

Informe anual de Calidad del Aire en Bogotá

2017

Edificio Bogotá Downtown Bacatá

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe anual de calidad del aire de Bogotá

Año 2017

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

Bogotá D.C 2018

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



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Enrique Peñalosa Londoño

Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Francisco José Cruz Prada

Secretario Distrital de Ambiente

Oscar Ferney López Espitia

Subsecretario General y de Control Disciplinario

Carmen Lucía Sánchez Avellaneda

Directora de Control Ambiental

Oscar Alexander Ducuara Falla

Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Diana Alexandra Ramírez Cardona

Coordinadora Técnica RMCAB

Daissy Zambrano Bohórquez

Eaking Ballesteros Urrutia

Jhonathan Ramirez Gamboa

Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Dario Alejandro Gómez Flechas

Henry Ospino Dávila

Luz Dary González González

Grupo de Operación de la RMCAB

Edison Yesid Ortiz Durán

Líder del Sistema Integrado de Modelación de
Calidad de Aire de Bogotá – SIMCAB

Sandra Mireya Fajardo González

Cristian Darío Arango Chacón

Profesionales SIMCAB

Jhon Jairo Abella

Ana Cecilia Galvez

Subdirección de Vigilancia en Salud Pública –
Secretaría Distrital de Salud

Edna Katalina Medina Palacios

Subdirección de Determinantes en Salud -
Secretaría Distrital de Salud

Diana Celeita

Pedro Andrés Morales

Subred Norte ESE

Secretaría Distrital de Ambiente – SDA

© Junio de 2018, Bogotá - Colombia

Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad
de Aire de Bogotá D.C. Año 2018.

CONTENIDO

CONTENIDO	4
1 INTRODUCCIÓN	16
2 RESUMEN EJECUTIVO.....	17
3 CARACTERÍSTICAS DE LA RED	19
4 OBJETIVOS	23
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4.3 NORMATIVIDAD	23
5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO	25
5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS.....	25
5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS	27
6 CALIDAD DEL AIRE (DISTRIBUCIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y TENDENCIAS).....	30
6.1 MATERIAL PARTICULADO	30
6.1.1 PM ₁₀	30
6.1.2 PM _{2,5}	42
6.2 GASES	55
6.2.1 OZONO	55
6.2.2 DIÓXIDO DE NITRÓGENO	69
6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE.....	80
6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO.....	89
7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA	102
8 ÍNDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE-IBOCA	107
9 METEOROLOGÍA.....	111
9.1. Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo.....	111
9.2. PRECIPITACIÓN.....	114
9.2.1. Variación Temporal y Espacial Anual de la Precipitación.....	114
9.2.2. Variación Mensual de la Precipitación	119
9.2.3. Variación horaria de la Precipitación	122
9.2.4. Distribución Espacial de la Precipitación.....	124
9.2.5. Número de días con precipitación	126
9.3. DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO.....	128
9.3.1. Variación de la Velocidad del Viento Anual	128

9.3.2.	Variación Trimestral de la Velocidad del Viento	130
9.3.3.	Variación Mensual de la Velocidad del Viento.....	132
9.3.4.	Comportamiento de la Dirección del Viento.....	133
9.3.5.	Variación horaria de la Velocidad y dirección del Viento	136
9.4.	VARIACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE.....	140
9.4.1.	Variación Anual de la Temperatura.....	140
9.4.2.	Variación Trimestral de la Temperatura	142
9.4.3.	Variación Mensual de la Temperatura Superficial	144
9.4.4.	Variación horaria de la Temperatura Superficial	147
9.4.5.	Distribución espacial de la Temperatura.....	148
9.5.	VARIACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL	150
9.5.1.	Variación anual de la Radiación Solar Global	150
9.5.2.	Variación Trimestral de la Radiación Solar Global	151
9.5.3.	Variación Mensual de la Radiación Solar	152
9.5.4.	Variación horaria de la Radiación Solar Global	152
9.6.	VARIACION DE LA PRESION ATMOSFERICA.....	155
9.6.1.	Variación Trimestral de la Presión Atmosférica	155
9.6.2.	Variación horaria de la Presión Atmosférica.....	156
9.7.	VARIACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE	157
9.7.1.	Variación anual de la humedad del aire.....	158
9.7.2.	Variación Trimestral de la humedad del aire	158
9.7.3.	Comportamiento horario de la humedad del aire.....	160
10	MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD.....	162
10.1	GENERALIDADES.....	162
10.1.1	Modelo Meteorológico	163
10.1.2	Módulo de Emisiones.....	163
10.1.3	Modelo fotoquímico de transporte de contaminantes	163
10.1.4	Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida.....	163
10.1.5	Post-procesamiento de Resultados.....	164
10.2	OBJETIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ	164
10.2.1	Objetivo General	164
10.2.2	Objetivos Específicos.....	164
10.3	MANEJO DE EMISIONES EN EL SIMCAB.....	164

10.3.1	Metodología de estimación de emisiones	165
10.3.2	Emisiones desagregadas en la ciudad	171
10.4	RESULTADOS DEL MODELO FOTOQUÍMICO	178
10.4.1	Resultados de simulación para el material particulado	179
10.4.2	Resultados de simulación para gases.....	181
10.5	VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS	183
10.5.1	Generalidades en la validación	183
10.5.2	Validación del modelo meteorológico WRF.....	186
10.5.3	Validación del modelo de transporte CMAQ	195
11	CALIDAD DEL AIRE Y SALUD.....	203
11.1	GESTION DE LA SALUD AMBIENTAL	204
11.2	VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL.....	204
11.3	ESTADO DE CONOCIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN SALUD	205
11.4	VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA	206
11.4.1	MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA	206
11.4.2	MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA.....	210
11.5	VIGILANCIA AMBIENTAL.....	217
11.6	VIGILANCIA SANITARIA.....	221
11.6.1	ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION.....	224
	BIBLIOGRAFÍA.....	227
	GLOSARIO	229
	ANEXOS	234

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2017.....	21
Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2017.....	25
Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.....	26
Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2017.....	27
Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2017.....	28
Figura 6-1. Concentración anual de PM ₁₀ por estación para el año 2017.....	31
Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM ₁₀ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.....	33
Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM ₁₀ por estación para el año 2017 y comparación con norma diaria (100 µg/m ³).....	36
Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.....	36
Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM ₁₀ por día de la semana para cada estación durante el año 2017.....	37
Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ ciclo mensual para el año 2017 por estación.....	38
Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo.....	39
Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.....	40
Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estación para los años 2013 a 2017.....	42
Figura 6-10. Promedios anuales de PM _{2.5} para el año 2017.....	42
Figura 6-11. Distribución espacial de los promedios anuales de PM _{2.5} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.....	44
Figura 6-12. Comportamiento diario de las concentraciones de PM _{2.5} por estación y comparación con norma diaria (100 µg/m ³).....	47
Figura 6-13 Comportamiento de la concentración de PM _{2.5} en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.....	48
Figura 6-14. Diagramas de caja de las concentraciones de PM _{2.5} por día de la semana para cada estación durante el año 2017.....	49
Figura 6-15. Comportamiento mensual de las concentraciones de PM _{2.5} para el año 2017 por estación.....	50
Figura 6-16. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM _{2.5} por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo.....	51
Figura 6-17. Comportamiento de las concentraciones de PM _{2.5} ciclo horario por estación durante el año 2017.....	52
Figura 6-18. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM _{2.5} por estación para los años 2013 a 2017.....	53
Figura 6-19 Comportamiento de las concentraciones anuales de O ₃ para el año 2017.....	56
Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O ₃ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.....	57

Figura 6-21. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ ciclo semanal durante el año 2017 por estación	58
Figura 6-22. Diagramas de caja de las concentraciones de O ₃ - ciclo semanal para cada estación durante el año 2017	59
Figura 6-23. Comportamiento mensual de la concentración de O ₃ para el año 2017 por estación.	60
Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O ₃ ciclo mensual para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo	60
Figura 6-25. Comportamiento horario de las concentraciones de O ₃ por estación y comparación con norma (120 µg/m ³).....	63
Figura 6-26. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ en ciclo horario por estación durante el año 2017.....	64
Figura 6-27. Comportamiento de las concentraciones de O ₃ (promedios móviles 8h) por estación y comparación con norma (80 µg/m ³)	67
Figura 6-28. Diagrama de cajas de O ₃ en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2013 y 2017 (con base en promedios móviles de 8h).....	68
Figura 6-29. Promedios anuales de NO ₂ para el año 2017	69
Figura 6-30 Comportamiento diario de la concentración de NO ₂ por estación para el año 2017 comparado con la norma diaria 150 µg/m ³	72
Figura 6-31. Comportamiento de las concentraciones de NO ₂ ciclo semanal durante el año 2017 por estación	73
Figura 6-32. Diagramas de caja de las concentraciones de NO ₂ por día de la semana para cada estación durante el año 2017.....	73
Figura 6-33. Comportamiento mensual de la concentración de NO ₂ para el año 2017 por estación	74
Figura 6-34. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO ₂ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo	75
Figura 6-35. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO ₂ y comparación con norma nacional 1h – Año 2017.....	77
Figura 6-36. Comportamiento horario de las concentraciones de NO ₂ por estación durante el año 2017.....	78
Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones de NO ₂ por hora del día para cada estación durante el año 2017	78
Figura 6-38 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO ₂ por estación para los años 2013 a 2017	80
Figura 6-39 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO ₂ para el año 2017	81
Figura 6-40. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO ₂ durante el año 2017 por estación	83
Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por día de la semana para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo.	83
Figura 6-42. Comportamiento mensual de la concentración de SO ₂ para el año 2017 por estación	84
Figura 6-43. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo	85
Figura 6-44. Comportamiento de las concentraciones horarias de SO ₂ en el 2017 por estación	87
Figura 6-45. Comportamiento horario de las concentraciones de SO ₂ por estación durante el año 2017.....	88

Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO ₂ por estación para los años 2013 a 2017	89
Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8h) para el año 2017.....	90
Figura 6-48. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2017	91
Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2017	92
Figura 6-50. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2017 por estación	93
Figura 6-51. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo	93
Figura 6-52. Concentraciones horarias de CO en el año 2017	95
Figura 6-53. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2017.....	96
Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017	96
Figura 6-55. Concentraciones 8 horas de CO en el 2017 por estación	99
Figura 6-56. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017.....	99
Figura 6-57 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2013 a 2017	101
Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM ₁₀ por estación. Año 2017.....	104
Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM _{2,5} por estación. Año 2017.....	104
Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O ₃ por estación. Año 2017.....	104
Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO ₂ por estación. Año 2017.....	104
Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO ₂ por estación. Año 2017.....	105
Figura 7-6. Proporción relativa de las categorías del AQI por mes del año para cada contaminante. Año 2017	106
Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM ₁₀ por estación. Año 2017 ...	109
Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM _{2,5} por estación. Año 2017..	109
Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O ₃ por estación. Año 2017	109
Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2017.....	109
Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para SO ₂ por estación. Año 2017.....	110
Figura 8-6. Proporción relativa de las categorías del IBOCA por mes del año para cada contaminante. Año 2017	110
Figura 9-1 Excedencias de precipitación 2017	112
Figura 9-2. Índice Oceánico de El NIÑO. Fuente: NOAA, 2017	113
Figura 9-3. Anomalías de la temperatura superficial del aire en Bogotá - 2017	113
Figura 9-4. Variación anual de la precipitación en Bogotá de acuerdo con la RMCAB 2000-2017.	116
Figura 9-5. Variación Trimestral multianual de la precipitación en Bogotá 2000-2017.	117

Figura 9-6. Variación espacial de la precipitación Trimestral en Bogotá -2017.....	118
Figura 9-7. Total anual acumulado por estación - 2017.....	119
Figura 9-8. Precipitación promedio, media máxima y media mínima mensual multianual (mm) 2010-2017.....	121
Figura 9-9. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2016 contra el promedio mensual 2017.....	121
Figura 9-10. Perfil horario anual de las precipitaciones totales acumuladas por estación (2010 - 2017).....	122
Figura 9-11. Distribución de frecuencia de la precipitación horaria en la ciudad (2010 - 2017)....	122
Figura 9-12. Perfil de la precipitación promedio horaria anual por cada estación - 2017.....	123
Figura 9-13. Distribución de frecuencia precipitación horaria en la ciudad - 2017	123
Figura 9-14. Total anual acumulado por estación – 2017.....	124
Figura 9-15. A) Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2017 y b) Mapa de anomalía de la precipitación de 2017 contra el promedio multianual de la precipitación desde 2010 -2017.....	125
Figura 9-16. Comportamiento del número de días con precipitación promedio en 2017 y periodo 2010 – 2016.....	127
Figura 9-17. Velocidad del viento promedio multianual 2010-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017.....	128
Figura 9-18. Velocidad del viento promedio trimestral de 2017 frente al promedio trimestral multianual 2000-2017 por estación.....	130
Figura 9-19. Velocidad del viento promedio trimestral multianual 2000-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017.....	131
Figura 9-20. Velocidad promedio mensual de la velocidad del viento - ciudad	133
Figura 9-21. Rosas de viento consolidadas por estación - 2017	134
Figura 9-22. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2017.....	135
Figura 9-23. Velocidades máximas: medias máximas absolutas, máxima absoluta y máxima mínima absoluta horaria, por estación de la RMCAB – 2017.....	136
Figura 9-24. Velocidades máximas: máximas absolutas, máxima media y máxima mínima horaria anual. RMCAB – 2017.....	137
Figura 9-25. Velocidades medias: medias, medias máximas y medias mínimas horarias por estación de la RMCAB – 2017.....	138
Figura 9-26. Velocidades medias: medias máximas, medias, media mínima horaria anual. RMCAB – 2017.....	138
Figura 9-27. Velocidades Mínimas: medias mínimas absolutas, mínimas máximas y mínima absoluta, por estación de la RMCAB - 2017.....	139
Figura 9-28. Velocidades mínimas: Mínima máximas, Mínima medias, Mínima horaria Absoluta horaria anual. RMCAB – 2017	139
Figura 9-29. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2017	142
Figura 9-30. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017	143
Figura 9-31. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017	143
Figura 9-32. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2016 frente a 2017.....	145
Figura 9-33. Temperaturas medias extremas año 2017	146

Figura 9-34. Temperaturas medias y medias extremas año 2017	147
Figura 9-35. Perfil horario máximas, medias y mínimas medias 2017.....	148
Figura 9-36. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2017. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2017 respecto al promedio de 2016.....	149
Figura 9-37. Radiación Solar Global ciudad - comportamiento acumulado promedio histórico multianual - 2009 a 2017	150
Figura 9-38. Comportamiento histórico Radiación Solar Global trimestral promediada por estación. 2010 a 2017	151
Figura 9-39. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2010 a 2017	152
Figura 9-40. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio ciudad – 2017	153
Figura 9-41. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio por estación - 2017	154
Figura 9-42. Comportamiento horario de O ₃ (µg/m ³) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m ²).....	155
Figura 9-43. Comportamiento histórico del promedio de la Presión Atmosférica trimestral desde 2009 a 2017	156
Figura 9-44. Perfil promedio horario de la presión atmosférica por estación – 2017.....	157
Figura 9-45. Comportamiento histórico del promedio multianual de la humedad - periodo 2009 a 2017.....	158
Figura 9-46. Comportamiento histórico del promedio trimestral de la humedad - periodo 2009 a 2017.....	160
Figura 9-47. Perfil promedio horario de la humedad del aire por estación – 2017.....	161
Figura 10-1. Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá.....	162
Figura 10-2 Distribución participación en la flota de la ciudad por categoría vehicular.	166
Figura 10-3 Ubicación estaciones de conteos vehiculares y polígonos de Thiessen.	167
Figura 10-4 Distribución número de vehículos por categoría vehicular y estación de conteo.....	167
Figura 10-5 Número de industrias por Localidad.....	169
Figura 10-6 Distribución de combustibles implementados.	170
Figura 10-7 Distribución de combustibles vendidos en estaciones de servicio de Bogotá.....	171
Figura 10-8 Distribución espacial de emisiones de PM ₁₀ provenientes de fuentes móviles en un día hábil.....	173
Figura 10-9 Distribución espacial de emisiones de PM ₁₀ provenientes de fuentes industriales en un día hábil.....	174
Figura 10-10 Distribución espacial de emisiones de PM ₁₀ provenientes de fuentes comerciales en un día hábil.....	175
Figura 10-11 Distribución espacial de emisiones de PM _{2,5} provenientes de la resuspensión en vías pavimentadas en un día hábil	176
Figura 10-12 Distribución espacial de emisiones de PM _{2,5} provenientes de la resuspensión en vías no pavimentadas en un día hábil	177
Figura 10-13 Distribución espacial de emisiones de COV provenientes EDS y CAC en un día hábil	178
Figura 10-14 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM ₁₀ ajustadas a observaciones para el 2017.....	180
Figura 10-15 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM _{2,5} ajustadas a observaciones para el 2017.....	180

Figura 10-16 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO ₂ ajustadas a observaciones para el 2017.....	181
Figura 10-17 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO ₂ ajustadas a observaciones para el 2017.....	182
Figura 10-18 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2017.....	183
Figura 10-19 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de O ₃ ajustadas a observaciones para el 2017.....	184
Figura 10-20 Validación de la temperatura a nivel ciudad	187
Figura 10-21 Validación de la temperatura por estación.....	187
Figura 10-22 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad.....	188
Figura 10-23 Validación de la humedad relativa por estaciones	189
Figura 10-24 Validación del viento a nivel ciudad.....	190
Figura 10-25 Validación del viento por estaciones	190
Figura 10-26 Validación de la radiación solar a nivel ciudad.	192
Figura 10-27 Validación de la radiación solar por estaciones.....	192
Figura 10-28 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad.....	193
Figura 10-29 Validación de la presión atmosférica por estaciones.....	193
Figura 10-30. Validación de la precipitación por estaciones.....	194
Figura 10-31 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM ₁₀	195
Figura 10-32 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM _{2.5}	196
Figura 10-33 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO ₂	196
Figura 10-34. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO ₂	197
Figura 10-35. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO.....	197
Figura 10-36 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para O ₃	198
Figura 10-37 Diagramas de Taylor por mes para PM ₁₀	200
Figura 10-38 Diagramas de Taylor por mes para PM _{2.5}	200
Figura 10-39 Diagramas de Taylor por mes para CO.....	201
Figura 10-40 Diagramas de Taylor por mes para SO ₂	201
Figura 10-41 Diagramas de Taylor por mes para NO ₂	202
Figura 10-42 Diagramas de Taylor por mes para O ₃	202
Figura 11-1. Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá... 205	
Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores de Cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2017* (* años 2015 al 2017* datos preliminares)	207
Figura 11-3. Factores de riesgo para presencia de mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años.	208
Figura 11-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material particulado 2.5 µg/m ³ en Bogotá, 2017.	209
Figura 11-5. Consolidado Morbilidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2017.	211
Figura 11-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2017	211
Figura 11-7. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM ₁₀ en Bogotá en el año 2017	218
Figura 11-8. Promedios de las medias móviles de concentraciones de PM _{2.5} por estación para el año 2017.....	219

Figura 11-9. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM ₁₀ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2017	219
Figura 11-10. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM _{2.5} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2017	220
Figura 11-11. Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2017.	221
Figura 11-12. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire en Bogotá, 2017	223
Figura 11-13. Registro fotográfico presentación Pronóstico IBOCA	225
Figura 11-14. Portal del Pronóstico del IBOCA.....	225
Figura 11-15. Registro fotográfico de la socialización del IBOCA.....	226
Figura 0-1. Presentación del gráfico de <i>cajas</i> con una descripción de sus componentes.	234
Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} – Carvajal-Sevillana.....	236
Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Centro de Alto Rendimiento.....	237
Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} Guaymaral.....	238
Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} - Kennedy.....	239
Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} - Las Ferias	240
Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} MinAmbiente.....	241
Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} – Puente Aranda.....	242
Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} – San Cristóbal	243
Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} - Suba	244
Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} -Tunal.....	245
Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de PM _{2.5} - Usaquén	246

LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB, métodos equivalentes y de referencia EPA.....	20
Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2017	22
Tabla 4-1 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.....	24
Tabla 5-1 Porcentaje de datos capturados por instrumento y estación.....	26
Tabla 5-2 Porcentaje de datos validados por estación y parámetro	28
Tabla 6-1. Promedios anuales de PM ₁₀ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración.....	31
Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM ₁₀ durante el año 2017	34
Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM ₁₀ para los años 2013 a 2017	40
Tabla 6-4. Promedios anuales de PM _{2.5} para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración	43
Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM _{2.5} durante el año 2017	45
Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de PM _{2.5} para los años 2013 a 2017.....	52
Tabla 6-7. Relación concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀ por estación	54
Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O ₃ durante el año 2017	61
Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O ₃ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración	64
Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O ₃ durante el año 2017	65
Tabla 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O ₃ para los años 2013 a 2017.....	68
Tabla 6-12. Promedios anuales de NO ₂ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración	70
Tabla 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO ₂ durante el año 2017	71
Tabla 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO ₂ durante el año 2017	76
Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO ₂ para los años 2013 a 2017.....	79
Tabla 6-16. Promedios anuales de SO ₂ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración	81
Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO ₂ durante el año 2017	82
Tabla 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO ₂ durante el año 2017	86
Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO ₂ para los años 2013 a 2017.....	88
Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2017	94
Tabla 6-21. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración.....	97
Tabla 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2017	98
Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2013 a 2017.....	100
Tabla 7-1. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT 2010).....	103

Tabla 8-1. Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015	107
Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2017	112
Tabla 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. Periodo 2000 - 2017.	115
Tabla 9-3. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad - 2017. (N.A. no cumple criterio de representatividad).....	119
Tabla 9-4. Distribución de la lluvia mensual durante el año 2017.....	120
Tabla 9-5. Precipitación promedio RMCAB 2000 - 2017	120
Tabla 9-6. Número de días con precipitación por estación RMCAB 2017	126
Tabla 9-7. Número promedio de días con precipitación mensual multianual RMCAB 2017.....	126
Tabla 9-8. Velocidad promedio anual del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2017 ...	129
Tabla 9-9. Promedio multianual de la velocidad del viento.....	132
Tabla 9-10. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día.	140
Tabla 9-11. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2017	141
Tabla 9-12. Temperatura RMCAB 2000 - 2017	144
Tabla 9-13. Registro de heladas en la estación de Suba y bajas temperatura en la estación Carvajal-Sevillana en 2007	146
Tabla 9-14. Temperaturas extremas año 2017	146
Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en GW-año/m ² periodo 2009 - 2017.....	150
Tabla 9-16. Radiación Solar promedio mensual - 2017	152
Tabla 9-17. Radiación Solar promedio anual a 2017 (W/m ²).....	153
Tabla 9-18. Presión atmosférica promedio anual a 2017 (mmHg)	156
Tabla 9-19. Humedad promedio multianual – 2017	158
Tabla 9-20. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (DEF) – 2017	159
Tabla 9-21. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (MAM) – 2017.....	159
Tabla 9-22. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (JJA) – 2017.....	159
Tabla 9-23. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (SON) – 2017.....	160
Tabla 9-24. Humedad promedio horario anual – 2017 (%).....	161
Tabla 10-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones	198
Tabla 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura ..	204
Tabla 11-2. Estadísticas descriptivas según sexo, edad y estrato socioeconómico de los menores de cinco años según la exposición a contaminación del aire.....	212
Tabla 11-3. Porcentaje de Síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire. 213	213
Tabla 11-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM10 establecidos por la Organización Mundial de la Salud.....	220
Tabla 11-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM2.5 establecidos por la Organización Mundial de la Salud.....	221
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes.....	235

1 INTRODUCCIÓN

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

Para el año 2017 la RMCAB estaba conformada por trece (13) estaciones de monitoreo las cuales están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , O_3), así como de las variables meteorológicas de Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica.

Cabe resaltar que la estación MinAmbiente suspendió su monitoreo desde el día 21 de noviembre de 2017, debido a que se realizaron reparaciones y mantenimientos en la terraza de la edificación donde se encuentra ubicada. Sin embargo, este periodo no afectó la representatividad de los datos registrados por la estación en el resto del año.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedios octohorarios, diarios, y anuales obtenidos para cada uno de los contaminantes frente a los valores máximos permisibles establecidos en Resolución 610 de 2010 del MAVDT, contempla el cálculo de número de excedencias frente a la norma, lo cual informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presentó un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

También se realiza el análisis de los parámetros evaluados a través del Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire de Bogotá (SIMCAB), y su comparación con los datos registrados en la RMCAB, para la elaboración de los Pronósticos de Calidad del Aire con 48 horas de antelación.

Adicionalmente, se incluye un capítulo elaborado por la Secretaría Distrital de Salud, el cual contiene los análisis de temas relacionados con la calidad del aire y la salud de la población, tales como los casos de morbilidad de enfermedad respiratoria por grupos de población, y las acciones realizadas con el fin de prevenir dichas enfermedades.

2 RESUMEN EJECUTIVO

Para el año 2017 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) estuvo conformada por trece estaciones, doce monitorean contaminantes y variables meteorológicas, y la estación Bolivia exclusivamente variables meteorológicas. Estas estaciones están ubicadas estratégicamente para tener la mayor cobertura de toda la ciudad, y continuamente registraron las concentraciones de los siguientes contaminantes criterio: material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), y gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO , O_3), así como las variables meteorológicas: Precipitación, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura, Radiación Solar, Humedad Relativa y Presión Barométrica que regulan el transporte de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá. Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría Distrital de Ambiente son los estipulados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2017 en promedio fue de 92%, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Comportamiento de la concentración de PM_{10}

Durante el año 2017, las mayores concentraciones de material particulado PM_{10} fueron registradas en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Suba y Puente Aranda respectivamente. En Carvajal se obtuvo un promedio anual de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo el registro más alto comparado con las otras estaciones. Por otro lado, San Cristóbal y Guaymaral obtuvieron el promedio anual más bajo del año con $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Al evaluar el comportamiento registrado respecto a la norma se presentó un total de 21 excedencias en el año, siendo Carvajal-Sevillana la que tuvo el mayor número de excedencias con 16, seguida de Kennedy con 3 excedencias a la norma. En contraste, en la zona oriental de la ciudad no se registraron excedencias en ninguna de las estaciones. En cuanto al comportamiento temporal de la concentración, se evidenció que las mayores concentraciones se registran entre las 6 y 7 de la mañana, para luego disminuir hasta las 5 o 6 de la tarde en donde se presenta un nuevo pico de menor concentración al de la mañana. Las mayores concentraciones registradas para una exposición diaria fueron de $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal-Sevillana y $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Kennedy y Tunal.

Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$

En relación a la concentración de partículas con diámetro inferior a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) la mayor concentración para un tiempo de exposición anual se presentó en la estación Carvajal-Sevillana con $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida de la estación Kennedy con $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación Tunal con $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la menor concentración promedio se registró en San Cristóbal con $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El comportamiento espacial de PM_{10} en relación con $PM_{2.5}$ concuerda mostrando que en la zona sur occidente es donde se registran las mayores concentraciones de material particulado de la ciudad. En cuanto al comportamiento horario de $PM_{2.5}$, de manera similar a PM_{10} , se registra el mayor pico de concentración alrededor de las 6 o 7 de la mañana para luego disminuir la concentración hasta las 5 o 6 de la tarde, cuando registra un segundo pico de menor concentración al de la mañana.

Comportamiento de la concentración de O₃

Para el año 2017 la mayor concentración promedio anual se registró en la estación Suba con 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida de Usaquén con 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Guaymaral y Min Ambiente con 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cada una. Las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, su presencia en la atmósfera puede asociarse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Cabe destacar el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios. Siendo así que las estaciones al sur de la ciudad registran las concentraciones más bajas de Ozono, donde Kennedy registró 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Puente Aranda 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Carvajal Sevillana 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comportamiento de la concentración de NO₂

Durante el año 2017, ninguna estación de la RMCAB incumple la norma de calidad del aire, el comportamiento temporal en la semana indica que las mayores concentraciones se registran entre martes y jueves variando con la estación analizada y las menores concentraciones se registran los domingos, esto podría atribuirse a la baja actividad vehicular de los fines de semana. En cuanto al ciclo horario, se observan dos picos de concentración, uno a las 7 am y otro alrededor de las 7 pm, registrando concentraciones entre 35 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, las concentraciones más bajas se registran a las 3 am y 3 pm posiblemente asociado a fenómenos meteorológicos, de reacción química y la actividad intrínseca de la ciudad.

Comportamiento de la concentración de SO₂

Durante el año analizado, ninguna de las estaciones incumplió los límites máximo permisible estipulados en la norma de calidad del aire, la mayor concentración registrada para una exposición anual fue de 13.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Carvajal-Sevillana mientras que la estación con menor concentración fue Centro de Alto Rendimiento con 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto al comportamiento temporal de la concentración, se observa que a las 7 de la mañana se registra el pico de mayor concentración en todas las estaciones. Esto se podría asociar a la hora pico de actividad vehicular y a la presencia de inversiones térmicas que suelen romperse tipo 8 o 9 de la mañana.

Comportamiento de la concentración de CO

Al evaluar el comportamiento horario para el 2017 respecto a la norma, se observa que no se registraron excedencias durante el año, siendo el nivel máximo permisible de 40 mg/m^3 y registrando un máximo de concentración de 6.8 mg/m^3 . Con relación al comportamiento semanal, se observa un comportamiento similar al NO₂.

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 equivalentes de la EPA, en la Tabla 3-2 se especifican las características generales de las estaciones de la RMCAB, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas y la Figura 3-1 corresponde a la distribución espacial de las estaciones en la ciudad.

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

Adicionalmente, la estación MinAmbiente reportó datos hasta el día 21 de Noviembre de 2017, dado que desde ese día se suspendió la comunicación con la estación debido a reparaciones que se realizaron sobre la terraza de la edificación donde se ubica la estación.

La elaboración de informes de calidad del aire hacen parte de uno de los programas contenidos en el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016 – 2020 “Bogotá Mejor para Todos”, cuyo cumplimiento es responsabilidad de la Secretaría Distrital de Ambiente, al ser la autoridad ambiental del distrito capital. Además, uno de los procesos misionales de esta entidad es la “Evaluación, control y seguimiento”, dentro del cual se encuentra comprendido el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, y se cumple a través de las estaciones de la RMCAB.

La obtención de los datos de concentraciones de contaminantes y de variables meteorológicas se realiza a través de los analizadores de calidad del aire y sensores meteorológicos, estos datos son guardados en la base de datos local y se envía y enviados a la base de datos central cada hora. cuyo funcionamiento y operatividad son verificados mediante la realización de mantenimientos preventivos y correctivos por parte del equipo de campo de la RMCAB, programados periódicamente mediante un software destinado para este fin.

Los métodos de medición utilizados por los monitores de la RMCAB se encuentran descritos en la lista de métodos de referencia y equivalentes designados, publicada en junio de 2017¹. Los métodos de referencia se encuentran establecidos en el Título 40 del CFR (*Code of Federal Regulations*), los cuales están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos. Para cada contaminante se encuentra definido un método de referencia específico, de acuerdo al método

¹ United States Environmental Protection Agency. List of designated reference and equivalent methods. June 16, 2017. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html>
Informe Anual de Calidad del Aire
Año 2017
Página 19 de 247
126PM04-PR84-M-A2-V2.0

equivalente por el cual funciona cada monitor, lo cual se encuentra establecido en los apéndices de la Parte 50 del Título 40 del CFR².

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

Contaminante	Principio de Medición	Método equivalente automatizado EPA	Apéndice Parte 50 del CFR
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122 EQPM-1102-150	J
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0609-183 EQPM-0308-170	L
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087 EQOA-0193-091	D
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074 RFNA -1194-099 RFNA-1292-090	F
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088 RFCA-1093-093 RFCA-0992-088	C
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100 EQSA-0486-060	A-1

² 40 CFR Appendix Table A-1 to Subpart A of Part 53, Summary of Applicable Requirements for Reference and Equivalent Methods for Air Monitoring of Criteria Pollutants. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-Table_A-1_to_subpart_A_of_part_53
Informe Anual de Calidad del Aire
Año 2017
Página 20 de 247
126PM04-PR84-M-A2-V2.0

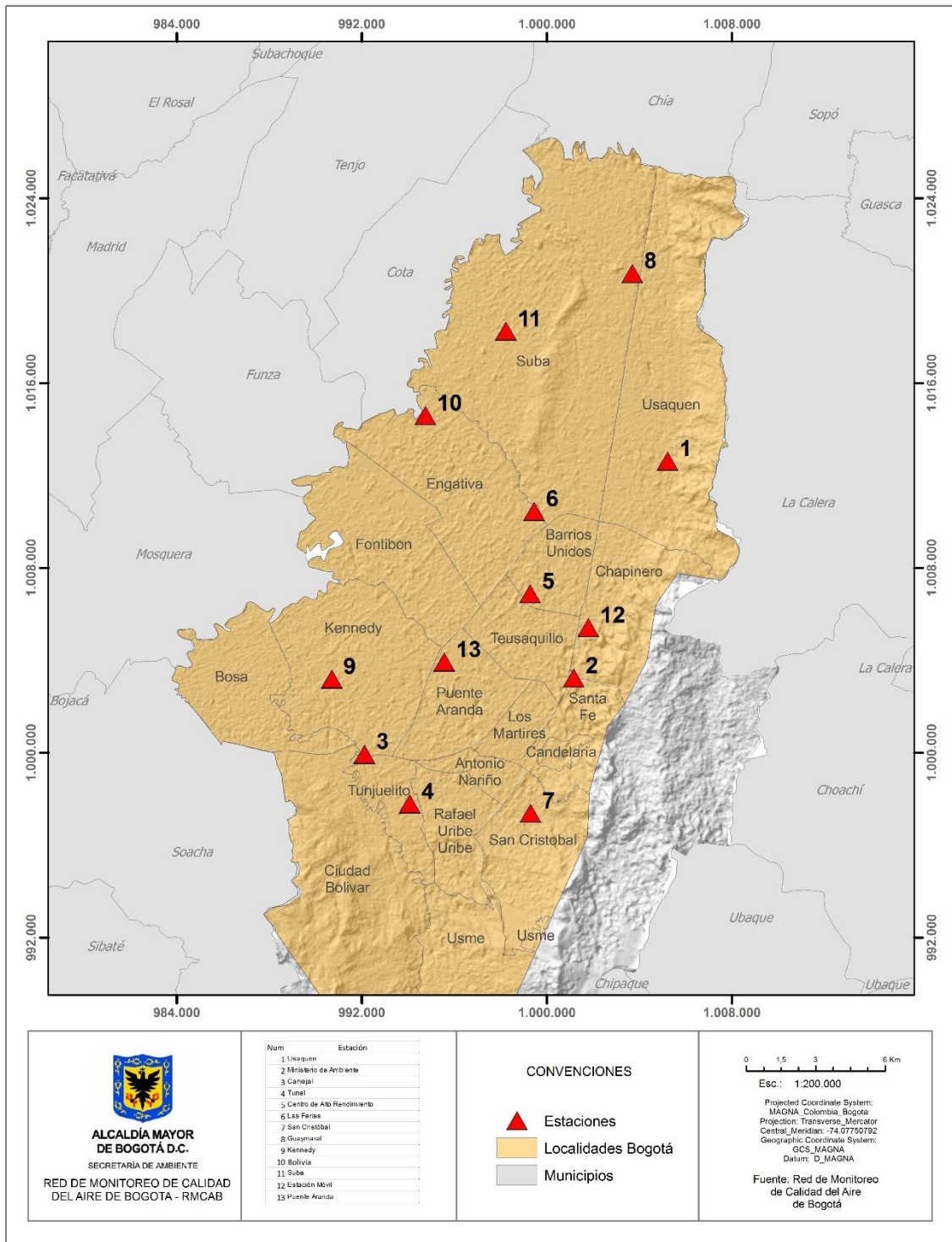


Figura 3-1 Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2017

Tabla 3-2 Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el año-2017

Característica	Guaymaral (Escuela de Ingeniería)	Usaquén (Bosque)	Suba (Corpas)	Bolivia	Las Ferias (Carrefour Calle 80)	C. de Alto Rendimiento (Parque Simón 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°149.50"W	74°5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111# 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur# 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana
	Tipo de estación	De fondo	De fondo	De fondo	De fondo	De tráfico	De fondo	De tráfico	Industrial	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Azotea	Zona Verde	Zona Verde
	Altura punto de muestra	4 m	13 m	9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m	18 m	13 m	7 m	6 m	3 m	4 m
Altura viento	10 m	19 m	10 m	10 m	10 m	10 m	19 m	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m	
Var. Meteorológicas	PM ₁₀	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	PM _{2.5}	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	O ₃	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	NO ₂	x				x	x		x	x	x	x	
	CO		x			x	x		x	x	x	x	
	SO ₂			x			x		x	x	x	x	x
Var. Meteorológicas	V. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	D. Viento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Temperatura	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x
	Precipitación	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	R. Solar	x					x			x		x	x
	H. Relativa	x				x	x			x		x	x
	Presión Atm.	x				x				x			

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

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

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

4.3 NORMATIVIDAD

La normatividad de calidad del aire adoptada para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá para el 2017 se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La Tabla 4-1 presenta los niveles máximos permitidos para los contaminantes criterio.

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 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
PM ₁₀	50	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
PM _{2.5}	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
SO ₂	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO ₂	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio horaria en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O ₃	80	8 horas	Concentración promedio horaria en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio horaria en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

5 INDICADORES DE OPERACIÓN Y DESEMPEÑO

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos y los equipos de medición de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2017. En la primera parte se determina el porcentaje de datos capturados, y en la segunda sección se presentan el porcentaje de datos validados, cada una diferenciada por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo.

5.1 PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS

La Figura 5-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupado por parámetro medido de la RMCAB para el año 2017, todos los parámetros capturaron datos superando el umbral de la norma del 75%. Es de aclarar que debido a situaciones ajenas a la RMCAB la estación de Min Ambiente debió ser suspendida por obras en la zona de ubicación en el mes de noviembre. Los parámetros meteorológicos presentan los mayores porcentajes de captura de datos con (>97%), mientras que para los parámetros de concentraciones de contaminantes los registros registran un porcentaje de captura superior al 81%. El parámetro con el menor porcentaje de captura fue el NO₂, esto se atribuye a que el equipo de Carvajal-Sevillana fue reparado a finales del segundo trimestre del año. Por otro lado, el equipo de la estación de Las Ferias estuvo en mantenimiento en los últimos meses del año, mientras que el equipo de Guaymaral ha presentado fallas recurrentes. En cuanto al ozono, el equipo de Centro de Alto Rendimiento esta fuera de servicio en espera de adquisición de repuestos. El SO₂ reporta bajos niveles de representatividad debido a que el equipo de la estación de San Cristóbal fue reubicado en la estación de Tunal desde el mes de agosto.

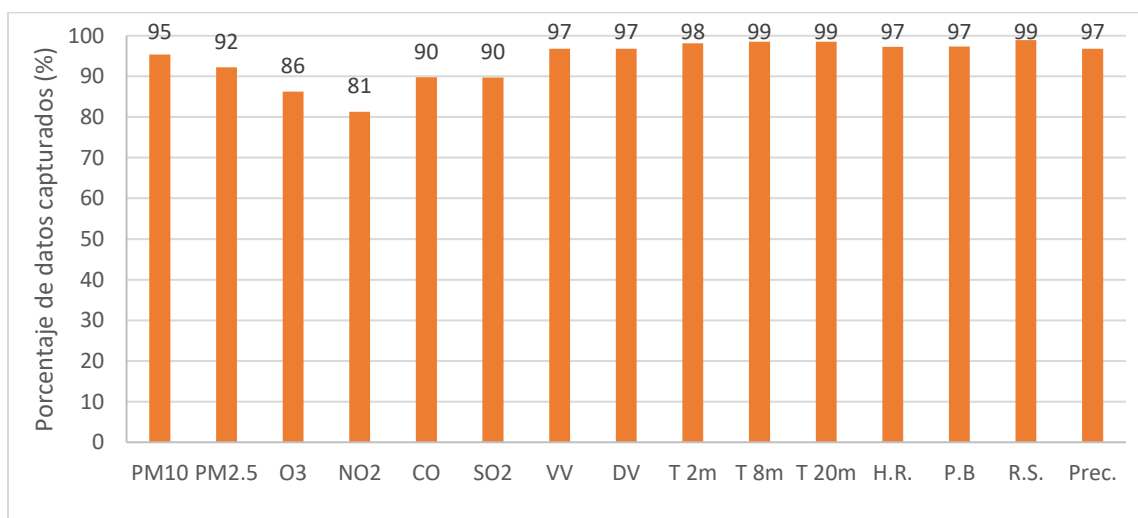


Figura 5-1 Porcentaje de captura de datos por tipo de monitor en la RMCAB. Año 2017.

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

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

En la Figura 5-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por los instrumentos de medición agrupados por estación de monitoreo, se observa que todas las estaciones presentaron un porcentaje de captura superior al 75 % de representatividad exigido por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire. La estación con el menor porcentaje de captura fue Centro de Alto Rendimiento debido a la falla mencionada en el equipo de ozono y asociado al PM_{2.5} que estuvo fuera de operación desde marzo hasta inicios de julio del año 2017.

Las pérdidas de datos se presentan generalmente por fallas mayores en los equipos de medición, fallas en el suministro de energía, incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año y fallas de comunicación por daños en los puertos.

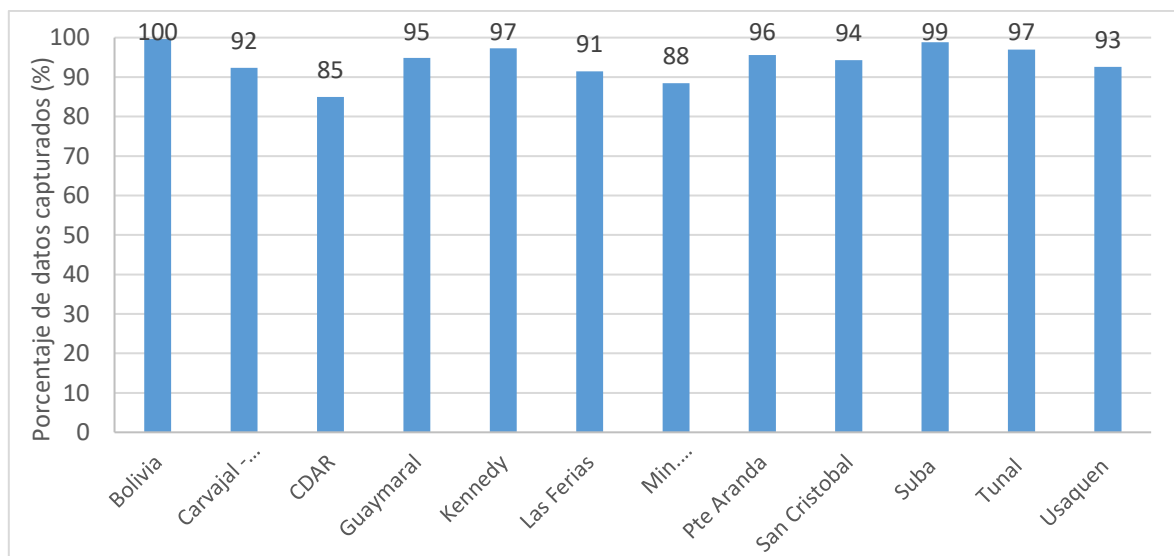


Figura 5-2 Porcentaje de datos capturados por estación.

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

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Bolivia							100	100							100	100
Carvajal	92	99	89	64	89	92	99	99	99						99	92
CDAR	92	65	31	93	93	93	93	93	93			93			93	85
Guaymaral	98	96	86	67			99	99	99	99	99	99	99	99	99	95
Kennedy	99	98	97	84	97	99	99	99	99			99	99	99	99	97
Las Ferias	92	94	96	74	82		95	95	95			95	95		95	91
Min. Ambiente	89	85	89				89	89							89	88
Pte. Aranda	100	90	80	99	89	100	100	100	100						100	96
San Cristóbal	98	99	92			58	99	99	99			99		99	99	94

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

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Suba	100	96	97			97	100	100	100						100	99
Tunal	97	99	99	89	88	41	99	99	99			99		99	99	97
Usaquén	93	92	92				93	93							93	93
Promedio	95	92	86	81	90	83	97	97	98	99	99	97	97	99	94	94

5.2 PORCENTAJE DE DATOS VALIDOS

El proceso de validación busca validar o invalidar datos que han pasado por la validación automática de los equipos y software, pero que aun así pueden presentar errores o inconsistencias en las bases de datos por motivos de fallas en los equipos, eventualidades en la ciudad, ruido de los instrumentos, entre otros.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2017 es 94% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). La Figura 5-3 presenta el consolidado de datos validados por parámetro. Al comparar con la Figura 5-1 se puede observar que el porcentaje de variación de los parámetros meteorológicos es del 1% al 3%, mientras que en los contaminantes se observan variaciones del 2% al 10% de los datos. El parámetro con el mayor porcentaje de invalidación es NO₂.

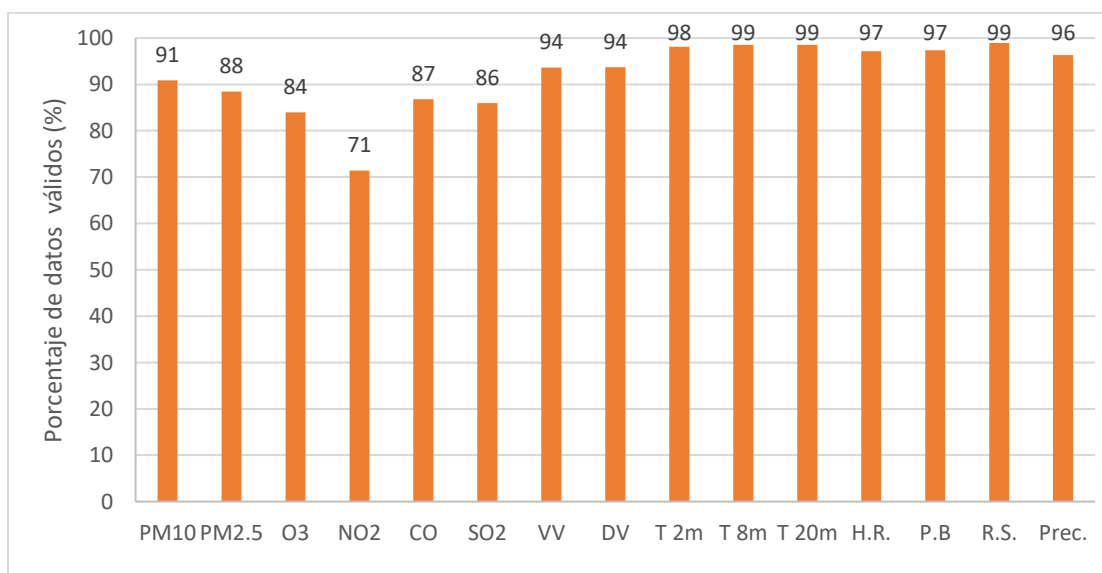


Figura 5-3 Porcentaje de datos validados por tipo de instrumento para el año 2017

T 2m: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

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

La Figura 5-4 presenta el porcentaje de datos validados por estación de monitoreo, al comparar con la Figura 5-2 se observa que el porcentaje de pérdida de datos fue igual o menor al 5% de los datos capturados. Las estaciones que mayor pérdida de datos presentaron fueron Tunal y Kennedy con el 5% y 4% respectivamente.

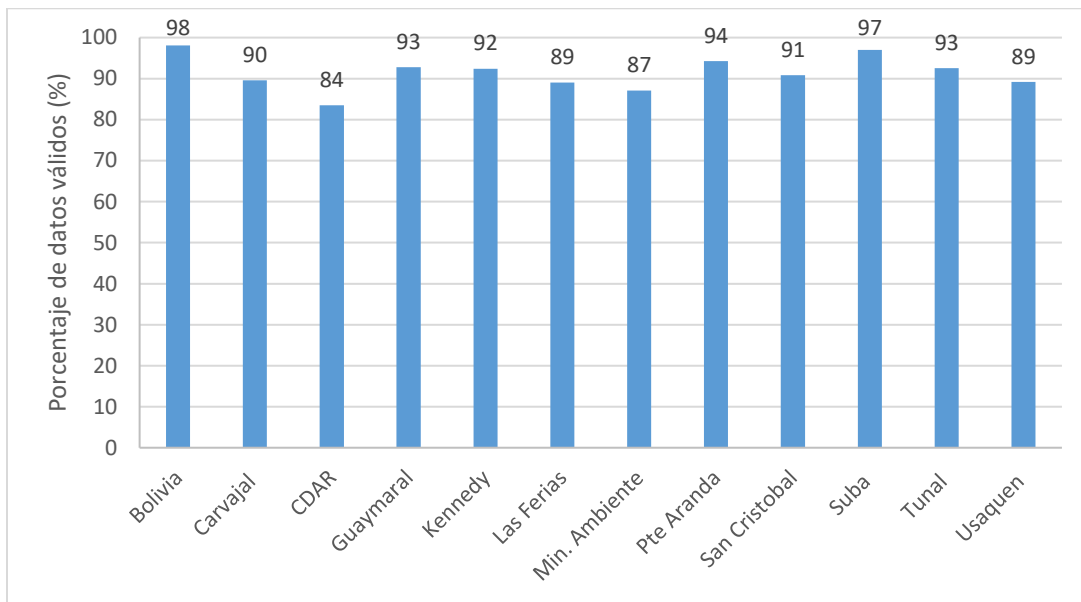


Figura 5-4 Porcentaje de datos validados por estación para el año 2017.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2017 se exponen en la Tabla 5-2. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación durante el periodo de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2017 es de 92%.

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

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
Bolivia							99	96							99	98
Carvajal	89	99	89	44	86	91	99	99	99						99	90
CDAR	87	63	31	92	91	88	93	93	93			93			93	84
Guaymaral	96	91	86	47			98	99	99	99	99	99	99	99	99	93
Kennedy	97	94	85	78	93	96	99	67	99			99	99	99	99	93
Las Ferias	88	88	95	59	82		95	95	95			95	95		95	90
Min. Ambiente	85	82	88				89	89							89	87
Pte Aranda	98	86	75	96	90	98	100	100	100						100	94

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

Estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	CO	SO ₂	VV	DV	T 2m	T 8m	T 20m	H.R.	P.B	R.S.	Prec.	Prom
San Cristóbal	89	93	92			45	94	99	99			98		99	99	91
Suba	86	96	97			97	100	100	100						100	97
Tunal	94	94	96	86	80	36	72	99	99			99		94	99	87
Usaquén	90	86	90				91	91							87	89
Promedio	91	88	84	73	87	79	94	94	98	99	99	97	97	98	96	92

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

Este capítulo incluye reportes gráficos para el análisis de las concentraciones de los contaminantes, comparación de los promedios horarios, diarios, anuales y móviles de 3 y 8 horas, según corresponda y la evaluación con los límites máximos permisibles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos en la normatividad nacional (Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial - MAVDT). El cálculo de cada promedio tiene en cuenta una cobertura temporal de mínimo 75% del número de datos.

La distribución espacial de las mediciones de concentraciones de los contaminantes se representa mediante mapas de interpolación espacial producto de la implementación de un método geoestadístico, por lo que se debe tener en cuenta que estas representaciones se encuentran sujetas a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria con base en las mediciones de cada estación.

6.1 MATERIAL PARTICULADO

6.1.1 PM_{10}

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

La RMCAB contó con 11 equipos de medición de PM_{10} para el año de 2017, y todos ellos reportaron datos con una representatividad mayor al 75%, obteniendo un total de 3649 datos registrados por las estaciones de monitoreo.

6.1.1.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

En la Figura 6-1 se observan los promedios anuales de PM_{10} por estación de monitoreo para el año 2017 y su comparación con el nivel máximo permisible anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dicho valor fue sobrepasado en 2 de las 11 estaciones que monitorearon PM_{10} en el 2017, las cuales corresponden a Kennedy y Carvajal – Sevillana, ubicadas en el suroccidente de la ciudad. La mayor concentración anual promedio de PM_{10} se registró en la estación Carvajal-Sevillana con $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la menor concentración fue registrada en las estaciones San Cristóbal y Guaymaral, con $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Como ha ocurrido en años anteriores, las concentraciones más altas se evidenciaron en las estaciones del suroccidente de la ciudad, aunque se destaca el valor de concentración de PM_{10} de la estación Suba, ubicada al norte de la ciudad, con la tercera concentración más alta del año. Esta situación fue causada posiblemente por transporte de contaminación del suroccidente hacia el noroccidente por cambios en la dirección de los vientos en ciertos períodos del año.

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

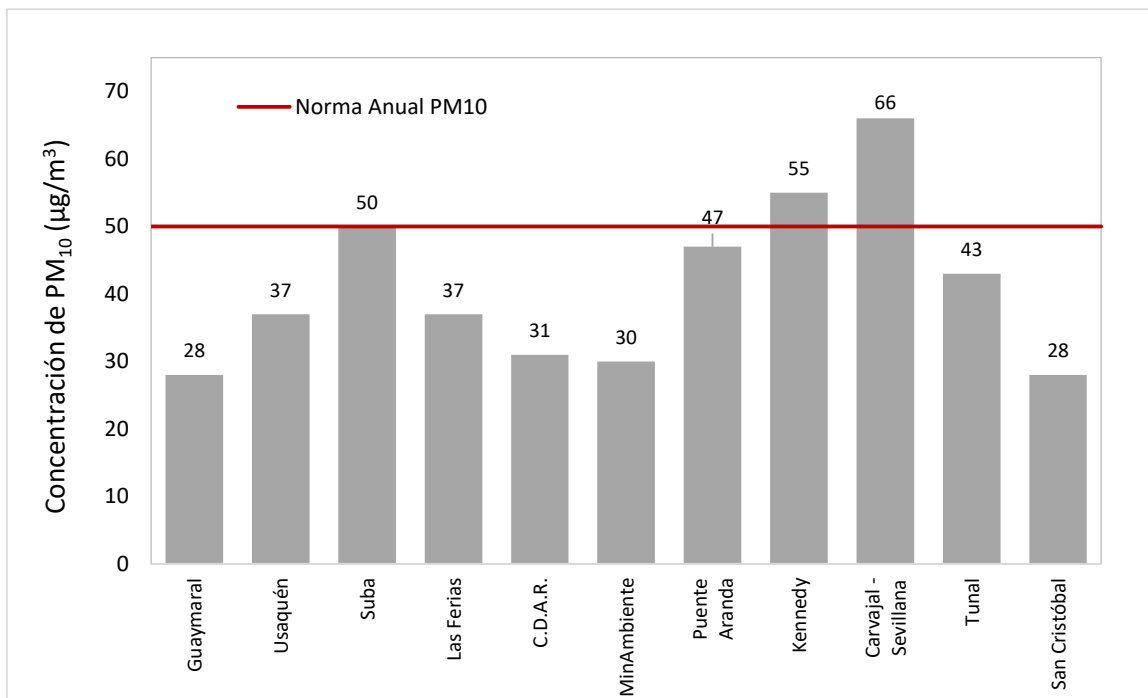


Figura 6-1. Concentración anual de PM₁₀ por estación para el año 2017

En la Tabla 6-1 se muestra la comparación de los promedios anuales de PM₁₀ del año 2017 por estación con respecto a los promedios de concentración del año 2016. Se evidencia que en todas las estaciones hubo una disminución de las concentraciones con respecto al año anterior, a excepción de la estación San Cristóbal, en la que hubo un incremento de 2 µg/m³. La mayor disminución se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, en la cual la concentración del 2017 es 10 µg/m³ más baja que la registrada en el año 2016.

Tabla 6-1. Promedios anuales de PM₁₀ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM ₁₀ 2016	Promedio PM ₁₀ 2017	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
Guaymaral	32	28	↓
Usaquén	42	37	↓
Suba	51	50	↓
Las Ferias	40	37	↓
Centro de Alto Rendimiento	34	31	↓

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

Estación	Promedio PM ₁₀ 2016	Promedio PM ₁₀ 2017	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
MinAmbiente	34	30	↓
Puente Aranda	52	47	↓
Kennedy	58	55	↓
Carvajal-Sevillana	76	66	↓
Tunal	50	43	↓
San Cristóbal	26	28	↑

La distribución espacial de la concentración de PM₁₀, con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-2, mediante un mapa elaborado por el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad temporal mayor al 75%. Según esta representación, las concentraciones más altas se presentaron en la zona correspondiente a la intersección de las localidades Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, en el área de influencia de la estación Carvajal-Sevillana, con un rango de concentraciones entre 61 y 70 µg/m³. En el siguiente rango de concentración (51 a 60 µg/m³) se encuentra el área de influencia de la estación Kennedy, que incluye el resto de las áreas de las localidades Kennedy y Bosa, y la zona occidental de las localidades Ciudad Bolívar y Puente Aranda. Con ello se evidencia que la zona suroccidental es en la cual se presentan las mayores concentraciones de PM₁₀, como ha sucedido en años anteriores.

Por otro lado, las menores concentraciones se presentan en el corredor oriental de la ciudad, especialmente en las áreas de influencia de las estaciones San Cristóbal y Guaymaral, posiblemente por influencia de la dirección del viento, que circula la mayoría del año de oriente a occidente, y por la ubicación cercana a zonas verdes, con baja influencia de contaminación por fuentes fijas y móviles.

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

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

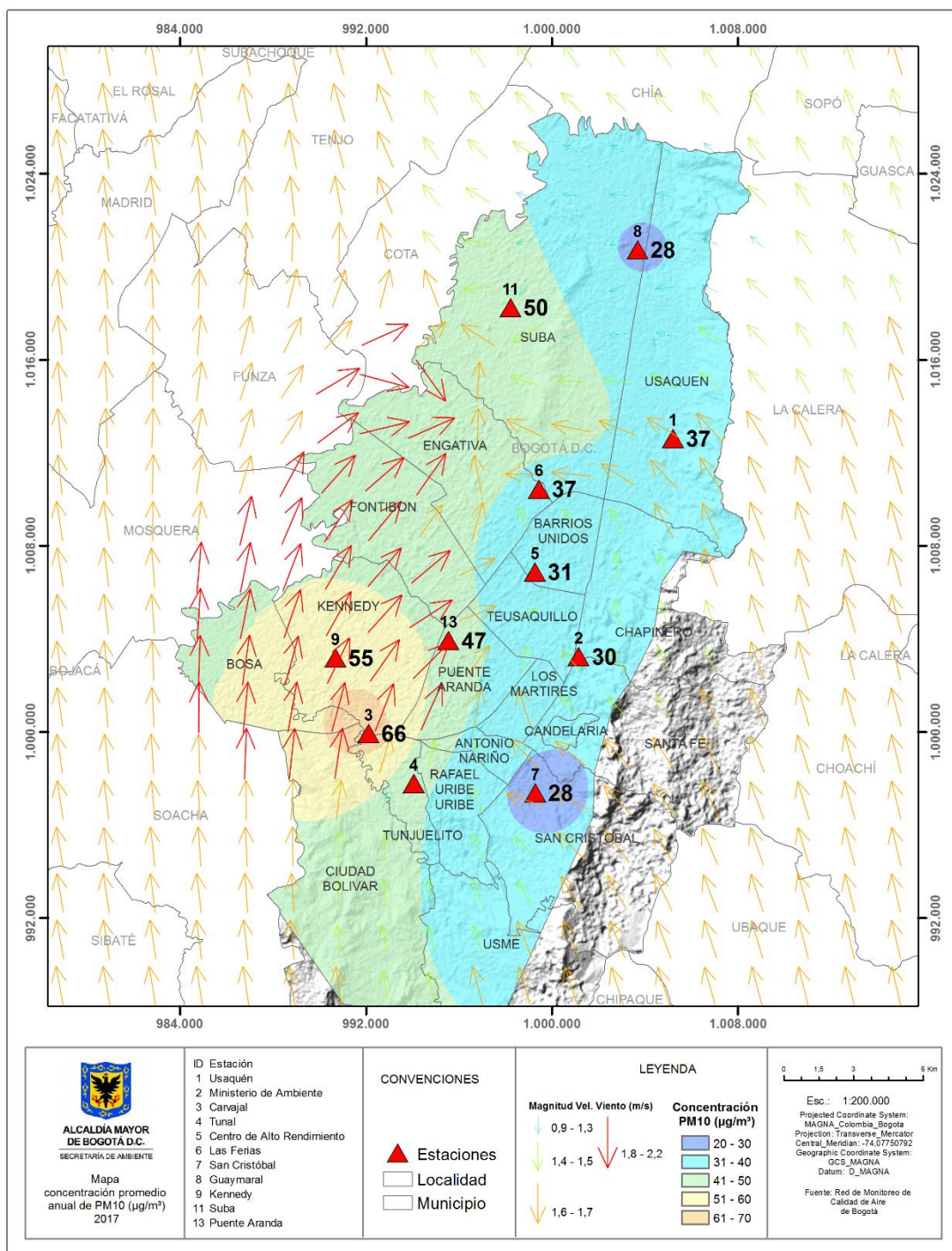


Figura 6-2. Distribución espacial de los promedios anuales de PM₁₀ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

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

6.1.1.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM₁₀ se evalúa con base en las excedencias sobre el valor de la norma respectiva, que corresponde a 100 µg/m³. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75% para los datos validados, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año 2017, las 11 estaciones que monitorearon concentraciones de PM₁₀ tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 84%, siendo las estaciones de Puente Aranda (100%), Kennedy y Guaymaral (97%) las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, en tanto que la estación MinAmbiente tuvo la menor representatividad temporal, como se observa en la Tabla 6-2.

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de PM₁₀ para un tiempo de exposición diario, que es de 100 µg/m³, se presentaron un total de 21 excedencias sobre dicho límite. Las excedencias de 2017 se registraron en la estación Carvajal-Sevillana con 16, en Kennedy con 3 excedencias y en las estaciones Tunal y Puente Aranda con una excedencia cada una, en el resto de las estaciones no se registraron excedencias. De manera similar se observa la proporción en los datos que se encuentran entre el 90 y el 100% de la norma, con la mayor cantidad de valores en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, aunque también se observan valores en las estaciones del centro y norte de la ciudad, Usaquén Suba y Las Ferias, con lo cual existe la probabilidad de que en estas estaciones se presenten valores que excedan la norma.

Las concentraciones máximas diarias para el 2017 se presentaron en su mayoría en el mes de abril, en las zonas centro y sur de la ciudad; los valores más altos se registraron en las estaciones Carvajal-Sevillana (124 µg/m³ el 7 de abril) y las estaciones Tunal y Kennedy (108 µg/m³ el 9 de febrero y el 7 de abril). El resto de los valores máximos se presentaron en los meses de febrero y agosto. Ver Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM₁₀ durante el año 2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual (µg/m ³)	Excedencias de la norma 100 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo
							(µg/m ³)	
Guaymaral	354	97	28	0	0.0	0	76	15/02/2017
Usaquén	325	89	37	0	0.0	1	91	07/04/2017
Suba	310	85	50	0	0.0	1	91	02/08/2017
Las Ferias	319	87	37	0	0.0	1	91	07/04/2017
Centro de Alto Rendimiento	321	88	31	0	0.0	0	89	07/04/2017
MinAmbiente	308	84	30	0	0.0	0	71	07/04/2017

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

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias de la norma $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo
							($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Puente Aranda	364	100	47	1	0.3	2	103	07/04/2017
Kennedy	354	97	55	3	0.9	5	108	09/02/2017
Carvajal-Sevillana	327	90	66	16	4.9	18	124	07/04/2017
Tunal	346	95	43	1	0.3	0	108	07/04/2017
San Cristóbal	321	88	28	0	0.0	0	70	19/02/2017

El comportamiento diario de las concentraciones de PM_{10} durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma diaria ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentra en la Figura 6-3, en la cual se observa que para todas las estaciones las concentraciones diarias más altas se presentaron entre los meses de febrero y abril, y las más bajas en los meses de junio y julio. También se evidencia que la estación Carvajal-Sevillana presentó las concentraciones diarias más altas, lo cual es consecuente con el número de excedencias registradas en esta estación.

Todas las estaciones cumplieron con el criterio de representatividad temporal mayor al 75%, aunque se observa que para las estaciones con el porcentaje de representatividad más bajo hubo períodos en los que no hubo captura de datos: en Suba y Usaquén en el mes de abril, en Carvajal-Sevillana en el mes de febrero y en MinAmbiente desde finales de noviembre.

El comportamiento semanal de las concentraciones de PM_{10} por estación para el año 2017 se muestra en la Figura 6-4 y en la Figura 6-5, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días jueves para todas las estaciones, y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Este comportamiento puede ser causado posiblemente por la dinámica de la ciudad y variaciones de los parámetros meteorológicos, dado que el tráfico vehicular y la actividad industrial se reducen en los fines de semana, mientras que en los días hábiles la contaminación generada se mantiene con pocas variaciones. En el comportamiento semanal de las concentraciones, cada promedio de concentración en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

En relación a la norma diaria de PM_{10} , las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Puente Aranda y Tunal tienden a presentar concentraciones que sobrepasan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en especial las dos primeras estaciones. Adicionalmente se observa en los diagramas de caja que hay pocos datos atípicos de concentración, que corresponden a datos máximos en eventos específicos, lo cual se evidencia en las estaciones Usaquén, MinAmbiente, Tunal y San Cristóbal.

