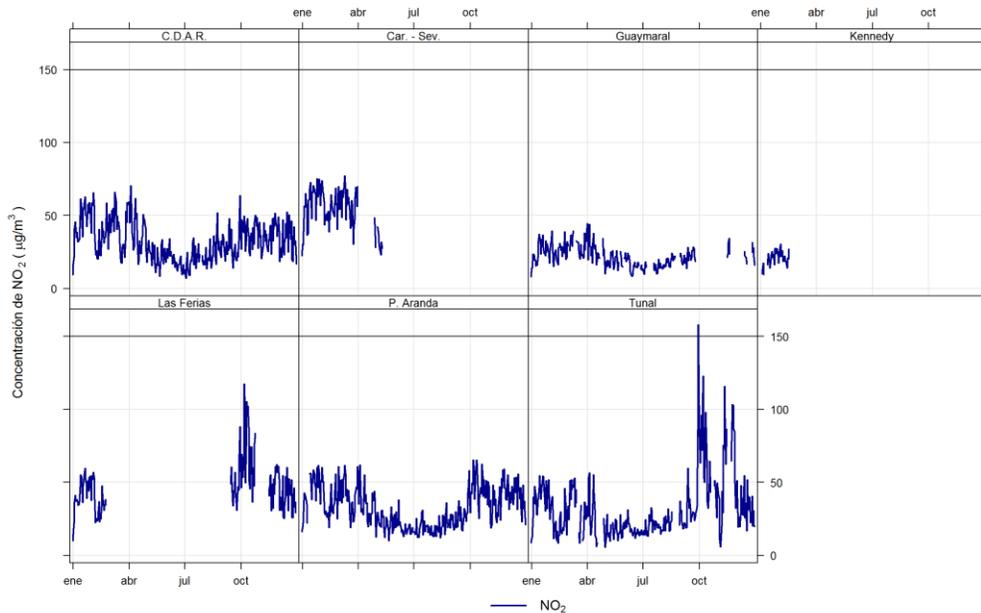


Figura 6-33 Comportamiento diario de la concentración de NO₂ por estación para el año 2016. Comparado con la norma diaria (150 µg/m³)

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO₂ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-34 y en la Figura 6-35, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes con el comportamiento del material particulado como contaminante primario. En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-35, solo una valore registrado en la estación Tunal presenta excedencias respecto a la norma diaria.

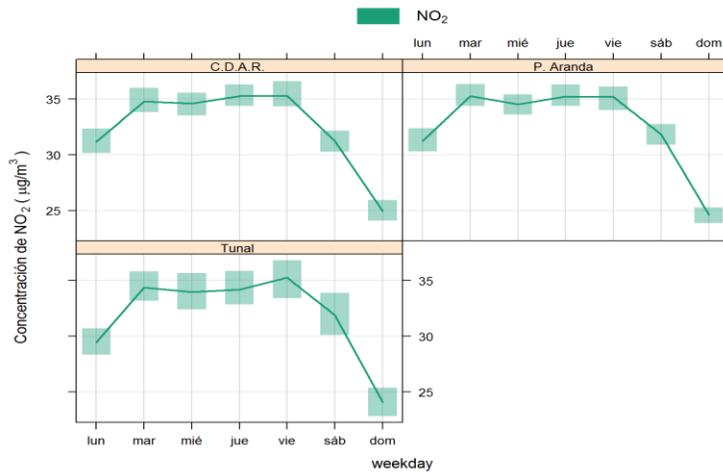


Figura 6-34. Comportamiento de las concentraciones de NO₂ ciclo semanal durante el año 2016 por estación

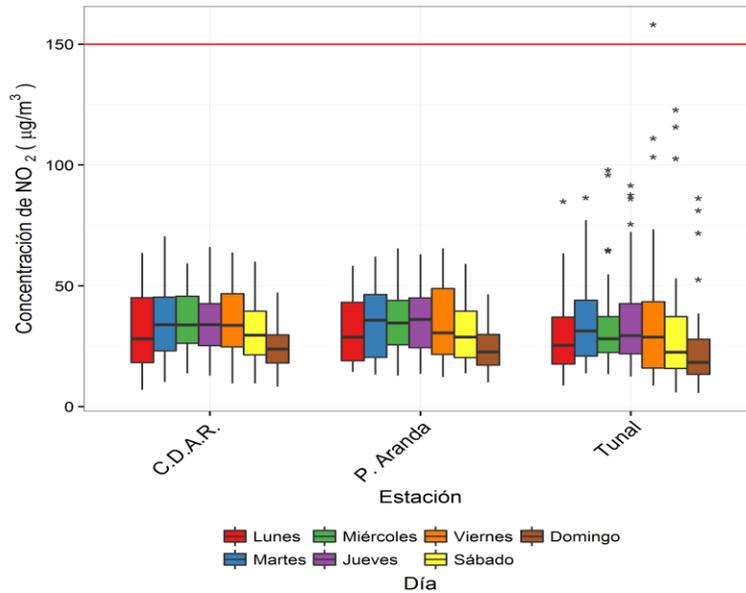


Figura 6-35. Diagramas de caja de las concentraciones de NO₂ por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de NO₂ para el año 2016 se representan en la Figura 6-36 y en la Figura 6-37, Se observa que para las tres estaciones, los meses con las mayores concentraciones corresponden a febrero y marzo en el primer semestre y a octubre y noviembre en el segundo; las menores concentraciones de NO₂ se encuentran en Junio, lo cual es coincidente con el comportamiento general de los contaminantes en la ciudad debido a la meteorología.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-37, se observa que ninguna estación tiene la tendencia a sobrepasar la norma diaria de acuerdo a la distribución de la mayoría de datos, solo en la estación Tunal se presentó un valor extremo de concentración, asociado posiblemente a fenómenos locales.

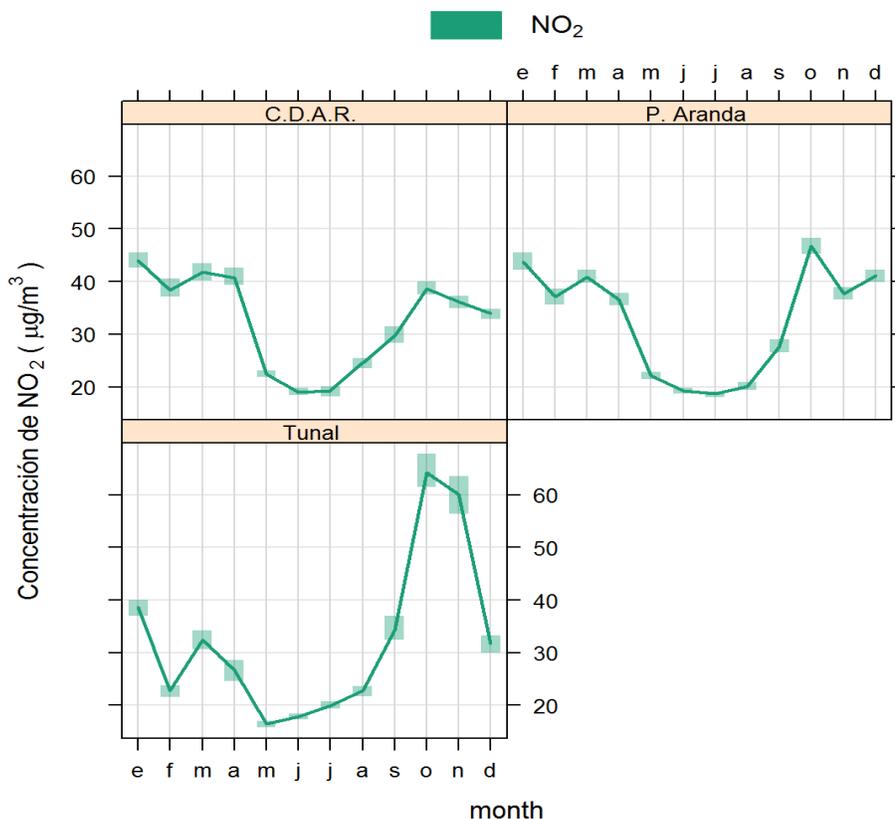


Figura 6-36. Comportamiento mensual de la concentración de NO₂ para el año 2016 por estación

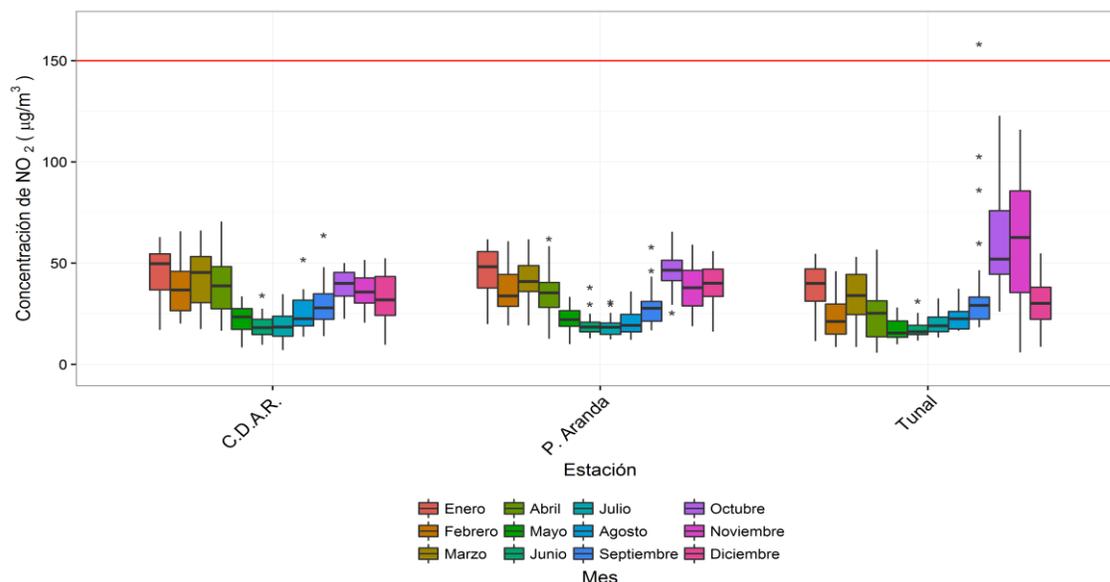


Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTOS HORARIOS POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 200 µg/m³. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de NO₂ para un tiempo de exposición horario, (200 µg/m³), se presentaron un total de 19 excedencias sobre la norma, todas ellas registradas en la estación Tunal. Esta estación posee el mayor número de datos entre el 75 y 100% de la norma, con lo cual tiene mayor probabilidad de exceder el valor máximo permitido.

Las concentraciones máximas de NO₂ para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de enero. El valor máximo más alto se presentó en Tunal, con 289 µg/m³ el 30 de septiembre, seguido de Las Ferias con 195 µg/m³ el 14 de Octubre.

Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO₂ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 200 µg/m ³	Máximo (µg/m ³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Guaymaral*	71	22	0	101	01/04/2016 18:00	0
Las Ferias*	39	47	0	195	14/10/2016 10:00	21

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Centro de Alto Rendimiento*	99	32	0	151	10/03/2016 10:00	1
Puente Aranda	99	33	0	159	28/01/2016 10:00	3
Kennedy*	12	20	0	84	02/02/2016 09:00	0
Carvajal-Sevillana *	29	54	0	154	15/01/2016 09:00	3
Tunal	90	32	19	289	30/09/2016 20:00	40

*Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO_2 durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentra en la Figura 6-38, en la cual se observa que las concentraciones más bajas se presentaron en la mitad del año. Se visualiza también que en los meses de octubre a diciembre hubo varias excedencias en la estación Tunal, lo que concuerda con el comportamiento de $\text{PM}_{2.5}$, por lo que la causa se puede asociar a la influencia de la flota vehicular que pasa por las vías cercanas a la estación.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de junio, en la estación Guaymaral no hubo registro de datos entre Octubre y parte del mes de Diciembre, en la estación Kennedy no hubo registro de datos desde Marzo, y en la estación Las Ferias no hubo registro de datos entre Marzo y Septiembre

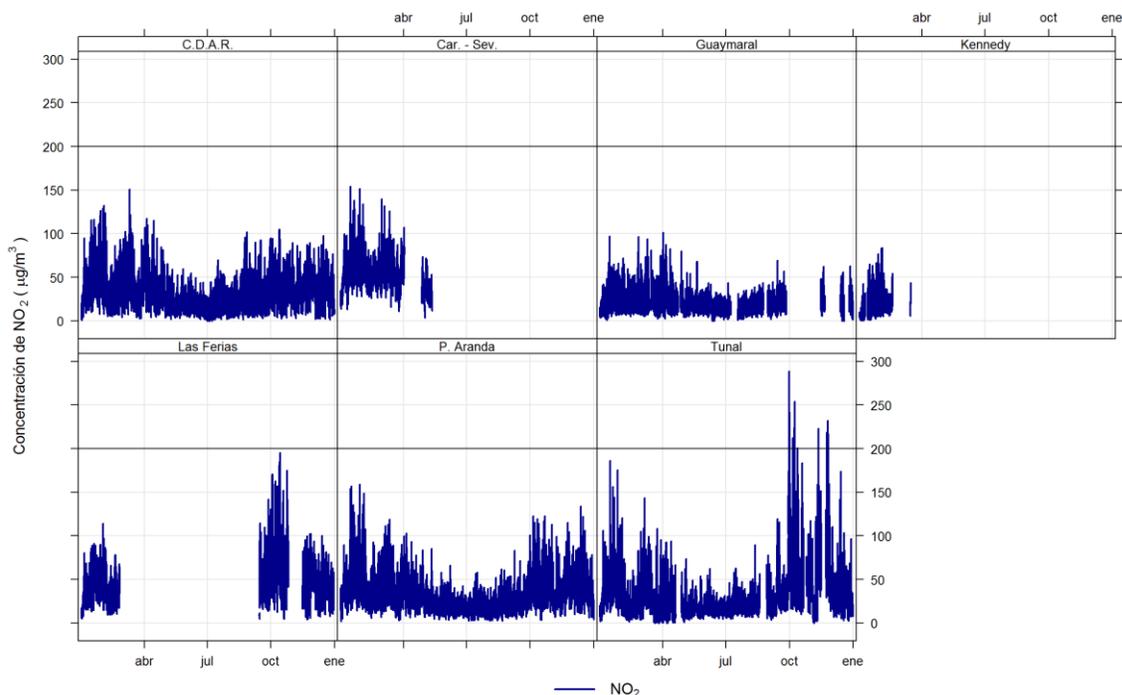


Figura 6-38. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ y comparación con norma nacional 1h

En la Figura 6-39 se muestra la tendencia de las concentraciones horarias de NO₂ durante el día. Se observa que hay dos picos de concentración durante el día, uno a las 7 de la mañana y otro a las 7 de la noche, registrando concentraciones entre 40 a 45 µg/m³, y dos valles de concentraciones bajas, a las 3 de la mañana y las 2 de la tarde, con concentraciones entre 20 y 25 µg/m³ el cual es producto del consumo de NO₂ y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 7:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O₃.

En la Figura 6-40 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de NO₂ en el año 2016, se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Tunal, la cual además presenta el mayor número de valores extremos que sobrepasan la norma horaria.

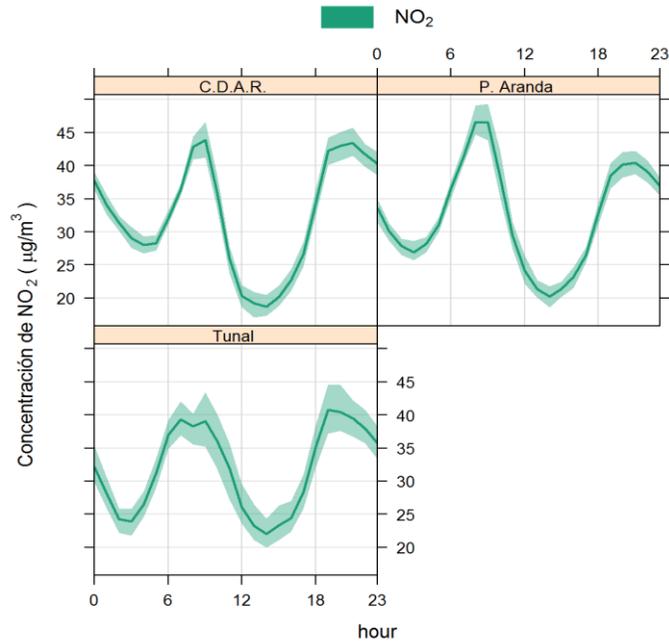


Figura 6-39. Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ por estación durante el año 2016

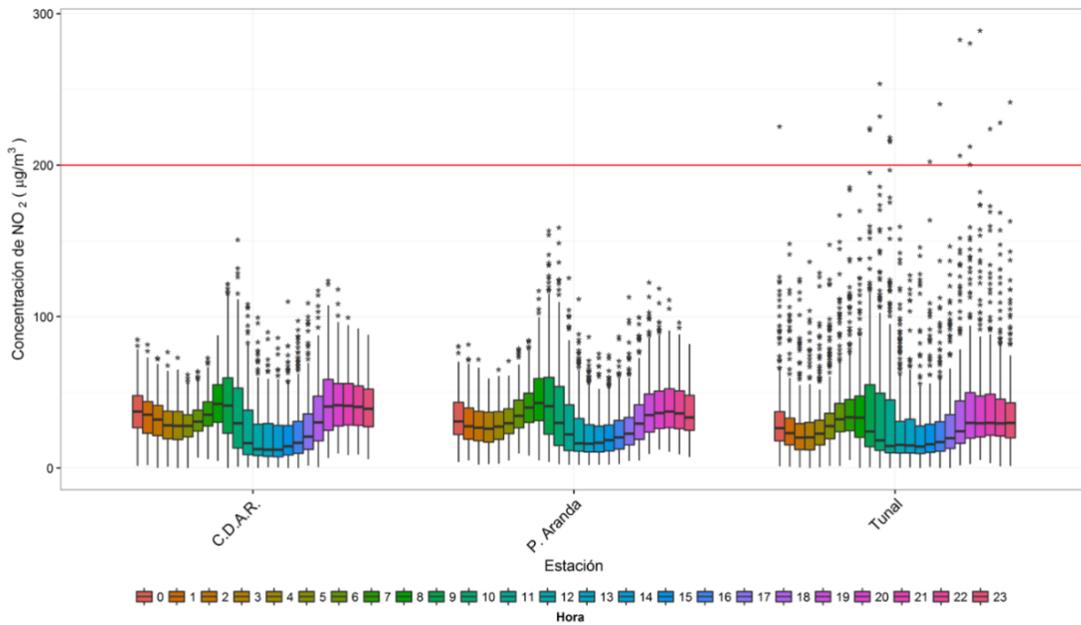


Figura 6-40. Diagramas de caja de las concentraciones de NO₂ por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-15 contiene un resumen de los promedios de concentración de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de NO₂ para el período 2012 – 2016.

El promedio ciudad del año 2016 disminuyó 3 µg/m³ en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de NO₂ para el 2016 es el más alto que se ha presentado en los últimos cinco años, es 68 µg/m³ mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Tunal, aunque en los años anteriores el valor máximo se ha presentado en el centro y suroccidente de la ciudad.

Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO₂ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad NO ₂ µg/m ³	Máximo NO ₂ µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	29	77	14/04/2012 y 29/02/2012	Las Ferias y Carvajal
2013	30	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	31	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	35	90	01/05/2015	Centro de Alto Rendimiento
2016	32	158	29/06/2016	Tunal

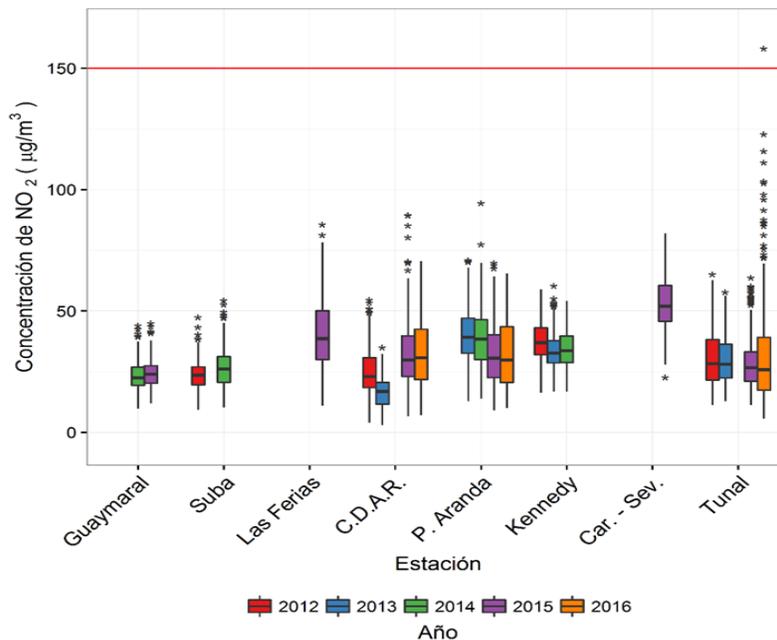


Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO₂ por estación para los años 2012 a 2016

6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

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

Para el año 2016, cuatro (4) estaciones reportaron datos de SO₂ con una representatividad temporal mayor al 75%, de las seis (6) estaciones que monitorearon el contaminante.

COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-42 muestra los promedios anuales por estación y su comparación con la norma anual nacional de SO₂ (80 µg/m³). Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de 4.8 µg/m³ y se presentó en la estación Kennedy, mientras que la estación con menor concentración promedio fue San Cristóbal, con 1.9 µg/m³.

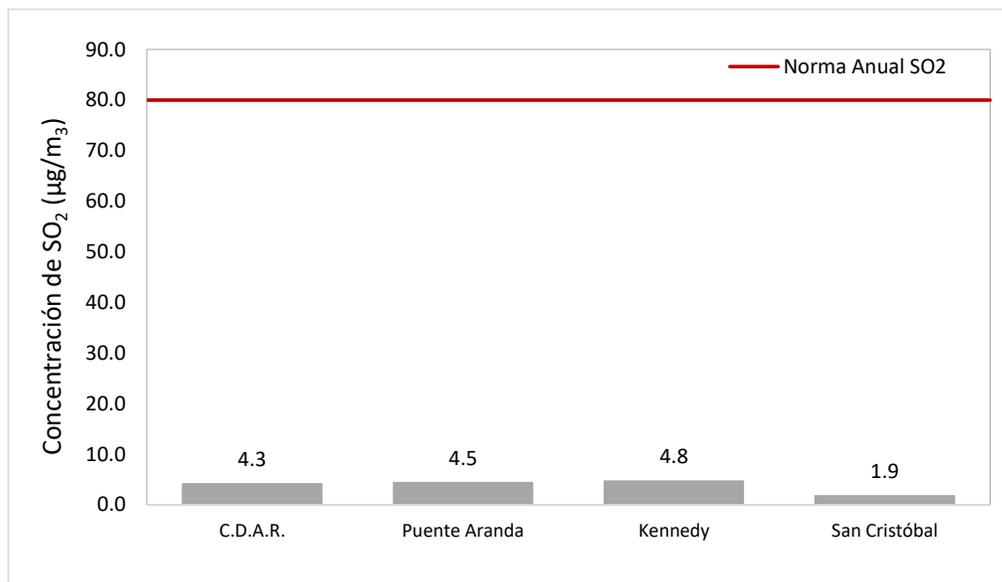


Figura 6-42 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO₂ para el año 2016

La comparación de las concentraciones anuales de SO₂ por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-16. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones aumentaron con respecto a las reportadas en el 2015 en Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y San Cristóbal, mientras que en Kennedy hubo una disminución de 6 µg/m³ con respecto al año anterior.

Tabla 6-16. Promedios anuales de SO₂ para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio 2015 (µg/m ³)	Promedio 2016 (µg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016
Centro de Alto Rendimiento	3.4	4.3	↑
Puente Aranda	3.3	4.5	↑
Kennedy	5.4	4.8	↓
San Cristóbal	1.1	1.9	↑

COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ se evalúa con base en las excedencias de límite máximo permisible que corresponde a 250 µg/m³. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea representativo.

Para el año de 2016, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 78%, siendo la estación Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos, con un 100% del total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-17. Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de SO₂ para un tiempo de exposición diario, (250 µg/m³), no se presentaron excedencias sobre la norma en ninguna estación, y tampoco se presentaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO₂ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma diaria 250 µg/m ³	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
Suba*	41	5.1	0	24.7	07/01/2016	0
Centro de Alto Rendimiento	96	4.3	0	13.1	25/01/2016	0
Puente Aranda	100	4.5	0	11.5	21/01/2016	0
Kennedy	89	4.8	0	14.9	27/05/2016	0
Carvajal-Sevillana*	39	14.2	0	40.9	27/05/2016	0
San Cristóbal	78	1.9	0	4.5	29/04/2016	0

* Estas se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento semanal de las concentraciones de SO₂ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-43 y en la Figura

6-44, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los viernes; y las menores concentraciones ocurren los domingos. Este comportamiento se puede relacionar con la disminución del tráfico de vehículos pesados en los fines de semana.

En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-44, ninguna estación muestra una distribución alta de valores sobre la norma diaria, ya que las concentraciones registradas son bastante bajas en comparación al valor máximo permisible. La estación Kennedy mantiene la mayor dispersión de datos durante los días de la semana, posiblemente asociado a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario ocurre en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer diferenciación clara en el comportamiento del año frente a la norma diaria y anual, ninguno de sus valores supera la norma.

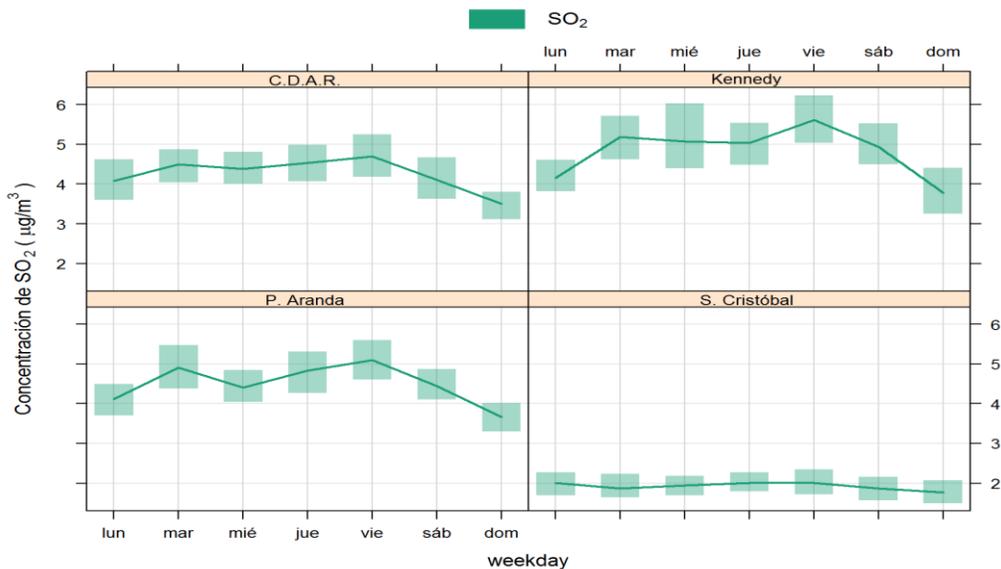


Figura 6-43. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO₂ durante el año 2016 por estación

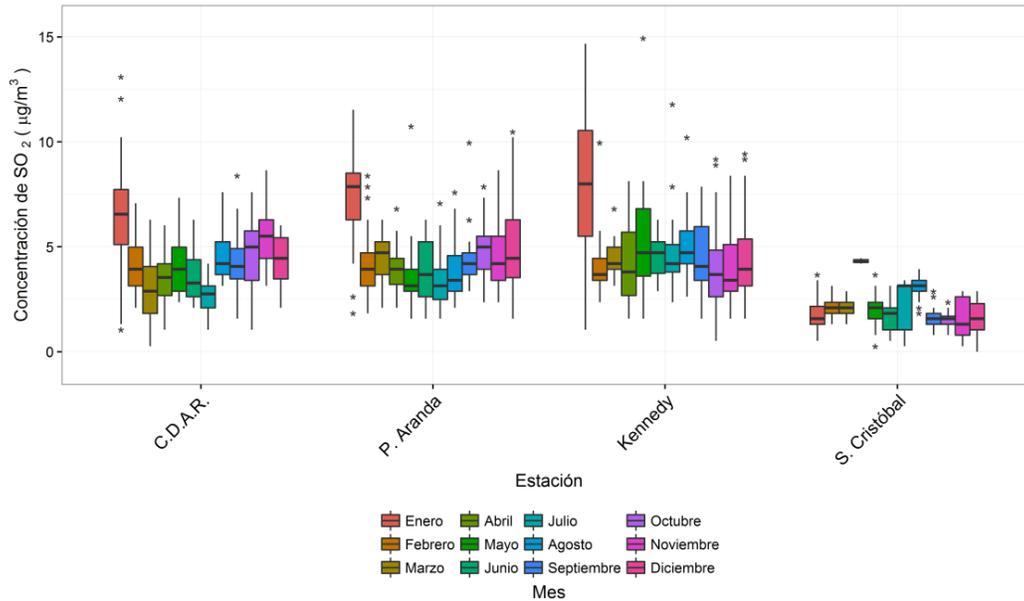


Figura 6-44 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo.

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de SO₂ para el año 2016 se representan en la Figura 6-45 y en la Figura 6-46, en las que se observa que las estaciones no tienen un comportamiento homogéneo y difieren de los otros contaminantes, por ejemplo: Centro de Alto Rendimiento tuvo cuatro picos de concentración, los mayores valores se presentaron en Enero y Noviembre; Kennedy tuvo tres picos de concentración, con los valores más altos en Enero; Puente Aranda con cuatro picos de concentración, y valores más altos en los meses de Enero y Octubre, y San Cristóbal con dos picos de concentración, en Abril y Agosto. Estos comportamientos posiblemente puedan estar influenciados por las fuentes de combustión en zonas y períodos diferentes del año, y los cambios en la meteorología cada mes.

Es notable que en el mes de enero los valores de concentración fueron bastante altos en comparación a los valores de los meses restantes, a excepción de San Cristóbal, que tuvo una menor variación de las concentraciones en el año.

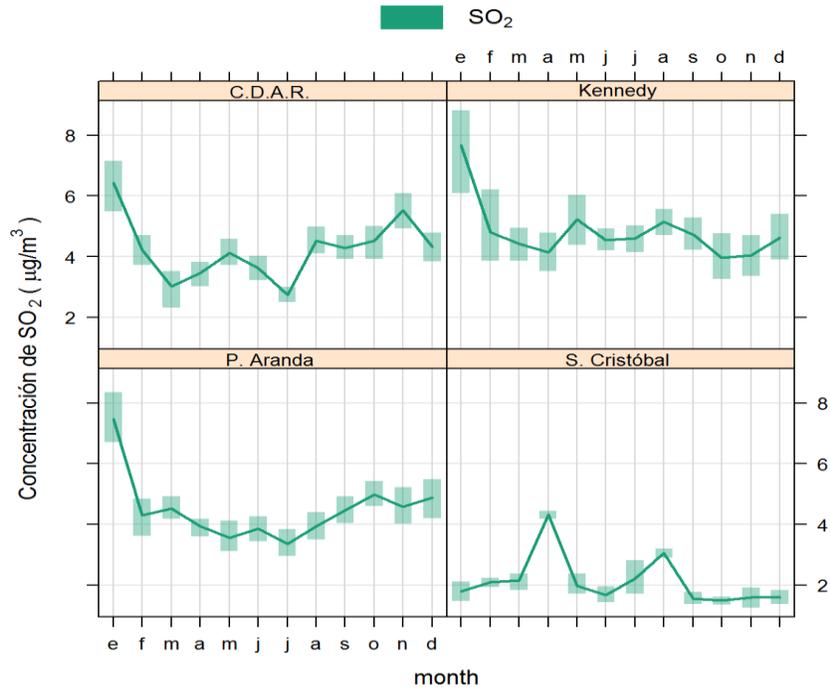


Figura 6-45. Comportamiento mensual de la concentración de SO₂ para el año 2016 por estación

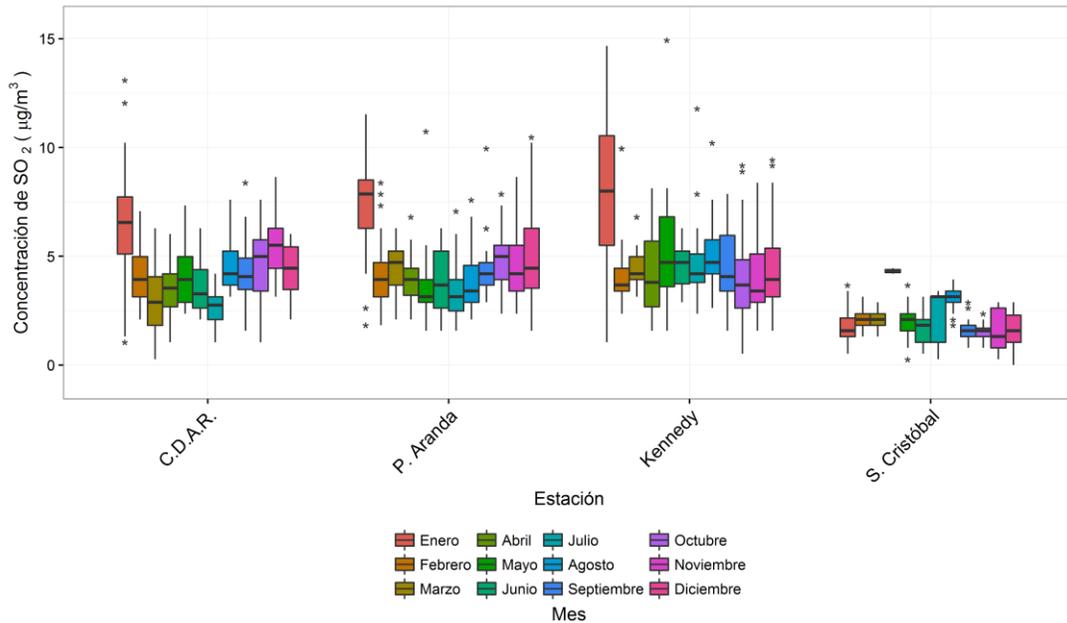


Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (3H)

El comportamiento de las concentraciones 3 horas de SO₂ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 750 µg/m³. Los datos 3 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 3 horas de los datos horarios de SO₂ registrados por los equipos, los cuales se comparan posteriormente con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 6 estaciones que reportaron datos de SO₂, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 77%, siendo la estación de Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos con 99%, en relación al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-18.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de SO₂ para un tiempo de exposición 3 horas, (750 µg/m³), no se presentaron excedencias sobre la norma, ni se registraron datos entre el 75 y 100% de la norma para ninguna estación.

El valor más alto de concentración se presentó en Carvajal-Sevillana, con 121.5 µg/m³ el 10 de mayo, seguido de Suba con 74.6 µg/m³ el 17 de Enero.

Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO₂ durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 3h	Máximo (µg/m ³)	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
			750 µg/m ³			
Suba*	43	5.1	0	74.6	17/01/2016 08:00	0
Centro de Alto Rendimiento	95	4.3	0	50.8	25/01/2016 04:00	0
Puente Aranda	99	4.5	0	36.9	17/01/2016 10:00	0
Kennedy	88	4.9	0	46.6	20/01/2016 10:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	14.2	0	121.5	10/05/2016 12:00	0
San Cristóbal	77	1.9	0	8.9	21/01/2016 12:00	0

* Estas estaciones se considera indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de SO₂ durante el 2016 se encuentra en Figura 6-47, en la cual se observa que la estación Carvajal-Sevillana presenta los valores más altos a mitad del año, donde tradicionalmente para otros contaminantes es Junio o Julio el mes de menor concentración.

Además, se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: en la estación Carvajal-Sevillana no hubo registro de datos desde el mes de junio y en la estación Suba no hubo registro de datos entre los períodos de Marzo-Junio y Agosto-Octubre. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda se observa una buena continuidad en los datos, por lo que la representatividad temporal es alta en las dos estaciones y para San Cristóbal las tendencias impiden establecer con claridad variaciones durante el año.

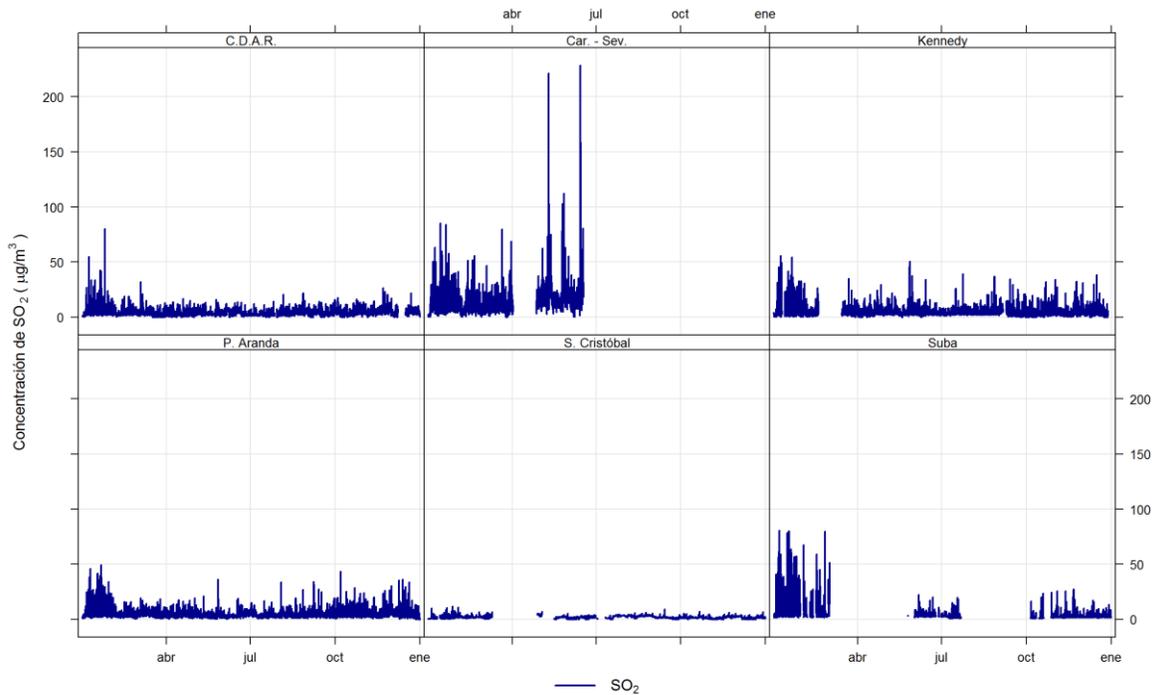


Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones horarias de SO₂ en el 2016 por estación

En la Figura 6-48 se muestra el comportamiento de las concentraciones en ciclo horario para el SO₂. Las concentraciones más altas se presentan de 7 a 9 de la mañana, lo que sugiere que las fuentes móviles tienen influencia en los altos niveles presentados, posteriormente un descenso gradual de la concentración hasta alcanzar las concentraciones más bajas en las horas de la tarde, incluso inferiores a las observadas en horas de la madrugada. Este perfil es similar al de PM_{2.5}, lo que indica su relación con fuentes de combustión, los niveles de la madrugada posiblemente estén asociados al tráfico de vehículos de transporte en la mañana.