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

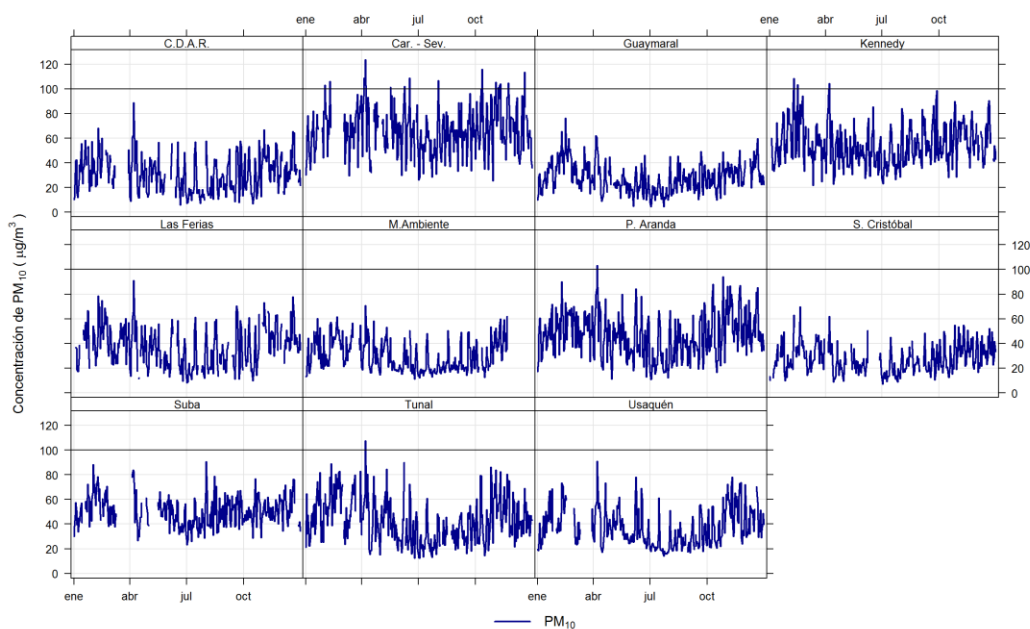


Figura 6-3. Comportamiento diario de las concentraciones de PM₁₀ por estación para el año 2017 y comparación con norma diaria (100 µg/m³)

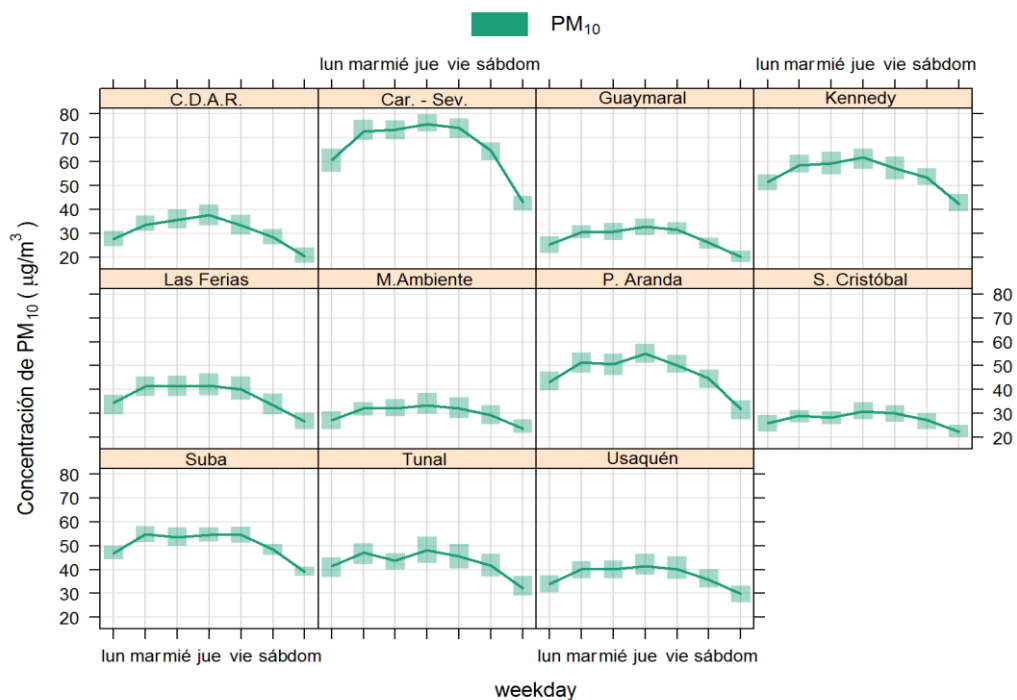


Figura 6-4. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

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

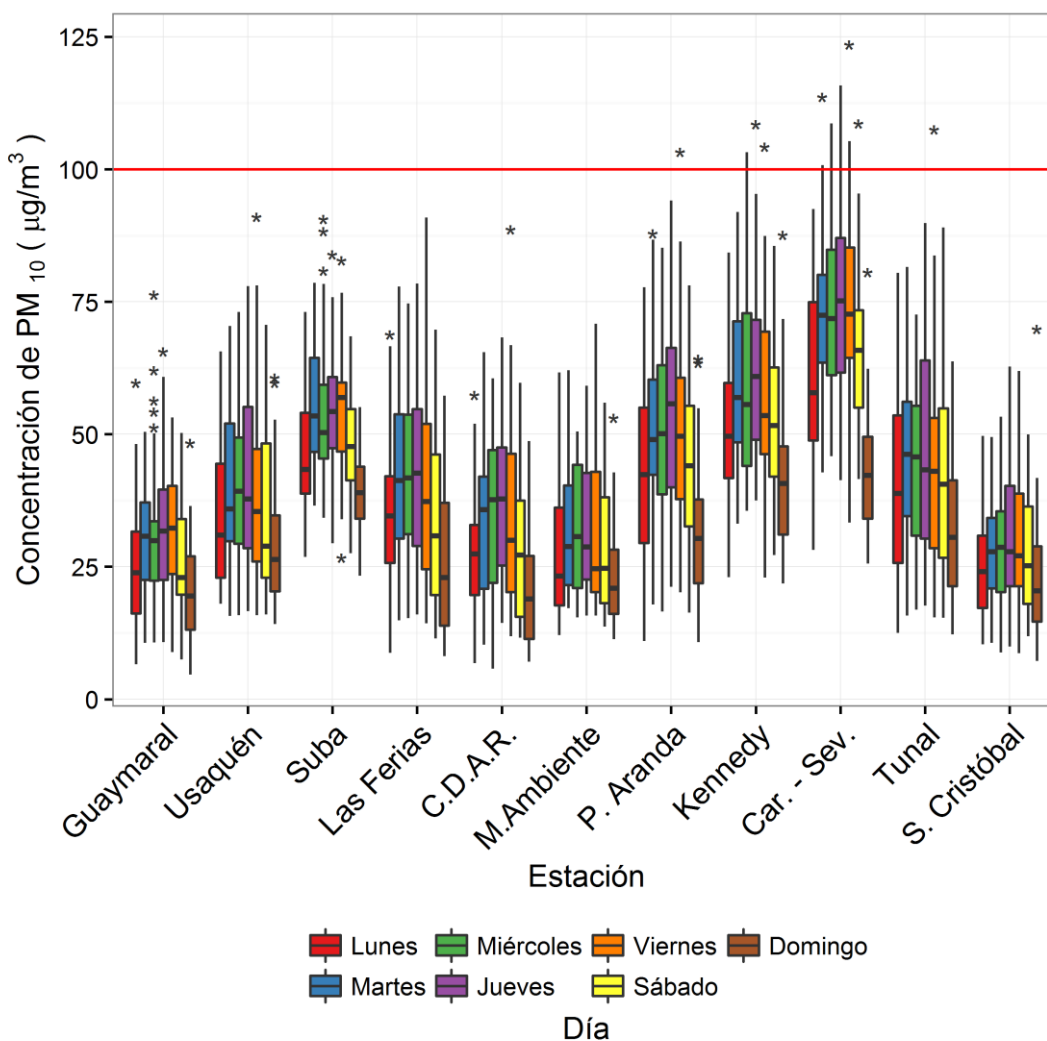


Figura 6-5. Diagramas de caja de las concentraciones de PM₁₀ por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de PM₁₀ para el año 2017 se representan en la Figura 6-6 y en la Figura 6-7, en las que se observa que las concentraciones más altas se presentan en el primer cuatrimestre del año, con tendencia al incremento desde enero, después las concentraciones tienen a disminuir hasta registrar los valores más bajos en julio, y después inicia otra tendencia al aumento de las concentraciones en menor proporción, hasta los meses de noviembre y diciembre, cuando se registran también altas concentraciones. Este comportamiento puede ocurrir posiblemente por la influencia de los vientos que se presentan a mitad de año y contribuyen a la dispersión de los contaminantes, además de las variaciones en la dinámica de la ciudad a mitad de año por la temporada de vacaciones. También existe influencia de episodios de variaciones en los parámetros meteorológicos, como cambios en la dirección del viento e inversiones térmicas, los cuales causan incrementos en las concentraciones en ciertos períodos del año.

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

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-7, se observa que en la estación Carvajal-Sevillana se presentan los valores más altos durante todo el año, especialmente en los meses de febrero y octubre, los cuales exceden el valor permisible por la norma diaria; en las estaciones Kennedy y Puente Aranda también se registraron valores altos de concentración en los meses de febrero y abril, los cuales sobrepasaron la norma diaria.

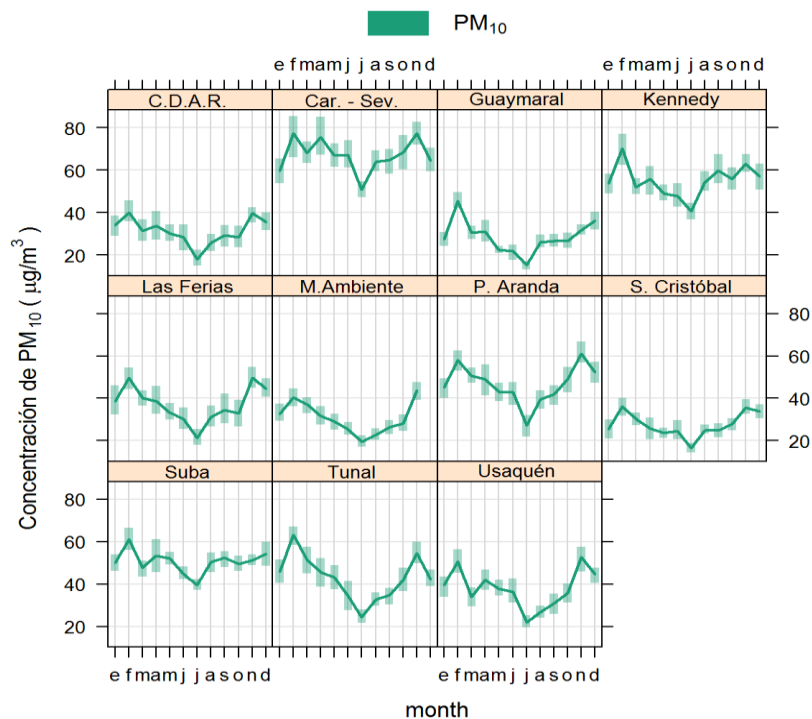


Figura 6-6. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ ciclo mensual para el año 2017 por estación

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

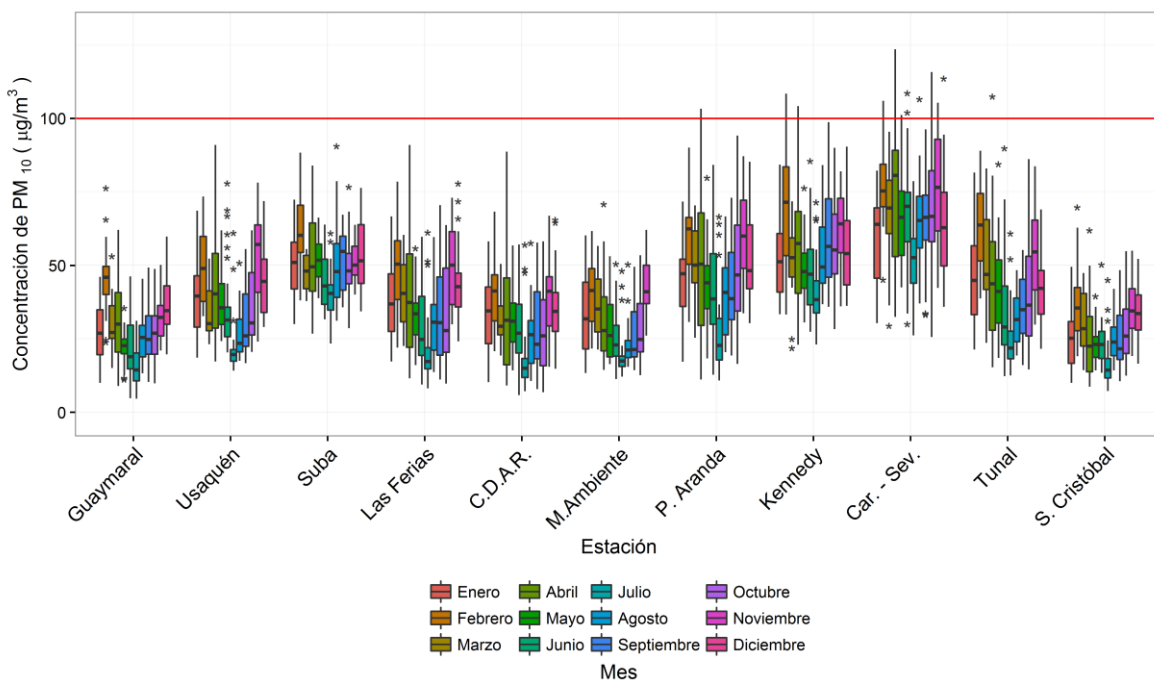


Figura 6-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.1.1.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-8 se observa el perfil horario de las concentraciones durante un día promedio del año, en el cual se observa que las concentraciones disminuyen levemente desde las 12 de la noche hasta la madrugada, cuando empieza a incrementarse rápidamente hasta alcanzar los valores más altos entre las 6 y 7 de la mañana, luego desciende y se mantiene relativamente estable durante la tarde y la noche, aunque durante el día pueden presentarse algunos incrementos leves de concentración como en Carvajal-Sevillana y Kennedy. Las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan los valores más altos en la hora pico, con concentraciones entre 80 y 100 µg/m³.

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

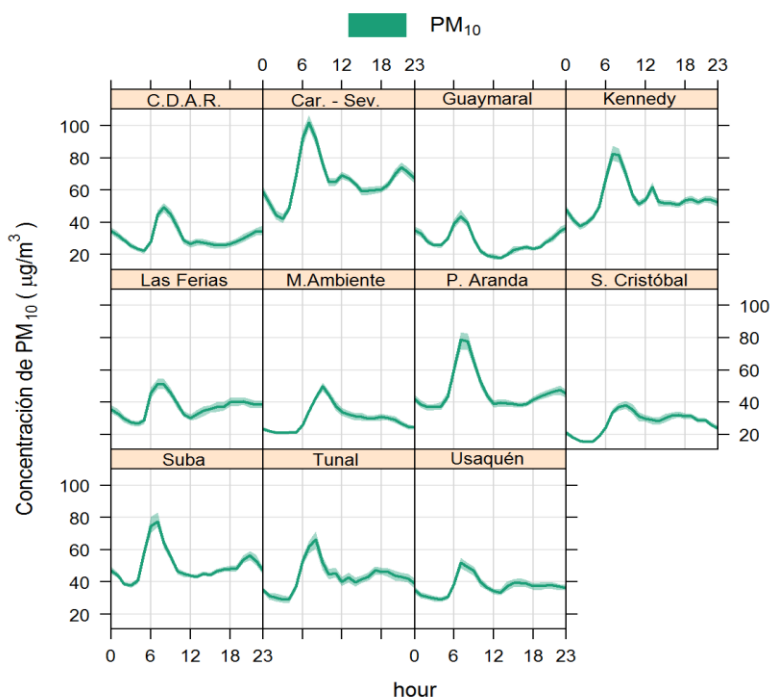


Figura 6-8. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo horario para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

6.1.1.4 COMPORTAMIENTO HISTÓRICO POR ESTACIÓN

La Tabla 6-3 presenta un resumen de los promedios anuales de PM₁₀ de todas las estaciones (calculado con promedios anuales de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y de las concentraciones máximas de PM₁₀ para el período 2013 – 2017. El promedio ciudad del año 2017 es el más bajo registrado en los últimos cinco años, y se redujo 4 µg/m³ con respecto al promedio del año anterior. La concentración máxima se ha registrado en los últimos tres años en la estación Carvajal-Sevillana, aunque el valor registrado en 2017 es menor de los datos de los últimos cinco años.

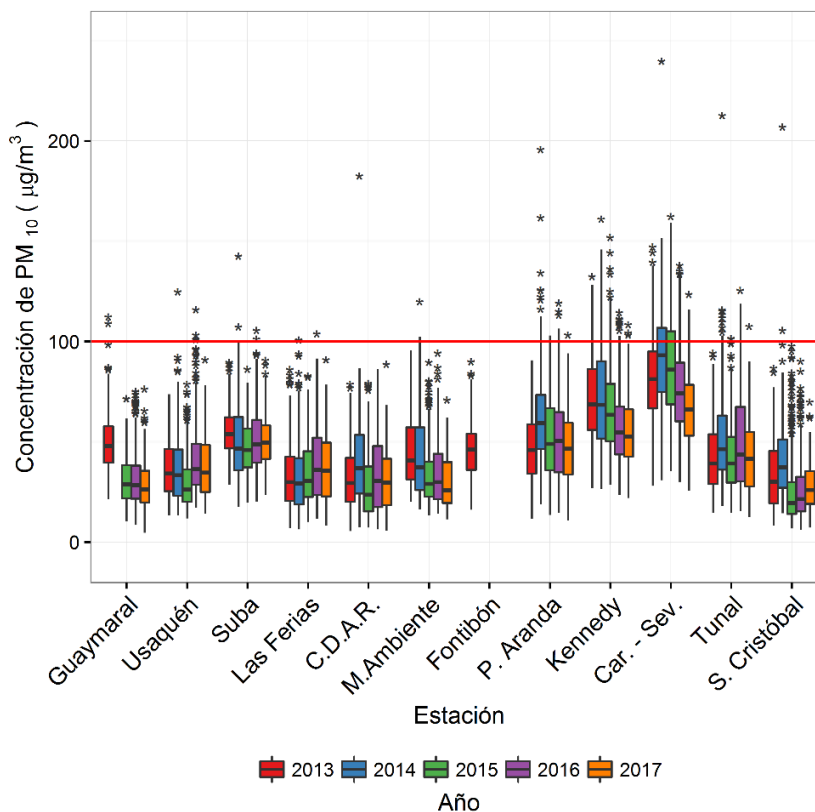
Tabla 6-3. Promedios anuales y máximos históricos de PM₁₀ para los años 2013 a 2017

Año	Promedio anual consolidado	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
	(µg/m ³)	(µg/m ³)		
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón

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

Año	Promedio anual consolidado	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana
2016	45	138	20/01/2016	Carvajal-Sevillana
2017	41	124	07/04/2017	Carvajal-Sevillana

Según la Figura 6-9, en los últimos cinco años se observa que hay datos representativos para todos los años a excepción de los datos del 2014 en Guaymaral y del 2013 en Fontibón. Las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy, Tunal y Puente Aranda tienen a presentar varios datos que sobrepasan el límite de la norma, aunque todas las estaciones han registrado al menos un valor sobre el límite permisible, principalmente en los años 2013 y 2014. Para la mayoría de las estaciones, el año 2014 ha sido en el que se han registrado los valores más altos, y los años 2015 y 2017 han registrado valores más bajos que en los demás años.



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

Figura 6-9. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ por estación para los años 2013 a 2017

6.1.2 PM_{2.5}

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

Para el año 2017, diez (10) estaciones reportaron datos de PM_{2.5} con una representatividad temporal mayor al 75%, de las once (11) estaciones que monitorearon el contaminante.

6.1.2.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-10 presenta la concentración anual promedio de PM_{2.5} por estación y su comparación con el nivel máximo anual establecido por la norma nacional (25 µg/m³). Se puede observar que las estaciones que presentaron las concentraciones más altas fueron Carvajal-Sevillana con 28 µg/m³ y Kennedy con 27 µg/m³, las cuales además sobrepasaron el nivel máximo permisible. Las estaciones que reportaron las menores concentraciones fueron San Cristóbal con 12 µg/m³ y Usaquén con 14 µg/m³. Para este contaminante se presenta un comportamiento muy similar al del PM₁₀, con concentraciones altas en las estaciones del suroccidente y concentraciones bajas en el costado oriental de la ciudad.

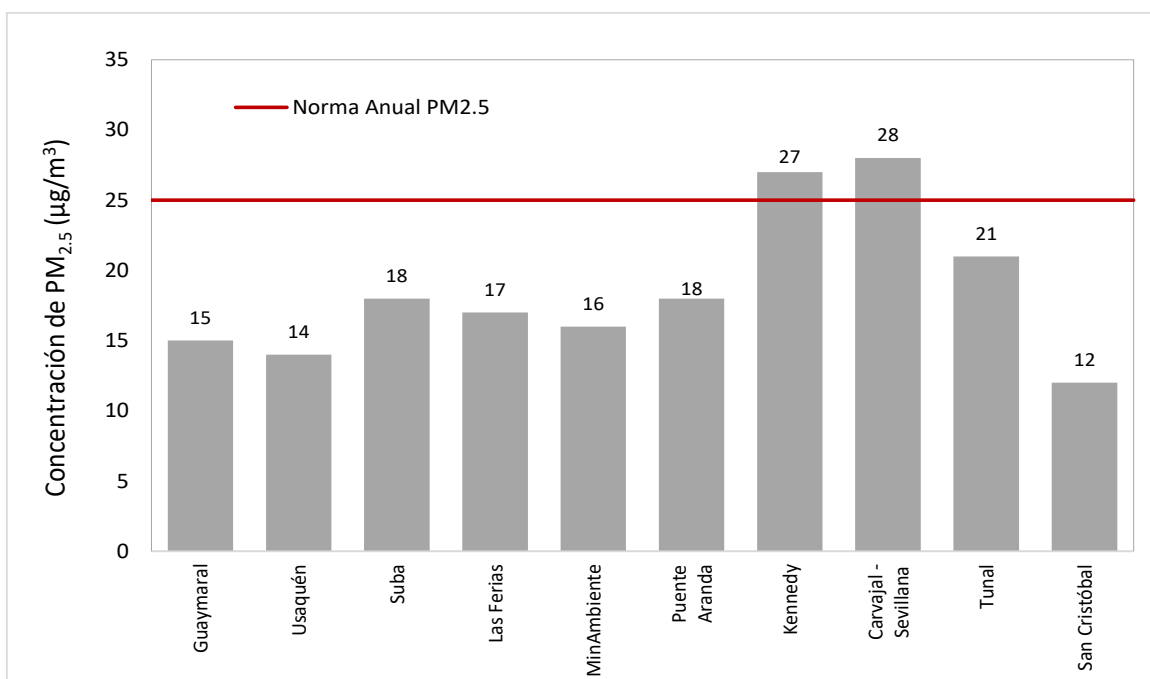


Figura 6-10. Promedios anuales de PM_{2.5} para el año 2017

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

La comparación de las concentraciones de PM_{2.5} por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-4. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observa que hubo una reducción en las concentraciones en todas las estaciones, a excepción de la estación San Cristóbal, en la cual se incrementó la concentración en 2 µg/m³ sobre el valor del año anterior. La mayor reducción se observó en las estaciones Kennedy y Usaqué, con una disminución de 3 µg/m³ con respecto al valor del año 2016.

Tabla 6-4. Promedios anuales de PM_{2.5} para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio PM _{2.5} 2016	Promedio PM _{2.5} 2017	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
Guaymaral	16	15	↓
Usaquén	17	14	↓
Suba	N.R.	18	N.A.
Las Ferias	19	17	↓
Centro de Alto Rendimiento	20	N.R.	N.A.
MinAmbiente	18	16	↓
Puente Aranda	N.R.	18	N.A.
Kennedy	30	27	↓
Carvajal-Sevillana	N.R.	28	N.A.
Tunal	23	21	↓
San Cristóbal	10	12	↑

La distribución espacial de la concentración de PM_{2.5} con base en los promedios anuales de concentración por estación se representan en la Figura 6-11. Se elaboró un mapa mediante el método de interpolación espacial Kriging, teniendo en cuenta los valores de concentración con representatividad mayor a 75% (es decir, sin incluir datos de la estación Centro de Alto Rendimiento). En este mapa se puede observar que la zona en la que confluyen las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito es en la que se presenta el rango de las concentraciones más altas, entre 26 y 30 µg/m³, esta área es más amplia que la zona en la que se presentan las concentraciones más altas de PM₁₀. En contraste, las zonas de menor contaminación son las áreas de influencia de las estaciones San Cristóbal y Usaqué, en el oriente de la ciudad, de manera similar al comportamiento de PM₁₀, con lo cual puede haber influencia de la dirección de los vientos en la dispersión de la contaminación en dicha zona.

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

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

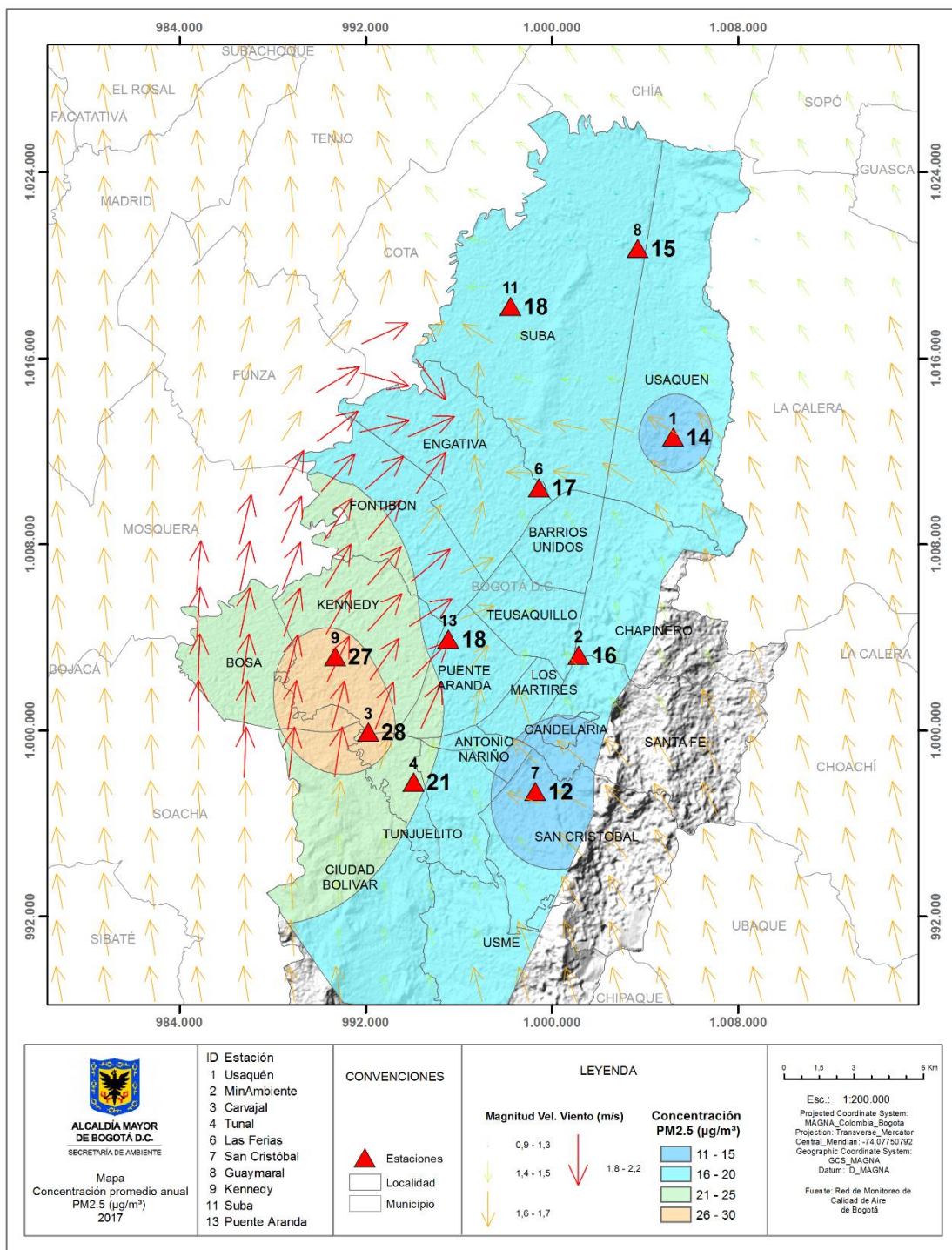


Figura 6-11. Distribución espacial de los promedios anuales de PM_{2.5} con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

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

6.1.2.2 COMPORTAMIENTOS DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{2.5} se evalúa con base en las excedencias sobre el valor de la norma respectiva, que corresponde a 50 µg/m³. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75% para los datos validados, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Para el año 2017, de las 11 estaciones que reportaron datos de PM_{2.5}, 10 estaciones tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones Carvajal-Sevillana y Tunal las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 99% y 97% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-5. La estación Centro de Alto Rendimiento es la única que tuvo baja representatividad, con un 63% de datos válidos; esto se debe a que el equipo estuvo en mantenimiento en el segundo trimestre del año, y retomó el monitoreo desde junio.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de PM_{2.5} para un tiempo de exposición diario, (50 µg/m³), se presentaron un total de 2 excedencias sobre la norma, las cuales se registraron en las estaciones Tunal y Carvajal-Sevillana, una en cada estación. Por otro lado, la estación Kennedy fue la que registró mayor cantidad de datos entre el 90 y el 100% de la norma, con lo cual tiene más probabilidad de presentar valores que superen la norma.

Las concentraciones máximas de PM_{2.5} para el 2017 se presentaron en su mayoría en el mes de abril, en diferentes zonas de la ciudad; el 7 de abril se registraron valores máximos en las Ferias, Puente Aranda y Tunal. En las demás estaciones se registraron valores máximos en los meses de febrero, marzo, noviembre y diciembre. La concentración máxima más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana con 56 µg/m³, el día 19 de diciembre.

Tabla 6-5. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de PM_{2.5} durante el año 2017

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias de la norma anual (50 µg/m ³)	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	330	90	15	0	0.0	0	33	21/12/2017
Usaquén	309	85	14	0	0.0	0	37	21/02/2017
Suba	349	96	18	0	0.0	0	42	11/04/2017
Las Ferias	312	85	17	0	0.0	0	39	07/04/2017
Centro de Alto Rendimiento*	229	63	15	0	0.0	0	36	21/02/2017

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

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias de la norma anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del máximo
MinAmbiente	297	81	16	0	0.0	0	45	25/03/2017
Puente Aranda	311	85	18	0	0.0	0	42	07/04/2017
Kennedy	344	94	27	0	0.0	10	49	09/02/2017
Carvajal-Sevillana	360	99	28	1	0.3	8	56	19/12/2017
Tunal	354	97	21	1	0.3	3	51	07/04/2017
San Cristóbal	338	93	12	0	0.0	0	34	10/11/2017

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento diario de las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a l nivel máximo permisible por la norma diaria ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentra en la Figura 6-12, en la cual se observa que en la mayoría de las estaciones se registraron concentraciones altas en los primeros seis meses del año, sin embargo en las estaciones Carvajal-Sevillana y San Cristóbal las concentraciones más altas se registraron en el último trimestre del año.

Solamente la estación Centro de Alto Rendimiento tuvo una baja representatividad en el 2017, lo cual se evidencia en la gráfica, ya que no hubo captura de datos entre los meses de marzo y junio. En las demás estaciones se observa en general que hubo continuidad en la captura de los datos.

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

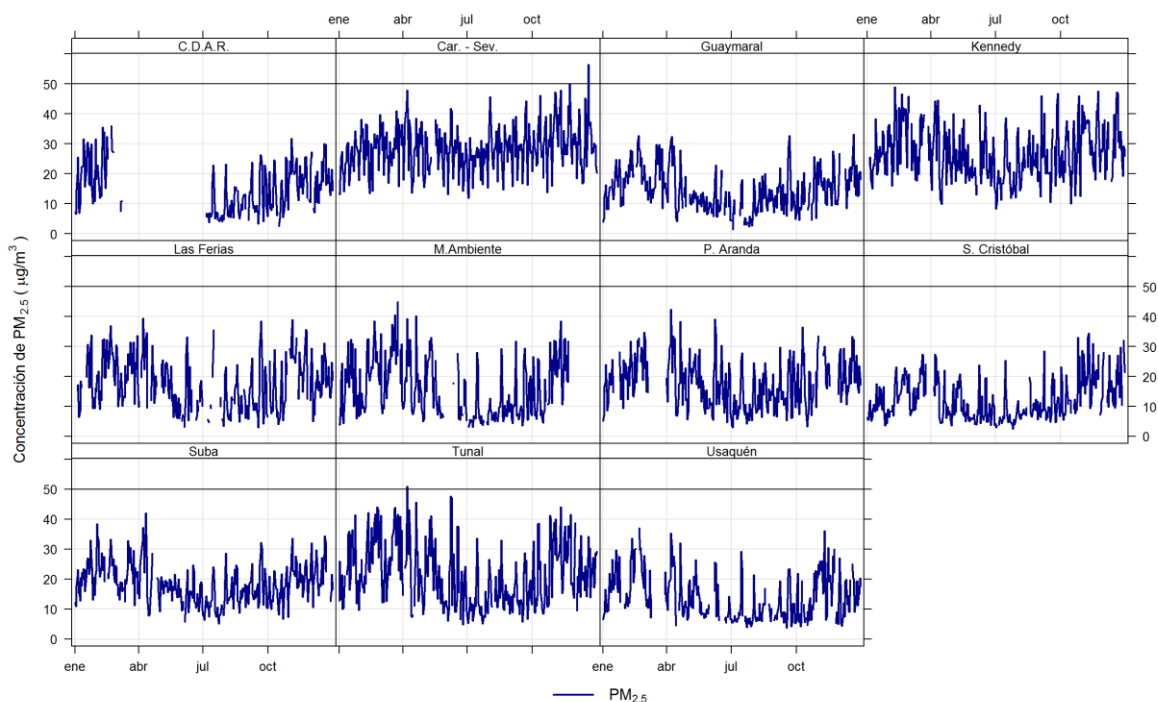


Figura 6-12. Comportamiento diario de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación y comparación con norma diaria ($100 \mu g/m^3$)

El comportamiento semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-13 y en la Figura 6-14, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan principalmente los días viernes, no obstante en las estaciones MinAmbiente, Tunal y Usaquén hay incrementos en las concentraciones de los días martes. En general se observa el mismo patrón de comportamiento que el PM_{10} , con incremento de las concentraciones durante los días hábiles y disminución en los fines de semana, hasta los domingos cuando se registran las menores concentraciones.

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

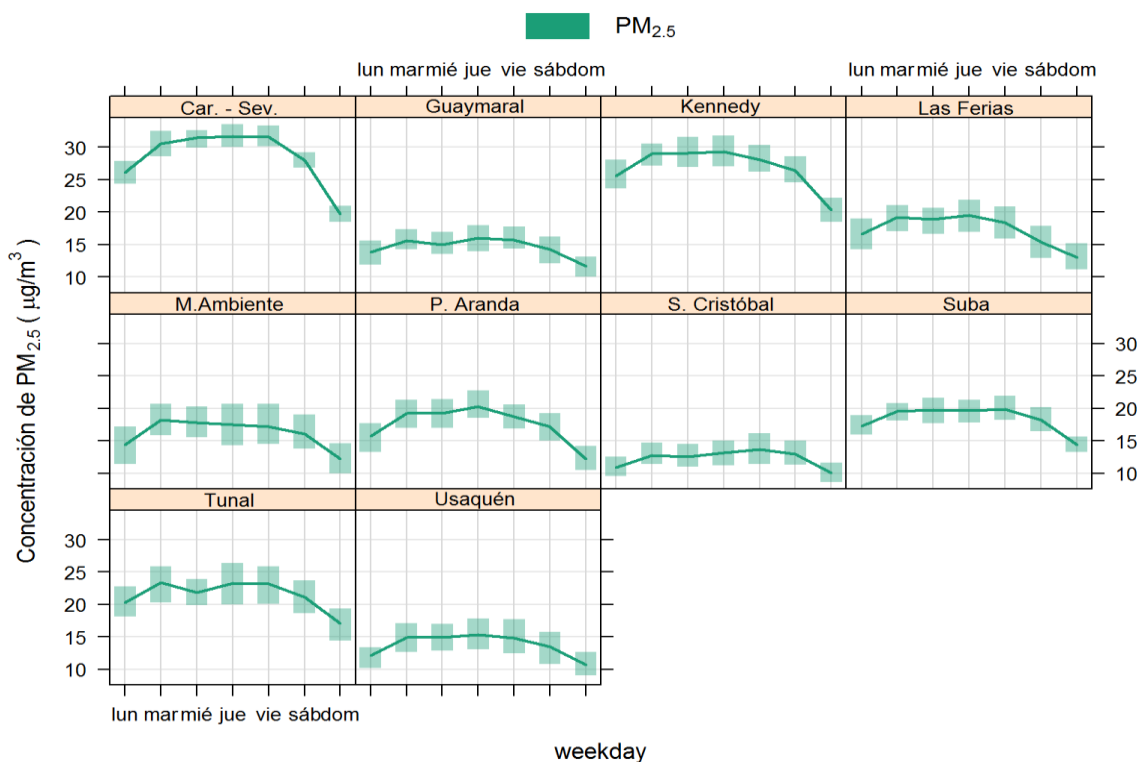


Figura 6-13 Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal para las estaciones de la RMCAB en el año 2017.

La Figura 6-14 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana, donde se observa que durante el año la gran mayoría de los datos registrados estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido por la norma anual, y las concentraciones más altas se registraron en Kennedy, Tunal y Carvajal-Sevillana, principalmente los días jueves y viernes. En general en todas las estaciones se presentaron pocos datos atípicos, por lo que el rango en el que se presentaron las concentraciones no es tan variable como en el caso del PM_{10} .

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

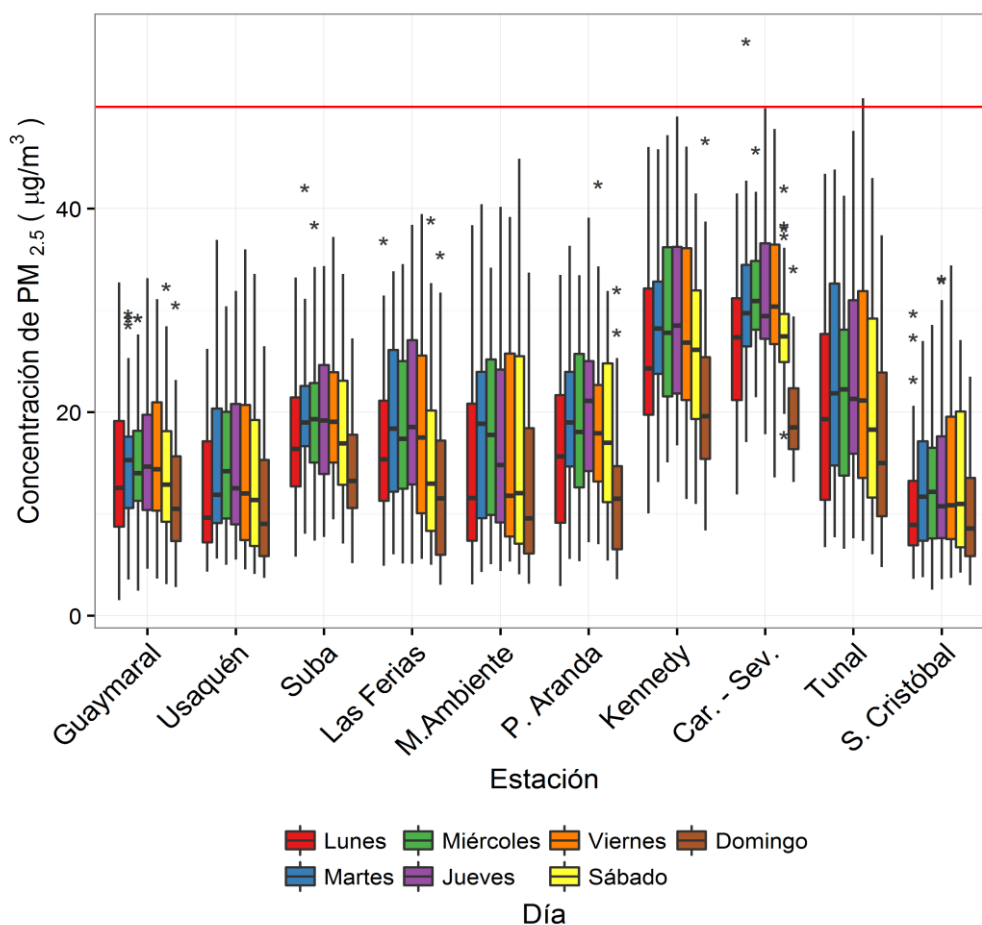


Figura 6-14. Diagramas de caja de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de $PM_{2.5}$ para el año 2017 se muestran en la Figura 6-15 y en la Figura 6-16, en las que se observa el comportamiento del contaminante durante el año. Las concentraciones inician con una tendencia al aumento, registrando los valores más altos entre febrero y marzo, luego hay una disminución gradual hasta los meses de junio y julio, los que registran los valores más bajos, y luego hay un nuevo incremento de las concentraciones hasta noviembre, cuando se presenta un segundo pico de concentraciones, el cual es más alto que el pico del primer semestre para las estaciones Carvajal-Sevillana, San Cristóbal y Las Ferias.

Las concentraciones más altas por mes se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal, con valores del orden de 30 a 35 $\mu g/m^3$, mientras que las concentraciones más bajas se presentaron en las estaciones Guaymaral y San Cristóbal.

La Figura 6-16 presenta los diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo, se observa que se registraron muy pocos

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

datos sobre el nivel máximo permisible; la mayor variación de los datos se encuentra en los meses de febrero y abril, y las menores variaciones se registraron en los datos de julio.

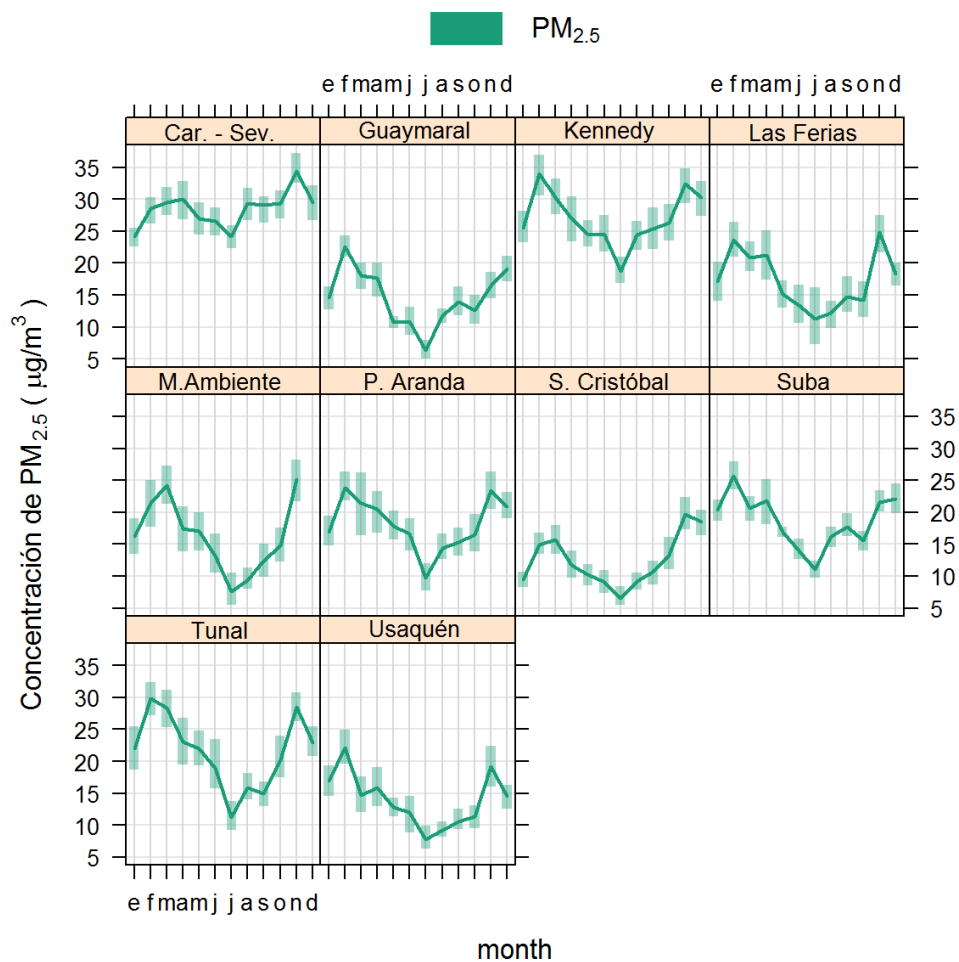


Figura 6-15. Comportamiento mensual de las concentraciones de PM_{2.5} para el año 2017 por estación

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

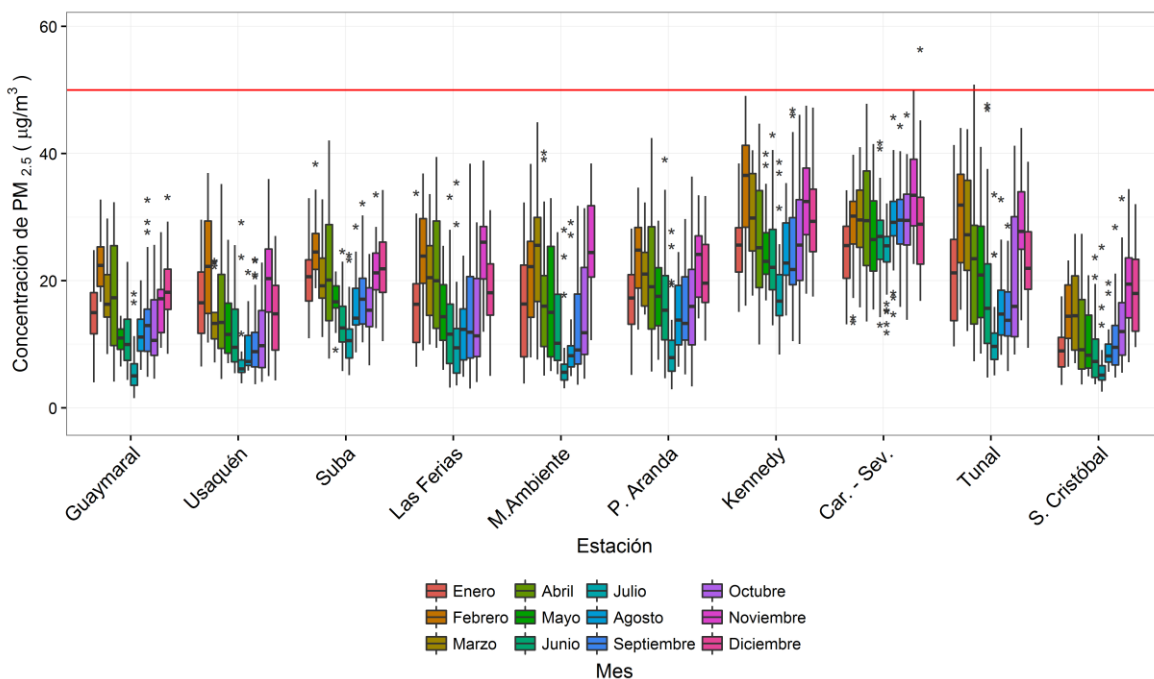


Figura 6-16. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{2.5} por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.1.2.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN

En la Figura 6-17 se presenta comportamiento horario de las concentraciones de PM_{2.5} por estación para un día promedio durante el año 2017. En general el comportamiento de las concentraciones tiende a la disminución en horas de la madrugada, pero comienza a incrementarse hasta alcanzar los máximos valores entre 6 y 7 de la mañana, y después desciende hasta mantenerse estable en horas de la tarde. Las concentraciones registradas en la mañana son mayores que las concentraciones de la noche posiblemente porque en la atmósfera hay un menor volumen para la dilución de contaminantes (baja capa de mezcla atmosférica) y débil turbulencia (baja velocidad del viento) características de las primeras horas de la mañana.

Sin embargo, las estaciones Las Ferias, San Cristóbal y Tunal tienen un comportamiento distinto, con incrementos más notables en horas de la tarde. Esta situación puede asociarse a fenómenos meteorológicos locales, como cambios en la dirección y velocidad del viento o incrementos en la humedad relativa, lo cual puede contribuir con la variación en los patrones de dispersión de la contaminación.

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

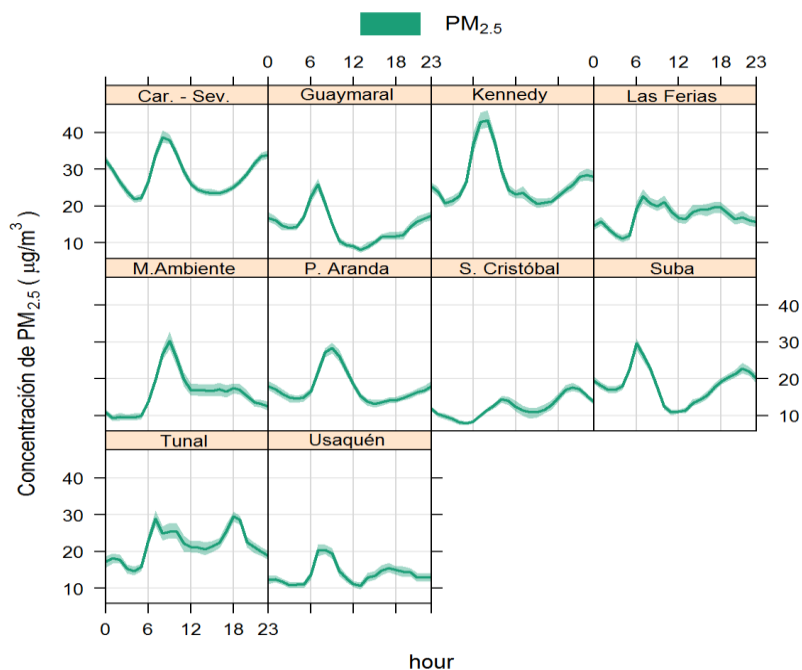


Figura 6-17. Comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} ciclo horario por estación durante el año 2017

6.1.2.4 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-6 contiene un resumen de la concentración promedio de las estaciones por año (calculado con promedios anuales de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de PM_{2.5} para el período 2013 – 2017. El promedio anual a nivel ciudad para 2017 se ha mantenido igual en los últimos tres años, y ha sido menor a los valores que se presentaron en los años 2013 y 2014. Con respecto a los valores máximos, la concentración del año 2017 es menor registrada en los últimos cuatro años, y el segundo valor que se registra en la estación Carvajal-Sevillana.

Tabla 6-6. Promedios anuales y máximos históricos de PM_{2.5} para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
	(µg/m ³)	(µg/m ³)		
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy
2016	19	69	03/02/2016	MinAmbiente
2017	19	56	19/12/2017	Carvajal-Sevillana

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

La Figura 6-18 presenta los diagramas de cajas de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2013 a 2017. Se observa que las estaciones tienen mínimo un año de registros históricos de concentraciones, completando con Puente Aranda la cobertura total del monitoreo del contaminante en la ciudad en octubre de 2016. Las estaciones Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal han registrado los valores más altos en los últimos cinco años, con concentraciones que sobrepasan el nivel máximo permisible diario, aunque en las estaciones Usaquén y MinAmbiente se presentaron algunos valores atípicos en el año 2014, por influencia de incendios en la ciudad. Solamente en la estación San Cristóbal se observa una tendencia al aumento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el tiempo, posiblemente registradas cuando ocurren fenómenos de cambio de la dirección de los vientos que no permiten la dispersión de la contaminación generada en la zona oriental de la ciudad.

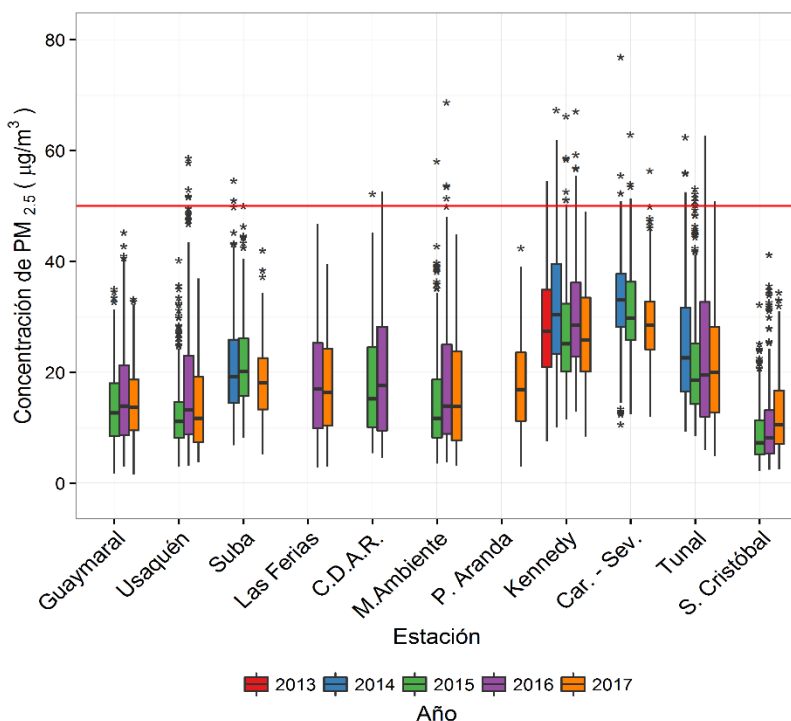


Figura 6-18. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ por estación para los años 2013 a 2017

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

La Tabla 6-7 muestra la relación de concentraciones promedio anuales de 2017 entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 75%. Diez (10) estaciones cumplieron este criterio.

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

La relación entre PM_{2.5} y PM₁₀ muestra la fracción de PM₁₀ que es PM_{2.5} y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas se presentaron en las estaciones MinAmbiente y Guaymaral, lo que indica que en estas zonas hubo una mayor influencia de fuentes de combustión que emiten material particulado fino. Las fracciones más bajas se presentaron en Suba, Puente Aranda y Usaquén, lo que significa que hubo una mayor influencia de emisiones de partículas gruesas, asociadas a cenizas o material resuspendido. En general, las variaciones en los valores de esta relación se atribuyen a cambios en las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

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

Estación	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Relación de concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀
Guaymaral	15	28	0.54
Usaquén	14	37	0.38
Suba	18	50	0.36
Las Ferias	17	37	0.46
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	31	N.A.
MinAmbiente	16	30	0.53
Puente Aranda	18	47	0.38
Kennedy	27	55	0.49
Carvajal - Sevillana	28	66	0.42
Tunal	21	43	0.49
San Cristóbal	12	28	0.43

6.2 GASES

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera. A continuación se da una breve descripción de cada uno de estos.³

6.2.1 OZONO

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

Para el año 2017, diez (10) estaciones reportaron datos de O_3 con una representatividad temporal mayor al 75%, de las once (11) estaciones que monitorearon el contaminante. Además, se obtuvieron 78309 datos válidos de concentración con base en las medias móviles 8 horas, que corresponden al 97% total de los datos capturados por las 11 estaciones.

6.2.1.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-19 muestra los promedios anuales de O_3 por estación, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas, esto con el fin de tener una comparación de las concentraciones registradas en las estaciones, ya que no se tiene establecido un nivel máximo permisible con resolución anual para este contaminante.

La concentración promedio anual más alta se registró en la estación Suba, con un valor de $26 \mu g/m^3$, seguida de la estación Usaquén, con $25 \mu g/m^3$; las concentraciones más bajas se reportaron en las estaciones Kennedy, con $8 \mu g/m^3$, y Puente Aranda, con $12 \mu g/m^3$. Con respecto a años anteriores se observa la misma distribución del contaminante, con concentraciones altas en la zona norte y concentraciones bajas en la zona sur, de manera opuesta al patrón registrado para el material particulado. Esta situación puede estar causada por la naturaleza del ozono como contaminante

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

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

secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

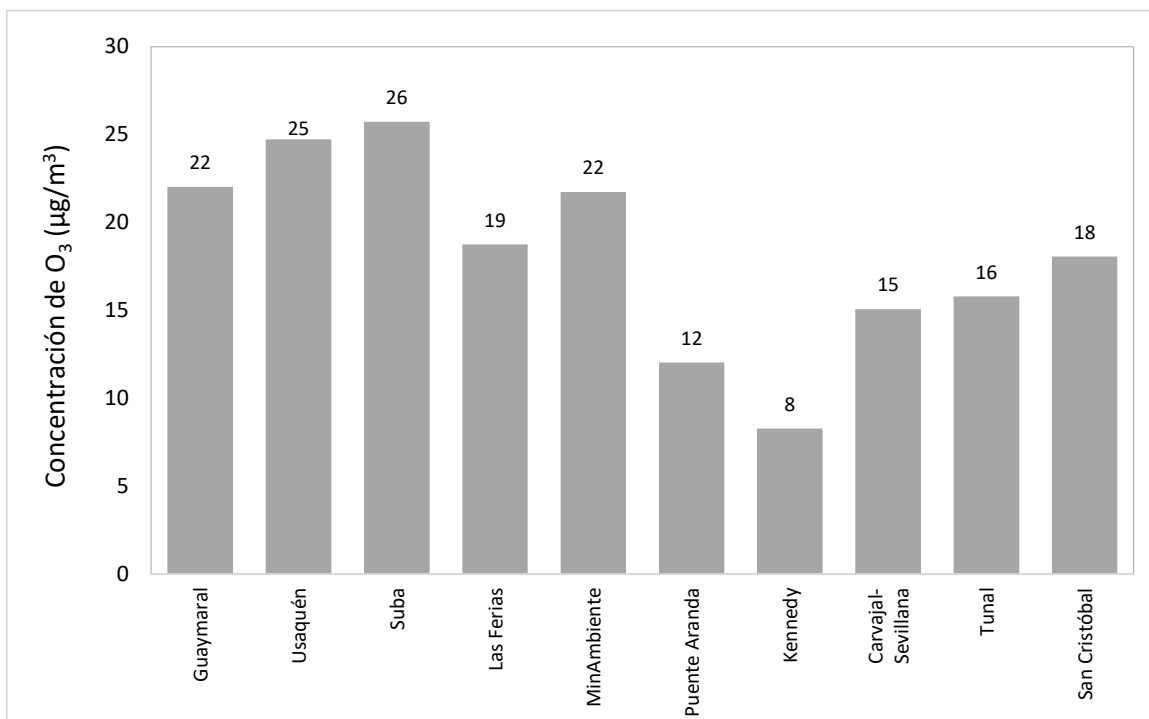


Figura 6-19 Comportamiento de las concentraciones anuales de O₃ para el año 2017

La distribución espacial de la concentración de O₃ en la ciudad se observa en el mapa de la Figura 6-20, el cual fue elaborado a través de una interpolación por el método Kriging, teniendo en cuenta las concentraciones en partes por billón de las estaciones con representatividad mayor a 75%. En este mapa se evidencia que el área de influencia de las estaciones Suba y Usaquén en el norte de la ciudad es la que registra los valores más altos, entre 12 y 14 ppb (24 a 27 µg/m³), y que la zona que registra las menores concentraciones de ozono es el área de influencia de la estación Kennedy, que incluye la localidad del mismo nombre y parte de la localidad de Bosa, con concentraciones entre 4.1 y 6.4 ppb (8 y 13 µg/m³). Se observa que el patrón de distribución de las concentraciones difiere del patrón de distribución de material particulado, dada la naturaleza del contaminante, la cercanía a las fuentes y la permanencia en la atmósfera de acuerdo a condiciones de radiación solar, para el caso del ozono.

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

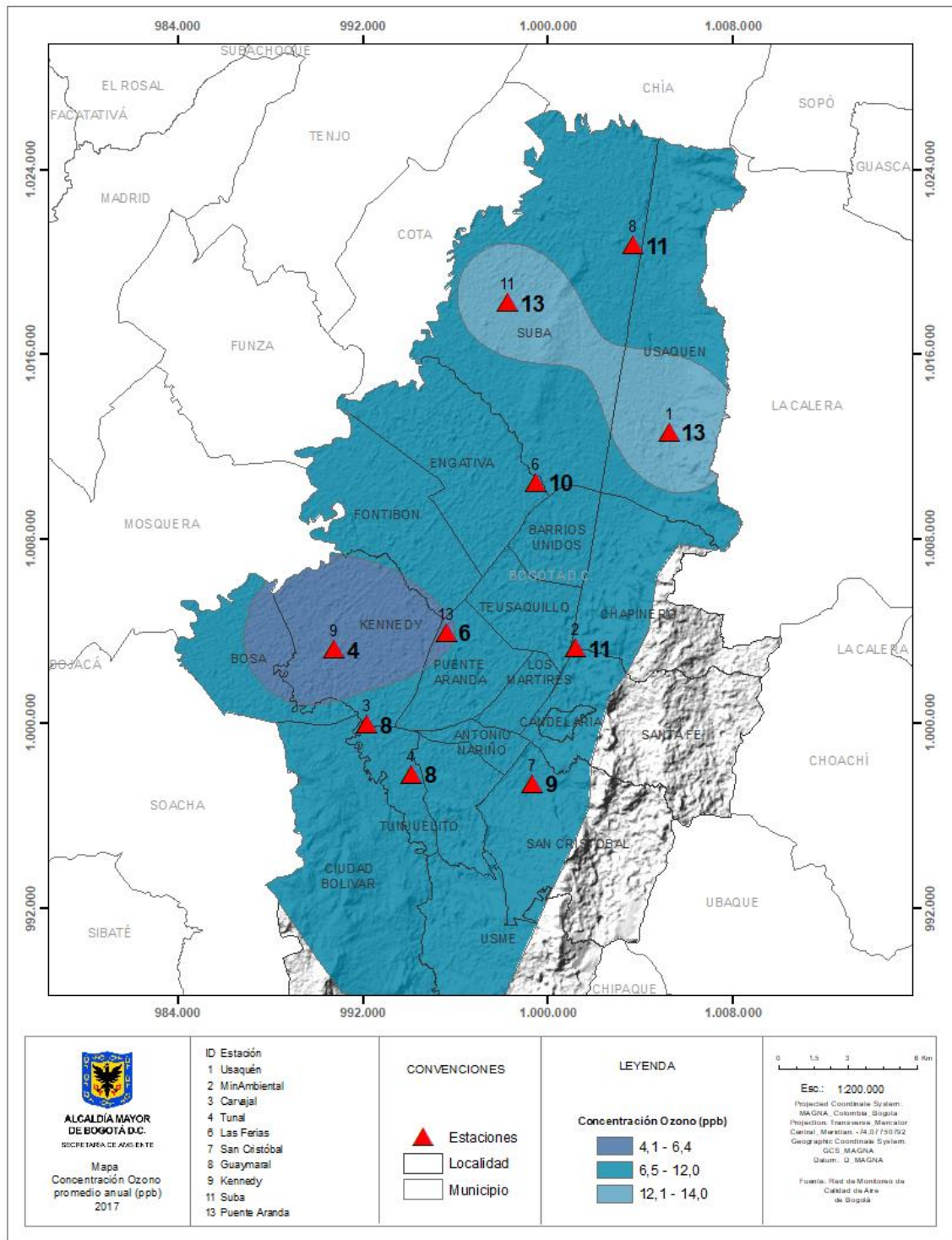


Figura 6-20 Distribución espacial de los promedios anuales con datos de medias móviles 8 horas de O₃ con base en el método de interpolación Kriging, para las estaciones con captura de datos superior a 75%.

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

6.2.1.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones de O₃ en los días de la semana para las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-21, en la cual se observa que las mayores concentraciones se presentan en los días domingos, mientras que las menores concentraciones los viernes y en menor proporción los sábados. El comportamiento semanal del ozono varía con respecto al comportamiento del material particulado, ya que las concentraciones de ozono se encuentran influenciadas en mayor proporción por factores como la radiación solar y las concentraciones de Compuestos orgánicos Volátiles (COV's) presentes en la atmósfera, por lo que se encuentran sujetas a las reacciones secundarias que ocurran en la misma, en conjunto con las concentraciones de dióxido de nitrógeno, lo cual es un fenómeno común en las ciudades ampliamente pobladas ⁴.

En la Figura 6-22 se muestra la distribución de los datos horarios por día de la semana, con respecto a la norma horaria en diagramas de caja. Se evidencia que las estaciones Suba y Guaymaral son las que registran el mayor número de excedencias, y la estación Suba reporta los valores más altos de concentración. No se observa un cambio notable entre los promedios de concentración durante los días de la semana, aunque se observan leves incrementos en los promedios de concentración en las estaciones MinAmbiente y Carvajal-Sevillana los días domingos.

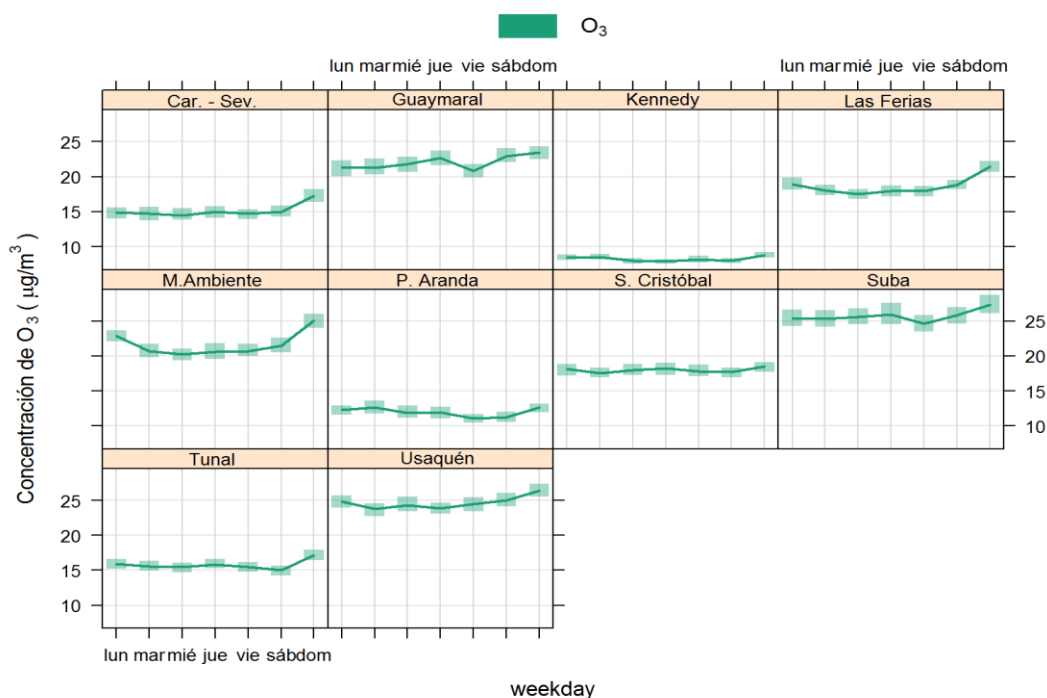


Figura 6-21. Comportamiento de las concentraciones de O₃ ciclo semanal durante el año 2017 por estación

⁴ National Research Council. 1991. Rethinking the Ozone Problem in Urban and Regional Air Pollution. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1889>

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

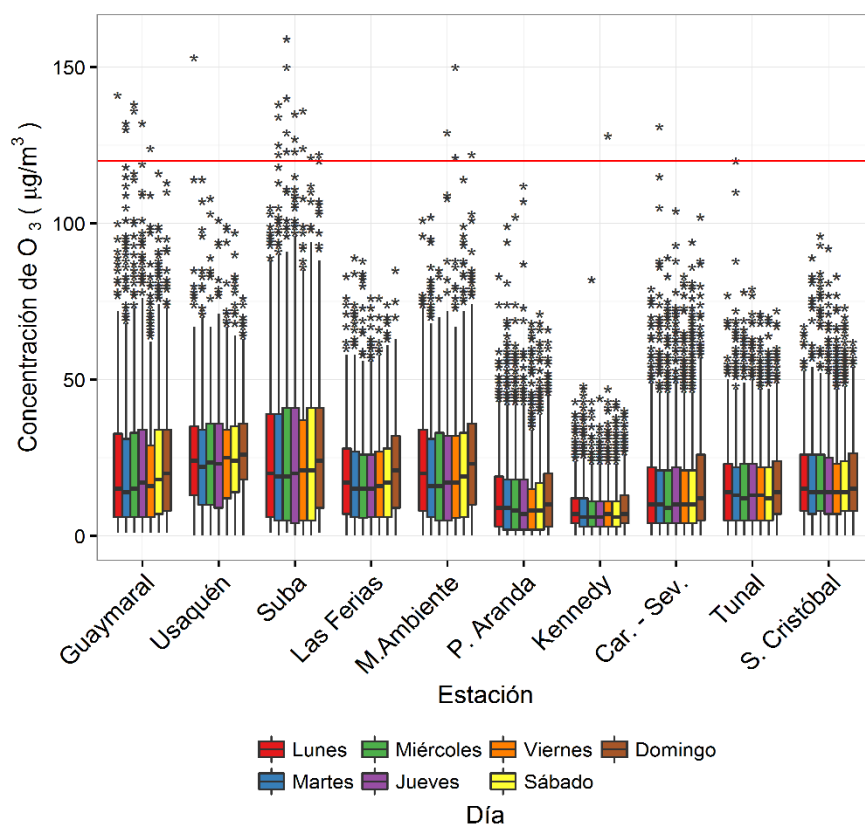


Figura 6-22. Diagramas de caja de las concentraciones de O₃ - ciclo semanal para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de O₃ para el año 2017 se representan en la Figura 6-23, en cada zona de la ciudad se observó un patrón de comportamiento distinto. En el norte, en las estaciones Suba, Guaymaral y Usaquén, se presentaron altas concentraciones entre febrero y abril, del orden de 25 a 35 µg/m³, después se presentó un descenso en las concentraciones hasta junio, cuando alcanzaron los valores más bajos, cercanos a los 15 µg/m³, y después las concentraciones aumentaron nuevamente hasta el mes de septiembre, presentando valores de más de 35 µg/m³ en el caso de Usaquén. Caso contrario se observó en las estaciones del suroccidente Kennedy y Puente Aranda, las cuales registraron los registros más altos en febrero, entre 17 y 20 µg/m³, y en los meses posteriores hubo un descenso gradual de las concentraciones, presentando un ligero incremento entre agosto y septiembre, que no superó las concentraciones del inicio de año, con registros menores a 15 µg/m³.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-24, se observa que la estación Kennedy tuvo registros bastante bajos en comparación con las mismas estaciones de la zona, aunque el suroccidente de la ciudad se ha caracterizado por presentar las menores concentraciones de ozono. También se hace notable el incremento gradual de las concentraciones de ozono en San Cristóbal, que varió de aproximadamente 10 µg/m³ en enero a 40 µg/m³ en septiembre, por una posible influencia de los COV's en la generación de ozono en la zona.

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

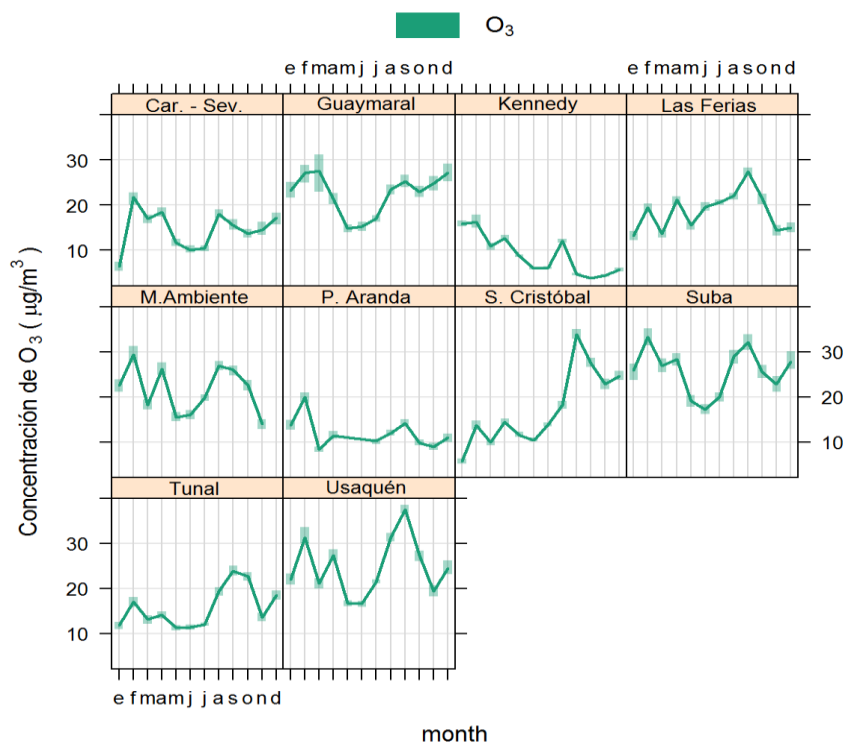


Figura 6-23. Comportamiento mensual de la concentración de O₃ para el año 2017 por estación

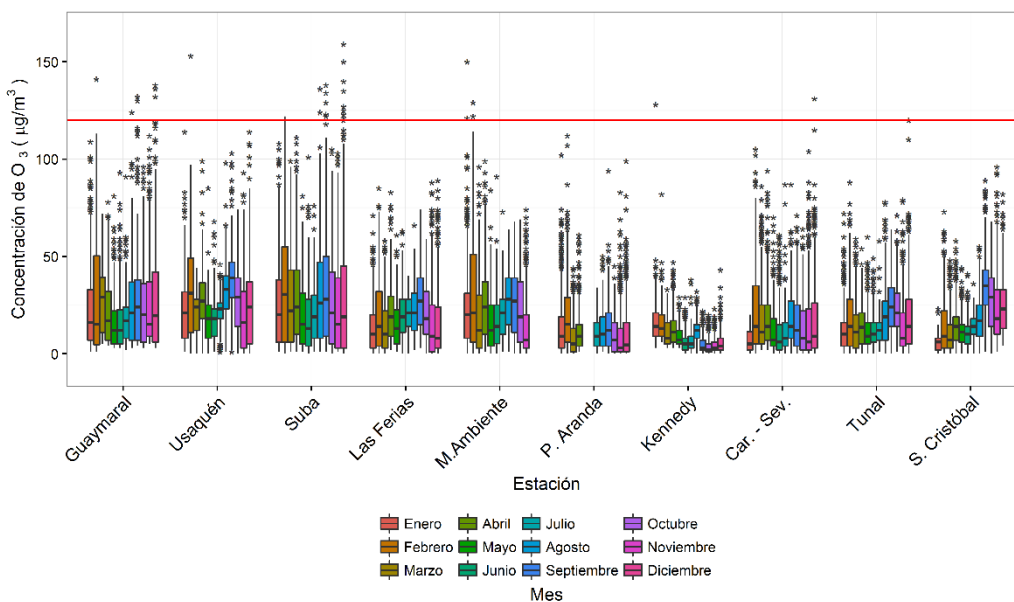


Figura 6-24. Diagramas de caja de las concentraciones de O₃ ciclo mensual para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

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

6.2.1.3 COMPORTAMIENTO HORARIOS POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O₃ se evalúa con base en las excedencias sobre el valor establecido por 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 2017, diez (10) de las once (11) estaciones que reportaron datos de O₃ tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 75%, siendo las estaciones Suba y Tunal (97 y 96% respectivamente) las que registraron el mayor número de datos válidos con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-8.

Teniendo en cuenta el nivel máximo permisible de O₃ para un tiempo de exposición horario, (120 µg/m³), se presentaron un total de 31 excedencias sobre la norma: 16 en Suba, 7 en Guaymaral, 4 en MinAmbiente y 1 en Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Carvajal-Sevillana, predominando los valores máximos en las estaciones del norte de la ciudad. Adicionalmente, las estaciones Suba y Guaymaral presentan el mayor número de datos en el rango del 90 y 100% del nivel máximo permisible por la norma, con lo cual tienen mayor probabilidad de presentar más cantidad de valores que excedan dicho valor.

Las concentraciones máximas de O₃ para el 2017 se presentaron en igual proporción en los meses de febrero y diciembre, en diferentes sectores de la ciudad. El día 19 de diciembre se registró el mayor número de valores máximos, en las estaciones Carvajal-Sevillana, Tunal y Las Ferias, aunque el valor más alto se presentó el día 20 de diciembre en la estación Suba, con 159 µg/m³.

Tabla 6-8. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de O₃ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 1 h	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
			120 µg/m ³			(µg/m ³)	
Guaymaral	86	22	7	0.09	14	141	06/02/2017 13:00
Usaquén	90	25	1	0.01	2	153	06/02/2017 13:00
Suba	97	26	16	0.19	12	159	20/12/2017 16:00
Las Ferias	95	19	0	0	0	89	19/12/2017 14:00
Centro de Alto Rendimiento*	31	20	1	0.04	3	134	09/02/2017 15:00
MinAmbiente	88	22	4	0.05	2	150	13/01/2017 10:00
Puente Aranda	75	12	0	0	1	112	09/02/2017 15:00
Kennedy	85	8	1	0.01	0	128	20/01/2017 15:00

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

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma 1 h	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
			120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Carvajal-Sevillana	89	15	1	0.01	1	131	19/12/2017 14:00
Tunal	96	16	0	0	2	120	19/12/2017 14:00
San Cristóbal	92	18	0	0	0	96	22/11/2017 14:00

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de O_3 durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma horaria ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se encuentran en la Figura 6-25. Se observa que en la mayoría de las estaciones las concentraciones fueron mayores en los primeros meses del año, no obstante al final del año también se registraron valores altos que superaron en algunos casos los registros del inicio de año. Además, se evidencia que solamente en las estaciones Las Ferias, Puente Aranda, San Cristóbal y Tunal las concentraciones permanecieron durante todo el año bajo el valor máximo establecido por la norma horaria para ozono.

La estación Centro de Alto rendimiento fue la única que no cumplió con el criterio de representatividad, dado que el monitor se deterioró desde el mes de julio, y no se continuó el monitoreo del contaminante en la estación hasta la reparación del equipo. Las estaciones Kennedy, Puente Aranda y Guaymaral también tuvieron periodos en que no se capturaron datos, sin embargo el resto del año se recolectaron los datos necesarios para realizar los análisis de comportamiento del contaminante.

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

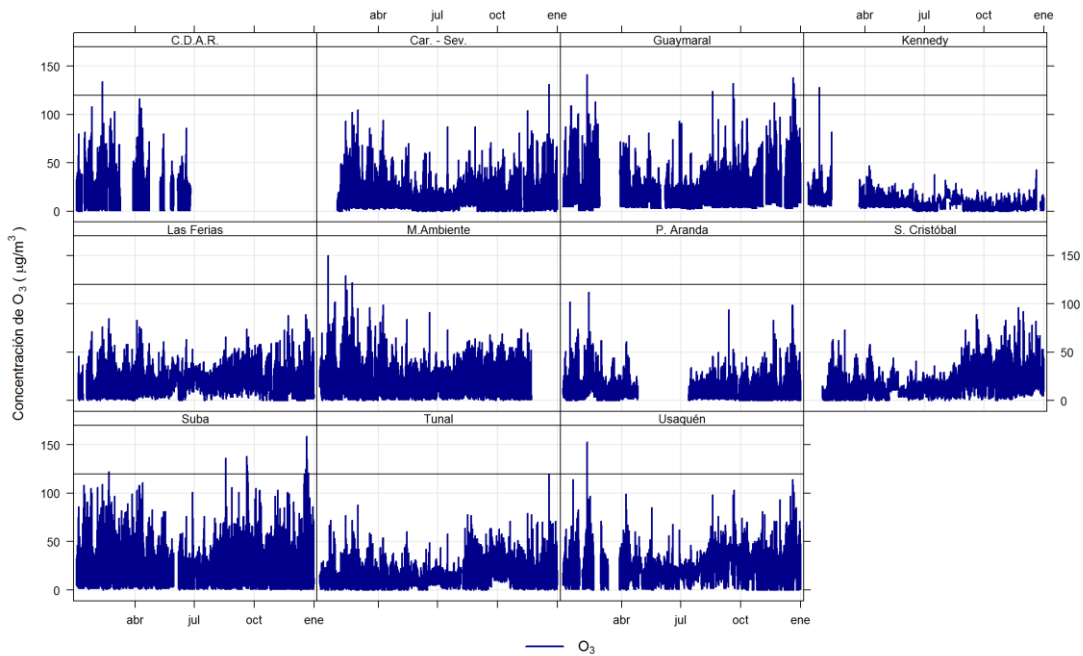


Figura 6-25. Comportamiento horario de las concentraciones de O₃ por estación y comparación con norma (120 µg/m³)

En la Figura 6-26 se observa el ciclo horario de las concentraciones de ozono. En general las concentraciones permanecen bajas hasta las 6 AM, cuando empiezan a incrementarse hasta las horas del mediodía, por la presencia de radiación solar, en la tarde empieza a descender nuevamente la concentración, en niveles similares presentados al inicio del día. Las estaciones del norte y centro de la ciudad son las que registran los valores más altos, con concentraciones entre 40 y 50 µg/m³ en las horas del mediodía, mientras que la estación Kennedy registró los valores más bajos, hasta 15 µg/m³ en las horas de mayor radiación solar.

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

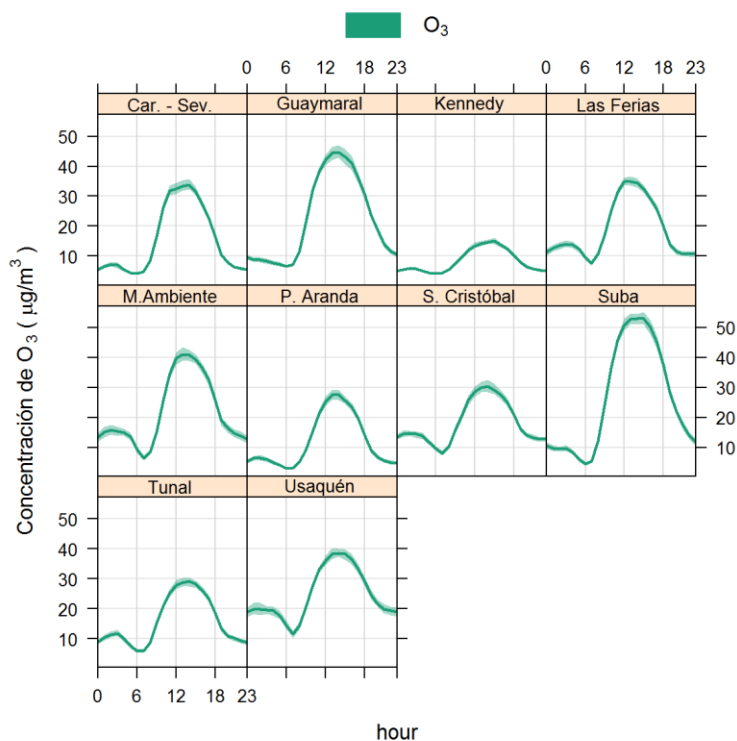


Figura 6-26. Comportamiento de las concentraciones de O₃ en ciclo horario por estación durante el año 2017

6.2.1.4 COMPORTAMIENTO MEDIAS MÓVILES DE 8H POR ESTACIÓN

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de O₃ de 2017 por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-9. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observó una disminución en las concentraciones de todas las estaciones con respecto a los valores del año anterior. La mayor reducción se observó en la estación Usaquén, con una disminución de 13 µg/m³ sobre el valor del 2016.

Tabla 6-9. Promedios anuales 8h de O₃ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio O ₃ 2016 (8h)	Promedio O ₃ 2017 (8h)	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
Guaymaral	25	22	↓
Usaquén	38	25	↓
Suba	N.R.	26	N.A.
Las Ferias	N.R.	19	N.A.

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

Estación	Promedio O ₃ 2016 (8h)	Promedio O ₃ 2017 (8h)	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	
Centro de Alto Rendimiento	25	N.R.	N.A.
MinAmbiente	25	22	↓
Puente Aranda	15	12	↓
Kennedy	16	8	↓
Carvajal-Sevillana	N.R.	15	N.A.
Tunal	19	16	↓
San Cristóbal	19	18	↓

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de 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.

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 100 excedencias sobre la norma: 61 en Suba, 28 en Guaymaral, 6 en Centro de Alto Rendimiento y 5 en MinAmbiente. A excepción de Centro de Alto Rendimiento, estas estaciones además presentan el mayor número de datos entre el 90 y el 100% del valor del nivel máximo permisible por la norma, con lo cual aumenta la probabilidad de registrar un mayor número de excedencias a la norma 8 horas.

Las concentraciones máximas 8 horas de O₃ para el 2017 se presentaron en mayor medida en el mes de septiembre, en los días 19 y 20, para las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba y San Cristóbal; los demás valores máximos se registraron en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre. El valor máximo más alto se presentó en la estación Suba (109 µg/m³) el día 19 de septiembre a las 17 horas.

Tabla 6-10. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de O₃ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 8 h	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
			80 µg/m ³			(µg/m ³)	
Guaymaral	87	22	28	0.4	37	100	19/09/2017 17:00
Usaquén	90	25	0	0.0	10	77	20/09/2017 17:00

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

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma 8 h	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
			80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Suba	97	26	61	0.7	61	109	19/09/2017 17:00
Las Ferias	95	19	0	0.0	0	64	22/11/2017 16:00
Centro de Alto Rendimiento*	31	20	6	0.2	8	92	09/02/2017 18:00
MinAmbiente	88	22	5	0.1	14	87	09/02/2017 18:00
Puente Aranda	75	12	0	0.0	3	75	09/02/2017 18:00
Kennedy	85	8	0	0.0	0	41	20/01/2017 17:00
Carvajal-Sevillana	90	15	0	0.0	2	76	19/12/2017 17:00
Tunal	96	16	0	0.0	0	68	19/12/2017 17:00
San Cristóbal	92	18	0	0.0	3	74	19/09/2017 17:00

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de O_3 durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto a la norma 8 horas ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan en la Figura 6-27, en la cual se observan las excedencias en las estaciones Suba, Guaymaral, MinAmbiente y Centro de Alto Rendimiento, y el incremento en el tiempo de las concentraciones registradas en San Cristóbal y Tunal, lo cual puede causarse por cambios en los regímenes de vientos y la influencia de los COV's en la formación de ozono troposférico.

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

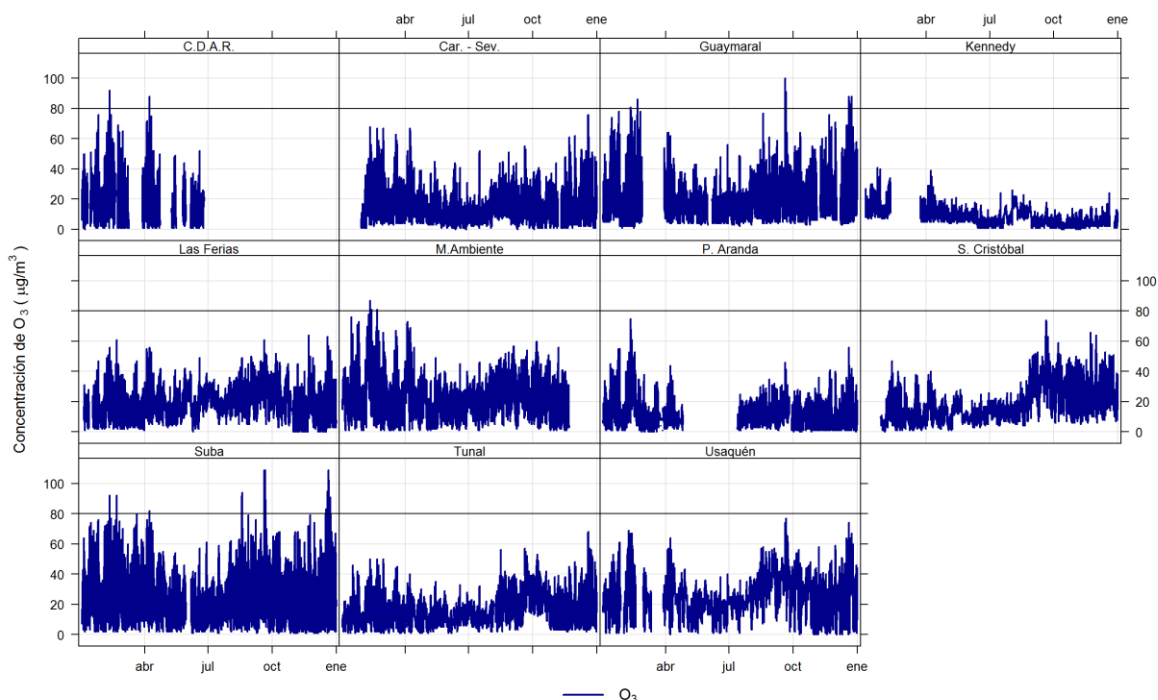


Figura 6-27. Comportamiento de las concentraciones de O_3 (promedios móviles 8h) por estación y comparación con norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

6.2.1.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

Un resumen histórico de las concentraciones anuales promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas para los periodos comprendidos por los años 2013-2017 se presentan en la Tabla 6-11. El promedio de concentración del año 2017 es el menor registrado en los últimos cinco años, y se redujo en $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto al valor del año anterior.

El valor máximo de concentración registrado en 2017 es el menor de los últimos cuatro años, solamente superando el valor del año 2013 en $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y fue registrado en Suba el día 19 de septiembre, aunque la estación Usaquén es la que ha registrado mayor número de valores máximos en los últimos cinco años.

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

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 6-11. Promedios anuales y máximos históricos 8 horas de O₃ para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad (8h)	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
	(µg/m ³)	(µg/m ³)		
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén
2016	23	143	12/03/2016 17:00	Usaquén
2017	18	109	19/09/2017 17:00	Suba

La Figura 6-28 presenta los diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de los últimos cinco años para cada estación. Se observa que los valores más altos se han registrado en el año 2015, y solamente la estación Carvajal-Sevillana ha reportado valores por debajo del nivel máximo permisible para una resolución temporal de 8 horas.

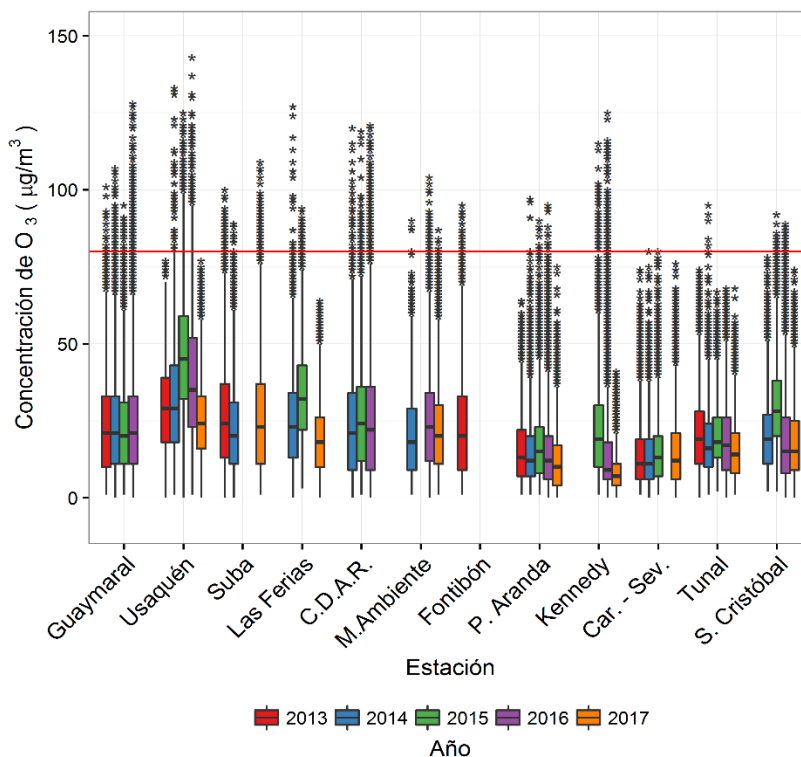


Figura 6-28. Diagrama de cajas de O₃ en función de las estaciones de monitoreo entre los años 2013 y 2017 (con base en promedios móviles de 8h)

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

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 2017, cuatro (4) estaciones reportaron datos de NO₂ con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante durante el año.

6.2.2.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-29 presenta los promedios anuales registrados por las cuatro estaciones que reportaron datos de 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, y la estación Kennedy presentó la menor concentración con 11 µg/m³.

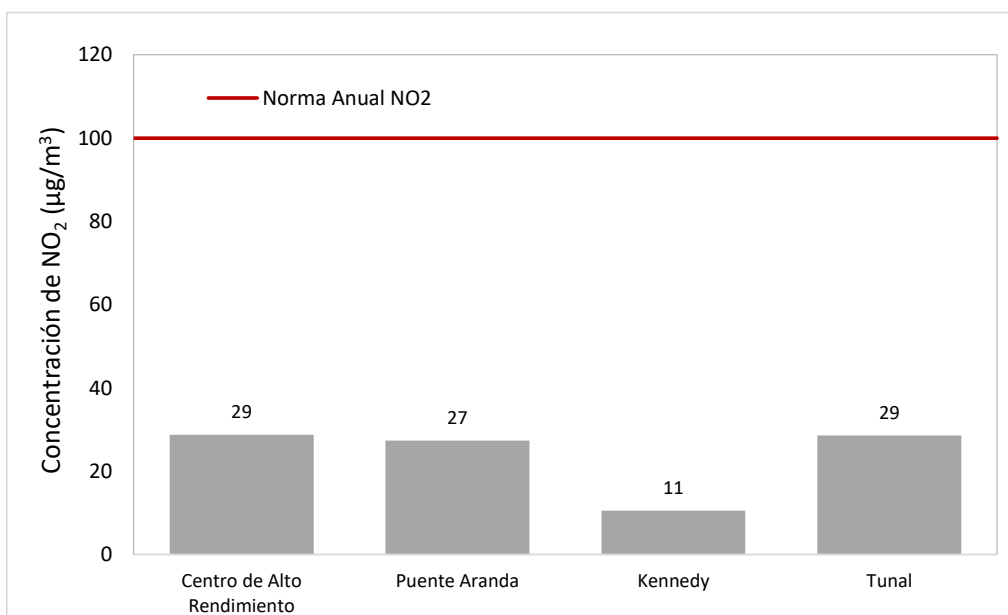


Figura 6-29. Promedios anuales de NO₂ para el año 2017

La comparación de las concentraciones anuales de NO₂ por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-2. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, las concentraciones registradas en 2017 disminuyeron con respecto a los valores del año 2016. La mayor reducción se observó en Puente Aranda, con 7 µg/m³ de diferencia sobre el valor del 2016. En las estaciones de Guaymaral, Las Ferias y Carvajal-Sevillana el número de datos no fue suficiente para alcanzar la representatividad temporal del 75%, por lo que no fue posible obtener un valor de comparación con el año anterior.

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 6-12. Promedios anuales de NO₂ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio NO ₂ 2016	Promedio NO ₂ 2017	Cambio de 2016 a 2017
	(µg/m ³)	(µg/m ³)	(µg/m ³)
Guaymaral	N.R.	N.R.	N.A.
Las Ferias	N.R.	N.R.	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	32	29	↓
Puente Aranda	33	27	↓
Kennedy	N.R.	11	N.A.
Carvajal - Sevillana	N.R.	N.R.	N.A.
Tunal	32	29	↓

6.2.2.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de 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 nivel máximo permisible de NO₂ para un tiempo de exposición diario, (150 µg/m³), no se presentaron excedencias a dicho valor en ninguna estación. Solamente se reportó un dato entre el 75 y 100% del valor de la norma en la estación las Ferias el día 9 de junio, con lo cual tendría posibilidad de registrar valores sobre la norma.

Las concentraciones máximas se registraron en diferentes meses del año (febrero, abril, junio, septiembre, noviembre y diciembre). Los valores más altos se presentaron en la zona sur de la ciudad (121 y 93 µg/m³) y en el centro (79 y 72 µg/m³) (Ver Tabla 6-13)

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 6-13. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de NO₂ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			150 µg/m ³	(µg/m ³)		
Guaymaral	41	21	0	38	22/09/2017	0
Las Ferias	57	45	0	121	09/06/2017	1
Centro de Alto Rendimiento	92	29	0	72	16/12/2017	0
Puente Aranda	95	27	0	58	03/11/2017	0
Kennedy	76	11	0	37	09/02/2017	0
Carvajal - Sevillana	44	44	0	79	07/11/2017	0
Tunal	84	29	0	93	20/04/2017	0

*Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 24 horas de NO₂ durante el 2017 se presenta en la Figura 6-30 en la cual se puede observar que las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Tunal y Puente Aranda tuvieron la mayor continuidad en la captura de los datos, y Kennedy tuvo discontinuidades al inicio de año, sin embargo el resto del año logró capturar la cantidad de datos necesaria para la elaboración de los análisis. Las estaciones Carvajal-Sevillana y Guaymaral presentaron el menor porcentaje de representatividad, debido a que hubo muy baja captura de datos en la primera mitad del año, a causa de mantenimientos constantes de los monitores.

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

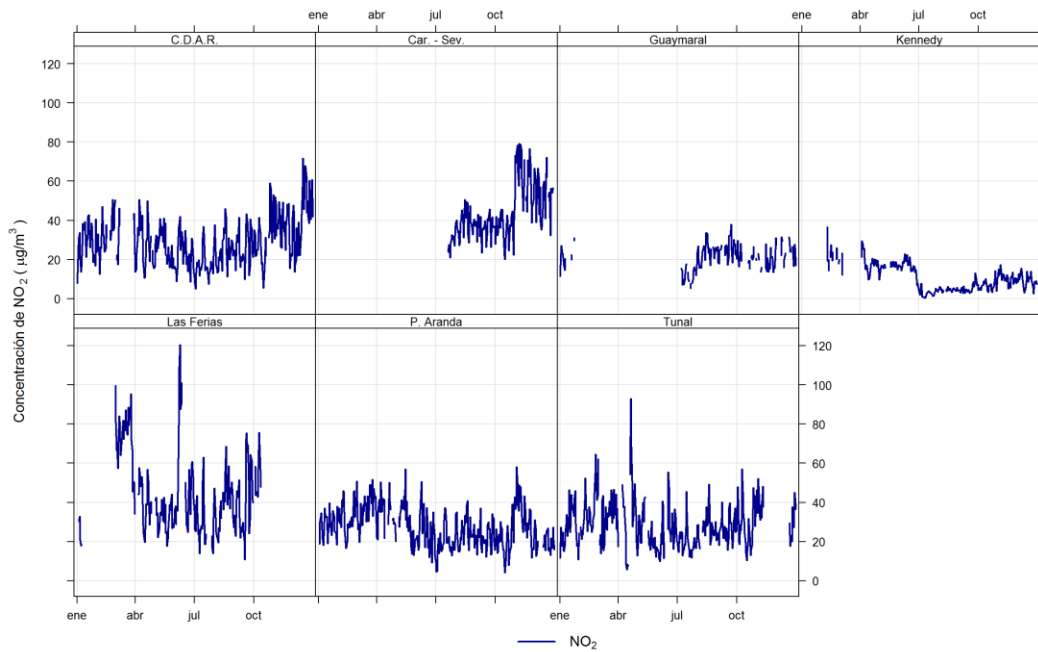


Figura 6-30 Comportamiento diario de la concentración de NO₂ por estación para el año 2017 comparado con la norma diaria 150 µg/m³

El comportamiento semanal de las concentraciones de NO₂ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-31 y en la Figura 6-32, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y miércoles; y las menores concentraciones ocurren en los domingos y lunes, posiblemente por influencia de la reducción de vehículos que circulan en los fines de semana, y contribuyen a la reducción de concentración del NO₂ en dichos días.

En relación a la norma diaria, como se observa en la Figura 6-32, las concentraciones de NO₂ permanecieron por debajo del nivel máximo permisible en todas las estaciones. Los días viernes se registraron las concentraciones más altas, principalmente en la estación Centro de Alto Rendimiento

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

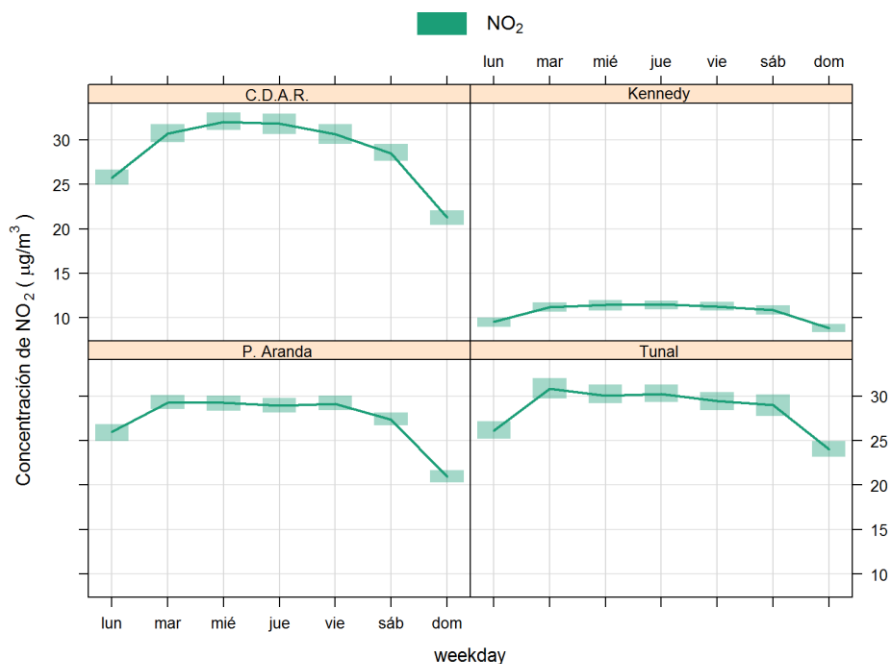


Figura 6-31. Comportamiento de las concentraciones de NO₂ ciclo semanal durante el año 2017 por estación

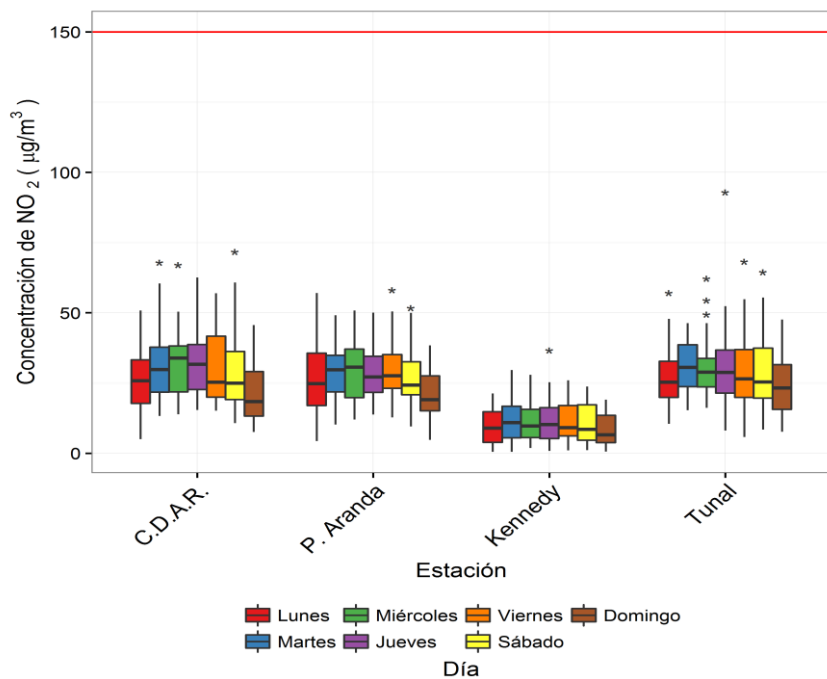


Figura 6-32. Diagramas de caja de las concentraciones de NO₂ por día de la semana para cada estación durante el año 2017

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

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de NO₂ para el año 2017 se representan en la Figura 6-33 y en la Figura 6-34. Se observa que en las cuatro estaciones con porcentaje de representatividad mayor al 75% el comportamiento de las concentraciones durante el año fue distinto de acuerdo a la zona de la ciudad: en la zona centro las concentraciones a principios de año se mantuvieron en el orden de 30 µg/m³, luego hubo una reducción gradual hasta julio, cuando se presentaron las concentraciones más bajas, y a partir de este mes se incrementó hasta diciembre, cuando se registraron las concentraciones más altas, cercanas a los 40 µg/m³. En la zona suroccidente se registraron concentraciones a inicio de año con tendencia al incremento entre febrero y abril, luego hubo un descenso hasta julio, y un nuevo incremento en mayor magnitud que el primero en el mes de noviembre. En la estación Kennedy es de resaltar el descenso de las concentraciones entre los meses de junio y julio, a partir de los cuales hubo ligeros incrementos hasta los 10 µg/m³.

De acuerdo a los promedios diarios por mes que se muestran en la Figura 6-37, se observa que ninguna estación registró valores que sobrepasaran la norma. En general, se presenta una baja dispersión de los datos, la estación Tunal fue la que presentó el mayor número de valores atípicos, mientras que en la estación Kennedy los valores registrados en el mes tuvieron bastante similitud.

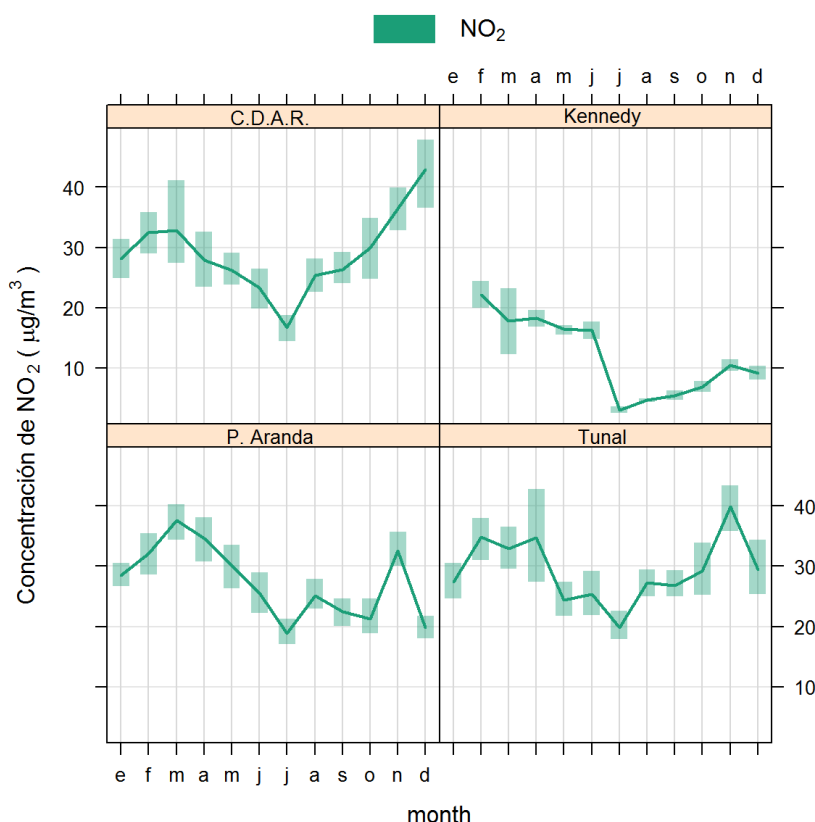


Figura 6-33. Comportamiento mensual de la concentración de NO₂ para el año 2017 por estación

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

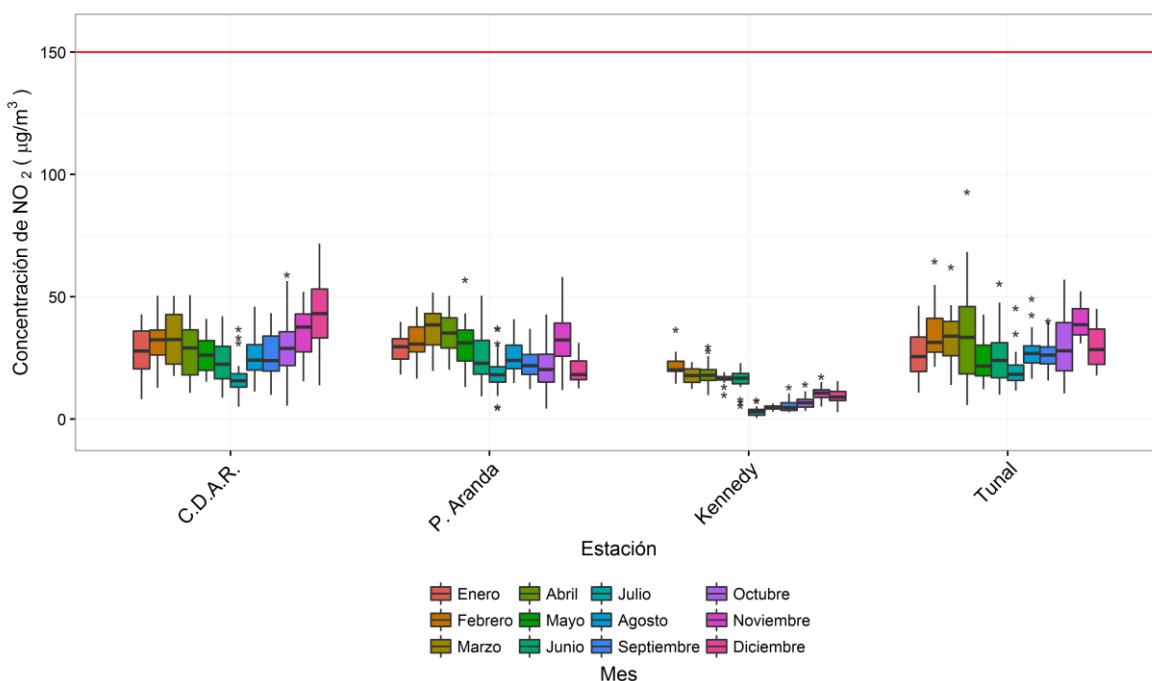


Figura 6-34. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO₂ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.2.3 COMPORTAMIENTOS HORARIOS POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ se evalúa con base en las excedencias sobre el nivel máximo permisible por 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), no se presentaron excedencias sobre la norma en ninguna estación, sin embargo se registraron 8 valores entre el 75 y el 100% del valor permitido por la norma en las estaciones Las Ferias y Tunal (4 en cada una), con lo cual tienen mayor probabilidad de registrar concentraciones sobre la norma que las demás estaciones. Además, los valores de promedio anual más altos calculados con base en datos horarios se reportaron en las estaciones las Ferias y Carvajal-Sevillana con 44 µg/m³, mientras que el valor más bajo se registró en Kennedy con 11 µg/m³.

Las concentraciones máximas de NO₂ para el 2017 se presentaron en igual medida los meses de febrero y diciembre. El valor máximo más alto se presentó en Las Ferias, con 174 µg/m³ el día 9 de junio, seguido de Tunal con 172 µg/m³ el 20 de abril.

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 6-14. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de NO₂ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			200 µg/m ³	(µg/m ³)		
Guaymaral*	46	21	0	96	02/10/2017 17:00	0
Las Ferias*	59	44	0	174	09/06/2017 18:00	4
Centro de Alto Rendimiento	92	29	0	120	15/12/2017 09:00	0
Puente Aranda	96	27	0	127	06/02/2017 09:00	0
Kennedy	77	11	0	81	15/02/2017 09:00	0
Carvajal-Sevillana*	44	44	0	149	19/12/2017 10:00	0
Tunal	86	29	0	172	20/04/2017 18:00	4

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ durante el año 2017, y la comparación de los valores con respecto al nivel establecido por la norma horaria (200 µg/m³) se encuentra en la Figura 6-35, en la cual se observa que las concentraciones más altas se presentaron en el último trimestre del año, a excepción de la estación Tunal, que registró valores más altos en los primeros meses del año.

Además se observa los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad: para Carvajal-Sevillana y Guaymaral se registraron datos de manera continua después de julio, dado que en la primera mitad del año los monitores se encontraban en mantenimiento; el monitor de la estación Las Ferias no registró datos al inicio y a final de año, aunque el resto del año tuvo una continuidad en el monitoreo, como si la tuvieron durante todo el año las estaciones Puente Aranda y Tunal.

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

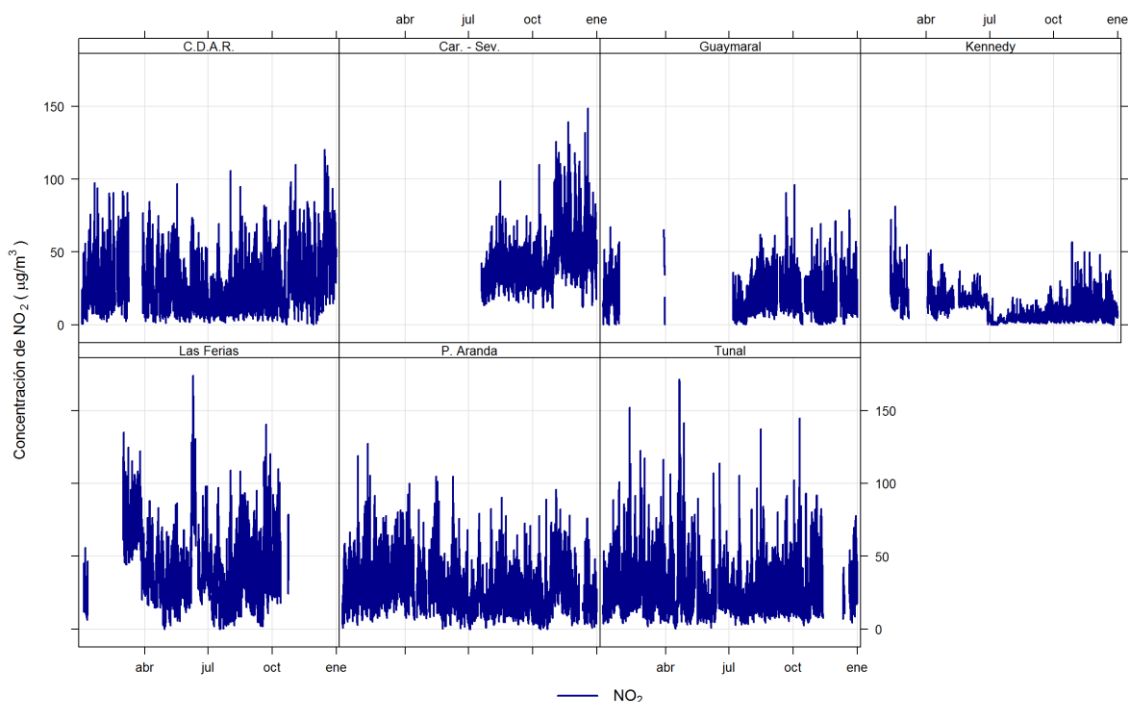


Figura 6-35. Comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ y comparación con norma nacional 1h – Año 2017

En la Figura 6-36 se muestra el comportamiento de las concentraciones horarias de NO₂ durante el día. En general las estaciones presentaron el mismo comportamiento durante el día, con concentraciones bajas en la madrugada y aumento gradual hasta las 8 de la mañana, posiblemente por influencia de aumento en el número de vehículos que circulan en la mañana, luego se presenta un descenso en horas del mediodía y un nuevo incremento en horas de la noche, asociado posiblemente a la reducción de las concentraciones de ozono, dado que ya no hay radiación solar que cause la reacción de generación de ozono troposférico.

En la Figura 6-37 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de NO₂ en el año 2017 agrupadas por hora. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Tunal, registrando mayor número de datos atípicos y de mayor magnitud. Cabe destacar el descenso en las concentraciones de Kennedy, que registró valores mucho más bajos que las demás estaciones de la ciudad, posiblemente por influencia en la reducción de las emisiones del contaminante por las fuentes que se encuentran en el entorno de la estación.

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

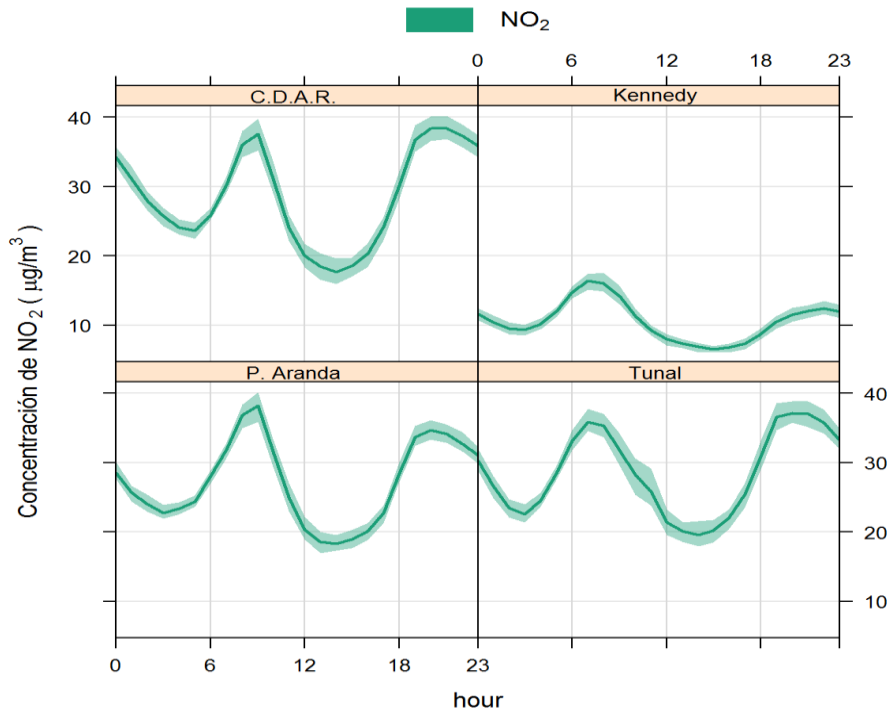


Figura 6-36. Comportamiento horario de las concentraciones de NO₂ por estación durante el año 2017

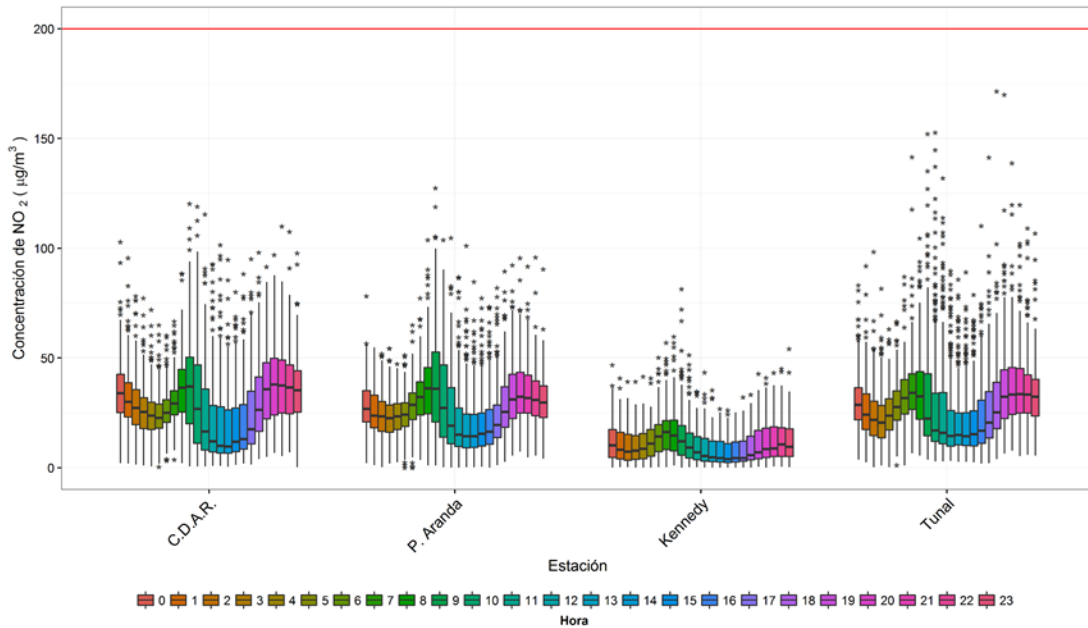


Figura 6-37. Diagramas de caja de las concentraciones de NO₂ por hora del día para cada estación durante el año 2017

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

6.2.2.4 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-15 contiene un resumen de los promedios anuales de concentración de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y se muestran las concentraciones máximas de NO₂ para el período 2013 – 2017. El promedio de concentración del año 2017 es el menor de los registrados en los últimos cinco años, sin embargo el valor máximo de concentración es el segundo más alto en este mismo período. Además, la estación las Ferias ha registrado el valor máximo en tres de los cinco años, siendo unas de la que registra valores altos de concentración en el 2017. Esto se debe posiblemente a la influencia de los vehículos que circulan por las vías cercanas a la estación.

Tabla 6-15. Promedios anuales y máximos históricos de NO₂ para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad NO ₂ (µg/m ³)	Máximo NO ₂ (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2013	30	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	31	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	35	90	01/05/2015	Centro de Alto Rendimiento
2016	32	158	29/06/2016	Tunal
2017	29	121	09/06/2017	Las Ferias

En la Figura 6-38 se representan las concentraciones diarias de NO₂ para los últimos cinco años, se observa que las estaciones Tunal, Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento han tenido la mejor representatividad de los datos en este período, y solo ha ocurrido una excedencia sobre la norma en el año 2016, debido a registro de concentraciones altas en la estación Tunal.

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

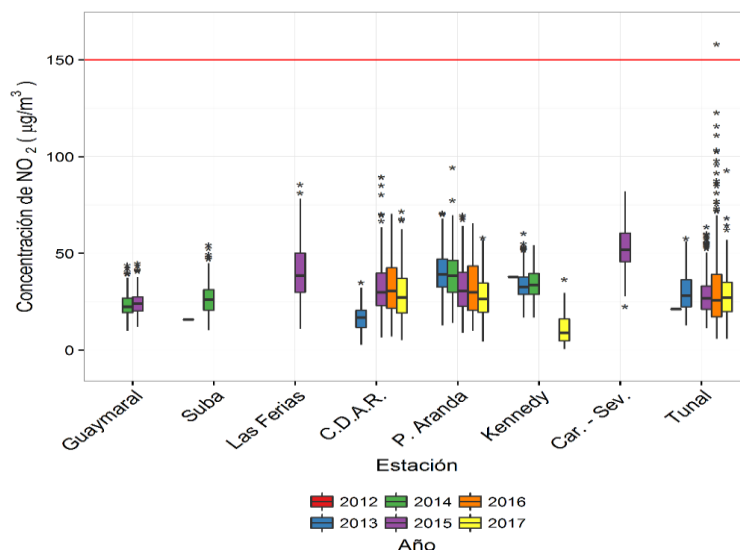


Figura 6-38 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de NO₂ por estación para los años 2013 a 2017

6.2.3 DIÓXIDO DE AZUFRE

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

Para el año 2017, cinco (5) estaciones reportaron datos de SO₂ con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante en este período.

6.2.3.1 COMPORTAMIENTO ANUAL POR ESTACIÓN

La Figura 6-39 muestra los promedios anuales por estación y su comparación con el valor establecido por la norma nacional de SO₂ (80 µg/m³) para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%. Se puede observar que en ninguna de las estaciones se sobrepasó el límite máximo permisible, la mayor concentración fue de 13.4 µg/m³ en la estación Carvajal-Sevillana, mientras que la estación con menor concentración promedio fue Centro de Alto Rendimiento, con 3.3 µg/m³.

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

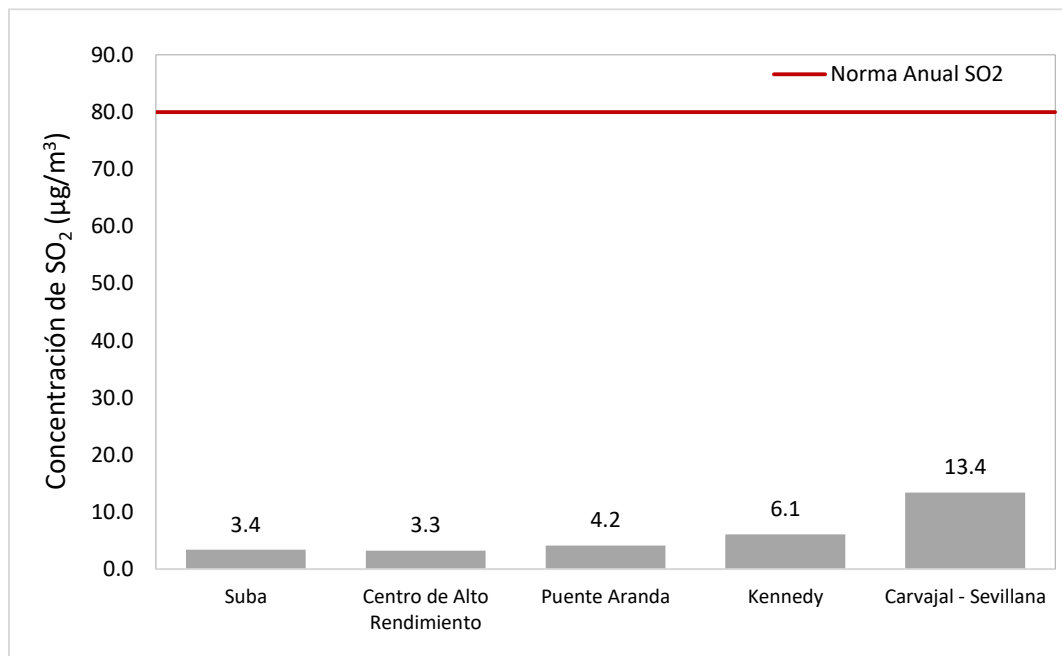


Figura 6-39 Comportamiento de las concentraciones anuales de SO₂ para el año 2017

La comparación de las concentraciones anuales de SO₂ por estación con relación a los valores del 2016 se muestra en la Tabla 6-16. Para las estaciones que tuvieron valores representativos en los dos años, se observa que hubo una disminución de las concentraciones en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda, siendo la primera la que presentó la mayor reducción, con 1 µg/m³ de diferencia, mientras que la estación Kennedy registró un aumento de 1.3 µg/m³ sobre el valor del año anterior.

Tabla 6-16. Promedios anuales de SO₂ para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio 2016 (µg/m ³)	Promedio 2017 (µg/m ³)	Cambio de 2016 a 2017
Suba	N.R.	3.4	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	4.3	3.3	↓
Puente Aranda	4.5	4.2	↓
Kennedy	4.8	6.1	↑
Carvajal - Sevillana	N.R.	13.4	N.A.
San Cristóbal	1.9	N.R.	N.A.

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

6.2.3.2 COMPORTAMIENTO DIARIO POR ESTACIÓN

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ se evalúa con base en las excedencias sobre el límite máximo permisible de 24 horas, 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 2017, cinco de las siete estaciones que reportaron datos de SO₂ tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 86%, siendo la estación Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos, con un 98% del total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-17. Adicionalmente, según el límite máximo permisible de 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.

Las concentraciones máximas de SO₂ para el 2017 se presentaron en igual proporción en los meses de febrero y junio, y en las demás estaciones se registraron en marzo, octubre y diciembre. La concentración máxima más alta se registró en la estación Carvajal-Sevillana, con 31.4 µg/m³ el día 27 de diciembre.

Tabla 6-17. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos diarios de SO₂ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma diaria	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			250 µg/m ³	(µg/m ³)		
Suba	96	3.4	0	12.2	23/02/2017	0
Centro de Alto Rendimiento	86	3.3	0	7.1	17/06/2017	0
Puente Aranda	98	4.2	0	11.8	05/06/2017	0
Kennedy	95	6.1	0	16.5	25/03/2017	0
Carvajal-Sevillana	91	13.4	0	31.4	27/12/2017	0
Tunal*	34	4.4	0	9.9	27/10/2017	0
San Cristóbal*	44	2.0	0	4.2	09/02/2017	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento semanal de las concentraciones de SO₂ en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-40 y en la Figura 6-41, en las que se observa que las mayores concentraciones se presentan entre los días miércoles y viernes, y las menores concentraciones se registran los domingos. También se observa que la estación Carvajal-Sevillana presenta concentraciones en una magnitud mayor a la que registran las otras estaciones, llegando a duplicar los valores registrados, posiblemente por influencia del tráfico de carga pesada que circula en el área de influencia de la estación Carvajal-Sevillana.

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

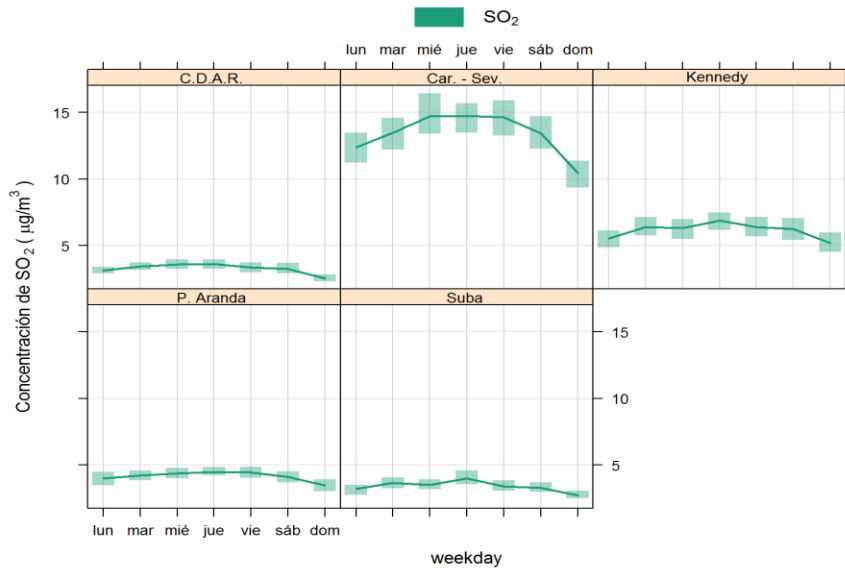


Figura 6-40. Comportamiento semanal de las concentraciones de SO₂ durante el año 2017 por estación

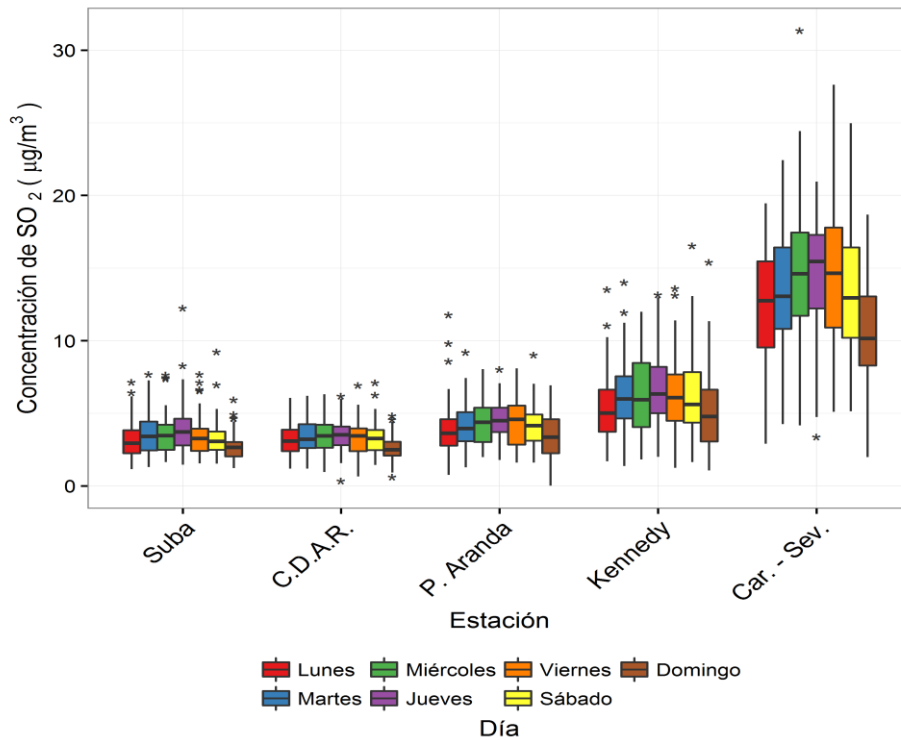


Figura 6-41 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por día de la semana para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo.