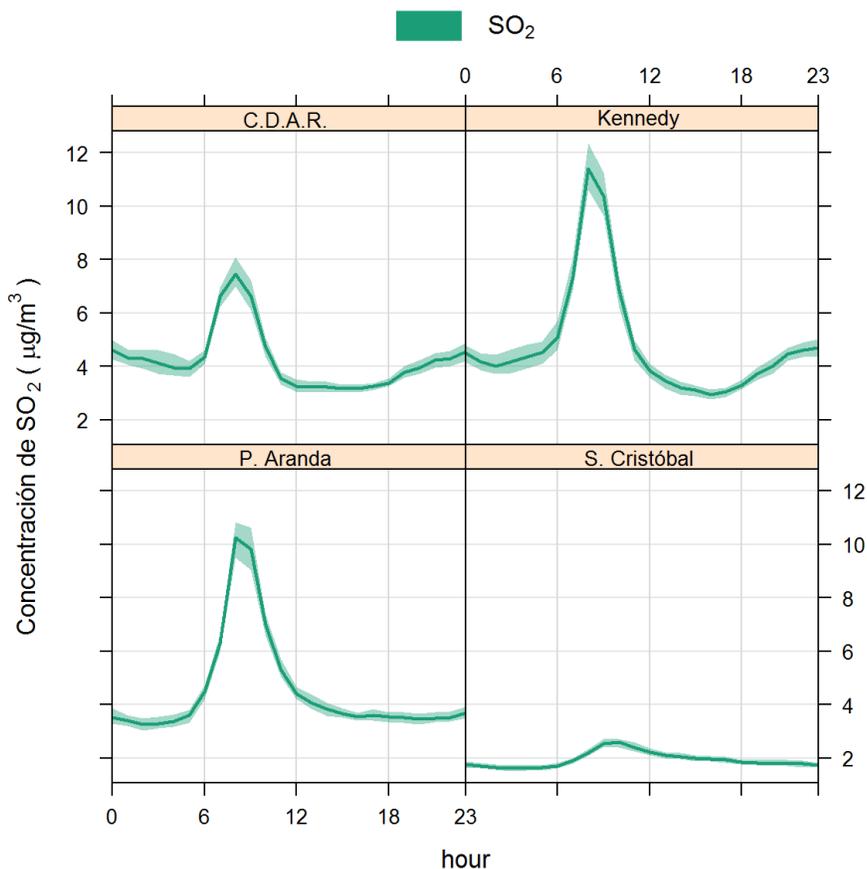


Figura 6-48. Comportamiento horario de las concentraciones de SO₂ por estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-19 contiene un resumen de los promedios de concentración diarios de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de SO₂ para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 0.6 µg/m³ en relación al promedio calculado en el 2015. El valor máximo de SO₂ para el 2016 disminuyó 7.4 µg/m³ con respecto al valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, donde se han presentado valores máximos por tres años desde el 2012.

Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO₂ para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad SO ₂ µg/m ³	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2012	7.4	47.1	05/06/2012	Carvajal-Sevillana
2013	8.6	51.1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana

Año	Promedio ciudad SO ₂ µg/m ³	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2014	4.2	32.2	13/12/2014	Kennedy
2015	3.3	48.2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana
2016	3.9	40.8	27/05/2016	Carvajal-Sevillana

En los últimos cinco años se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda hay mayor cantidad de datos representativos para el análisis de información, según la Figura 6-50, la estación Carvajal-Sevillana ha presentado los valores más altos en relación a las demás estaciones, y es la estación que más ha presentado dispersión de datos.

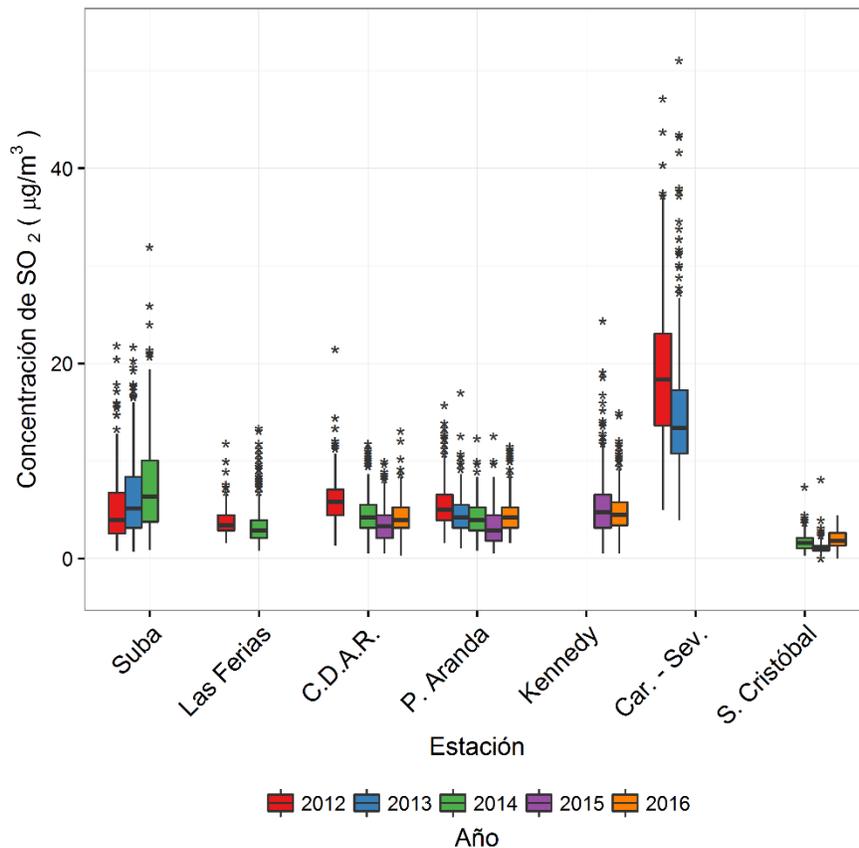


Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por estación para los años 2012 a 2016

6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO

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

Para el año 2016, cuatro (4) estaciones reportaron datos de CO con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante.

COMPORTAMIENTO ANUAL

La Figura 6-50 muestra los promedios anuales de CO por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas. No se realiza comparación con la norma nacional debido a que no se define un nivel máximo anual para monóxido de carbono. El mayor valor se presentó en la estación Puente Aranda, con 1.02 mg/m³, y el valor más bajo se presentó en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Tunal, con 0.89 mg/m³.

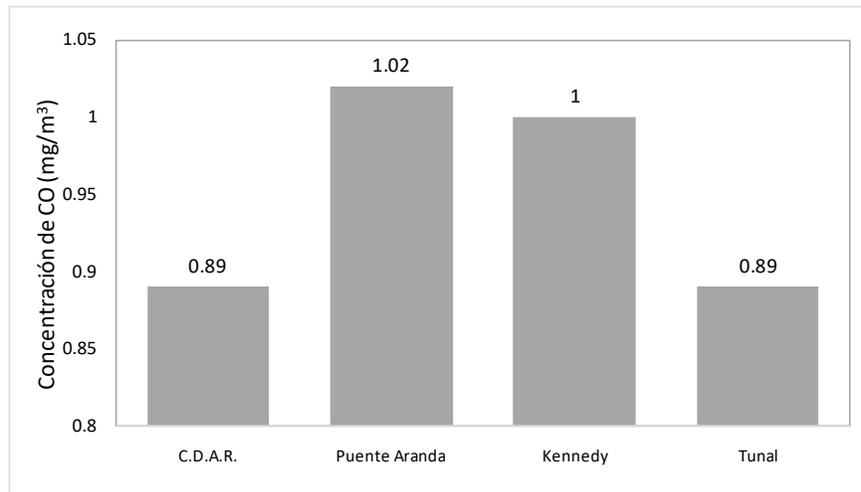


Figura 6-50 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8H) para el año 2016

COMPORTAMIENTO DIARIO

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2016 se muestra en la Figura 6-51, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y viernes; y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento es similar al de material particulado, y se relaciona con la influencia de las emisiones de las fuentes de combustión, que predominan en los días hábiles de la semana.

En la Figura 6-52 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana. Se observa que las concentraciones registradas tienen el mismo comportamiento de dispersión de datos, aunque la estación de Kennedy tiene los valores extremos más altos de concentración, debido a que esta estación es más notable la influencia de las fuentes de combustión.

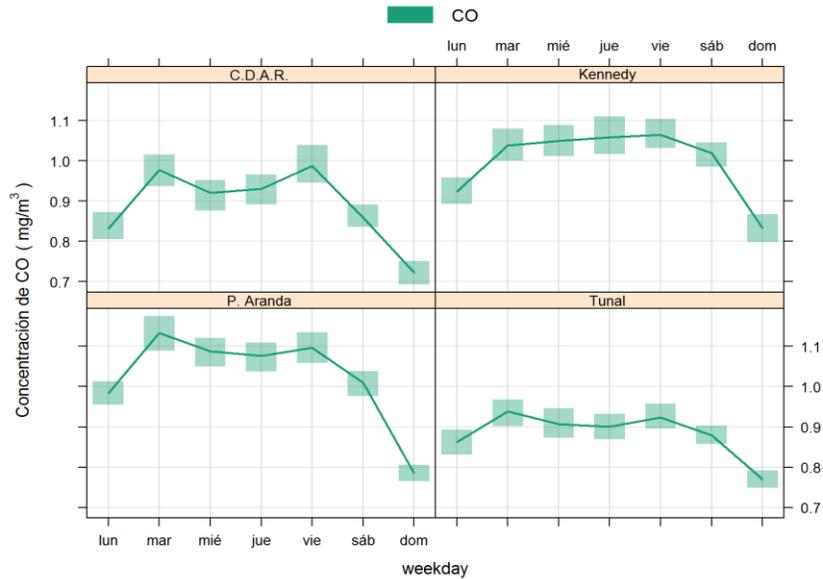


Figura 6-51. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2016

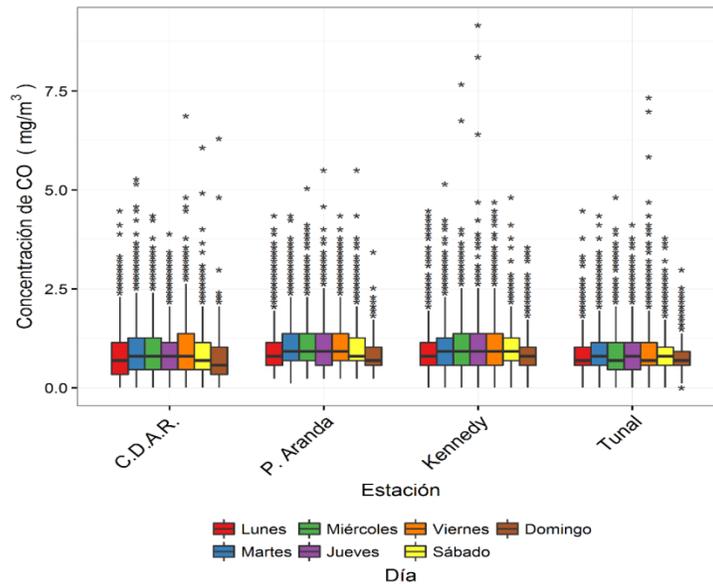


Figura 6-52. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2016

Los comportamientos mensuales de las concentraciones horarias de CO para el año 2016 se representan en la Figura 6-53, las menores concentraciones fueron observadas en los meses de mayo, junio y julio, consecuencia de la variabilidad en la velocidad del viento, Para e mes de abril se presenta los mayores valores para la estación de Kennedy, Puente Aranda y Tunal. Aunque ninguno supera la norma.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-54, se observa que para la estación Kennedy hay mayor número de datos extremos, y presentan los valores más altos en comparación con las otras tres estaciones. En los diagramas de caja de las cuatro estaciones no se observan altas variaciones de la distribución de la mayoría de los datos registrados, obteniendo valores menores a 2.5 mg/m³.

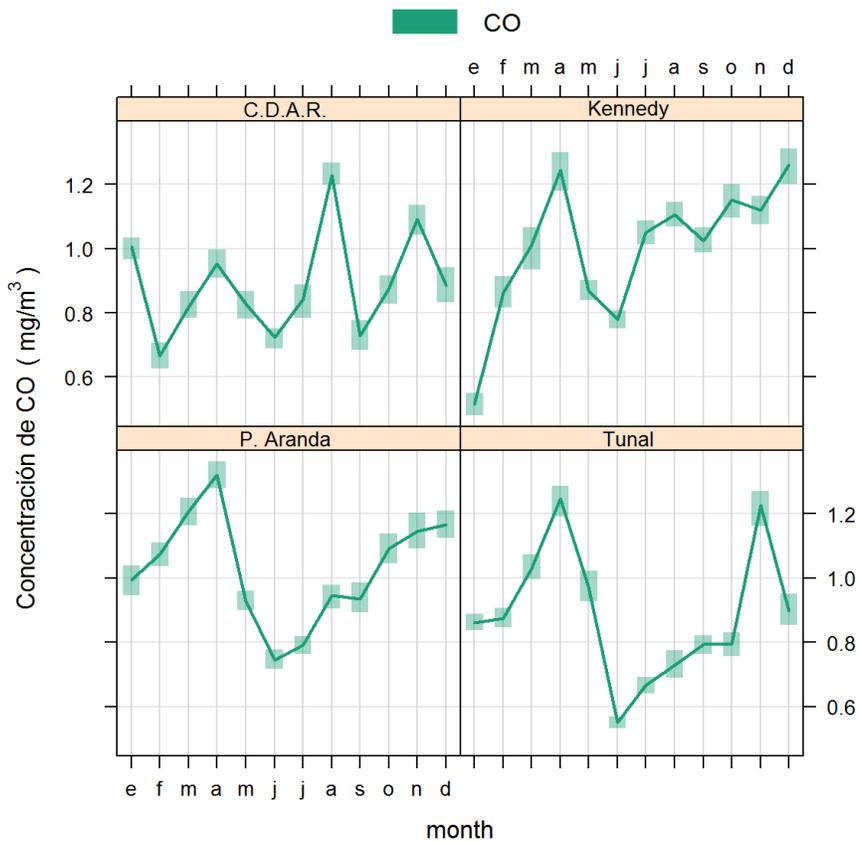


Figura 6-53. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2016 por estación

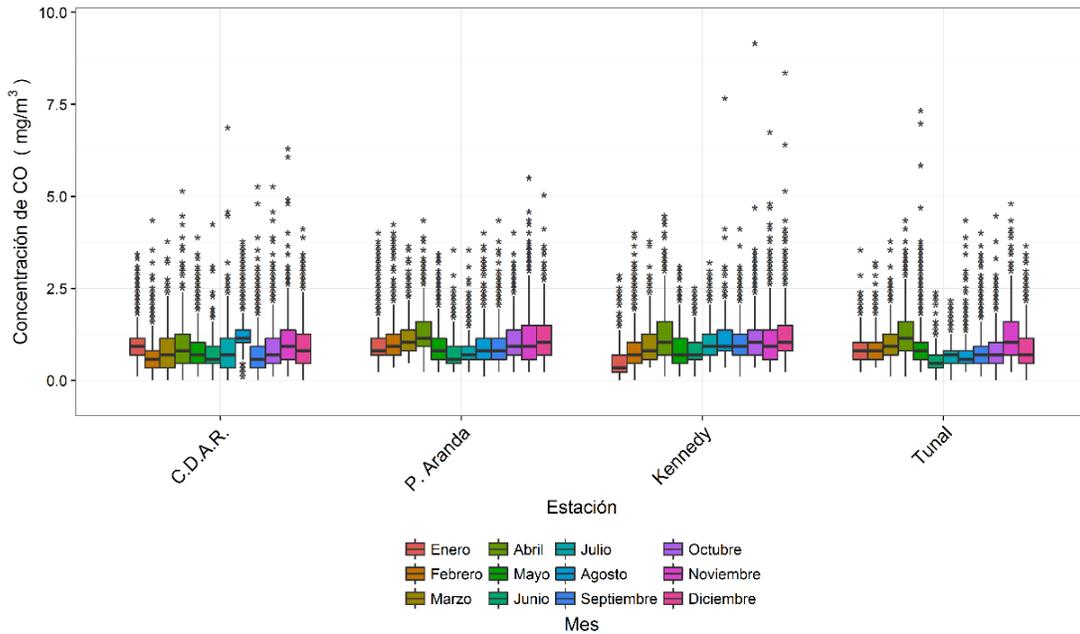


Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2016 en función de las estaciones de monitoreo

COMPORTAMIENTO HORARIO (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 40 mg/m³. Los datos obtenidos cada hora se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 7 estaciones que reportaron datos de CO, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo las estaciones de Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 92% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Figura 6-20.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición horario, (40 mg/m³), no se presentó ninguna excedencia sobre la norma. Tampoco se encontraron datos entre el 90 y 100% de la norma, con lo cual ninguna estación presenta la probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de CO para el 2016 se presentaron en mayor medida en el mes de noviembre, en el centro y suroccidente de la ciudad. El valor máximo más alto se presentó en Kennedy, con 9.2 mg/m³ el 13 de Octubre, seguido de Tunal con 7.3 mg/m³ el 13 de Mayo.

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (mg/m ³)	Excedencias norma horaria 40 mg/m ³	Máximo (mg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
Las Ferias*	72	0.8	0	5.0	26/11/2016 22:00	0
Centro de Alto Rendimiento	98	0.9	0	6.9	29/07/2016 14:00	0
Puente Aranda	92	1.0	0	5.5	24/11/2016 08:00	0
Kennedy	89	1.0	0	9.2	13/10/2016 13:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	1.2	0	6.3	20/01/2016 07:00	0
Tunal	93	0.9	0	7.3	13/05/2016 23:00	0
San Cristóbal*	18	0.8	0	2.9	02/02/2016 10:00	0

* Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria (40 µg/m³) se encuentra en la Figura 6-55, en la cual se observa que para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Las Ferias y Kennedy las mayores concentraciones horarias se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que Tunal Y Carvajal presentaron concentraciones más altas al inicio del año.

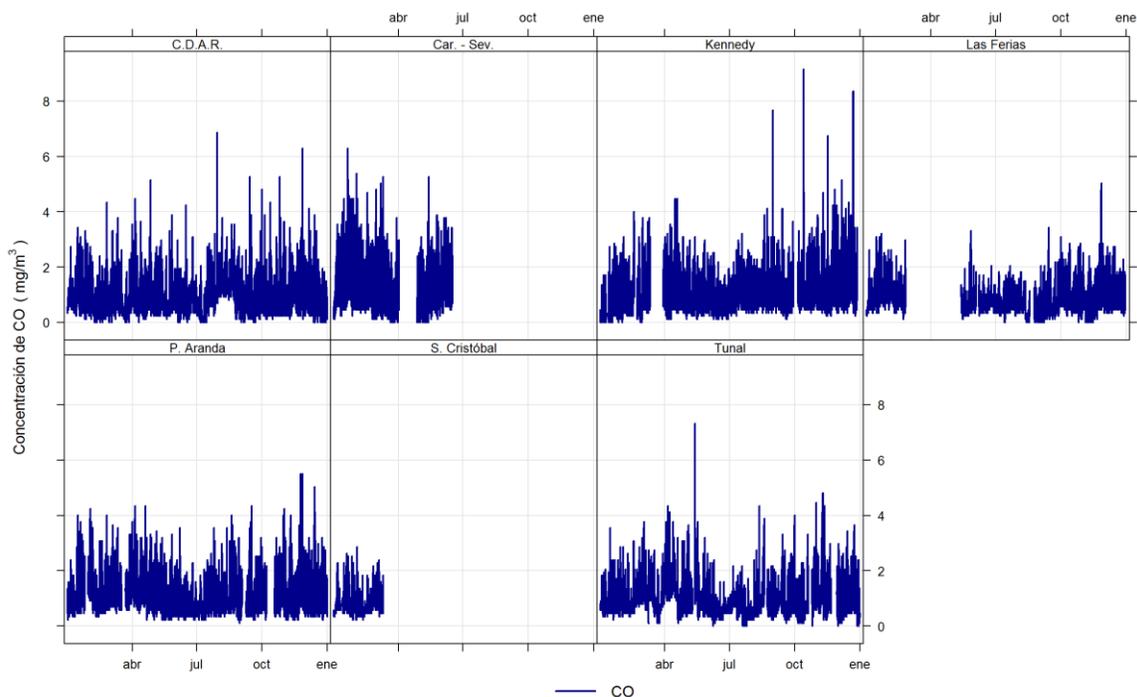


Figura 6-55. Concentraciones horarias de CO en el año 2016

En la Figura 6-56 se observa la tendencia de las concentraciones horarias de CO durante el día. En general se observa que las concentraciones más altas se presentan a las 7 de la mañana, y hay otro aumento de concentración en menor magnitud a las 7 de la noche. Las estaciones de Kennedy y Puente Aranda presentan las concentraciones más altas, llegando a registrar 2 mg/m^3 en horas de la mañana, y 1.3 mg/m^3 en horas de la noche.

En la Figura 6-57 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de CO en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal para las horas de la tarde, aunque ninguno de los valores extremos registrados superó la norma horaria.

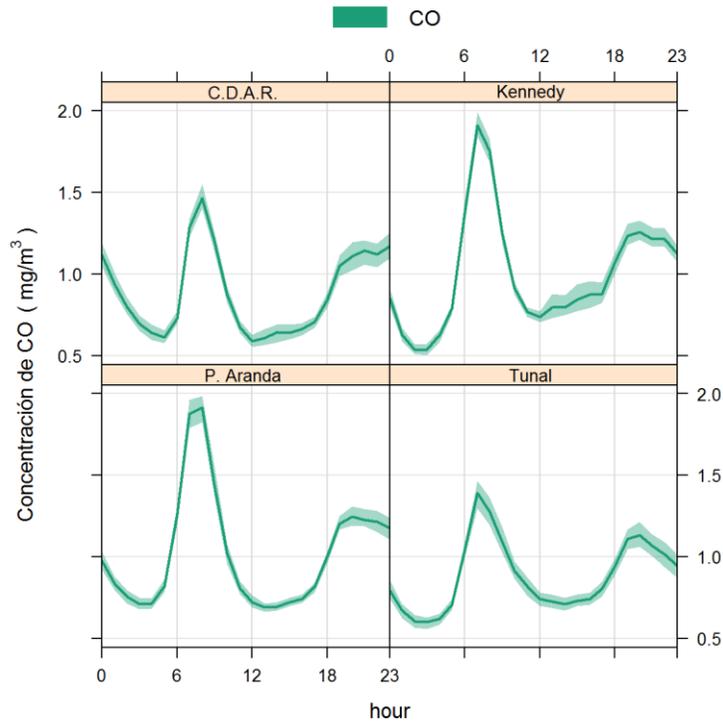


Figura 6-56. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2016

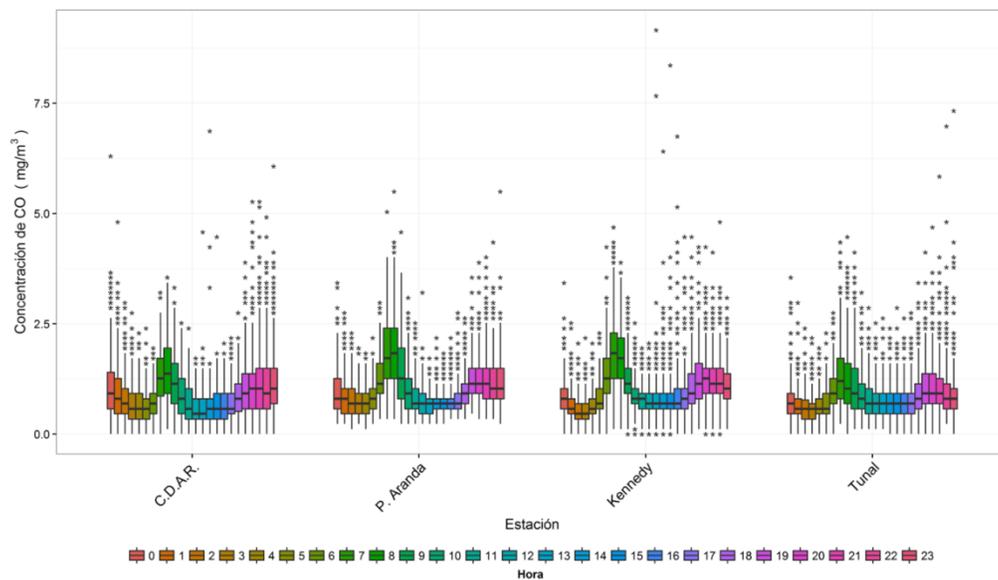


Figura 6-57. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HORARIO (8H)

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de CO por estación con relación a los valores del año pasado se muestra en la Tabla 6-21. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones de CO aumentaron en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy y Tunal con respecto a las reportadas en el 2015. El mayor aumento de concentración se presentó en la estación Kennedy, con un incremento de 2 mg/m³. En las estaciones de San Cristóbal, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

Tabla 6-21 Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2015 y 2016 y cambio de concentración

Estación	Promedio CO 2015 (mg/m ³)	Promedio CO 2016 (mg/m ³)	Cambio de 2015 a 2016 (mg/m ³)
Usaquén	0.5	N.A.	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	0.8	0.9	↑
Puente Aranda	0.9	1.0	↑
Kennedy	0.8	1.0	↑
Carvajal - Sevillana	1.4	N.R.	N.A.
Tunal	0.8	0.9	↑
San Cristóbal	0.6	N.R.	N.A.

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 10 mg/m³. Los datos 8 horas se obtienen a partir del cálculo de la media móvil 8 horas de los datos horarios de CO registrados por los equipos, los cuales finalmente se comparan con el valor definido por la norma.

Para el año de 2016, de las 7 estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de CO, 4 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Tunal las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 98% y 93% respectivamente, según el total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-22.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición de 8 horas, (10 mg/m³), no se presentaron excedencias sobre la norma para ninguna estación, y tampoco se reportaron datos entre el 75 y 100% de la norma.

Las concentraciones máximas de 8 horas de CO para el 2016 se presentaron en mayor proporción en el mes de Noviembre, en el centro y suroccidente de la ciudad. El 27 de

noviembre se presentó el mayor número de máximos, en las estaciones Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Usaqué, con 4.5 mg/m³ el 14 de marzo, seguido de Centro de Alto Rendimiento con 4.4 mg/m³ el 27 de Noviembre.

Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2016

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 8h 10 mg/m ³	Máximo (mg/m ³)	Fecha / Hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma[1]
Las Ferias*	71	0.8	0	3.9	27/11/2016 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	98	0.9	0	4.4	27/11/2016 02:00	0
Puente Aranda	92	1.0	0	3.6	27/11/2016 01:00	0
Kennedy	89	1.0	0	3.8	18/04/2016 21:00	0
Carvajal-Sevillana*	39	1.2	0	3.3	14/05/2016 00:00	0
Tunal	93	0.9	0	4.5	14/05/2016 00:00	0
San Cristóbal*	18	0.8	0	1.7	04/03/2016 13:00	0

* Estas estaciones se consideran indicativas dado que la representatividad temporal es menor al 75%

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO durante el 2016, y la comparación de los valores con respecto a la norma 8 horas (10 mg/m³) se encuentra en la Figura 6-58, en la cual se observa que en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda las mayores concentraciones 8 horas se presentaron en el segundo semestre del año, mientras que en las estaciones Tunal y Kennedy las concentraciones fueron más altas en la primera mitad del año.

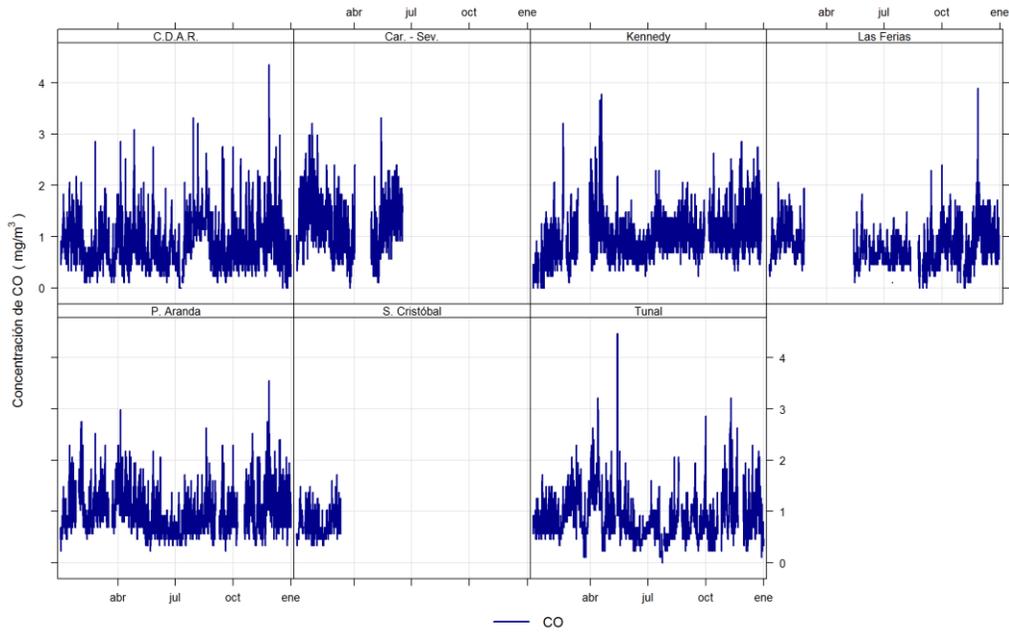


Figura 6-58. Concentraciones 8 horas de CO en el 2016 por estación

En la Figura 6-60 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones 8 horas de CO en el año 2016; se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Kennedy y Tunal, y ésta última junto con la estación Centro de Alto Rendimiento presenta los valores extremos más altos, sobre los 4 mg/m³, sin embargo ninguno de ellos sobrepasó el valor de la norma 8 horas de 10 mg/m³.

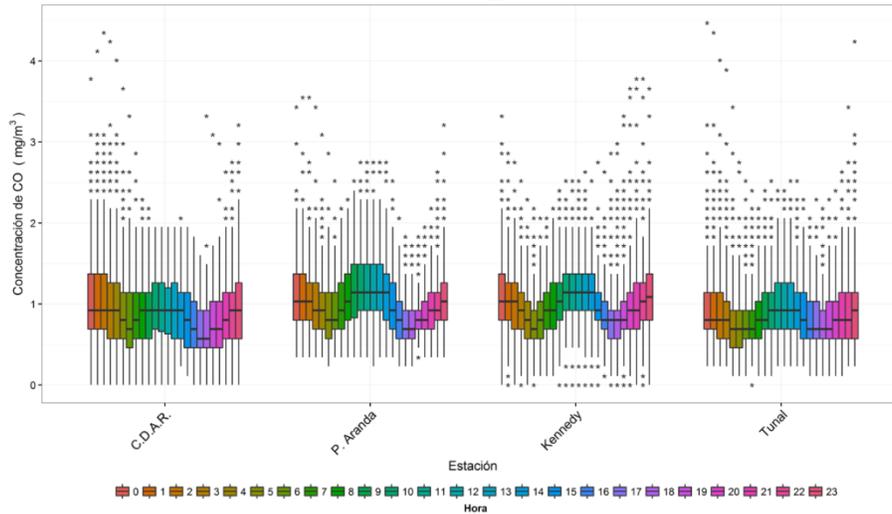


Figura 6-59. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2016

COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-23 contiene un resumen de los promedios de concentración 8 horas de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de CO para el período 2012 – 2016. El promedio ciudad del año 2016 aumentó 0.3 mg/m³ en relación al promedio calculado en el 2015, y es el segundo valor más alto después del promedio presentado en el 2014. El valor máximo de CO para el 2016 es 0.5 mg/m³ mayor que el valor máximo del 2015, y se presentó en la estación Tunal, en la zona sur de la ciudad, aunque en años anteriores la concentración máxima se había presentado al suroccidente y centro de la ciudad.

Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2012 a 2016

Año	Promedio ciudad CO (mg/m ³)	Máximo (mg/m ³)	Fecha/Hora de ocurrencia del máximo	Estación
2012	0.91	4.5	11/05/2012 05:00	Carvajal-Sevillana
2013	0.84	4.1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	0.98	5.4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	0.82	4	20/11/2015 20:00	Las Ferias
2016	0.95	4.5	14/05/2016 00:00	Tunal

En la Figura 6-60 se representa mediante diagrama de cajas la distribución de las concentraciones 8 horas de CO por año. Se observa que las estaciones Puente Aranda, Carvajal-Sevillana y Centro de Alto Rendimiento tienen el mayor valor de datos en el período 2012-2016, en estas estaciones se observa que hasta el 2015 había una tendencia a la disminución de las concentraciones, y que el promedio del año 2016 aumentó con respecto a años anteriores. La estación Carvajal Sevillana es la que históricamente ha presentado los valores más altos, sin embargo, en 2016 la representatividad temporal de los datos no es suficiente para el cálculo del promedio anual y su correspondiente comparación con años anteriores.

Una comparación con la norma más restrictiva (10mg/m³ para 8 horas), muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

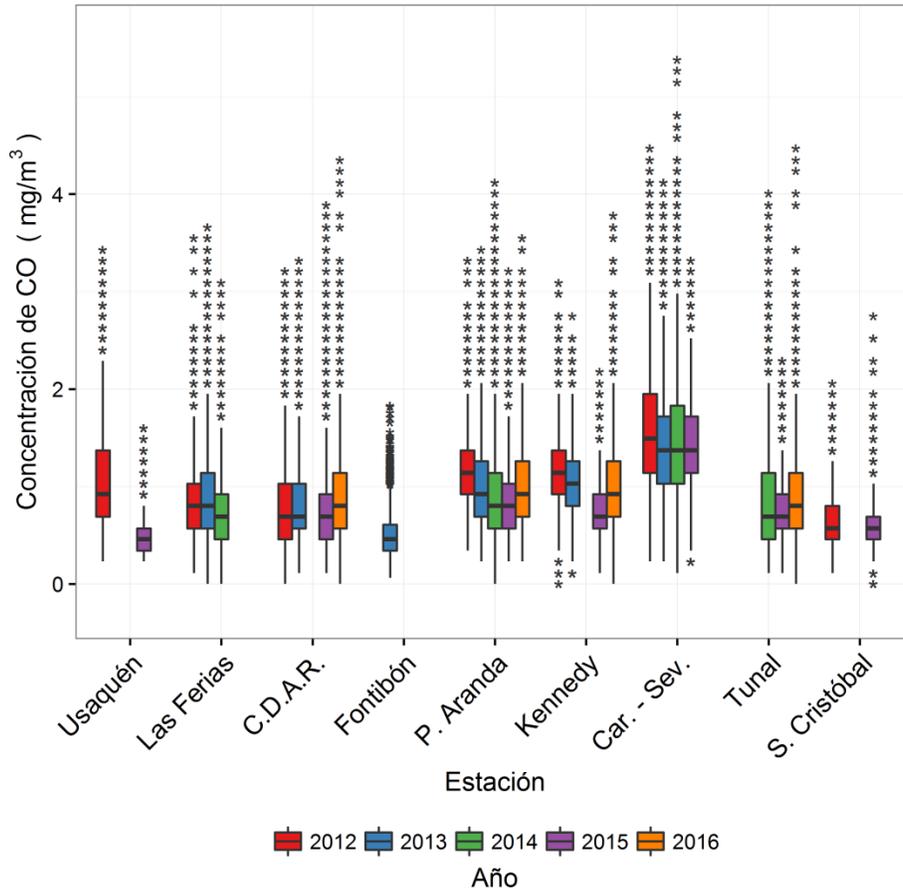


Figura 6-60 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2012 a 2016

7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA

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

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse cuando los contaminantes alcanzan niveles no saludables, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países

El Índice de Calidad del Aire (ICA) fue calculado para los contaminantes criterios PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , CO y SO_2 , el NO_2 no se incluyó en el cálculo del ICA del 2016 debido a que la máxima concentración horaria reportada fue de $289 \mu g/m^3$ (0.153 ppm), y el indicador se mide desde concentraciones mayores a 0.65 ppm, por lo cual no alcanza el límite mínimo para el cálculo del ICA para este contaminante. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta solamente las estaciones que contaron con un 75% de representatividad temporal en el número de datos registrados.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)”, versión 2012, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010)

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h Ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/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 O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.

(2) Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.

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

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

En la Figura 6-62 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para PM₁₀, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 85% de los días del año. En las demás estaciones, más del 50% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Buena”, siendo la estación San Cristóbal la que tuvo el mayor porcentaje en esta categoría, con 92% de los días del año.

En la Figura 6-63 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para PM_{2.5}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación San Cristóbal es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Buena”, al igual que en el ICA de PM₁₀, con 85% de los días del año, aunque en esta estación el 3 de febrero el ICA estuvo en la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”. Las estaciones MinAmbiente y Kennedy tuvieron ICA en la categoría “Dañina a la salud”, los días 3 de febrero y 25 de diciembre respectivamente. El día 3 de febrero ocurrió el incendio forestal en los cerros orientales, por lo cual la calidad del aire en el sector oriental de la ciudad se vio afectada en los primeros días de febrero. Kennedy además fue la estación que tuvo el porcentaje más alto de días con ICA en categoría “Moderada”, con 82%, y la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles”, con 17% de los días del año.

En la Figura 6-64 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para O₃, calculado a partir de las medias móviles 8 horas. Solo las estaciones Guaymaral, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Kennedy se presentaron valores de ICA en la categoría “Moderada”, pero con porcentajes muy bajos con respecto al total del año (0.18, 0.17, 0.09 y 0.04% respectivamente). El resto del tiempo para estas estaciones y para las demás estaciones el ICA se encontró en la categoría “Buena”.