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

Los comportamientos mensuales de las concentraciones de SO₂ para el año 2017 se representan en la Figura 6-42 y en la Figura 6-43. Se puede observar que las concentraciones variaron de acuerdo al sector de la ciudad: en la zona de influencia de las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y en la zona cercana a la estación Suba las concentraciones se incrementaron gradualmente hasta los meses de marzo y abril, después se registra un descenso hasta los meses de julio y agosto, en los que se presentaron las concentraciones más bajas, y finalmente hubo un nuevo incremento entre noviembre y diciembre. Por otro lado, las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda tuvieron un patrón de comportamiento diferente, con concentraciones bajas la mayoría del año e incrementos entre septiembre y octubre.

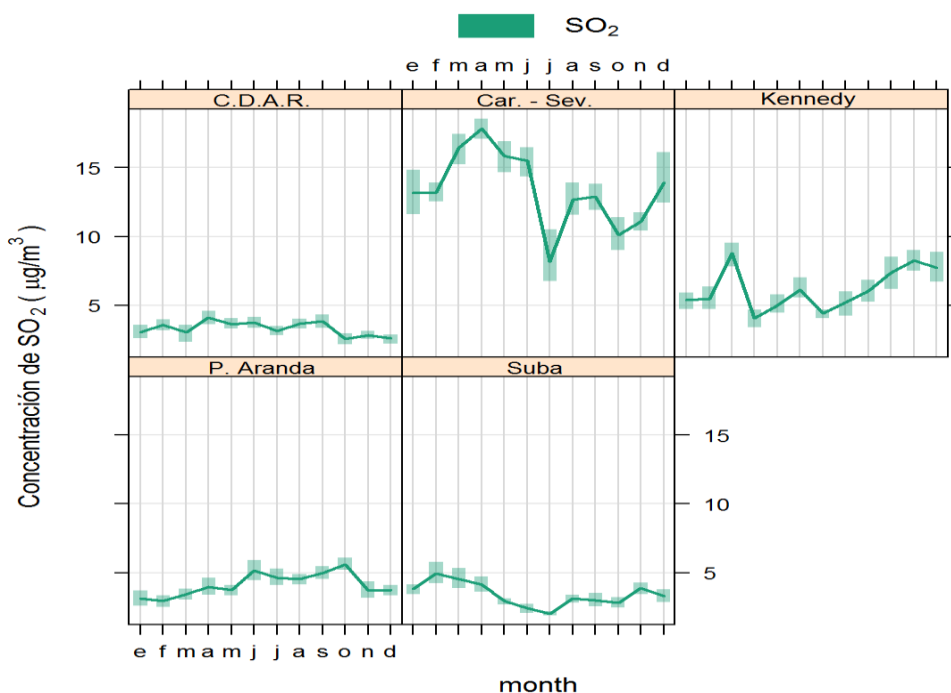


Figura 6-42. Comportamiento mensual de la concentración de SO₂ para el año 2017 por estación

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

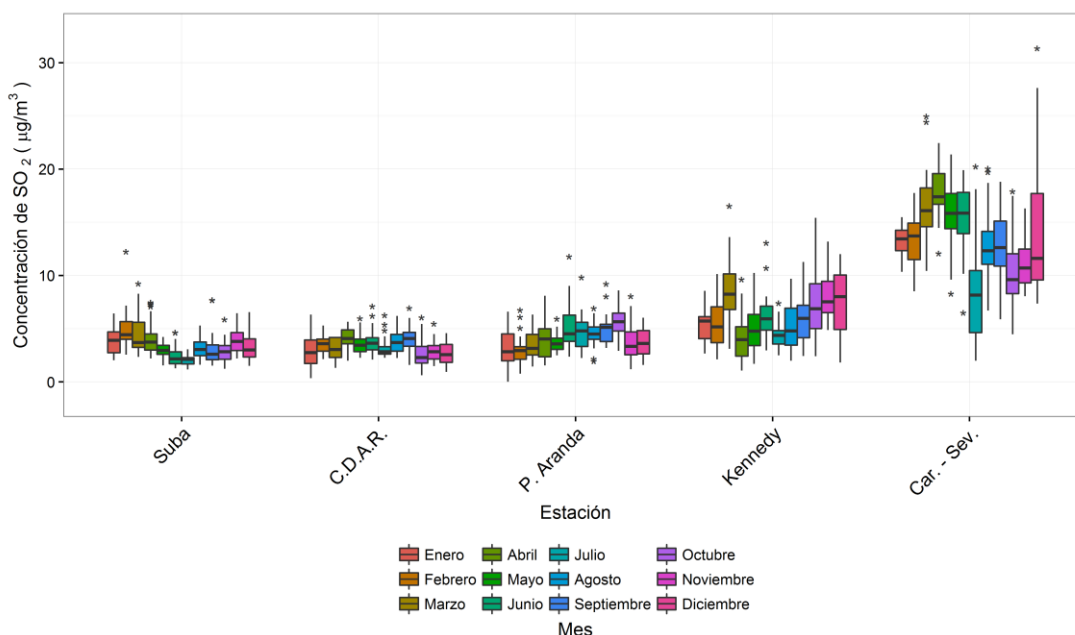


Figura 6-43. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

6.2.3.3 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (3H)

El comportamiento de las concentraciones 3 horas de 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 2017, cinco de las siete estaciones que reportaron datos de SO₂ tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 89%, siendo la estación de Puente Aranda la que tuvo la mayor cantidad de datos válidos con 99% en relación al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-18.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de 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 75.3 µg/m³ el 26 de julio, seguida de Kennedy con 35.5 µg/m³ el 20 de marzo.

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 6-18. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 3 horas de SO₂ durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (µg/m ³)	Excedencias norma 3h	Máximo	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			(750 µg/m ³)	(µg/m ³)		
Suba	97	3.4	0	31.2	23/02/2017 09:00	0
Centro de Alto Rendimiento	89	3.3	0	16.1	02/08/2017 10:00	0
Puente Aranda	99	4.2	0	26.2	23/01/2017 09:00	0
Kennedy	96	6.1	0	35.5	20/03/2017 09:00	0
Carvajal-Sevillana	91	13.4	0	75.3	26/07/2017 21:00	0
Tunal*	37	4.3	0	28.5	26/09/2017 08:00	0
San Cristóbal*	45	2.1	0	9.3	09/02/2017 11:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

6.2.3.4 COMPORTAMIENTO HORARIO POR ESTACIÓN (1H)

El comportamiento de las concentraciones horarias de SO₂ durante el 2017 se encuentra en Figura 6-44, en la cual se observa que en las estaciones no hay un patrón específico sobre el comportamiento de las concentraciones durante el año. En las estaciones Suba, Puente Aranda y Kennedy se observan incrementos al inicio de año, mientras que en la estación Carvajal-Sevillana se observa un aumento notable en las concentraciones en comparación a las otras estaciones, en julio con concentraciones cercanas a los 100 µg/m³ y en diciembre con valores del orden de 80 µg/m³.

Además se observan los periodos en que no hubo captura de datos para las estaciones con baja representatividad. Debido a que se registraban concentraciones muy bajas en la estación San Cristóbal dado que no había fuentes que aportaran considerablemente concentraciones del contaminante, se realizó el traslado el monitor a la estación Tunal, ya que en el área de influencia de esta estación se encuentran mayor número de fuentes que posiblemente pueden contribuir a la presencia de SO₂ en la atmósfera. Este traslado fue realizado después de mitad de año, por lo cual se recolectaron datos con una representatividad temporal menor al 75%.

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

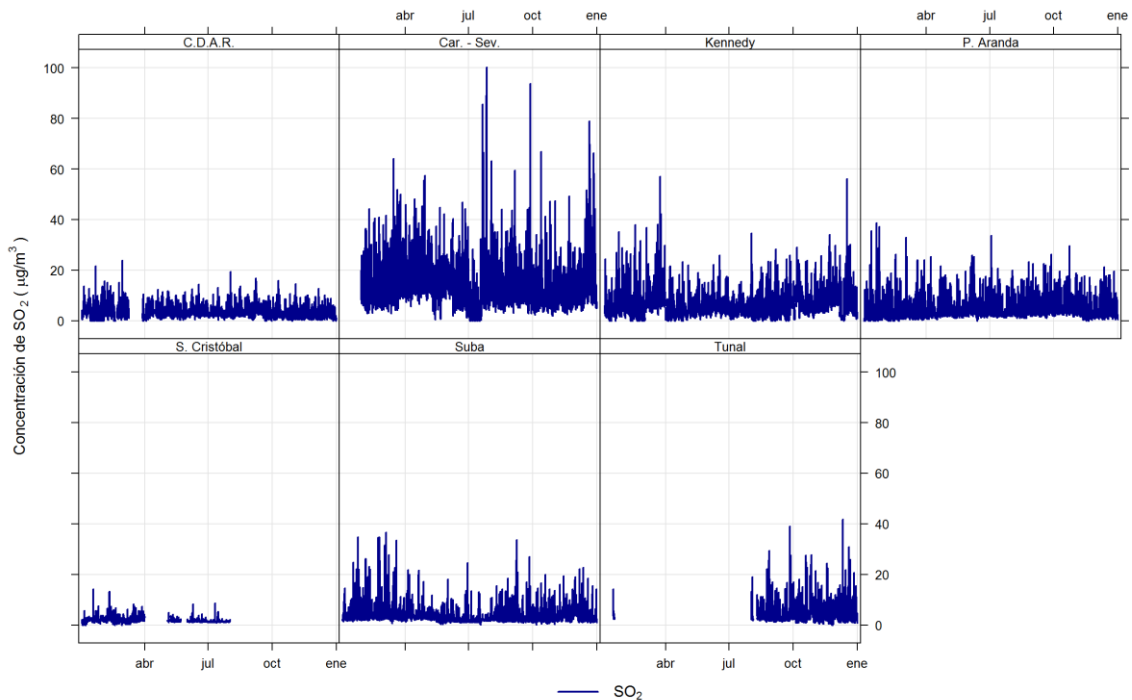


Figura 6-44. Comportamiento de las concentraciones horarias de SO₂ en el 2017 por estación

En la Figura 6-45 se muestra el comportamiento de las concentraciones en el ciclo horario para el SO₂. Las concentraciones registradas en las estaciones tienen un patrón similar de comportamiento, con concentraciones bajas en la madrugada que se incrementan rápidamente hacia las 8 de la mañana, y después hay un descenso en las concentraciones hacia el mediodía, cuando se estabilizan y permanecen durante la noche. Las concentraciones registradas en todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana, presentan valores menores a los 10 µg/m³ en promedio, mientras que en dicha estación los valores registrados son cercanos a los 20 µg/m³.

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

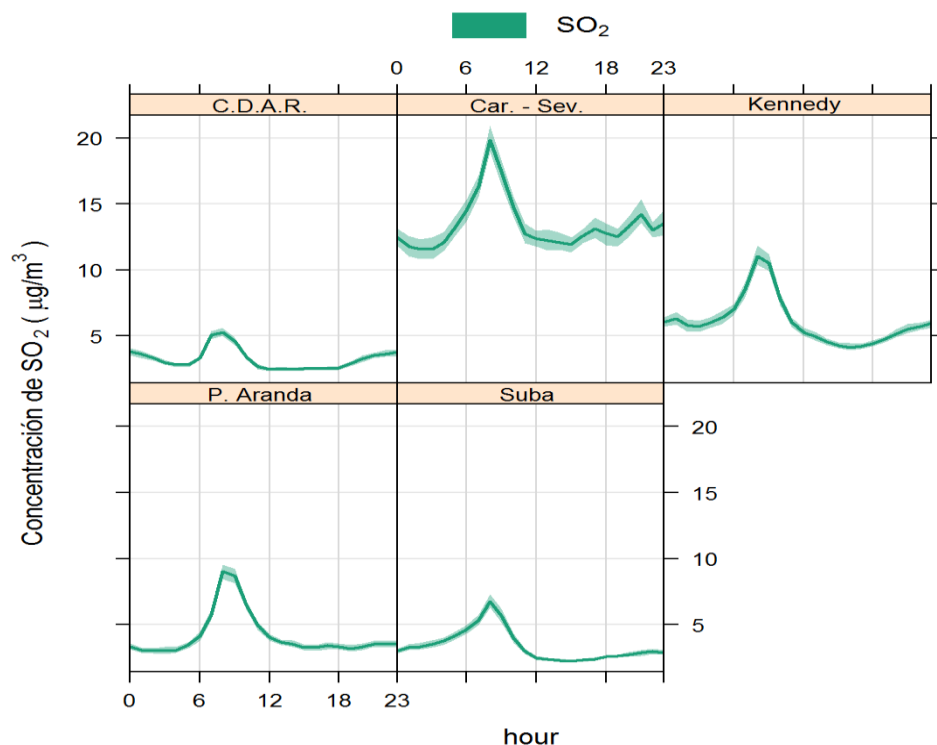


Figura 6-45. Comportamiento horario de las concentraciones de SO₂ por estación durante el año 2017

6.2.3.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-19 contiene un resumen de los promedios de concentración anuales de la ciudad (calculado con concentraciones diarias de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y se muestran las concentraciones máximas de SO₂ para el período 2013 – 2017. El promedio anual de 2017 se incrementó con respecto a las concentraciones de los últimos tres años, debido a que la estación Carvajal-Sevillana, que registra las mayores concentraciones de SO₂, tenía una representatividad menor al 75%, por lo que no había sido incluida en el cálculo del promedio a nivel ciudad hasta 2017, con lo cual se evidencia el incremento sobre los años anteriores.

Tabla 6-19. Promedios anuales y máximos históricos de SO₂ para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad SO ₂	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
	(µg/m ³)	(µg/m ³)		
2013	8.6	51.1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana
2014	4.2	32.2	13/12/2014	Kennedy
2015	3.3	48.2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana

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

Año	Promedio ciudad SO ₂	Máximo	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
2016	3.9	40.8	27/05/2016	Carvajal-Sevillana
2017	5.3	31.4	27/12/2017	Carvajal-Sevillana

Según la Figura 6-50, se evidencia que en los últimos cinco años la estación Puente Aranda es la que ha tenido la mayor cantidad de datos con representatividad temporal mayor al 75%, en comparación con las demás estaciones. Es notable el descenso en las concentraciones del año 2017 en la estación Suba con respecto a los años anteriores, a diferencia de la estación Carvajal-Sevillana, que además ha presentado mayor número de datos atípicos por concentraciones sobre $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2013.

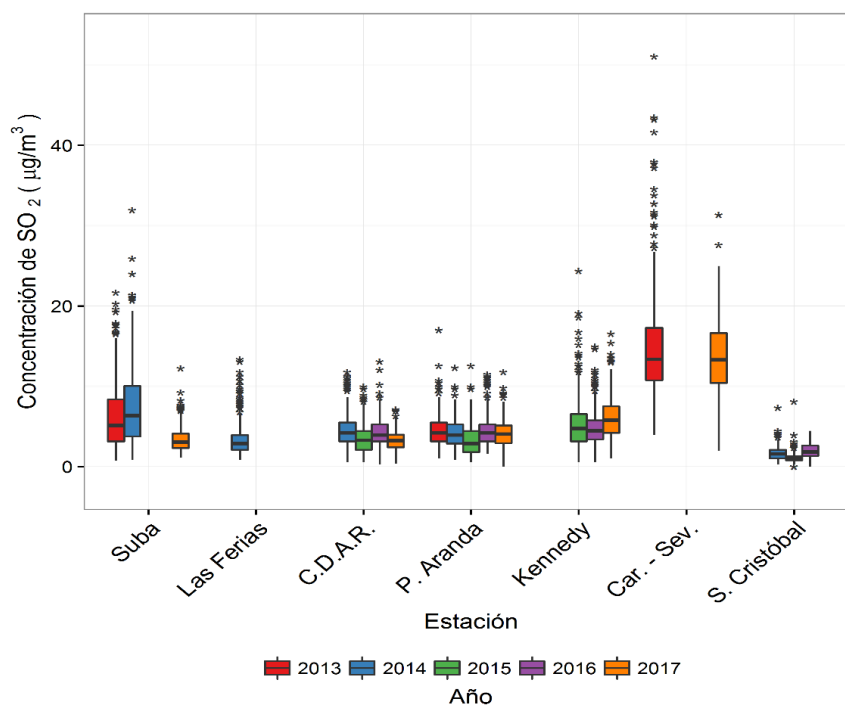


Figura 6-46. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de SO₂ por estación para los años 2013 a 2017

6.2.4 MONÓXIDO DE CARBONO

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

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

Para el año 2017, seis (6) estaciones reportaron datos de CO con una representatividad temporal mayor al 75%, de las siete (7) estaciones que monitorearon el contaminante en este período.

6.2.4.1 COMPORTAMIENTO ANUAL

La Figura 6-47 muestra los promedios anuales de CO por estación para el año 2017, calculados con base en los datos de media móvil 8 horas. No se realiza comparación con la norma nacional debido a que no se define un nivel máximo anual para monóxido de carbono. El mayor valor se presentó en la estación Carvajal-Sevillana, con 1.7 mg/m³, y el valor más bajo se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con 0.7 mg/m³.

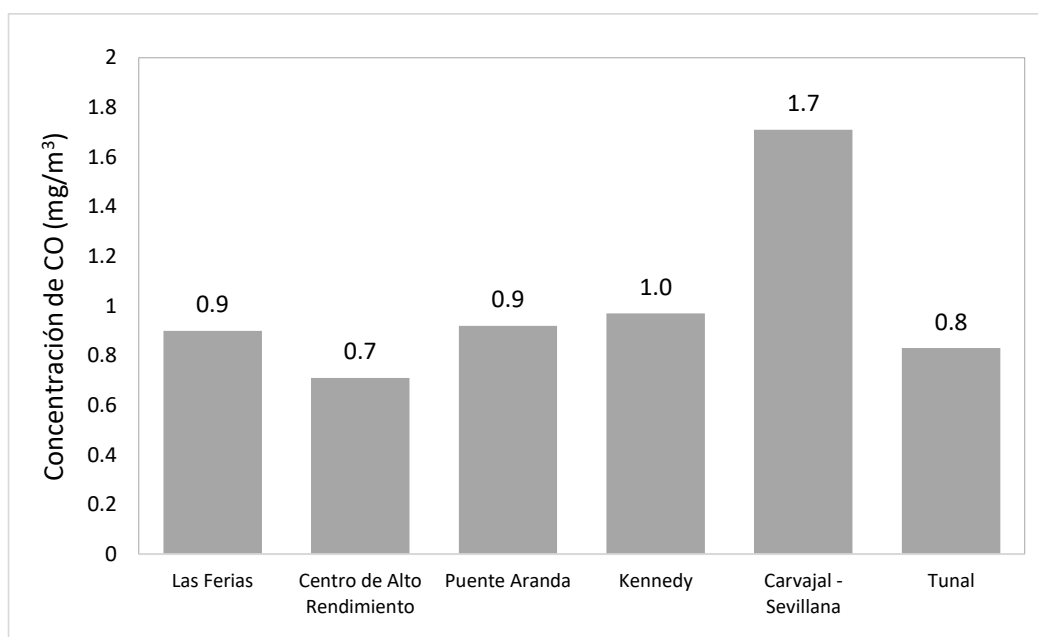


Figura 6-47 Comportamiento de las concentraciones anuales de CO (media móvil 8h) para el año 2017

6.2.4.2 COMPORTAMIENTO DIARIO

El comportamiento semanal de las concentraciones de CO en las estaciones con representatividad mayor al 75% para el año 2017 se muestra en la Figura 6-48, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan los días martes y miércoles, y las menores concentraciones ocurren en los domingos. Las concentraciones de CO se hallan influenciadas por las variaciones en las dinámicas de las fuentes de emisión, del mismo modo que en material particulado, por lo que las actividades de dichas fuentes se reducen en los fines de semana, y por ende se percibe una consecuente disminución en las concentraciones de CO.

En la Figura 6-49 se muestra la distribución de los datos horarios de CO por día de la semana. Se observa que las concentraciones registradas tienen el mismo comportamiento de dispersión de datos, aunque la estación Centro de Alto Rendimiento registra los valores más altos, junto con la

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

estación Carvajal-Sevillana. Se evidencia que en general las concentraciones en días hábiles son mayores a las concentraciones en días de fin de semana.

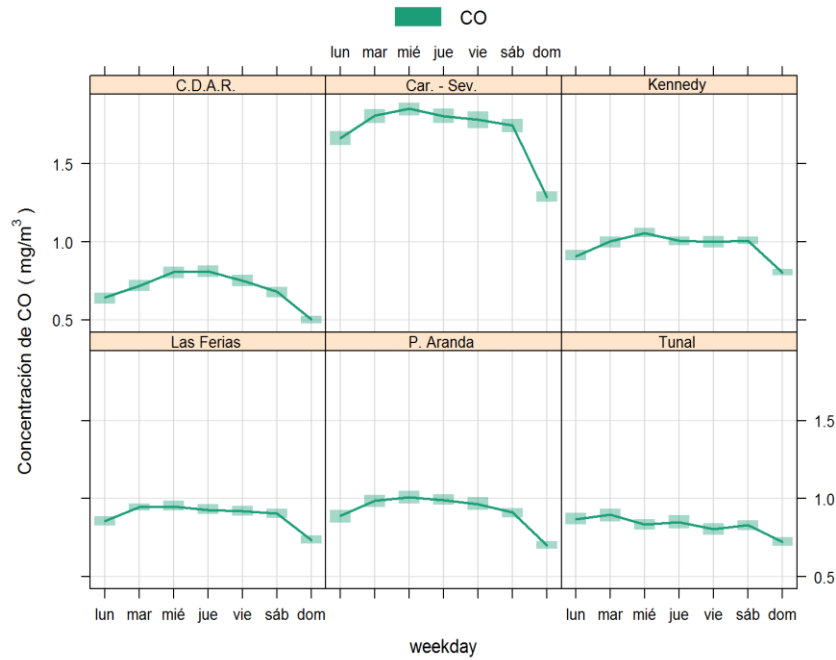


Figura 6-48. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2017

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

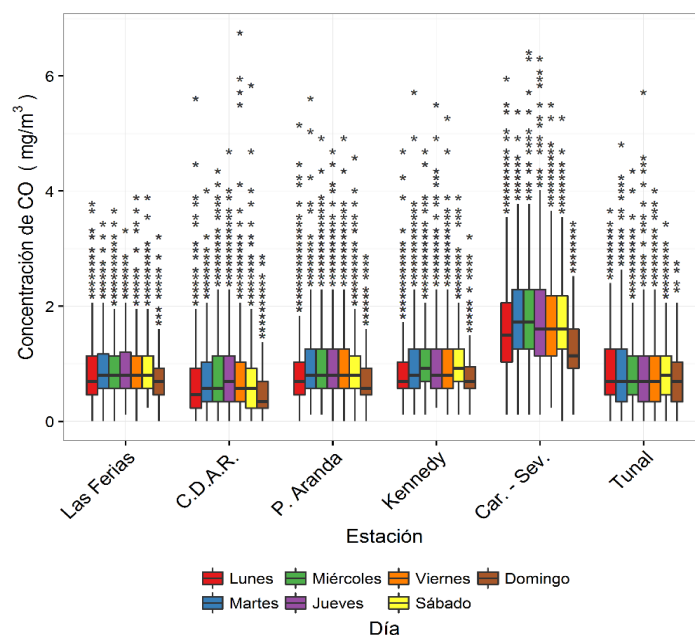


Figura 6-49. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por día de la semana para cada estación durante el año 2017

Los comportamientos mensuales de las concentraciones horarias de CO para el año 2017 se representan en la Figura 6-50. En las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana, Kennedy y Las Ferias se observa un patrón similar de comportamiento, en las que el año inicia con concentraciones bajas entre enero y febrero, luego se presentan aumentos entre marzo y mayo, luego hay un descenso hasta el mes de julio, que registra las concentraciones más bajas, incrementándose nuevamente en el mes de noviembre en menor proporción hasta final de año. En la estación Puente Aranda este último incremento es más considerable que el de inicio de año, y en Tunal los incrementos tuvieron la misma magnitud al inicio y fin de año. Esta situación es causada por variaciones en las dinámicas de las fuentes, y de la meteorología en sectores localizados de la ciudad.

De acuerdo a la distribución de las concentraciones horarias por mes que se muestran en la Figura 6-52, se observa el incremento de las concentraciones horarias en la estación Centro de Alto Rendimiento en los tres últimos meses del año, presentando valores similares a los registrados en la estación Carvajal-Sevillana en la primera mitad del año, sin embargo esta última estación presenta la mayor cantidad de valores atípicos, los cuales incluso superaron los 6 mg/m³. Las demás estaciones presentan concentraciones promedio en el mismo orden de magnitud, menores a los 2 mg/m³.

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

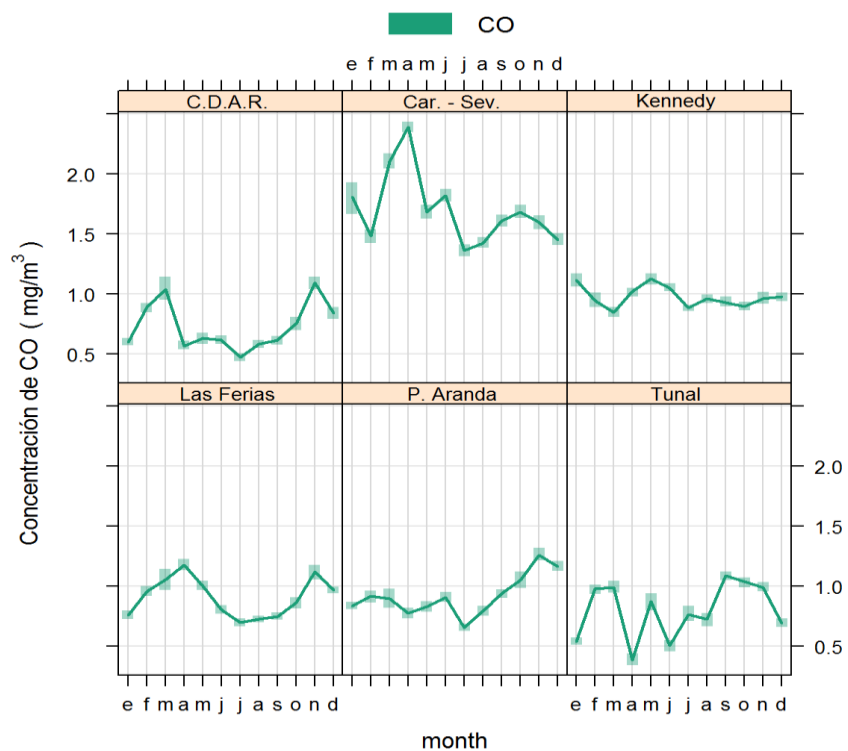


Figura 6-50. Comportamiento mensual de las concentraciones de CO para el año 2017 por estación

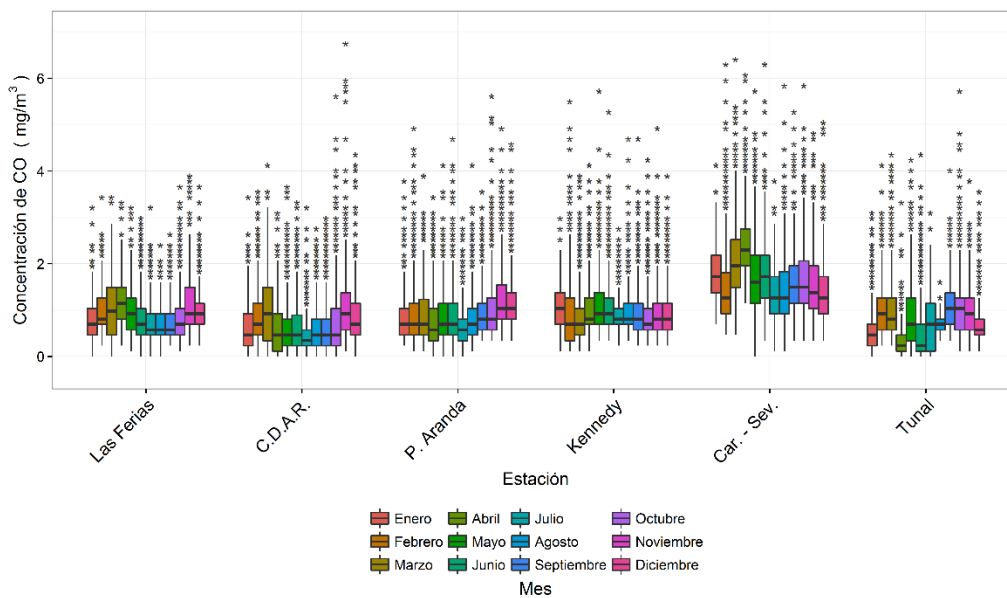


Figura 6-51. Diagramas de caja de las concentraciones horarias de CO por mes para el año 2017 en función de las estaciones de monitoreo

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

6.2.4.3 COMPORTAMIENTO HORARIO (1H)

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

Para el año 2017, seis de las siete estaciones que reportaron datos de CO tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones de Kennedy y Puente Aranda las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos con 93% y 90% respectivamente, con respecto al total de datos capturados, como se observa en la Tabla 6-20.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición horario, (40 mg/m³), no se presentó ninguna excedencia sobre la norma. Tampoco se encontraron datos entre el 75 y 100% de la norma, con lo cual ninguna estación presenta la probabilidad de exceder la norma.

Las concentraciones máximas de CO para el 2017 se presentaron en mayor medida entre el 2 y el 3 de noviembre, en el centro y norte de la ciudad (estaciones Las Ferias, Centro de Alto rendimiento y Usaquén). El valor máximo más alto se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con 6.8 mg/m³ el día 3 de noviembre, seguido de Carvajal-Sevillana con 6.4 mg/m³ el día 29 de marzo.

Tabla 6-20. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos horarios de CO durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual (mg/m ³)	Excedencias norma horaria	Máximo	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			40 mg/m ³	(mg/m ³)		
Usaquén	25	0.7	0	3.3	02/11/2017 07:00	0
Las Ferias	82	0.9	0	3.9	03/11/2017 20:00	0
Centro de Alto Rendimiento	91	0.7	0	6.8	03/11/2017 20:00	0
Puente Aranda	90	0.9	0	5.6	10/10/2017 07:00	0
Kennedy	93	1.0	0	5.7	23/05/2017 07:00	0
Carvajal-Sevillana	86	1.7	0	6.4	29/03/2017 07:00	0
Tunal	80	0.8	0	5.7	12/10/2017 07:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones horarias de CO durante el 2017 se encuentra en la Figura 6-52, en la cual se observa que los valores registrados no exceden el nivel máximo permisible por la norma (40 mg/m³), ya que los valores más altos registrados varían entre 3 y 6 mg/m³. La única estación que tuvo baja representatividad fue Usaquén, debido a que el monitor se puso nuevamente en funcionamiento a finales de septiembre, debido a que se encontraba en mantenimiento.

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

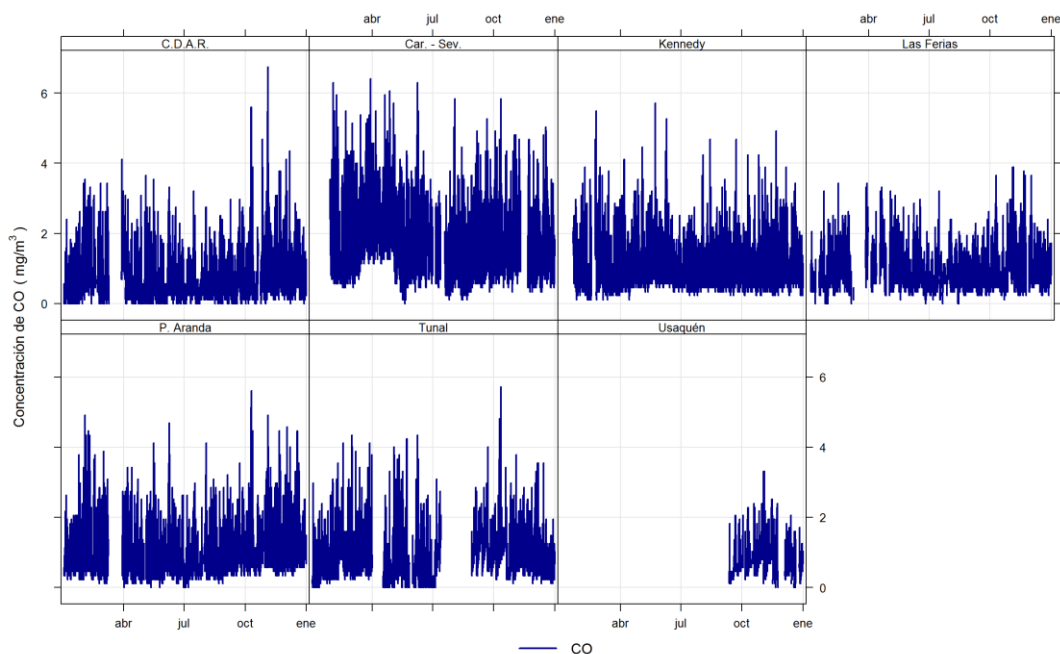


Figura 6-52. Concentraciones horarias de CO en el año 2017

En la Figura 6-53 se muestra la tendencia de las concentraciones horarias de CO durante el día. En general se observa un comportamiento similar en todas las estaciones de monitoreo, con un leve descenso de las concentraciones de la media noche a la madrugada, cuando empiezan a incrementarse las concentraciones hasta su punto máximo a las 7 de la mañana (con valores entre 1.25 a 2.75 mg/m^3), luego descienden y se mantienen estables hasta las 6 de la tarde, cuando se presenta un nuevo aumento de menor proporción (con valores entre 1 y 2.2 mg/m^3) que permanece el resto de la noche.

En la Figura 6-54 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones horarias de CO en el año 2016. Se observa que la mayor dispersión de datos se presentó en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, registrando los valores más altos entre las 6 y 8 de la mañana, aunque, en la estación Centro de Alto Rendimiento se registraron también valores altos atípicos en horas de la noche y la madrugada, posiblemente por acumulación de la contaminación generada durante el día o influencia de las actividades de fuentes contaminantes en horario nocturno.

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

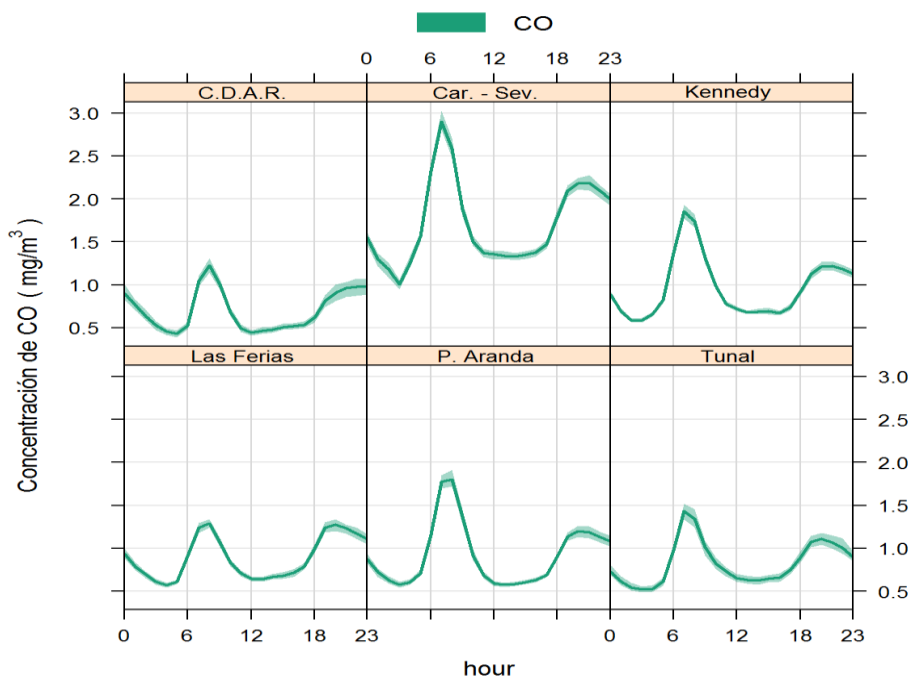


Figura 6-53. Comportamiento horario de las concentraciones de CO por estación durante el año 2017

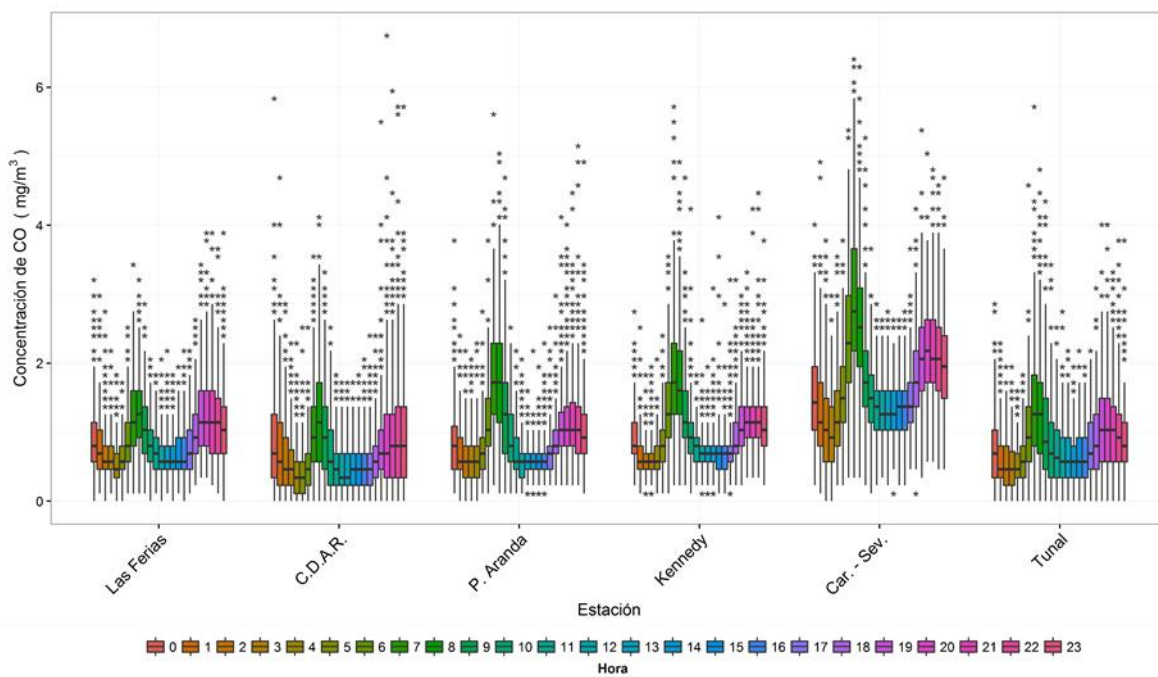


Figura 6-54. Diagramas de caja de las concentraciones de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017

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

6.2.4.4 COMPORTAMIENTO HORARIO (8H)

La comparación del promedio de las concentraciones 8 horas de CO por estación con relación a los valores del año 2016 se muestra en la Tabla 6-21. Para las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%, se observó una disminución en las concentraciones registradas con respecto al año anterior, siendo la estación Centro de Alto Rendimiento la que tuvo la menor reducción con 0.2 mg/m³, la estación Kennedy registró el mismo valor del año 2016.

Tabla 6-21. Promedios anuales de datos 8 horas de CO para los años 2016 y 2017 y cambio de concentración

Estación	Promedio CO 2016	Promedio CO 2017	Cambio de 2016 a 2017
	(mg/m ³)	(mg/m ³)	
Las Ferias	N.R.	0.9	N.A.
Centro de Alto Rendimiento	0.9	0.7	↓
Puente Aranda	1.0	0.9	↓
Kennedy	1.0	1.0	=
Carvajal - Sevillana	N.R.	1.7	N.A.
Tunal	0.9	0.8	↓

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 10 mg/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 2017, seis de las siete estaciones que reportaron datos media móvil 8 horas de CO, tuvieron un porcentaje de datos válidos mayor al 80%, siendo las estaciones Kennedy (93%) Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda (90%) las que tuvieron mayor cantidad de datos válidos, como se observa en la Tabla 6-22.

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible de CO para un tiempo de exposición de 8 horas, (10 mg/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 2017 se presentaron en mayor proporción el día 4 de noviembre, en las estaciones Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Puente Aranda. El valor máximo más alto se presentó en Centro de Alto Rendimiento, con 5.4 mg/m³ el día 4 de noviembre, seguido de Carvajal-Sevillana con 4.0 mg/m³ el 22 de febrero.

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 6-22. Resumen de datos válidos, excedencias y máximos 8 horas de CO durante el año 2017

Estación	% de datos válidos	Promedio anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma 8h	Máximo	Fecha / Hora de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma
			10 mg/m^3	(mg/m^3)		
Usaquén*	24	0.7	0	2.2	04/11/2017 02:00	0
Las Ferias	81	0.9	0	3.1	04/11/2017 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	90	0.7	0	5.4	04/11/2017 02:00	0
Puente Aranda	90	0.9	0	3.5	04/11/2017 01:00	0
Kennedy	93	1.0	0	3.3	22/02/2017 10:00	0
Carvajal-Sevillana	86	1.7	0	4.0	08/06/2017 12:00	0
Tunal	80	0.8	0	3.0	02/03/2017 01:00	0

* Las concentraciones de estas estaciones se consideran indicativas ya que no cumplen con el porcentaje mínimo de datos válidos para ser consideradas representativas (menores al 75%)

El comportamiento de las concentraciones 8 horas de CO durante el 2017, y la comparación de los valores con respecto al nivel máximo 8 horas establecido por la norma ($10 \text{ mg}/\text{m}^3$) se encuentra en la Figura 6-55, en la cual se observa que en las estaciones del centro de la ciudad se registraron concentraciones más altas en el último trimestre del año, mientras que en el sur se presentaron además valores altos entre marzo y abril.

En la Figura 6-60 se representan mediante diagramas de caja las concentraciones 8 horas de CO en el año 2017; se aprecia que la mayor dispersión de datos se presentó en la estación Centro de Alto Rendimiento, con valores extremos sobre los $4 \text{ mg}/\text{m}^3$. Adicionalmente, las estaciones registran concentraciones que siguen el mismo comportamiento, con incrementos en los valores previos al medio día y reducciones en las madrugadas y las tardes.

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

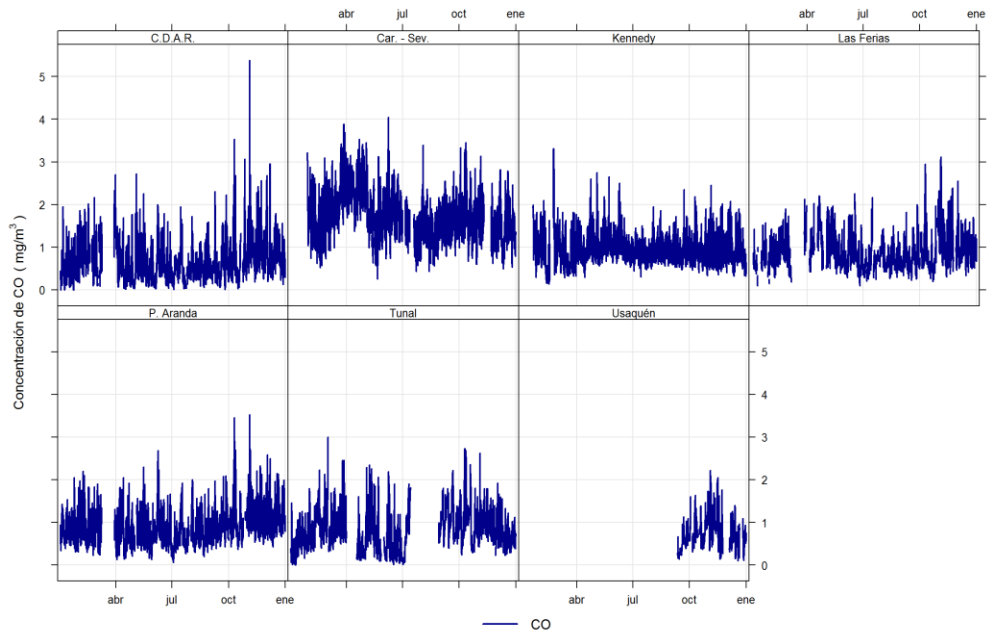


Figura 6-55. Concentraciones 8 horas de CO en el 2017 por estación

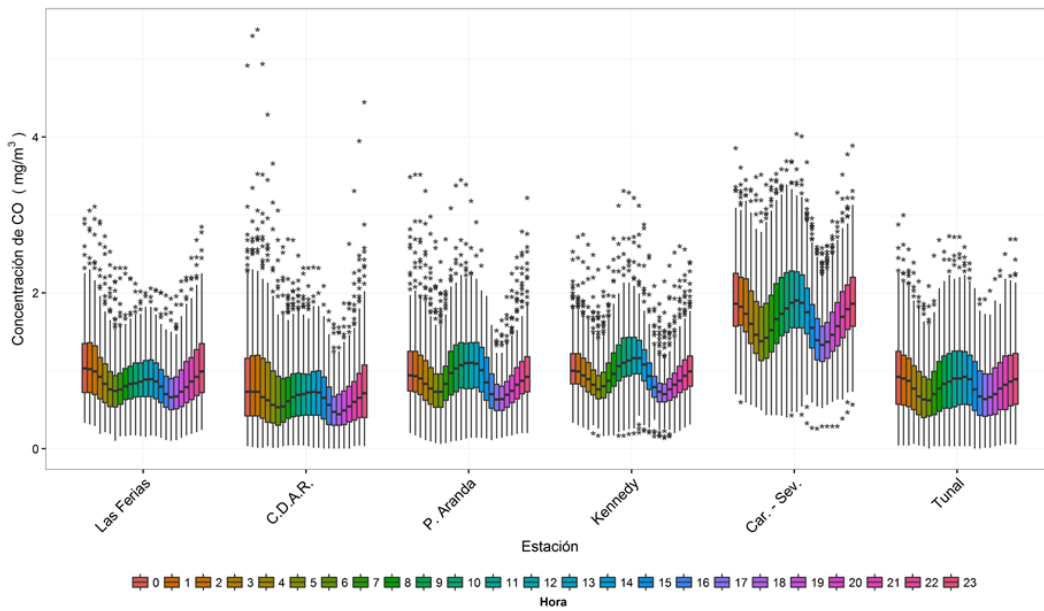


Figura 6-56. Diagramas de caja de las concentraciones 8 horas de CO por hora del día para cada estación durante el año 2017

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

6.2.4.5 COMPORTAMIENTO HISTORICO

La Tabla 6-23 contiene un resumen de los promedios de concentración 8 horas de la ciudad (calculado con promedios de las estaciones con representatividad temporal mayor al 75%) y concentraciones máximas de CO para el período 2013 – 2017. El promedio a nivel ciudad es el más alto de los promedios de los últimos cinco años, posiblemente por la inclusión del promedio de concentración de Carvajal-Sevillana y por el aumento en las concentraciones de Centro de Alto Rendimiento y las Ferias en los últimos meses del año. En esta primera estación además se registró el valor máximo más alto, el día 4 de noviembre, el cual es el mismo valor registrado tres años atrás como concentración máxima en la estación Carvajal-Sevillana.

Tabla 6-23. Promedios anuales y máximos históricos de CO para los años 2013 a 2017

Año	Promedio ciudad CO	Máximo	Fecha/Hora de ocurrencia del máximo	Estación
	(mg/m ³)	(mg/m ³)		
2013	0.84	4.1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	0.98	5.4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	0.82	4.0	20/11/2015 20:00	Las Ferias
2016	0.95	4.5	14/05/2016 00:00	Tunal
2017	1.01	5.4	04/11/2017 02:00	Centro de Alto Rendimiento

En la Figura 6-57 se representa mediante diagrama de cajas la distribución de las concentraciones 8 horas de CO por año. Se observa que la mayor cantidad de datos atípicos se registró en la estación Centro de Alto rendimiento en el año 2017 y en la estación Carvajal-Sevillana en el año 2014, además en esta última estación se observa una tendencia al aumento de las concentraciones con el tiempo.

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

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

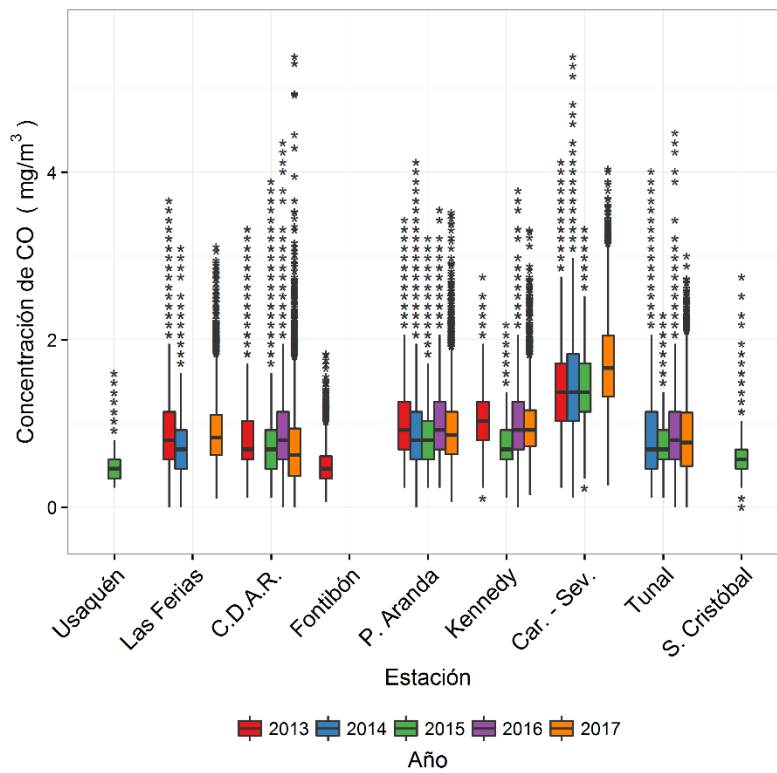


Figura 6-57 Diagramas de caja de las concentraciones diarias de CO por estación para los años 2013 a 2017

7 INDICES DE CALIDAD DEL AIRE-ICA

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

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

El Índice de Calidad del Aire (ICA) fue calculado para los contaminantes criterios PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , CO y SO_2 , el NO_2 no se incluyó en el cálculo del ICA del 2017 debido a que la máxima concentración horaria reportada fue de $174 \mu g/m^3$ (0.092 ppm), y el indicador se mide desde concentraciones mayores a 0.65 ppm, por lo cual no alcanza el límite mínimo para el cálculo del ICA para este contaminante. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta solamente las estaciones que contaron con un 75% de representatividad temporal en el número de datos registrados.

La metodología de cálculo se basa en la definida en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia De Protección Ambiental de Estados Unidos U.S.-EPA, mediante el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)”, versión 2012, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), como se muestra en la Tabla 7-1.

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 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 7-1 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 presentó el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Moderada”, con 75% de los días del año. En las demás estaciones, más del 55% del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Buena”, siendo las estaciones San Cristóbal y Guaymaral las que registraron el mayor porcentaje de días con calidad del aire en categoría “Buena”.

En la Figura 7-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del ICA para PM_{2.5}, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación San Cristóbal es la que presenta el mayor porcentaje de tiempo la categoría “Buena”, con 70% de los días del año, seguida de Guaymaral con un 63% del tiempo. Por otro lado, las estaciones que reportaron mayor porcentaje de calidad del aire clasificada como “Dañina a la Salud para Grupos Sensibles” fueron Kennedy (8%), Carvajal-Sevillana y Tunal (6%). Para este contaminante se observa el mayor número de valores en esta categoría, a diferencia de PM₁₀ y los gases, que registran valores en una o dos categorías como máximo.

En la Figura 7-3 Figura 7-4 y Figura 7-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del ICA para O₃, CO y SO₂, calculados a partir de las medias móviles 8 horas para los dos primeros y 24 horas para el tercero. Para todas las estaciones la calidad del aire se ubicó en la categoría “Buena”, ya que los registros de las concentraciones no superan los rangos establecidos para esta categoría (de 0 a 51 puntos). Solamente para la estación Centro de Alto Rendimiento se registraron dos valores en la categoría “Moderada”, el día 4 de noviembre en horas de la noche.

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

PM10

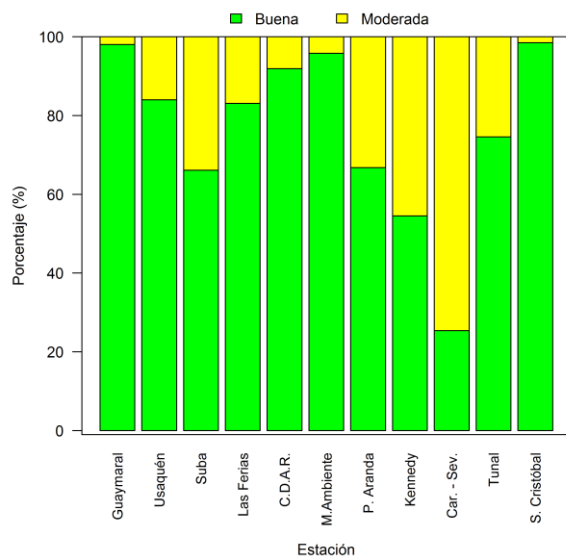


Figura 7-1. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM₁₀ por estación. Año 2017

PM2.5

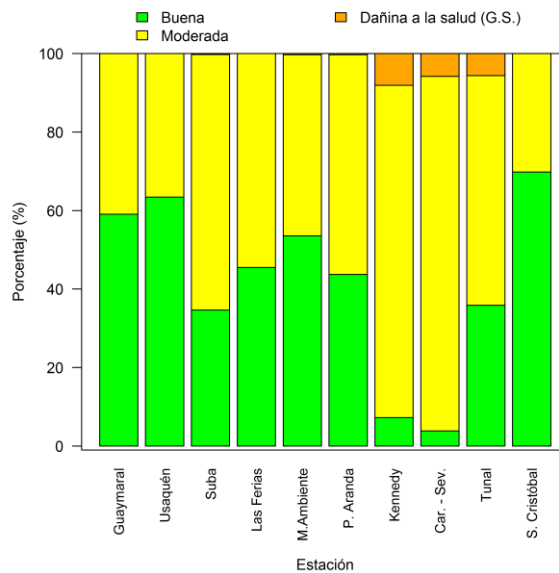


Figura 7-2. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM_{2.5} por estación. Año 2017

Ozono

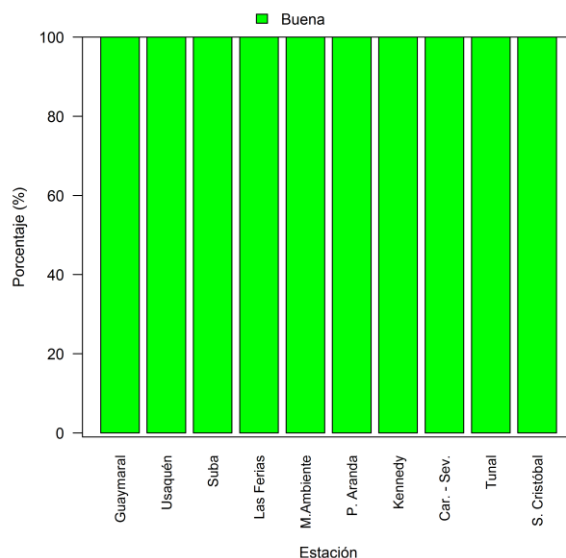


Figura 7-3. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para O₃ por estación. Año 2017

Monóxido de carbono

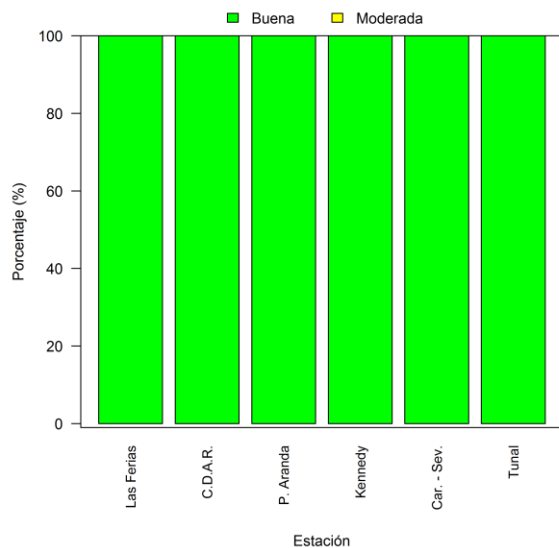


Figura 7-4. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para NO₂ por estación. Año 2017

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

SO2

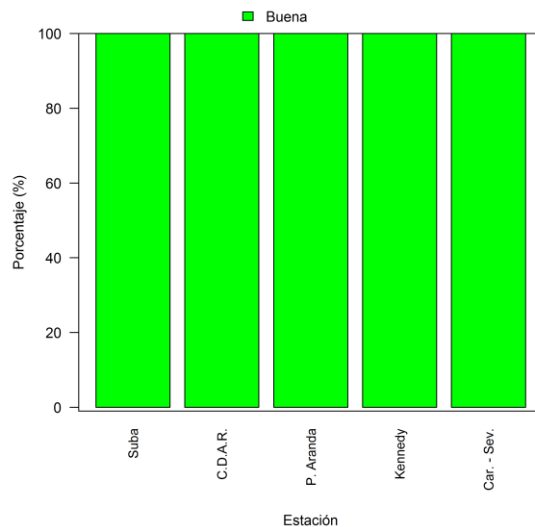
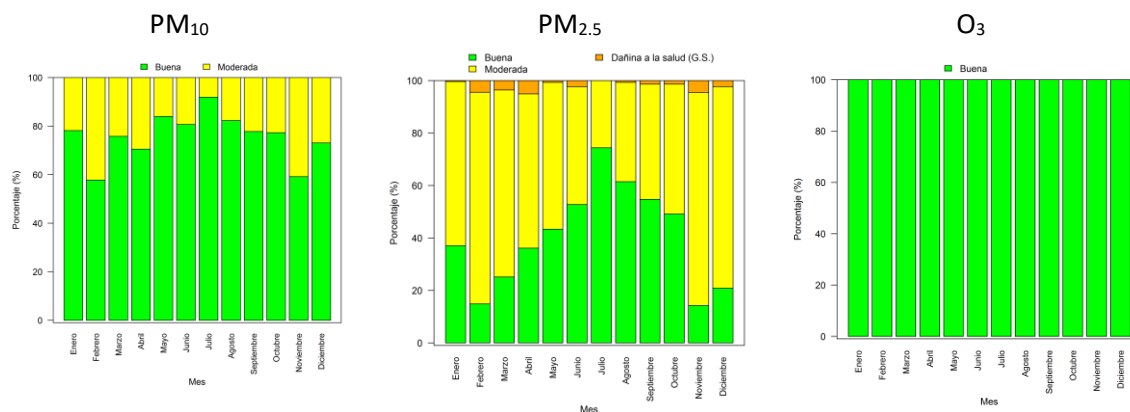


Figura 7-5. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para SO₂ por estación. Año 2017

En la Figura 7-6 se muestra la distribución de las categorías del índice de Calidad del Aire por cada mes del año, para cada uno de los contaminantes criterio. Con respecto a PM₁₀, se observa que febrero y noviembre fueron los meses que tuvieron un mayor porcentaje del tiempo en la categoría “Moderada”, cerca del 42% de los meses se mantuvieron en dicha categoría, mientras que el mes de julio es el que reportó la mayor cantidad del tiempo la categoría “Buena”, aproximadamente en un 90% del tiempo. El mismo comportamiento se evidencia para los valores de PM_{2.5}, con respecto a la distribución de las categorías de calidad de aire: en febrero y en noviembre se presentó aproximadamente un 5% del tiempo la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” y un 80% del tiempo la categoría “Moderada”, entre tanto el mes de julio registró un 72% del tiempo la categoría “Buena”.



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

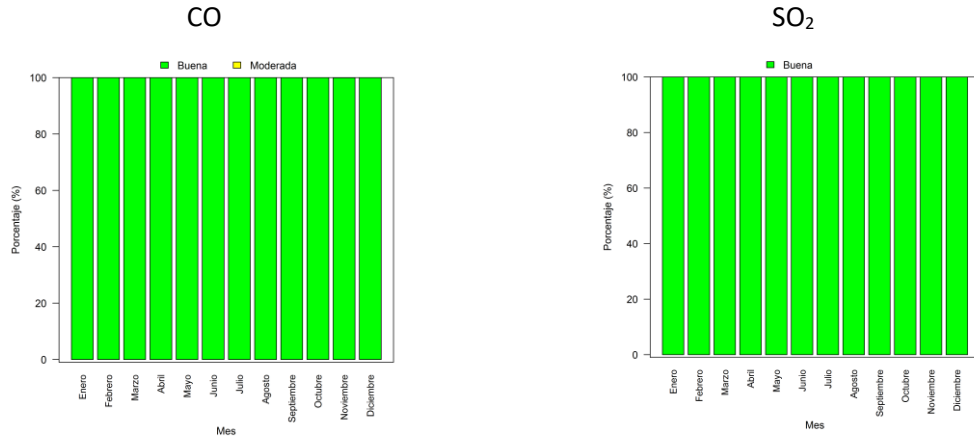


Figura 7-6. Proporción relativa de las categorías del AQI por mes del año para cada contaminante. Año 2017

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

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]

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

En la Figura 8-1 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM_{10} , calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se observa que la estación Carvajal-Sevillana presentó el estado de la calidad más desfavorable, con un 25% del tiempo en la categoría “Regular”, mientras que las estaciones Guaymaral y San Cristóbal registraron la categoría “Favorable” durante un 98% del año.

En la Figura 8-2 se muestra la proporción relativa de las categorías del IBOCA para $PM_{2.5}$, calculado a partir de las medias móviles 24 horas. Se evidencia que hay mayor número de categorías que los demás contaminantes y que el ICA, dado que este contaminante contiene los rangos más restrictivos de concentración. La estación Kennedy presentó la mayor cantidad de tiempo la categoría “Regular”, con un 19% del tiempo, aunque la estación Carvajal-Sevillana llegó a registrar un 0.3% del tiempo en la categoría “Mala”, y no reportó datos con calidad del aire “Favorable”. Por otro lado, la estación San Cristóbal tuvo el mayor porcentaje de calidad del aire “Favorable”, con un 59%, y el resto del tiempo la calidad del aire estuvo en la categoría “Regular”.

En la Figura 8-3, Figura 8-4 y Figura 8-5 se muestran las proporciones relativas de las categorías del IBOCA para O_3 , CO y SO_2 , calculados a partir de las medias móviles 8 horas para los dos primeros y 24 horas para el tercero. Se evidencia que en todas las estaciones la calidad del aire se encontró en la categoría “Favorable”, dado que las concentraciones registradas de estos contaminantes son bastante bajas con respecto a los rangos de concentraciones correspondientes al estado de alerta. Solo se observa la excepción de los dos datos del 4 de noviembre en la estación Centro de Alto Rendimiento para el CO , los cuales indicaron un estado de la calidad del aire “Regular” para el tiempo en el que se registraron dichas concentraciones.

En la Figura 8-6 se muestra la distribución de las categorías del IBOCA por cada mes del año, para cada uno de los contaminantes criterio. Con respecto al contaminante PM_{10} , se observa que febrero y noviembre fueron los meses que tuvieron un mayor porcentaje del tiempo en la categoría “Regular” con respecto a los otros meses, cerca del 42% de los meses se mantuvieron en dicha categoría, mientras que el mes de julio es el que reportó la mayor cantidad del tiempo la categoría “Favorable”, aproximadamente en un 90% del año. Un comportamiento similar se evidencia para los valores de $PM_{2.5}$ en la distribución de las categorías de calidad de aire: la categoría “Regular” tuvo un porcentaje notable en los meses de febrero, marzo, abril y noviembre, con porcentajes cercanos al 10%, mientras que la categoría “Favorable” predominó en el mes de julio, aproximadamente en un 65% del año.