En las Figuras Figura 6-65 y Figura 6-66 se muestran las proporciones relativas de las categorías del ICA para CO y SO₂, calculados a partir de las medias móviles 8 y 24 horas respectivamente. Ya que los límites desde los cuales el ICA se ubica en categoría “Moderada”, es desde 51 unidades, y las concentraciones que se registran son bastante bajas, se define que la calidad en todos los registros estuvo en la categoría “Buena”.

PM10

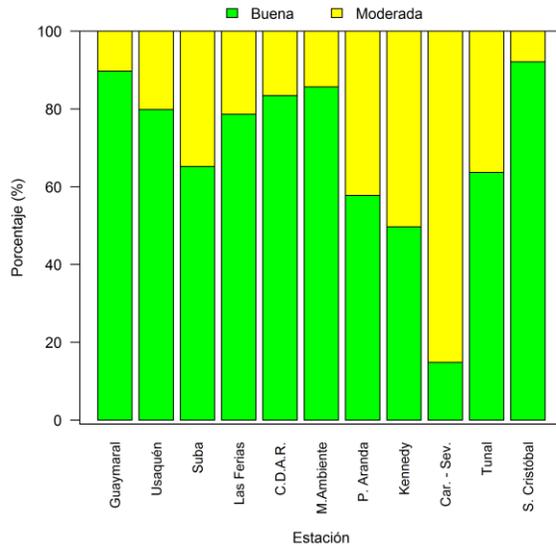


Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM₁₀ por estación. Año 2016

PM2.5

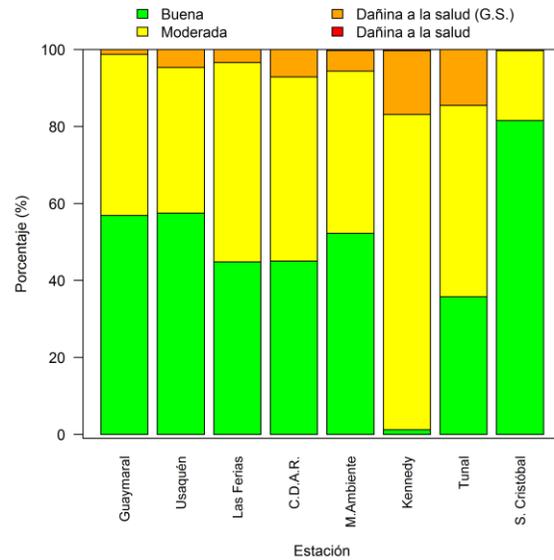


Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{2.5} por estación. Año 2016

Ozono

Monóxido de carbono

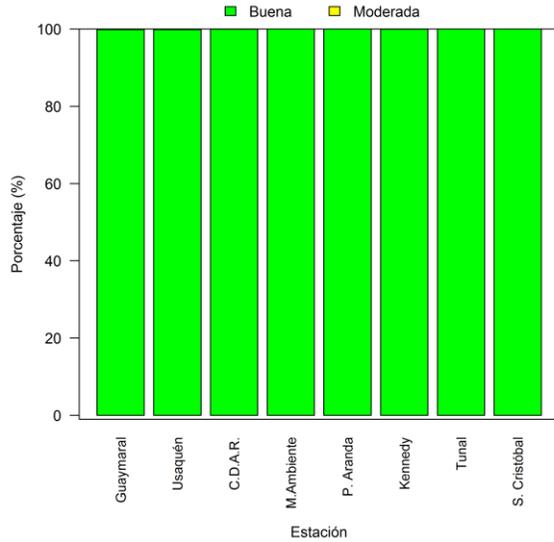


Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O₃ por estación. Año 2016

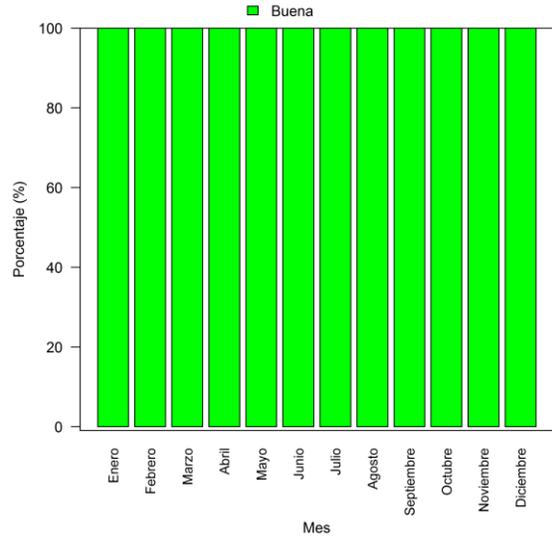


Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO₂ por estación. Año 2016

SO₂

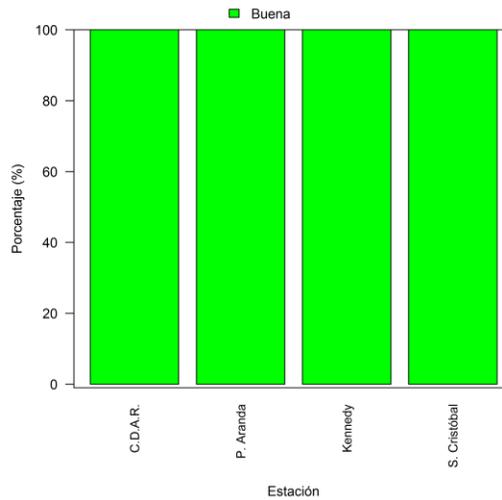


Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO₂ por estación. Año 2016

8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA

El índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud, es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂, CO y SO₂) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –”, Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además, cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 8-1 muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA.

Tabla 8-1 Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante ¹					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta ²	PM ₁₀ , 24h (µg/m ³)	PM _{2.5} , 24h (µg/m ³)	O ₃ , 8h (µg/m ³) [ppb]	CO, 8h (µg/m ³) [ppm]	SO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]	NO ₂ , 1h (µg/m ³) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo ³	Muy Mala	Alerta Roja ³	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 ⁴	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

En la Figura 8-1 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM₁₀, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-

Sevillana es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 85% de los días del año. En las demás estaciones, más del 50% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Favorable”, siendo la estación San Cristóbal la que tuvo el mayor porcentaje en esta categoría, con 92% de los días del año. En general, el comportamiento del IBOCA fue equivalente a las categorías calculadas para el ICA, y da una indicación de las acciones que se pueden llevar a cabo en cada categoría del indicador.

En la Figura 8-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. La estación San Cristóbal mostró el mayor porcentaje de calidad del aire “Favorable”, con 72% de los datos calculados, y tuvo un 1% de datos que se ubicaron en la categoría “Regular”. En contraste, en la estación Kennedy no se presentó ningún valor en la categoría “Favorable”, y presentó la mayor proporción de datos en la categoría “Moderada”, con un 72%, además un 2% de los datos se ubicó en la categoría “Mala”. Las estaciones Usaquén, MinAmbiente y Tunal también presentaron valores en la categoría “Mala” (1, 0.3 y 1.1% respectivamente), aunque las dos primeras estaciones registraron más del 40% de los datos en la categoría “Favorable”. En este caso el IBOCA es más restrictivo, y hay mayor porcentaje de datos en las categorías altas en comparación con el ICA, aunque la proporción de los datos en la categoría “Mala” sigue siendo bastante baja en comparación con las demás categorías.

En la Figura 8-3 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para O_3 , calculado a partir de las medias móviles 8 horas. Solamente en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Kennedy y Usaquén se presentaron datos en la categoría “Moderada”, pero en porcentajes menores a 0.2 del total de datos. El resto del tiempo en estas estaciones, y en el resto de estaciones predominó la categoría “Favorable”.

En las Figura 8-4 y Figura 8-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del IBOCA para CO y SO_2 , calculados a partir de las medias móviles 8 y 24 horas respectivamente. Ya que los límites desde los cuales el IBOCA se ubica en categoría “Moderada”, es desde 10.1 unidades, y las concentraciones que se registran son bastante bajas a lo largo del año, se define que la calidad en todos los registros estuvo en la categoría “Buena”.

PM10

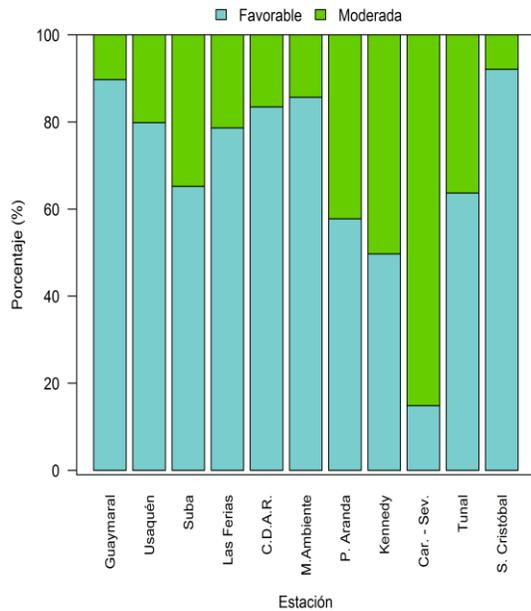


Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM₁₀ por estación. Año 2016

PM2.5

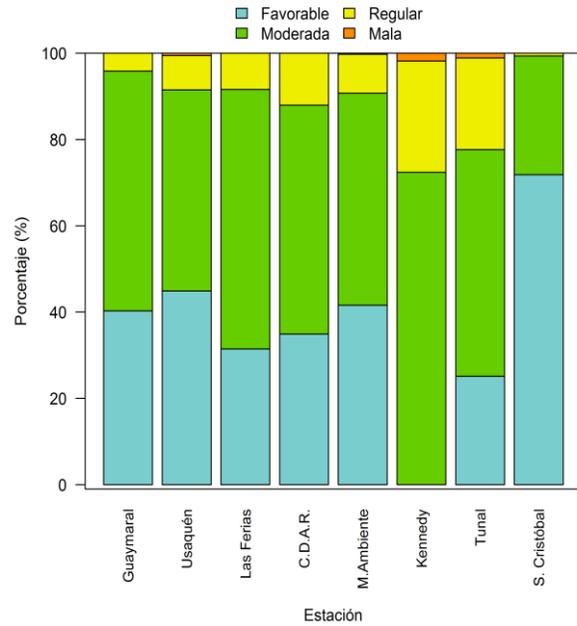


Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{2.5} por estación. Año 2016

Ozono

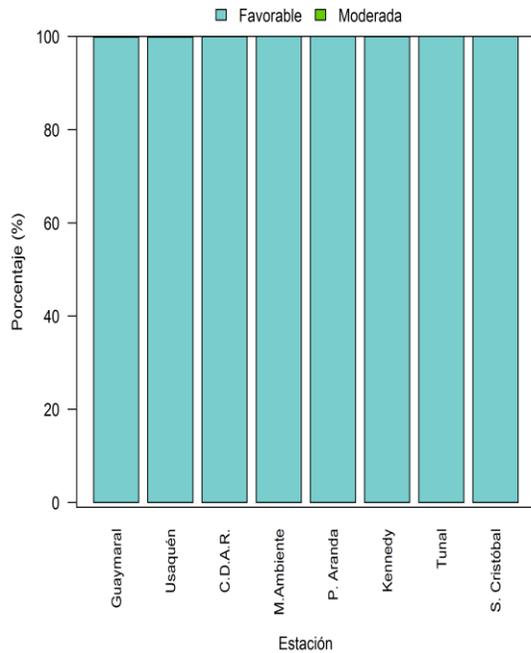


Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O₃ por estación. Año 2016

Monóxido de carbono

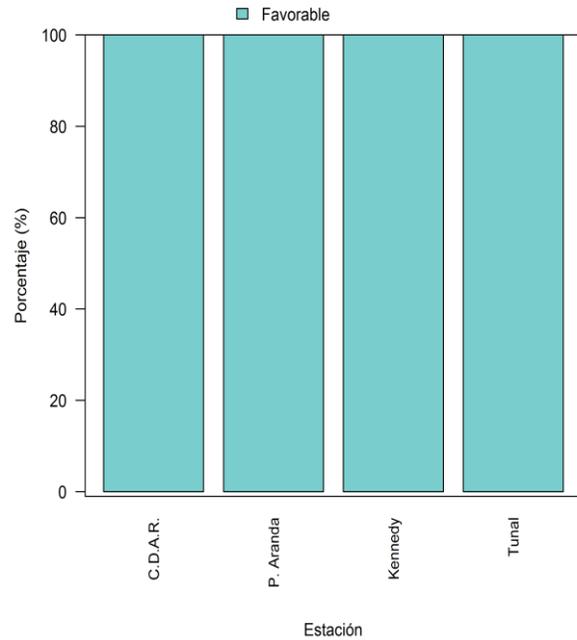


Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2016

Dióxido de azufre

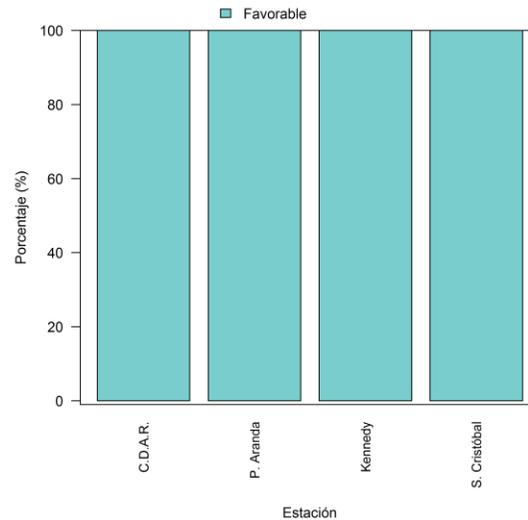


Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para SO₂ por estación. Año 2016

9 METEOROLOGÍA

EL presente capítulo describe la variación espacial y temporal de las condiciones atmosféricas de la ciudad de Bogotá y su relación con los contaminantes, durante el periodo 2016. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar global y humedad relativa.

Las variaciones espaciales de las variables meteorológicas se representan mediante mapas de alta resolución, producto de la interpolación y extrapolación espacial de sus registros puntuales, a través de la implementación del método geoestadístico de Kriging ordinario. Al momento de interpretar los resultados asociados se debe tener en cuenta que el método está sujeto a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria.

Cabe anotar que estadísticamente los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

9.1 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS Y SINÓPTICAS DEL PERIODO

De acuerdo con el Índice ONI (Oceanic Niño Index), el año 2015 y principios de 2016 fueron influenciados por el ENSO (El Niño Southern Oscillation). Ver Tabla 9-1 (color rojo representa la ocurrencia de El Niño y el azul la ocurrencia de La Niña) y Figura 7-1. Los datos de cada casilla, representan trimestres. El primer trimestre de izquierda a derecha: DJF (December, January, February)

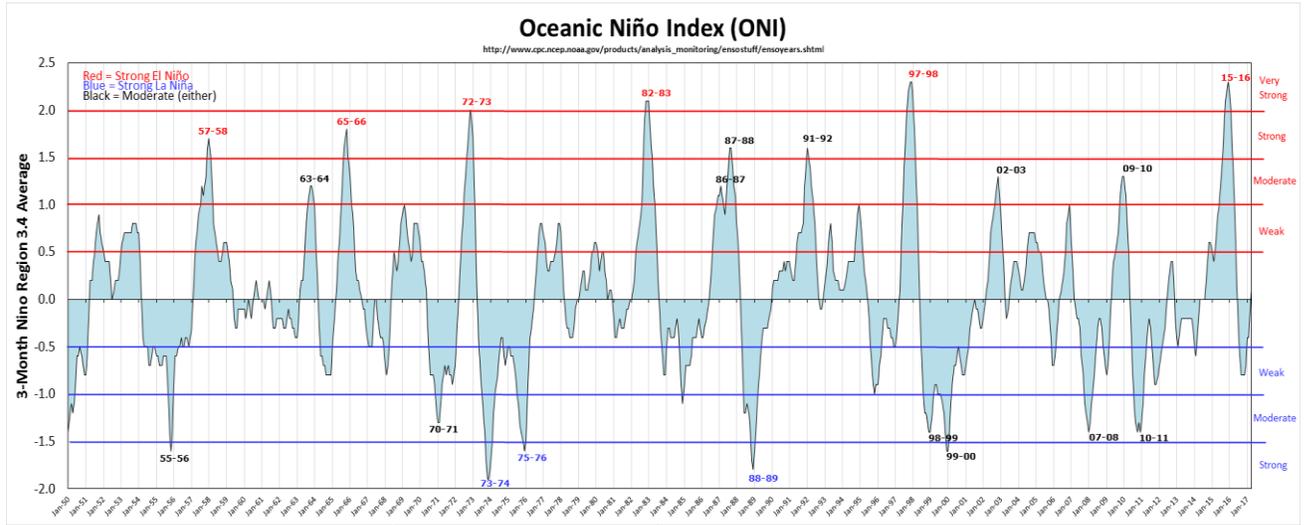


Figura 9-1 Índice Oceánico de El NiÑO. Fuente: NOAA,2017

Como es sabido, el ENSO en su fase cálida (El Niño), se caracteriza por déficit en la precipitación e incrementos sustanciales en la temperatura en esta región del país. Contrariamente en su fase fría (La Niña), se esperan abundantes lluvias y en consecuencia disminución en la temperatura superficial. El año 2016 calificado como Niña débil, trajo consigo lluvias relativamente bajas en la ciudad. Sin embargo, frente a 2015, presentó un comportamiento atípico en la temperatura superficial media anual de la ciudad. Por segunda vez en la historia de la RMCAB, se registró el valor más alto de temperatura, como se detallará más adelante.

Cabe anotar que los medios a nivel global reportaron al periodo 2016, como el más caliente de la historia.

Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2016⁶

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7

⁶ Fuente: (NOAA,2017) http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

9.2 PRECIPITACIÓN

9.2.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN

La Tabla 9-2 resume la historia de la precipitación registrada anualmente por la RMCAB. De estos se resalta que en promedio para el 2016 la ciudad recibe mayores precipitaciones en vecindades de la estación de Guaymaral y las Ferias.

Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación (mm) desde 2000 hasta 2016.

ESTACION	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Prom
Cade Energía	754	525	812	551														661
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450	541	627
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703									472
Central de Mezclas	402	345																
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608	803	952
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980							853
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392				528
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534	964	804
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453	723	634
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580	925	845
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559	795	814
Olaya	1138																	
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396	836	729
San Cristóbal													938	865	1076	574	786	848
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446	362	694
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510		719
Univ. Nacional	863	542																
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461	333	816
USME							702	553	718									658
Vitelma							1087	803	839	652	922							861
Promedio	768	498	711	540	648	669	747	646	838	668	1016	1098	761	768	827	506	707	730

	Estaciones que con bajos valores de precipitación
	Estaciones que con valores medios de precipitación
	Estaciones que con altos valores de precipitación

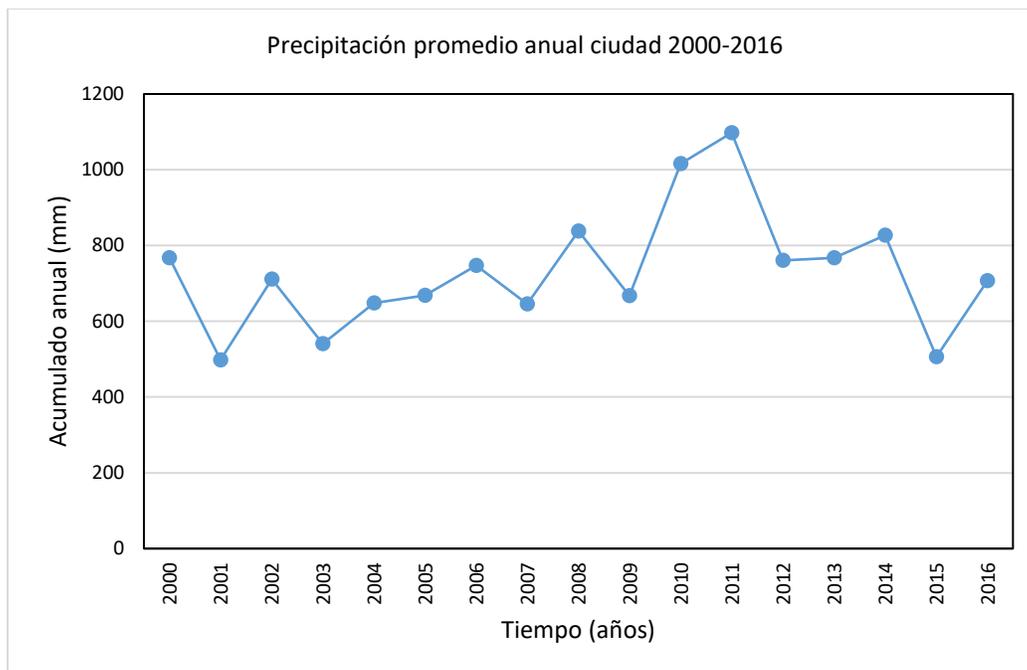


Figura 9-2. Variación temporal de la precipitación en Bogotá.

9.2.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN

La Tabla 9-3 y la Figura 9-3 presenta la historia de la precipitación mensual de la ciudad desde 2000 hasta 2016. Se observa la estacionalidad de lluvia en Bogotá y su bimodalidad en los meses de marzo, abril, mayo (MAM) y septiembre, octubre, noviembre (SON).

Los meses enero, febrero, junio y julio de 2016, presentaron anomalías negativas de 22.8 mm, 41.8 mm, 28 mm y 5.7 mm, respectivamente, atípicamente el mes de octubre de 2016, presentó una anomalía negativa de 5.6 mm. La anomalía negativa de diciembre fue muy baja lo que marca un comportamiento normal del mes de diciembre de 2016, respecto a la media histórica. Lo ocurrido en los meses de enero a junio, confirma la influencia parcial de El Niño en 2016, como se ilustró en la Tabla 9-1.

Por otra parte, se observan las anomalías positivas 9.8 mm, 44.9 mm y 2.7 mm, en los meses de marzo, abril y mayo, respectivamente en el primer periodo de lluvias, y en los meses de agosto y septiembre 17.4 mm y 28.9 mm. La anomalía positiva registrada en noviembre fue realmente atípica; por demás representa el valor mensual de precipitación más alto reportado en toda la historia de la RMCAB.

Tabla 9-3. Precipitación RMCAB 2000 - 2016

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5
2015	39	32	96	59	17	52	31	19	31	44	59	1
Promedio	33,0	62,6	76,0	91,2	74,2	48,3	36,6	27,4	39,9	90,8	91,6	62,3
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0
Anomalías	-28,2	-41,8	9,8	44,9	2,7	-28,0	-5,7	17,4	28,9	-5,6	98,0	-3,3

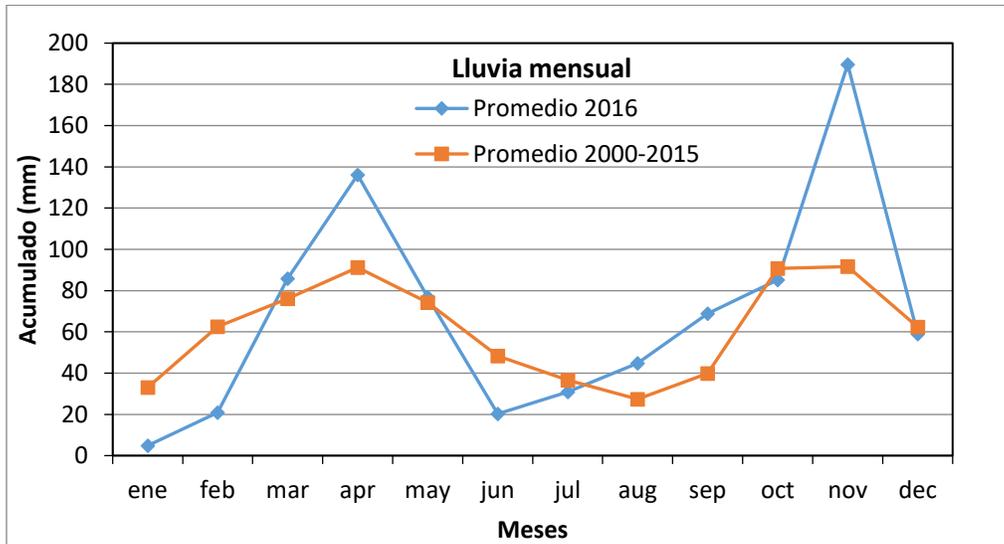


Figura 9-3. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2015 y el promedio mensual 2016.

9.2.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

A continuación, se resume la distribución temporal y espacial de la precipitación en Bogotá en 2016, donde los valores más altos de precipitación ocurrieron hacia el noroccidente; los más bajos se reportaron hacia el suroccidente como históricamente ha ocurrido. La estación de Las Ferias registro el mayor valor de precipitación del año en noviembre de 2016 (295.3 mm) Ver Tabla 9-4.

Tabla 9-4 Acumulados mensuales de precipitación de las estaciones de la RMCAB y total anual 2016

ESTACIÓN	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Acumulado (mm)
Carvajal - Sevillana	1,7	4,3	32,9	0	92,5	27,4	42,1	45,5	58	46,3	140,3	49,8	540,8
Centro de Alto Rendimiento	3,1	11,6	92,5	213,3	59	28,2	44,9	39,8	90,4	102,6	82,7	34,5	802,6
Guaymaral	25,7	13,1	146,4	110,9	155,3	23,2	36,8	49,8	74,5	95,1	179,4	54,2	964,4
Kennedy	3,3	0,6	7,9	134,9	64,9	26,7	42,3	51,8	63,2	40,7	203,5	83,6	723,4
Las Ferias	9,6	11,1	60,6	140,1	63	23,8	38,1	37,7	78,3	94,5	295,3	72,5	924,6
MinAmbiente	2,1	33,7	91,4	140	46,7	19,2	26,2	45,3	69,5	60,1	180,3	80,5	795,0
Puente Aranda	4,1	13,4	80,3	138	72	29,6	32,8	49,7	76	116,5	158,4	64,7	835,5
San Cristóbal	2,6	16,4	99,4	127,6	62,3	33,1	20,2	56,9	60	78,5	185,9	43,5	786,4
Suba	2,4	17,2	84,5	128,2	78,8	35,4	22,9	31,4	63,9	85,1	188	63,8	801,6
Tunal	2,4	3,9	61,3	205,5	96,9	32,7	41,8	48,3	65	61,4	132,1	55,9	807,2
Usaquén	9,6	40,3	69,8	83,8	86,7	20,2	26	40,2	53,9	132,8	282,7	43,1	889,1
Promedio	6,1	15,1	75,2	129,3	79,8	27,2	34,0	45,1	68,4	83,1	184,4	58,7	806,4
Desviación estándar	7,1	12,1	36,2	56,9	29,3	5,3	8,8	7,3	10,6	29,0	61,7	15,9	111,6

Las estaciones que acumularon los mayores valores de precipitación fueron Guaymaral (964,4 mm), Las Ferias (924,6) y Usaquén (889,1mm). En contraste, las que reportaron totales anuales más bajos, Carvajal-Sevillana (540,8 mm), seguida por Kennedy (723,4 mm). La distribución espacial de la precipitación para 2016, se puede apreciar en la Figura 9-4. El mes más seco fue enero, con un promedio ciudad de 6.1 mm y Carvajal-Sevillana la estación que reporto el valor acumulado mensual más bajo.

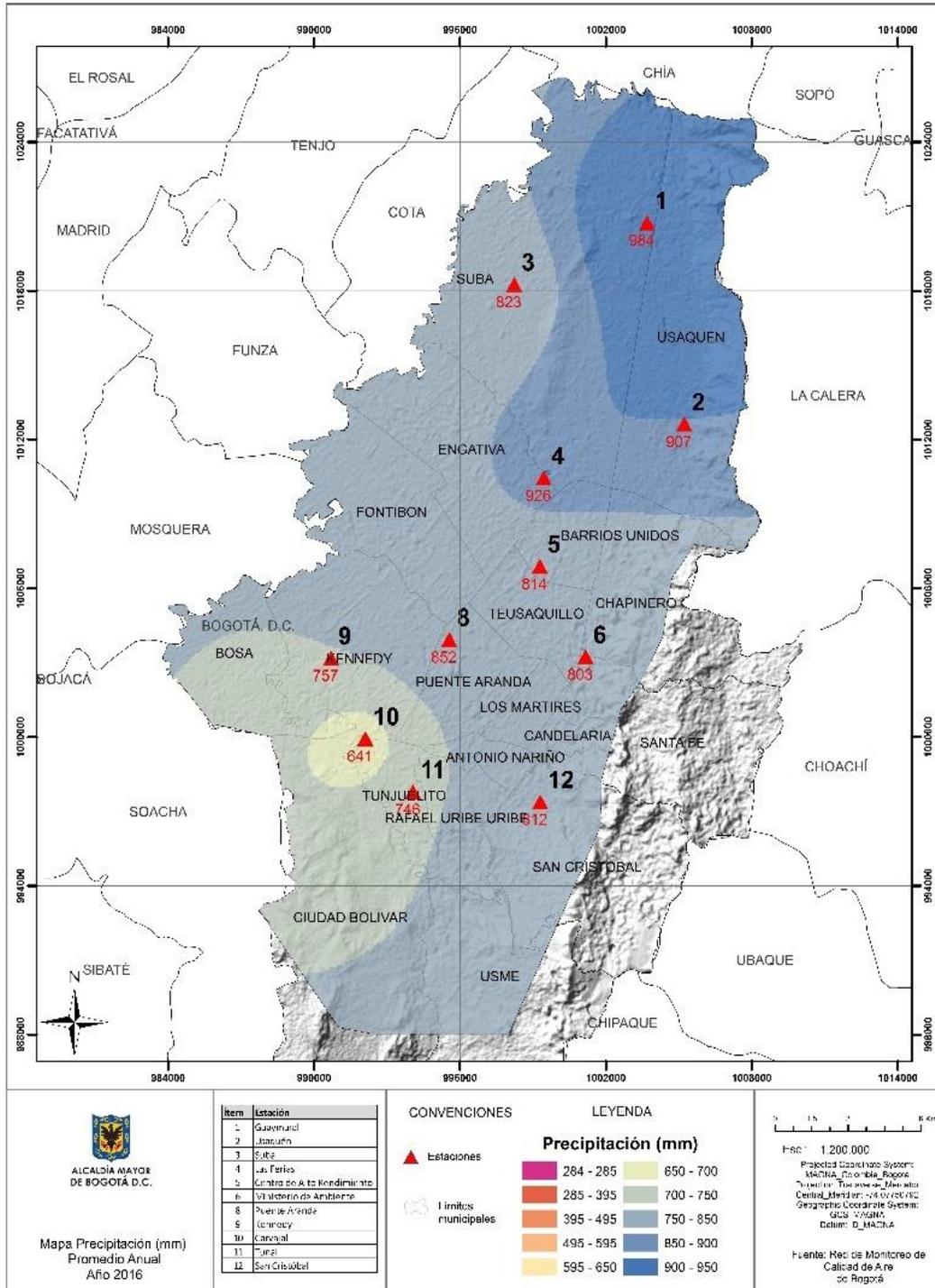


Figura 9-4 Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2016.

9.2.4 NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN

En la ciudad de Bogotá, se registraron en promedio 169 días con precipitación. Las estaciones con mayor número de días, Guaymaral (237 días) y Centro del Alto Rendimiento (C.D.A.R) (212 días) Ver Figura 9-5.

Las de menor número de días Carvajal (147 días) y Kennedy (156 días). Los meses que reportaron mayores días promedio con precipitación, noviembre (23 días) y Abril (18 días); el mes de menos días de promedio de precipitación, enero (4 días) Ver Tabla 9-5.

Tabla 9-5. Número de días con precipitación RMCAB 2016

	ene	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec	Acum (días)
Carvajal - Sevillana	2	6	7	0	15	16	18	16	18	16	22	11	147
Centro de Alto Rendimiento	10	7	20	20	17	16	16	20	20	22	27	17	212
Guaymaral	9	7	21	21	24	20	21	23	25	19	28	19	237
Kennedy	3	2	6	21	13	15	13	16	16	14	23	14	156
Las Ferias	3	5	13	20	13	14	15	13	19	18	22	12	167
MinAmbiente	3	7	16	18	15	14	16	19	16	17	21	13	175
Puente Aranda	4	8	19	18	19	17	14	17	18	16	21	12	183
San Cristóbal	5	7	17	15	15	23	13	21	18	15	21	13	183
Suba	2	6	16	17	18	11	17	16	18	17	22	12	172
Tunal	3	8	16	18	16	1							
Usaquén	4	5	7	12	15	18	11	19	15	18	23	13	160
Promedio	4	11	14	19	15	14	13	18	18	17	23	11	169
Anomalías	-4	-1	1	2	-3	-2	-2	4	6	2	6	-1	

Del primer semestre de 2016, enero, febrero, mayo, junio, presentaron anomalías negativas en el número de días con lluvia, respecto al promedio de la ciudad, de 4 días 1 día, 3 días y 2 días, respectivamente. Del segundo semestre solo diciembre dejó de llover por 1 día.

Por otra parte, se observan las anomalías positivas en marzo (1 día), y abril (2 días). Es decir, su comportamiento se asemeja al valor medio histórico. Se observa influencia de La Niña en el segundo semestre con anomalías positivas en el mes de agosto (4 días), septiembre (6 días), octubre (2 días) y noviembre (6 días).

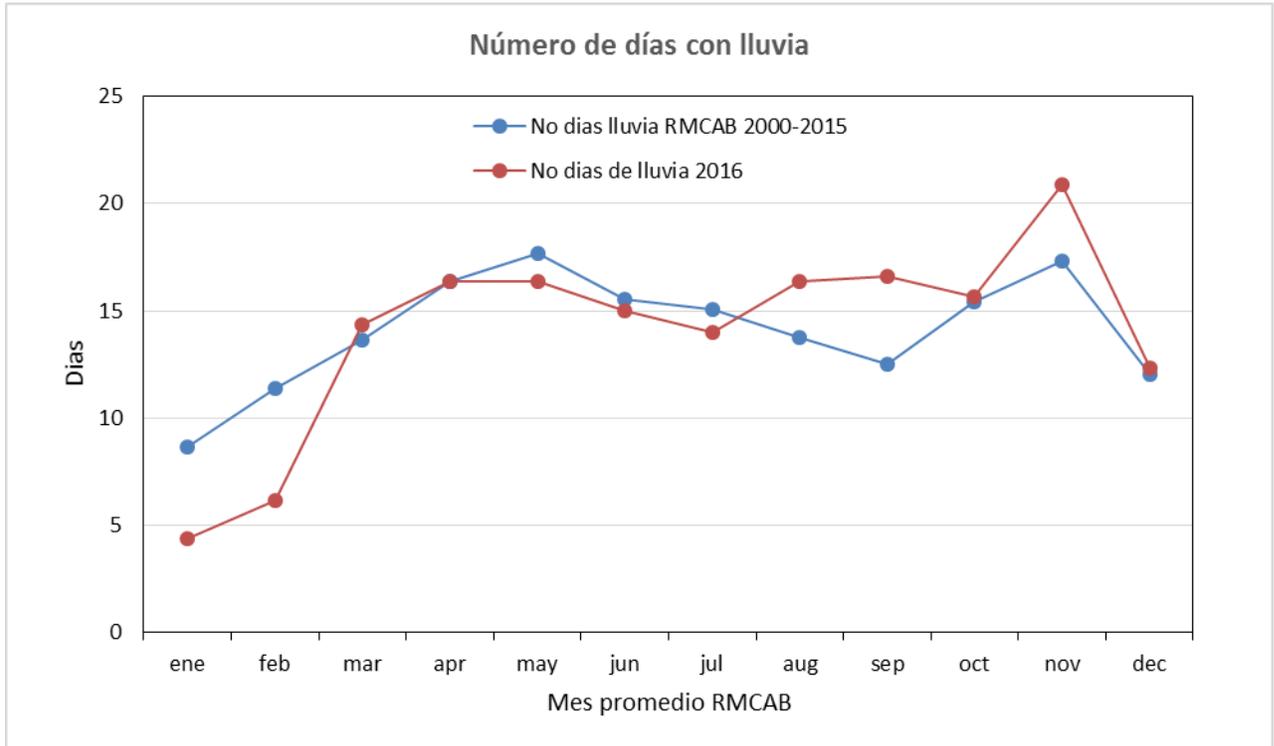


Figura 9-5 Número de días con lluvia

9.3 TEMPERATURA

La temperatura media anual del aire en la ciudad de Bogotá para el año 2016 fue de $15^{\circ}\text{C}\pm 0.65^{\circ}\text{C}$, valor superior a la reportada en 2015 ($14,6^{\circ}\text{C}\pm 0,8^{\circ}\text{C}$).

En la Tabla 9-6 y la Figura 9-6, se presenta el comportamiento histórico de la temperatura para el periodo 2000-2016 por estación, donde se puede observar que la media multianual ha variado entre $13,9^{\circ}\text{C}$ y $14,6^{\circ}\text{C}$.

Tabla 9-6. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2016

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carvajal - Sevillana							12,2	11,2	14,1	15,4	15,5	15	15,2	15,5	15,5	15,8	16
Cazuca							12,3	11,7	13								
Centro de Alto Rendimiento									13,9	14,7	14,8	14,5	14,6	14,8	14,8	15,2	15,4
Fontibón	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,2	14,1	13,9	14,1	14,7	14,5	13,6	13,8	14,1			
Guaymaral									13,9	14,4	14,8	14,3	14,3	14,6	14,6	14,8	15,1
Kennedy									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5	14,8	14,9	15,3	15,3
Las Ferias	15,6	16	16			15,9			13,3	14	14,2	13,7	13,9	14,2	14,2	14,4	14,7
Puente Aranda	14,1	14,5	14,6	14,7	14,5	14,8	14,6	14,6	14	14,6	14,6	14	13,8	13,7	14	14,4	15
San Cristóbal											13,5	13,7	13	13,1	13	13,4	13,7
Suba	10,6						12,6	13,2	13,7	12,9			14	14,3	14,3	14,6	15
Tunal										14,6		13,2	13,4	13	13,1	13,5	14,4
Usaquén									11,9	14,5	15,1	14,4	14,4	14,8	14,7		
USME							11,8	12,5	13,4								
Vitelma								11,7	11,5		12,9						
Promedio	13,5	14,8	14,9	14,5	14,2	15,0	12,9	12,7	13,4	14,5	14,5	14,1	14,1	14,3	14,3	14,6	15,0

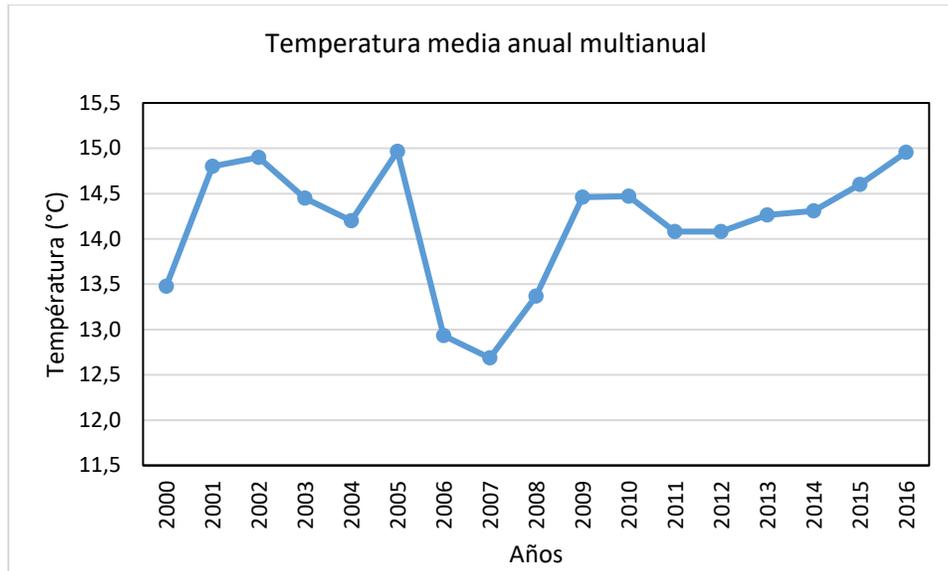


Figura 9-6 Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2016

La Figura 9-7 y la Tabla 9-7, presenta la evolución de la temperatura media mensual para las estaciones de la RMCAB y su comparación con el promedio de temperatura mensual, durante el periodo se observa que los valores medios mensuales superaron ampliamente la media multianual.

Marzo de 2016 alcanzó un valor medio considerablemente alto respecto del histórico (16.1°C), con una anomalía positiva de 1,5°C.

Tabla 9-7. Temperatura RMCAB 2000 - 2016

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2	13,4
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0	14,3
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1	14,8
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3	14,7
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7	14,1
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5	15,1
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2	13,5
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3	13,5
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0	13,6
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6	14,4
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6	14,7
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3	14,1
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0	14,1
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2	14,3
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8	14,2
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5	14,6
Promedio	14,0	14,2	14,6	14,5	14,5	14,1	13,9	14,0	14,1	14,3	14,3	14,1	14,2

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5	15,0
Anomalía	1,4	1,7	1,5	0,8	0,6	0,2	0,5	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	

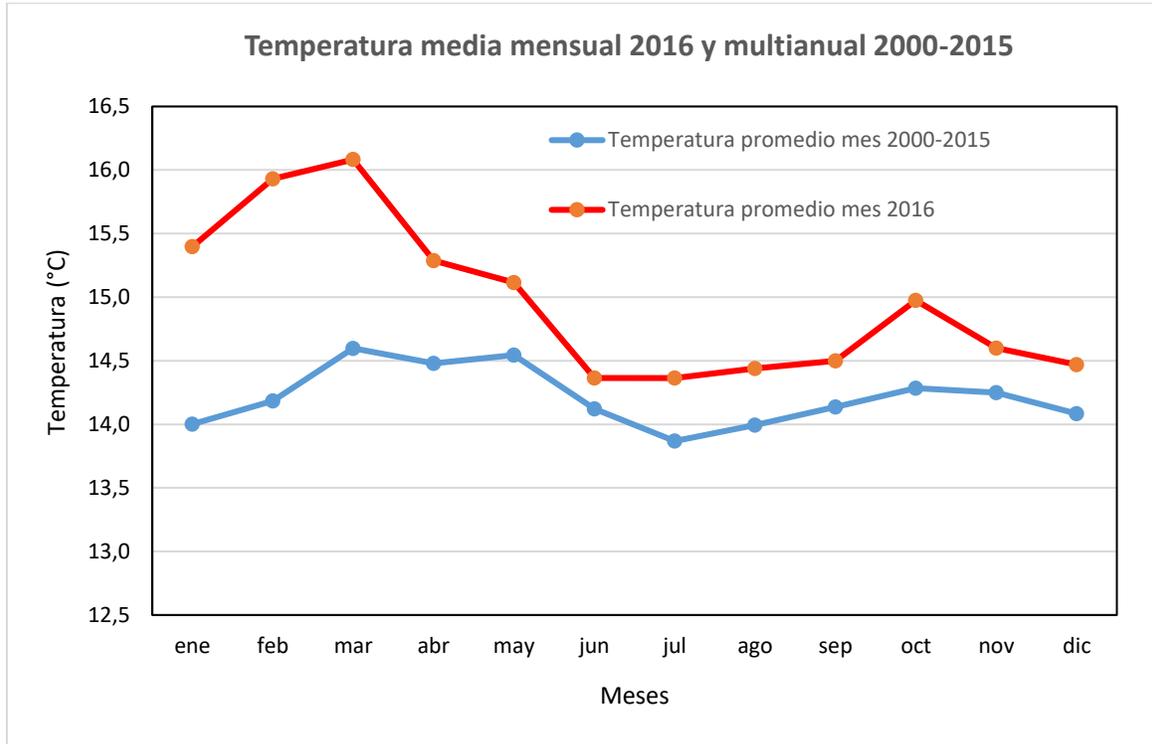


Figura 9-7. Promedio de temperatura mensual multianual

A continuación, se presenta el climograma de la ciudad de Bogotá para 2016. Además de mostrarnos los meses con déficit y oferta de agua, deja entrever como evidentemente las precipitaciones redujeron ostensiblemente las temperaturas superficiales en Bogotá, a partir de marzo hasta el mes de junio donde se mantuvieron relativamente constantes hasta el mes de octubre, cuando se presentó un ligero incremento, pero nada comparable con lo ocurrido entre febrero y marzo.

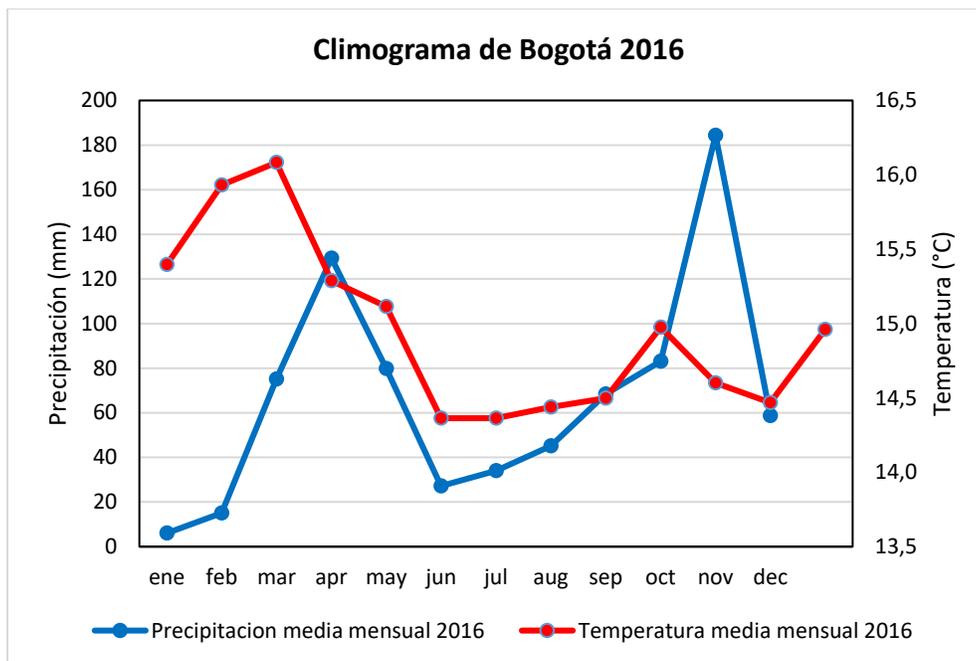


Figura 9-8. Climograma de Bogotá en 2016

Una probable explicación a los altos niveles de temperatura en el inicio del año, puede atribuirse a que la intensidad del El Niño se hizo más fuerte hacia finales de 2015 y principio de 2016, como se puede observar en la Tabla 9-1, Figura 9-7 y Figura 9-8.

Las temperaturas mínimas realmente estuvieron muy por encima de lo observado en periodos y condiciones semejantes. Esto podría explicar por qué realmente no se presentaron heladas en enero de 2016, las cuales son frecuentes en Bogotá debido a la pérdida de calor del suelo bogotano y en consecuencia enfriamiento de la atmósfera en bajos niveles. Los valores mínimos diarios de temperatura no descendieron de 8°C en los meses de enero y febrero. En episodios de heladas las temperaturas superficiales mínimas registran valores por debajo de 0°C.

Tabla 9-8 Temperaturas máximas y mínimas

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	18,5	13,7	4,8
Centro de Alto Rendimiento	18,1	12,5	5,6
Guaymaral	18,4	12,4	6
Kennedy	18,1	13,4	4,7
Las Ferias	17,2	12,1	5,1
Puente Aranda	17,1	12,8	4,3
San Cristóbal	16,5	11,4	5,1
Suba	17,9	12,1	5,8
Tunal	16,9	11,3	5,6

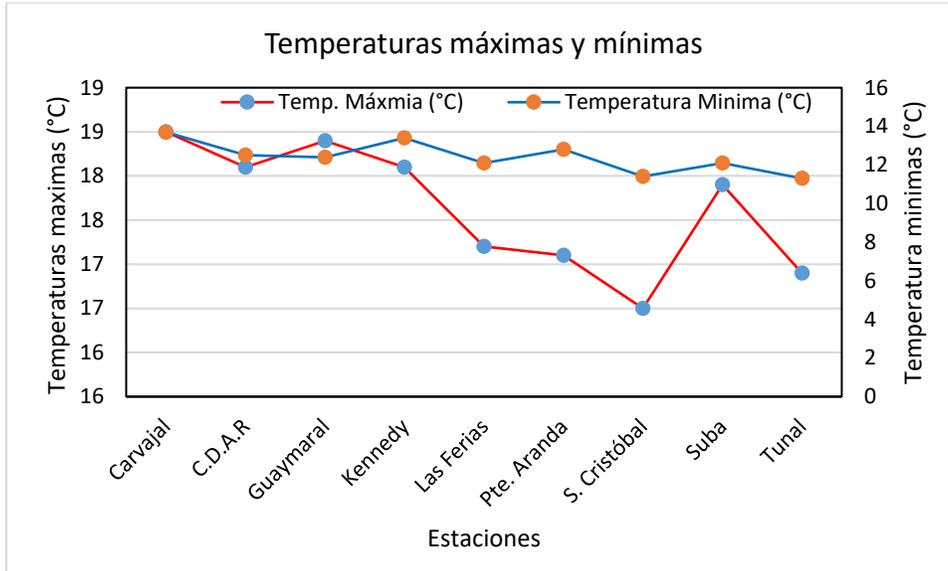


Figura 9-9 Temperatura máximas y mínimas

Cuando ocurren bajas temperaturas, es muy probable la ocurrencia de episodios de contaminación debido a fuertes inversiones de temperatura y consecuente descenso de la capa límite, que probablemente se traducen en incremento de las concentraciones de los contaminantes, toda vez que dicha inversión se constituyen en un techo que impide el ascenso y la mezcla de los mismos.

9.3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA

La distribución espacial de la temperatura superficial media de la ciudad de Bogotá, se puede observar en la Figura 9-10. En este mapa, se percibe que en general toda la ciudad presenta altos niveles de temperatura superficial. No obstante, los valores más bajos se encuentran hacia el sur oriente, donde la vegetación de los cerros orientales, puede estar contribuyendo con la regulación térmica de la ciudad. Se hace muy perceptible el cambio en las condiciones de temperatura promedio en la ciudad, dejando entrever la sensibilidad de Bogotá a los eventos El Niño.

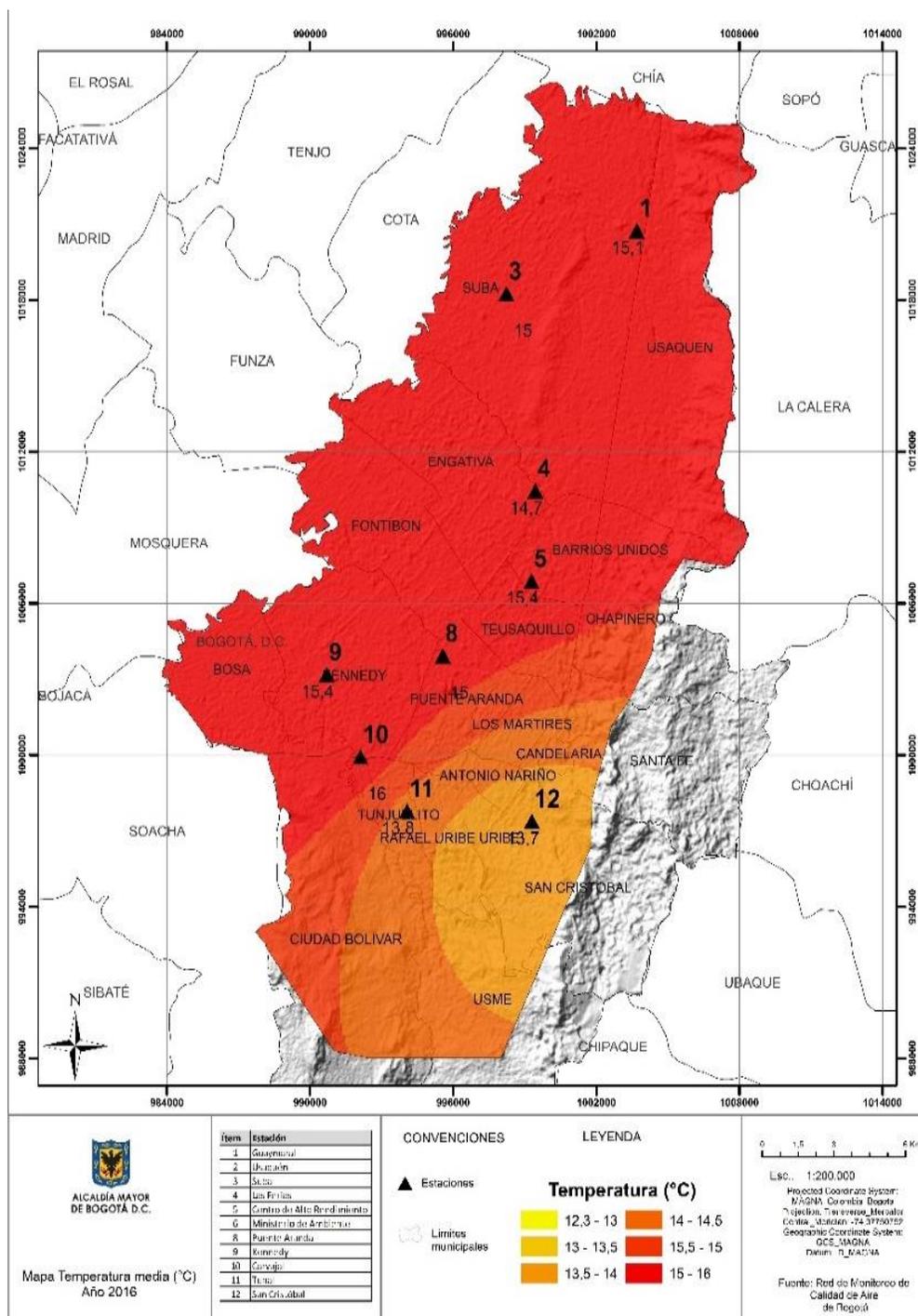


Figura 9-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB- 2016

9.4 DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con los registros de la RMCAB, el promedio anual de los vientos varía entre 1.3 m/s y 2.2 m/s. La zona o sector de la ciudad donde en promedio dominan los vientos más fuertes son Kennedy, Fontibón y Puente Aranda; los más débiles en Guaymaral, MinAmbiente y Tunal. Para más información ver Tabla 9-9.

Tabla 9-9. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2016

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Prom
Cade Energía	0,7	0,9	0,7	0,8														0,8
Carvajal - Sevilla	0,9	1,3	1,2	2,1				1,8	1,9	2,4	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,6	2,0	2,0
Cazuca	1,9	2,1	2,3		2,8	2,4	2,5	2,6	1,7									2,3
Central de Mezclas	2,0																	2,0
Centro de Alto Rendimiento					0,8	1,9		1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,2	1,4
Chico lago (Sto Tomas)	0,4	0,4	0,4															0,4
Fontibón	2,4	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	3,4	2,7	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0				2,9
Guaymaral			0,6					1,1	1,2	1,3		0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	1,0
Kennedy							1,5	1,5	2,3	2,7	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,8	2,4	2,3
Las Ferias	1,7	1,7	1,6			1,5	1,4	1,4	1,9	2,1	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,7	1,7
Min Ambiente	0,4	0,5	0,5							1,2				1,8	1,8	1,8	1,5	1,2
Olaya	1,8																	1,8
Puente Aranda	1,9	2,4	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	2,1	2,1	2,3	2,1	2,5
San Cristóbal											1,1	1,7	1,8	2,2	1,8	1,2	1,7	1,6
Suba	1,4	1,4	1,3		1,6		1,3	1,5	0,5	0,9	1,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	1,4	1,5
Tunal								2,1	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3
Univ. Nacional	0,5	0,6																0,6
Usaquén	1,2	1,1	1,0	1,2		1,6	2,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,4
USME							2,6	2,7	3,5									2,9
Vitelma							1,6	1,5	1,7									1,6
Promedio	1,3	1,4	1,3	1,9	2,1	2,2	2,1	2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,7	1,8	1,6	1,7

9.4.1 VARIACIÓN MENSUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

De acuerdo con la Tabla 9-10, la velocidad media del viento entre enero y marzo es de 1,7 m/s, en abril y mayo se presentan los valores más bajos del primer semestre (1,6 m/s). En el segundo semestre ocurren los vientos más fuertes entre julio y agosto, debilitándose nuevamente hacia noviembre y diciembre.

La variación de la velocidad media del viento de la ciudad, calculada con la información de la RMCAB desde 2000-2015, no revela cambios significativos respecto al periodo 2016. No obstante, se puede concluir que los vientos fueron más débiles en 2016, con relación al promedio. Como se observa en el la Tabla 9-10 y Figura 9-11, no se presentaron anomalías positivas, por contrario, fueron negativas, aunque su diferencia no fue significativa.

Tabla 9-10. Promedio multianual de la velocidad del viento

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio (m/s)
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	1,5
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	1,8
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	1,8
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	1,8
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,8
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	1,7
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,8
2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	1,8
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,8
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8
Promedio	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,5	1,7
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,6
Anomalías	0,0	0,0	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	

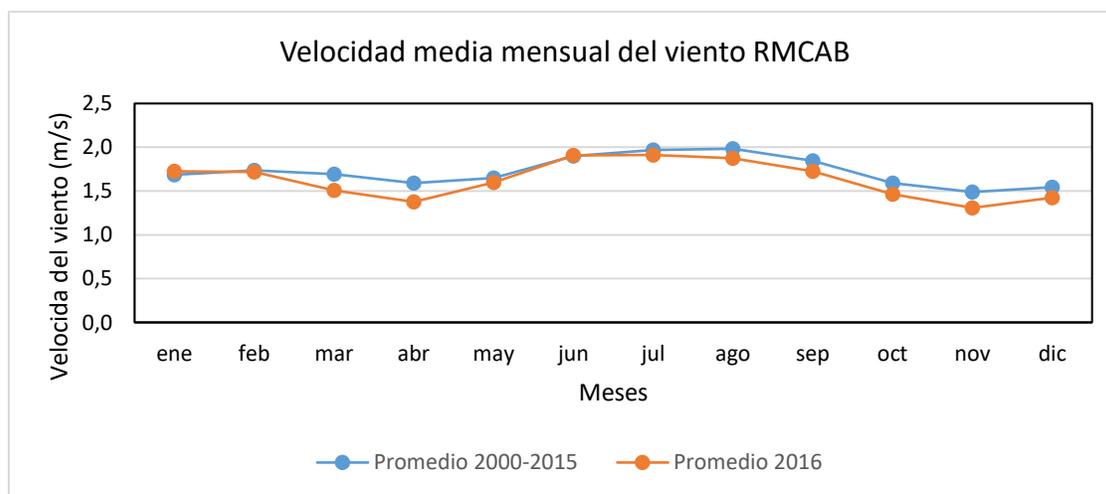


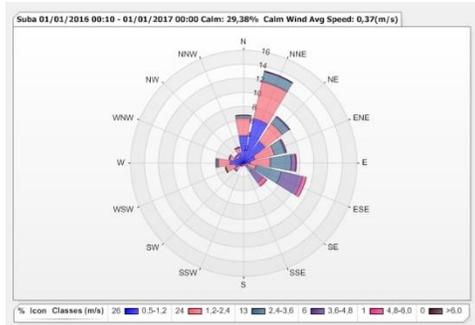
Figura 9-11. Velocidad del viento promedio Bogotá

A continuación, se resume el comportamiento de la dirección predominante del viento por estación. En la Figura 9-12 se encuentran las rosas de viento de las diferentes estaciones que registraron las direcciones predominantes en el año 2016, la Figura 9-14 describe la forma en que los vientos se distribuyeron espacialmente durante este periodo en la ciudad.

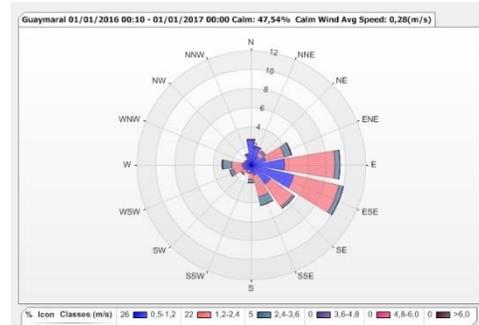
En general predominan los vientos del sureste (SE) y del noreste (NE). Dependiendo del periodo del año puede haber mayor influencia de uno con respecto al otro, por ejemplo en

los meses de enero y febrero se tiene mayor influencia de los vientos alisios del NE a causa de la posición relativa de la ZCIT (Zona de confluencia intertropical), por el contrario en los meses de julio y agosto predomina la componente del SE de los vientos alisios.

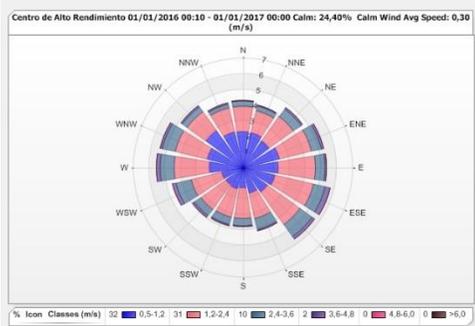
Particularmente la estación del Centro de Alto Rendimiento, reveló un sector de la ciudad donde se presentó confluencia de vientos de todas las direcciones, una especie de sumidero de la ciudad.



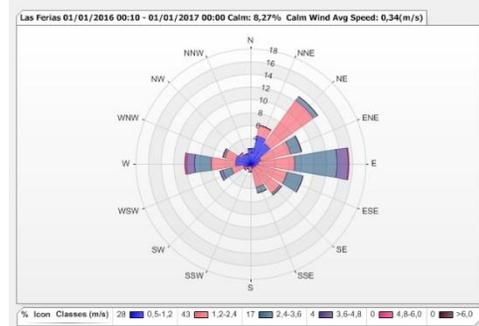
a) *Suba*



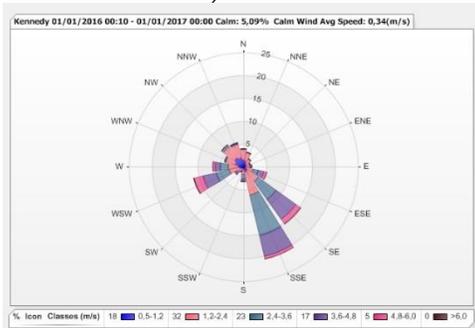
b) *Guaymaral*



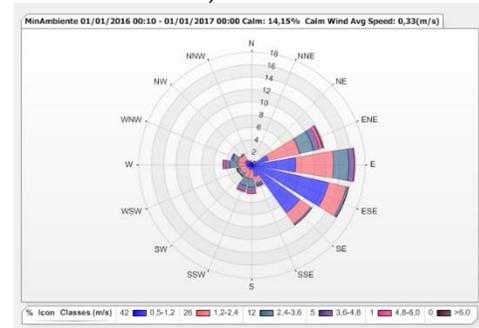
c) *C.D.A.R*



d) *Las Ferias*



e) *Kennedy*



f) *MinAmbiente*

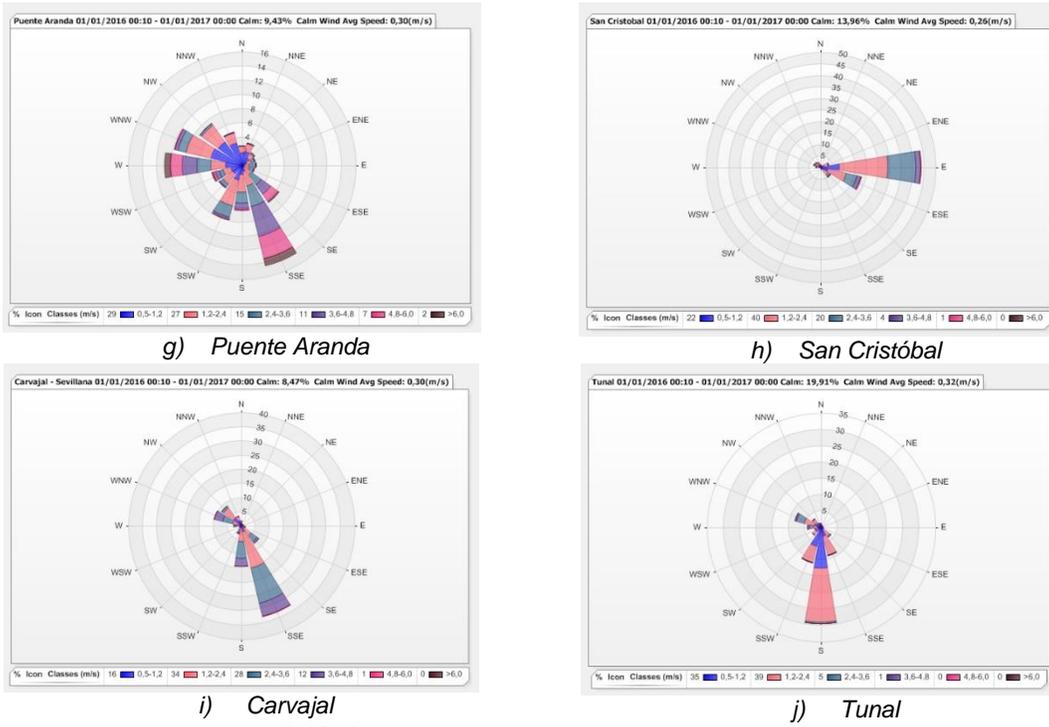


Figura 9-12. Rosa de vientos promedio anual por estación.

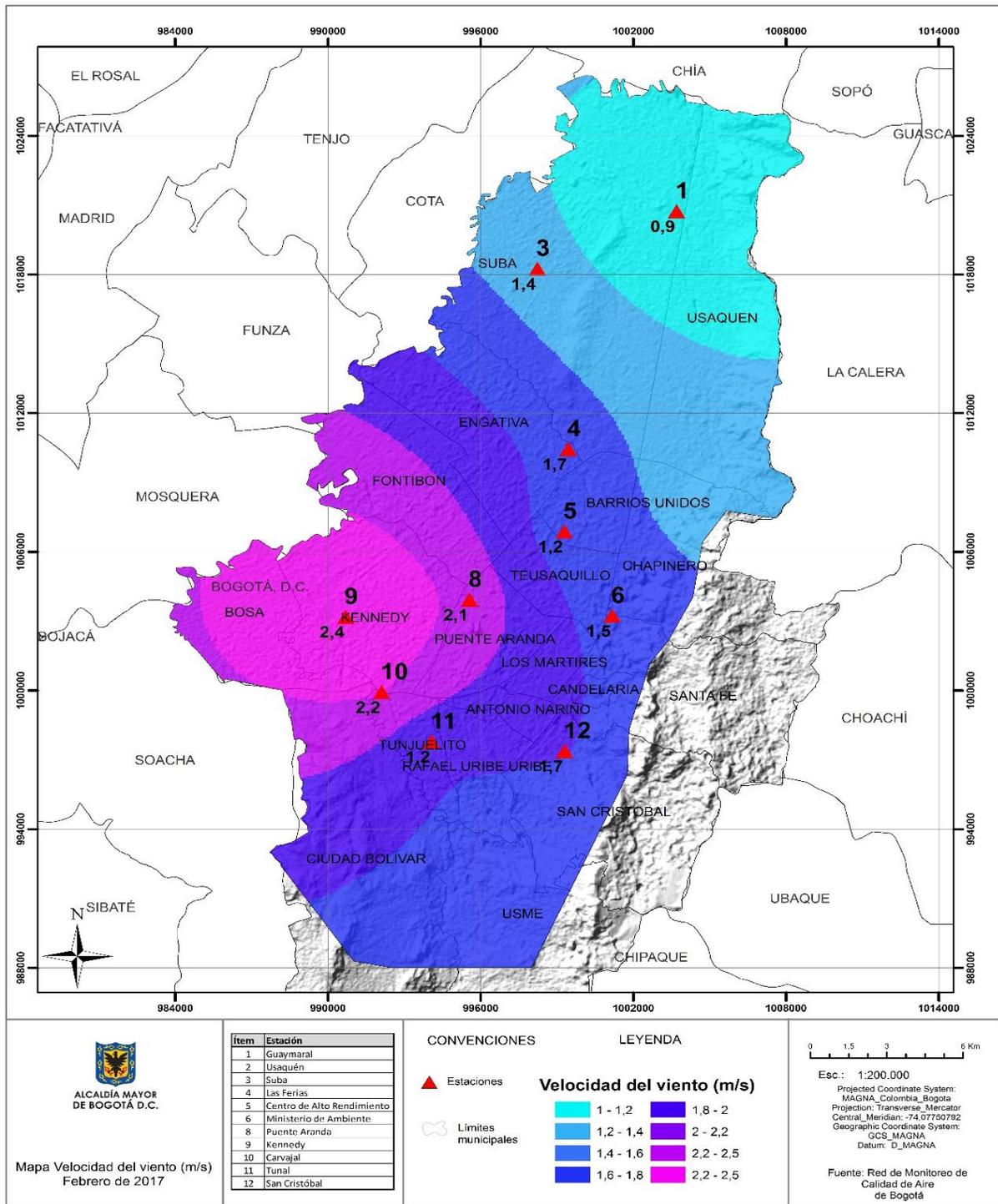


Figura 9-13. Mapa Velocidad del Viento RMCAB - 2016

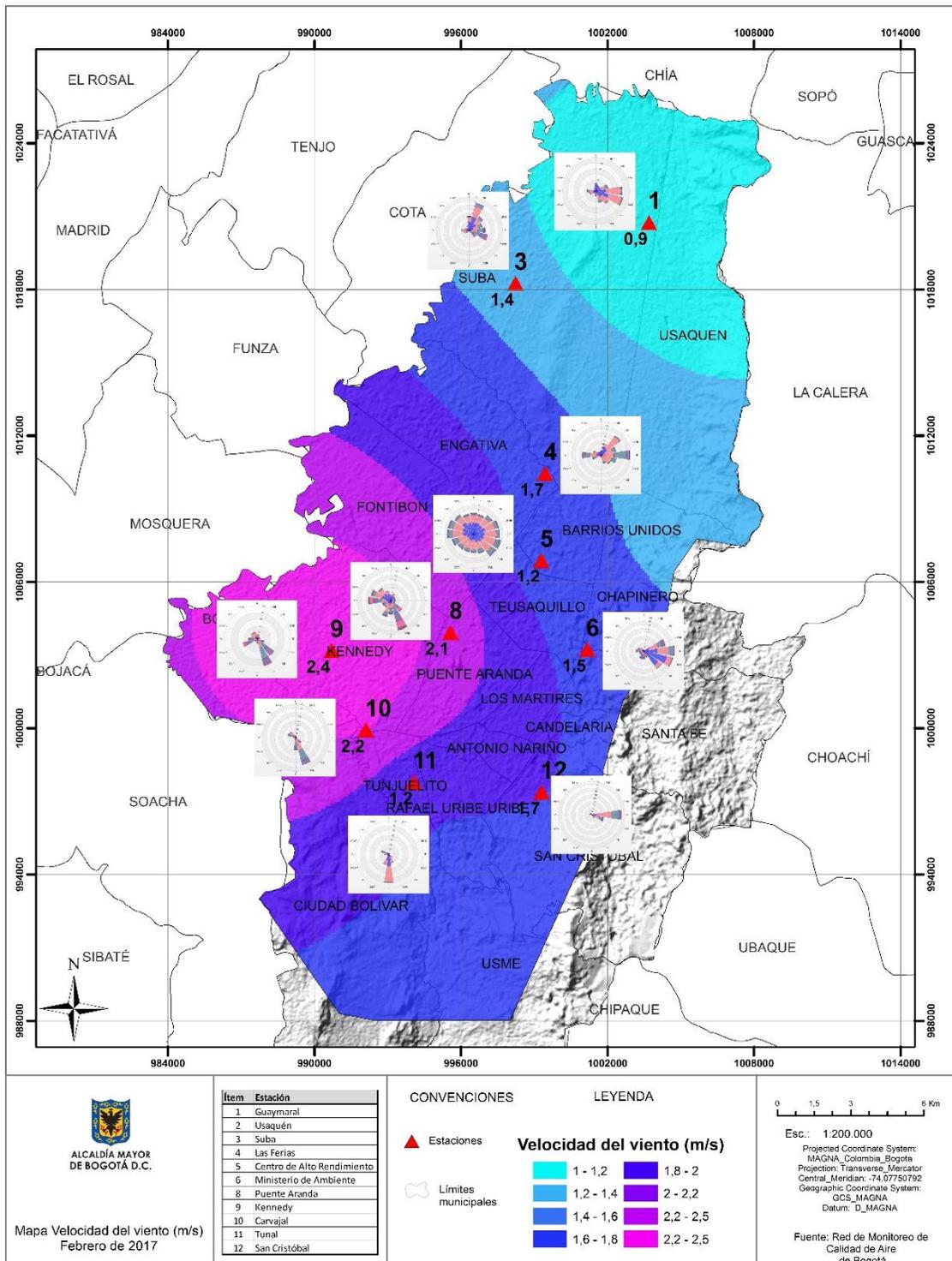


Figura 9-14. Distribución espacial de las Rosas de Viento consolidadas por estación 2016

9.5 RADIACIÓN SOLAR

9.5.1 VARIACIÓN ANUAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

En la Tabla 9-11 se observa los valores promedio mensual y anual de radiación solar medidos en las diferentes estaciones de la RMCAB. Es notable el incremento en la cantidad de radiación solar recibida en 2016, comparada con 2015. En promedio se recibieron 3178 W/m², más que en 2015. Los datos de la RMCAB, muestran que en promedio los meses que más energía recibieron fueron febrero (12150 W/m²) y septiembre (11792 W/m²); los de menor valor fueron octubre (4917 W/m²) y diciembre (5065 W/m²).

En 2016, ningún mes presentó valores inferiores de radiación respecto a los reportados en 2015, esto puede explicar los altos valores de temperatura registrados en 2016, pese a estar influenciados parcialmente por La Niña, durante el segundo semestre de 2016.

La estación donde se registró la mayor cantidad de radiación en promedio mensual, fue San Cristóbal (14342 W/m²); esto ocurrió en febrero como se anotó anteriormente.

Tabla 9-11. Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB - 2016

Estación	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Promedio (W/m ²)
Centro de Alto Rendimiento	7175	12925	5957	10259	4072	9238	5695	5591	10904	5127	9725	5180	7654
Guaymaral	6581	12102	7141	12241	4519	10177	6021	5816	11728	4425	9928	4882	7963
Kennedy	5820	9320	2855	7326	3314	8208	4799	5318	10775	5280	9772	4061	6404
San Cristóbal	7020	14342	7291	12909	4904	11260	4926	6847	13760	6630	12082	6135	9009
Tunal	6330	12059	6031	10556	3828	4149	N.R	N.R	N.R	3123	3123	N.R	6150
Promedio 2016	6585	12150	5855	10658	4127	8606	5360	5893	11792	4917	8926	5065	7436
Promedio 2015	4808	4617	4107	4096	3994	3751	4221	4064	4825	4219	3901	4492	4258
Diferencia	1777,2	7532,6	1748	6562,2	133,4	4855,4	1139	1829	6966,8	698	5025	572,5	3178

9.6 HUMEDAD RELATIVA

9.6.1 VARIACIÓN PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL

En la Tabla 9-12 se presenta la variación mensual de la humedad relativa. En correspondencia con el ONI, se muestra que en EF hubo una disminución considerable de humedad en la ciudad; en MAM incrementó la humedad con valores ligeramente superiores a 2015. En el trimestre JJA nuevamente decae asociado a su estacionalidad.

El trimestre SON registró valores significativamente superiores de humedad, comparados con el primer bimestre de 2106 y con el mismo trimestre de 2015, alcanzando valores de HR mayores del 6% comparado con 2015.

Tabla 9-12. Promedio mensual y anual de la humedad relativa en la ciudad

Estación	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	Promedio (%)
Centro de Alto Rendimiento	66,9	63,9	67,5	71,4	68,6	64,6	64,1	63,0	65,4	68,9	73,4	69,6	67,3
Guaymaral	64,9	64,2	67,3	70,7	70,7	67,8	67,0	66,6	68,0	70,4	72,5	68,0	68,2
Kennedy	62,9	58,8	61,1	68,2	66,4	61,6	62,3	60,6	62,4	65,4	70,7	67,0	64,0
Las Ferias	60,5	59,1	61,4	66,8	64,3	60,7	60,2	59,7	61,2	63,4	68,9	64,1	62,5
San Cristóbal22	53,6	54,2	56,5	62,4	60,5	59,1	59,2	58,1	58,2	59,1	64,5	59,0	58,7
Promedio 2016	61,7	60,0	62,8	67,9	66,1	62,8	62,6	61,6	63,0	65,4	70,0	65,0	64,1
Promedio 2015	60,9	62,7	65,3	63,2	62,0	64,7	62,8	61,6	58,4	60,8	65,5	58,0	62,2
Diferencia	0,2	-3,0	-2,8	4,5	3,9	-1,8	-0,2	0,0	4,6	4,6	4,5	6,9	1,9

9.7 PRESIÓN

9.7.1 VARIACIÓN DE LA PRESIÓN ANUAL

El promedio anual de la presión atmosférica en la ciudad de Bogotá, se encuentra alrededor de los 564 mmHg o 753 hPa. Como se observa en la Tabla 9-13, su variación es muy baja.