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

PM10

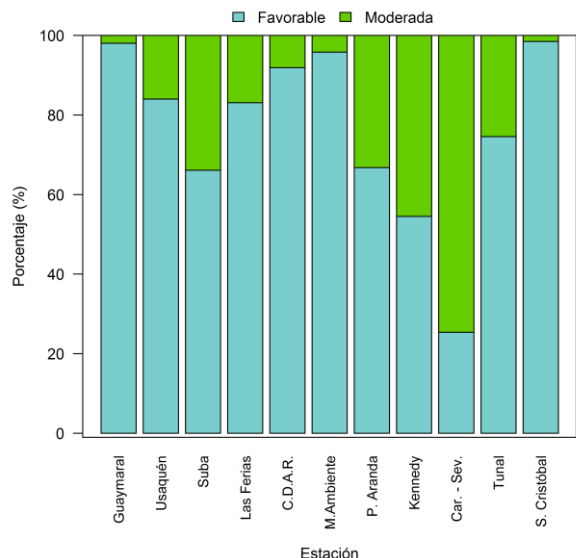


Figura 8-1 Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM₁₀ por estación. Año 2017

PM2.5

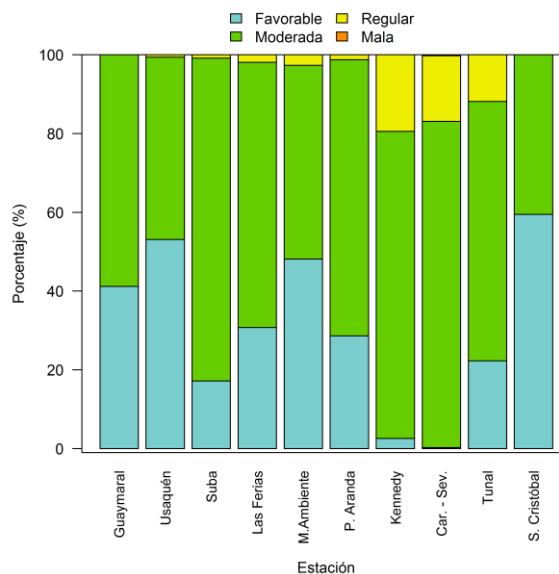


Figura 8-2. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para PM_{2.5} por estación. Año 2017

Ozono

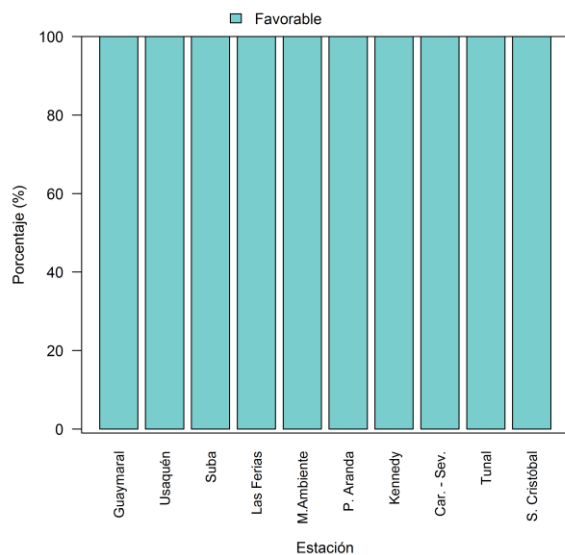


Figura 8-3. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para O₃ por estación. Año 2017

Monóxido de carbono

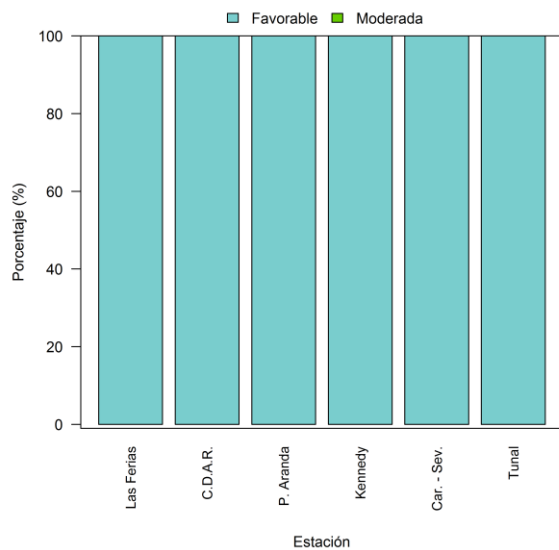


Figura 8-4. Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para CO por estación. Año 2017

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

Dióxido de azufre

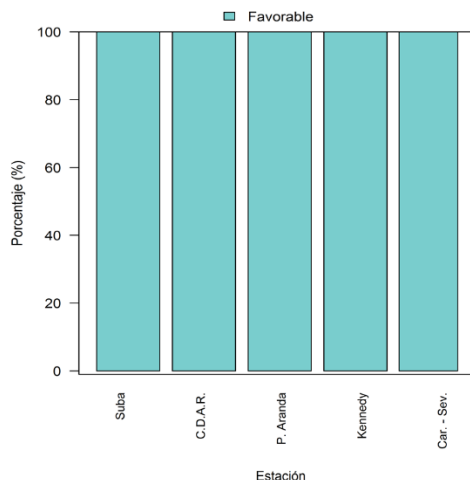


Figura 8-5. Proporción relativa de las categorías del IBOCA para SO₂ por estación. Año 2017

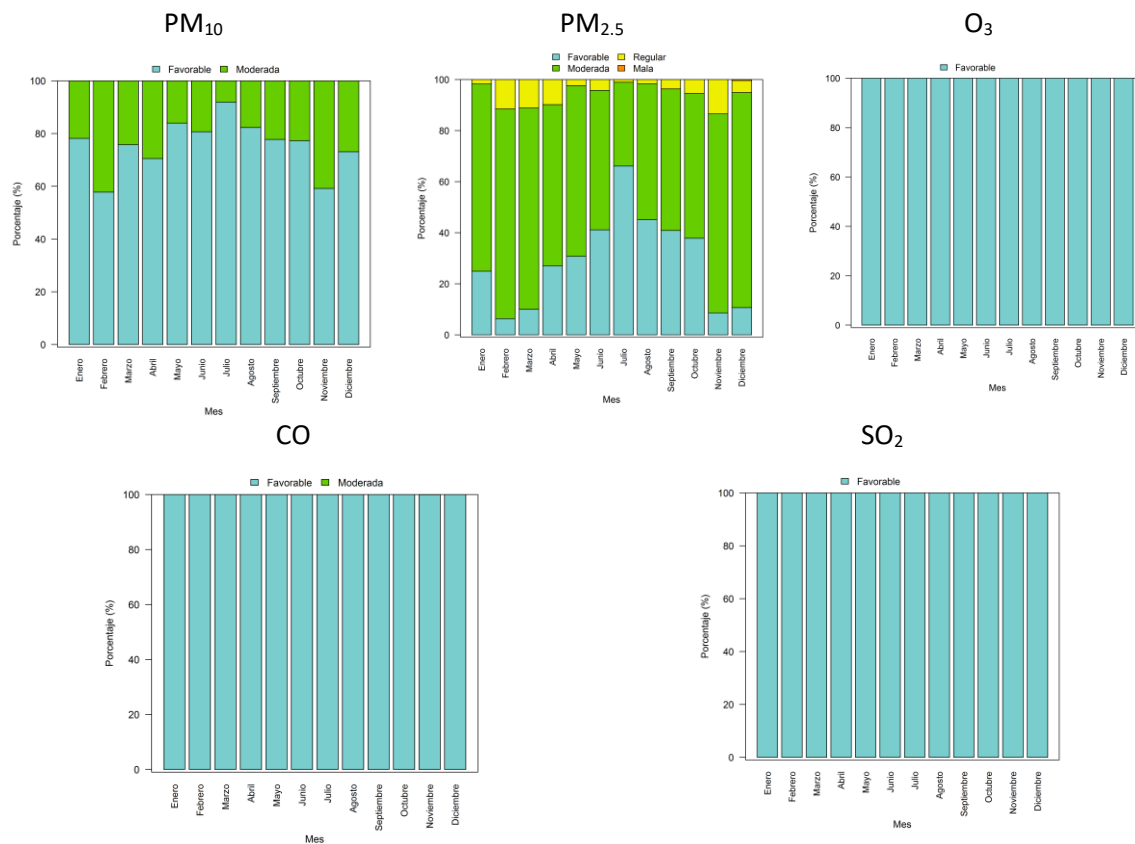


Figura 8-6. Proporción relativa de las categorías del IBOCA por mes del año para cada contaminante. Año 2017

9 METEOROLOGÍA

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar global y humedad relativa. Esta información que se procesa en diferentes resoluciones temporales permite analizar y describir el comportamiento de los elementos meteorológicos de la ciudad y su relación con los contaminantes emitidos principalmente por las distintas actividades antrópicas de los bogotanos, durante el periodo 2017 y de vigencias anteriores.

La importancia de la meteorología aplicada a la contaminación atmosférica radica en que los contaminantes son descargados a la atmosfera, y son sus patrones de comportamiento los que determinan la forma en que los contaminantes son removidos o transformados por la acción de los elementos meteorológicos. Por tanto, la concentración de los contaminantes emitidos en la ciudad de Bogotá y/o introducidos desde fuentes externas a la ciudad, es en gran medida una función de la variación temporal y espacial de los elementos meteorológicos. En consecuencia, además de describir el comportamiento de cada contaminante y elemento meteorológico, se realizan análisis de su relación y efectos en la calidad del aire de la ciudad.

Las variaciones espaciales de las variables meteorológicas se representan mediante mapas de alta resolución, producto de la interpolación y extrapolación espacial de sus registros puntuales, a través de la implementación del método geoestadístico de Kriging simple u ordinario, tomando en consideración el comportamiento estadístico de la variable ambiental en sus diferentes resoluciones temporales, e incluso en función de la fecha del año en que esta se registra. Así mismo, se tiene en cuenta la variabilidad espacial del parámetro objeto de estudio, a través del análisis del semivariograma y el modelo que mejor se ajuste al mismo (exponencial, lognormal, entre otros). Al momento de interpretar los resultados asociados se debe tener en cuenta que el método está sujeto a la presencia de incertidumbres, las cuales son propias de un procedimiento que busca obtener información secundaria. Por tanto, los promedios que se observan en ubicaciones diferentes a las correspondientes a las estaciones deben considerar este aspecto cuando se interpretan los resultados obtenidos. Es importante anotar, desde el punto de vista estadístico, los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

9.1. Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo

De acuerdo con la RMCAB el año 2017 fue uno de los más lluviosos de la última década. Sus excedentes superaron el 40% con respecto del promedio multianual de 2010 – 2017.

Si se evalúa por áreas representativas de las estaciones de la RMCAB, en todas las estaciones se calcularon excedencias respecto al periodo 2010 – 2017; particularmente, en el sector de Kennedy se registraron acumulados que exceden al 60% respecto del promedio multianual 2010 - 2017, estimado en 674 mm. Ver Figura 9-15.

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

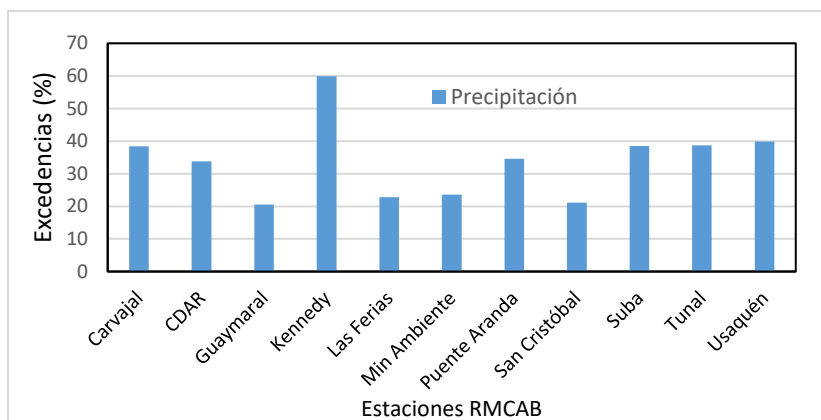


Figura 9-1 Excedencias de precipitación 2017

Cabe anotar que este régimen de precipitaciones estuvo reforzado por la ocurrencia de La Niña a finales de 2017, sumándose al paso de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), que determina en gran medida la ocurrencia de los periodos de lluvia en el año.

Lo anterior se puede evidenciar con el índice ONI, el cual presentó anomalías negativas consecutivas, entre los meses de octubre a diciembre de 2017, como se observa en la Ver Tabla 9-1 y Figura 9-2.

Es importante aclarar que el ONI es calculado como la media móvil de tres meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar en una franja del planeta, comprendida entre 5°N-5°S y 120°-170°W). Para determinar la ocurrencia de episodios cálidos (anomalías positivas, El Niño) o fríos (anomalías negativas, La Niña), se evalúa si el ONI supera el umbral de +0.5°C para El Niño o -0.5°C para La Niña, durante por lo menos cinco periodos consecutivos.

Tabla 9-1. Comportamiento del ONI en el periodo 2015 a 2017

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2015	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.3
2016	2.2	2.0	1.6	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0

Fuente: (NOAA, 2017)⁵.

5 http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

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

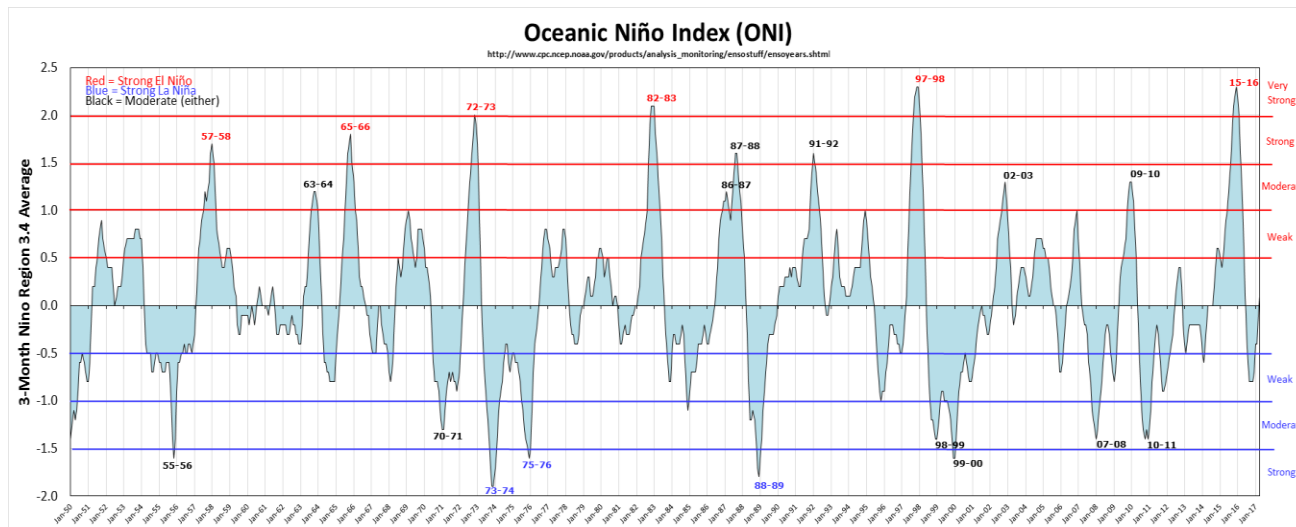


Figura 9-2. Índice Oceánico de El Niño. Fuente: NOAA, 2017

En cuanto al comportamiento de la temperatura superficial del aire, los registros de la RMCAB, permiten estimar que en 2017 se presentó un incremento de 0,5 °C, con respecto al promedio multianual. 2010 – 2017. En lo que respecta a los sectores de la ciudad, que los mayores incrementos durante el año se presentaron en Carvajal y Suba, en tanto que, en Usaquén se presentaron anomalías negativas que representan descensos de temperatura respecto del promedio calculado entre 2010 – 2017. Ver Figura 9-3.

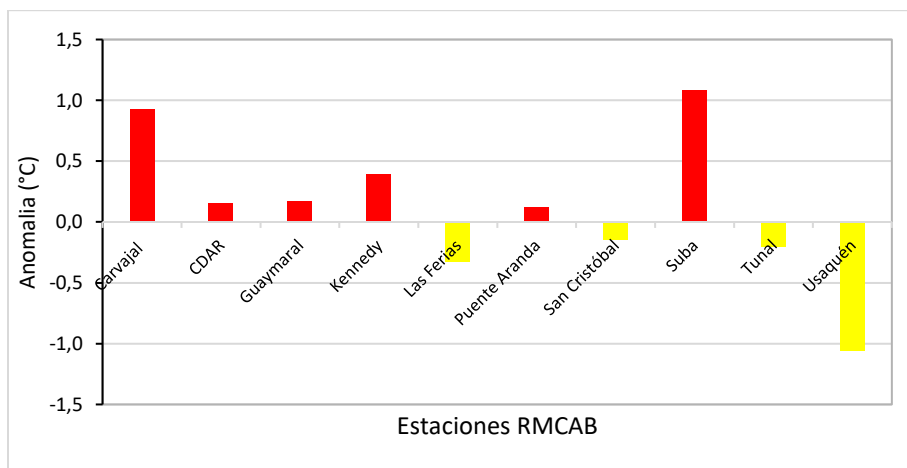


Figura 9-3. Anomalías de la temperatura superficial del aire en Bogotá - 2017

9.2. PRECIPITACIÓN

9.2.1. Variación Temporal y Espacial Anual de la Precipitación

A través de la Tabla 9-2 se resume la historia de la precipitación registrada anualmente por la RMCAB desde 2000 a 2017. En esta no solo se describen los acumulados anuales de precipitación por sectores de la ciudad, sino que se da cuenta de cómo ha evolucionado en su distribución espacial.

De estos acumulados se resalta que las mayores cantidades de lluvia se concentran en vecindades de la estación de C.D.A.R y las Ferias y hacia el sur en inmediaciones de la estación San Cristóbal.

Además, se observa cómo ha variado la precipitación desde 2000 a 2017, resaltándose los dos eventos más secos ocurridos en la ciudad de Bogotá desde 2000, es decir, los años 2001 y 2015, los cuales coinciden con los eventos El Niño y con dos de los eventos más fuertes de la Niña en 2010 y 2011.

No obstante, el año 2017, trajo consigo abundantes precipitaciones, en promedio 1054 mm, muy semejante a lo ocurrido en 2011, sin estar bajo la influencia del evento La Niña, constituyéndose en el segundo año con más lluvias desde el año 2000. Ver también Figura 9-4.

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 9-2. Promedio de los acumulados de precipitación por estación. Periodo 2000 - 2017.

ESTACION	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Prom
Bolivia																		1389	
Cade Energía	754	525	812	551															661
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450	541	890	643
Cazucá	551	339	485	142	525	326	674	507	703										472
Central de Mezclas	402	345																	
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608	803	1311	979
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980								853
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392					528
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534	964	986	818
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453	723	1078	674
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580	925	1055	859
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559	795	1033	835
Olaya	1138																		
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396	836	1003	745
San Cristóbal													938	865	1076	574	786	1073	885
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446	362	987	712
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510		1042	751
Univ. Nacional	863	542																	
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461	333	1141	835
Usme							702	553	718										658
Vitelma							1087	803	839	652	922								861
Promedio	768	498	711	540	648	669	747	646	838	668	1016	1098	761	768	827	506	707	1054	730

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

De manera complementaria, la Figura 9-4, describe el comportamiento promedio de las lluvias en la ciudad de acuerdo con los datos colectados por la RMCAB, desde el año 2000 hasta 2017. En este se observan una ligera tendencia creciente para el periodo analizado. Cabe anotar que es un promedio aproximado, toda vez que la precipitación no se distribuye de manera homogénea en la ciudad.

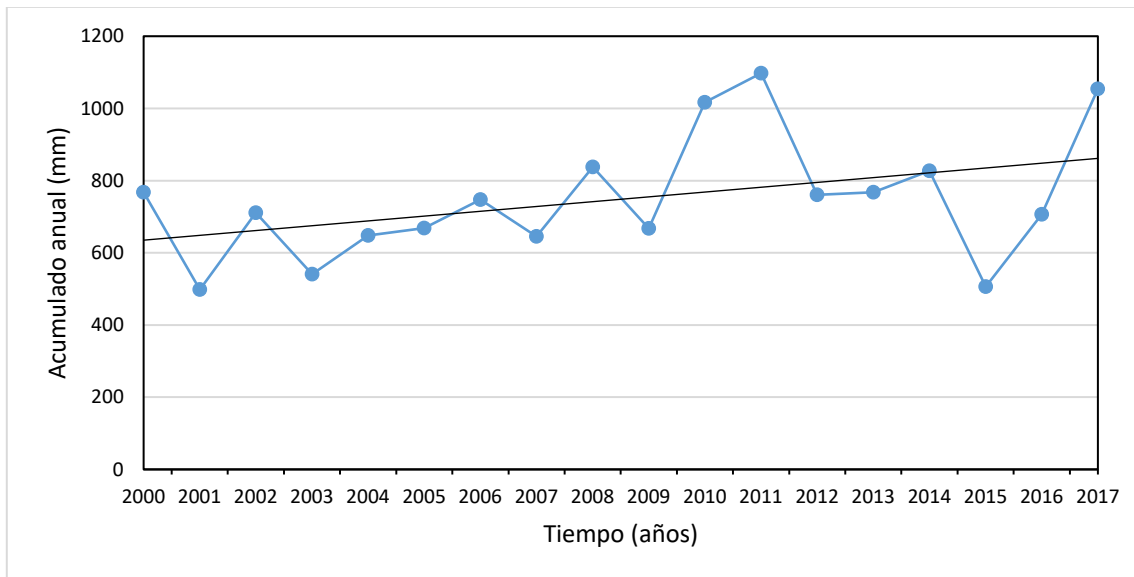


Figura 9-4..

Especialmente, en 2017, las lluvias se concentraron predominantemente hacia el noroccidente y centro geográfico de la ciudad, esto es, hacia los sectores de Bolivia y Centro de Alto Rendimiento, con totales acumulados entre 1300 a 1400 mm. Las áreas de la ciudad que recibieron menor cantidad de precipitaciones se focalizaron hacia el suroccidente como históricamente ha ocurrido y de manera aislada en sectores del norte de la ciudad, cercanos a las estaciones de Guaymaral y Suba. Así las cosas, con respecto al promedio histórico, se aprecian anomalías positivas en toda la ciudad, principalmente hacia el sector sur occidental de la ciudad. Es decir, con respecto al promedio histórico 2010-2016, en 2017 se acumuló mayor cantidad de precipitación en toda la ciudad, pese a que no estar fuertemente influenciados por episodio La Niña.

La Figura 9-5, describe el comportamiento de la precipitación acumulada trimestralmente desde 2000 a 2017. Para el año 2017, es evidente el incremento en los acumulados de precipitación trimestral para el periodo marzo-abril-mayo (MAM) respecto de los años 2010 y 2011 para el mismo periodo, los cuales se han reconocido históricamente como lluviosos. En cuanto al segundo periodo de lluvia, es decir, septiembre octubre-noviembre (SON), éste presentó disminución con respecto al año anterior. Respecto a los periodos históricamente secos, es decir, diciembre-enero-febrero DEF y junio-julio-agosto (JJA), se observan incrementos con respecto al año 2016.

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

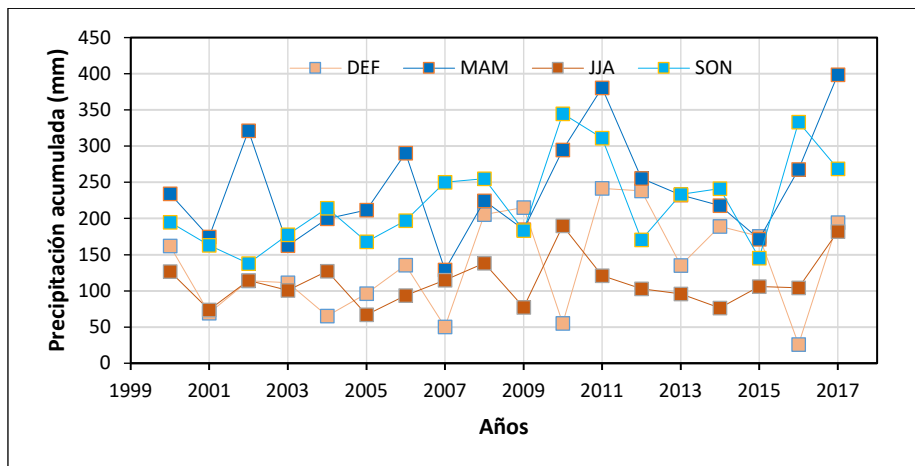


Figura 9-5. Variación Trimestral multianual de la precipitación en Bogotá 2000-2017.

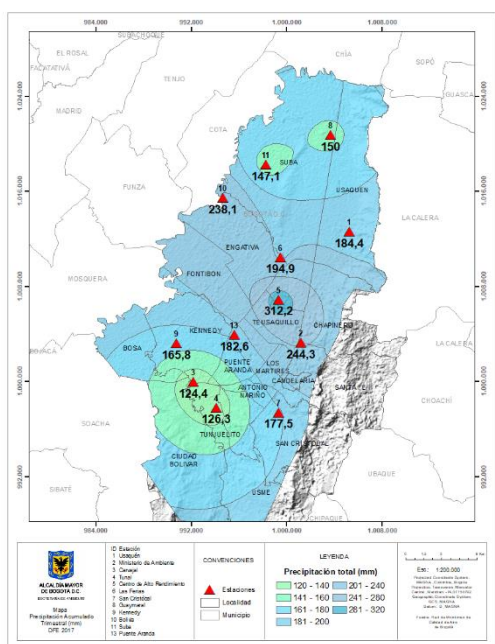
En lo que respecta a la distribución espacial de la precipitación acumulada por trimestres, en la ciudad de Bogotá, el primer trimestre registro sus mayores acumulados en el centro geográfico de la ciudad, recostado a los cerros, los cuales fluctuaron entre 240 los 312 mm. Los menores valores, se presentaron hacia el sur y algunos sectores del norte, como se observa en la Figura 9-6 a).

El segundo trimestre se caracterizó por acumular la mayor cantidad de agua precipitada, hacia el sector noroccidental (500 a 574 mm); sin embargo, hacia el suroriente, por el corredor de los cerros orientales, se presentaron valores considerables, en vecindades de las áreas representadas por las estaciones de San Cristóbal, Tunal y MinAmbiente. Ver Figura 9-6 b).

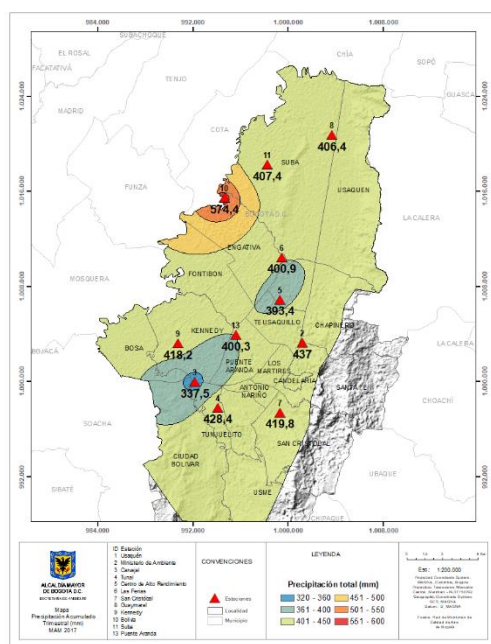
En el tercer trimestre, se mantuvieron los mayores acumulados hacia el sur de los cerros orientales y la franja occidental de la ciudad con valores entre 200-240 mm. Así mismo, aunque en un área muy localizada, se aprecia en el sector de Usaquén con un registró un acumulado de 201 mm. Ver Figura 9-6 c).

En el cuarto trimestre, las lluvias se concentraron hacia el norte de la ciudad con valores entre 260-342 mm. No obstante, hacia el sur de la ciudad, en el sector de Tunal, se presentaron acumulados que alcanzaron los 295 mm. Ver Figura 9-6 d).

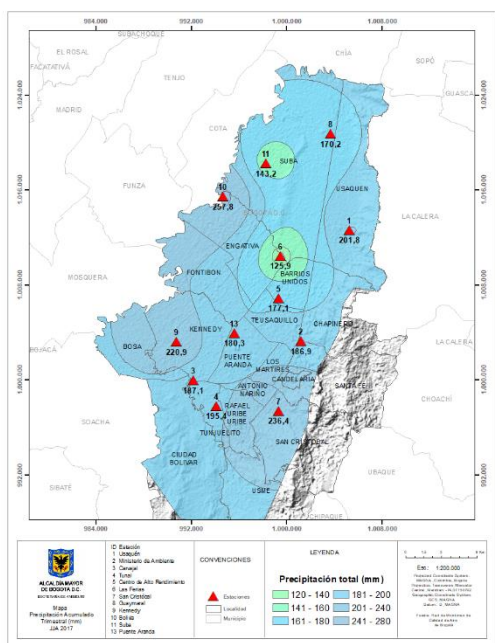
Secretaría Distrital de Ambiente
 Dirección de Control Ambiental
 Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual
 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB
INFORME ANUAL



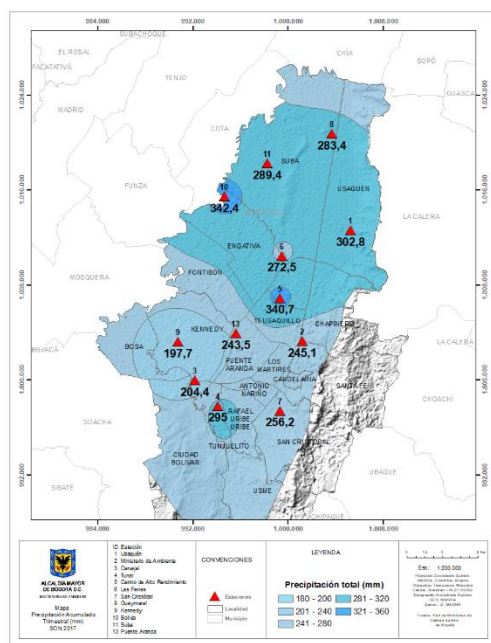
a) Trimestre 1 DEF 2017



b) Trimestre 2 MAM 2017



c) Trimestre 3 JJA 2017



d) Trimestre 4 SON 2017

Figura 9-6. Variación espacial de la precipitación Trimestral en Bogotá -2017.

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

9.2.2. Variación Mensual de la Precipitación

La Tabla 9-3 resume el comportamiento de la precipitación mensual por cada estación de la RMCAB durante el año 2017. En dicha tabla se observa que la mayor cantidad de precipitación se registró en el sector noroccidental y centro geográfico de la ciudad, representado por las estaciones de Bolivia y Las Ferias, mientras que los más bajos hacia el norte. Ver además Figura 9-7.

Estaciones	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	Acumulado (mm)
Bolivia	71,6	46,6	213,2	139,2	222,0	124,4	NA	109,9	43,6	124,0	173,8	41,6	1309,9
Carvajal - Sevillana	96,2	47,4	N.A.	73,5	232,7	97,2	20,0	59,9	51,4	91,7	197,6	86,6	1054,2
CDAR	29,6	181,5	159,5	29,5	148,5	78,7	24,0	84,4	22,4	75,0	107,0	121,8	1061,9
Guaymaral	51,2	45,0	183,2	93,8	129,4	88,9	23,4	57,9	44,5	72,3	139,4	57,9	986,9
Kennedy	23,7	44,4	133,4	61,7	223,1	113,5	23,3	84,1	26,2	84,5	172,7	73,8	1064,4
Las Ferias	16,5	58,1	152,8	61,7	186,4	65,4	11,7	48,8	33,3	42,1	197,1	134,1	1008,0
MinAmbiente	68,5	104,8	183,5	93,2	160,3	83,4	19,4	84,1	29,3	76,1	139,7	N.A.	1042,3
Puente Aranda	31,4	95,3	154,1	51,9	194,3	101,0	18,4	60,9	35,4	61,4	146,7	61,0	1011,8
San Cristóbal	87,7	86,4	199,1	53,9	166,8	111,9	57,6	66,9	13,2	63,1	121,4	81,6	1109,6
Suba	30,6	49,4	159,4	101,0	147,0	66,3	26,7	50,2	41,6	114,9	132,9	63,6	983,6
Tunal	23,8	52,4	227,3	51,5	149,6	96,3	30,6	68,5	32,6	123,4	139,0	52,6	1047,6
Usaquén	75,5	N.A.	N.A.	95,4	136,4	128,0	14,1	59,7	20,0	77,4	205,4	156,4	968,3
Promedio	50,5	73,8	176,6	75,5	174,7	96,3	24,5	69,6	32,8	83,8	156,1	84,6	1054,0
Desviación estándar	28,6	43,2	28,6	23,3	34,5	19,7	12,2	13,1	11,3	23,3	33,4	36,0	-
Anomalía	19,1	13,6	99,9	-18,3	100,4	49,6	-11,8	41,2	-8,8	-6,6	58,7	22,5	-

Tabla 9-3. Promedio mensual de precipitación acumulada ciudad - 2017. (N.A. no cumple criterio de representatividad)

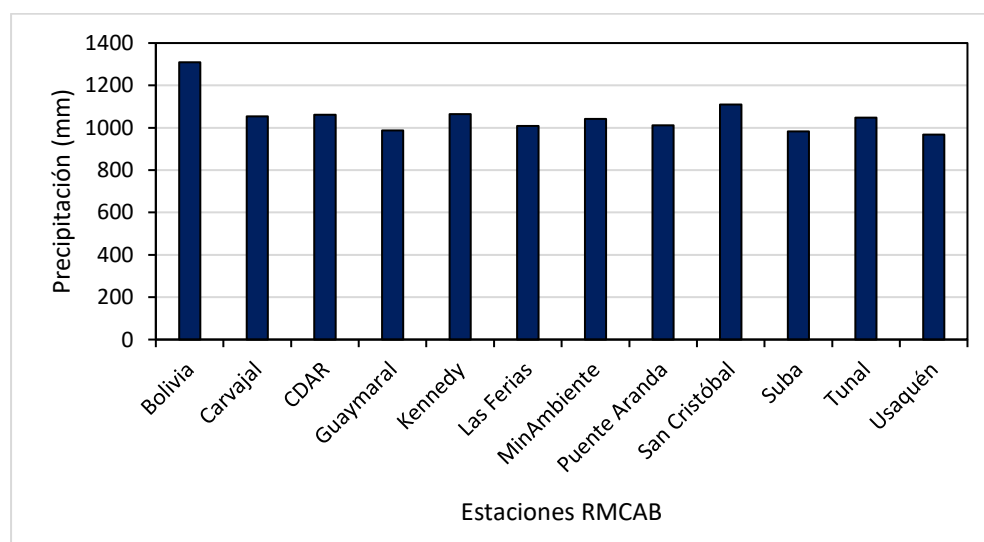


Figura 9-7. Total anual acumulado por estación - 2017

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

De acuerdo con la RMCAB en 2017, se acumularon aproximadamente 1098,7 mm, de los cuales el 59% de la ocurrió durante el primer semestre tomado desde diciembre a mayo y el 41% en el segundo (junio a noviembre). El 32% de la lluvia precipitó en el primer periodo de lluvia del ciclo estacional (MAM) y el 30% en el segundo periodo de lluvia (SON). Los meses con mayor acumulado fueron marzo y mayo con un 16% y noviembre, con un 14% de las lluvias ocurridas durante el año. (Tabla 9-4).

Tabla 9-4. Distribución de la lluvia mensual durante el año 2017.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Promedio	50,5	73,8	176,6	75,5	174,7	96,3	24,5	69,6	32,8	83,8	156,1	84,6
% Anual	5%	7%	16%	7%	16%	9%	2%	6%	3%	8%	14%	8%
% Semestral	59%						41%					
% Trimestral	27%			32%			12%			30%		

La Tabla 9-5 y la Figura 9-9 presenta el comportamiento histórico de la precipitación mensual de la ciudad desde 2000 hasta 2017. De estas se puede inferir que 2017 fue un año relativamente húmedo; además, que los meses caracterizados como secos (enero y febrero), fueron más húmedos de lo normal; esto se evidencia con las anomalías positivas estimadas con respecto al promedio multianual de la precipitación. De manera contraria, los meses de abril y octubre, característicamente húmedos, fue menos lluvioso de lo acostumbrado.

Tabla 9-5. Precipitación promedio RMCAB 2000 - 2017

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	Dic	Promedio
2000	41,0	152,5	112,2	59,1	62,2	41,9	49,1	37,3	84,6	53,3	64,5	22,0	779,7
2001	22,9	23,8	83,5	17,4	67,7	25,7	28,0	11,9	73,0	27,8	53,8	60,8	496,2
2002	20,9	28,8	69,7	154,6	104,7	73,1	20,4	22,4	42,2	61,2	39,5	75,1	712,5
2003	13,8	39,3	79,0	77,3	31,8	51,6	42,6	37,7	55,5	80,4	117,2	23,2	649,3
2004	10,6	47,7	34,4	103,9	91,9	75,4	35,7	14,0	47,3	100,3	57,1	23,1	641,4
2005	24,2	62,9	28,3	72,7	111,5	25,6	20,3	22,2	47,5	86,2	54,3	66,1	621,9
2006	63,4	23,8	107,1	98,7	77,7	72,9	16,0	12,0	17,3	91,6	80,6	23,6	684,6
2007	11,0	16,8	30,4	84,0	44,8	46,0	30,5	37,1	9,2	149,5	97,0	102,9	659,2
2008	22,6	94,6	100,9	47,5	80,6	52,2	47,0	44,9	36,5	104,4	135,9	81,7	848,7
2009	52,2	82,0	98,1	66,2	18,5	38,9	23,3	20,7	17,4	119,8	56,0	28,9	621,9
2010	9,4	20,4	19,5	134,2	160,9	70,7	100,7	30,3	47,1	126,1	170,1	112,8	1002,3
2011	62,9	75,4	106,2	168,8	115,5	46,3	41,9	32,1	39,5	128,0	175,0	130,2	1122,0
2012	79,8	135,3	101,4	134,7	29,1	31,7	42,9	35,8	21,0	104,0	53,0	47,9	816,5
2013	7,4	96,0	58,0	118,9	98,0	23,2	30,8	46,8	32,7	71,5	138,7	73,6	795,6
2014	47,7	70,2	92,4	61,8	74,7	44,4	25,9	14,3	36,7	104,6	114,5	124,5	811,6
2015	39,0	32,0	96,0	59,0	17,0	52,0	31,0	19,0	31,0	44,0	59,0	1,0	479,2
2016	4,8	20,8	85,8	136,1	76,9	20,3	30,9	44,8	68,8	85,2	189,7	59,0	823,0
2017	48,2	75,8	142,8	69,2	158,8	86,4	21,1	31,9	29,8	76,3	143,6	69,6	953,4

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

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	Dic	Promedio
Promedio	32,3	61,0	80,3	92,4	79,0	48,8	35,4	28,6	40,9	89,7	100,0	62,6	746,6
Máxima absoluta	79,8	152,5	112,2	168,8	160,9	75,4	100,7	46,8	84,6	149,5	189,7	130,2	747,6
Mínima absoluta	4,8	16,8	19,5	17,4	17,1	20,3	16,0	11,9	9,2	27,8	39,5	1,1	755,5
Anomalía	16,8	15,7	66,2	-24,6	84,5	39,8	-15,2	3,5	-11,7	-14,2	46,2	7,4	-

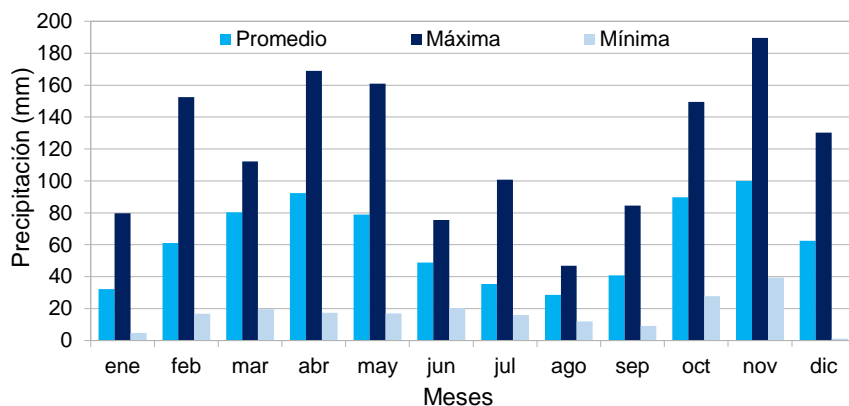


Figura 9-8. Precipitación promedio, media máxima y media mínima mensual multianual (mm) 2010-2017

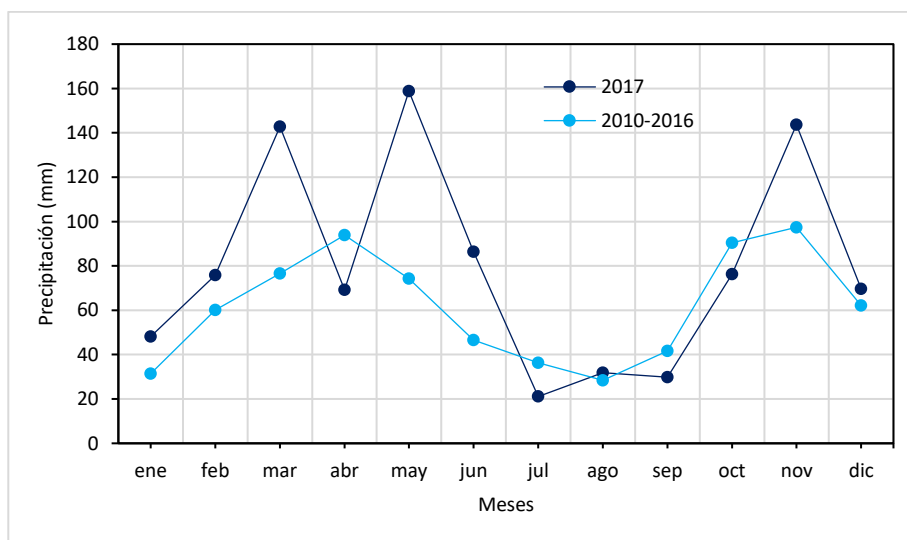


Figura 9-9. Promedio mensual acumulado de precipitación de la RMCAB del periodo 2000-2016 contra el promedio mensual 2017.

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

9.2.3. Variación horaria de la Precipitación

La Figura 9-10 se presenta los perfiles horarios de la precipitación acumulada por estación de la RMCAB desde el año 2010 hasta 2017. Para el análisis del comportamiento y distribución de la lluvia en la ciudad, se tomó en consideración todos los eventos horarios de precipitación superiores a 0,1 mm.

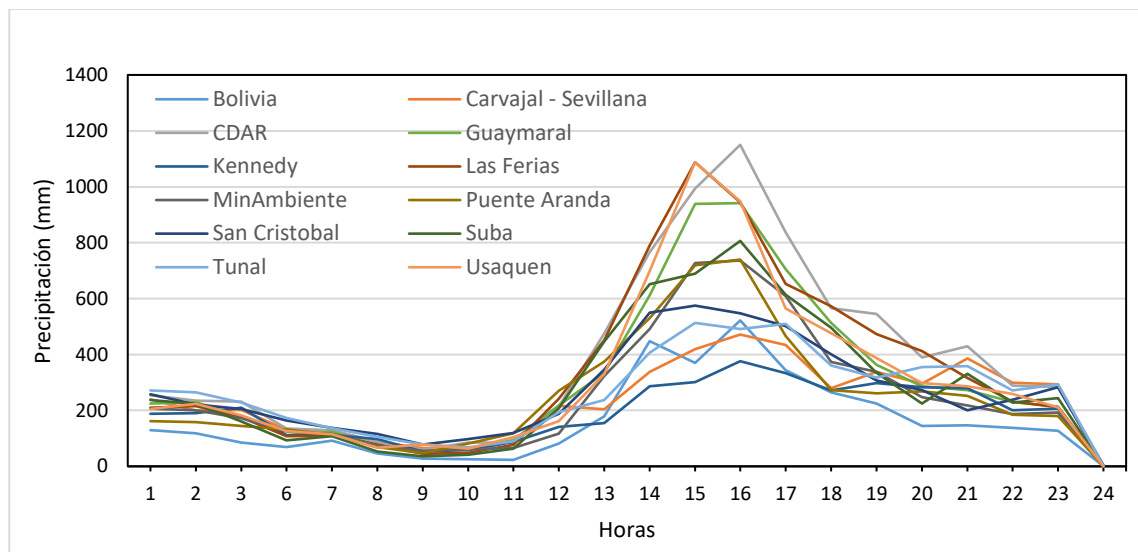


Figura 9-10. Perfil horario anual de las precipitaciones totales acumuladas por estación (2010 - 2017)

La Figura 9-11 presenta el comportamiento horario de la distribución de frecuencias de la precipitación promedio anual acumulada desde 2010 – 2017. En esta se observa que entre las 10 PM y las 12 M, la frecuencia de ocurrencia de lluvias en la ciudad es de entre el 1% al 4%. En tanto que, a partir de la 1 PM, la frecuencia se incrementan a su máximo (12%), entre las 3 y 4 PM, lo que denota la ocurrencia de lluvias de tipo convectivas, debidas al calentamiento de la ciudad por radiación solar.

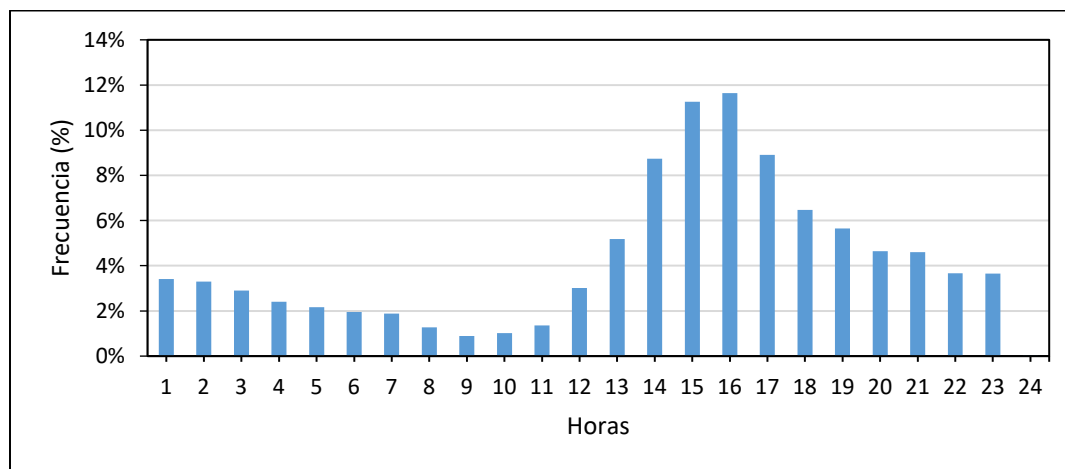


Figura 9-11. Distribución de frecuencia de la precipitación horaria en la ciudad (2010 - 2017)

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

El comportamiento de la distribución de las lluvias anuales presentado anteriormente es debido a la influencia del ciclo diario sol, el cual calienta paulatinamente desde su salida hasta alcanzar su máximo al medio día. El calentamiento superficial de la ciudad dinamiza las corrientes de aire convectivas (ascendentes) que se traducen en nubes que alcanzan su mayor desarrollo vertical después del mediodía, posibilitando la ocurrencia de las lluvias en horas de la tarde, predominantemente entre las 3 y las 4 PM, como suele suceder en Bogotá. En 2017, el comportamiento antes descrito fue semejante, como se observa en la Figura 9-12 y Figura 9-13.

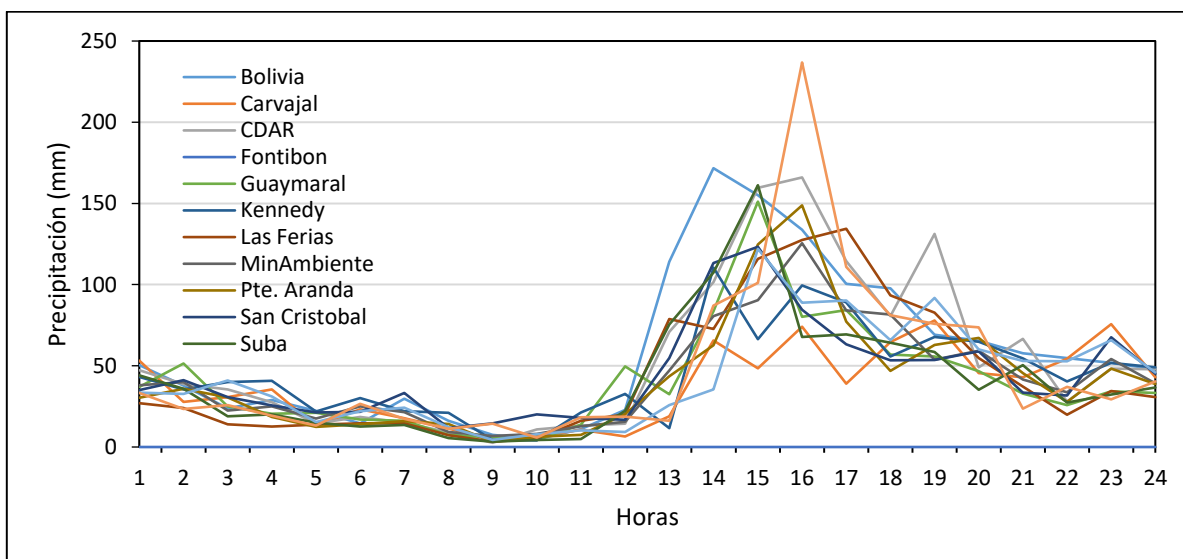


Figura 9-12. Perfil de la precipitación promedio horaria anual por cada estación - 2017.

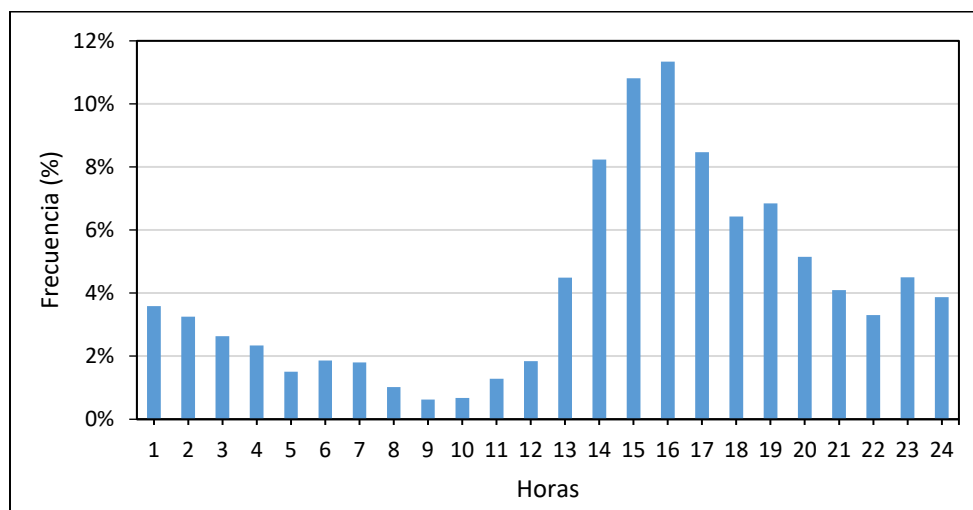


Figura 9-13. Distribución de frecuencia precipitación horaria en la ciudad - 2017

La Figura 9-14 es una representación del comportamiento de la precipitación promedio horaria mensual por cada estación de la RMCAB. En esta se observa como las aglomeraciones de puntos de color rojo y naranja se concentran en mayor proporción en las horas de la tarde a lo largo de

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

todos los meses del año. En esta se confirma lo que muestra la Figura 9-10 a Figura 9-13; es decir, la precipitaciones en la ciudad de Bogotá ocurren con mayor probabilidad en horas de la tarde. De este modo, es claro que las precipitaciones más intensas (en color rojo) se presentaron en vecindades del Centro de Alto Rendimiento y en Usaquén.

El año 2017 no fue la excepción a este comportamiento histórico. Cabe anotar que este patrón tiene una estrecha relación con el ciclo diario del sol y la influencia de los cerros orientales, que se constituye en un factor determinante para la ocurrencia de lluvias en la ciudad.

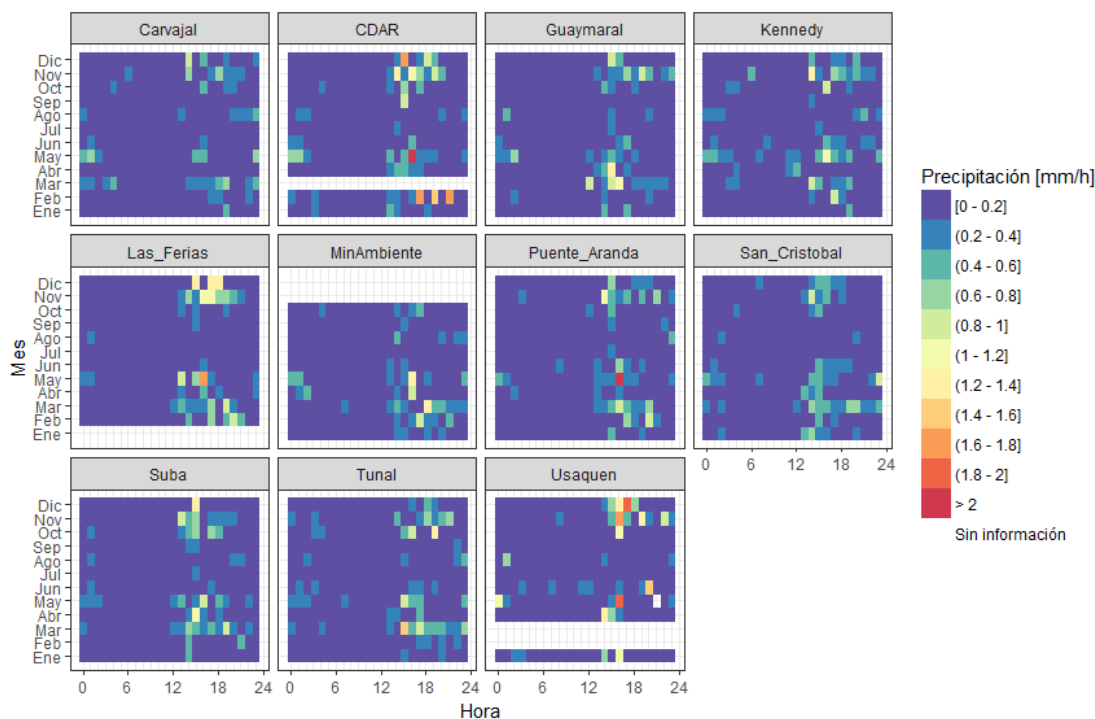


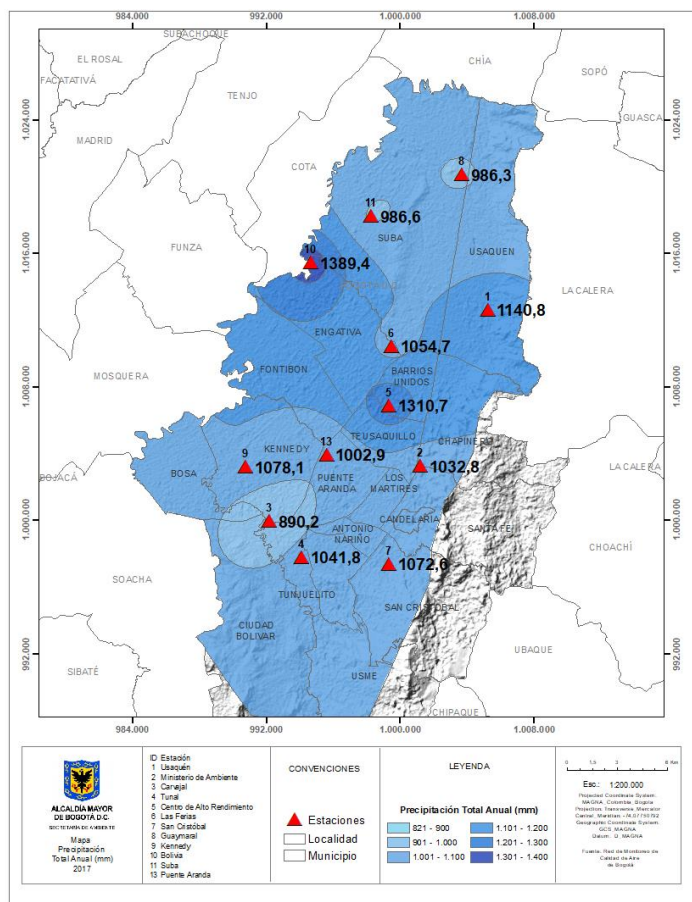
Figura 9-14. Total anual acumulado por estación – 2017

9.2.4. Distribución Espacial de la Precipitación

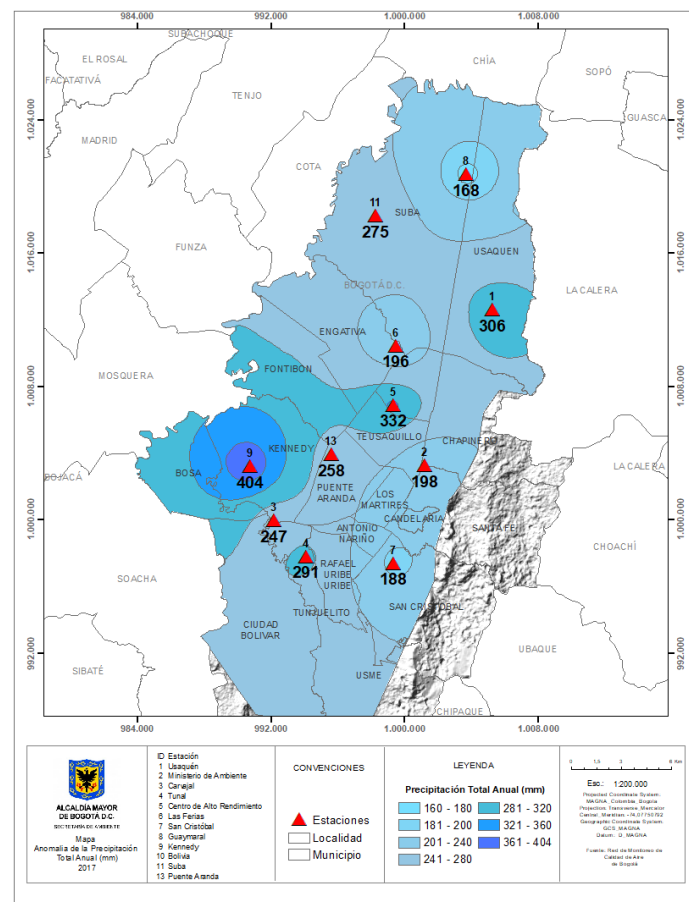
A continuación, se resume la distribución espacial de la precipitación en Bogotá en 2017. De la Tabla 9-5 se observa que, en este periodo los valores más altos de precipitación ocurrieron hacia el noroccidente; los más bajos se reportaron hacia el sur occidente como históricamente ha ocurrido. La estación de Las Ferías registro el mayor valor de precipitación del año en noviembre de 2016 (295.3 mm). En la Figura 9-15, se observa con mayor claridad cómo se distribuyó la precipitación en 2017.

A diferencia del año anterior en el cual las lluvias se concentraron al norte de la ciudad, en 2017 lluvias se concentraron hacia el noroccidente y centro geográfico de la misma. Las estaciones que acumularon los mayores valores recayeron en las estaciones de Guaymaral (964,4 mm), Las Ferías (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).

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



a)



b)

Figura 9-15. A) Mapa distribución espacial de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo 2017 y b) Mapa de anomalía de la precipitación de 2017 contra el promedio multianual de la precipitación desde 2010-2017

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

9.2.5. Número de días con precipitación

En la ciudad de Bogotá, se registraron en promedio 169 días con precipitación en el año 2017. Las estaciones con mayor número de días, San Cristóbal (217 días) y Guaymaral (206 días). Las de menor número de días Usaquéen (153 días) y Las Ferias (162 días). Con todo, no hubo una correspondencia entre el número de precipitación y la cantidad de agua precipitada; toda vez, que los sectores de la ciudad donde el número de días con precipitación fue menor, recibieron intensas precipitaciones. Ver Figura 9-8.

En 2017 los meses que reportaron mayor número de días con precipitación fueron noviembre (21 días) y mar (20 días); como suele suceder, los meses de enero (13 días) y febrero (21 días). Ver Tabla 9-6 y Figura 9-16.

Tabla 9-6. Número de días con precipitación por estación RMCAB 2017

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Acumulados
Usaquén	21	N.A	N.A	13	16	16	10	15	15	13	22	12	153
Bolivia	13	11	21	15	20	15	11	16	16	15	14	12	179
C.D.A.R	14	17	N.A	12	20	24	21	17	17	17	25	13	197
Carvajal	7	13	18	10	17	20	17	16	16	16	19	11	180
Guaymaral	21	12	20	14	6	23	20	18	18	15	25	14	206
Kennedy	13	12	18	16	21	18	18	17	17	16	23	11	200
Las Ferias	4	11	23	11	19	13	8	14	14	12	22	11	162
MinAmbiente	11	11	20	15	19	23	24	16	16	14	15	N.A	184
Puente Aranda	10	13	22	13	21	20	15	15	15	15	21	10	190
San Cristóbal	15	14	22	14	17	22	26	18	18	15	21	15	217
Suba	9	11	22	19	19	19	11	12	12	16	22	9	181
Tunal	13	10	18	11	20	18	20	17	17	18	20	12	194
Promedio	13	12	20	14	18	19	17	16	16	15	21	12	169

Tabla 9-7. Número promedio de días con precipitación mensual multianual RMCAB 2017

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	13	14	13	13	21	17	16	14	18	14	10	5
2001	6	6	13	9	17	12	10	10	18	10	12	15
2002	8	15	12	17	17	18	14	13	13	19	12	11
2003	4	10	11	15	14	14	18	17	14	16	18	8
2004	6	12	9	16	22	18	16	12	13	17	14	9
2005	9	12	13	16	17	12	12	10	12	13	15	13
2006	11	8	17	16	16	16	11	11	9	16	33	9
2007	5	7	11	22	19	19	11	17	9	20	18	19
2008	10	11	14	16	18	14	17	17	15	16	22	15
2009	13	14	18	14	10	16	13	11	8	14	14	8
2010	3	10	10	24	22	19	18	13	15	17	23	22
2011	14	14	18	23	22	14	15	13	12	20	24	17
2012	13	12	17	18	16	15	15	18	10	15	14	10

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

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2013	4	14	11	15	22	10	16	15	13	16	19	13
2014	10	15	16	17	17	16	19	13	13	21	19	15
2015	10	9	16	13	13	19	19	13	8	11	11	4
2016	4	11	14	19	15	14	13	18	18	17	23	11
2017	13	12	20	14	18	19	17	16	16	15	21	12

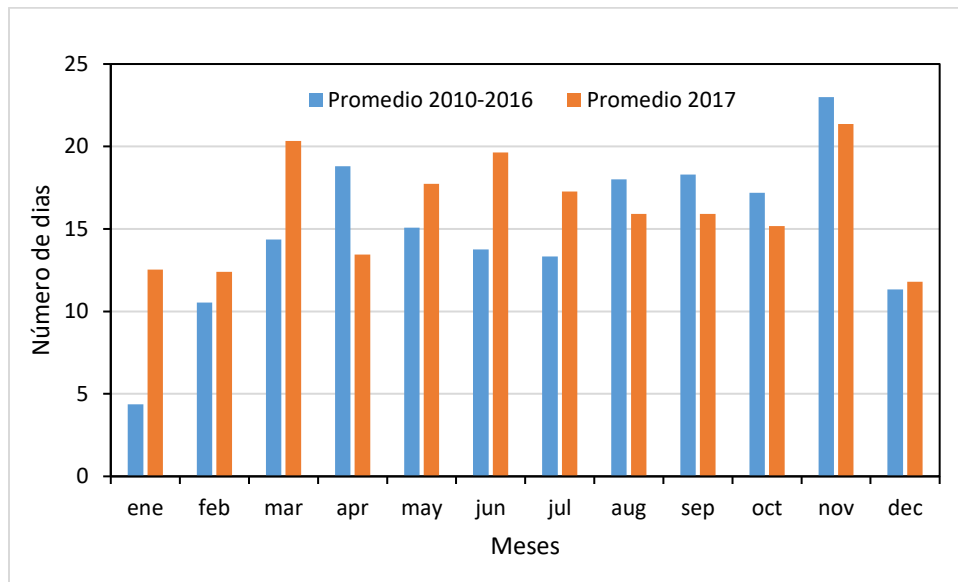


Figura 9-16. Comportamiento del número de días con precipitación promedio en 2017 y periodo 2010 – 2016

Del primer semestre de 2016, enero, febrero, mayo, junio, presentaron anomalías negativas en el número de días con lluvia, respecto al promedio de la ciudad, de 4 días 1 día, 3 días y 2 días mm, respectivamente. Del segundo semestre solo diciembre 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. En el segundo semestre se observan anomalías positivas en los días de agosto (4 días), septiembre (6 días), octubre (2 días) y noviembre (6 días).

9.3. DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO

9.3.1. Variación de la Velocidad del Viento Anual

En 2017 la velocidad del viento presentó una distribución espacial donde se puede evidenciar un patrón de velocidades del viento caracterizado por presentar mayores velocidades hacia el sector suroccidental con un predominio de la componente sur y suroccidental; vientos del este con velocidades más bajas que el suroccidente, pero persistentes, y vientos débiles en los extremos norte y sur de la misma, que tienden a confluir de en el centro geográfico de la ciudad. Cabe anotar que este patrón no siempre se repite, pero es predominante, y es el que, en gran parte del año, hace favorable la remoción de la carga contaminante emitida a la atmosfera local por de las actividades antrópicas en la ciudad y/o las que son introducidas desde fuentes externas al distrito.