Tabla 9-13. Variación multianual de la presión Atmosférica en la ciudad de Bogotá

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio mmHg
2009	564	564	564	564	565	565	565	564	565	564	564	564	564
2010	564	564	564	565	565	565	565	565	564	564	564	563	564
2011	563	564	564	564	564	565	564	565	565	564	564	563	564
2012	564	563	564	564	564	565	564	565	565	564	564	563	564
2013	564	564	564	564	565	565	565	564	564	564	563	564	564
2014	564	563	564	564	564	564	565	565	564	564	564	564	564
2015	564	564	564	564	564	565	565	564	565	564	564	564	564
2016	564	564	565	564	565	565	565	565	565	564	563	564	564
Promedio	564	564	564	564	565	565	565	565	565	564	564	564	564

9.7.2 VARIACIÓN MENSUAL DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

El promedio mensual de la presión atmosférica tiene una mayor variabilidad. Como es natural, los meses con menores presiones corresponden con los periodos lluviosos de la ciudad y viceversa. A partir de enero se muestra un descenso que alcanza su mínimo en febrero, correlativamente con el inicio de primer periodo de lluvias de la ciudad. Luego, incrementa paulatinamente hasta lograr su máximo en junio, correspondiéndose con la disminución en los niveles de precipitación. De este modo, comienza un ligero descenso hasta el mes de septiembre, y de aquí con un decaimiento importante en la presión hasta el mes de noviembre dándole cabida al segundo periodo de lluvia de la ciudad, hasta que se incrementa nuevamente en diciembre para iniciar el ciclo Ver Figura 9-15.

Si se compara el promedio mensual desde 2009 - 2015, contra el promedio mensual de 2016, este último muestra un patrón considerablemente atípico. La presión ascendió abruptamente desde enero, alcanzando su valor medio más extremo en febrero (593,7 mmHg), generando fuerte subsidencia que confirma la intensidad de El Niño en los meses de enero hasta finales de marzo de 2016. Atípicamente, con respecto al promedio de 2009-2016, se mantuvo muy por debajo y estable desde el mes de marzo hasta finalizar el periodo. La estación de las Ferias, fue la que registro el mayor valor de presión en 2016 (653 mmHg); valor que resulta ser realmente alto con respecto al promedio de la ciudad. Los más bajos, ocurrieron hacia el sur de la ciudad, en la estación de Kennedy. Tabla 9-14 y Figura 9-15.

Tabla 9-14. Presión atmosférica mensual multianual de las estaciones de la RMCAB-2016

Estación	ene-	feb-	mar-	abr-	may-	jun-1	jul-1	ago-	sep-	oct-	nov-	dic-	Promedio mmHg
Guaymaral	564,1	564,0	564,6	564,3	564,9	565,2	564,7	564,7	564,7	563,5	563,5	563,5	564,3
Kennedy	564,0	564,1	564,4	564,0	564,8	564,8	564,4	564,4	564,4	563,5	563,1	563,5	564,1
Las_Ferías	564,8	653,0	564,9	564,6	565,5	565,5	565,2	565,2	565,2	564,1	563,8	563,9	572,1
promedio	564,3	593,7	564,6	564,3	565,1	565,2	564,8	564,8	564,8	563,7	563,5	563,6	566,9

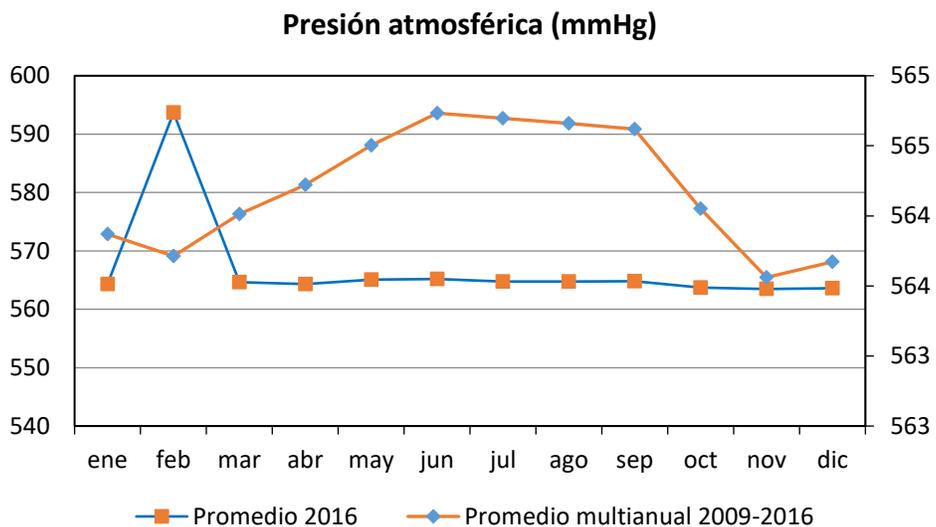


Figura 9-15. Comportamiento multianual de la presión atmosférica

10 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

10.1 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LOS EFECTOS EN SALUD POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN BOGOTÁ

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

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

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad.

Subredes Integradas de Servicios de Salud y Localidades donde realiza cobertura.

NORTE	SUR	CENTRO ORIENTE	SUR OCCIDENTE
<ul style="list-style-type: none"> • Usaquén • Chapinero • Barrios Unidos • Teusaquillo • Suba • Engativá 	<ul style="list-style-type: none"> • Usme • Ciudad Bolívar • Tunjuelito 	<ul style="list-style-type: none"> • La Candelaria • Santa Fe • Los Mártires • San Cristóbal • Rafael Uribe Uribe • Antonio Nariño 	<ul style="list-style-type: none"> • Fontibón • Kennedy • Puente Aranda • Bosa

Fuente: Secretaría Distrital de Salud. 2016

10.2 ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en países desarrollados o en los países en desarrollo. La OMS estima que en el año 2012, el 72% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior, se debieron a cardiopatía isquémica y accidente cerebro vascular, 14% se relacionaron con neuropatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores y 14% a cáncer de pulmón. Algunas muertes pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo; por ejemplo, consumo de tabaco y contaminación del ambiente pueden provocar cáncer de pulmón.

a. Efectos en la salud por PM₁₀ y PM_{2.5}

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el aumento de la mortalidad o morbilidad. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios.

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen orientaciones generales relativas a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM₁₀) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico (µg/m³) es posible reducir en 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Varios son los eventos de salud de las poblaciones que se han asociado con la contaminación del aire, entre ellos se destacan las enfermedades del sistema respiratorio como el asma, la EPOC y las infecciones, pero también se han estudiado efectos sobre el sistema cardiovascular, el cáncer de órganos blanco diferentes al pulmón, resultados adversos en la gestación o alteraciones en el desarrollo de los niños (Laumbach, 2010). Varios aspectos relacionados con los cambios morfológicos y funcionales de las personas mayores pueden contribuir a aumentar su vulnerabilidad al exponerse a los contaminantes del aire.

Enfermedades respiratorias en niños: La principal vía de ingreso de los contaminantes atmosféricos al organismo es la vía respiratoria, por lo que es lógico que las patologías que más se han asociado con estos sean las respiratorias. Diversos estudios han demostrado asociación entre la exposición a material particulado (medido como PM₁₀, PM_{2.5}) y gases contaminantes del aire, con un aumento de la frecuencia de la morbilidad y la mortalidad por enfermedades respiratorias como el asma (Barnett, 2005) Síndrome Broncoobstructivo (SBO), bronquiolitis (Mieke *et al.*, 2008), (Curtis *et al.*, 2006) y las infecciones respiratorias en niños (Alvis y De La Hoz 2008). Existe evidencia de que la contaminación del aire está asociada con enfermedad respiratoria, en especial en niños menores de 14 años y que de éste grupo poblacional el más susceptible es el de los menores de 5 años (Gauderman, 2006).

Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Personas Mayores: Estudios realizados en Asia y Norteamérica han demostrado que en las personas mayores la exposición a niveles bajos o moderados de contaminantes del aire aumentan la frecuencia de morbilidad respiratoria tipo asma, bronquitis y EPOC, esta asociación se ha demostrado tanto para PM₁₀, como para PM_{2.5}. También se ha demostrado una asociación entre el aumento de la concentración de los contaminantes criterio y una mayor frecuencia de eventos cardiovasculares en las personas mayores (Villeneuve *et al.*, 2003), algunos estudios señalan al PM_{2.5} como el factor que presenta una mayor fuerza de asociación con estos efectos (Julio *et al.*, 2009), los estudios midieron los efectos a través de sistemas de registro de consulta a urgencias o ingresos hospitalarios y se midió la mortalidad a través de los registros de hechos vitales.

b. Efectos en la salud por monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono, exposición a dióxidos de azufre

Los estudios han mostrado que, en la población de niños, los contaminantes ambientales incluyendo el ozono, (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) contribuyen a la ocurrencia de síntomas respiratorios, cambios en la función pulmonar, aumento en las infecciones respiratorias e incremento en las consultas de urgencia, hospitalizaciones y mortalidad. Así mismo se ha evidenciado el efecto de la contaminación del aire en el ausentismo escolar medido este como impacto del efecto adverso de la contaminación del aire (Guilliland 2001).

Se ha valorado el efecto de diversas formas, en algunos casos han evaluado la frecuencia de síntomas respiratorios y su relación con los niveles de los contaminantes más comunes (PM_{10} o $PM_{2.5}$, O_3 , CO , SO_2 , NO_2), la frecuencia de patologías específicas como el asma o la bronquiolitis (Mieket *et al.*, 2008) a través de los sistemas de registro de los servicios de urgencias, hospitalización o consulta externa asociando el aumento de estos eventos con una mayor concentración de los contaminantes mencionados; de hecho, se afirma que puede empeorar la sintomatología relacionada con asma incluso con niveles de PM_{10} , CO , O_3 , NO_2 , SO_2 por debajo de las normas EPA de EEUU (Van Hee *et al.*, 2010). Estos hallazgos se han demostrado tanto para la contaminación intramural como para la extramural (Alvis y De La Hoz 2008).

Investigaciones realizadas en Europa, Norte y Centro América sobre la asociación entre el resultado final del embarazo y la contaminación del aire con CO , SO_2 , Formaldehído, PM_{10} , NO_2 , han estudiado diversos efectos como el aumento de la frecuencia de partos pretérmino, el retardo en el crecimiento intrauterino, el bajo peso al nacer, mortalidad de los recién nacidos, síndrome de muerte súbita, y malformaciones congénitas 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.

Enfermedades Respiratorias y Cardiovasculares en Personas Mayores: Estudios han demostrado que en las personas mayores la exposición a niveles bajos o moderados de contaminantes del aire aumentan la frecuencia de morbilidad respiratoria tipo asma, bronquitis y EPOC; esta asociación se ha demostrado para O_3 , SO_2 y NO_2 , aunque los resultados para este último no han sido consistentes (Sun *et al.*, 2007) (Curtis *et al.*, 2006). La medida de frecuencia de la enfermedad usada en estos estudios fue la incidencia de asma y bronquitis y la tasa de ingresos hospitalarios para la EPOC.

10.2.1 PROBLEMÁTICA EN BOGOTÁ

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

Durante el año 2016, se atendieron en la ciudad 1.593.747 personas que consultaron por afecciones relacionadas con la infección respiratoria en 811 Instituciones Prestadoras de Salud (IPS), presentando un incremento de casos del 1%(16.124) respecto del año 2015; de éstas, el 33%(518.362) eran menores de cinco años, el 17%(278.164) de 5 a 19 años, el 26%(409.138) de 20 a 39 años, el 15%(239.160) de 40 a 59 años y el 9%(148.923) mayores de 60 años.

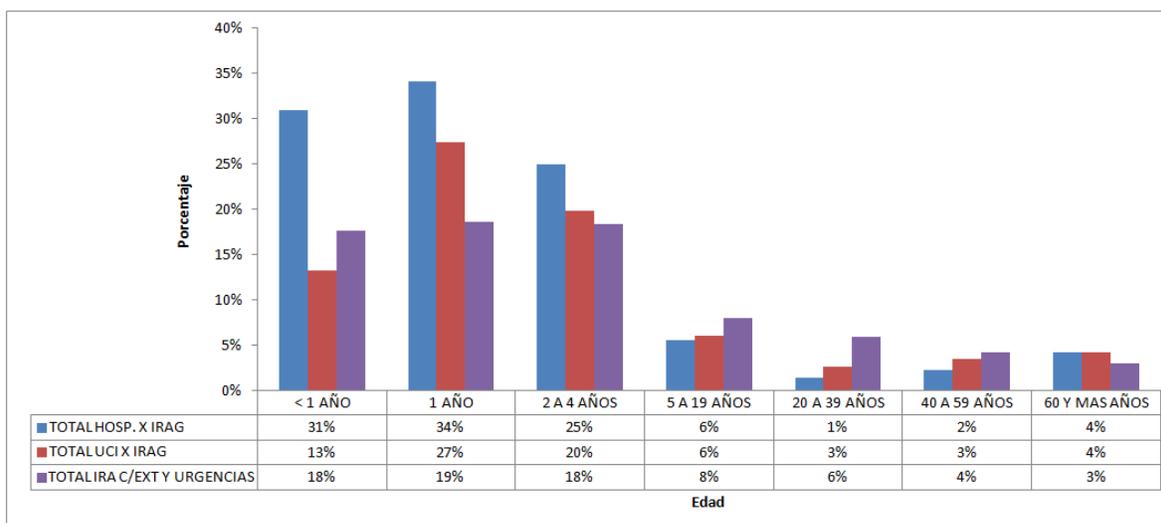


Figura 10-1 Distribución de la morbilidad por IRA en Bogotá D.C, según servicio que presta la atención del caso, año 2016. (Fuente: Base Sivigila distrital-Vigilancia IRA a semana epidemiológica 52 de 2016)

El 95% (1.515.508) de los casos se atendió en los servicios de consulta externa y urgencias de 811 instituciones prestadoras de salud notificadoras; el 4,5%(72.968) requirieron hospitalización por cuenta de la agudización del cuadro clínico y menos del 0,5%(5.271) requirieron Unidad de Cuidado Intensivo (UCI) principalmente los menores de cinco años en un 67%(3.528) de los casos; del total de hospitalizados, el 66%(48.421) fueron menores de cinco años, 10%(7.621) de 5 a 19 años, 6%(4.067) de 20 a 39 años, 5%(3.766) de 40 a 59 años y el 12%(9.093) mayores de 60 años.

Es importante precisar que los casos relacionados correspondieron a los diagnósticos CIE 10 (Clasificación Internacional de Enfermedades), que van del código J00 a J22 (*Infecciones aguda de las vías respiratorias superiores: J00-J06; Influenza y neumonía: J10-J18; Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores: J20-J22*), los cuales fueron reportados a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (Sivigila), durante los años 2010 a 2016, por lugar de atención de los casos (localidad que notifica), atendiendo a lo establecido en el Protocolo Nacional de Vigilancia⁷.

⁷ *Vigilancia de morbilidad por IRA: "La vigilancia de la morbilidad por IRA se realizará en todas las instituciones de salud de todos los niveles de atención; corresponde a la notificación semanal, colectiva por grupos de edad de casos de IRA en los servicios de consulta externa y urgencias, hospitalización general, hospitalización en UCI del total de casos atendidos"*

La Secretaría Distrital de Salud, realizó un estudio entre el 2008 y 2011, para conocer la incidencia de los síntomas respiratorios y su asociación con la exposición a la contaminación del aire, en cinco localidades de Bogotá. Los resultados del mismo, evidenciaron que los síntomas respiratorios asociados a las vías respiratorias inferiores, como la tos y las sibilancias, tuvieron una mayor relación con la exposición a niveles elevados de material en partículas en el ambiente intramural. Se presentó 15% más de casos de tos y más del doble de casos de sibilancias ($RR=2,29$; $IC95\% 1,78-3,00$) en el grupo más expuesto en comparación con el menos expuesto. Este efecto se vio potenciado por la exposición a factores de contaminación intramuros, como el humo de segunda mano y la presencia de fábricas en el interior de las viviendas. Algunos factores asociados a las características socioeconómicas y a ciertos hábitos (lecho compartido y el antecedente de bajo peso al nacer), también tuvieron relación con una mayor incidencia de síntomas respiratorios. Además, si bien varias fuentes de exposición a la contaminación extramuros situadas a menos de 100 metros de la vivienda, como la circulación de tráfico pesado (buses, busetas y camiones), no tuvieron un impacto sobre la incidencia de los síntomas respiratorios de manera aislada, el efecto agregado de la exposición a material en partículas en el ambiente intramural se asoció con un incremento de los síntomas. Estos hallazgos concuerdan con lo que se conoce sobre los efectos de la contaminación por material en partículas y los síntomas respiratorios.

Los resultados anteriores han permitido plantear y formular recomendaciones de política pública para la reducción del impacto negativo de la contaminación del aire en la población infantil de Bogotá, las cuales deberán ir encaminadas al fortalecimiento de la vigilancia ambiental y los sistemas de alerta temprana en salud; educación sanitaria de padres y cuidadores; mejoramiento de vías; reducción de la inequidad y de la segregación socioespacial; uso de combustibles limpios, estrategias para la reducción del consumo de tabaco en los hogares y planificación del ordenamiento territorial en la ciudad.

10.3 VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA

10.3.1 MORTALIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA

En relación al comportamiento de la mortalidad por enfermedad respiratoria en menores de 5 años, para el año 2016 se presentaron 78 casos; el 22% de los casos de mortalidad infantil se concentró en la localidad de Ciudad Bolívar, seguida por Suba y Usme con el 12% cada una y en tercer lugar las localidades de Bosa y Engativá con el 9% cada una; precisando que frente a la distribución geográfica, el 22% de los casos de mortalidad infantil se concentran en 43 UPZetas en el Distrito Capital. Respecto a la presencia de estos casos en relación con los niveles de contaminación del aire, se evidencia que 17 casos se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición de contaminación del aire por PM10 en Bogotá como se muestra en la Figura 10-2

por todas las causas, y el número de muertes por IRA del total de muertes por todas las causas". en: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/SubdireccionVigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/PRO%20Infeccion%20Respiratoria%20Aguda%20IRA.pdf>

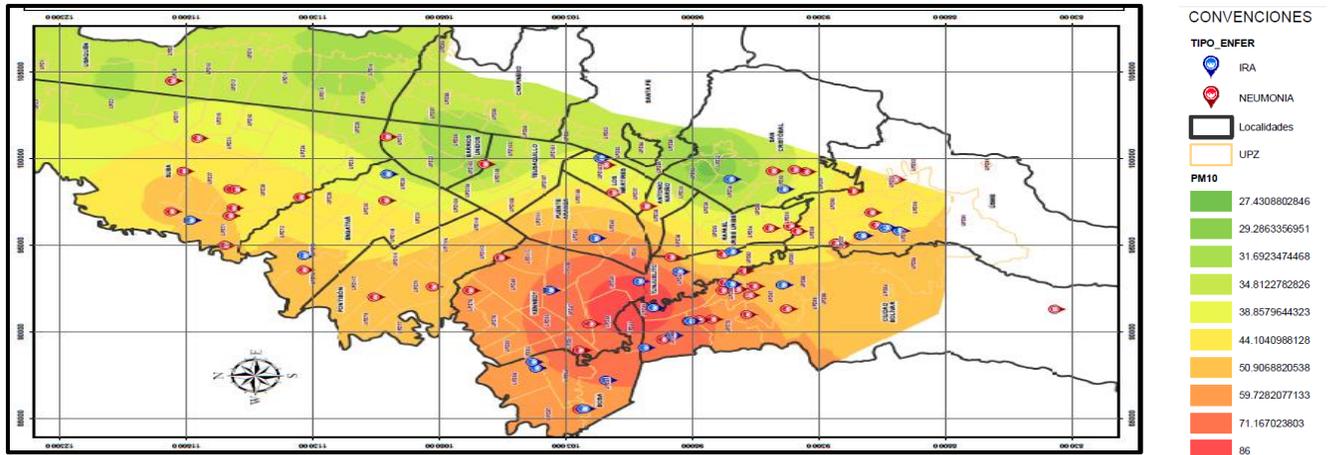


Figura 10-2 Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años en Bogotá 2016
Fuente: Red de monitoreo de calidad del aire material particulado SDA 2016 -Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND 2016* (*PRELIMINARES)

Como vemos en la Figura 10-3, se observan algunos de los resultados de la caracterización de las mortalidades por IRA en Bogotá en el año 2016, con los respectivos factores de riesgos identificados durante la vigilancia epidemiológica.



Figura 10-3 Caracterización Mortalidad por IRA en Bogotá D.C. 2016. (Fuente: Análisis de Mortalidades por Infección Respiratoria Aguda. Bogotá 2016)

Ahora bien, observando la Figura 10-4 donde consideramos los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, durante el 2016 se evidencia que los meses de Enero a Marzo se presentan picos en las concentraciones de PM_{2.5} especialmente en las SE2 a la SE13 los cuales exceden los niveles establecidos en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS que corresponde a 25 µg/m³ para las 24

horas, se resalta también que el pico máximo se da entre las SE10 y SE12 y el segundo pico con aumento paulatino se presenta entre la SE33 a la SE49, alcanzando el pico máximo entre las SE43 y SE44. Posteriormente en período comprendido entre la SE14 y SE31 se observan concentraciones entre los 11-16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dicho descenso se puede presentar por el considerable aumento de la precipitación que se dio en las SE10, este comportamiento da entrada al mes de abril que normalmente es el mes más húmedo de la primera temporada lluviosa del año y se replica nuevamente en la SE43 y SE44, donde la precipitación muestra un aumento considerable. Finalmente, la temperatura promedio para el año 2016 presentó un comportamiento estable a lo largo del año y se mantuvo entre los 15°C y no superó los 17°C.

Como vemos entonces en el año 2016 durante el primer trimestre del año se presentaron concentraciones altas de $\text{PM}_{2.5}$ en las diferentes estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, si evaluamos las proporción de excedencia diarias con respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS, se encuentra que para el 2016 se tiene un 32% de registros que exceden; lo cual puede redundar en el estado de salud de la población Bogotana especialmente en niños menores de 5 años dado que en la investigación “Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá”, mostró que un aumento en la concentración de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de material particulado PM_{10} puede producir un aumento de al menos el 8% en el número de consultas por enfermedad respiratoria aguda en niños menores de 14 años. (Pedro Iván Solarte MD, 2002)

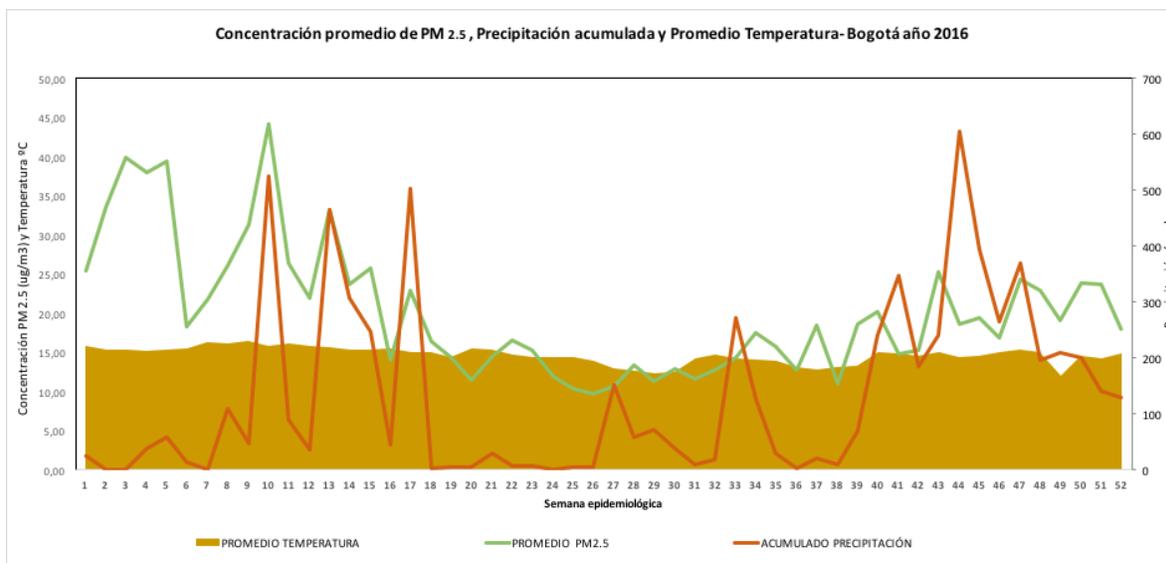


Figura 10-4 Concentración promedio $\text{PM}_{2.5}$, precipitación acumulada y promedio temperatura Bogotá año 2016. (Fuente: Temperatura, Precipitación y $\text{PM}_{2.5}$: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016)

10.3.2 MORBILIDAD POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA

a. Morbilidad Atendida

Para el año 2016, se reportaron un total de 1.593.747 casos de enfermedad respiratoria aguda en todos los grupos de edad reportados por el sistema de vigilancia epidemiológica SIVIGILA, en donde el 52% se presentaron en el primer semestre del año. Adicionalmente, durante el año 2016 se notificaron 52.170 casos atendidos de Enfermedad Respiratoria Aguda en menores de 5 años en las 118 salas ERA en el Distrito Capital, donde se tratan sintomatologías como: bronquilitis, bronquitis, laringotraqueitis, neumonía y síndrome broncoobstrutivo crónico - SBOR de los cuales se evidencia un aumento del 5,4% con respecto al año 2015 (n=49492) y del 9,6% con respecto al año 2014 (n=47581). Los meses con mayor número de casos atendidos fueron Mayo (n=8316), seguido de Marzo (n=6724) y Abril (n=6616), meses en los que se registra el primer pico respiratorio del año, coincidiendo con el incremento en la precipitación de lluvias para el mes de marzo, de acuerdo a la información obtenida en la Secretaría de ambiente a través del monitoreo de la calidad del aire para los periodos comparados. Respecto a las localidades de mayor notificación en el año 2016, corresponden a Chapinero (n=24.016), seguido por Suba (n=5149) y Usaquén (n=3957), dado que presentan el mayor número de salas ERA operando en la ciudad. La localidad de Candelaria durante el año 2016 no atendió casos y la localidad de Sumapaz reportó 3 casos, Los Mártires 20 casos y Antonio Nariño 75 casos. Es importante aclarar que estos casos son notificados de acuerdo a la localidad del punto de atención y no por localidad de residencia del niño y niña, así como el nivel de atención y ubicación de las UPGD en áreas determinadas de la ciudad. Es así que el 57% de los casos se atendió en el primer semestre del año; sin embargo en el segundo semestre se presentó la mayor ocurrencia de lluvia (4.417 mm de lluvia acumulada) y la mayor concentración promedio de contaminación del aire por material particulado PM_{2.5} (24 ug/m³) en el primer semestre como se evidencia en la Figura 10-5.

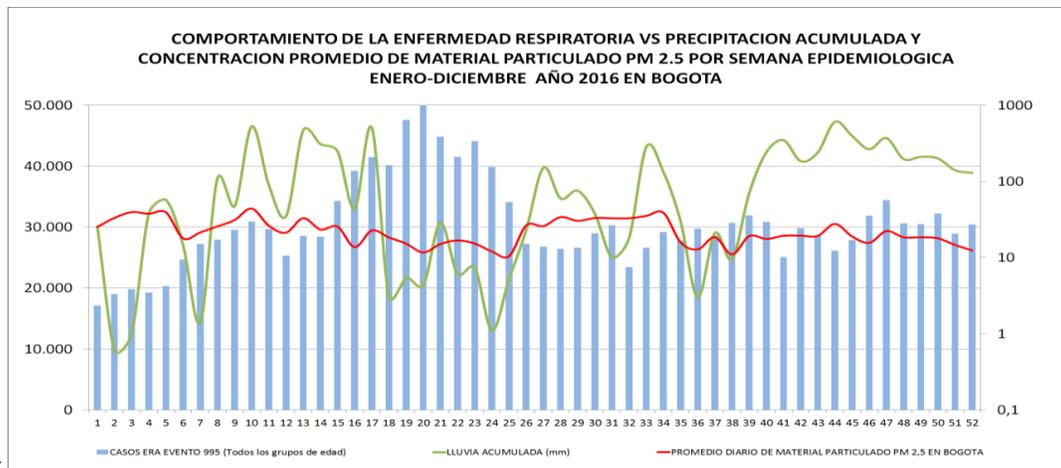


Figura 10-5 Comportamiento de la notificación en salas ERA Versus precipitación acumulada y concentración promedio de material particulado PM_{2.5} por semana epidemiológica en Bogotá año 2016. Fuente: Precipitación y PM 2.5: Red de monitoreo de calidad del aire SDA 2016. Base SIVIGILA evento 995 información Preliminar

b. Morbilidad Sentida

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y adulto mayor de 60 años; esta vigilancia centinela se realiza por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire. En el año 2016 se analizó una muestra de 4.614 menores de 5 años, los cuales fueron discriminados de acuerdo a la exposición a contaminación del aire de las unidades centinela (jardines infantiles) del área urbana de Bogotá, correspondiente al 50.3% (n=2323) de mayor exposición y menor exposición 2.291 (49,7%). La mayor parte de la población pertenecía al estrato 2 (47,44%; n= 2189), seguido del estrato 3 (32,2%; n= 1477) y el estrato 1 (16,8%; n=777), de acuerdo al sexo del menor el 47,9%(n=2211) corresponden al género femenino y el 52,1%(n=2403) al género masculino y por último la media de edad de los menores corresponde a 38 meses variando en un rango de 1 a 59 meses. Las características demográficas se presentan en la Tabla 10-1

Tabla 10-1 Caracterización sociodemográfica distribución por estrato y sexo, unidades centinela Bogotá 2016.

ESTRATO	SEXO			EDAD EN MESES
	FEMENINO	MASCULINO	Total	Media - Desviación estándar
1	378 (48,5%)	401 (51,5%)	777	
2	1061 (48,5%)	1128 (51,5%)	2189	
3	694 (47,0%)	783 (53,0%)	1477	
4	72 (45,6%)	86 (54,4%)	158	
5	5 (62,5%)	3 (37,5%)	8	
6	1 (33,3%)	2 (66,7%)	3	
Total	2211 (47,9%)	2403 (52,1%)	4614	

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Desde el año 2013 se comenzó a realizar la vigilancia epidemiológica y ambiental de contaminación del aire en todas las localidades de Bogotá, mediante el desarrollo de un diseño epidemiológico transversal, por medio del cual se estudia la presencia de síntomas respiratorios y sus posibles factores asociados a través de la aplicación de una encuesta de prevalencia basada en el cuestionario ISAAC (*The International Study Asthma and Allergies in Childhood*). Cabe resaltar que entre los efectos en salud a largo plazo por contaminación del aire se contempla el incremento de la sintomatología respiratoria, la disminución de la función pulmonar y el descenso de la esperanza de vida en relación con la enfermedad cardiorrespiratoria crónica y el cáncer de pulmón. (Alvarez-Sala, 2011). Por otra parte según un estudio realizado en el área urbana de Ulaanbaatar-Mongolia la contaminación atmosférica en invierno causó la exacerbación de la sintomatología respiratoria y el empeoramiento del estado de salud de los individuos con insuficiencia respiratoria que han vivido por más de 40 años en el distrito Ger. (Y. Ishihara, 2016). Los síntomas respiratorios más relacionados a los contaminantes del aire intra y extradomiciliario son las sibilancias y la tos seca, que se asocian al diagnóstico de asma bronquial; el asma es una afección de las vías respiratorias caracterizada por la inflamación crónica de la vía aérea causando su estrechamiento y produciendo mayores

cantidades de mucosa de lo normal, lo cual dificulta la respiración, causando la aparición de diferentes síntomas como las sibilancias reconocidas como un silbido en el pecho, que la mayoría de las veces se acompaña de dificultad para respirar. En la Tabla 10-2 se presenta la prevalencia de los síntomas respiratorios analizados.

Tabla 10-2 Prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Bogotá 2016

SINTOMA	Tipo de exposición		Total	
	Mayor	Menor	Número de Casos	(%)
	N (%)	N (%)		
MOCOS/NARIZ TAPADA ULTIMO AÑO	692 (15%)	562 (12,2%)	1254	27,2
SIBILANCIAS ALGUNA VEZ	693 (15%)	597 (12,9%)	1290	28,0
SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO	270 (5,9%)	216 (4,7%)	486	10,5
AUSENTISMO ESCOLAR	648 (14%)	547 (11,9%)	1195	25,9
TOS EN EL ULTIMO AÑO DIFERENTE A LA TOS POR GRIPE	506 (11%)	347 (7,5%)	853	18,5
TOS DURANTE EL EJERCICIO	324 (7%)	289 (6,3%)	613	13,3
TOS POR RISA/LLANTO	240 (5,2%)	203 (4,4%)	443	9,6
DESPIERTA POR TOS EN EL ULTIMO MES	381 (8,3%)	289 (6,3%)	670	14,5
Total	2323 (50,3%)	2291 (49,7%)	4614	100,0

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Para el año 2016 la prevalencia de sibilancias en el último año fue de 10,5% (n=4614), siendo las localidades de Tunjuelito con 18,3 % (n=465), Los Mártires con 17,3%(n=110) y Ciudad Bolívar con 17,4% (n=403) las que presentaron las prevalencias más altas. Por otro lado la prevalencia de tos diferente a la tos por gripe fue del 18,5% (n=4611), siendo las localidades con las más altas prevalencias Fontibón con 53,1% (n=177), Usaquén con 42,7% (n=548) y Kennedy con 36,1% (n=205) y por último la prevalencia de mocos/nariz tapada acompañado por lagrimeo y rasquiña en los ojos en el último año fue de 27,2% (n=4613), siendo las localidades de Puente Aranda con 69,4% (n=180), Kennedy con 64,4% (n=205) y Engativá con 42,9% (n=336) las que obtuvieron las prevalencias más altas.

En relación a la historia de exposición a tóxicos se observa que el 22,7% (n=4614) de los menores conviven con alguna persona que fuma y el 8,0% (n=4614) lo realiza en presencia del niño(a). La frecuencia de casos de sibilancias en el último año se relaciona con las exposiciones ambientales a contaminación atmosférica e intramural por exposición a agentes químicos como humo de segunda mano, material particulado, combustibles sólidos y biológicos tales como ácaros y moho, esto se presenta en unas condiciones sociodemográficas específicas que establece la vulnerabilidad de la población habitante de las localidades de Bogotá. En los mapas correspondientes a la Figura 10-6, Figura 10-7, Figura 10-8 y Figura 10-9, se muestra dicha relación.

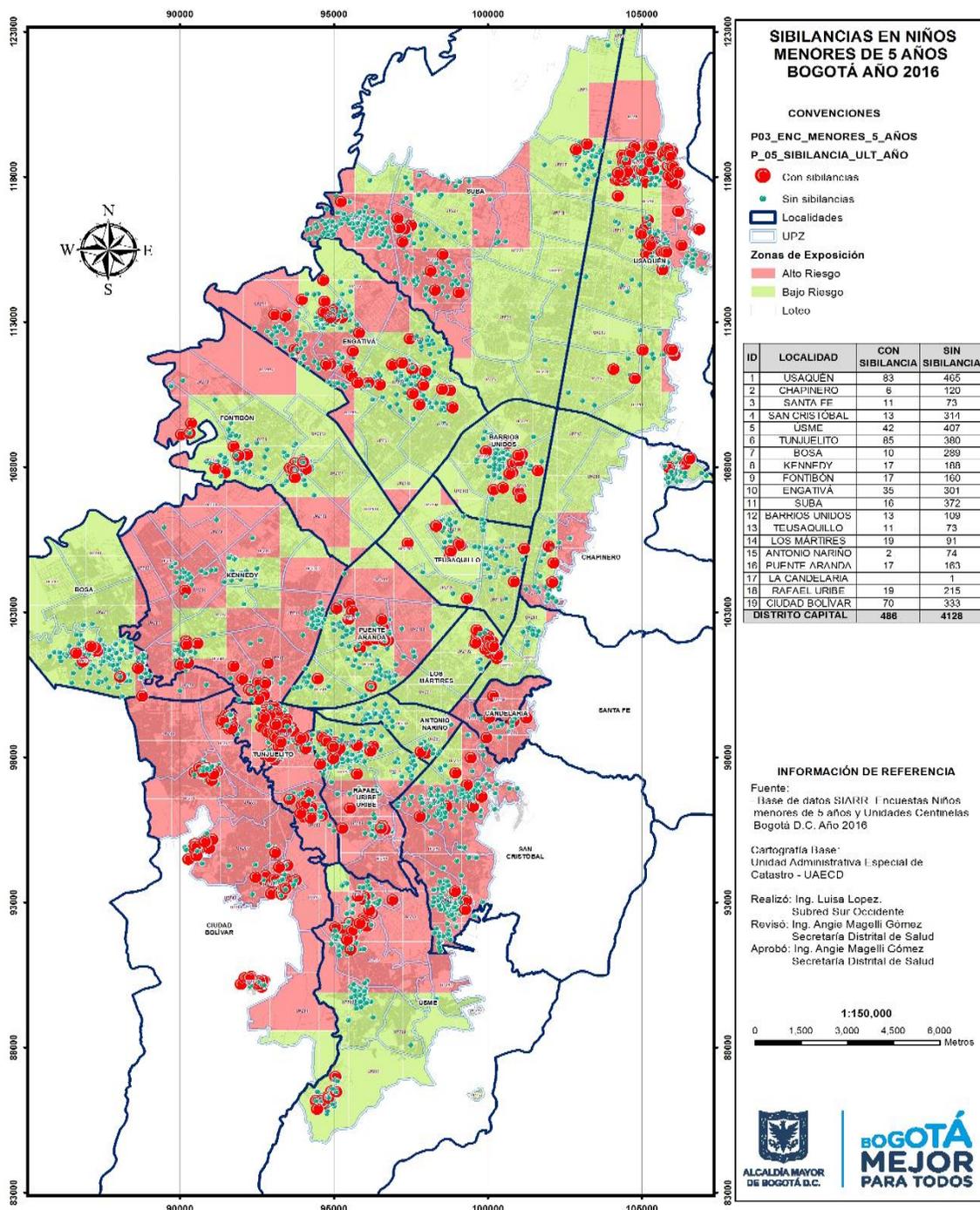


Figura 10-6 Frecuencia de casos de sibilancias en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

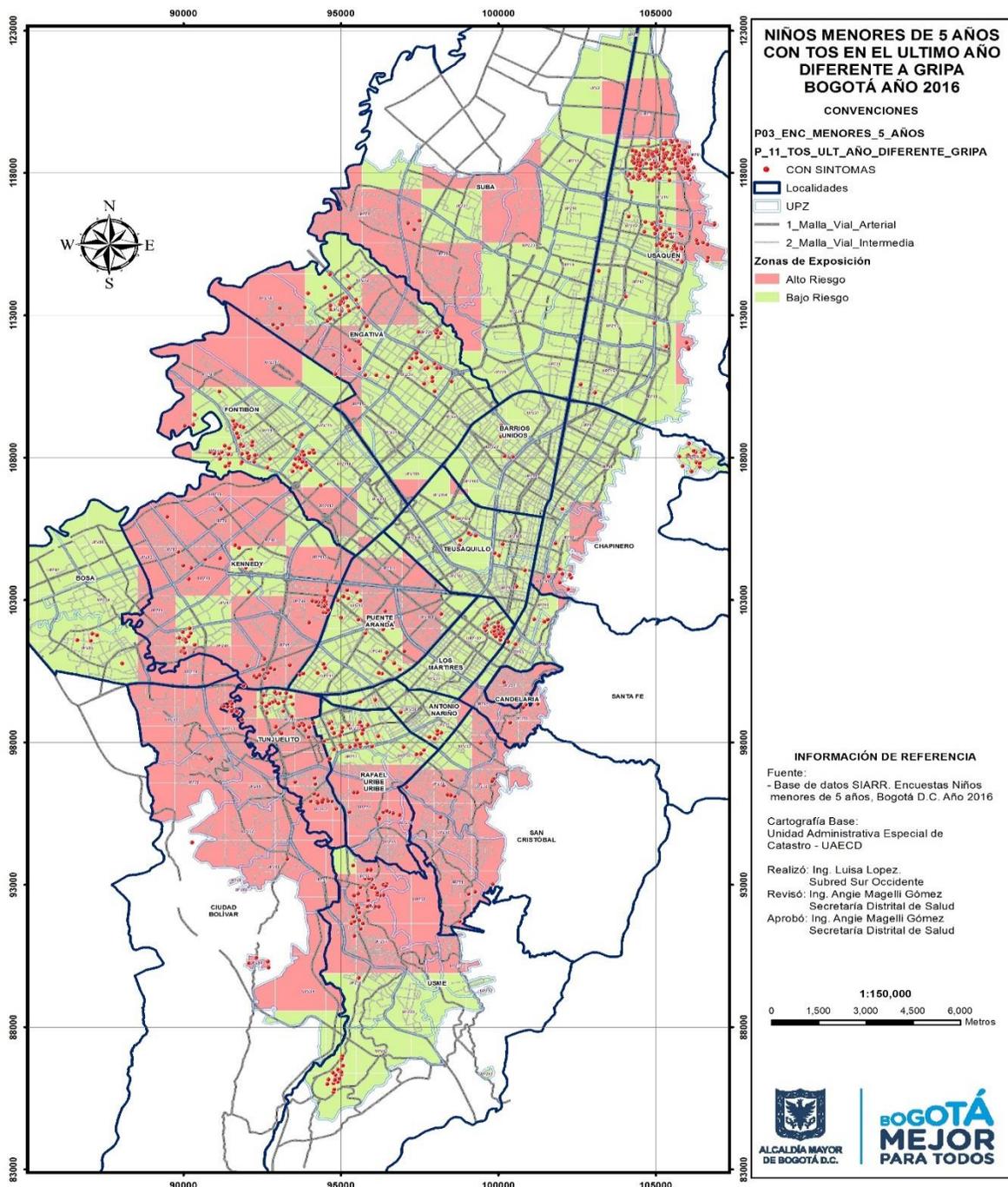


Figura 10-7 Frecuencia de casos de tos en el último año en menores de 5 años según la exposición de la unidad censal. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

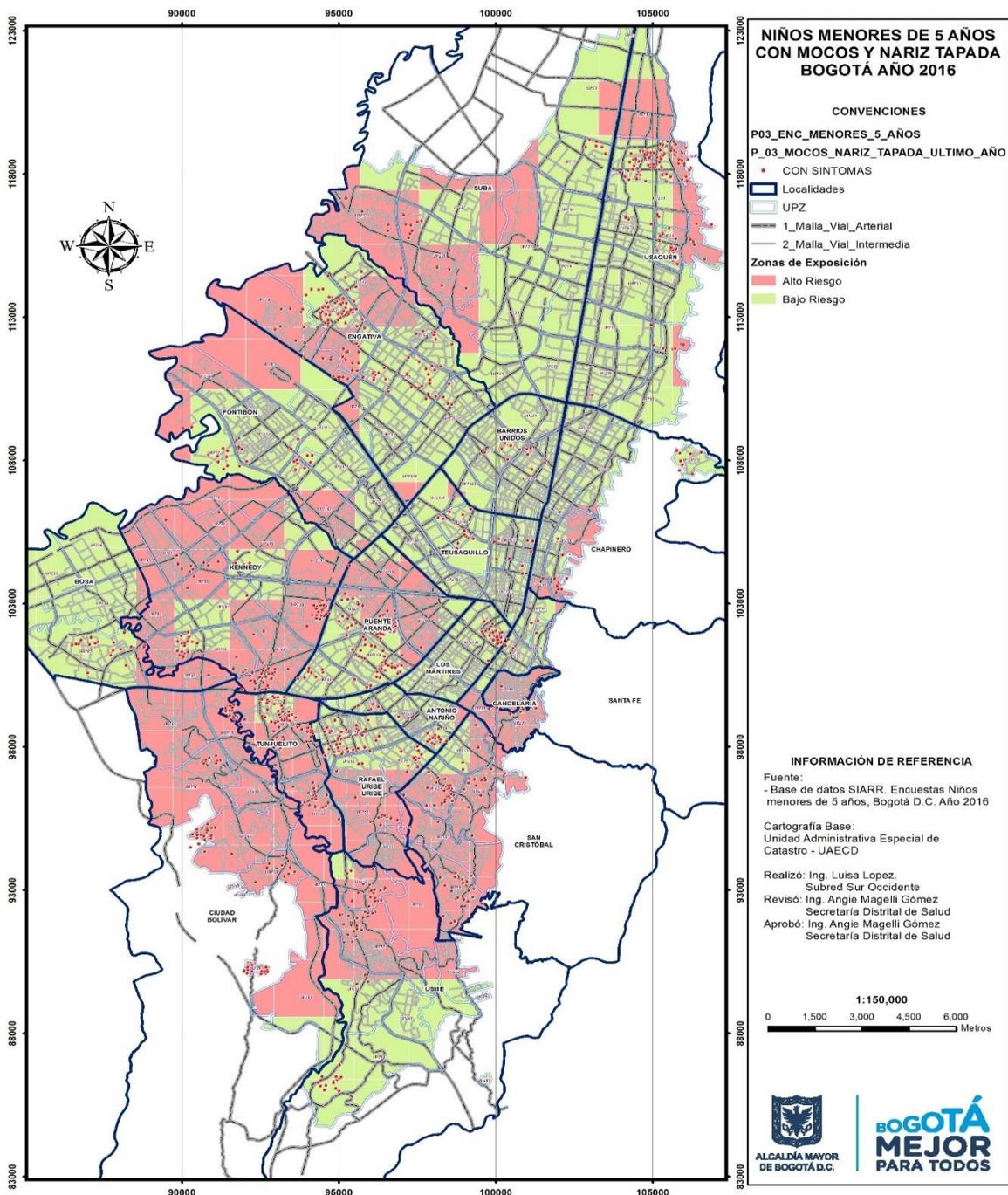


Figura 10-8 Frecuencia de casos de mocos y nariz tapada en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

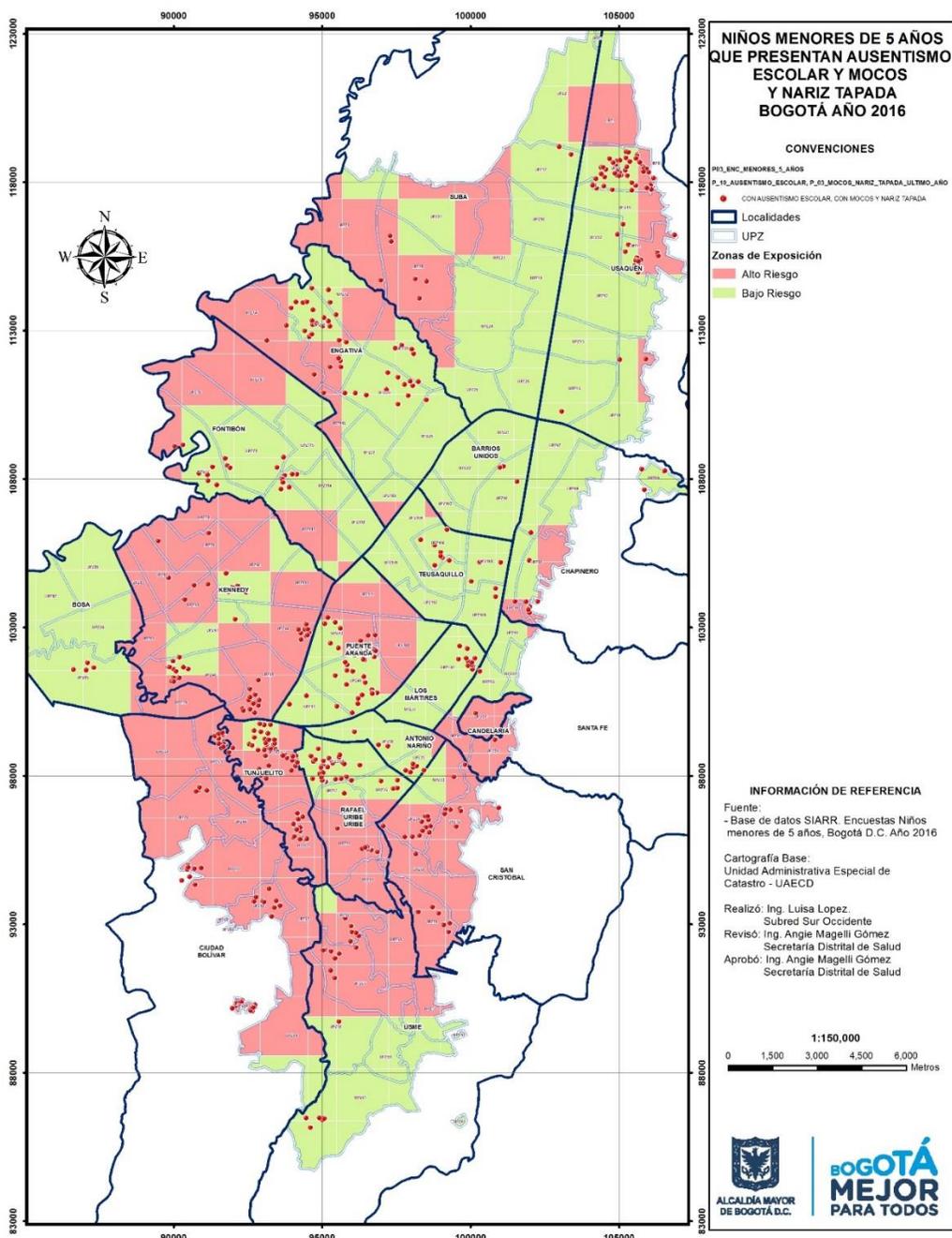


Figura 10-9 Frecuencia de casos de ausentismo escolar por sintomatología respiratoria en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela. (Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

Tabla 10-3 Razón de prevalencias de los síntomas respiratorios en menores de 5 años según la exposición de la unidad centinela.

SINTOMAS	Exposición	RP (IC 95%)	p
----------	------------	-------------	---

	Mayor	Menor	Total		
	692	562	1254	1,214	
	29,80%	24,50%	27,20%	(1,104 1,335)	
	693	597	1290	1,145	
	29,80%	26,10%	28,00%	(1,043 1,256)	
	270	216	486	1,233	
	11,60%	9,40%	10,50%	(1,041 1,460)	
	648	547	1195	1,169	
	27,90%	23,90%	25,90%	(1,060 1,290)	
	506	347	853	1,44	
	21,80%	15,10%	18,50%	(1,272 1,630)	
	324	289	613	1,109	
	14,00%	12,70%	13,40%	(0,957 1,285)	
	240	203	443	1,166	
	10,30%	8,90%	9,60%	(0,976 1,393)	
	381	289	670	1,3	
	16,40%	12,60%	14,50%	(1,129 1,498)	

*Estas diferencias son significativas desde el punto de vista estadístico.

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

En la Tabla 10-3 se observa una asociación estadísticamente significativa entre la unidad centinela de mayor exposición y la aparición de sintomatología respiratoria como mocos y nariz tapada, sibilancias alguna vez, sibilancias en el último año, ausentismo escolar, tos en el último año diferente a gripe y despertar por tos en el último mes, por ejemplo en el caso de los menores que estudian en un colegio o jardín ubicado en una zona de mayor exposición a contaminación del aire se incrementa en un 21,4% la prevalencia de mocos/nariz tapada acompañado por lagrimeo y rasquiña en los ojos en el último año, sibilancias alguna vez en un 14,5%, sibilancias en el último año en un 23,3%, tos en el último año en un 44% y por último ausentismo escolar en un 16,9%, esto se da con respecto a los menores que estudian en una zona de menor exposición a la contaminación del aire. A continuación se analizarán los síntomas sibilancias y tos en el último año y los factores posiblemente asociados a estos.

a) *Sibilancias en el último año*

Tabla 10-4 Comportamiento de la presencia de sibilancias respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.

PREVALENCIA DE SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO			
	SI	NO	
	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	
Alguien que convive con el menor fuma	118 (11,3%)	928 (88,7%)	1,093 (0,899-1,330)*
Humo de segunda mano	50 (13,6%)	319 (86,4%)	1,319 (1,004-1,733)*
Tabaquismo embarazo	25 (24,3%)	78 (75,7%)	2,372 (1,668-3,372)*
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	133 (15,2%)	743 (84,8%)	1,605 (1,333-1,931)*
Madre fumo durante los dos primeros años de vida del menor	38 (20,2%)	150 (79,8%)	1,996 (1,483-2,687)*
Exposición a sustancias tóxicas	52 (16,1%)	270 (83,9%)	1,597 (1,226-2,080)*
SOCIODEMOGRAFICO			
Sexo Masculino	261 (10,9%)	2142 (89,1%)	1,067 (0,902-1,263)
Bajo Peso al nacer	88 (13,8%)	550 (86,2%)	1,384 (1,116-1,717)*
No lactancia materna exclusiva	43 (11,7%)	326 (88,3%)	1,118 (0,833-1,501)
Déficit cualitativo de vivienda	37 (14,9%)	211 (85,1%)	1,451 (1,064-1,978)*
INTRADOMICILIARIO			
Colecho	230 (12,1%)	1665 (87,9%)	1,145 (0,952-1,377)
Humedad en la vivienda	97 (15,7%)	521 (84,3%)	1,612 (1,312-1,980)*
Animales domésticos en la vivienda	195 (12,5%)	1362 (87,5%)	1,314 (1,108-1,559)*
Fabrica en la vivienda	87 (14,9%)	497 (85,1%)	1,505 (1,213-1,866)*
Secado de ropa Intradomiciliario	214 (11,5%)	1644 (88,5%)	1,167 (0,985-1,382)*
Exposición a tráfico pesado	203 (12,8%)	1385 (87,2%)	1,367 (1,153-1,620)*
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	140 (16,3%)	719 (83,7%)	1,769 (1,475-2,121)*

*Estas diferencias son significativas a nivel estadístico. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética SDS.2016

En la Tabla 10-4 se publica una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de sibilancias en el último año en los menores de cinco años y algunos factores sociodemográficos (Bajo peso al nacer, déficit cualitativo de vivienda), intradomiciliarios (humedad en la vivienda, tenencia de mascotas, fábricas o negocios en la vivienda, secado de ropa intradomiciliario, tráfico pesado a menos de 100 metros de la vivienda y malla vial deteriorada o edificaciones en construcción) y de exposición a tóxicos (Tabaquismo en los hogares, tabaquismo pasivo y tabaquismo en mujeres embarazadas). Para analizar la

asociación de cada uno de los factores evaluados con relación a las sibilancias en el último año se realizó un análisis multivariado usando la regresión logística binaria, los resultados se muestran en la Tabla 10-5.

Tabla 10-5 Análisis multivariado de sibilancias en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.

SIBILANCIAS EN EL ÚLTIMO AÑO		
VARIABLE	COEFICIENTE BETA	OR (IC95%)
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	0,533	1,705 (1,369-2,122)
Tabaquismo embarazo	0,781	2,184 (1,339-3,564)
Humedad en la vivienda	0,347	1,415 (1,104-1,814)
Exposición a tráfico pesado	0,283	1,327 (1,092-1,612)
Colecho	0,317	1,373 (1,064-1,772)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	0,264	1,302 (1,031-1,644)
Exposición a sustancias tóxicas	0,330	1,391 (1,009-1,917)

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Según la organización mundial de la salud (OMS) cada año mueren más de tres millones de menores de cinco años por causas y afecciones relacionadas con el medio ambiente. De acuerdo a la Tabla 5 no se observó una asociación estadísticamente significativa entre la contaminación atmosférica y la presencia de sibilancias en los menores de cinco años, sin embargo los niños que habitan a menos de 100 metros de vías con tráfico pesado poseen 32,7% veces más probabilidad de presentar sibilancias en el último año, siendo el tráfico vehicular uno de los principales causantes de la contaminación del aire en la ciudad, cabe señalar que de acuerdo a un estudio realizado en Londres la prevalencia de sibilancias, eccema y de asma no se asoció con los niveles de contaminación del aire (Helen E. Wood, 2015), por lo tanto los resultados pueden resultar consistentes. Otros factores a nivel intradomiciliario que resultaron asociados con la aparición de sibilancias son habitar a menos de 100 metros de edificios o vías en construcción, humedad en la vivienda y el colecho. En cuanto a la exposición a tóxicos se observa una asociación estadísticamente significativa entre el tabaquismo durante el embarazo y la presencia de sibilancias en los menores.

b) Tos en la noche aparte de la tos por infecciones respiratorias como gripe, bronquitis o neumonías

La exacerbación de sintomatología respiratoria como la tos, hace parte de los efectos en salud a corto plazo por exposición a contaminación atmosférica, no obstante este síntoma puede estar asociado a otros factores intramurales o sociodemográficos. En la Tabla 5, se muestra que estudiar en una unidad centinela de mayor exposición incrementa la prevalencia de tos en el último año diferente a la tos por gripe en un 44% en los menores de cinco años, sin embargo es necesario analizar otros factores que pueden estar asociados con la aparición de sintomatología respiratoria en los menores de cinco años, estos resultados se observan en la Tabla 6.

Tabla 10-6 Comportamiento de la presencia de tos en el último año respecto a algunos factores asociados en menores de 5 años.

PREVALENCIA DE TOS EN EL ULTIMO AÑO			
	SI	NO	
	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	Frecuencia Absoluta (frecuencia relativa)	
Alguien que convive con el menor fuma	198 (19,0%)	846 (81,0%)	1,033 (0,895-1,192)
Humo de segunda mano	79 (21,5%)	289 (78,5%)	1,177 (0,958-1,445)
Tabaquismo embarazo	25 (24,3%)	78 (75,7%)	1,321 (0,934-1,869)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	216 (24,7%)	660 (75,3%)	1,443 (1,260-1,653)*
Madre fumo durante los dos primeros años de vida del menor	53 (28,2%)	135 (71,8%)	1,558 (1,230-1,974)*
Exposición a sustancias tóxicas	91 (28,3%)	230 (71,7%)	1,596 (1,326-1,921)*
SOCIODEMOGRAFICO			
Sexo Masculino	456 (19,0%)	1946 (81,0%)	1,070 (0,921-1,241)
Bajo Peso al nacer	138 (21,6%)	500 (78,4%)	1,200 (1,021-1,411)*
No lactancia materna exclusiva	85 (23,0%)	284 (77,0%)	1,271 (1,044-1,548)*
Déficit cualitativo de vivienda	49 (19,8%)	198 (80,2%)	1,077 (0,832-1,394)
INTRADOMICILIARIO			
Colecho	368 (19,4%)	1526 (80,6%)	1,067 (0,930-1,224)
Humedad en la vivienda	152 (24,6%)	466 (75,4%)	1.401 (1,201-1,633)*
Animales domésticos en la vivienda	273 (17,5%)	1283 (82,5%)	0,923 (0,810-1,052)
Fabrica en la vivienda	150 (25,7%)	433 (74,3%)	1,638 (1,265-1,719)*
Secado de ropa Intradomiciliario	421 (22,7%)	1436 (77,3%)	1,445 (1,281-1,631)*
Exposición a tráfico pesado	391 (24,6%)	1196 (75,4%)	1,613 (1,430-1,819)*
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	223 (26,0%)	635 (74,0%)	1,548 (1,355-1,769)*

*Estas diferencias son significativas a nivel estadístico. Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de tos en el último año en los menores de cinco años y algunos factores sociodemográficos (Bajo peso al nacer, no lactancia materna exclusiva), intradomiciliarios (humedad en la vivienda, fábricas o negocios en la vivienda, secado de ropa intradomiciliario, tráfico pesado a menos de 100 metros de la vivienda y malla vial deteriorada o edificaciones en construcción) y de exposición a tóxicos (Madre en contacto con fumadores durante el embarazo, Madre fumó durante los dos primeros años de vida del menor y Exposición a sustancias tóxicas).

Para analizar la asociación de cada uno de los factores evaluados con relación a la tos en el último año se realizó un análisis multivariado usando la regresión logística binaria.

Tabla 10-7 Análisis multivariado de tos en el último año en la vida en menores de 0 a 5 años.

TOS EN LA NOCHE EN EL ÚLTIMO AÑO		
VARIABLE	COEFICIENTE BETA	OR (IC95%)
Alto nivel exposición material particulado	0,369	1,446 (1,240-1,686)
Edad del menor	-0,006	0,994 (0,988-0,999)
Humedad en la vivienda	0,256	1,292 (1,051-1,589)
Exposición a tráfico pesado	0,528	1,696 (1,453-1,978)
Exposición a malla vial deteriorada o edificaciones en construcción	0,440	1,552 (1,295-1,860)
Madre en contacto con fumadores durante el embarazo	0,320	1,377 (1,146-1,654)
Exposición a sustancias tóxicas	0,428	1,535 (1,180-1,995)

Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016

Al realizar el análisis de los factores asociados, las sibilancias no mostraron una asociación estadísticamente significativa con la alta exposición a contaminación del aire en la unidad centinela, sin embargo para el síntoma tos se observa que los menores que estudian en un jardín o colegio de mayor exposición a contaminación del aire tienen 44,6% más probabilidad de presentar tos diferente a infecciones respiratorias en el último año con respecto a los menores que estudian en una zona de menor exposición. Otros factores relacionados con la contaminación del aire extramural y que se encuentran asociados a tos en la noche son la exposición a tráfico pesado y edificaciones en construcción, vías en construcción o vías no pavimentadas. En cuanto a la contaminación intramuros se observó una asociación estadísticamente significativa entre la aparición de tos y la presencia de humedad en la vivienda, siendo este un problema común en los hogares de las distintas localidades de Bogotá. Por último la exposición a tóxicos como el cigarrillo continúa siendo un factor asociado a la presencia de tos en los menores de cinco años, siendo esto un hecho preocupante ya que el tabaquismo pasivo en mujeres embarazadas es causa de insuficiencia ponderal del recién nacido y en los lactantes provoca muerte súbita, además de acuerdo a cifras de la OMS en el año 2004, los niños representaron el 28% de las defunciones atribuibles al humo de tabaco ajeno.

10.4 VIGILANCIA AMBIENTAL

10.4.1 ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR PM₁₀ SEGÚN LA GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD –OMS

Para el año 2016 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá reporto un total de 3432 datos válidos de material particulado PM₁₀. Los datos fueron reportados por 11 estaciones las cuales fueron: Guaymaral, Suba, Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Min Ambiente, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal - Sevillana, Tunal y San Cristóbal.

Las estaciones que registraron las mayores excedencias teniendo como referencia la guía Organización Mundial de la Salud, la cual sugiere concentraciones de 50 µg/m³; fueron Kennedy 6% (n=207) y Carvajal con un 5,9% (n=203), y Puente Aranda con un 4,7% (n=161) con respecto al total de datos diarios.

Adicionalmente, en el Distrito se reportaron un total de 1105 excedencias de los promedios diarios respecto a la guía OMS de 50 µg/m³ representando un 32% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 10-10.

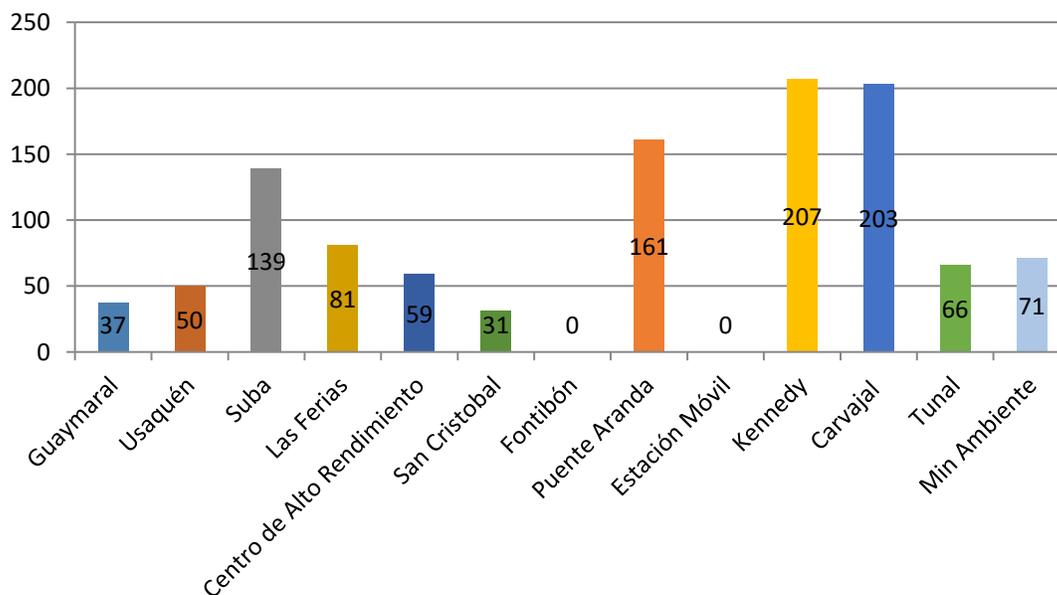


Figura 10-10 Excedencias diarias de la normativa de material particulado PM₁₀ en Bogotá en el año 2016 (Fuente: Datos analizados por Secretaria Distrital de Salud con base en datos registrados por la Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá Administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente.)

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas se observa en las Figura 10-11y Figura 10-12la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en Bogotá, en donde de forma histórica se presentan dos picos de excedencias, el primero en los meses de febrero y marzo y el segundo en los meses de

octubre y noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en junio y julio. Es así que, en los 365 días del año, entre el 2011 y el 2016 en promedio el 37% de los días excede la recomendación dada por la OMS de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

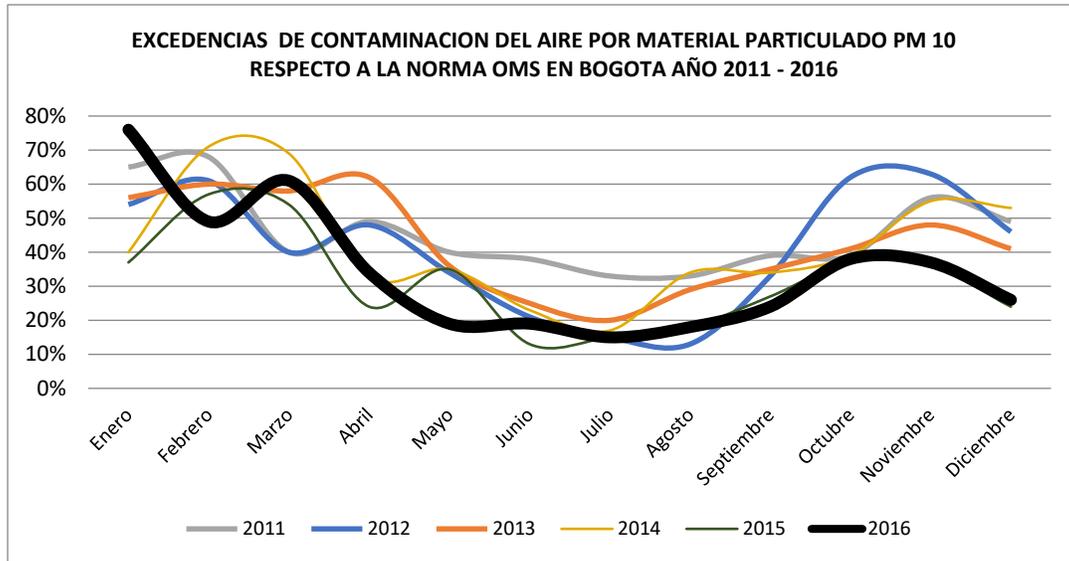


Figura 10-11 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM10 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)

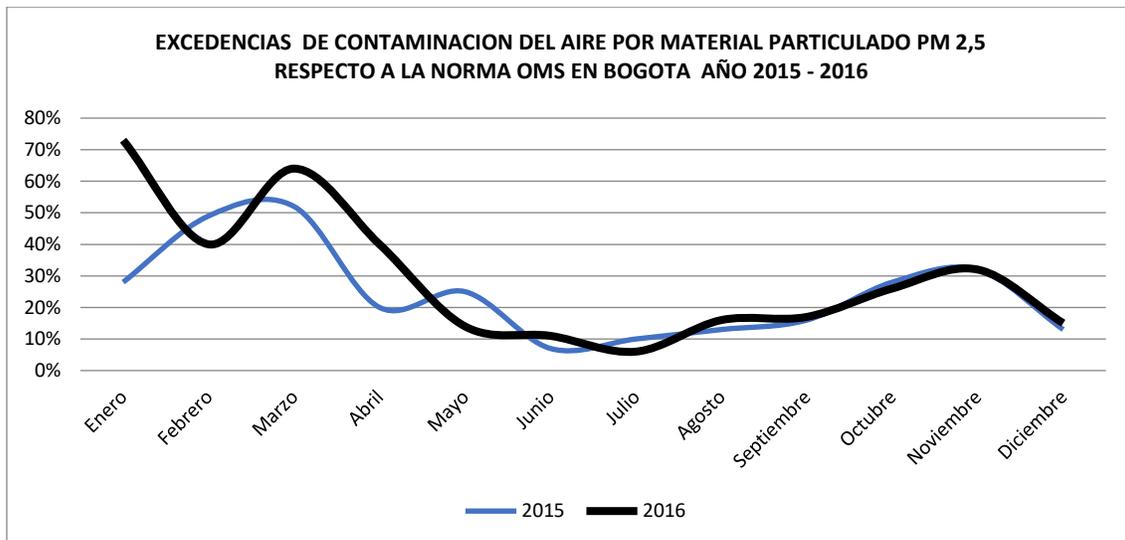


Figura 10-12 Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM2.5 respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2016 (Fuente: Datos analizados por la Secretaría de Salud con base en reportes de la Secretaría de Ambiente. Año 2016 datos preliminares)

10.4.2 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE

Para la evaluación del riesgo en salud que se deriva de los altos niveles de contaminantes criterio, no solamente se deben tener en cuenta las concentraciones, ya que éstas afectan de una manera desigual a la población expuesta. Por tanto, ciertos grupos vulnerables son más propensos a sufrir los efectos negativos de la contaminación del aire. Estos grupos vulnerables son los niños menores de 14 años, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con patología respiratoria y cardiovascular. Por lo anterior la Secretaría Distrital de Ambiente y el Secretario de Salud emiten la Resolución Conjunta 2410 de 2015 “por medio de la cual se establece el índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA- para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones”; adicionalmente y como complemento al IBOCA, mediante Resolución 595 de 2015 “se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire”.

El índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA- es un indicador que tiene como propósito indicar el estado de la calidad del aire de la ciudad, las potenciales afectaciones en la salud de dicho estado, las recomendaciones de salud para evitar o contrarrestar tales impactos y las medidas multisectoriales que deben desarrollarse en caso de que los niveles de contaminación correspondan a estados de alerta o emergencia.

De acuerdo con las disposiciones establecidas en los artículos 9, 10 y 11 de la Resolución 2410 de 2015 la Secretaría Distrital de Salud en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente generaron el manual de identidad del Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA que se encuentra disponible en el siguiente link http://201.245.192.252:81/App_AQI/AQI.es-CL.pdf.

Es así, que en el marco de la Resolución 2410 de 2015 la Secretaría Distrital de Salud, por medio de las estrategias del Plan de Intervenciones Colectivas capacitó en el año 2016 a 10.188 personas de la comunidad, con el fin de divulgar el IBOCA y las recomendaciones en salud establecidas para cada nivel.

10.5 VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta de las quejas recibidas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que están afectando la salud; para el año 2016 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 199 quejas en el Distrito Capital, de las cuales 74 se relacionaron con contaminación del aire por material particulado y las restantes se atendieron por problemas de olores. Figura 10-13

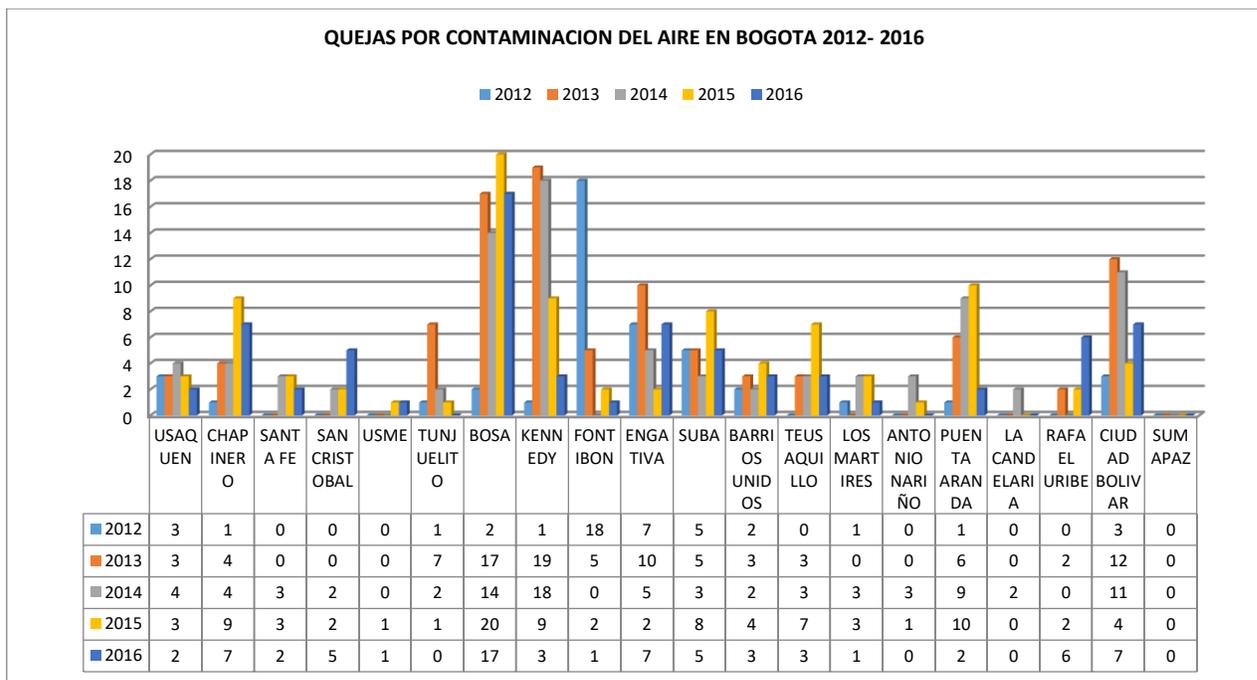


Figura 10-13 Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2016.(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2016)

Las 74 quejas atendidas en el año 2016 equivalen a una reducción del 19% con respecto a las atendidas en el año 2015. La atención de estas quejas permitió encuestar a un total de 330 personas. Las quejas se dan al interior de 16 localidades y abarcan 46 unidades de planeación zonal. Respecto a las localidades con mayor reporte de quejas se encuentran en su orden: Bosa con un 23% del total de quejas (n=17), Chapinero, Engativá y Ciudad Bolívar cada una con el 9% (n=7); las localidades de Tunjuelito, Antonio Nariño y Candelaria no reportaron quejas para el año 2016. La descripción de las quejas resalta que el 80% (n=59) se fundamentan por fuentes fijas (talleres, parqueaderos, asaderos y restaurantes, fabricas, entre otros); el 12% (n=9) corresponde a fuentes de contaminación como las generadas en incendios forestales, quemas a cielo abierto, vías de alto flujo vehicular y vías sin pavimentar y finalmente un 8% (n=5) se presentaron al interior de instituciones educativas, empresariales y comerciales. Por estas problemáticas se ven afectados 1113 personas de las cuales el 59% (n=661) son menores de 14 años. En cuanto a factores externos adicionales que resultan ser de exposición para los residentes se tiene que para el 38% del total de quejas existen edificaciones en construcción, vías en construcción o vías no pavimentadas a menos de una cuadra o 100 metros de la vivienda, en cuanto a condiciones intra-domiciliarias para el 25% de viviendas y/o instituciones donde se llevó a cabo la encuesta se encuentra que alguna persona fuma, para el 17% de las viviendas se tiene hongos o humedades en alguna superficie (techo, pared, piso) y en un 9% hay presencia de roedores y/o cucarachas en la vivienda. El total de personas encuestadas es de 330 con una media de edad de 45 años en cuanto a la percepción de contaminación del aire dentro del hogar el 81% la percibe bien sea en forma de Humo 66%, olores 42%, polvo 31%, vapores 11% y/o en forma de gas 9%. El 50% de los encuestados manifiestan tener fuentes adicionales de contaminación como alcantarillado, mala disposición de basuras, canales de aguas lluvias, ruido, antenas de telefonía celular, entre otros. Finalmente, el 85%

de los encuestados considera que la contaminación del aire le ha afectado de alguna manera su estado de salud, al presentar síntomas como dolor de cabeza, irritación de vías respiratorias superior e inferior, tos, gripas más frecuentes entre otros. En cuanto a las quejas por exposición a contaminación del aire en actividades económicas de los 46 encuestados el 91 % percibe contaminación del aire dentro de su lugar de trabajo por olores, el 58% por humo, 60% por polvo y el 8% por vapores. Al evaluar la percepción del estado de salud de los trabajadores se tiene que el 82% ha sentido alguna molestia o alteración en su estado de salud debido a la exposición a contaminación del aire dentro del lugar de trabajo al presentar síntomas como tos, dolor de cabeza, irritación de los ojos, dificultad para respirar entre otros. Es importante resaltar que el 21% (n=10) de los trabajadores ha faltado al trabajo por presentar alguno de dichos síntomas.