Así las cosas, en 2017 se mantuvo patrón arriba descrito, presentándose los vientos más fuertes fue hacia el sector de Kennedy, Fontibón y Puente Aranda; los más débiles en Guaymaral, MinAmbiente y Tunal. Para más información ver Figura 9-17

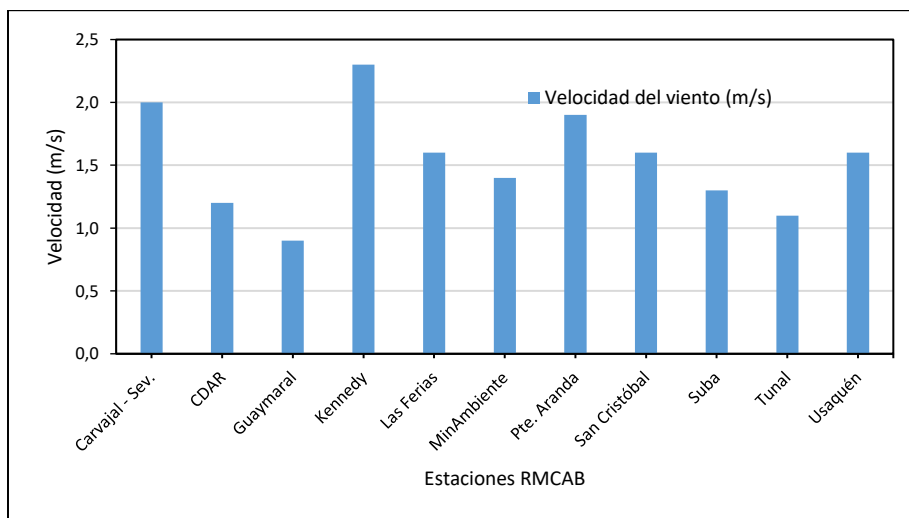


Figura 9-17. Velocidad del viento promedio multianual 2010-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017

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 9-8. Velocidad promedio anual del viento para las estaciones de la RMCAB 2000 - 2017

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Prom
Cade Energía	0,7	0,9	0,7	0,8															0,8
Carvajal - Sevilla	0,9	1,3	1,2	2,1				1,8	1,9	2,4	2,1	2,1	2,4	2,4	2,4	2,6	2,0	2,0	2,0
Cazuca	1,9	2,1	2,3		2,8	2,4	2,5	2,6	1,7										2,3
Central de Mezclas	2,0																		2,0
Centro de Alto Rendimiento					0,8	1,9		1,1	1,4	1,7	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,2	1,2	1,4
Chico lago (Sto Tomas)	0,4	0,4	0,4																0,4
Fontibón	2,4	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,9	3,4	2,7	3,0	2,8	2,9	3,0	3,0					2,9
Guaymaral			0,6					1,1	1,2	1,3		0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0
Kennedy							1,5	1,5	2,3	2,7	2,5	2,4	2,6	2,5	2,6	2,8	2,4	2,3	2,3
Las Ferias	1,7	1,7	1,6			1,5	1,4	1,4	1,9	2,1	1,7	1,8	1,9	1,9	1,8	2,0	1,7	1,6	1,7
Min Ambiente	0,4	0,5	0,5							1,2				1,8	1,8	1,8	1,5	1,4	1,2
Olaya	1,8																		1,8
Puente Aranda	1,9	2,4	2,4	2,6	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7	2,9	2,7	2,7	2,2	2,1	2,1	2,3	2,1	1,9	2,4
San Cristóbal											1,1	1,7	1,8	2,2	1,8	1,2	1,7	1,6	1,6
Suba	1,4	1,4	1,3		1,6		1,3	1,5	0,5	0,9	1,0	1,8	2,0	2,0	1,9	1,9	1,4	1,3	1,5
Tunal								2,1	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,2	1,2	1,1	1,2
Univ. Nacional	0,5	0,6																	0,6
Usaquén	1,2	1,1	1,0	1,2		1,6	2,4	1,8	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,7	1,6	1,4
Usme							2,6	2,7	3,5										2,9
Vitelma							1,6	1,5	1,7										1,6
Promedio	1.3	1.4	1.3	1.9	2.1	2.2	2.1	2.0	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.7	1.8	1.6	1.5	1.7

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

9.3.2. Variación Trimestral de la Velocidad del Viento

Respecto al promedio trimestral de la velocidad del viento, con el cual se pretende describir el patrón de los vientos en periodos secos y húmedos, a continuación, se describe su comportamiento en 2017, frente a los promedios históricos registrados en la ciudad desde 2000 – 2016.

La Figura 9-18 describe el comportamiento de los promedios trimestrales, por estación, del periodo 2017 frente a los promedios multianuales de 2000 – 2016. En dicha figura es evidente que los promedios de velocidad del viento en 2017, en la mayoría de los casos, fueron inferiores al promedio 2017. Solo casos aislados como en el sector de Usaquén y MinAmbiente, el promedio de velocidad de 2017 superó el promedio trimestral multianual 2000-2017.

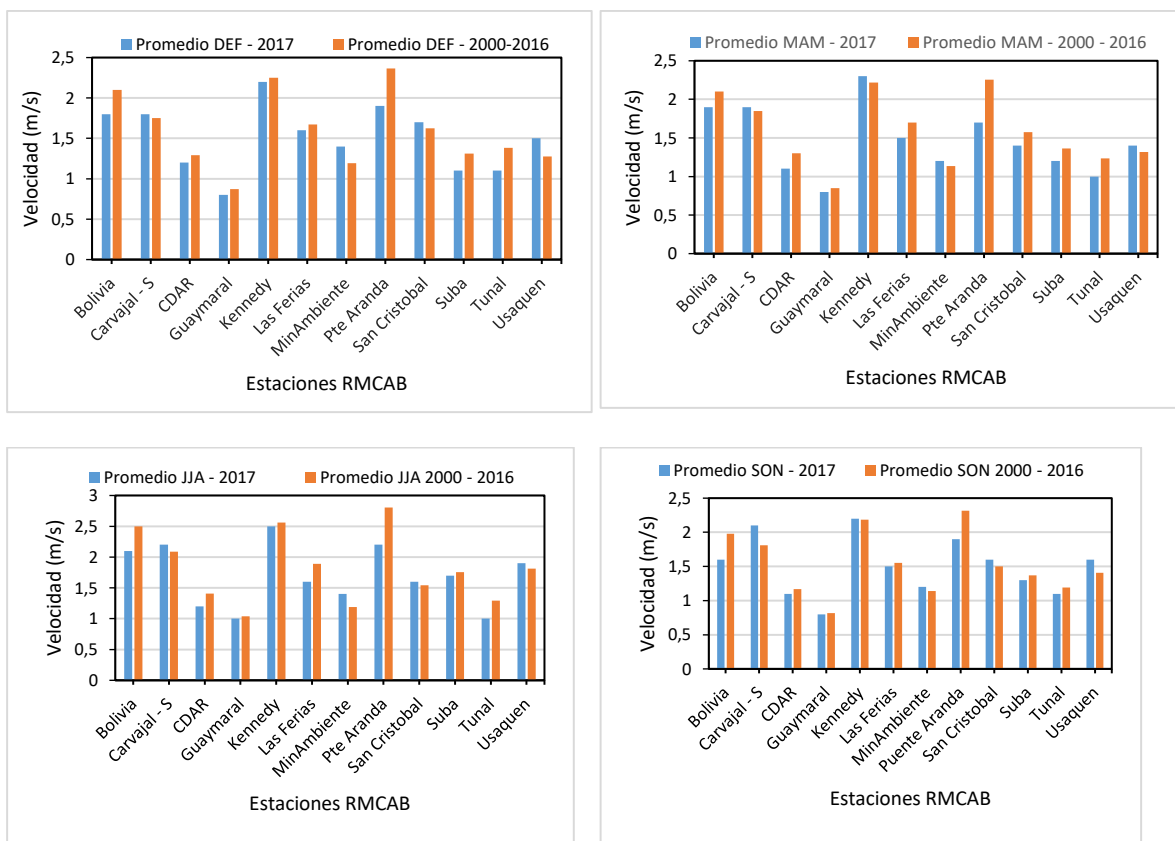


Figura 9-18. Velocidad del viento promedio trimestral de 2017 frente al promedio trimestral multianual 2000-2017 por estación.

A continuación, se presenta el comportamiento trimestral multianual de la velocidad del viento desde 2000 a 2017, a nivel de los promedios, medias máximas y medias mínimas por cada trimestre. Ver Figura 9-19.

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

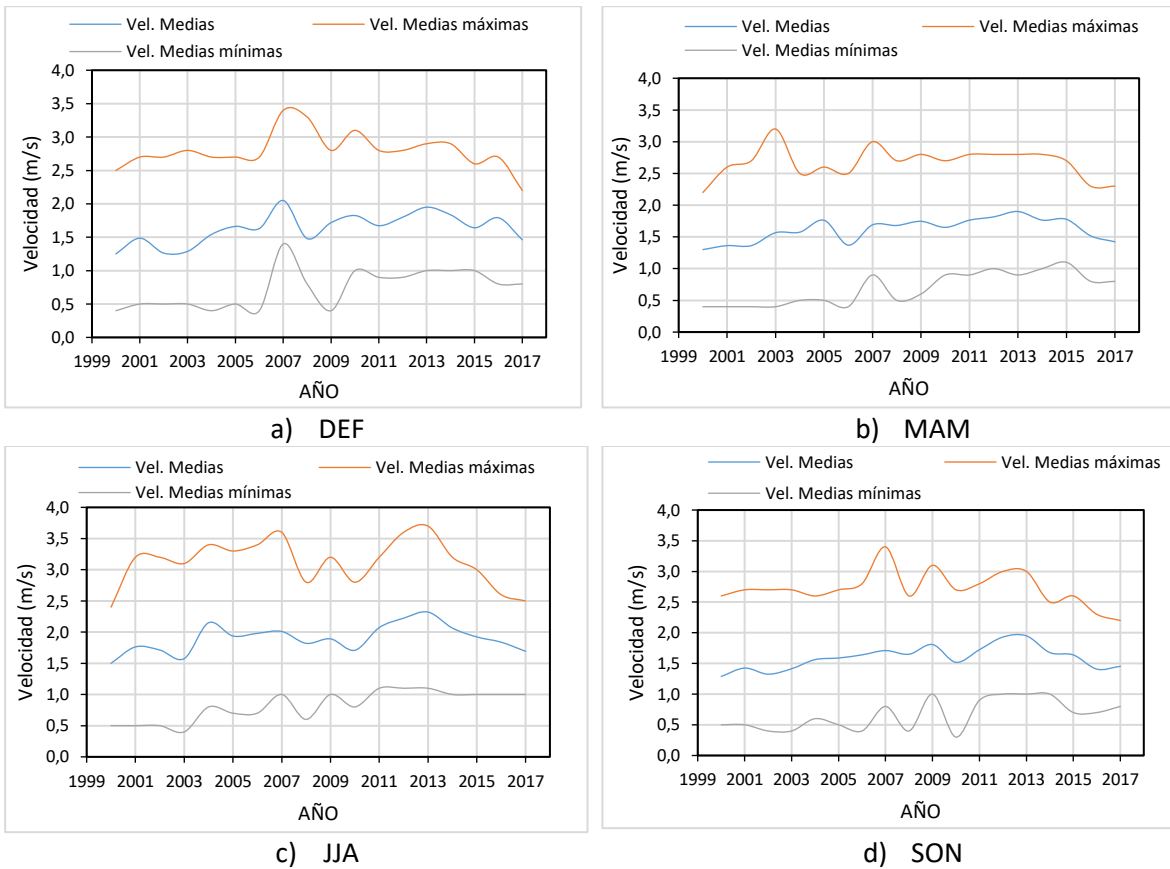


Figura 9-19. Velocidad del viento promedio trimestral multianual 2000-2017: a) por estación y b) periodo 2010-2017

De acuerdo con la Figura 9-19 a) los promedios trimestrales, medios, máximos y mínimos del periodo DEF desde 2000 - 2017, dejan entrever que las mayores velocidades se presentaron en 2007, con velocidades medias máximas de 3.4 m/s, medias de 2.1 y medias mínimas de 1.4 m/s. Además, que 2017 es el año cuyas velocidades medias máximas trimestrales DEF han sido las más bajas dentro del periodo multianual analizado.

En cuanto al trimestre MAM, las velocidades medias máximas presentaron una fuerte variabilidad entre 2000 a 2008 con máximas en 2003 y 2007 (3.2 y 3.0 m/s respectivamente); entre 2016 y 2017 se aprecia una fuerte disminución de estas velocidades con respecto a 8 años atrás, donde se evidenciaron velocidades sostenidas de 2.7 m/s entre 2008 a 2015. Las velocidades medias de este trimestre se observaron con una ligera tendencia creciente desde 2000 hasta 2013; a partir de allí las velocidades han decaído nuevamente. De modo semejante se observa que las velocidades medias mínimas mostraron tendencia creciente desde 2000 hasta 2015, luego se aprecia disminución entre 2016 y 2017.

El trimestre JJA es el periodo con mayores velocidades durante el año. En su variabilidad, las velocidades medias máximas han fluctuado entorno a los 3.0 m/s; sin embargo, fueron 2007 y 2013

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

los que mayores velocidades medias máximas han registrado en lo que va corrido desde 2000 a 2017. Las medias máximas más bajas ocurrieron en 2000, 2006, 2007 y 2017; en 2017 se registraron las velocidades medias máximas más bajas de los últimos 19 años. De modo semejante se observa un patrón en las velocidades medias máximas trimestrales. Para las velocidades medias mínimas se observa que desde 2010, han sido mayores que años anteriores y se han mantenido sostenidas, aproximadamente entre 1.0 y 1.1 m/s. Ver Figura 9-19 c).

El trimestre SON junto con el trimestre MAM, son los que menores velocidades del viento registran durante el año.

En su variabilidad, las velocidades medias máximas han fluctuado entorno a los 2.5 m/s, de manera casi sostenidas entre 2000 y 2006; sin embargo, en 2007 y 2009 se presentaron los picos más importantes del periodo analizado. A diferencia de las medias máximas, las velocidades medias registraron su máximo entre 2012 y 2013; a partir de allí comenzaron en descender, hasta 1.5 m/s que es mayor a la mínima media trimestral de 2000 (1.3 m/s). Con todo, se mostró un ligero incremento respecto a 2016. Ver Figura 9-19 d).

9.3.3. Variación Mensual de la Velocidad del Viento

De acuerdo con el promedio mensual multianual 2000 – 2016, la velocidad media del viento entre enero a marzo es de 1,7 m/s; en abril y mayo se presentan los valores más bajos del primer semestre (1,6 m/s). En el segundo semestre ocurren los vientos más fuertes entre julio y agosto, debilitándose nuevamente hacia noviembre y diciembre, relacionándose inversamente con el ciclo estacional las precipitaciones, es decir, las velocidades del viento tienden a disminuir con los periodos de lluvia. No obstante, en 2017 los registros de la RMCAB, deja entrever que este fue un año con bajas velocidades del viento, al punto que el mes de agosto no se registraron altas magnitudes como históricamente se ha comportado. Ver Tabla 9-9 y Figura 9-20.

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

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio
2000	1,2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,5	1,6	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3
2001	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	1,7	1,7	1,9	1,5	1,5	1,3	1,2	1,5
2002	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4
2003	1,4	1,4	1,7	1,5	2,1	2,0	2,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,6	1,7
2004	1,9	1,6	1,7	1,3	1,8	2,4	2,0	2,4	1,8	1,4	1,6	1,5	1,8
2005	1,7	1,8	1,9	1,8	1,6	1,9	2,1	2,2	2,1	1,8	1,4	1,3	1,8
2006	1,6	1,9	1,4	1,3	1,5	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4	1,8	2,0	1,8
2007	2,3	2,2	1,8	1,9	1,6	2,0	2,2	1,9	1,9	1,4	1,3	1,2	1,8
2008	1,3	1,9	1,7	1,5	1,6	1,9	1,9	1,7	2,0	1,7	1,5	1,7	1,7
2009	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,6	1,8
2010	2,2	2,0	2,0	1,6	1,7	1,7	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,6	1,8

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

2011	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,0	2,1	2,1	2,0	1,6	1,5	1,7	1,8
2012	1,8	1,8	2,0	1,5	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	1,7	1,7	1,7	1,9
2013	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,2	2,2	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9
2014	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	1,9	1,6	1,5	1,5	1,8
2015	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,7	1,5	2,0	1,8
2016	1,7	1,7	1,5	1,4	1,6	1,9	1,9	1,9	1,7	1,5	1,3	1,4	1,6
Promedio	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,9	2,0	2,0	1,8	1,6	1,5	1,5	1,7
2017	1,5	1,6	1,4	1,6	1,4	1,5	1,9	1,7	1,7	1,5	1,3	1,5	1,5
Desviación	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	

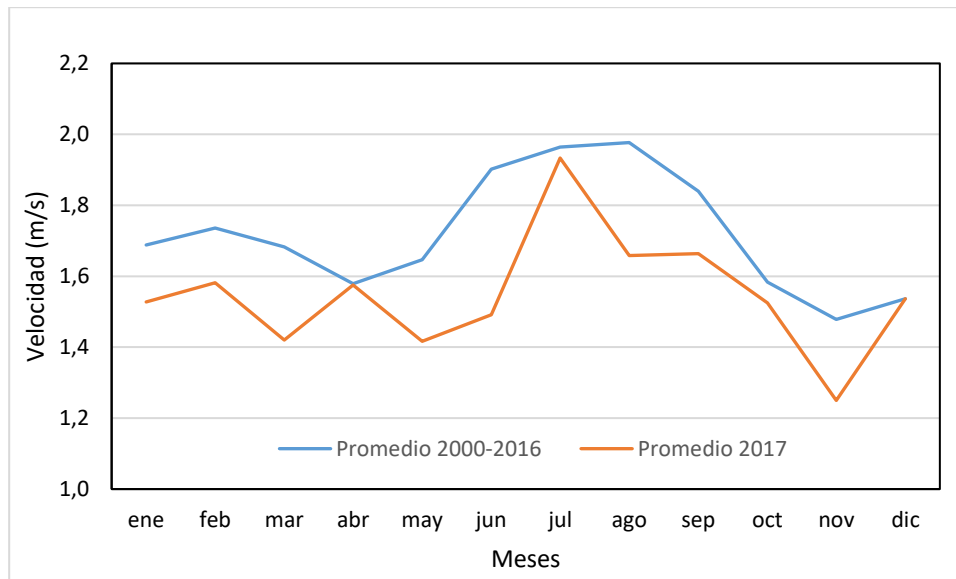


Figura 9-20. Velocidad promedio mensual de la velocidad del viento - ciudad

9.3.4. Comportamiento de la Dirección del Viento.

A continuación, se resume el comportamiento de la dirección predominante del viento por estación. En la Figura 9-21. se encuentran las rosas de viento de las diferentes estaciones que registraron el comportamiento promedio de la dirección del viento en el año 2017, las cuales pese a representar una instantánea del ciclo anual, ofrecen un panorama de la predominancia o frecuencia de la dirección los vientos durante todo el año. Para información mensual, se puede consultar los informes mensuales en la página web de la SDA. Complementariamente, en el mapa de la Figura 9-22, se describe la distribución espacial de los vientos en la ciudad, durante el año 2017.

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

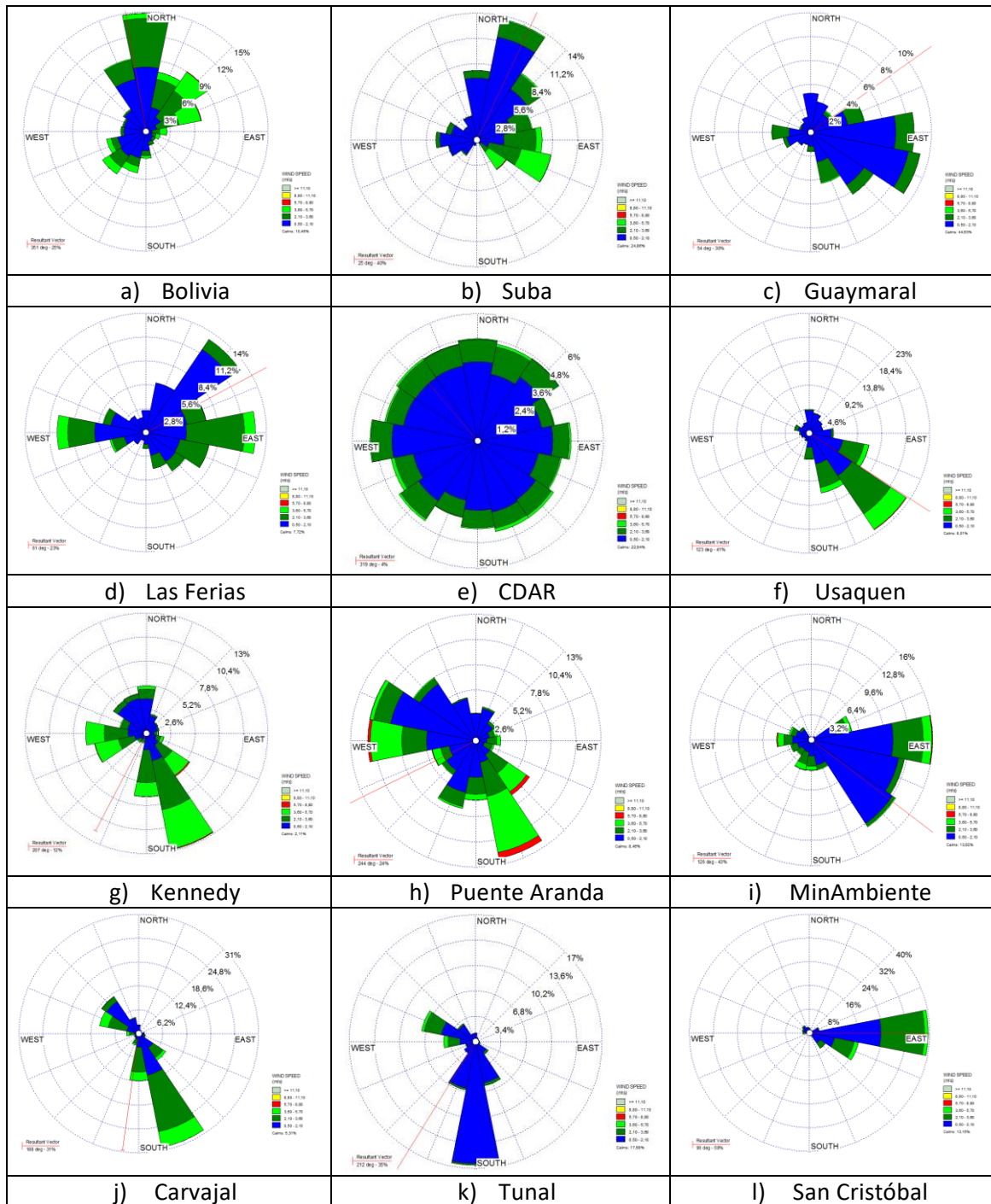


Figura 9-21. Rosas de viento consolidadas por estación - 2017

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

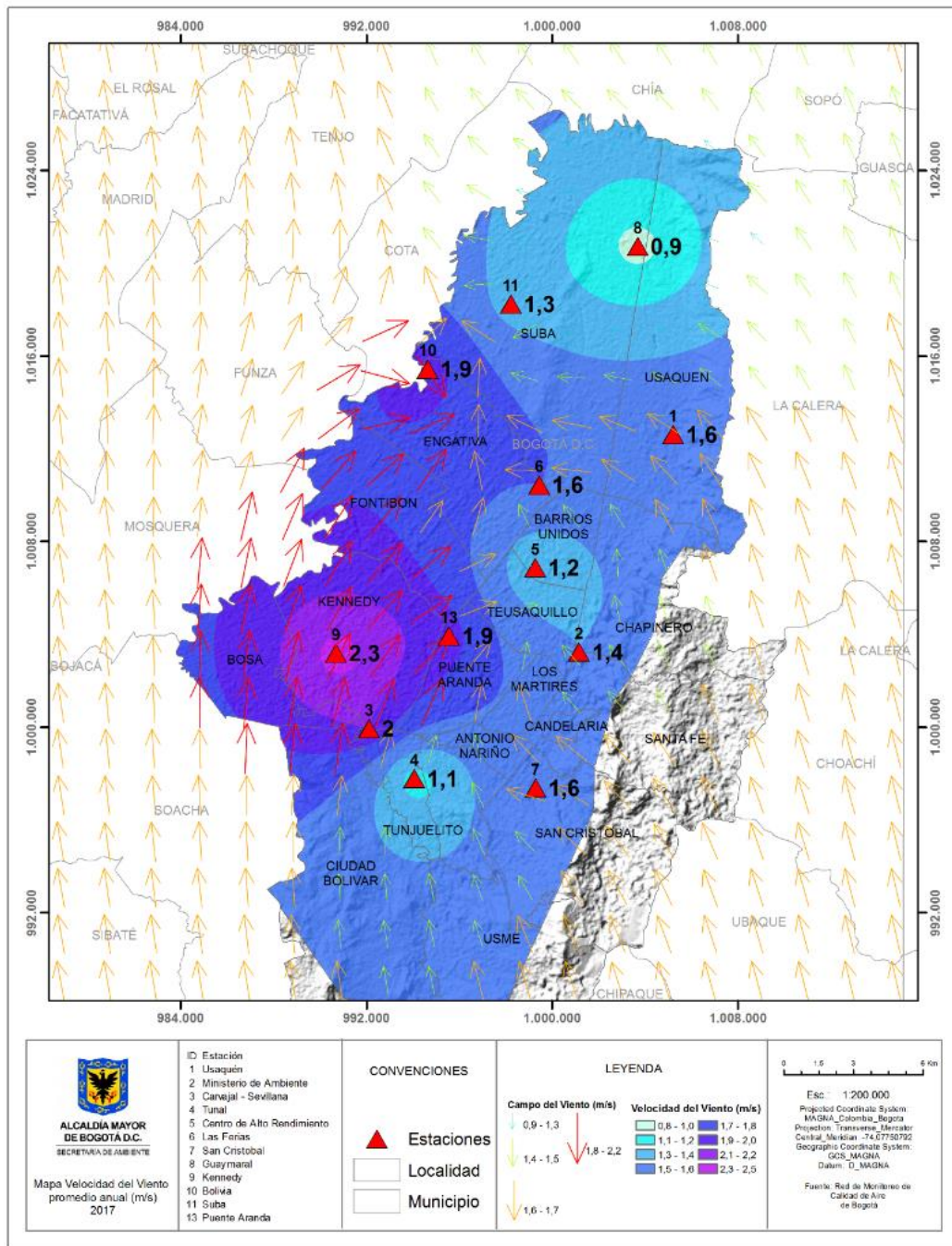


Figura 9-22. Mapa de dirección y velocidad promedio del viento - 2017

En general, en 2017 hacia el norte, predominar los vientos del norte hacia el flanco noroccidental y del este en vecindad de los cerros orientales. El porcentaje de ocurrencia de vientos del norte fue de entre 14% – 15%, en tanto que los de este entre el 8 a 10 %.

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

En el flanco oriental fueron predominantes los vientos del sureste y una marcada componente este hacia el sector sur oriental de la ciudad, representado por la estación de San Cristóbal.

Hacia el sur de la ciudad, predominaron los vientos del sur, al extremo sur y vientos del este en vecindades de los cerros orientales.

Hacia el occidente predominaron los vientos del sur (S) y del sureste (SE) tendidos al sur con frecuencias de entre 13% a 31%. Sin embargo, aproximadamente por el sector centro occidental de la ciudad los vientos tendieron a ponerse más del suroccidente, dando lugar a la confluencia de vientos del norte, del oeste y este de la ciudad, lo que caracteriza ese debilitamiento de los vientos en el centro geográfico de la ciudad, por el sector de las Ferias y el Centro de Alto Rendimiento, como se observa en el mapa de la Figura 9-22.

9.3.5. Variación horaria de la Velocidad y dirección del Viento

La Figura 9-23 resume el comportamiento de las velocidades máximas absolutas del viento horario por estación de la RMCAB durante el año 2017. Así pues, la máxima absoluta anual (la velocidad más alta registrada en cada estación durante todo el año), ocurrió en orden de magnitud, en las estaciones de Puente Aranda, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén y Bolivia, con valores que superaron los 6.4 m/s. En cuanto a las máximas absolutas mínimas, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad en Guaymaral y Tunal, como históricamente se ha registrado. Los mínimos de la estación CDAR, normalmente son debidos a que, por ese sector de la ciudad, tienden confluír los vientos de norte, sur, suroccidente y del este.

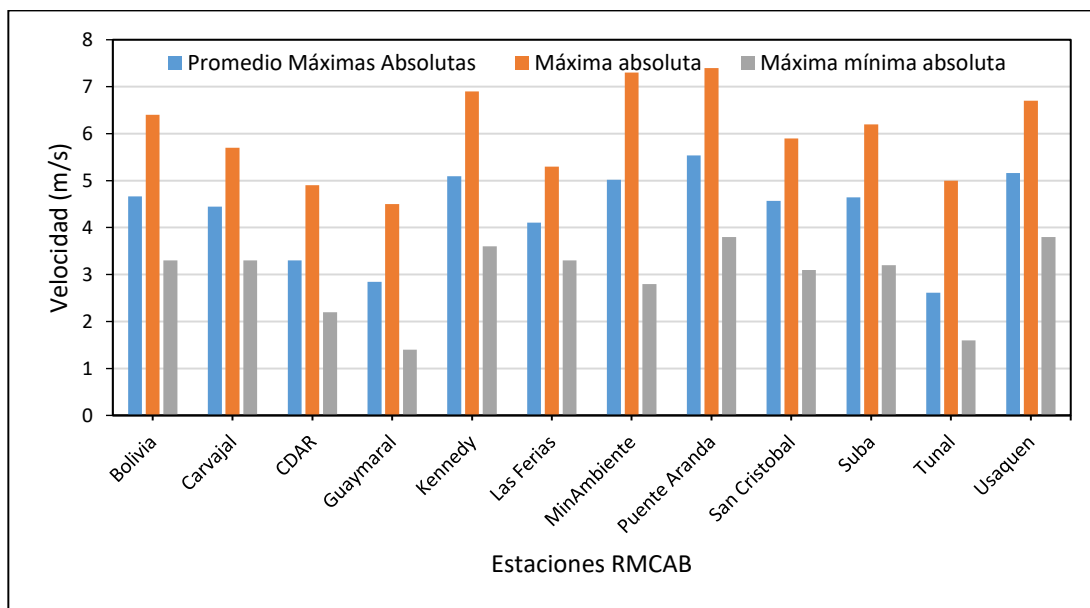


Figura 9-23. Velocidades máximas: medias máximas absolutas, máxima absoluta y máxima mínima absoluta horaria, por estación de la RMCAB – 2017

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

Por otra parte, la Figura 9-24 describe el promedio horario de las velocidades máximas absolutas, promedio de las máximas absolutas y máximas mínimas absolutas, durante el año 2017. Como quiera que son valores aislados durante el año, es notable la variabilidad de las máximas absolutas. Como es normal, debido a la acumulación de energía entre la mañana y el medio día, la ocurrencia de las mayores magnitudes del viento sea entre las 11 am y las 6 pm, con un pico hacia la 1 pm.

Así las cosas, si se analiza de manera integral la Figura 9-23 y la Figura 9-24, es deducible que las máximas velocidades del viento se presentaron en los sectores de Puente Aranda, MinAmbiente, Kennedy y Usaquén y Bolivia en horas cercanas al medio día hasta las 6 pm.

Si se detallan las rosas de viento de la Figura 9-21., se puede notar que el porcentaje de ocurrencia de velocidades medias superiores a 5.8 m/s, fue de un 7% aproximadamente durante el año de los vientos del sureste, en la estación de Puente Aranda.

Adicionalmente, es importante precisar que son estos vientos de mayor magnitud los que en gran proporción contribuyen con la limpieza de la ciudad a través de mecanismos de mezcla, transporte y difusión de los contaminantes que son emitidos, dado su mayor contenido de energía cinética para producir turbulencia.

Es notable, además, que en horas de la madrugada y mañana, ocurrieron velocidades máximas absolutas del viento cercanas 5.0 m/s, las cuales debieron obedecer a ráfagas de viento, probablemente generadas por la lluvia o días calurosos y nublados, pero su frecuencia es muy baja, se estima que sean menos de 10 veces durante todo el año.

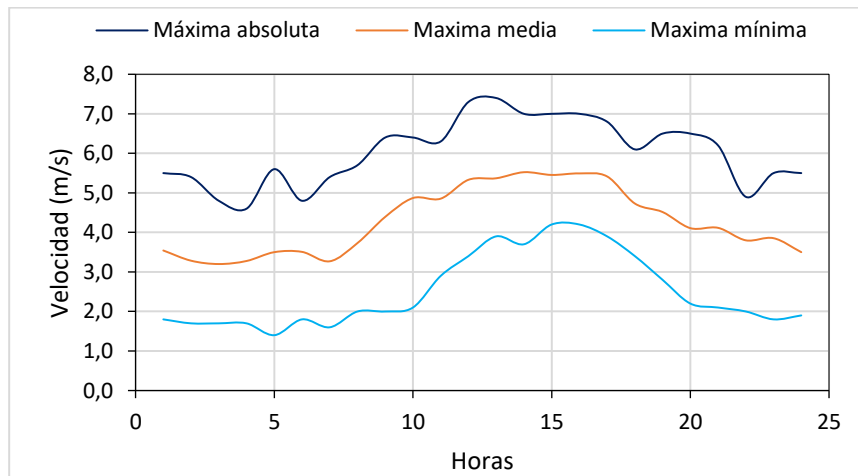


Figura 9-24. Velocidades máximas: máximas absolutas, máxima media y máxima mínima horaria anual. RMCAB – 2017

La Figura 9-25 describe el comportamiento de los promedios de velocidades del viento horario por estación de la RMCAB durante el año 2017. Así pues, el promedio de las velocidades medias máximas absolutas horarias anuales ocurrieron en orden de magnitud, en las estaciones de Kennedy, Bolivia Kennedy, Bolivia y Carvajal Sevillana, con valores que superaron los 3.3 a 4.0 m/s. En ese mismo orden, se presentaron los promedios de la velocidad del viento. En cuanto a las mínimas absolutas

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

de los promedios de velocidad del viento, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad en Guaymaral y Tunal, como suelen ocurrir.

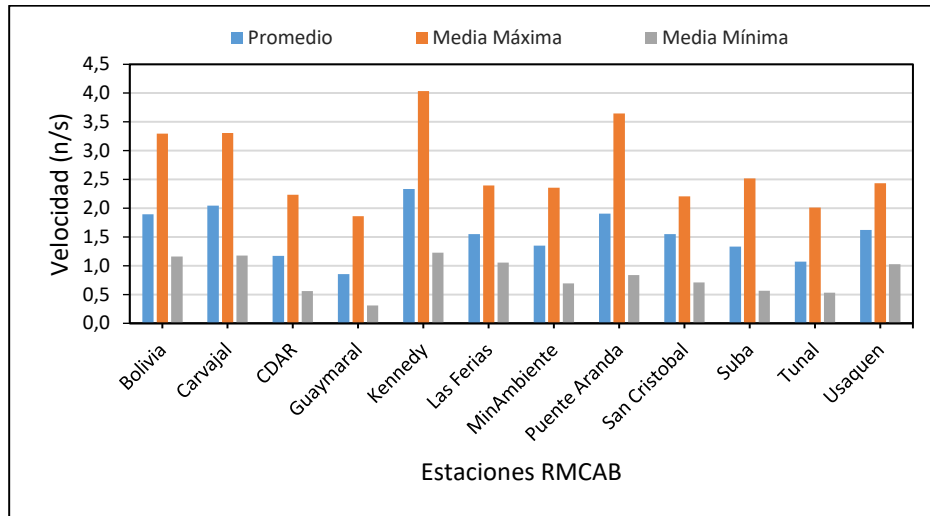


Figura 9-25. Velocidades medias: medias, medias máximas y medias mínimas horarias por estación de la RMCAB – 2017.

Por otra parte, la Figura 9-26 describe el promedio horario de las velocidades del viento, sus promedios máximos absolutos y sus promedios mínimos absolutos, durante el año 2017. EL promedio de las velocidades del viento en la ciudad, fluctuaron aproximadamente entre 0.3 y 1.3 m/s en las madrugadas y al medio día, entre 1.7 a 4.0 m/s; ya en horas de la noche, entre 0.4 a 1.9 m/s.

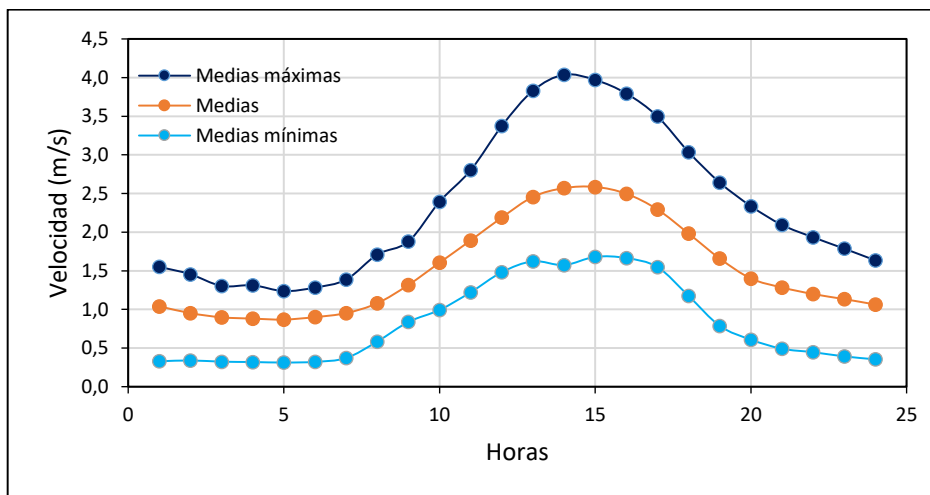


Figura 9-26. Velocidades medias: medias máximas, medias, media mínima horaria anual. RMCAB – 2017

La Figura 9-27 muestra el comportamiento de las mínimas absolutas horarias durante el año 2017, por cada estación de la RMCAB. Es de notar que los valores mínimos absolutos del viento, que normalmente ocurren en horas de la madrugada, se reducen a cero o muy cercanos a cero. Así

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

mismo, que las velocidades mínimas más altas de la ciudad se concentraron principalmente hacia el sector de Kennedy y en menor escala en Puente Aranda y el sector de Carvajal-Sevillana.

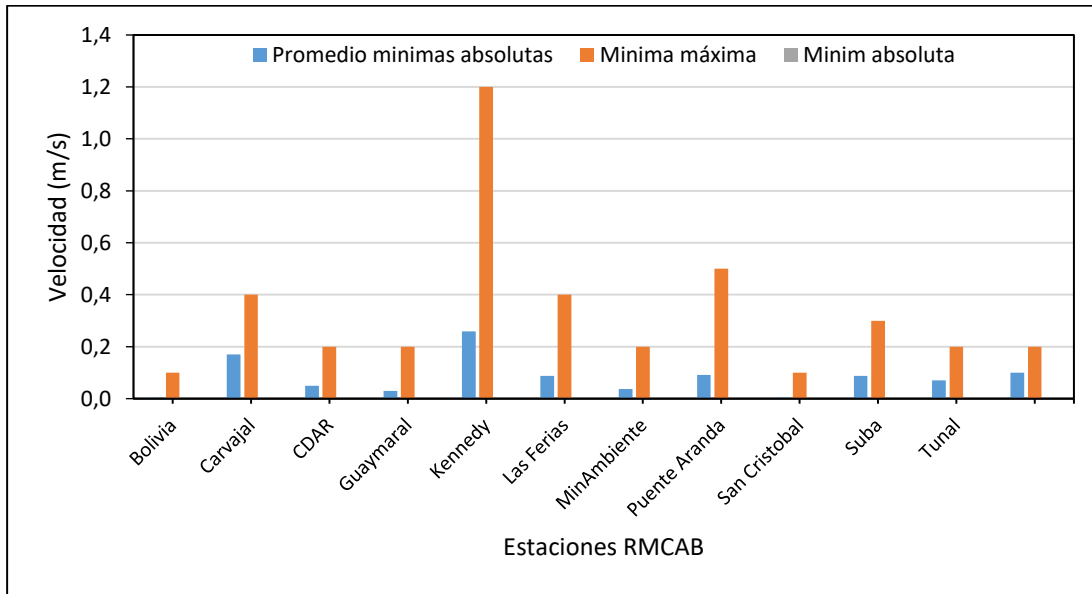


Figura 9-27. Velocidades Mínimas: medias mínimas absolutas, mínimas máximas y mínima absoluta, por estación de la RMCAB - 2017

En la Figura 9-28 se describe el perfil horario de las velocidades mínimas absolutas del viento, sus mínimas máximas, sus promedios, y mínimas absolutas durante el año 2017. El promedio de las velocidades del viento en la ciudad, fluctuaron aproximadamente entre 0.3 y 1.3 m/s en las madrugadas y al medio día, entre 1.7 a 4.0 m/s; ya en horas de la noche, entre 0.4 a 1.9 m/s.

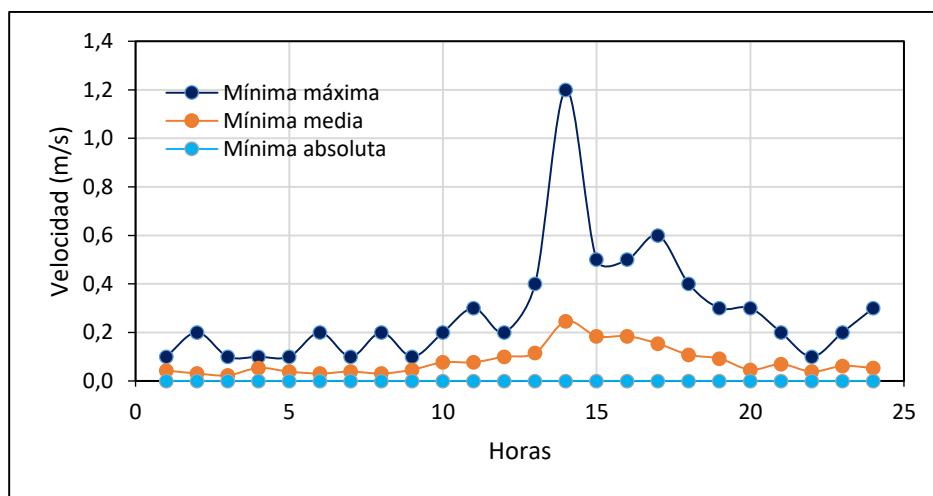


Figura 9-28. Velocidades mínimas: Mínima máximas, Mínima medias, Mínima horaria Absoluta horaria anual. RMCAB – 2017

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

A modo de resumen, la Tabla 9-10 recopila el comportamiento promedio anual de la dirección y velocidad del viento en diferentes fracciones del día.

En esta pues se hace visible que las velocidades más bajas como es normal ocurrieron entre las horas de la madrugada y la noche. Las más altas en la mañana y la tarde. Así mismo, se puede observar la ocurrencia de las direcciones del viento promedio, dependiendo de la fracción del día analizada. Cabe anotar que el cálculo de la dirección media del viento es el resultado de un promedio vectorial.

Tabla 9-10. Comportamiento de la Velocidad y Dirección del Viento por fracciones del día.

Estación	Velocidad promedio del viento (m/s)				Dirección promedio del viento (°)			
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche
Bolivia	1,2	2,0	3,0	1,4	323	3	106	313
Guaymaral	0,3	0,9	1,6	0,5	15	49	138	60
Usaquén	1,1	1,5	2,3	1,6	94	110	153	122
Suba	0,6	1,7	2,2	0,8	12	33	118	2
Las Ferias	1,0	1,2	2,7	1,5	22	65	171	34
C.D.A.R.	0,6	1,2	2,0	0,9	189	337	318	326
MinAmbiente	0,8	1,3	2,2	1,1	126	136	150	117
Puente Aranda	0,9	1,8	3,3	1,6	290	205	209	238
Kennedy	1,4	2,2	3,7	2,1	341	121	209	218
Carvajal - Sevillana	1,3	2,0	3,1	1,8	235	161	221	199
Tunal	0,6	1,0	1,8	0,9	214	202	217	211
San Cristóbal	1,3	1,3	2,1	1,5	87	74	86	88
Promedio	0,9	1,5	2,5	1,3	-	-	-	-

9.4. VARIACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

9.4.1. Variación Anual de la Temperatura

En la Tabla 9-11 y Figura 9-29, se presenta el comportamiento histórico, por estación, de la temperatura del periodo 2000 – 2017. Como allí se observa, en 2017 se presentó un descenso en la temperatura media anual de 0,6 °C con respecto a 2016; cabe anotar que junto con 2005 fueron los años más calientes registrados por la RMCAB desde el año 2000.

Por otra parte, es notorio como desde 2007, la temperatura superficial del aire ambiente en Bogotá paso de un 12,7 °C en promedio y se ha establecido entre 14 a 15 °C.

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 9-11. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2017

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Carvajal – Sevillana							12,2	11,2	14,1	15,4	15,5	15	15,2	15,5	15,5	15,8	16	15,6
Cazuca							12,3	11,7	13									
Centro de Alto Rendimiento									13,9	14,7	14,8	14,5	14,6	14,8	14,8	15,2	15,4	14,9
Fontibón	13,6	13,9	14,1	14,2	13,9	14,2	14,1	13,9	14,1	14,7	14,5	13,6	13,8	14,1				
Guaymaral									13,9	14,4	14,8	14,3	14,3	14,6	14,6	14,8	15,1	14,7
Kennedy									13,6	14,8	14,8	14,4	14,5	14,8	14,9	15,3	15,3	15,1
Las Ferias	15,6	16	16			15,9			13,3	14	14,2	13,7	13,9	14,2	14,2	14,4	14,7	14,3
Puente Aranda	14,1	14,5	14,6	14,7	14,5	14,8	14,6	14,6	14	14,6	14,6	14	13,8	13,7	14	14,4	15	14,5
San Cristóbal											13,5	13,7	13	13,1	13	13,4	13,7	13,2
Suba	10,6						12,6	13,2	13,7	12,9			14	14,3	14,3	14,6	15	14,6
Tunal										14,6		13,2	13,4	13	13,1	13,5	14,4	13,4
Usaquén									11,9	14,5	15,1	14,4	14,4	14,8	14,7			13,2
Usme							11,8	12,5	13,4									
Vitelma								11,7	11,5		12,9							
Promedio	13,5	14,8	14,9	14,5	14,2	15,0	12,9	12,7	13,4	14,5	14,5	14,1	14,1	14,3	14,3	14,6	15,0	14,4

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

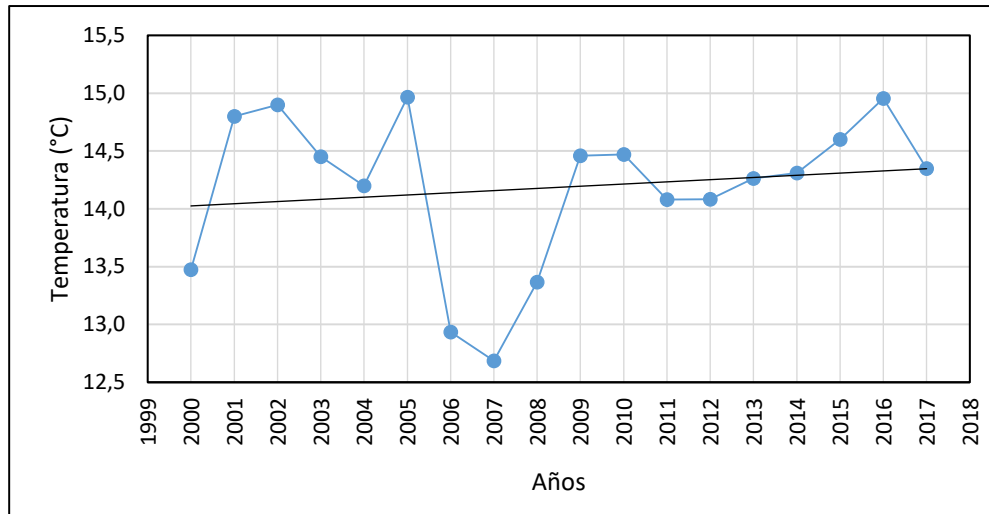
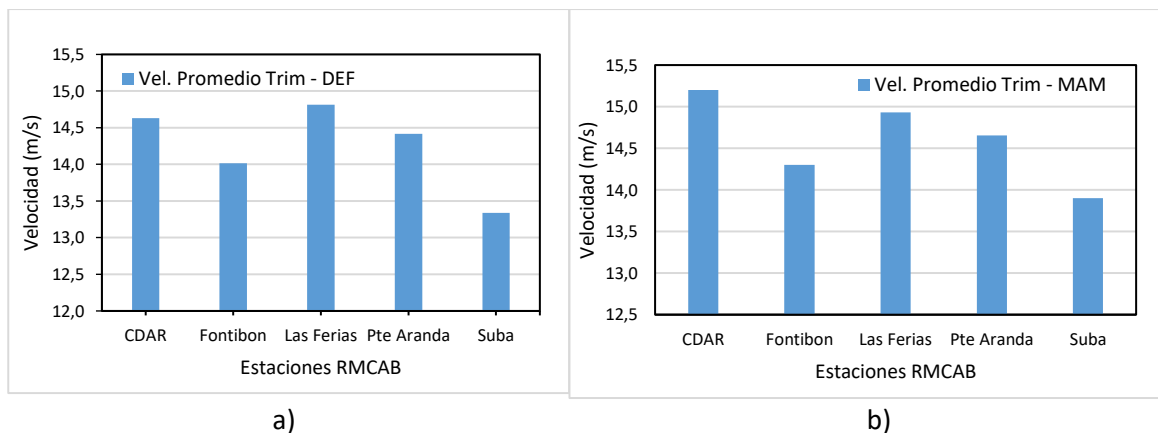


Figura 9-29. Comportamiento histórico de la temperatura desde 2000 a 2017

9.4.2. Variación Trimestral de la Temperatura

La Figura 9-30 describe el comportamiento de los promedios trimestrales históricos por estación, desde 2000 a 2017. En dicha figura se observa que los trimestres ligeramente más cálidos son MAM y SON; en tanto que los más fríos DEF y JJA. Este comportamiento obedece a la mayor disponibilidad de vapor de agua en la atmosfera el cual tiene potencial para absorber radiación saliente y retenerla en la baja atmosfera, propiciando temperaturas un poco más altas que en condiciones de cielo despejado.



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

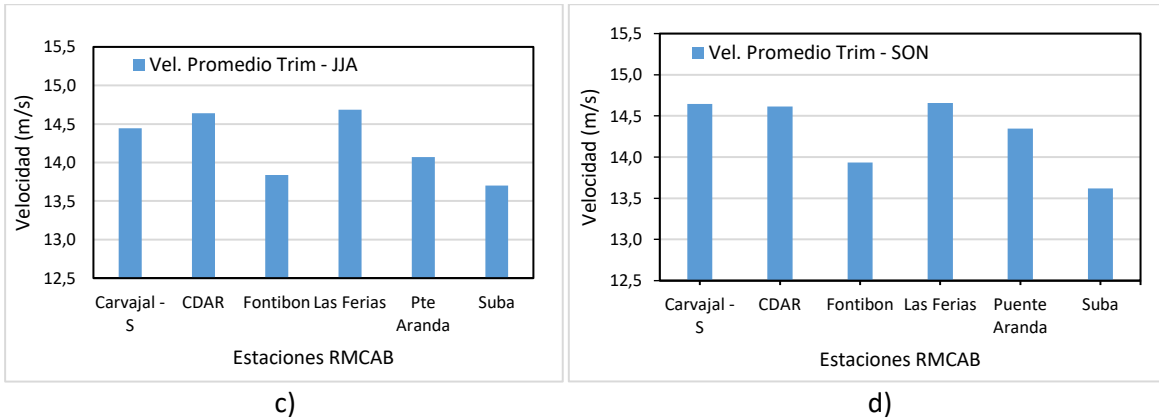


Figura 9-30. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017

Por otra parte, la Figura 9-31 describe el comportamiento temporal de los promedios trimestrales del periodo 2000 a 2017. En esta se observa que los años que han registrado los promedios trimestrales con las más altas temperaturas en la ciudad de Bogotá fueron 2003, 2005, 2010 y 2016. Contrariamente, los años más fríos 2000, 2004, 2008.

Es evidente como desde 2008 la temperatura superficial del aire en Bogotá no desciende a valores relativamente bajos como los ocurridos en los trimestres DEF de 2004 y 2008. Así mismo se confirma, aunque con algunas variaciones durante el periodo analizado, que los trimestres más calientes del año son MAM y SON. Es de notar que el trimestre DEF muestra valores superiores al trimestre MAM y SON en algunos años, pero es el trimestre en que se han registrado las más bajas temperaturas del periodo 2000 - 2017.

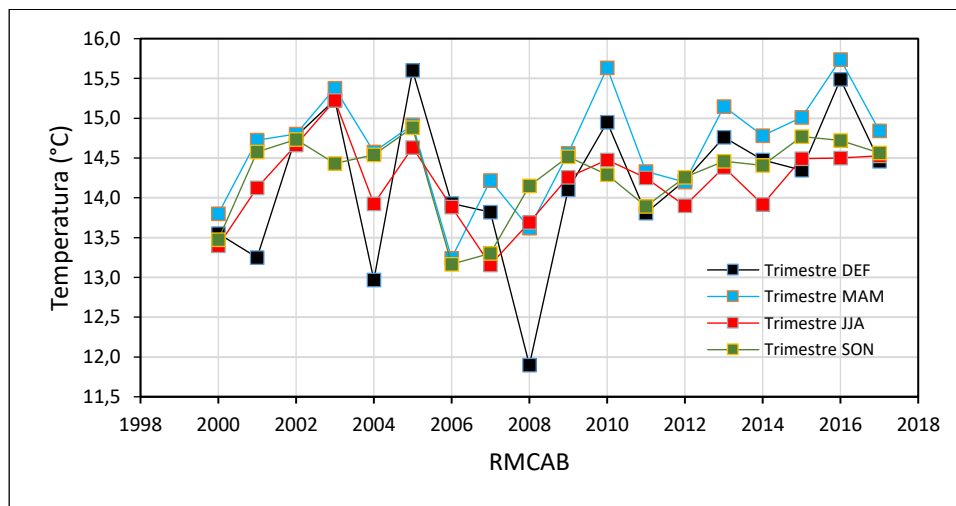


Figura 9-31. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2000 a 2017

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

9.4.3. Variación Mensual de la Temperatura Superficial

En la Tabla 9-12 y Figura 9-32 se presentan los promedios mensuales multianuales de temperatura superficial de la ciudad de Bogotá, de acuerdo con los registros de la RMCAB. De aquí es deducible que el mes de marzo ha sido históricamente el más caliente del año, lo que coincide con los promedios trimestrales antes referidos; no obstante, los más fríos se mueven entre los meses de enero, julio y agosto, lo cual puede estar relacionado con la cobertura nubosa y la disponibilidad de vapor de agua, el cual tiene la capacidad de atrapar la energía radiativa de la Tierra (efecto invernadero), propiciando temperaturas más cálidas en superficie, que en periodos secos y desprovistos de cobertura nubosa, cuando la atmosfera permite la fuga de la radiación terrestre y enfriamiento superficial del aire ambiente. De allí, que este patrón se relaciona con el ciclo estacional de la lluvia; es decir, en los periodos húmedos las temperaturas medias, son ligeramente mayores que en los periodos secos, no solo por la captura de radiación saliente del vapor de agua, sino por la liberación de calor latente en su proceso de enfriamiento. Considérese, que los episodios de heladas en la sabana de Bogotá ocurren con mayor frecuencia durante los meses de enero, los cuales se caracterizan por ser despejados.

Por otra parte, comparando el comportamiento de 2017 con el promedio histórico de temperatura registrado por la red para el periodo 2000-2016, se observa anomalía negativa (menor que el promedio multianual) durante el mes de marzo y positivas (mayores que el promedio multianual) en los meses restantes como se aprecia en la Tabla 9-12 y Figura 9-32.

Tabla 9-12. Temperatura RMCAB 2000 - 2017

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2000	12,4	12,5	15,0	13,5	13,7	13,9	13,1	13,2	13,1	13,6	13,7	13,2
2001	12,9	13,1	14,8	14,8	14,9	14,1	14,2	14,0	14,1	15,3	14,7	15,0
2002	14,3	15,1	14,9	14,7	15,3	14,6	14,8	14,5	14,7	15,0	14,6	15,1
2003	15,1	15,5	15,1	15,1	15,4	14,6	14,0	14,1	14,1	14,5	14,2	14,3
2004	13,6	13,2	13,9	13,6	14,1	13,8	13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	14,7
2005	15,2	15,9	15,8	16,0	15,8	14,4	14,4	14,3	14,9	14,8	15,0	14,5
2006	14,1	14,1	14,0	13,1	13,4	13,0	13,1	13,8	13,5	13,2	13,2	13,2
2007	14,2	13,6	14,2	14,7	13,5	13,0	13,0	13,2	13,7	13,4	13,0	12,3
2008	12,4	12,6	13,4	13,5	13,7	14,1	13,5	13,7	14,0	14,1	14,3	14,0
2009	14,0	14,2	14,3	14,7	14,6	14,5	14,0	14,6	14,6	14,4	14,8	14,6
2010	14,9	15,8	15,7	15,2	15,2	14,5	14,6	14,3	14,4	14,6	14,2	13,6
2011	13,9	14,0	13,9	14,2	14,7	14,6	13,9	14,1	13,9	13,8	13,9	14,3
2012	14,2	13,9	14,1	13,9	14,3	14,2	13,7	13,7	13,9	14,4	14,3	14,0
2013	14,4	14,3	14,9	14,9	14,6	14,5	13,6	13,9	14,3	14,0	13,9	14,2
2014	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,2	14,0	13,5	14,0	14,2	14,3	13,8
2015	14,0	14,6	14,8	14,9	15,0	14,1	14,3	14,5	14,6	14,9	15,0	14,5
2016	15,4	15,9	16,1	15,3	15,1	14,4	14,4	14,4	14,5	15,0	14,6	14,5

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

AÑOS	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2017	14,1	14,4	14,3	14,9	14,8	14,6	14,1	14,4	15,0	14,6	14,4	14,3
Promedio 2000-2017	14,1	14,3	14,7	14,5	14,6	14,1	13,9	14,0	14,2	14,3	14,3	14,1
Desviación Estándar	0,9	1,1	0,7	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7
Anomalías respecto a 2017	0,0	0,1	-0,4	0,4	0,2	0,5	0,2	0,4	0,8	0,3	0,1	0,2

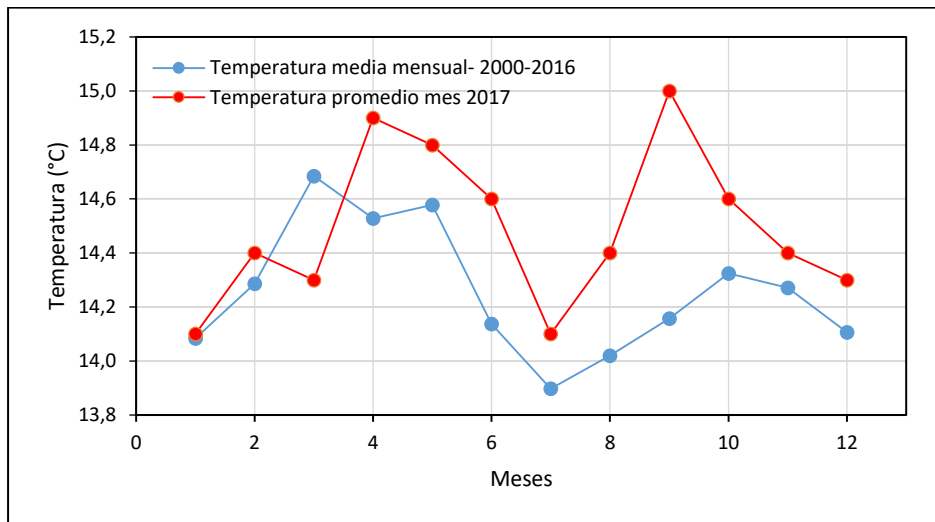


Figura 9-32. Comportamiento de la temperatura mensual multianual periodo 2000-2016 frente a 2017

En cuanto a las temperaturas extremas, la Figura 9-33 resume el comportamiento de los valores extremos absolutos (el valor más alto o más bajo del año por estación) de las temperaturas medias horarias durante el año 2017. De estos valores extremos se deduce que el sector de la ciudad donde se registró el valor más alto de temperatura fue el sector de Suba y la más baja hacia Guaymaral.

Por otra parte, se evidencia que la ciudad presentó variaciones importantes en la temperatura superficial en 2017, tanto en los máximos como en los mínimos, observándose un desplazamiento de las mínimas y las máximas que en algunos casos determinan una mayor amplitud térmica. Por ejemplo, ya no son frecuentes las heladas caracterizadas por presentar temperaturas inferiores al punto de congelación del agua, las cuales son proclives a ocurrir en días despejados y en bajo contenido de humedad en la atmosfera, como suele ocurrir en los meses de enero y febrero, como los registrados en febrero de 2007. Ver Tabla 9-13. Por el contrario, cada vez son más frecuentes temperaturas extremas superiores a los 25 °C, como las reportadas en la Tabla 9-14.

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 9-13. Registro de heladas en la estación de Suba y bajas temperatura en la estación Carvajal-Sevillana en 2007

Fecha / Hora	Temperatura (°C)	
	Carvajal - Sevillana	Suba
04/02/2007 01:00	5,3	0,8
04/02/2007 02:00	4,1	-0,3
04/02/2007 03:00	3,1	-2,6
04/02/2007 04:00	2,4	-2,6
04/02/2007 05:00	1,7	-2,2
04/02/2007 06:00	1,3	-3,3
04/02/2007 07:00	1,3	-4,6
04/02/2007 08:00	5,7	0,1

Tabla 9-14. Temperaturas extremas año 2017

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	25,6	6,8	18,8
Centro de Alto Rendimiento	26,0	3,3	22,7
Guaymaral	24,8	2,2	22,6
Kennedy	25,3	6,8	18,5
Las Ferias	23,6	5,4	18,2
Puente Aranda	23,2	7,7	15,5
San Cristóbal	22,8	4,9	17,9
Suba	27,0	2,9	24,1
Tunal	24,4	2,6	21,8

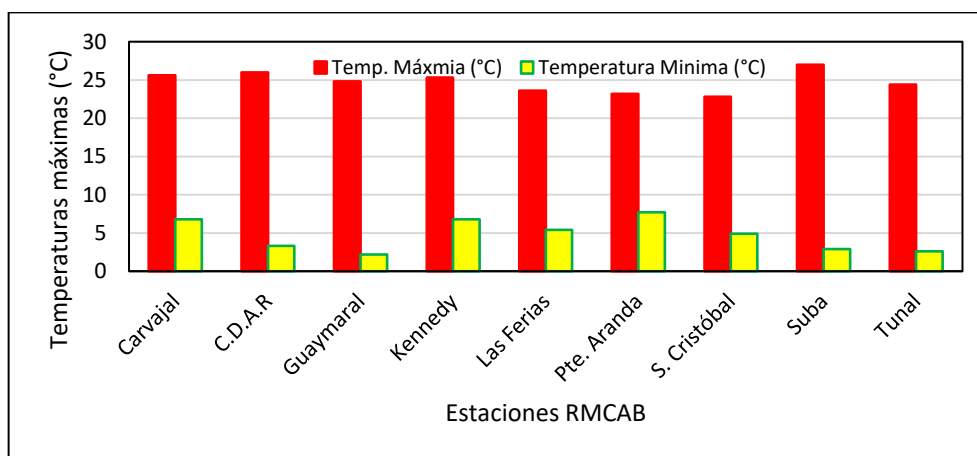


Figura 9-33. Temperaturas medias extremas año 2017

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

Lo importante de los casos de bajas temperaturas en relación con contaminación atmosférica es su estrecha relación con los episodios de contaminación en la ciudad y la ocurrencia de alertas por incremento en las concentraciones de contaminantes atmosféricos. Estos contaminantes se quedan atrapados en la baja atmosfera de la ciudad por las eventuales inversiones de la temperatura ambiente a nivel superficial, y consecuente descenso de la capa limite, que probablemente se traducen en incremento de las concentraciones de los contaminantes, toda vez que la cantidad de aire limpio disponible para mezclar es menor que en condiciones normales.

9.4.4. Variación horaria de la Temperatura Superficial

En la Figura 9-34 se describe el comportamiento de las temperaturas medias máximas absolutas horarias por estación de la RMCAB durante el año 2017. La temperatura máxima media absoluta anual (la media más alta registrada en cada estación durante todo el año), ocurrió en orden de magnitud, en las estaciones de Suba, CDAR, Guaymaral y Carvajal, con valores que superaron los 20,1 °C. En cuanto a las mínimas medias absolutas, estas se presentaron hacia los extremos de la ciudad, al sur y al centro.

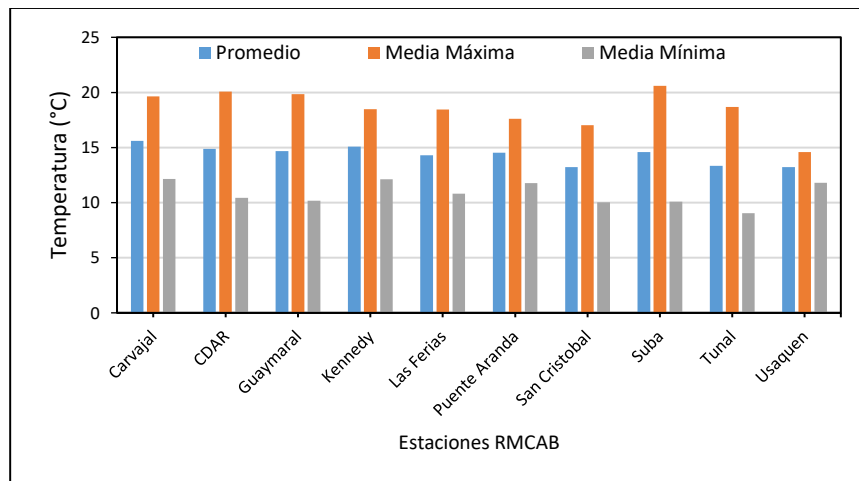


Figura 9-34. Temperaturas medias y medias extremas año 2017

Continuando con el comportamiento horario de la temperatura superficial, en la Figura 9-35 se presenta el perfil de temperatura media, media máxima y media mínima. De acuerdo con este perfil, a las 6 am se presentaron las temperaturas más bajas del año, en tanto que las más altas a la 1 pm.