BIBLIOGRAFÍA

- Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion*. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/
- European Commission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en Colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en Colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.
- NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966>
- NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de <http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust>
- NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Niño/ La Niña episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra.
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Obtenido de <http://www.R-project.org/>
- SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.

- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Obtenido de <http://epa.gov/air/criteria.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5)*.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment*.
- Alvarez-Sala, W. J. (2011). *Neumología clínica*. Elsevier.
- Helen E. Wood, N. M. (2015). Effects of Air Pollution and the Introduction of the London Low Emission Zone on the Prevalence of Respiratory and Allergic Symptoms in Schoolchildren in East London: A Sequential Cross-Sectional Study. *Journal PLoS ONE*, 1-12.
- Luis Jorge Hernández, G. Y. (2012). Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá. *Sociedad Colombiana de Pediatría*, 124-138.
- Pedro Iván Solarte MD, M. C. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*.
- Y. Ishihara, M. N. (2016). Effect Of Particulate Matter Air Pollution On The Health Status, Respiratory Symptoms, And Lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine; New York*, 193.

GLOSARIO

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, 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 m^3/kmol a temperatura de 298,15 K y presión de 101,325 kPa.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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].

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

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

Sustancia: todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, 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/m³: miligramos por metro cúbico.

µg/m³: microgramos por metro cúbico.

ppm: partes por millón.

ppb: partes por billón.

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

ANEXOS

A. Lectura de gráficos de *cajas*

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

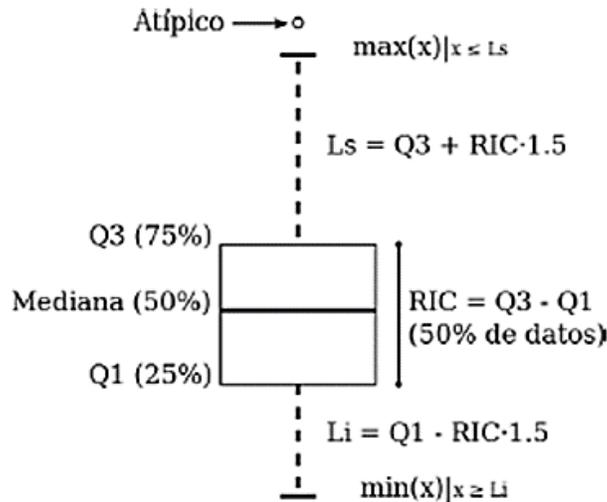


Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a $Q1 - (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q3 - Q1$). **Ls**, límite superior, corresponde a $Q3 + (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q3 - Q1$). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m³ y µg/m³, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m³ y µg/m³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m ³
SO ₂	2,6186	ppb a µg/m ³
NO ₂	1,8804	ppb a µg/m ³
O ₃	1,9620	ppb a µg/m ³

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 mm Hg y a una temperatura de 25°C, que son las condiciones de referencia según los términos establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

El factor de conversión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]

A. Calendarios de concentraciones diarias



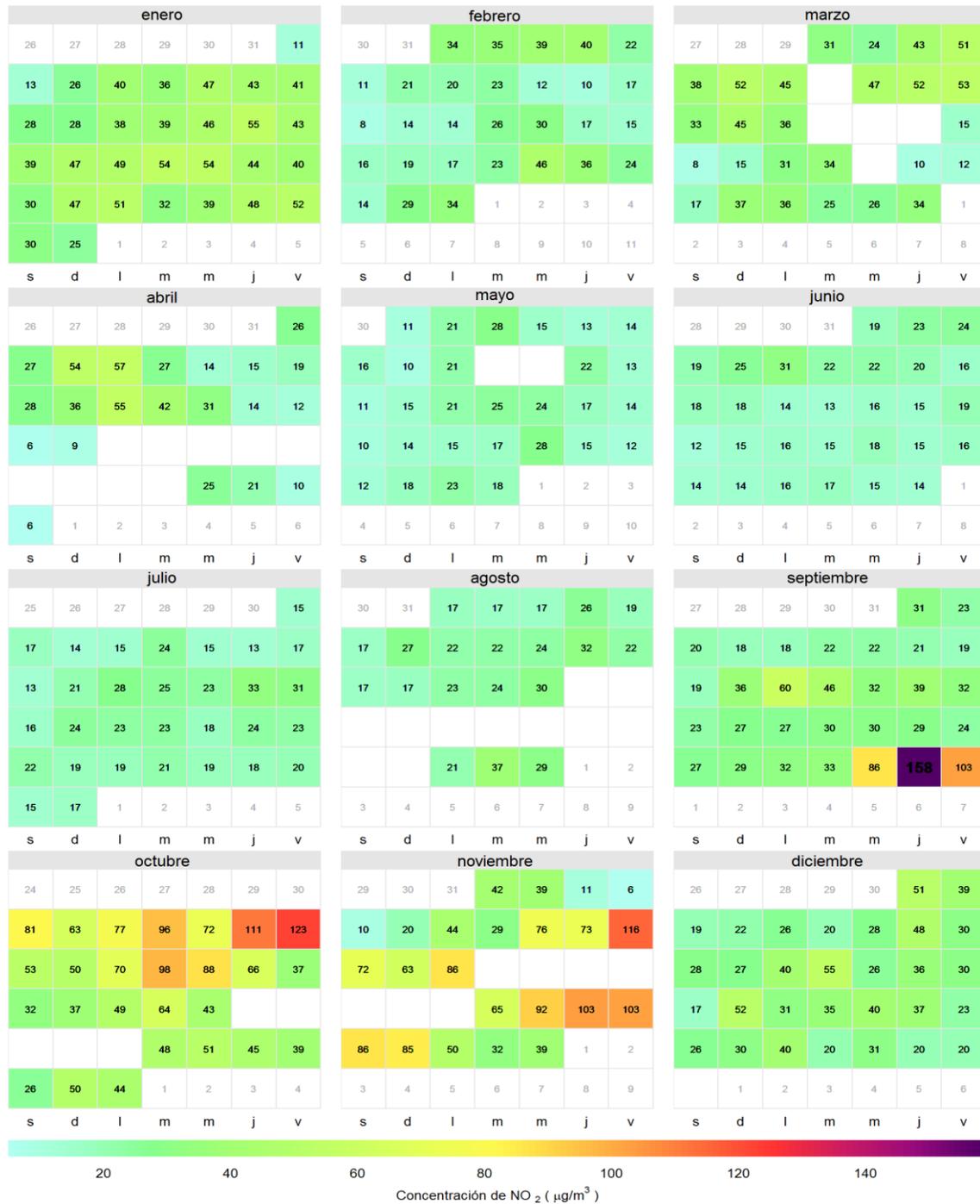
Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de NO₂ Guaymaral

P. Aranda 2016

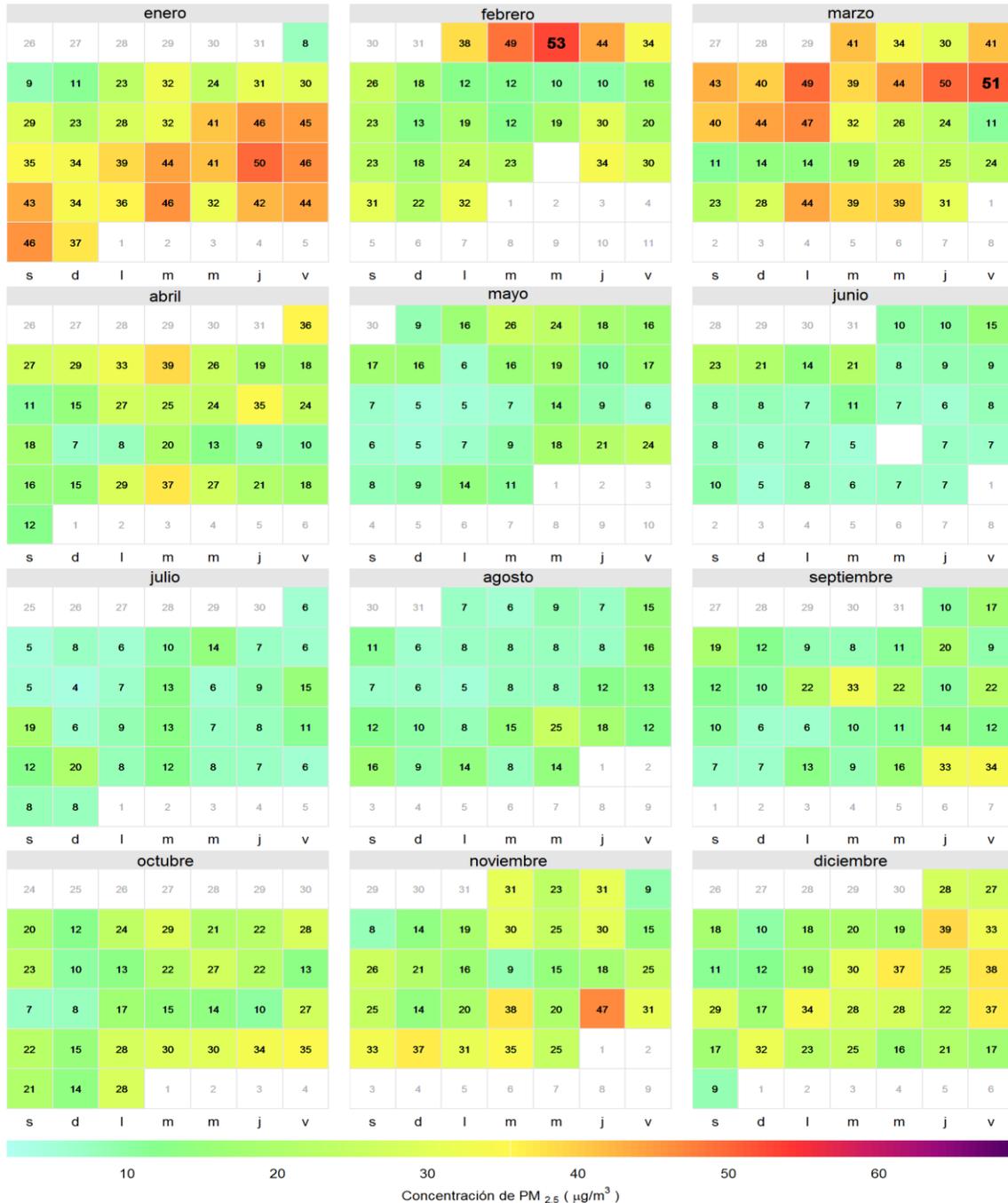


Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de NO₂ Puente Aranda

Tunal 2016



C.D.A.R. 2016



Car. - Sev. 2016

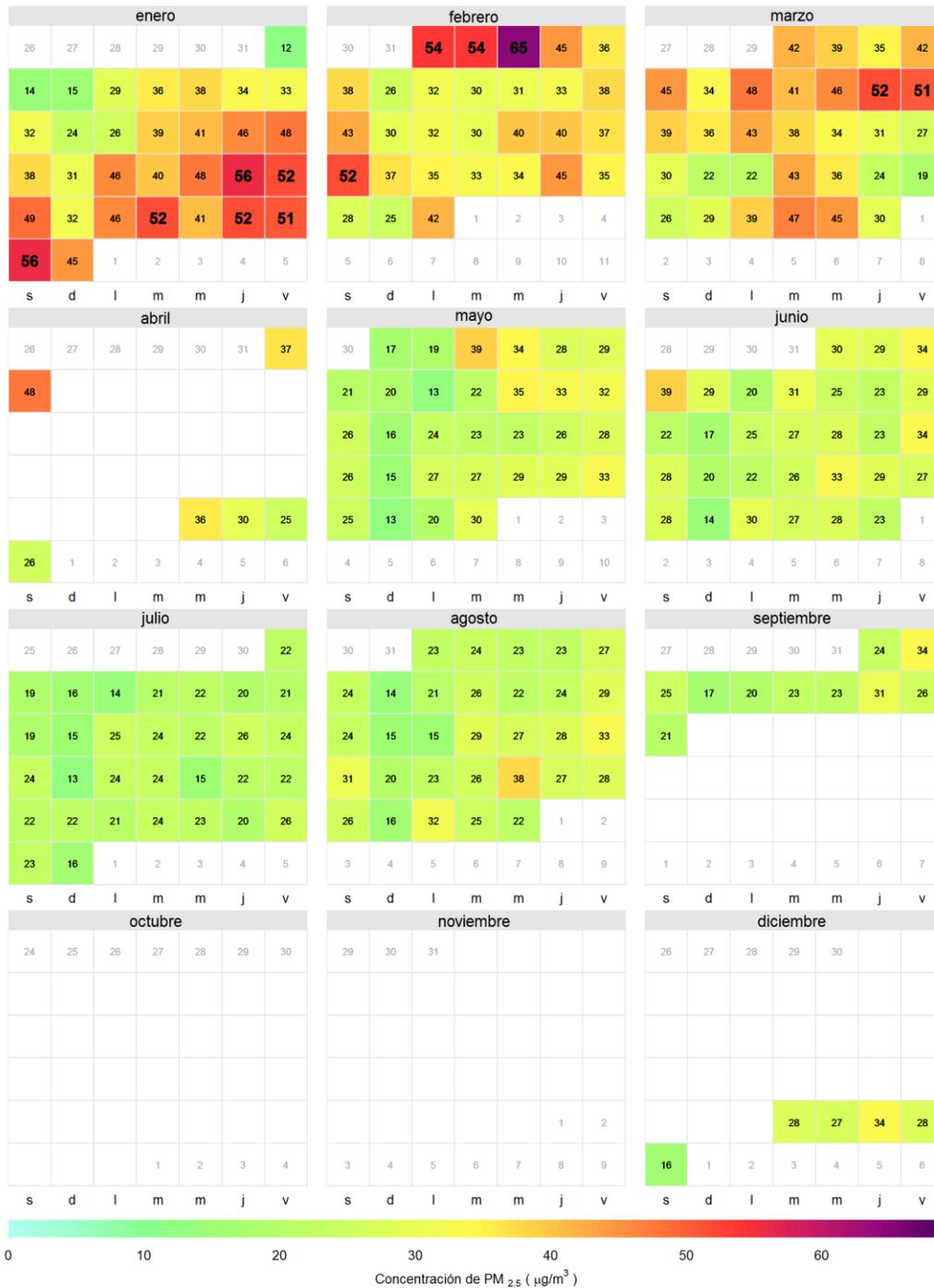


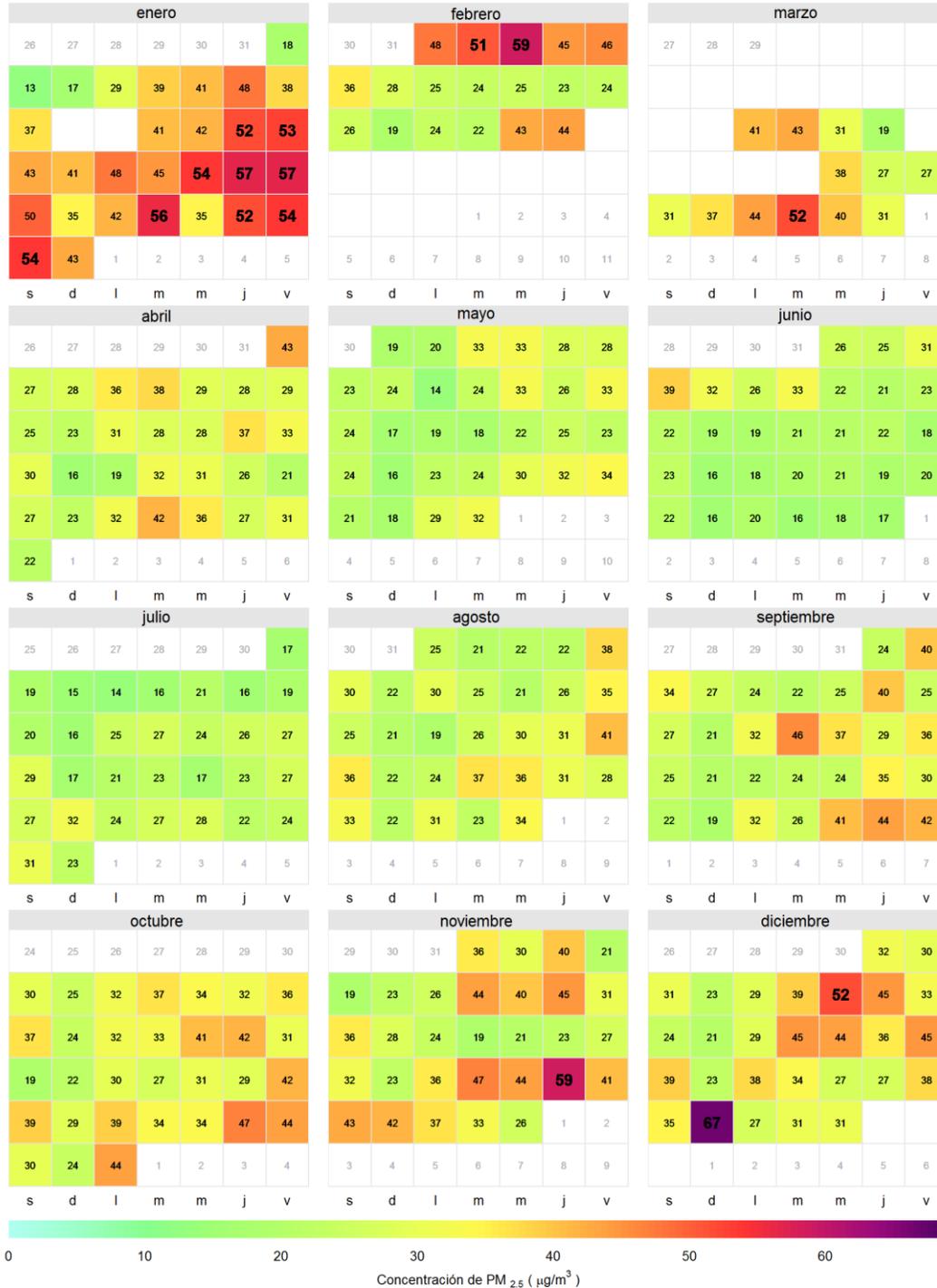
Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Carvajal-Sevillana

Guaymaral 2016



Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Guaymaral

Kennedy 2016



Las Ferias 2016

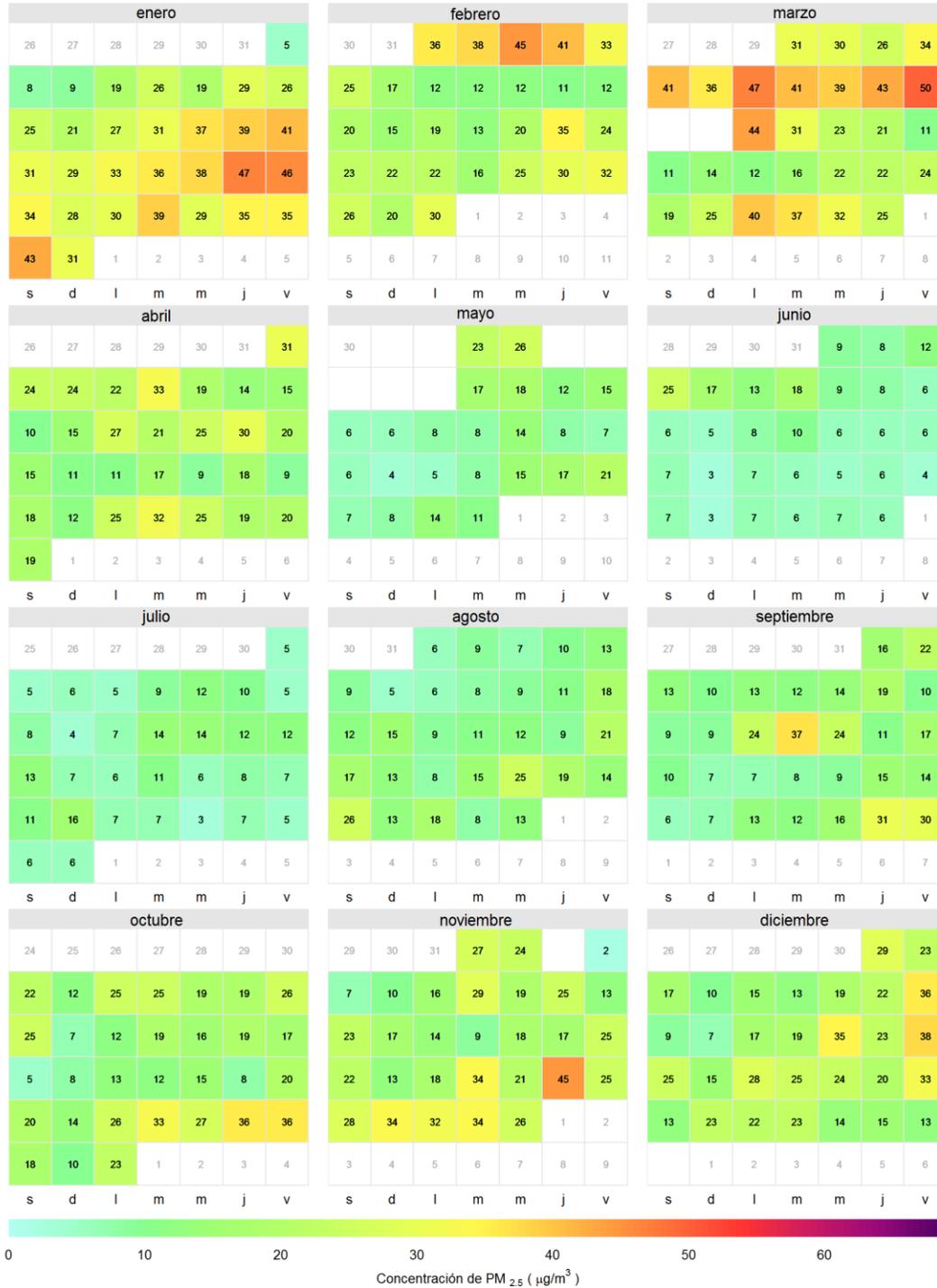
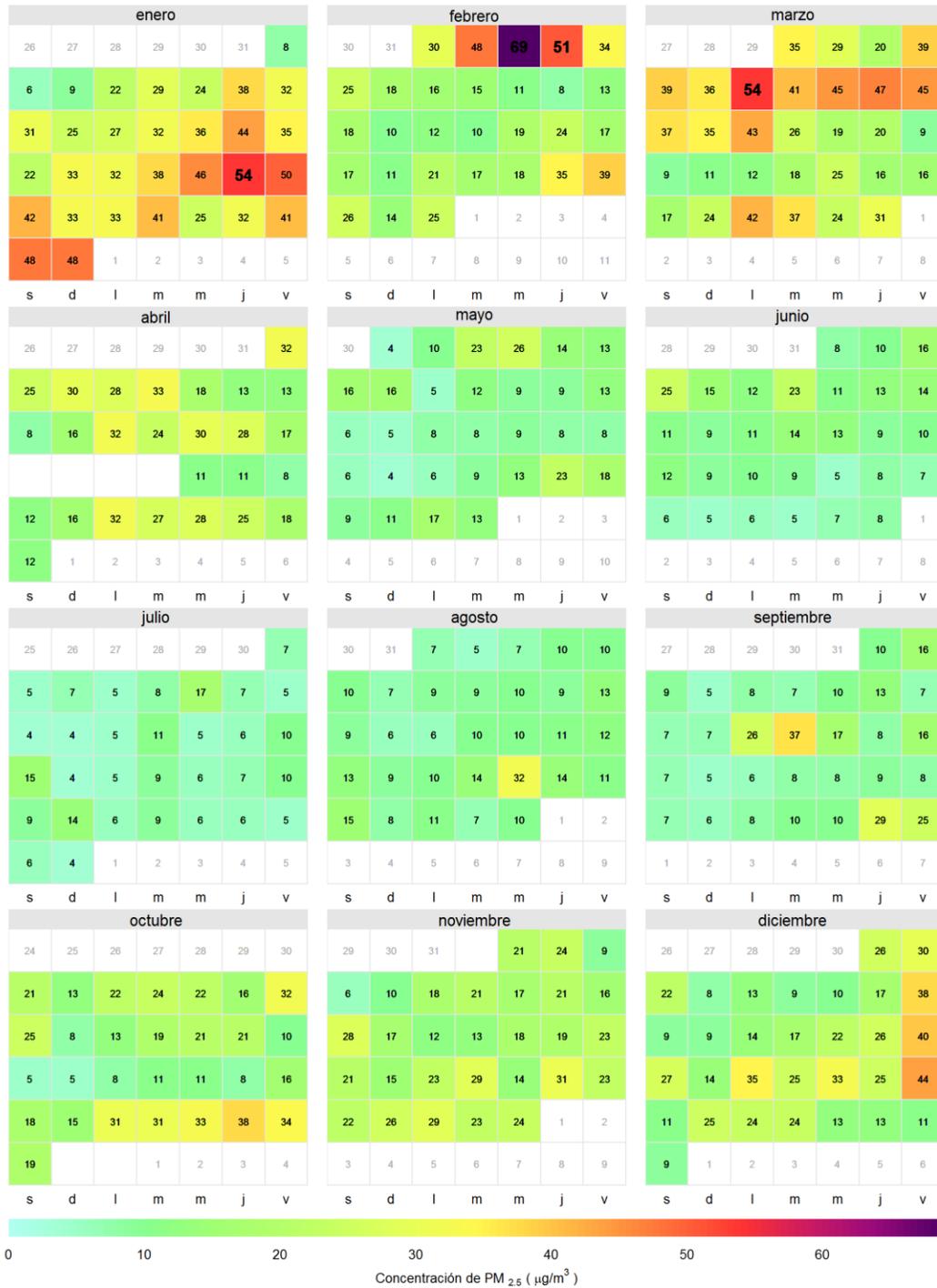


Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Las Ferias

M.Ambiente 2016



S. Cristóbal 2016

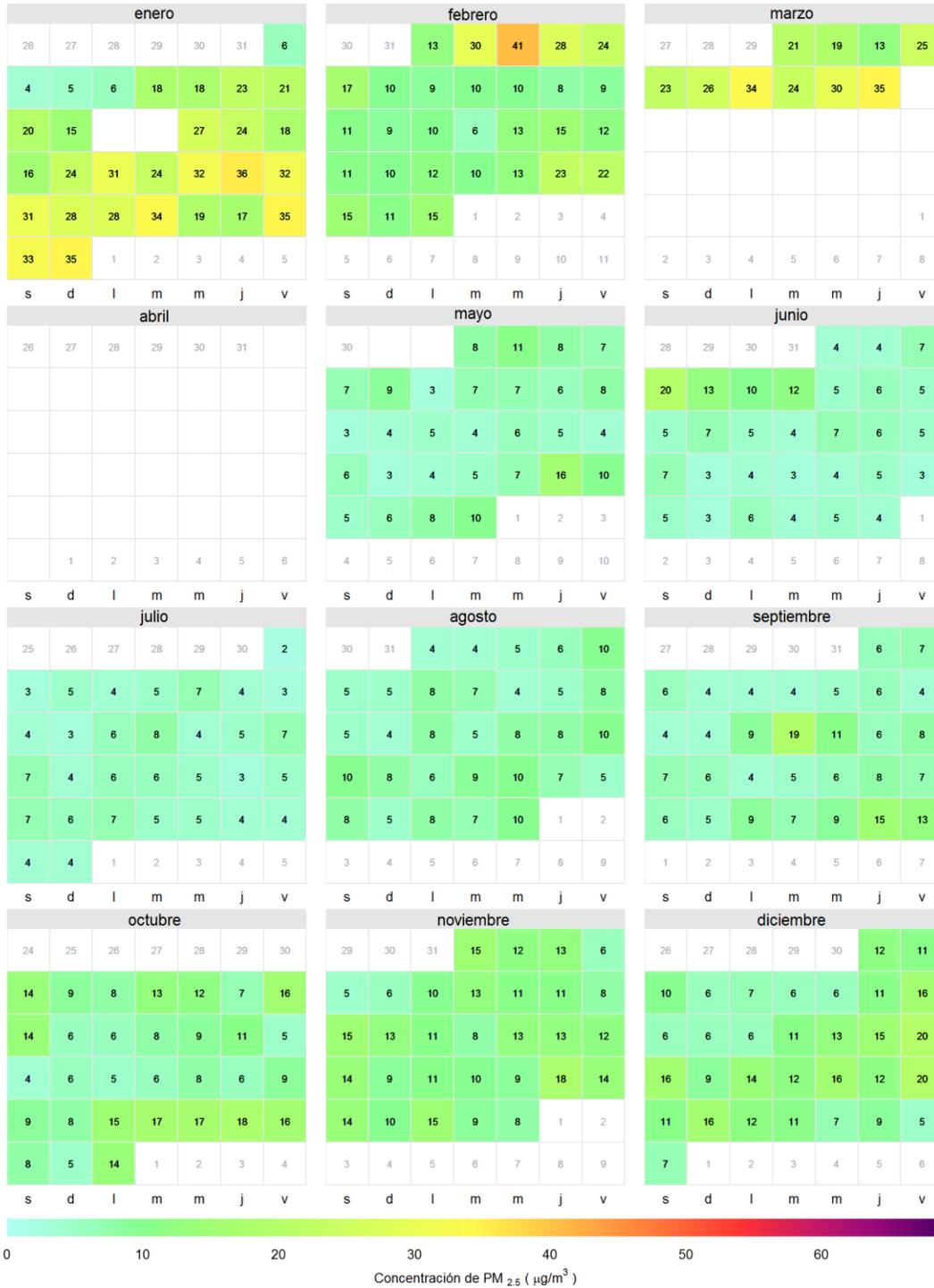


Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} San Cristóbal

Suba 2016

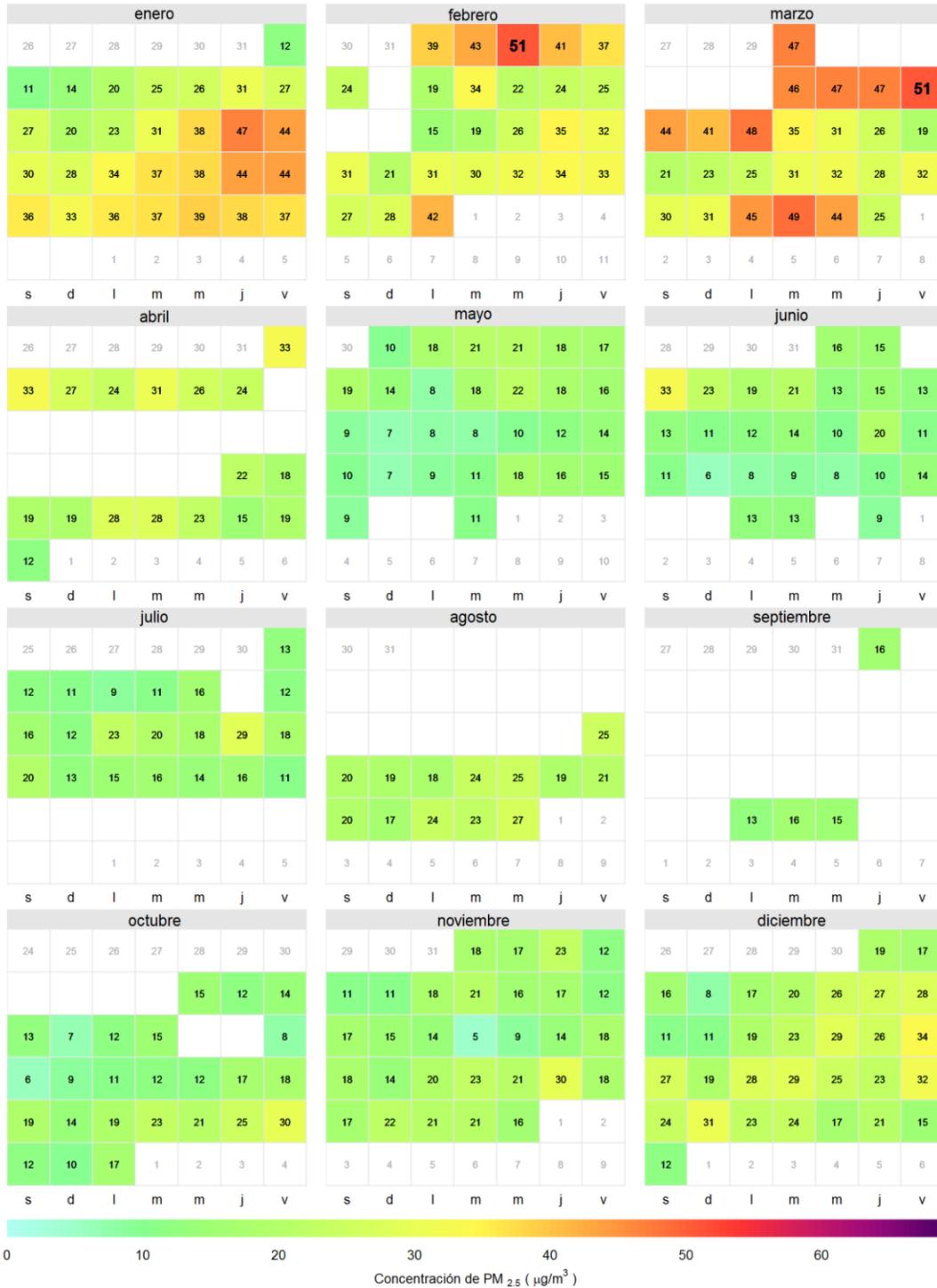
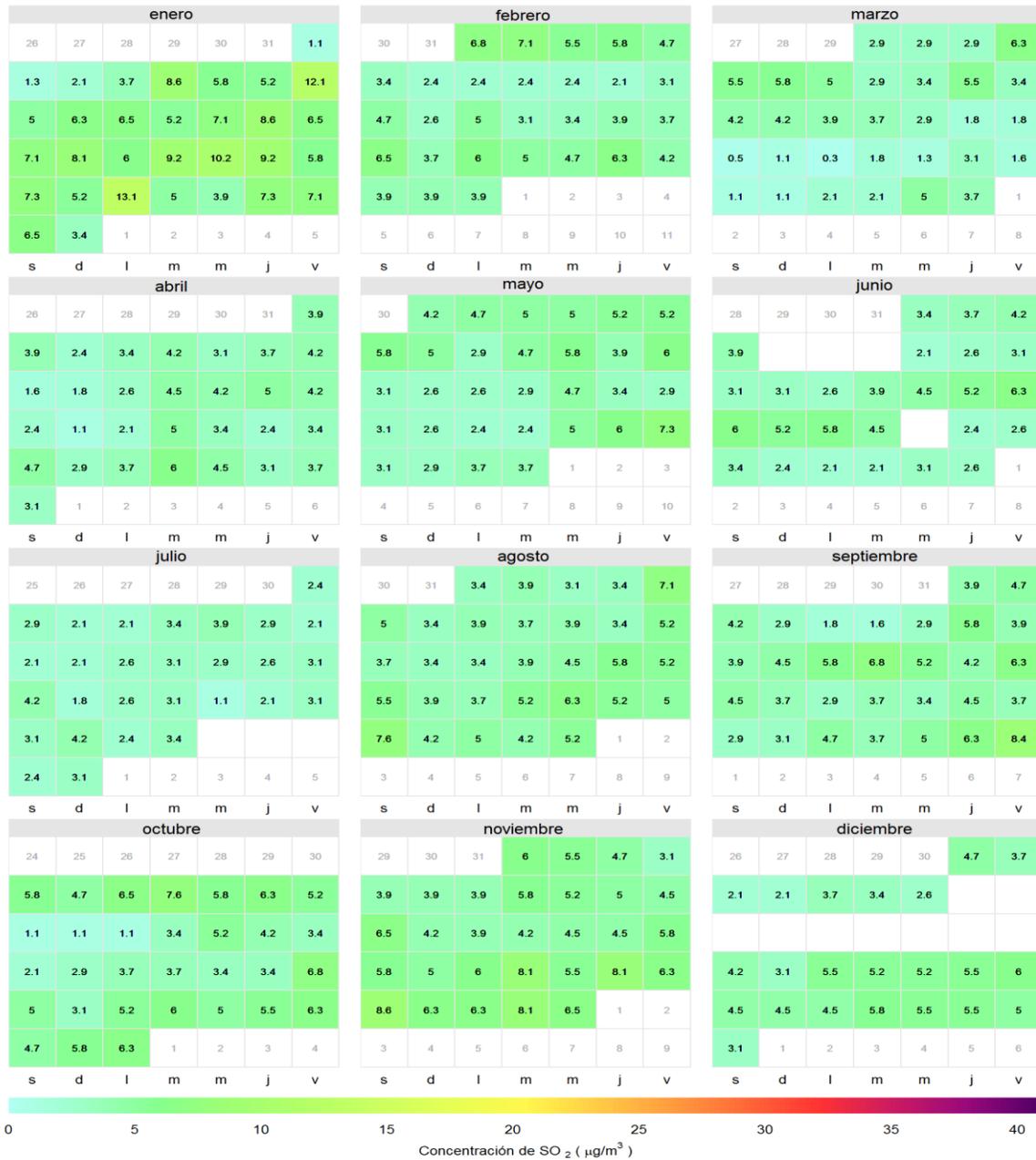


Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Suba

C.D.A.R. 2016



Kennedy 2016



Figura 0-14 Figura 0-15 Calendario de Concentraciones Diarias de SO₂ Kennedy

P. Aranda 2016

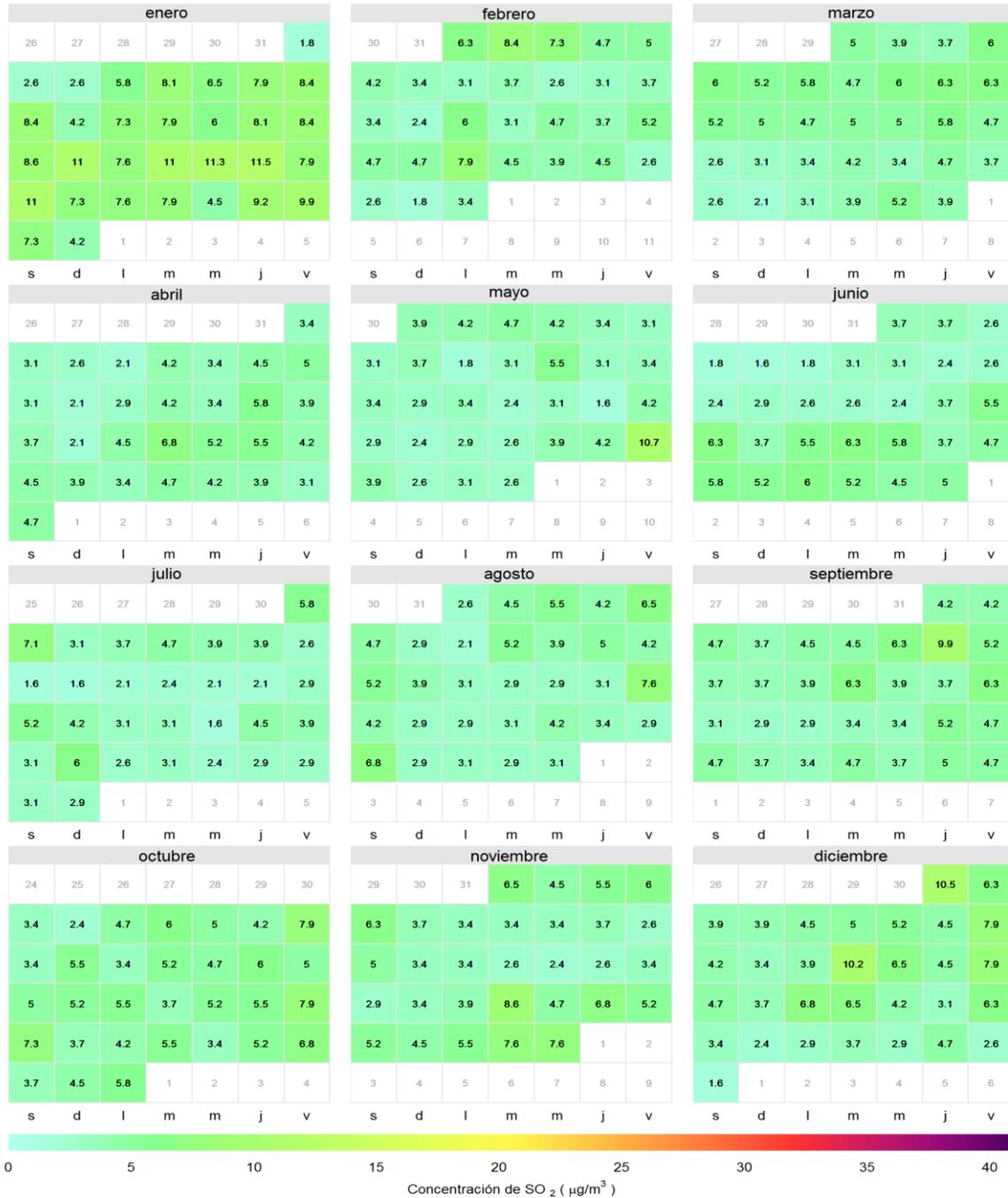


Figura 0-16 Figura 0-17 Calendario de Concentraciones Diarias de SO₂ Puente Aranda

S. Cristóbal 2016

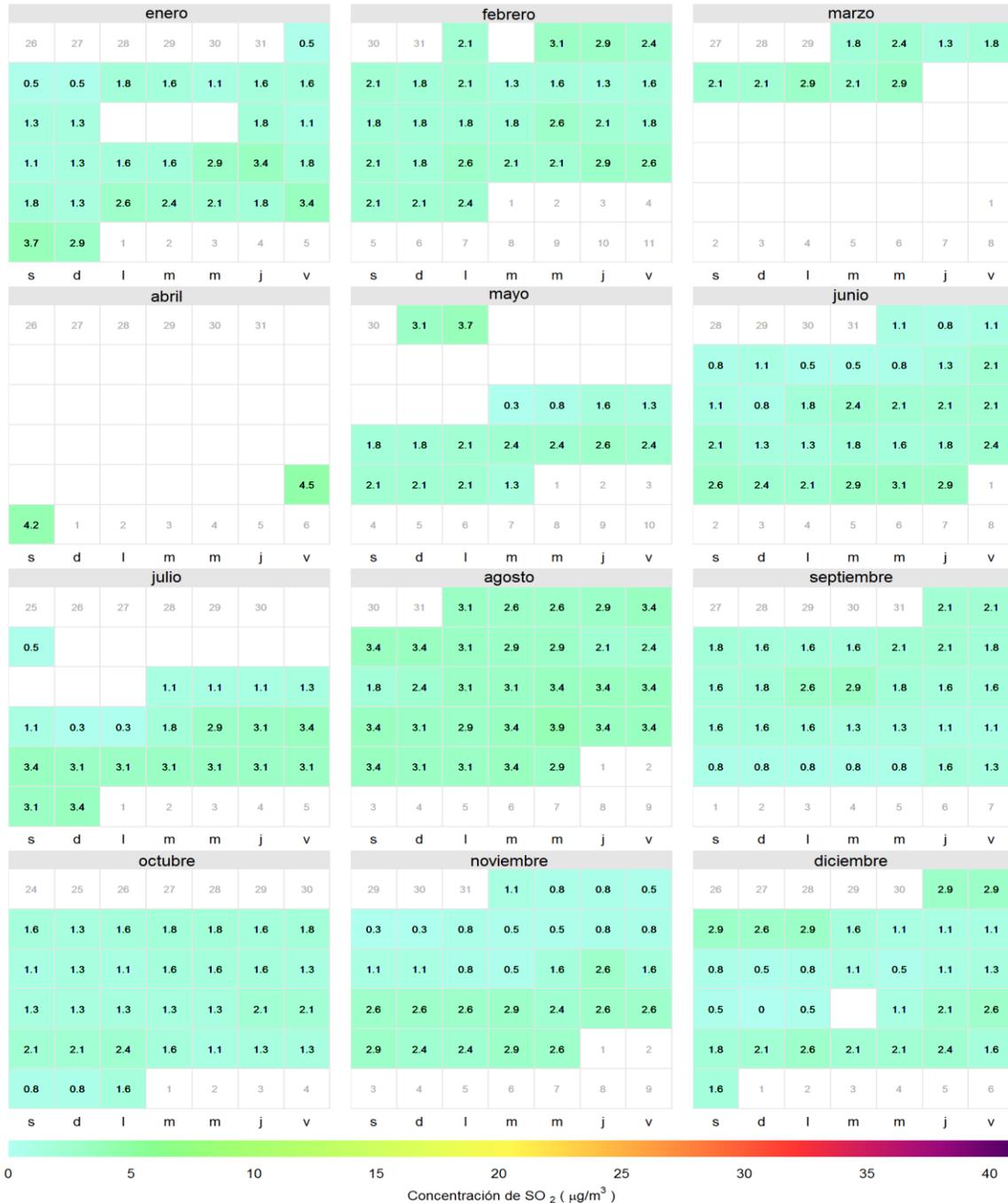


Figura 0-18 Calendario de Concentraciones Diarias de SO₂ San Cristóbal

Usaquén 2016

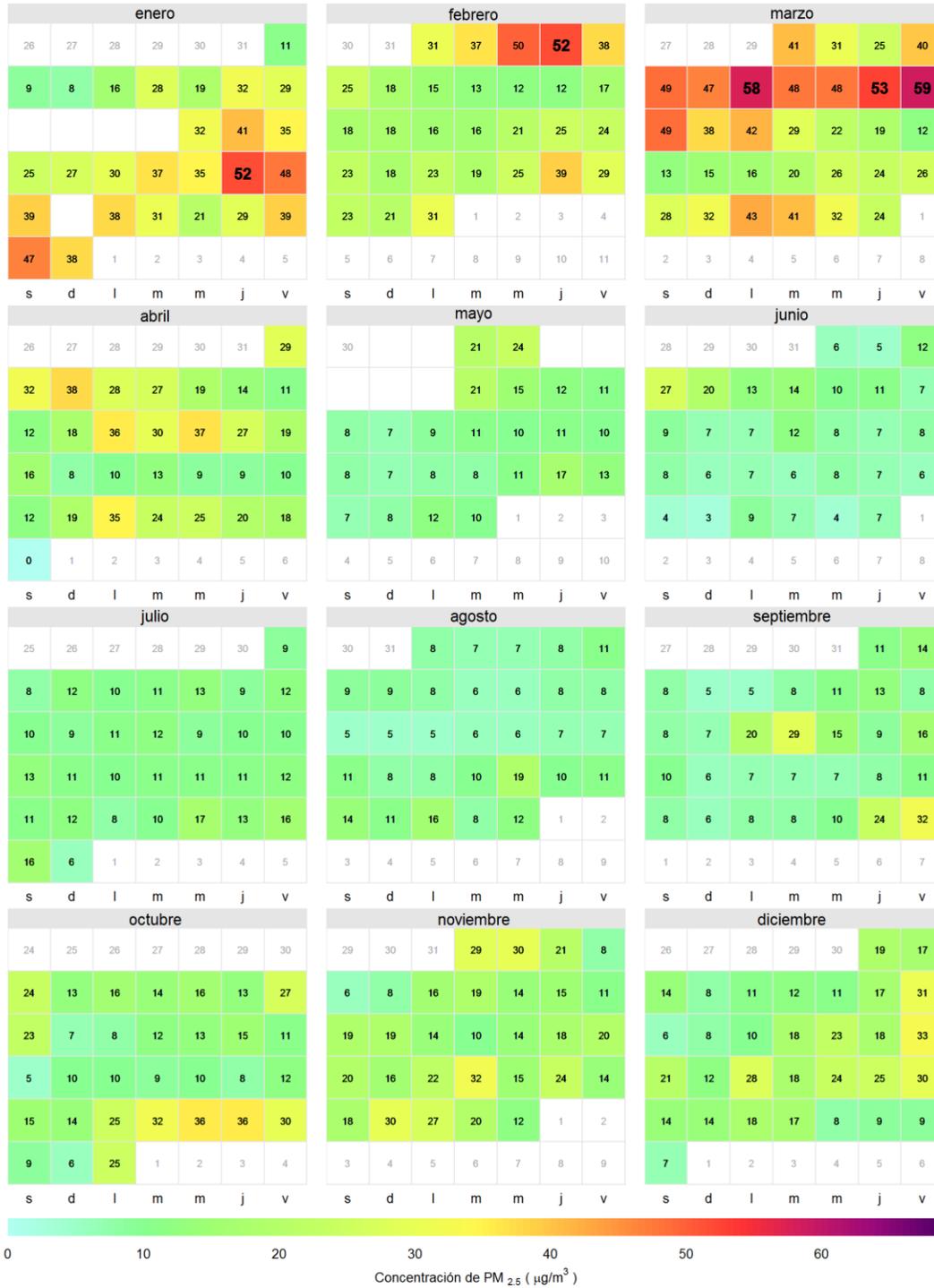


Figura 0-19 Calendario de Concentraciones Diarias de PM2.5 Usaquén

Car. - Sev. 2016

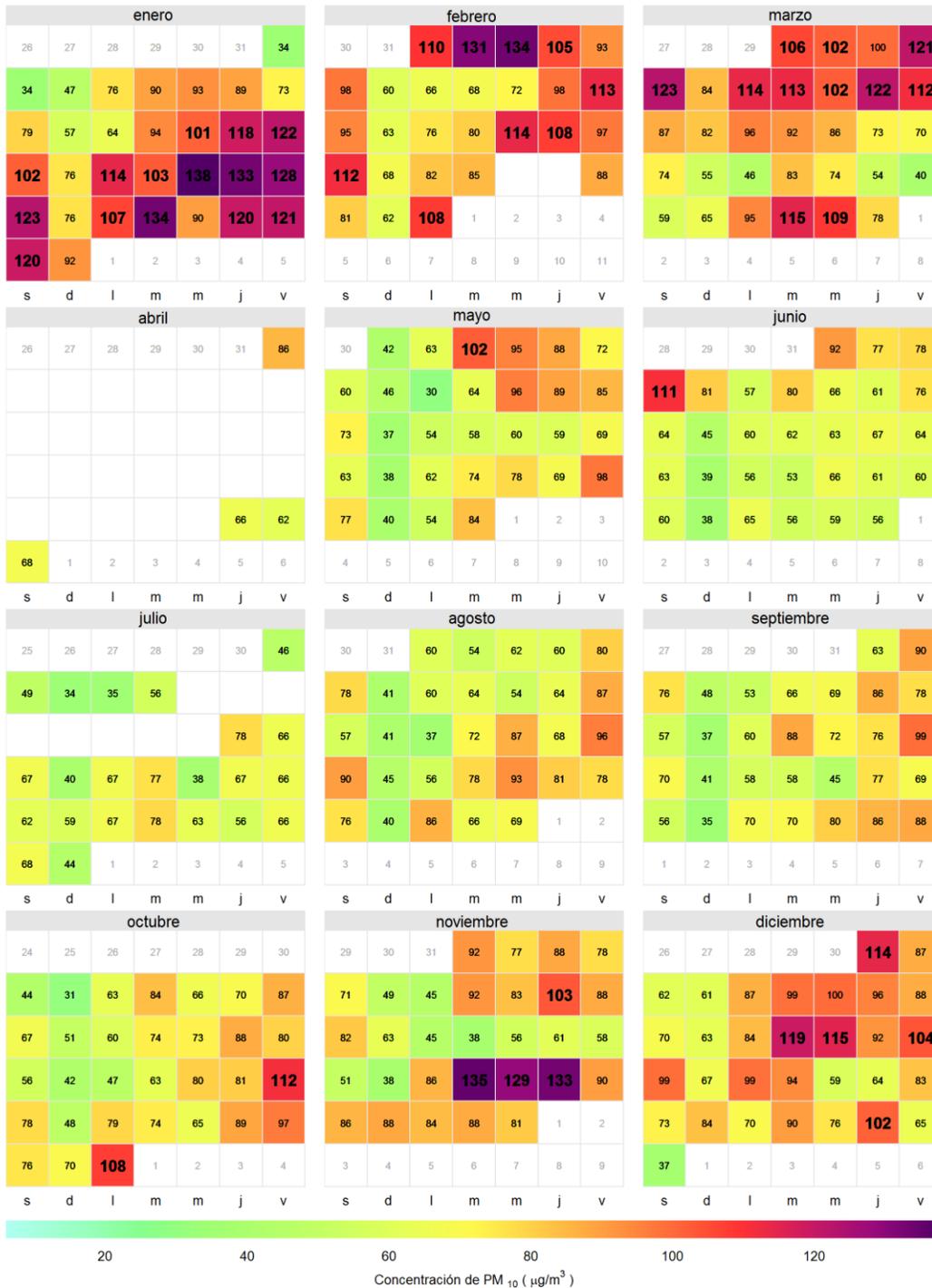
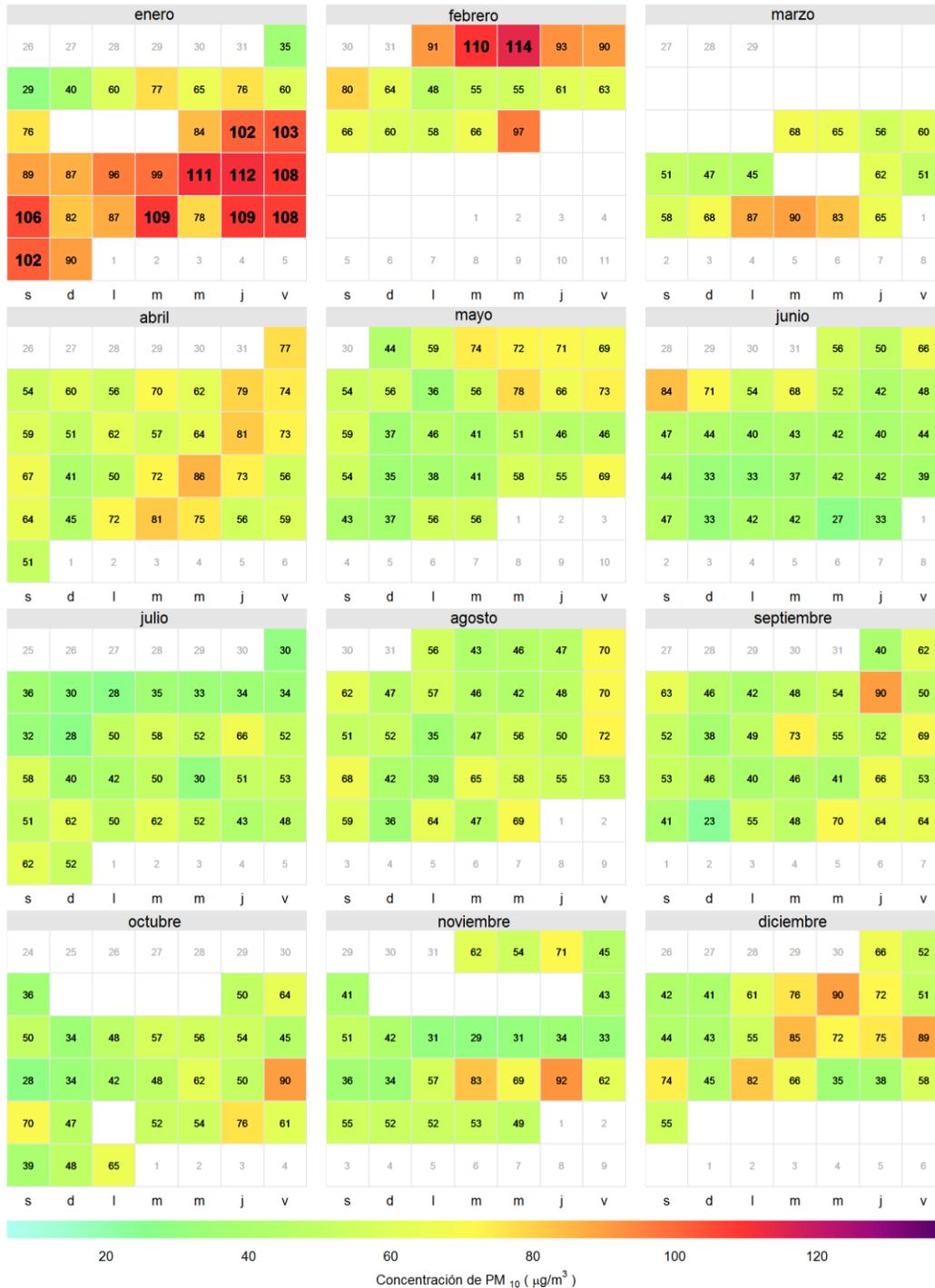


Figura 0-21 Calendario de Concentraciones Diarias de PM₁₀ Carvajal-Sevillana

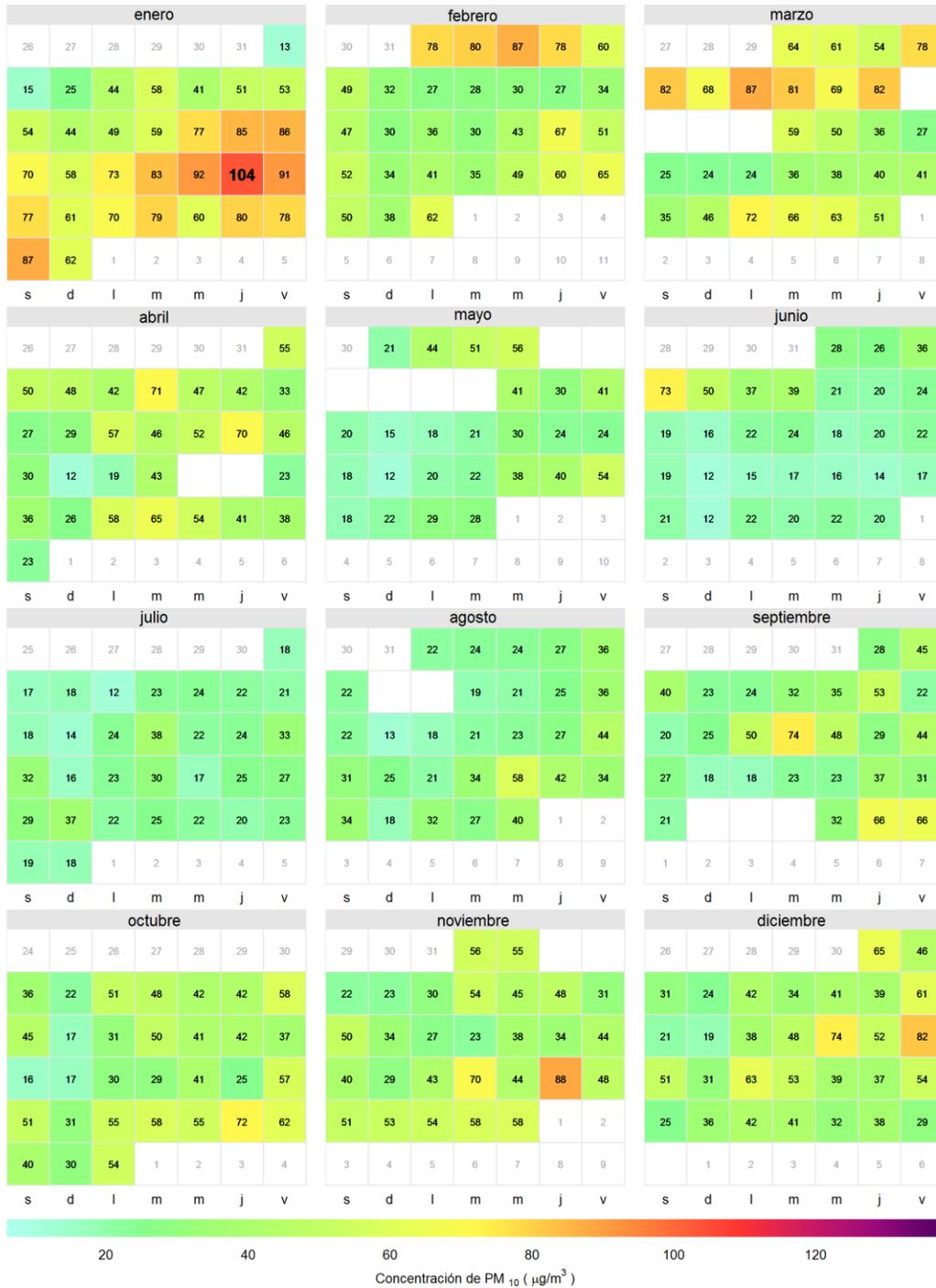
Guaymaral 2016



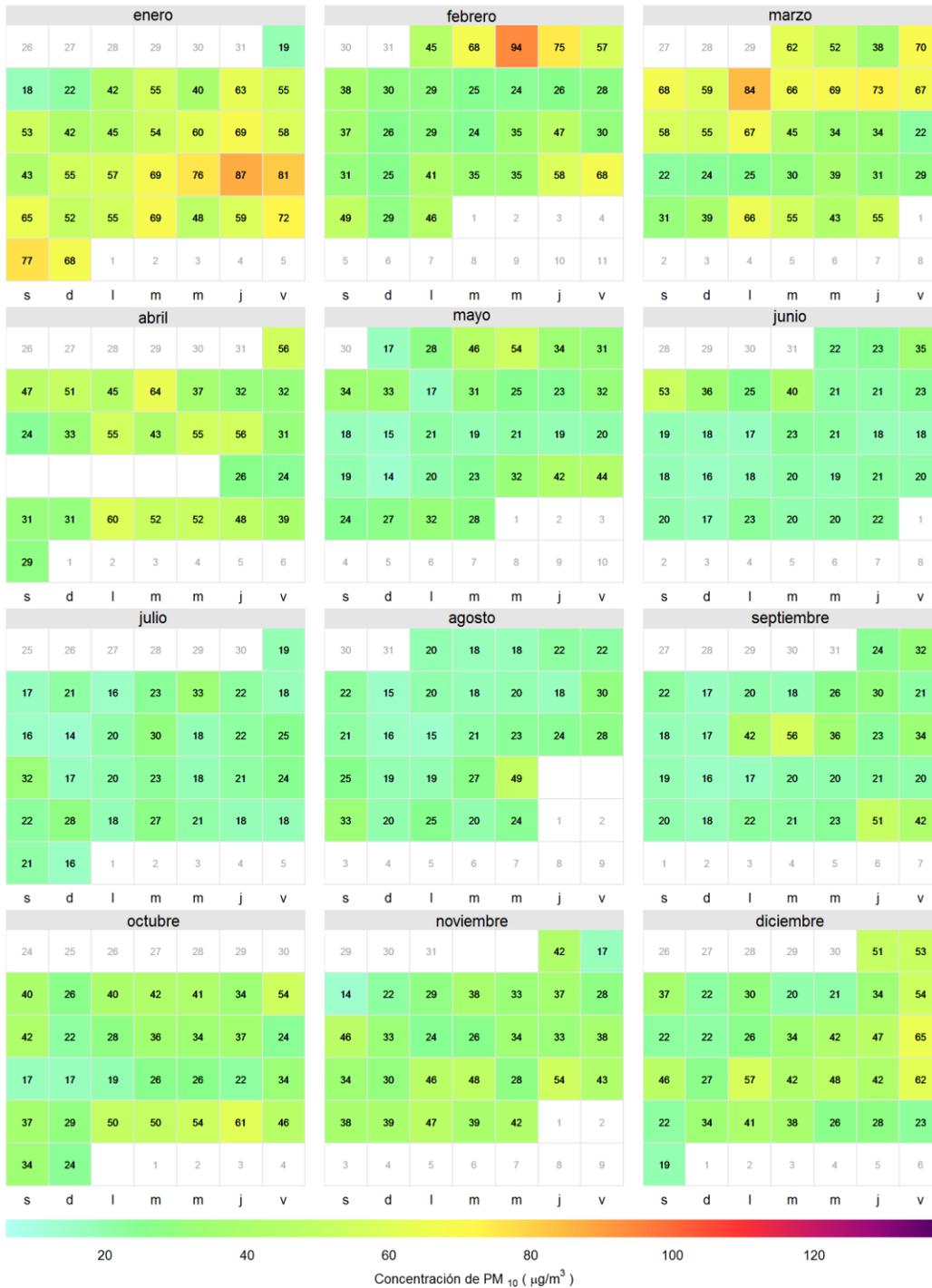
Kennedy 2016



Las Ferias 2016



M.Ambiente 2016



P. Aranda 2016

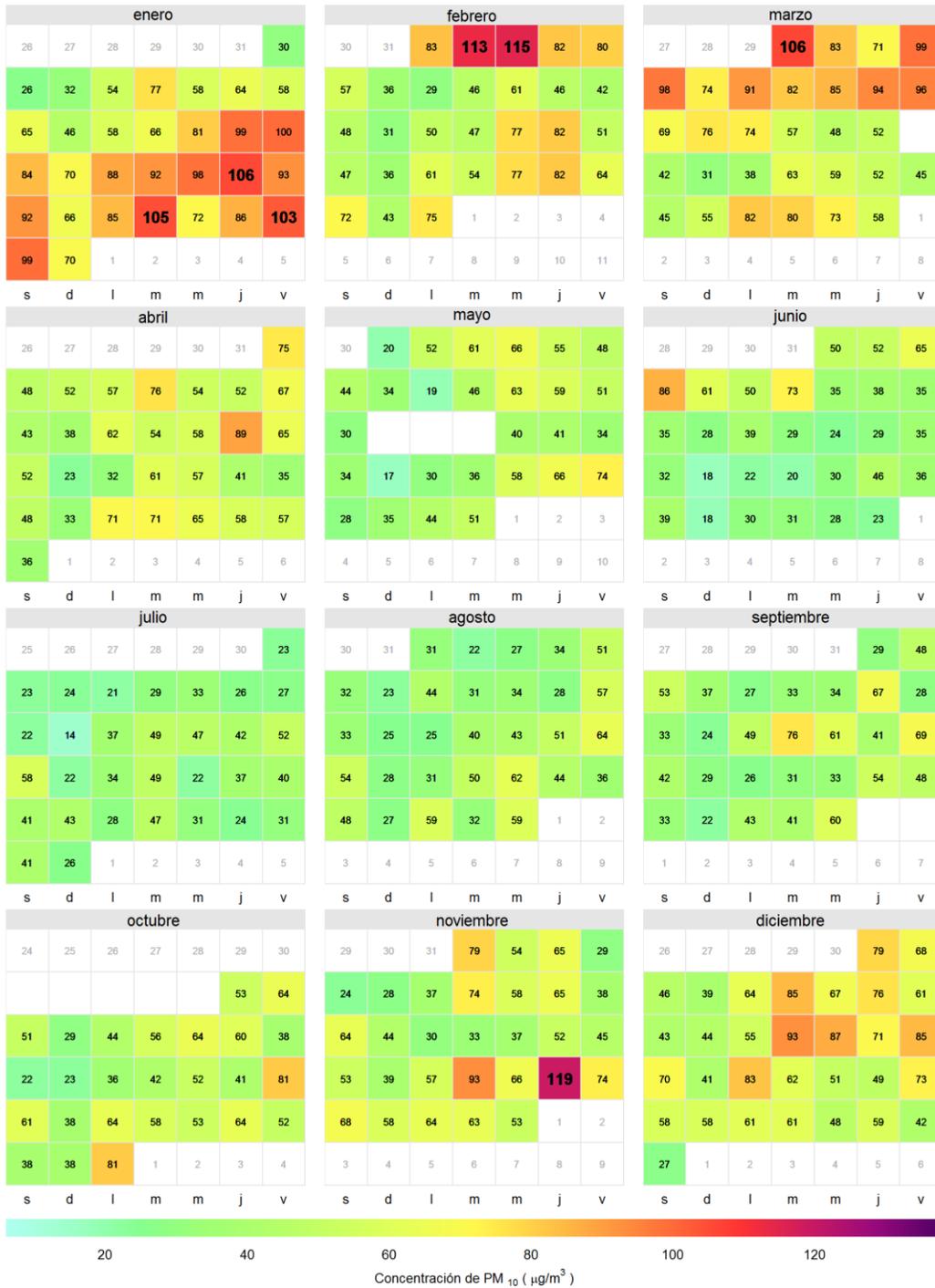
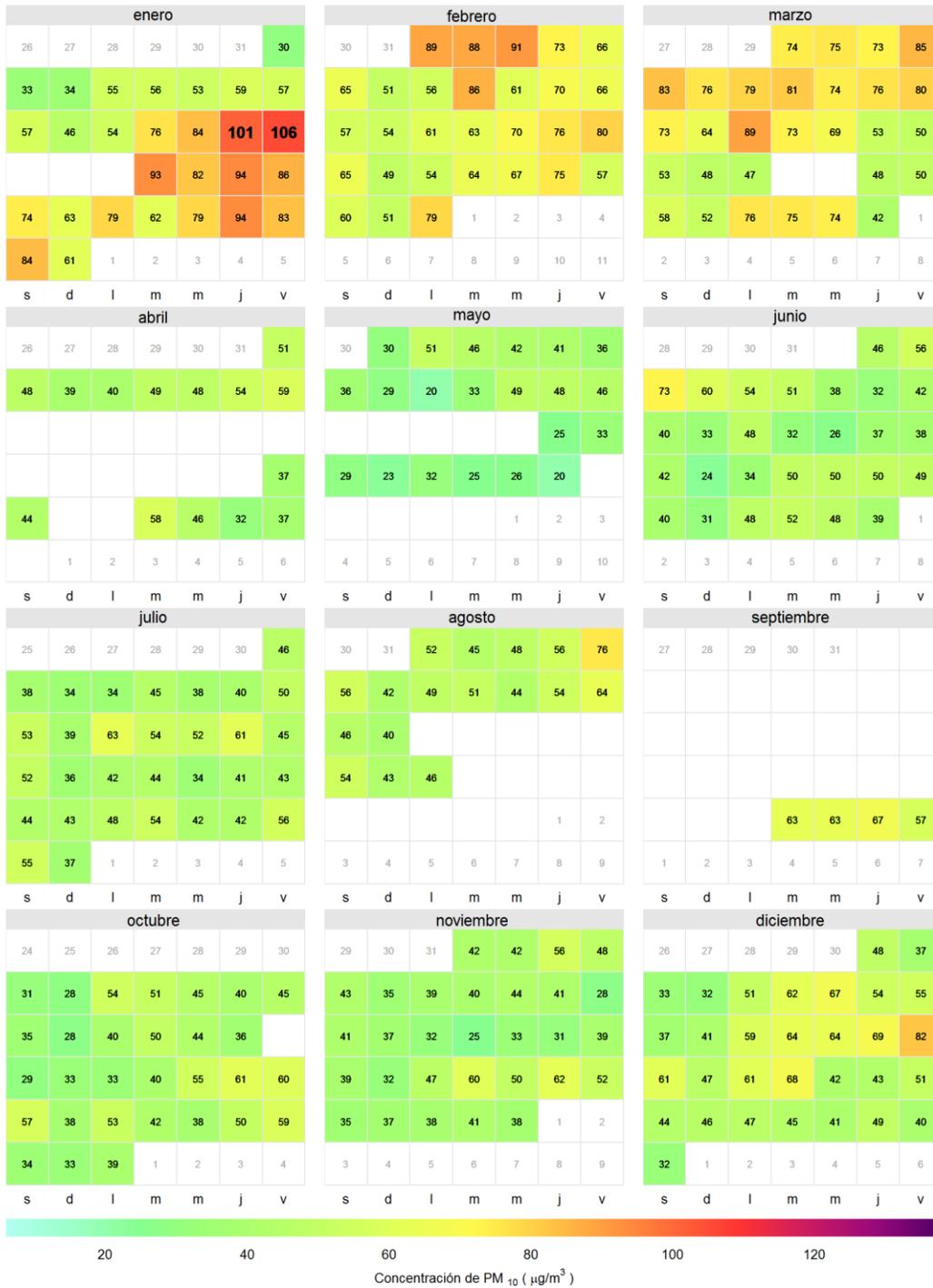


Figura 0-26 Calendario de Concentraciones Diarias de PM₁₀ Puente Aranda

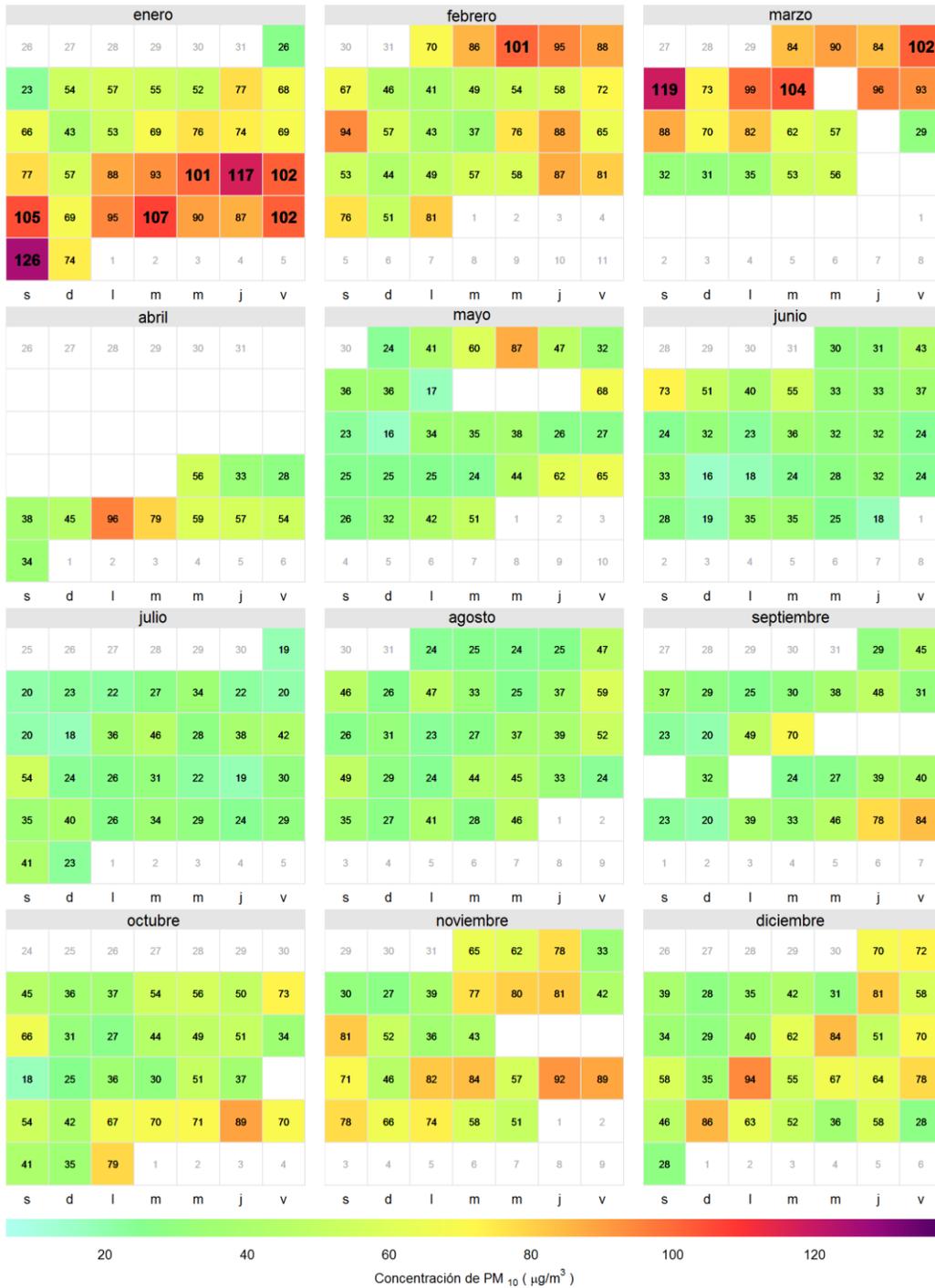
S. Cristóbal 2016



Suba 2016



Tunal 2016



Usaquén 2016