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

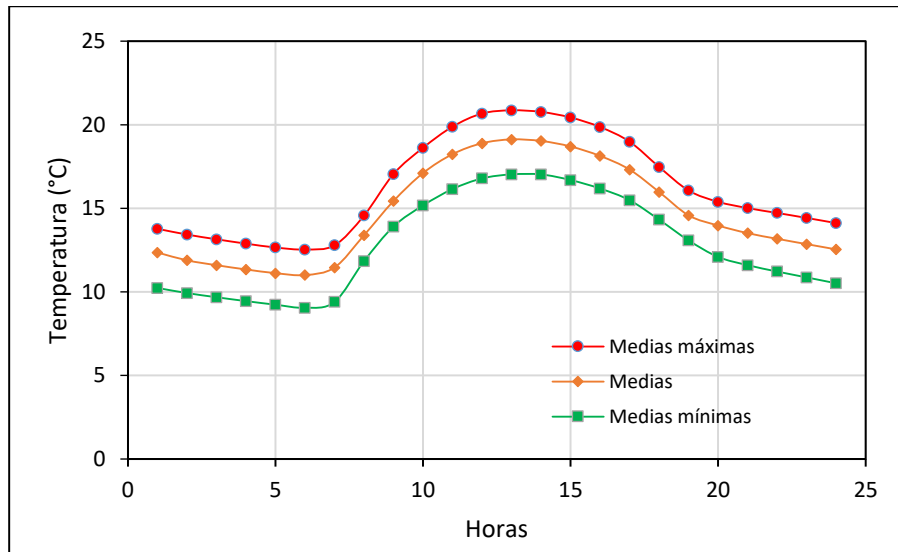


Figura 9-35. Perfil horario máximas, medias y mínimas medias 2017

9.4.5. Distribución espacial de la Temperatura

La distribución espacial de la temperatura superficial media de la ciudad de Bogotá, se puede observar en la Figura 9-36 a). En este mapa, se observa que las mayores temperaturas del aire en superficie se presentaron hacia el occidente y centro geográfico de la ciudad, en tanto que las más bajas al suroriente. El mapa de anomalías a la derecha, representa la diferencia de las temperaturas medias del año 2017 frente al promedio multianual 2000 a 2016. De aquí se deduce que valores por encima de cero indica que, con respecto al promedio multianual, el año 2017 superó las temperaturas medias, en tanto que valores inferiores a cero, indican una disminución en la temperatura media multianual con respecto al año 2017. Así las cosas, el sector sur y noroccidental muestran anomalías positivas, indicando que en 2017 las temperaturas han superado las temperaturas medias multianuales. Por otra parte, el nororiente y suroriente de la ciudad, sector de Usaquén y San Cristóbal, precisan una reducción en las temperaturas medias en 2017, respecto de la media multianual. Cabe anotar que, en San Cristóbal la anomalía negativa poco significativa, lo que puede representar un área de la ciudad de Bogotá térmicamente estable.

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

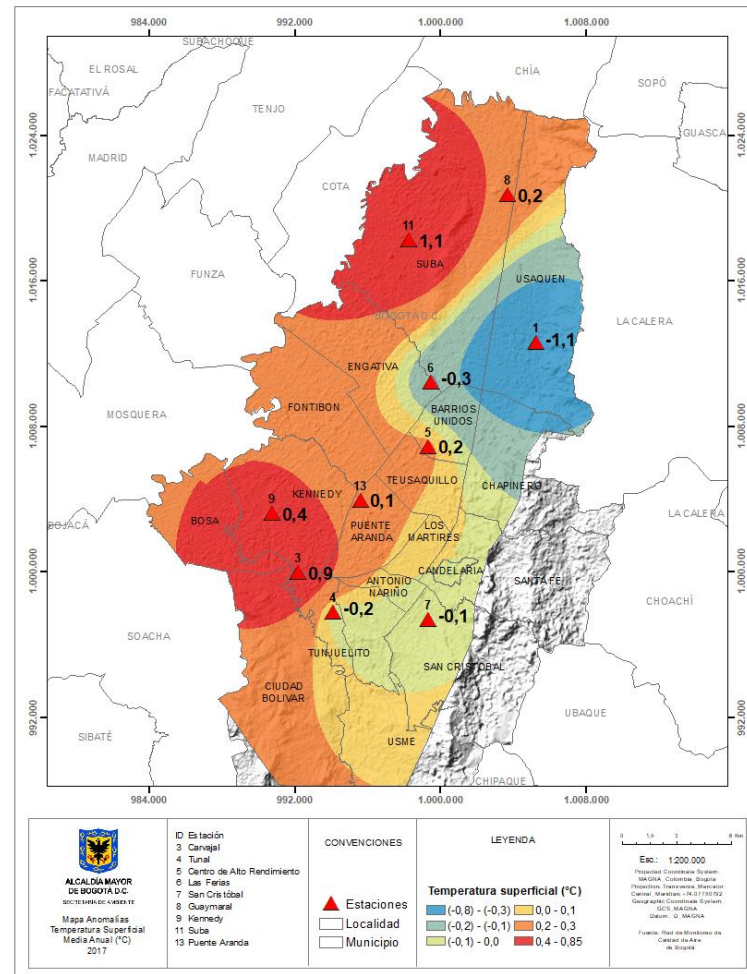
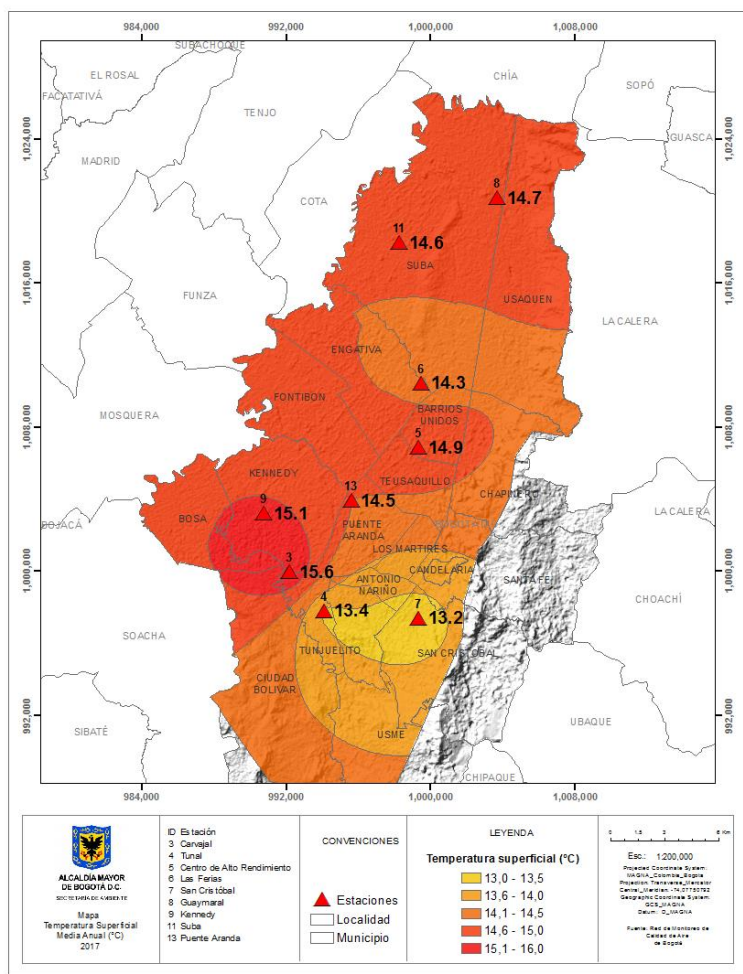


Figura 9-36. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB a la izquierda 2017. A la derecha Anomalías de la temperatura superficial 2017 respecto al promedio de 2016.

9.5. VARIACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL

9.5.1. Variación anual de la Radiación Solar Global

De acuerdo con los registros de la RMCAB, en la Tabla 9-15 se resume la cantidad de energía acumulada por hora en cada estación por cada año en W/m^2 desde 2009 hasta 2017. Ver además Figura 9-37. De acuerdo con estos registros, la mayor cantidad de radiación solar se recibió en 2016, correspondiendo con el año más caliente que se ha reportado en la última década. De manera opuesta, durante los años 2010, 2011 y parte de 2012, se presentó uno de los episodios La Niña, más intensos de esta década, lo que probablemente representó mayor cobertura de la bóveda celeste, y en consecuencia bloqueo del ingreso de radiación solar entrante, ocasionando una disminución en la cantidad de energía recibida en la ciudad.

Pese a lo anterior, es de anotar que el número de datos para promediar los años 2010 y 2011 no cumplen con el criterio de representatividad temporal; sin embargo, el registro del episodio La Niña, confirma los valores reportados por la RMCAB, en las tres estaciones que se observan en la Figura 9-15 y Figura 9-37.

Tabla 9-15. Radiación Solar acumulada anual en $GW\text{-año}/m^2$ periodo 2009 - 2017

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CDAR	1.476	1.293	1.338	1.466	1.470	1.411	1.521	1.545	1.347
Guaymaral	1.634	NA	1.364	1.582	1.552	1.506	1.487	1.682	1.642
Kennedy	NA	1.262	1.061	1.298	1.385	1.443	1.516	1.328	1.465
San Cristóbal	NA	NA	NA	835	NA	1.481	1.865	1.872	1.739
Tunal	NA	1.211	1.343	1.403	1.387	1.371	1.381	1.465	1.284
PROMEDIO	NA	1.256	1.276	1.288	1.447	1.363	1.470	1.499	1414,5

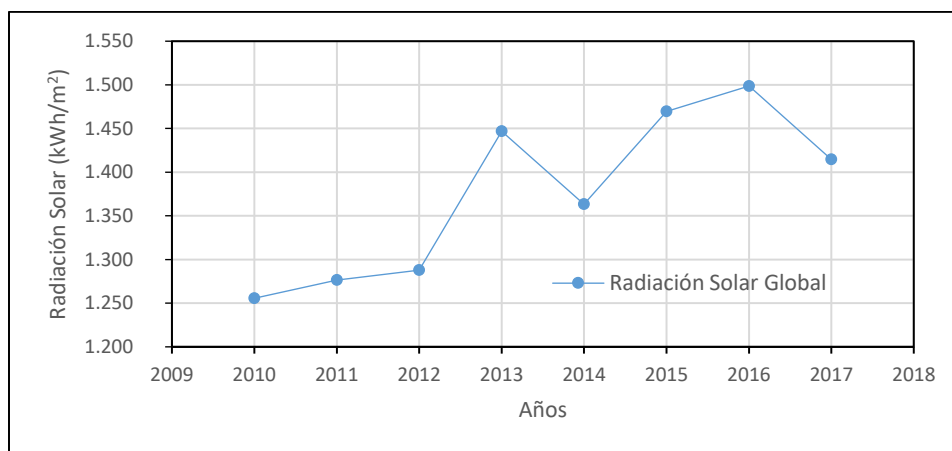


Figura 9-37. Radiación Solar Global ciudad - comportamiento acumulado promedio histórico multianual - 2009 a 2017

9.5.2. Variación Trimestral de la Radiación Solar Global

A continuación, se describe el comportamiento de los acumulados trimestrales de radiación solar, por estación para el periodo 2010 a 2017. En la Figura 9-38 se observa que el trimestre que mayor cantidad de radiación ha recibido durante la última década ha sido DEF y los sectores de la ciudad que han recibido mayor energía solar fueron el norte y el sur oriente, representados por las estaciones de San Cristóbal y Guaymaral, en orden de magnitud.

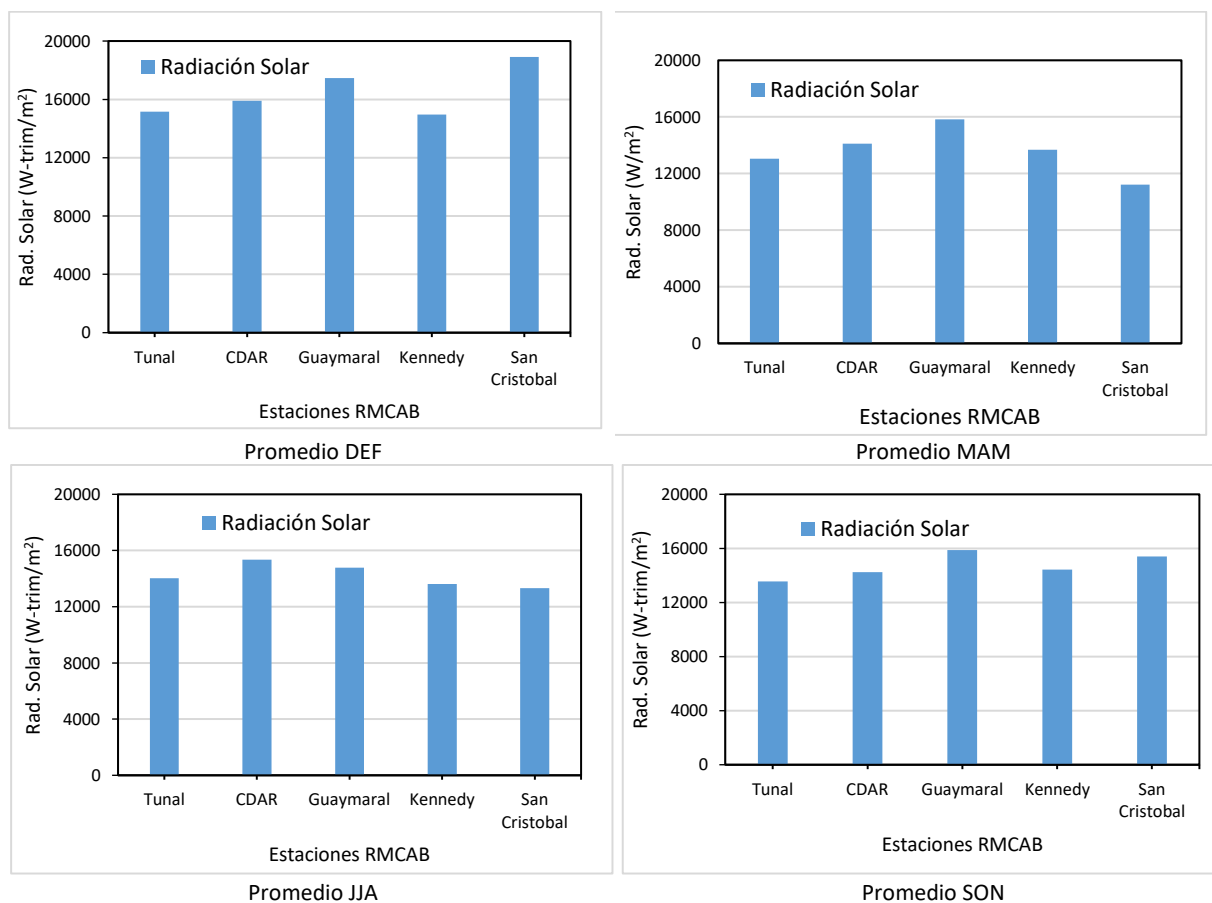


Figura 9-38. Comportamiento histórico Radiación Solar Global trimestral promediada por estación. 2010 a 2017

Por otra parte, en la Figura 9-30 confirma el comportamiento antes descrito dejando entrever que la mayor cantidad de energía acumulada ocurrió en 2010; por el contrario en 2017 se observa que los trimestres DEF y JJA presentaron una ligera disminución.

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

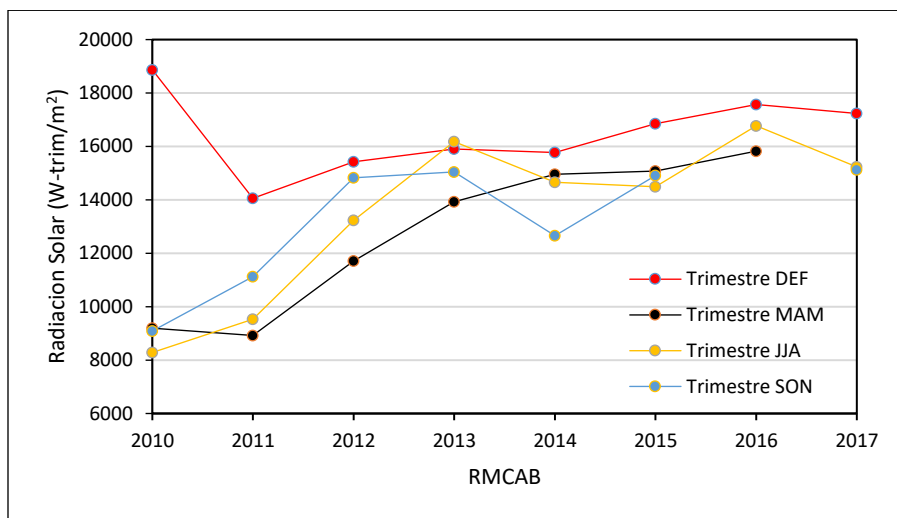


Figura 9-39. Comportamiento histórico del promedio de temperatura trimestral desde 2010 a 2017

9.5.3. Variación Mensual de la Radiación Solar

En la Tabla 9-11 se observan que en 2017 la estación donde se registró mayor cantidad de radiación en promedio mensual, fue San Cristóbal (5901 W-mes/m²) y que el mes que más energía acumuló fue febrero. Valores con N.A. no cumplen con el criterio de representatividad temporal del 75%.

Tabla 9-16. Radiación Solar promedio mensual - 2017

Estación	ene.-17	feb.-17	mar.-17	abr.-17	may.-17	jun.-17	jul.-17	ago.-17	sep.-17	oct.-17	nov.-17	dic.-17	Promedio (W-mes/m ²)
CDAR	5575	5395	N.A	4873	4393	4533	5200	5612	5543	5200	4705	N.A	5103
Guaymaral	6494	7120	5459	5677	4875	4636	4875	5978	5979	5329	5290	5403	5593
Kennedy	5038	6307	N.A	4871	4328	4253	4899	5423	5369	4998	4602	5575	5060
San Cristóbal	6080	6682	5112	6044	4959	5209	5557	6541	6926	5840	5535	6329	5901
Tunal	4484	5061	N.A	4157	4319	3586	4704	4250	N.A	3644	4045	N.A	4250
Promedio 2017	5534	6113	5286	5124	4575	4443	5047	5561	5954	5002	4835	5769	5181

9.5.4. Variación horaria de la Radiación Solar Global

La Tabla 9-17 y la Figura 9-40, resume el comportamiento horario promedio por estación y ciudad, durante 2017. Además del promedio la cantidad de radiación recibida por hora durante el año en cada estación; así mismo, se observa que en la ciudad la cantidad de radiación acumulada por día en promedio fluctuó entre 3561 a 4805 W/m².

Conforme al perfil observado en la Figura 9-40, la hora en la cual se alcanzó la máxima acumulación de radiación fue alrededor de la 1 pm del día con un valor promedio máximo de 574.3 W/m². Como

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

quiera que este perfil responde al ciclo diario del sol, los valores más bajos de radiación se presentan en las madrugadas y las noches.

Tabla 9-17. Radiación Solar promedio anual a 2017 (W/m²)

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal	Tunal	Promedio ciudad
01:00	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,1
02:00	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1
03:00	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1
04:00	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1
05:00	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1
06:00	1,3	1,4	1,1	1,3	1,0	1,2
07:00	59,4	52,8	45,1	50,3	42,2	49,9
08:00	209,8	225,6	176,0	202,4	153,7	193,5
09:00	363,8	414,1	321,3	383,2	278,1	352,1
10:00	487,9	554,4	451,1	553,3	384,9	486,3
11:00	539,8	618,5	524,5	668,4	448,0	559,8
12:00	562,6	598,3	533,8	689,1	487,5	574,3
13:00	547,3	576,5	546,7	631,3	469,8	554,3
14:00	495,4	532,9	526,7	585,5	459,9	520,1
15:00	409,6	445,0	428,7	473,2	381,9	427,7
16:00	297,7	321,2	303,4	342,6	268,8	306,7
17:00	166,4	178,8	170,6	182,9	148,1	169,4
18:00	45,2	49,0	43,2	40,2	36,8	42,9
19:00	0,5	1,9	0,7	0,6	0,5	0,8
20:00	0,0	1,0	0,1	0,1	0,0	0,2
21:00	0,0	0,8	0,1	0,1	0,0	0,2
22:00	0,0	0,6	0,1	0,1	0,0	0,2
23:00	0,0	0,6	0,0	0,1	0,0	0,1
24:00	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,1
Acumulado	4187	4575	4073	4805	3561	

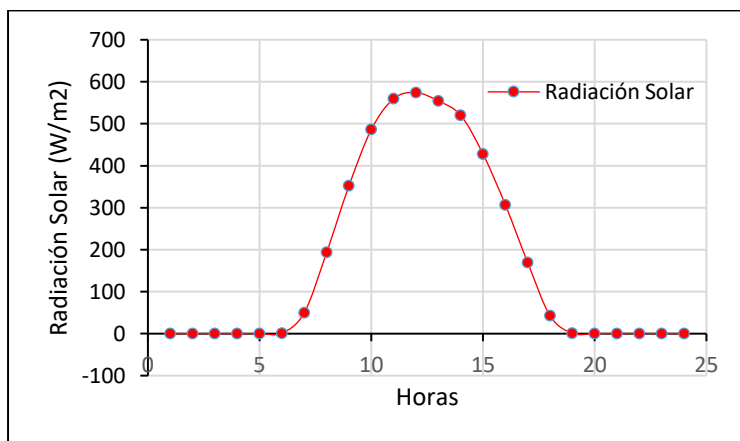


Figura 9-40. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio ciudad – 2017

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

Por otra parte, la Figura 9-35 describe el perfil horario de la radiación solar en diferentes sectores de la ciudad durante el año 2017, representado por las estaciones de Guaymaral, San Cristóbal, Tunal, Kennedy y CDAR. De esta figura es deducible que las menores cantidades de radiación solar se reciben hacia el sector del Tunal; contrariamente ocurre en sectores como San Cristóbal y Guaymaral.

Es importante anotar que la radiación solar entrante es la responsable de muchos procesos, entre ellos el calentamiento del suelo y la consecuente activación de los vientos en la ciudad, que contribuyen con la remoción de los contaminantes que diariamente son descargados por sus distintas actividades productivas. Además, es el que favorece la formación de Ozono a nivel superficial producto de complejas reacciones entre los Óxidos de Nitrógeno (producto de combustión interna de combustibles fósiles) y la radiación ultra violeta del sol; este ozono en bajos niveles de la atmosfera resulta nocivo para los ciudadanos y deteriora los materiales.

De allí que, probablemente las mayores concentraciones de Ozono de la ciudad se presentaron hacia dichos sectores, a causa de la mayor cantidad de energía solar entrante, como se observa en la Figura 9-42.

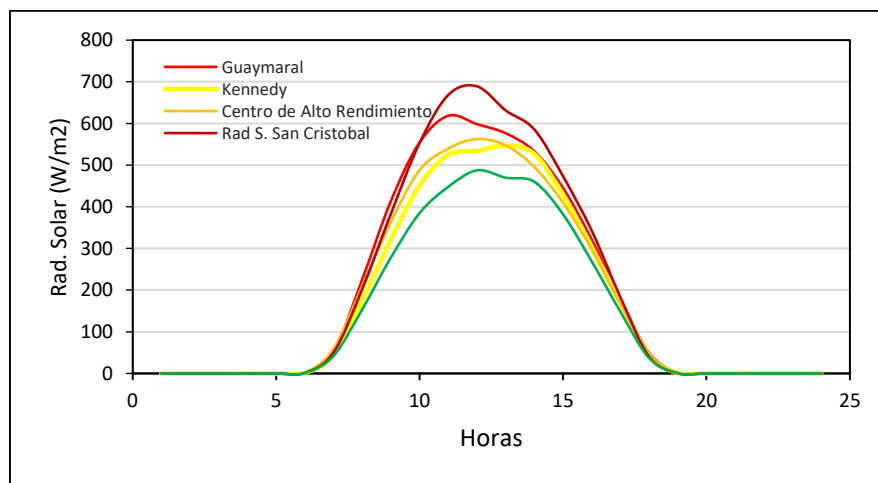


Figura 9-41. Perfil horario de Radiación Solar Global promedio por estación - 2017

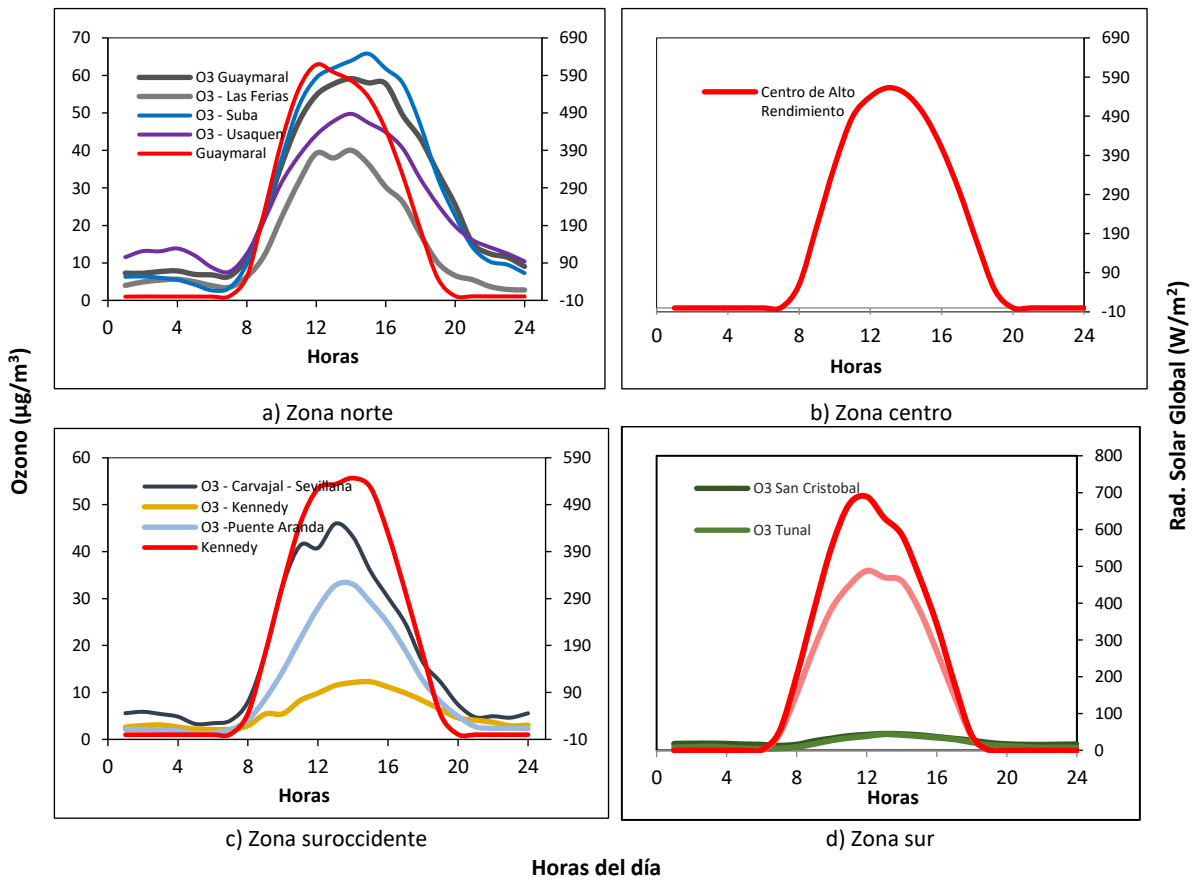


Figura 9-42. Comportamiento horario de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y su relación con la Radiación Solar entrante (W/m^2).

9.6. VARIACION DE LA PRESION ATMOSFERICA

9.6.1. Variación Trimestral de la Presión Atmosférica

A continuación, se describe el comportamiento trimestral de la presión atmosférica, para el periodo 2009 a 2017. Ver Figura 9-43.

Se observa que los trimestres DEF y MAM registraron las más bajas presiones de la década entre los años 2011 y 2014; en tanto que el trimestre JJA las más altas. Las altas presiones observadas en todos los trimestres en 2016, se corresponden con los eventos El Niño más fuerte de las últimas dos décadas, es decir los ocurridos entre 2009 a 2010 y 2015 a 2016.

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

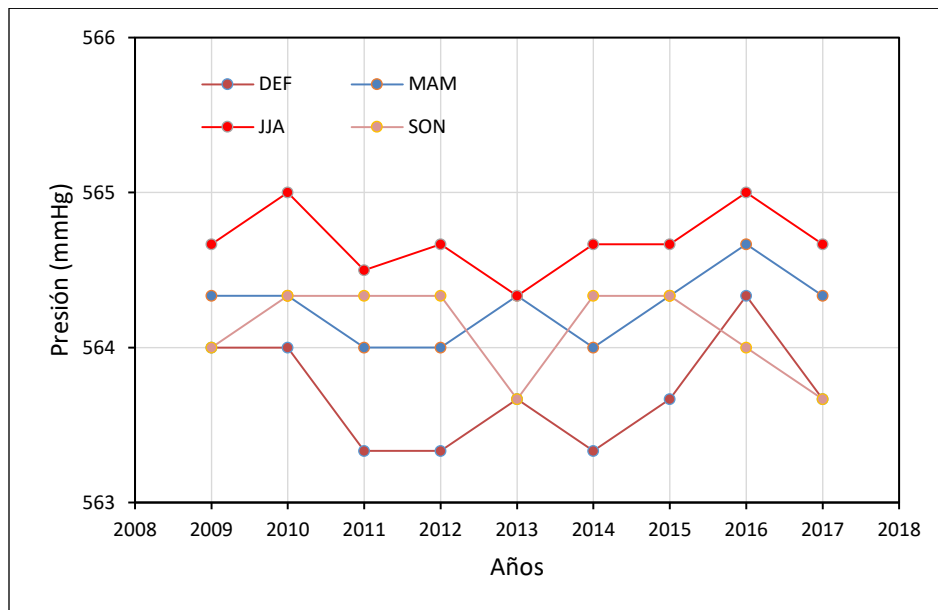


Figura 9-43. Comportamiento histórico del promedio de la Presión Atmosférica trimestral desde 2009 a 2017

9.6.2. Variación horaria de la Presión Atmosférica

La Tabla 9-18 y la Figura 9-40, resume el comportamiento temporal promedio horario de la presión atmosférica por estación y su perfil horario.

Conforme al perfil observado en la Figura 9-44, los descensos de presión entre las 3 a 6 pm, está estrechamente relacionado con la mayor probabilidad de ocurrencia de los eventos de precipitación en la ciudad, como se observa en la Figura 9-13.

Tabla 9-18. Presión atmosférica promedio anual a 2017 (mmHg)

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal
01:00	563	564	564	565
02:00	562	564	564	565
03:00	562	564	563	564
04:00	562	564	563	564
05:00	562	564	563	564
06:00	562	564	564	565
07:00	563	564	564	565
08:00	563	565	564	565
09:00	563	565	565	566
10:00	563	565	565	566
11:00	563	565	565	565
12:00	563	564	564	565
13:00	562	564	564	564
14:00	562	563	563	564

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

Hora	CDAR	Guaymaral	Kennedy	San Cristóbal
15:00	561	563	563	563
16:00	561	563	562	563
17:00	561	563	562	563
18:00	561	563	563	563
19:00	562	564	563	564
20:00	562	564	564	564
21:00	563	565	564	565
22:00	563	565	564	565
23:00	563	565	565	565
00:00	563	565	564	565

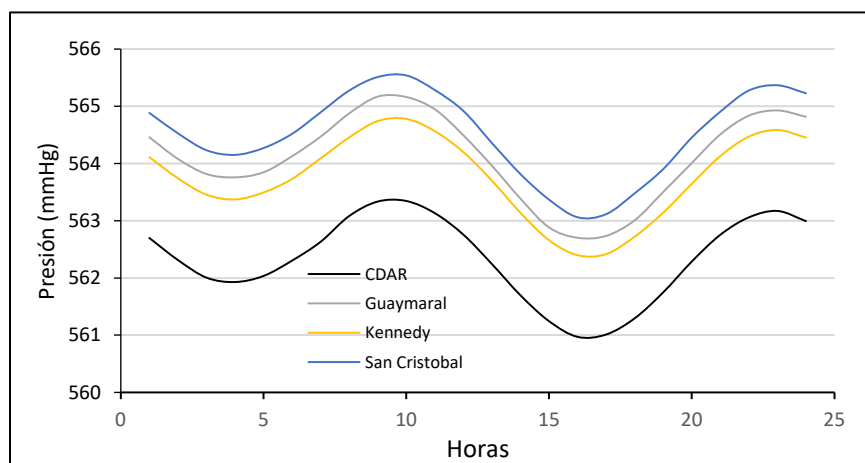


Figura 9-44. Perfil promedio horario de la presión atmosférica por estación – 2017

9.7. VARIACION DE LA HUMEDAD DEL AIRE

El contenido de vapor de agua en el aire ambiente determina cuán húmeda se encuentra la atmosfera. La humedad del aire ha sido medida por la RMCAB en las estaciones que se observan en la Tabla 9-19. En consideración a lo anterior, a continuación se describe el comportamiento temporal de la humedad del aire ambiente para el periodo 2009 a 2017.

La humedad del aire juega un papel importante en los procesos de reducción o transformación de sustancias contaminantes del aire. Su rol se sustenta en el hecho que puede contribuir con la decantación o deposición de material particulado o, en su defecto, reaccionar con gases derivados de la combustión de hidrocarburos, tales como los SO_x y NO_x, los cuales se condensan y pueden precipitar en forma de rocío, llovizna o lluvia ácida.

9.7.1. Variación anual de la humedad del aire

En la Tabla 9-19 se resume el comportamiento anual de la humedad del aire en la ciudad de Bogotá para el periodo 2010 – 2017. Los valores ausentes en esta tabla, corresponden a la serie temporal que no cumple con el criterio de representatividad temporal. De la Tabla 9-19 y la Figura 9-45 llama la atención la disminución de la humedad del aire en 2015; la cual, respecto a 2010 se redujo en un 26%. Esta disminución se relaciona estrechamente con el episodio El Niño de 2015. Análogamente, los altos contenidos de humedad en 2009 y 2010, se relaciona con el Episodio La Niña, para el mismo periodo.

Tabla 9-19. Humedad promedio multianual – 2017

ESTACIÓN	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	PROMEDIO
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Centro de Alto Rendimiento	69	71	69	66	67	67	62	70	68	67.7
Guaymaral	72	N.A	65	63	63	66	64	69	68	66.3
Kennedy	68	69	70	66	66	65	57	67	65	65.9
Las Ferias	66	67	67	64	63	63	57	64	64	63.9
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	61	N.A	59	55	59	72	61.2
Tunal	67	68	67	64	64	63	58	64	62	64.1
PROMEDIO	68.4	68.8	67.6	64.0	64.2	63.3	58.0	64.4	65.3	65.3

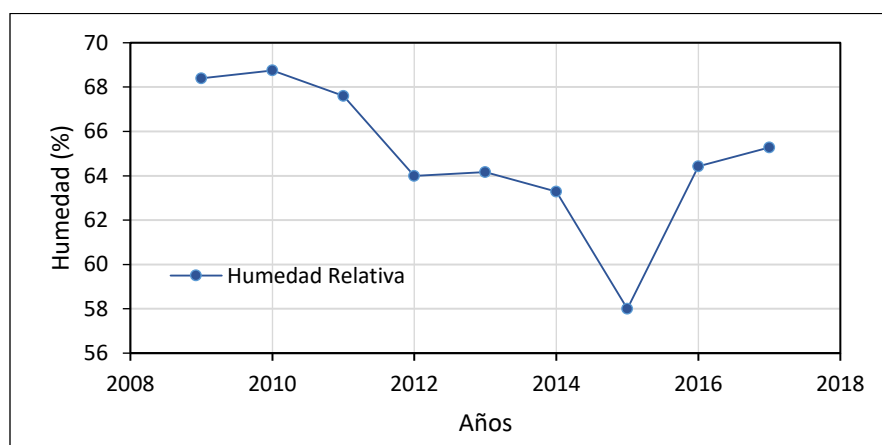


Figura 9-45. Comportamiento histórico del promedio multianual de la humedad - periodo 2009 a 2017

9.7.2. Variación Trimestral de la humedad del aire

En la Figura 9-46 se observa la evolución trimestral de la humedad del aire para el periodo 2009 a 2017. En términos generales la humedad del aire ha mostrado una tendencia al descenso. En

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

promedio el trimestre más húmedo ha sido MAM, superado en algunos años por el trimestre SON, los cuales representan los dos periodos de lluvia más abundantes de la ciudad. Los años más secos, coinciden con la ocurrencia del episodio El Niño ocurrido entre finales de 2014, todo 2015 y principios de 2016; entre tanto si se evalúa el primer trimestre de 2010 (DEF), este coincide con el Índice Oceánico de El Niño, en cuanto a que dicho trimestre fue seco, pero el resto del año, fue húmedo. En lo que respecta al año 2017, se aprecia un ligero incremento en el contenido de humedad del aire desde 2016. Ver Tabla 9-20, Tabla 9-21, Tabla 9-22 y Tabla 9-23.

Tabla 9-20. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (DEF) – 2017

Estación	DEF-2009	DEF-2010	DEF-2011	DEF-2012	DEF-2013	DEF-2014	DEF-2015	DEF-2016	DEF-2017
Tunal	69	60	67	66	62	62	62	58	62
CDAR	71	67	69	68	67	67	66	64	68
Las Ferias	68	60	67	65	63	63	62	59	62
Guaymaral	76	69	66	63	62	62	67	64	67
Kennedy	71	62	70	68	65	65	63	60	65
San Cristobal	N.A	N.A	N.A	N.A	59	57	58	54	58
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	71.0	63.6	67.8	65.8	63.0	62.3	63.0	59.8	62.7

Tabla 9-21. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (MAM) – 2017

Estación	MAM-2009	MAM-2010	MAM-2011	MAM-2012	MAM-2013	MAM-2014	MAM-2015	MAM-2016	MAM-2017
Tunal	68	69	70	67	65	63	63	64	65
CDAR	69	72	69	69	68	68	67	69	70
Las Ferias	67	67	69	67	65	63	62	64	65
Guaymaral	75	74	66	64	64	63	67	70	70
Kennedy	70	70	71	69	67	66	64	66	67
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	62	59	59	59	60	62
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	69.8	70.4	69.0	66.0	64.9	63.3	63.7	64.6	65.6

Tabla 9-22. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (JJA) – 2017

Estación	JJA-2009	JJA-2010	JJA-2011	JJA-2012	JJA-2013	JJA-2014	JJA-2015	JJA-2016	JJA-2017
Tunal	66	69	65	64	62	63	63	61	63
CDAR	65	72	65	64	64	65	64	64	67
Las Ferias	63	67	64	62	61	61	61	60	62
Guaymaral	73	69	63	62	61	68	67	67	68
Kennedy	66	70	66	64	62	62	62	62	63
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	59	58	61	60	59	70
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	71.76	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	66.6	69.4	64.6	62.6	62.6	62.9	62.0	61.3	64.3

Tabla 9-23. Contenido de humedad del aire promedio trimestral multianual (SON) – 2017

Estación	SON-2009	SON-2010	SON-2011	SON-2012	SON-2013	SON-2014	SON-2015	SON-2016	SON-2017
Tunal	65	70	68	61	63	64	60	64	63
CDAR	68	71	71	66	67	69	65	69	68
Las Ferias	63	69	68	63	63	64	60	64	63
Guaymaral	72	N.A	65	63	63	69	66	70	69
Kennedy	66	72	72	65	66	65	62	66	65
San Cristóbal	N.A	N.A	N.A	59	N.A	59	56	61	66
Bolivia	N.A	N.A	N.A	N.A	75.29	N.A	N.A	N.A	N.A
PROMEDIO	66.8	70.5	68.8	63.1	65.8	64.3	60.6	64.7	64.6

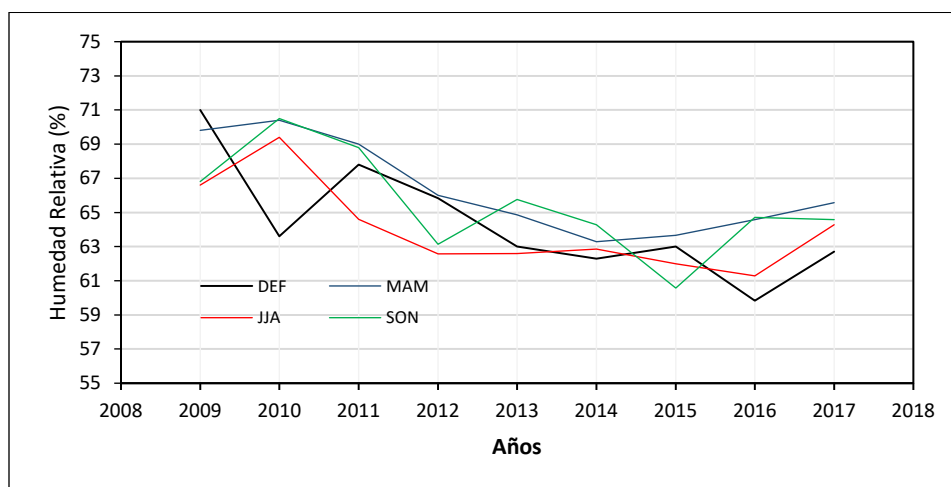


Figura 9-46. Comportamiento histórico del promedio trimestral de la humedad - periodo 2009 a 2017

9.7.3. Comportamiento horario de la humedad del aire.

La Tabla 9-17 resume el comportamiento temporal promedio horario de la humedad del aire ambiente de la ciudad de Bogotá, durante el año 2017, y su perfil horario. De acuerdo con dicho perfil es de notar el descenso de en el contenido de humedad entre las 9 am y las 6 pm, debido al calentamiento del aire por parte del sol en horas donde la intensidad de la radiación solar es más fuerte. Este calentamiento, incrementa su capacidad de contener vapor de agua por unidad de masa, lo que se traduce en resequedad del aire y en consecuencia la disminución relativa de su cantidad de vapor de agua, como se observa en la Figura 9-47. Por el contrario, cuando las temperaturas descienden, su capacidad de contener vapor de agua se reduce, y en consecuencia, tiende a saturarse alcanzando sus mayores valores de contenido de vapor de agua por unidad de masa, favoreciendo la condensación y mayor probabilidad de lluvias.

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 9-24. Humedad promedio horario anual – 2017 (%)

Hora	Carvajal - Sevillana	CDAR	Guaymaral	Kennedy	Las Ferias
1:00	78,9	65,2	71,3	72,0	72,4
2:00	80,0	66,0	72,4	72,9	73,1
3:00	80,5	66,9	73,4	73,5	73,6
4:00	81,2	67,7	74,0	73,9	74,0
5:00	81,5	68,4	74,5	74,4	74,4
6:00	81,6	68,8	74,5	74,6	75,0
7:00	80,2	68,4	73,0	73,8	74,4
8:00	71,1	64,8	66,8	68,5	66,9
9:00	60,2	56,7	58,6	62,4	58,3
10:00	54,0	49,2	52,6	57,8	52,3
11:00	50,7	45,1	49,1	53,9	48,6
12:00	49,1	43,0	47,1	51,9	46,8
13:00	50,0	43,3	47,5	51,7	46,7
14:00	51,3	44,5	49,1	52,3	47,3
15:00	53,5	46,3	51,1	54,1	48,9
16:00	55,9	48,5	53,6	56,2	51,1
17:00	59,1	51,1	56,5	58,8	53,5
18:00	64,7	55,6	60,6	62,5	58,3
19:00	70,2	59,6	64,9	66,2	64,9
20:00	73,2	61,4	66,9	67,5	68,3
21:00	74,7	62,0	67,7	68,7	69,8
22:00	76,0	62,6	68,4	69,7	70,7
23:00	76,9	63,3	69,3	70,4	71,4
24:00	78,0	64,1	70,2	71,2	71,9
Promedio	68,0	58,0	63,0	65,0	63,0

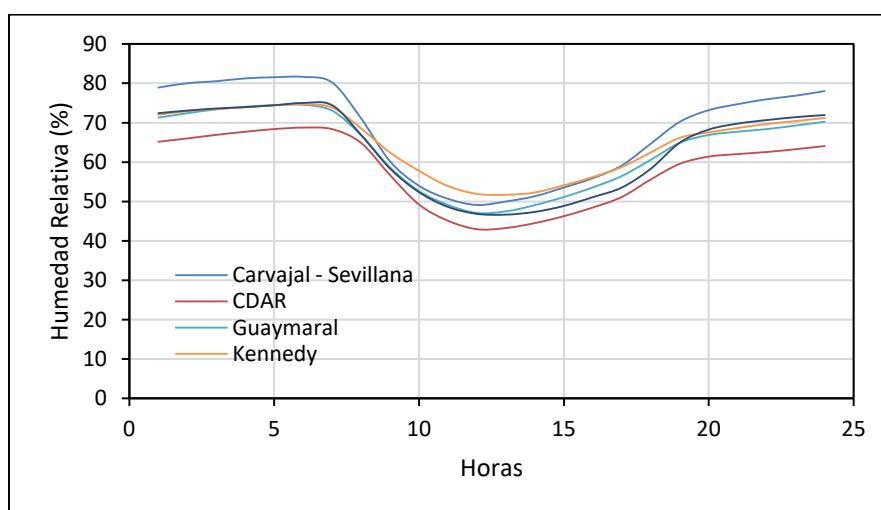


Figura 9-47. Perfil promedio horario de la humedad del aire por estación – 2017

10 MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD

10.1 GENERALIDADES

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), a través de la Subdirección de Calidad de Aire, Auditiva y Visual, realiza la modelación del transporte y transformación de contaminantes en la ciudad a través del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá (SIMCAB). Con el SIMCAB se busca estimar el destino y la distribución de concentración de contaminantes atmosféricos inventariados en la ciudad de forma horaria a una resolución espacial de 1 km², complementando la tarea de monitoreo desarrollada por la RMCAB.

Los resultados obtenidos por éste sistema de modelamiento dependen, como en todos los modelos, de la calidad de información introducida al modelo, entre ellas, meteorología global, calidad del inventario local de emisiones, entre otras variables. Es necesario destacar que todos los modelos de dispersión son una aproximación a muchos fenómenos en la atmósfera, pero no los representan totalmente, por tal motivo, todos los productos generados por el SIMCAB no son sustitutos a la información suministrada por la RMCAB.

El SIMCAB integra varios modelos y metodologías esquematizados en la Figura 10-1, los cuales se describen a continuación:

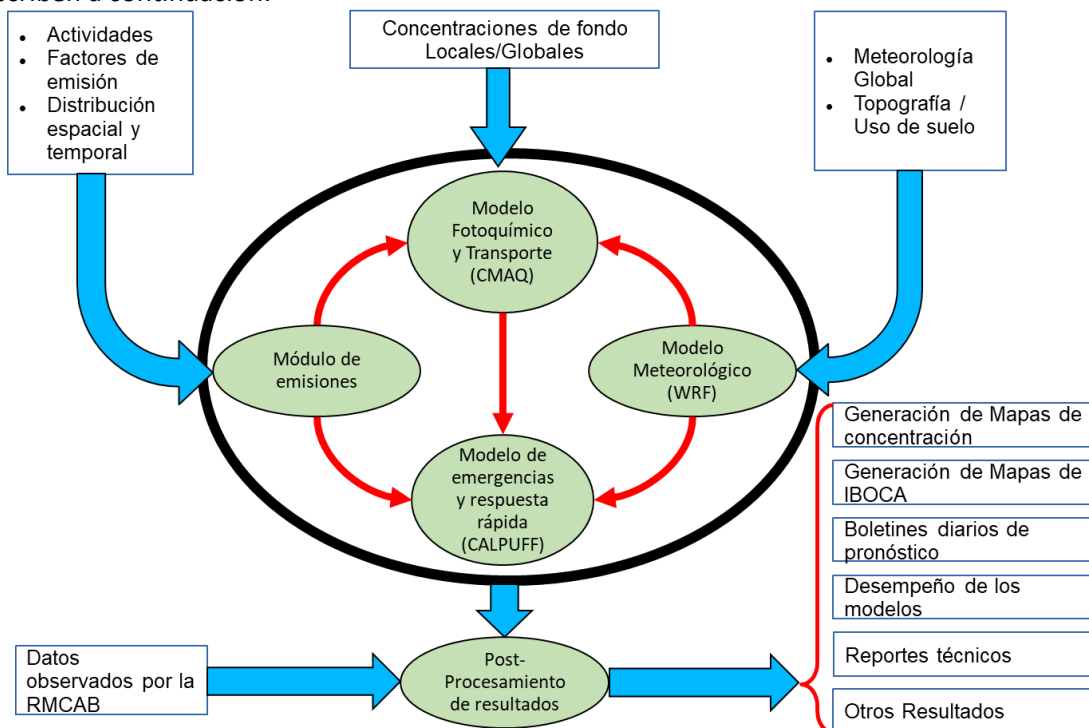


Figura 10-1. Esquema del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá

10.1.1 Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico que se emplea en la SDA es el modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model), el cual utiliza información del modelo global GFS (Global Forecast System), la topografía y el uso de suelo para realizar la predicción local de las condiciones meteorológicas sobre la ciudad. Los resultados de este modelo son transformados por medio del aplicativo MCIP al formato requerido por el modelo fotoquímico, y por medio de los aplicativos MMIF-CALMET para obtener la información meteorológica requerida por el Modelo de Emergencia y Respuesta Rápida de la ciudad.

10.1.2 Módulo de Emisiones

Se implementan los inventarios de emisiones de la ciudad, con el fin de definir la cantidad de contaminantes que se emiten por km² en cada hora del día. Éste módulo estima emisiones de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, y material particulado. Dichos inventarios dependen de las actividades sujetas a estimación, factores de emisión de contaminantes, y la distribución espacial y temporal de dichas emisiones. Adicionalmente, el módulo de emisiones permite estimar emisiones de fuentes no inventariadas que pueden incidir en la calidad de aire de la ciudad, como por ejemplo, el aporte de contaminantes generados por incendios en la ciudad o sus alrededores.

10.1.3 Modelo fotoquímico de transporte de contaminantes

El modelo fotoquímico utilizado es CMAQ (Community Multi-scale Air Quality), modelo desarrollado por la US-EPA (Agencia de Protección de Medioambiente de Estados Unidos) y es soportado y distribuido por la Community Modeling and Analysis (CMAS). Este modelo utiliza las salidas de los modelos meteorológicos y de emisiones y concentraciones de fondo globales y locales, en combinación con un conjunto de mecanismos químicos y físicos parametrizados dentro del modelo, para simular las transformaciones que ocurren en la atmósfera y la influencia de la dinámica meteorológica en estos procesos. Este modelo genera una distribución horaria de las concentraciones de diversos contaminantes sobre la ciudad, almacenados en formato NetCDF. El modelo fotoquímico es empleado con dos principales propósitos: (1) realizar el pronóstico diariamente de la calidad de aire sobre la ciudad con una ventana de pronosis de 48 horas, y (2) simular escenarios de emisiones para estimar sus impactos en la calidad de aire de la ciudad.

10.1.4 Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida

El SIMCAB tiene a su disposición como Modelo de Emergencias y Respuesta Rápida de Bogotá (MODERA) el modelo CALPUFF v6.42, instalado específicamente para simular eventos cuyas emisiones sean considerables para afectar la calidad de aire de la ciudad, pero que no hacen parte del inventario de emisiones, como incendios y quemas a cielo abierto. Este modelo permite ver, con base en la estimación de emisiones de dicho evento y las condiciones meteorológicas del día de ocurrencia, el movimiento de los contaminantes generados por dicho evento y, en conjunto con los

resultados obtenidos con el modelo fotoquímico, se estiman las concentraciones de calidad de aire sobre la ciudad, incluyendo dicho evento.

10.1.5 Post-procesamiento de Resultados

El post-procesamiento de resultados permite transformar los resultados obtenidos por los distintos modelos de dispersión, en productos tangibles y de reporte, como lo son la generación de mapas de concentración de contaminantes, mapas de IBOCA, boletines diarios de pronóstico de calidad de aire, reportes técnicos de simulación, entre otros resultados. En el post-procesamiento también se realiza una evaluación mensual del desempeño de los modelos fotoquímico y meteorológico, basado en los datos observados por la RMCAB y un ajuste constante de los resultados para tener concentraciones coherentes con los datos medidos por la RMCAB.

10.2 OBJETIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE MODELACIÓN DE CALIDAD DE AIRE DE BOGOTÁ

10.2.1 Objetivo General

El Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá (SIMCAB) tiene como principal objetivo estimar las concentraciones de diversos contaminantes de la ciudad, según inventarios de emisión y condiciones meteorológicas simuladas sobre Bogotá, buscando entender la dinámica de los contaminantes en la atmósfera de Bogotá

10.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el pronóstico diario de calidad de aire para la ciudad, con una ventana de pronosis de 48 horas.
- Simular los niveles de concentración de contaminantes en distintos escenarios de gestión y control de emisiones atmosféricas de la ciudad.
- Estimar concentraciones de contaminantes fuera del cubrimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá
- Dar respuesta rápida ante contingencias ambientales que afecten la calidad de aire de la ciudad.

10.3 MANEJO DE EMISIONES EN EL SIMCAB

El módulo de emisiones del SIMCAB se encarga de generar, procesar y ajustar el inventario de emisiones de fuentes contaminantes de la ciudad: Fijas, Móviles y Resuspendido. Un inventario de emisiones consolida la información concerniente a la cantidad de contaminantes generados por diferentes fuentes, dentro de un periodo de tiempo definido, que son liberados a la atmósfera. Adicionalmente, las emisiones se encuentran desagregadas espacialmente, de tal manera que sean procesadas por el modelo fotoquímico CMAQ.

A continuación se describe de manera general el manejo de las emisiones de la ciudad de Bogotá, con el fin de servir como información de entrada para el modelo de calidad del aire para Bogotá durante el año 2017.

10.3.1 Metodología de estimación de emisiones

Para la estimación de las emisiones que conforman el inventario de la ciudad se implementaron factores de emisión, los cuales permiten representar de forma más precisa la variabilidad temporal de las mismas. Los factores de emisión son valores representativos que relacionan la cantidad de contaminante liberado por medio de la ejecución de una actividad. A continuación se presenta la ecuación general establecida en el AP42 para el cálculo de emisiones (EPA, 1995):

$$E = A \cdot FE \cdot \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

E = Emisión

A = Actividad

FE = Factor de Emisión

ER = Eficiencia en reducción de emisiones (%)

En el cálculo de la emisión intervienen los Factores de emisión, así como una tasa de volumen, distancia, tiempo o peso del proceso o actividad emisora, y la eficiencia de los sistemas de control si se tiene. Las metodologías implementadas para el procesamiento de la información que permiten hallar un factor de actividad difieren por tipo de fuentes de contaminación, por tal motivo se presentan de manera independiente:

10.3.1.1. FUENTES MÓVILES

El inventario de emisiones generadas por la flota vehicular que transita por la calles de la ciudad depende de múltiples variables como lo son el incremento del parque automotor, el cambio de velocidades en las vías principales, la tasa de motorización, la infraestructura vial, el desarrollo urbanístico, los tiempos de viaje, entre otras; por ello es necesario estimarlo y actualizarlo de manera frecuente.

De acuerdo al uso que se le dé a la información se realizan dos tipos aproximación, la primera es una aproximación Top-Down la cual utiliza consideraciones globales que para éste caso consiste en tomar toda el área de trabajo como un todo, la segunda es una aproximación Bottom-Up que toma como bases datos específicos con cierto nivel de detalle o resolución, estimando emisiones para niveles desagregados para llevarlos finalmente a una emisión total para el área de estudio.

El proceso para la estimación de las emisiones generadas por las fuentes móviles se realiza en las siguientes etapas:

- Recopilación y definición de factores de emisión por contaminante y categoría vehicular. Los factores de emisión para fuentes móviles representan la cantidad de contaminantes

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

generados en función del combustible y tecnología vehicular del parque automotor de la ciudad. Dichos factores junto con su incertidumbre proviene de diferentes estudios realizados para el distrito capital ((Rodríguez & Behrentz, 2009); (Peñaloza & Rojas, 2010); (SDA, 2010); (Hernandez-Gonzalez & Jiménez, n.d.); (SDA & UNAL, 2013)). Para establecer los Factores de emisión de aquellas categorías agrupadas en los conteos vehiculares, se realiza una ponderación de acuerdo al número de vehículos reportados por el Registro Distrital Automotor (RDA).

- Determinación de la actividad vehicular y número de vehículos:

Por Top-Down

Se estima el número total de vehículos para cada una de las categorías vehiculares, teniendo en cuenta la información registrada por los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) y el Registro Distrital Automotor (RDA). En la Figura 10-2 se observa la distribución de la flota vehicular de la ciudad por categoría-

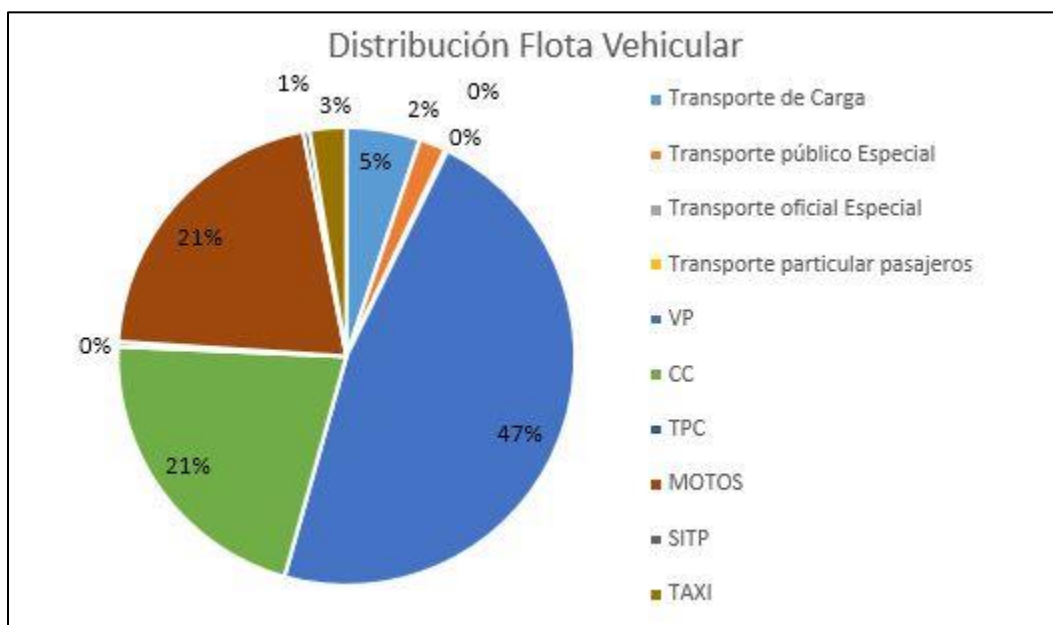


Figura 10-2 Distribución participación en la flota de la ciudad por categoría vehicular.

Por Bottom-Up

Se procesa la información de los aforos vehiculares realizados en intersecciones de vías arteriales de la ciudad. Para establecer la actividad vehicular en cada tipo de vía se usa información del uso del suelo determinado en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). En la Figura 10-3 se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de volúmenes vehiculares y la respectiva distribución de polígonos de Thiessen para llevar el número de vehículos a las vías secundarias, y en la Figura 10-4 un ejemplo de conteos vehiculares procesados.

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

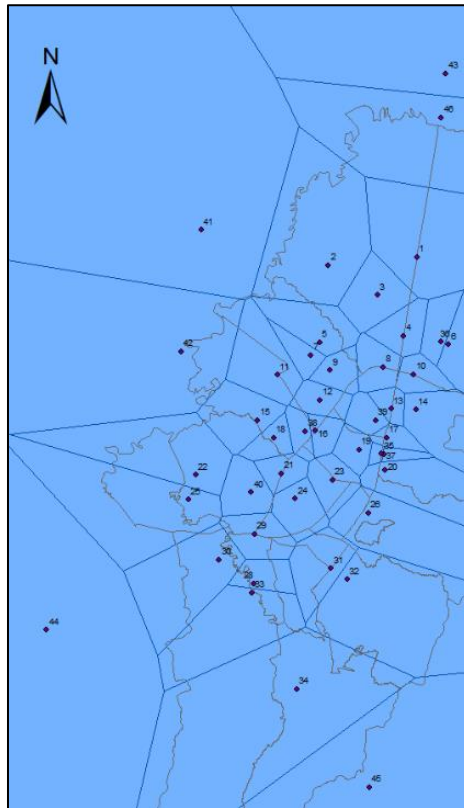


Figura 10-3 Ubicación estaciones de conteo vehiculares y polígonos de Thiessen.

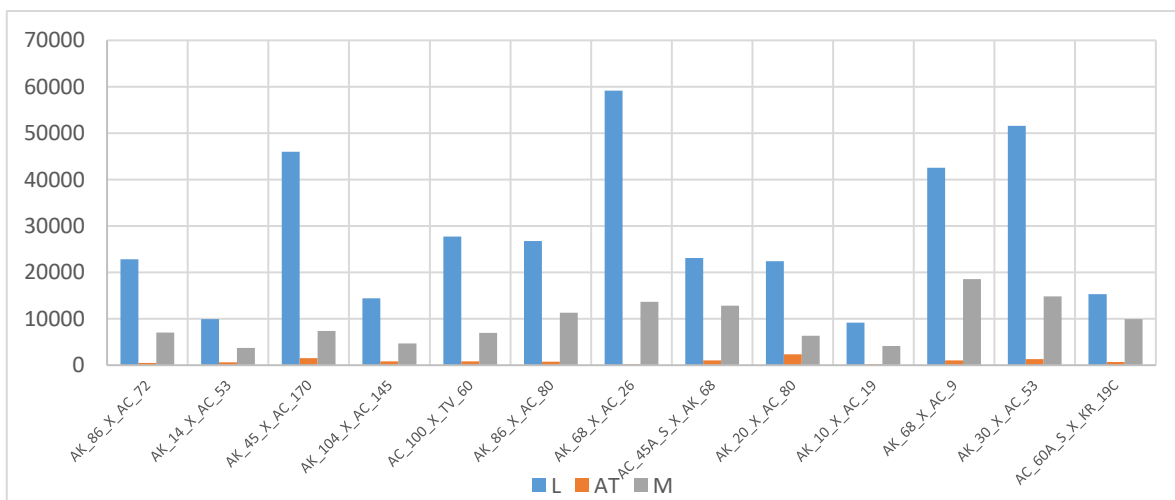


Figura 10-4 Distribución número de vehículos por categoría vehicular y estación de conteo.

- Estimación de emisiones por contaminante.

Por Top-Down

$$E_{ij} = FE_{ij} \cdot FA_i \cdot N_j$$

Ec. 2

Donde,

E_{ij} (ton/año): Emisiones totales del contaminante i para la categoría j .
 FE_{ij} (g/km-veh): Factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j .
 FA_j (km/año): Factor de actividad para la categoría vehicular j .
 N_j (veh): Número de vehículos para la categoría vehicular j .

Por Bottom-Up

$$E_{ij} = FE_{ij} \cdot FA_{jk} \cdot L_k \quad \text{Ec. 3}$$

Donde,

E_{ij} (g/h): Emisiones totales del contaminante i para la categoría j .
 FE_{ij} (g/km-veh): Factor de emisión del contaminante i para la categoría vehicular j .
 F_{jk} (veh/h): Flujo vehicular de la categoría vehicular j en la categoría de malla vial k .
 L_k (km): Longitud de la vía para la categoría de malla vial k .

Para cada valor de emisión se calcula un valor de incertidumbre por medio de propagación del error, llevando la incertidumbre de los factores de emisión hasta el valor final de emisión anual.

- Desagregación espacio-temporal de las emisiones. Las emisiones se desagregan en una malla de 3025 celdas de 1km² ubicada sobre el área urbana de Bogotá, para cada hora del día.
- Totalización de las emisiones por contaminante. Se suman las emisiones totales por contaminante generadas por celda y categoría vehicular, a fin de obtener un valor de emisión anual para el perímetro urbano.

10.3.1.2. FUENTES FIJAS

Como fuentes fijas se consideran actualmente tanto las industrias como los establecimientos comerciales (restaurantes y asaderos); debido a que en Bogotá se concentra un alto y diverso número de industrias y comercios que generan emisiones contaminantes, motivo por el cual estimar las emisiones provenientes de este tipo de fuente es de gran importancia.

El inventario de fuentes fijas se realizó implementando la Ec. 1, y usando como variable de actividad el consumo de combustible o la cantidad de materia prima implementada; para fuentes industriales los factores de emisión utilizados son los establecidos en el PDDAB y los definidos en el Contrato 1360 de 2010 (para el caso de COV), y para fuentes comerciales los establecidos en la sección 1.10 del AP42 y los estimados por Lee, (1999). Los contaminantes estimados son PM₁₀, NO_x, SO₂, CO₂, CO y COV.

Las bases de datos usadas contienen información sobre la ubicación de la industria o establecimiento, el consumo mensual o diario de combustibles, los horarios laborales y fechas de

recolección de los datos, entre otros. Dicha información permite totalizar el número de fuentes, localizar las emisiones dentro de la ciudad, proyectar los consumos de combustible y desagregar temporalmente las emisiones.



Figura 10-5 Número de industrias por Localidad.

La Figura 10-5 y la Figura 10-6 muestran algunos resultados de la caracterización de las fuentes industriales de la ciudad, las localidades con mayor presencia de fuentes contaminantes y los combustibles usados en mayor proporción dentro de sus procesos productivos.

Es de aclarar que para aquellas fuentes sin información se asumen valores ya sean de consumos o frecuencia de operación, de tal manera que sea posible incluirla dentro del inventario final. Así mismo, hasta el momento no se ha implementado información sobre reducción por equipos de control de emisiones, ya que son muy pocas las fuentes que los utilizan y la información reportada sobre su eficiencia es nula, por lo cual la ecuación implementada es:

$$E = A \cdot FE \quad \text{Ec. 4}$$

Donde,

E = Emisión por contaminante

FE = Factor de Emisión por contaminante

A = Actividad

Finalmente, a partir de la información de frecuencias y localización, las emisiones se desagregaron espacialmente y se llevaron a una resolución horaria.

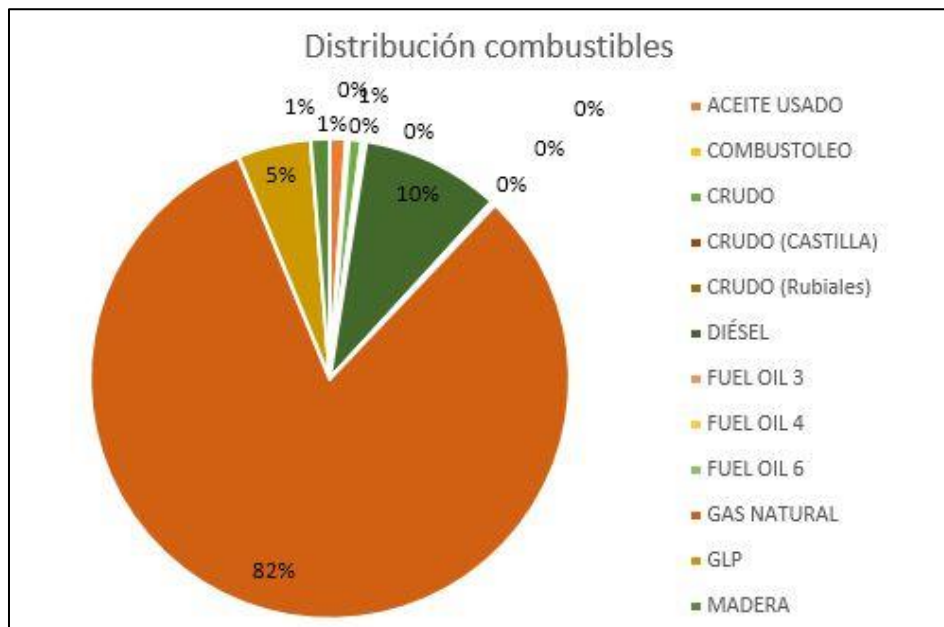


Figura 10-6 Distribución de combustibles implementados.

10.3.1.3. ESTACIONES DE SERVICIO

Las estaciones de Servicio y Centros de Almacenamiento de combustibles son consideradas como fuentes área que emiten Compuestos Orgánicos volátiles (COV), los cuales son generados en cuatro actividades principalmente: Almacenamiento de combustible en tanques subterráneos, distribución del combustible a los vehículos individuales, llenado de tanques subterráneos y derrames durante la manipulación del combustible.

Las emisiones por almacenamiento fueron calculadas por medio del modelo TANKS de la EPA, el cual considera variables como especificaciones técnicas de los tanques de almacenamiento, el tipo de combustible, el volumen vendido al año y algunas condiciones meteorológicas de la ciudad.

Las emisiones por distribución, llenado y derrames se estimaron por medio de los factores de emisión establecidos en la sección 5.2 del documento AP42, y se consideró como actividad la venta por combustible en galones/año. La ecuación para el cálculo total de emisiones es la siguiente:

$$Et = EA + EV + EL + ED \quad \text{Ec. 5}$$

Donde,

ET = Emisión total en estaciones de servicio/centros de almacenamiento de combustibles [Ton/año]

EA = Emisión por almacenamiento

EV = Emisión por distribución

EL = Emisión por Llenado

ED = Emisión por derrames

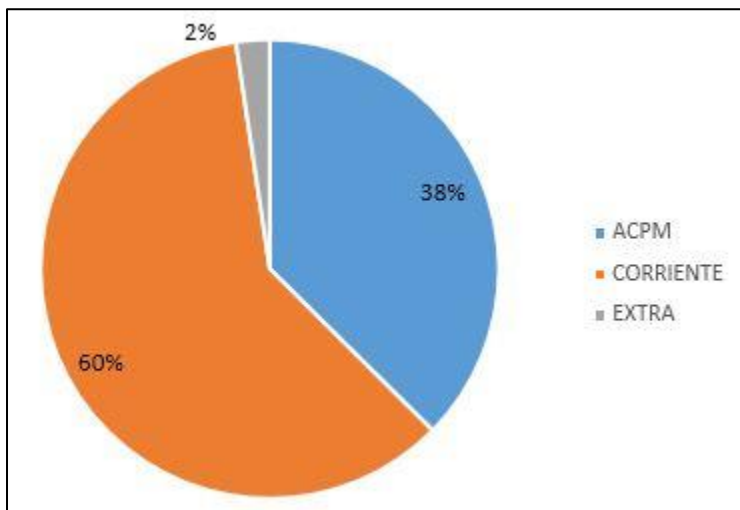


Figura 10-7 Distribución de combustibles vendidos en estaciones de servicio de Bogotá.

La Figura 10-7 muestra los principales combustibles vendidos en las estaciones de servicio de la ciudad, donde se hace evidente que la gasolina corriente es el combustible más comercializados, seguido por el ACPM y finalmente el que menor porcentaje representa es la gasolina extra.

Ya que el aumento de la temperatura afecta de manera directa las pérdidas por evaporación, la desagregación temporal de las emisiones por almacenamiento se asocia a la variación de la temperatura en un día típico en Bogotá; por otro lado, las emisiones halladas por factor de emisión se relacionan con la venta de combustible de acuerdo a las horas de mayor flujo vehicular en la ciudad. La distribución espacial se realizó a partir de la ubicación de cada EDS y CAC.

10.3.1.4. MATERIAL RESUSPENDIDO EN VÍAS

La principal fuente identificada hasta el momento que aporta material particulado por resuspensión en la ciudad son las vías pavimentadas y no pavimentadas. Para estimar las emisiones de material resuspendido es necesario calcular factores de emisión propios para la ciudad, por tal motivo se implementan aquellos hallados en el marco del contrato 1467 de 2013 en el cual se realizaron campañas de campo para estimar la carga de sedimento en las vías y posteriormente los factores de emisión.

Se implementó la metodología desarrollada por la EPA para las campañas de campo de recolección (por barrido y aspirado) y estimación de la masa de las partículas finas adheridas a la superficie de las vías, y las ecuaciones de la sección 13.2.1 del AP42 para la estimación de los factores de emisión.

10.3.2 Emisiones desagregadas en la ciudad

En las siguientes imágenes se observan los mapas de distribución espacial de las emisiones diarias de algunos de los contaminantes provenientes de las distintas fuentes de emisión, durante un día hábil para la ciudad de Bogotá.

10.3.2.1. FUENTES MÓVILES

Como se observa en el Figura 10-8, los puntos críticos de emisión de PM₁₀ se concentran en las zonas cercanas a los puntos de monitoreo con mayor volumen vehicular dentro de la ciudad, como los son: ATNORTE x AC170, ATNORTE x AC127, AV. CIUDAD DECALI x AC80, AV. CIUDAD DE CALI x AC13, AK68 x AC26, AV. BOYACA x AC13, AV. NQS x AC53, AK 68 x AV. AMERICAS.

FUENTES MÓVILES - DÍA HÁBIL

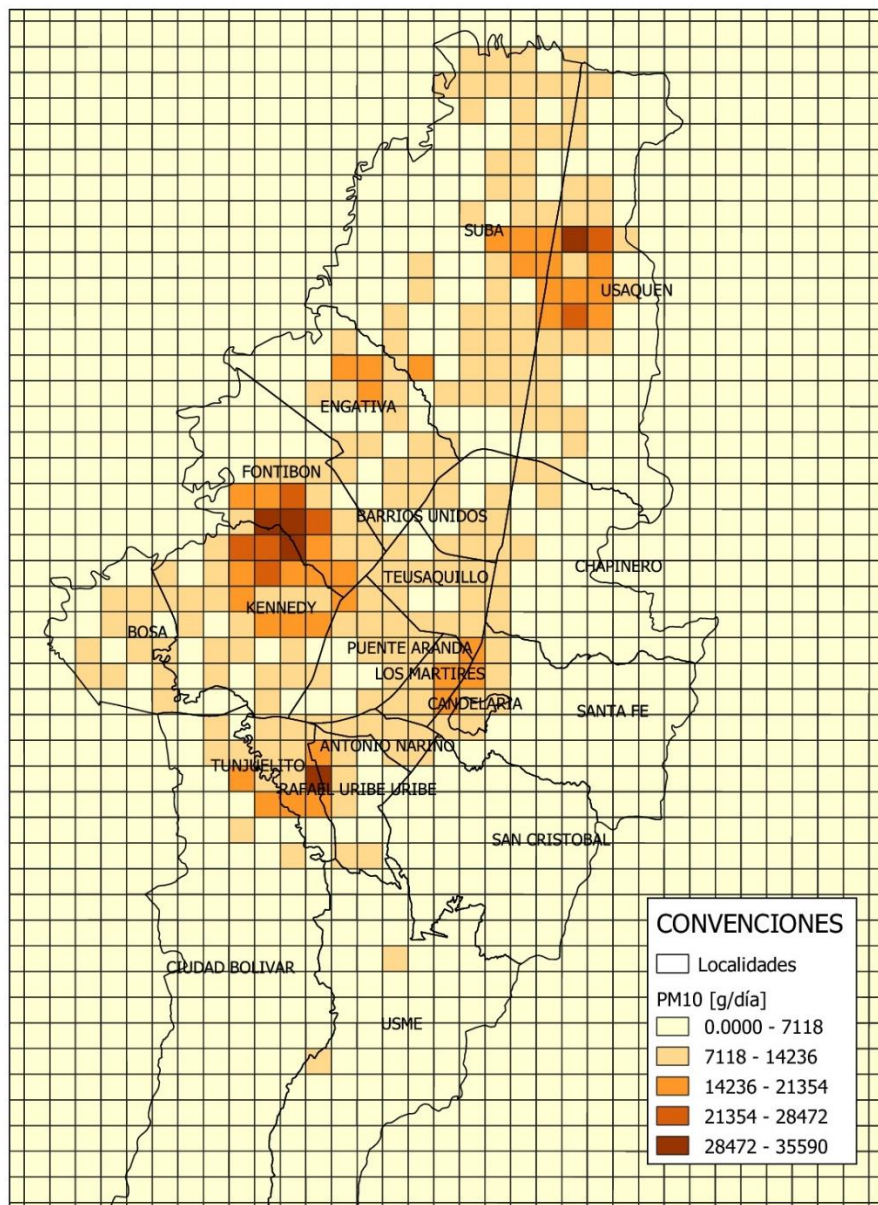


Figura 10-8 Distribución espacial de emisiones de PM₁₀ provenientes de fuentes móviles en un día hábil

10.3.2.2. FUENTES INDUSTRIALES

Se observa en la Figura 10-9 que los focos de emisión de PM₁₀, por este tipo de fuentes se encuentran en las localidades de Puente Aranda, Usme, Tunjuelito y Kennedy.

FUENTES INDUSTRIALES - DÍA HÁBIL

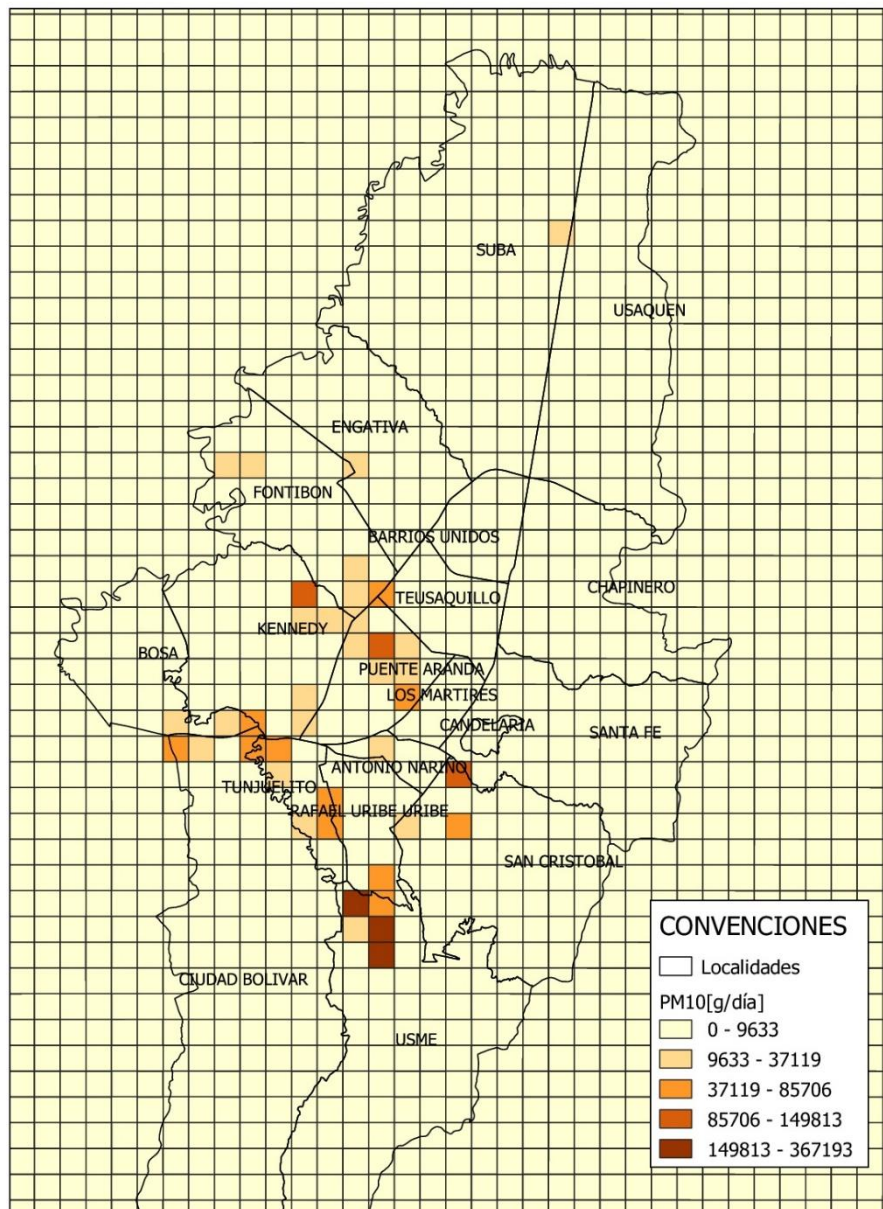


Figura 10-9 Distribución espacial de emisiones de PM₁₀ provenientes de fuentes industriales en un día hábil

10.3.2.3. FUENTES COMERCIALES

Las localidades en las que se presentan mayores emisiones de PM₁₀ generadas por fuentes comerciales son Candelaria - Santa Fe, Engativá, Puente Aranda, Barrios Unidos y Fontibón, seguidas en menor proporción por Kennedy, Bosa, Antonio Nariño y Rafael Uribe Uribe, de acuerdo a la Figura 10-10.

FUENTES COMERCIALES - DÍA HÁBIL

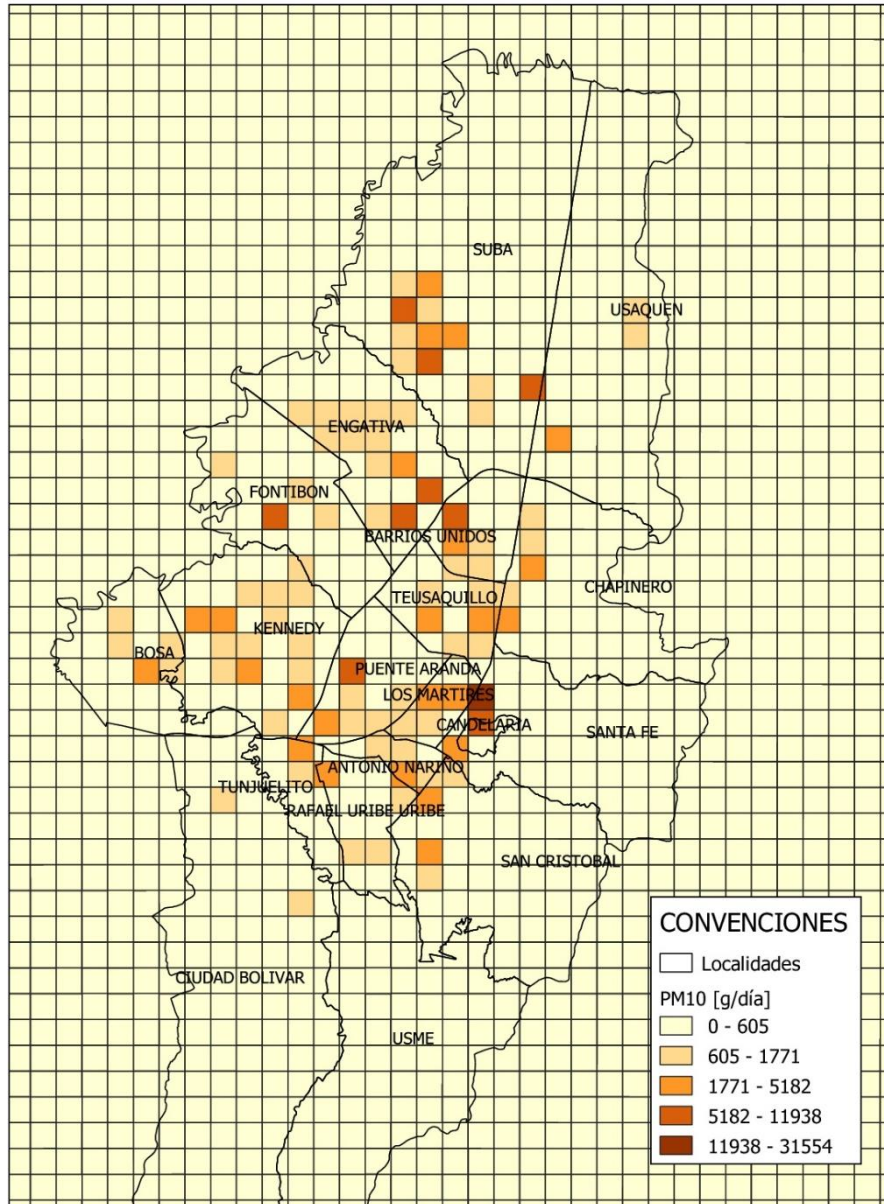


Figura 10-10 Distribución espacial de emisiones de PM₁₀ provenientes de fuentes comerciales en un día hábil

10.3.2.4. RESUSPENSIÓN EN VÍAS PAVIMENTADAS

Como se observa en la Figura 10-11, los puntos críticos de emisión de PM_{2.5} en un día hábil se concentran en las localidades de Fontibón, Teusaquillo, Kennedy Tunjuelito, Puente Aranda, los Mártires y Antonio Nariño.

RESUSPENSIÓN VÍAS PAVIMENTADAS - DÍA HÁBIL

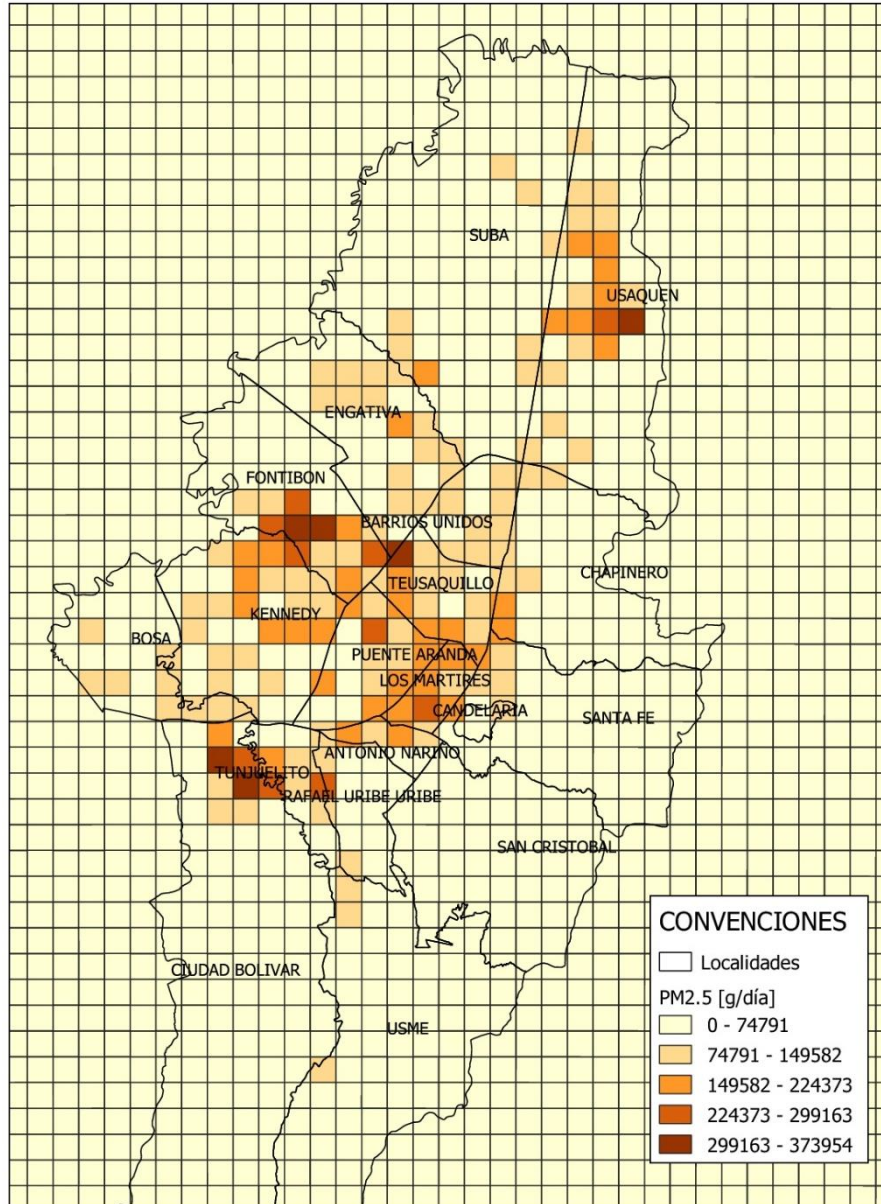


Figura 10-11 Distribución espacial de emisiones de PM_{2.5} provenientes de la resuspensión en vías pavimentadas en un día hábil

10.3.2.5. RESUSPENSIÓN EN VÍAS NO PAVIMENTADAS

Como se observa en la Figura 10-12, las emisiones de PM_{2.5} provenientes de vías no pavimentadas se concentran en la zona sur occidental de la ciudad en las localidades de Bosa, sur de Kennedy y Ciudad Bolívar, esto se debe a que en esta zona se encuentra la mayor cantidad de vías no pavimentadas en Bogotá.

RESUSPENSIÓN VÍAS NO PAVIMENTADAS - DÍA HÁBIL

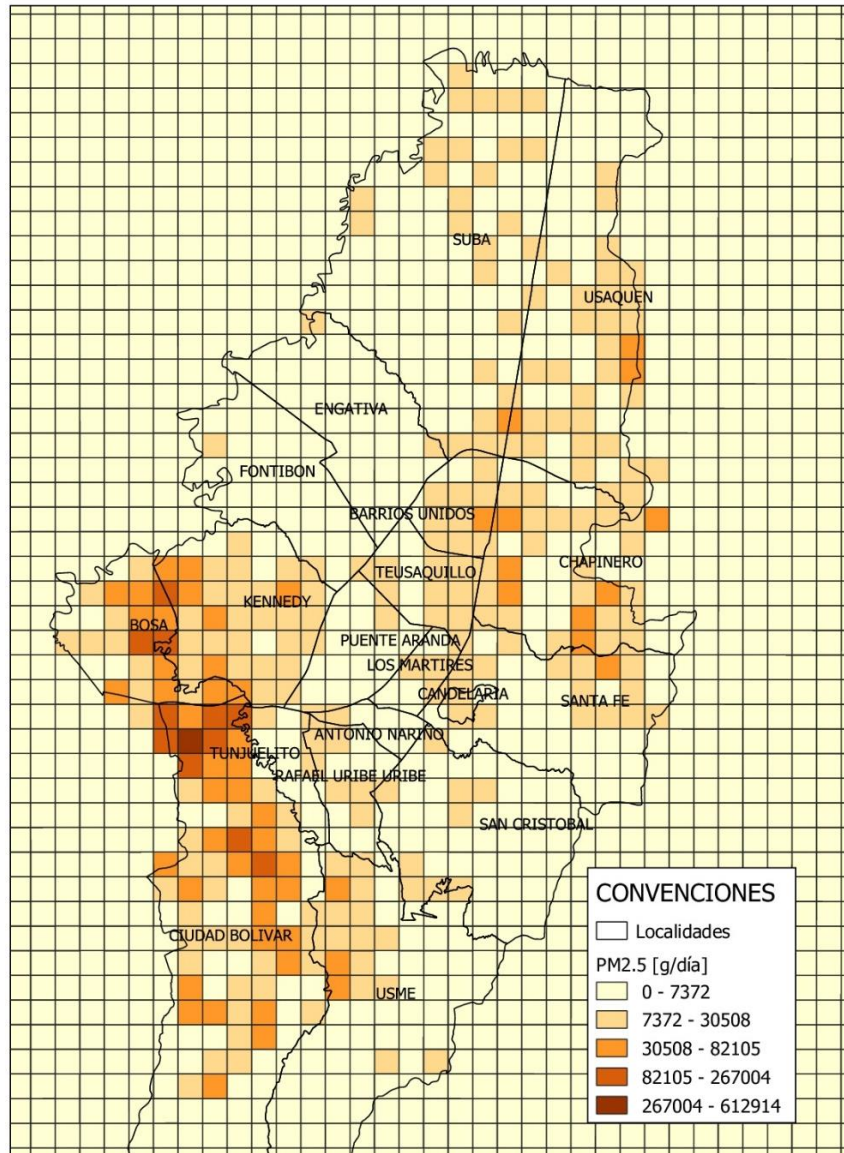


Figura 10-12 Distribución espacial de emisiones de PM_{2.5} provenientes de la resuspensión en vías no pavimentadas en un día hábil

10.3.2.6. ESTACIONES DE SERVICIO Y CENTROS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

Como se observa en la Figura 10-13, se evidencia que las mayores emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) para estaciones de servicio (EDS) y centros de almacenamiento de combustible (CDC) se encuentran en Puente Aranda y Teusaquillo.

TOTAL EDS Y CAC - DÍA HÁBIL

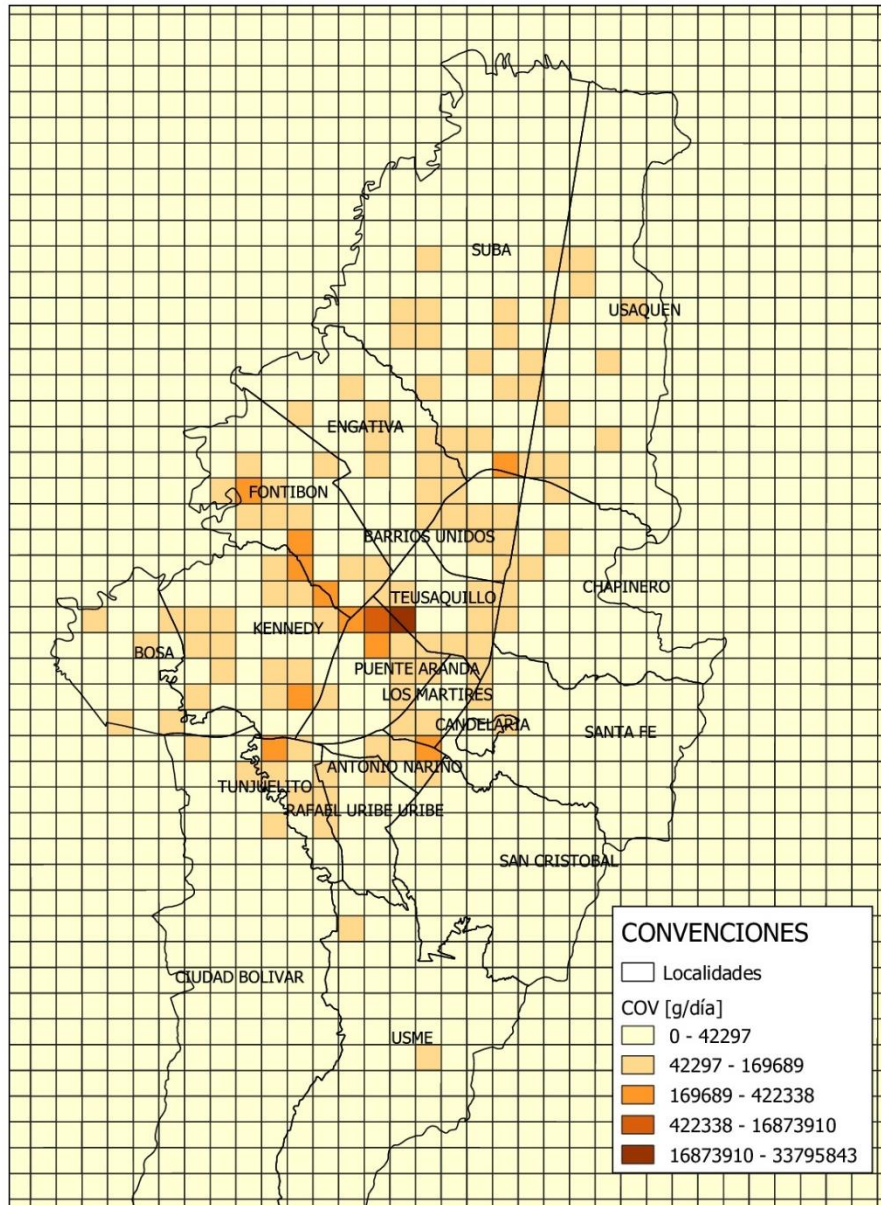


Figura 10-13 Distribución espacial de emisiones de COV provenientes EDS y CAC en un día hábil

10.4 RESULTADOS DEL MODELO FOTOQUÍMICO

El modelo fotoquímico pudo estimar la concentración de contaminantes criterio para 5609 horas durante el 2017, obteniendo una cobertura temporal de 64%⁶. Aunque no se alcanza una cobertura del 75% en cobertura, los resultados se presentan a continuación con fines informativos y por ser uno de los modelos regionales del país en contar con información simulada para un periodo cercano al anual, y para mostrar el comportamiento de los contaminantes sobre la ciudad. Para la estimación de las concentraciones reportadas a continuación, se ajustaron los resultados del modelo a las mediciones realizadas por la RMCAB durante el 2017.

10.4.1 Resultados de simulación para el material particulado

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2017 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para el PM₁₀ y el PM_{2.5}, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de material particulado sobre la ciudad y un promedio de material particulado representativo por localidad⁷. En el caso del PM₁₀, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentran en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 60 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Kennedy es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de PM₁₀, el cual se encuentra por encima de 50 µg/m³, le siguen Fontibón, Bosa y Tunjuelito con promedios anuales de concentración entre 45 µg/m³ y 50 µg/m³ (Ver Figura 10-14). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para PM₁₀ en el 2017 fue de 39,8 µg/m³.

Para PM_{2.5}, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 27,5 µg/m³. En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Kennedy es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de PM_{2.5}, el cual se encuentra entre de 22,5 y 25,0 µg/m³, le siguen Bosa y Tunjuelito con promedios anuales de concentración entre 20,0 µg/m³ y 22,5 µg/m³ (Ver Figura 10-15). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estimó que el promedio anual de la ciudad para PM_{2.5} es de 17,5 µg/m³.

6 Teniendo en cuenta que un año tiene 8760 horas

7 El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

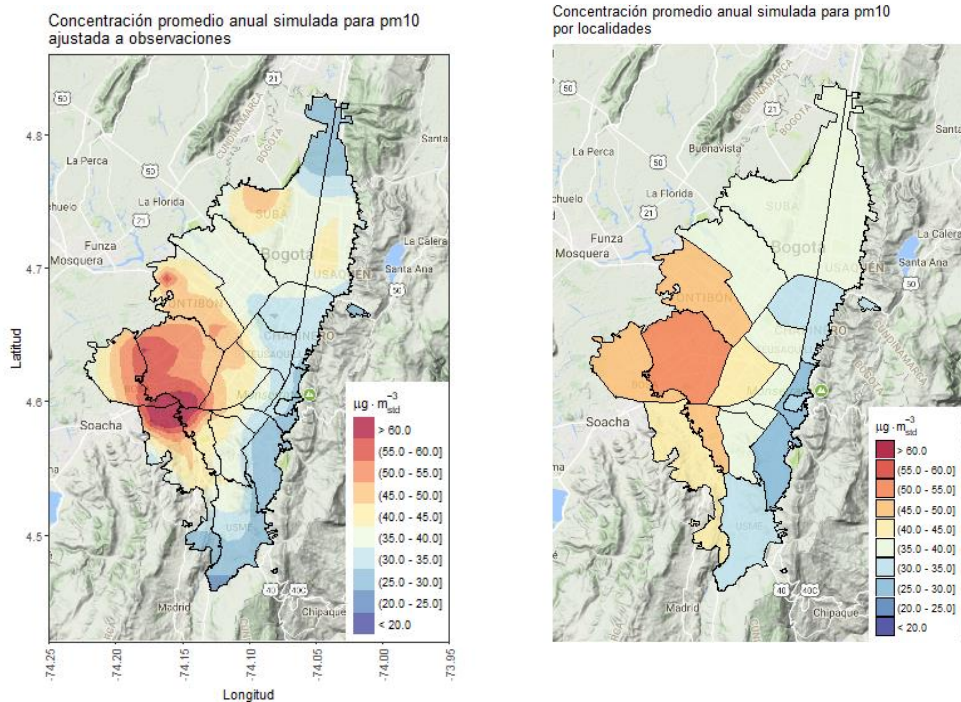


Figura 10-14 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM₁₀ ajustadas a observaciones para el 2017

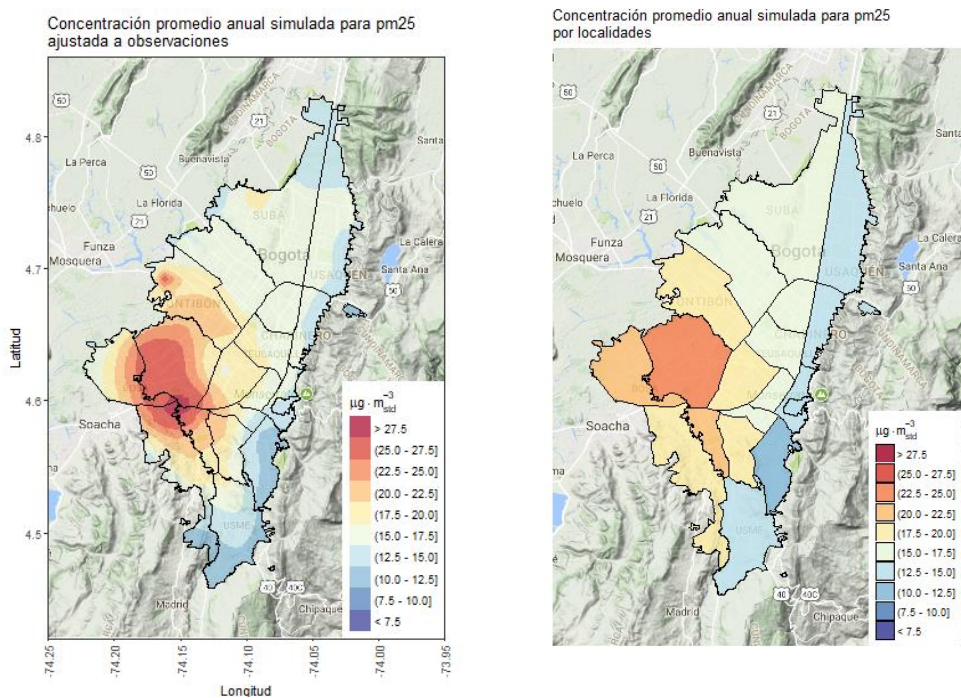


Figura 10-15 Promedio Anual para concentraciones simuladas de PM_{2.5} ajustadas a observaciones para el 2017

10.4.2 Resultados de simulación para gases

Luego de la calibración del modelo y el ajuste de sus resultados según observaciones, se realizó un promedio para todos los resultados del 2017 en cada uno de los receptores definidos en el modelo para los gases criterio, a partir de estos promedios, se elaboraron los mapas que muestran los promedios anuales de los distintos gases sobre la ciudad y un promedio para cada uno de los gases, representativo por localidad⁸.

Para NO₂, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad y en el centro geográfico de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito y entre las localidades de barrios Unidos, Engativá y Suba, con promedios anuales superiores a 20 ppb (~38 µg/m³). En cuanto a las concentraciones anuales por localidades, se estimó que Tunjuelito es la localidad con el mayor promedio anual de concentraciones de NO₂, el cual se encuentra entre 18 ppb (~34 µg/m³) y 20 ppb (~38 µg/m³), le siguen Engativá, Barrios Unidos y Puente Aranda, con promedios anuales de concentración entre 14 ppb (~26 µg/m³) y 18 ppb (~34 µg/m³) (Ver Figura 10-16). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para NO₂ en el 2017 fue de 8,1 ppb (~15 µg/m³).

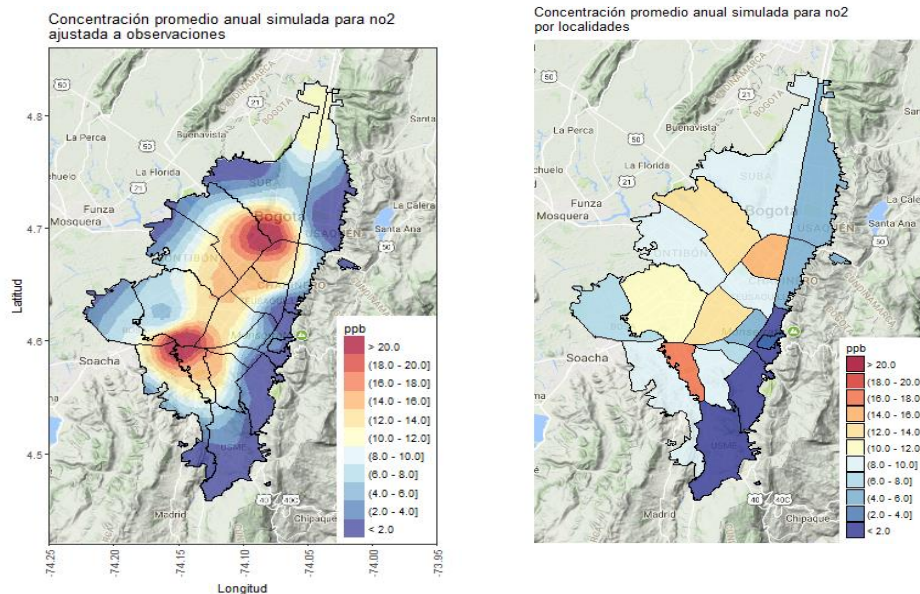


Figura 10-16 Promedio Anual para concentraciones simuladas de NO₂ ajustadas a observaciones para el 2017

En cuanto a SO₂, las zonas con mayor concentración simulada anual se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios anuales superiores a 4 ppb (~9 µg/m³). En cuanto a las concentraciones anuales por

⁸ El promedio por localidad es representativo debido a que las concentraciones son estimadas por el modelo en una malla de receptores equidistantes, separados 1 km entre sí, y el promedio por localidad se determina según las concentraciones del número de receptores que contenga cada localidad.

localidades, se estimó que Kennedy y Tunjuelito son las localidades con el mayor promedio anual de concentraciones de SO₂, los cuales se encuentran entre 2,0 ppb ($\sim 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2,5 ppb ($\sim 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), le siguen Puente Aranda y Ciudad Bolívar, con promedios anuales de concentración entre 1,5 ppb ($\sim 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 2,0 ppb ($\sim 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 10-17). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que el promedio anual de la ciudad para SO₂ en el 2017 fue de 1,0 ppb ($\sim 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

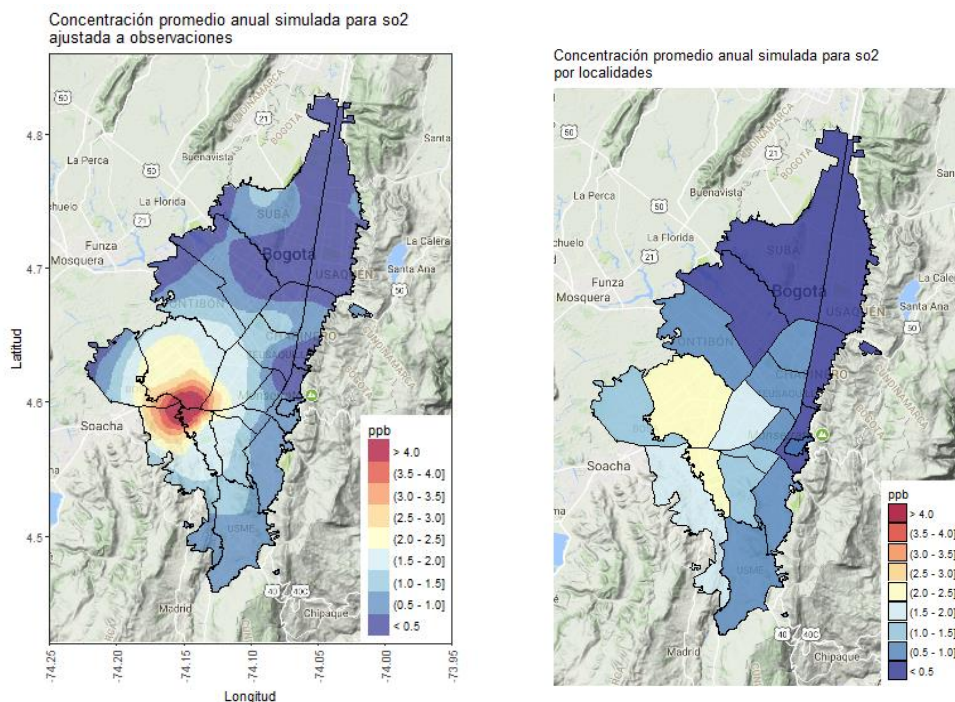


Figura 10-17 Promedio Anual para concentraciones simuladas de SO₂ ajustadas a observaciones para el 2017

Para el CO, se determinaron las series, para cada receptor de los promedios móviles en 8 horas, y dichos valores fueron promediados para estimar el comportamiento anual de CO. Las zonas con mayor promedio de medias móviles se encuentra en el suroccidente de la ciudad, específicamente entre las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, con promedios de medias móviles superiores a 1,2 ppm ($\sim 1380 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto al promedio de medias móviles de CO por localidades, se estimó que Kennedy y Tunjuelito son las localidades con el mayor promedio anual de concentraciones de CO, los cuales se encuentran entre 0,8 ppm ($\sim 920 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 1,0 ppm ($\sim 1150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), le siguen Fontibón, Bosa, Puente Aranda y Barrios Unidos, con promedios de medias móviles de concentración entre 0,6 ppm ($\sim 690 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 0,8 ppm ($\sim 920 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ver Figura 10-18). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que las medias móviles de CO en promedio para la ciudad en el 2017 fueron de 0,5 ppm ($\sim 575 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

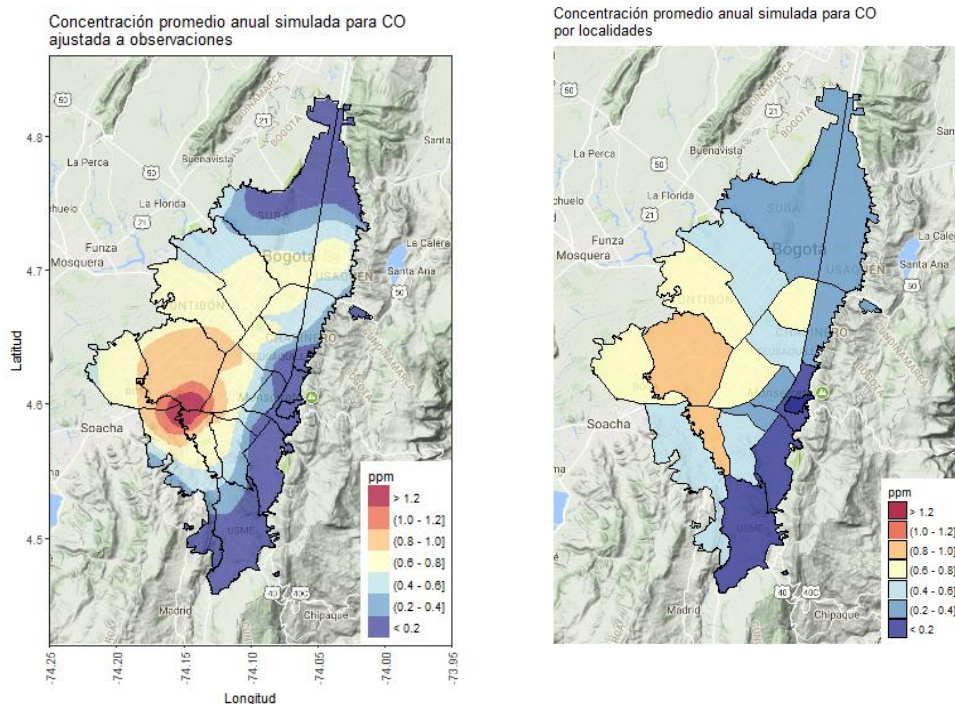


Figura 10-18 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de CO ajustadas a observaciones para el 2017

Para el O_3 , se determinaron las series, para cada receptor de los promedios móviles en 8 horas, y dichos valores fueron promediados para estimar el comportamiento anual de O_3 . Las zonas con mayor promedio de medias móviles se encuentra en la periferia de la ciudad, específicamente la zona norte de Suba y la zona oriental de la localidad de Usaquén, con promedios de medias móviles superiores a 12 ppb ($\sim 24 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En cuanto al promedio de medias móviles de O_3 por localidades, se estimó que Suba, Usaquén y Chapinero son las localidades con el mayor promedio de medias móviles de concentraciones de O_3 , los cuales se encuentran entre 11 ppb ($\sim 22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 12 ppb ($\sim 24 \mu\text{g}/\text{m}^3$), le siguen Santa fe, La Candelaria, San Cristóbal y Usme, con promedios de medias móviles de concentración entre 10 ppb ($\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 11 ppb ($\sim 22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ver Figura 10-19). Teniendo en cuenta que el modelo calculó concentraciones en una malla equidistante sobre la ciudad, se estima que las medias móviles de O_3 en promedio para la ciudad en el 2017 fueron de 9.5 ppb ($\sim 19 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

10.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS EMPLEADOS

10.5.1 Generalidades en la validación

La validación de un modelo permite evaluar el desempeño de dicho modelo, al comparar los resultados obtenidos con el mismo, con datos medidos. Estas comparaciones entre datos observados y modelados pueden realizarse a través de análisis de gráficas de comparación (Diagramas de Taylor, Diagramas de Cajas, Diagramas Q-Q, etc), o a través de un conjunto de pruebas estadísticas (tests).

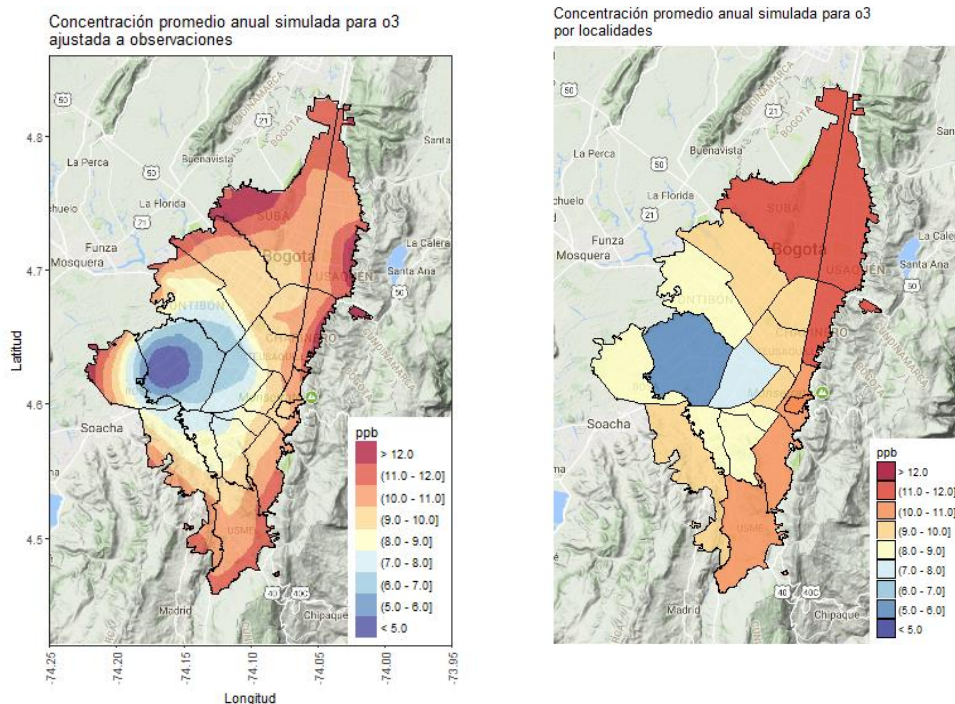


Figura 10-19 Promedio de medias móviles 8 h de concentraciones simuladas de O₃ ajustadas a observaciones para el 2017

A continuación se describen cada uno de los test, teniendo en cuenta que O_i es el 'i-ésimo' dato observado y M_i es el 'i-ésimo' dato modelado para un contaminante. La descripción de los test no implica que se apliquen totalmente a los modelos.

FAC2: Es la fracción de datos modelados que se encuentran dentro de un factor de 2 con respecto a los datos observados. Se considera que el modelo está representando satisfactoriamente las predicciones cuando:

$$0.5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2.0 \quad \text{Ec. 6}$$

NMB: El promedio del sesgo es un indicador del grado de sobreestimación o subestimación del modelo, al normalizar este indicador, se pueden comparar contaminantes que se encuentran en distintas escalas de concentraciones y de unidades.

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^N M_i - O_i}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad \text{Ec. 7}$$

NMGE: El promedio del error grueso normalizado indica el promedio del error entre los datos observados y modelados, sin importar si el modelo sobreestima o subestima las emisiones; este indicador se calcula de la siguiente forma:

$$NMGE = \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{\sum_{i=1}^N O_i} \quad \text{Ec. 8}$$

RMSE: La raíz del error cuadrático medio representa principalmente la relación entre las relaciones estándar promedio de los datos medidos, y las desviaciones estándar obtenidas con los datos simulados. Este indicador es comúnmente usado para determinar qué tan cerca están los valores modelados de los valores medidos

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 9}$$

Estos valores son determinados en las unidades en las cuales se miden las concentraciones de los contaminantes, y muestran que tan amplia es la diferencia entre las series temporales observadas y simuladas.

r: El coeficiente de correlación (de Pearson) es la medida de la bondad de ajuste lineal entre dos variables, en el caso de la validación, entre los datos observados y modelados; una correlación lineal perfecta conlleva a valores iguales a 1 para correlaciones con pendiente positiva, y a -1 para correlaciones con pendiente negativa, mientras que dicho coeficiente es igual a 0 cuando los datos comparados no están correlacionados. Dicho coeficiente se calcula con la siguiente expresión:

$$r = \left(\frac{1}{N-1} \right) \sum_{i=1}^N \left(\frac{M_i - \bar{M}}{\sigma_M} \right) \left(\frac{O_i - \bar{O}}{\sigma_O} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

COE: El coeficiente de eficiencia toma un valor de 1 cuando el modelo representa perfectamente las observaciones, este criterio también establece que un modelo es efectivo cuando dicho coeficiente es mayor a 0. Este coeficiente se calcula como:

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)} \quad \text{Ec. 11}$$

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

$$IOA = \begin{cases} 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)}{c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)}, & \text{cuando } \sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|) \leq c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|) \\ \frac{\sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|)}{\sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|)} - 1, & \text{cuando } \sum_{i=1}^N (|M_i - O_i|) > c \cdot \sum_{i=1}^N (|O_i - \bar{O}|) \end{cases} \quad \text{Ec. 11}$$

RMSVE: El error cuadrático medio del vector horizontal del viento es una variación del RMSE teniendo en cuenta las componentes vectoriales zonal (U) y meridional (W) del viento. Se define de la siguiente manera:

$$RMSVE = \left(\frac{\sum_{i=1}^N (U_{mod} - U_{obs})^2 + (V_{mod} - V_{obs})^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 12}$$

Por otro lado, para la validación de la precipitación se realizaron tablas de contingencia que evalúan la precipitación de manera binaria (llovió o no llovió) teniendo en cuenta más que el valor de la precipitación, los días de lluvia. A partir de la tabla de contingencia obtenemos los siguientes estadísticos:

Percent Correct (PC): Es el porcentaje de pronósticos que son correctos. Varía de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

Hit Rate (H) o Probability of Detection (POD): es el porcentaje de días con lluvia que fueron bien pronosticados. Varía de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

False Alarm Ratio (FAR): es el porcentaje de días que se predijo lluvia pero que no llovió. Varía de 0 a 1 donde cero es un valor perfecto.

BIAS (B): Compara el número de veces que un evento fue pronosticado con el número de veces que un evento fue observado:

si $B=1$, el evento fue pronosticado el mismo número de veces que fue observado

si $B>1$, el evento fue pronosticado más veces de lo que se observó

si $B<1$, el evento fue pronosticado menos veces de las que ocurrió.

Threat Score (TS): combina el Hit Rate y el False Alarm Ratio en un solo estadístico. Varía de 0 a 1 donde uno es un valor perfecto.

10.5.2 Validación del modelo meteorológico WRF

10.5.2.1 Temperatura

En términos generales, la validación de la temperatura (Figura 10-20) muestra que es una de las variables mejor modeladas, especialmente en términos de correlación que durante gran parte del año osciló alrededor de 0,8, siendo agosto y septiembre los meses con mejor correlación.

En cuanto el RMSE se observa en el diagrama de Taylor que la temperatura tiene un valor cercano a los 2 °C para el rango anual, y en los gráficos de barras se evidencia que mensualmente los meses con RMSE más bajos fueron agosto y septiembre, mientras que los meses con RMSE más alto fueron noviembre y diciembre en los que el estadístico alcanzó valores de 2.5 °C. Adicionalmente, el Mbias y el boxplot muestran que la temperatura estuvo subestimada por el modelo, especialmente en los meses de noviembre y diciembre; es importante mencionar que el modelo no reproduce bien los datos observados por encima de 20°C. Finalmente, el IOA indica la buena modelación de la temperatura con un valor cercano a 0.7 siendo los meses de agosto y septiembre los que mejor IOA tuvieron, lo que concuerda con el RMSE.

Al analizar la validación por estaciones (Figura 10-21) se establece que las estaciones con menor error fueron San Cristóbal y Puente Aranda, mientras que las estaciones con mejor correlación fueron Suba y Guaymaral. Por su parte, las estaciones que presentaron mayor error son Guaymaral,

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

Suba y Tunal; CDAR presentó un RMSE alto pero un BIAS bajo. Es importante mencionar que mientras todas las estaciones subestimaron la temperatura Tunal la sobrestimo.

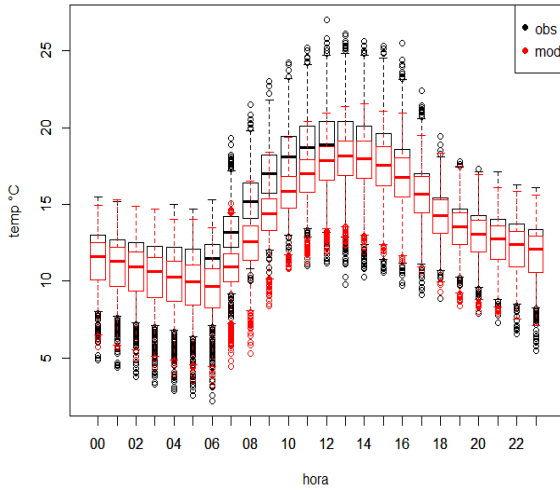
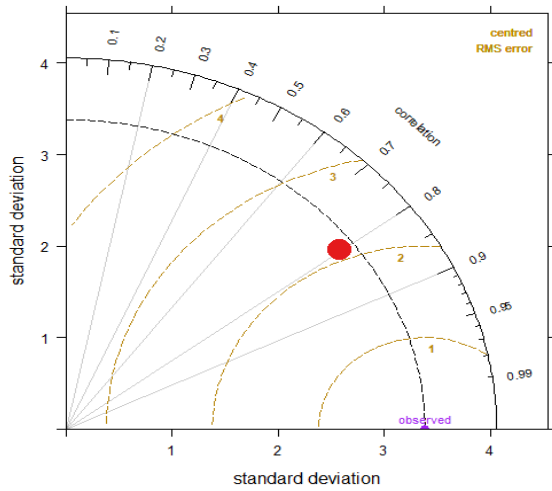


Diagrama de Taylor

Box-plot

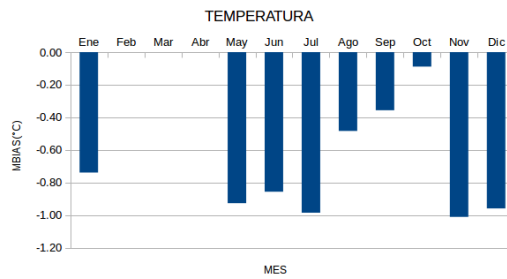
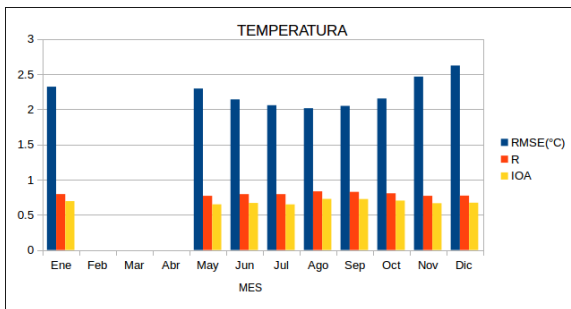


Figura 10-20 Validación de la temperatura a nivel ciudad

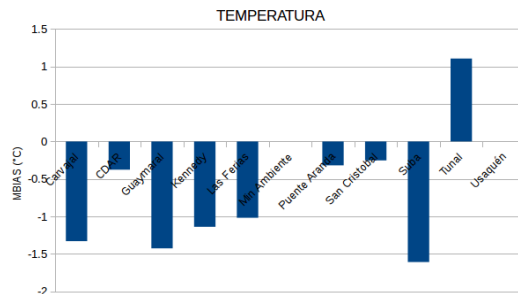
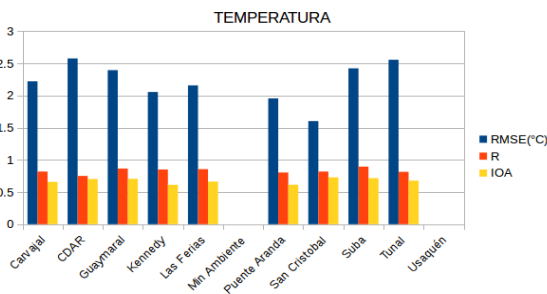


Figura 10-21 Validación de la temperatura por estación

10.5.2.2 Humedad relativa

La validación a nivel ciudad de la humedad relativa (Figura 10-22) muestra que, al igual que la temperatura, esta variable también presenta una buena correlación, ya que su valor anual fue alrededor de 0.7, siendo los meses de septiembre y octubre los meses con mejor correlación.

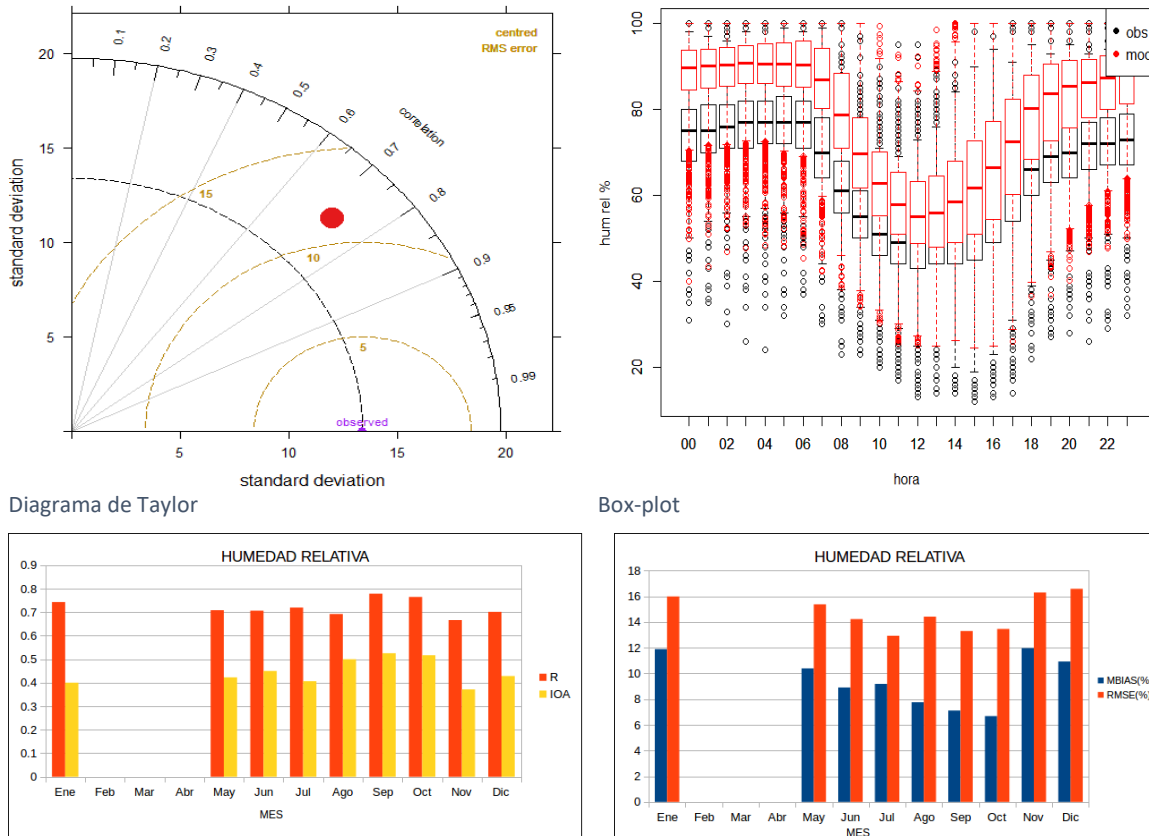


Figura 10-22 Validación de la humedad relativa a nivel ciudad

La humedad relativa tiene un RMSE anual por encima de 10% con tendencia a la sobrestimación. Los gráficos de barras muestran que los meses con RMSE y MBIAS más bajo fueron octubre y septiembre, meses en los que también se obtuvo el IOA más alto. Julio también presenta un RMSE bajo pero un BIAS relativamente alto. Por su parte, los meses de noviembre, diciembre y enero son los que presentan un error más alto tanto en Bias como en RMSE. Es importante mencionar que el modelo no reproduce bien la humedad relativa por debajo de 40% en las mañanas y noches, ni tampoco por debajo de 25% en horas de la tarde.

La validación de la humedad relativa por estaciones (Figura 10-23) muestra que las estaciones con menor error fueron CDAR y Tunal, tanto en RMSE como en BIAS, éstas estaciones también presentan el IOA más alto. Las estaciones con mejor correlación fueron Guaymaral y Las Ferias. Por otro lado, la estación Las Ferias fue la que tuvo el error más alto, tanto en RMSE como en Bias, y el IOA más bajo. La estación peor correlacionada fue San Cristóbal.

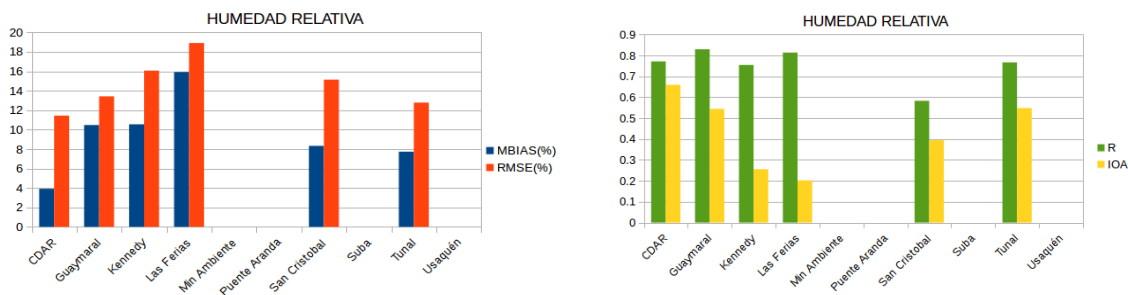


Figura 10-23 Validación de la humedad relativa por estaciones

10.5.2.3 Velocidad y dirección del viento

La validación del viento (Figura 10-24) muestra que es la variable más castigada por los estadísticos, es decir, es la variable meteorológica más difícil de modelar. La correlación de la velocidad del viento fue la más baja con un valor por encima de los 0,4, esto a pesar de que el boxplot muestra que el modelo tiende a seguir el ciclo diurno observado, sin embargo son los outliers los que producen esta correlación tan baja. La correlación tiene un comportamiento muy homogéneo durante todo el año, como lo muestran los gráficos de barras, los meses con correlación más alta son mayo y agosto, mientras que noviembre es el peor correlacionado.

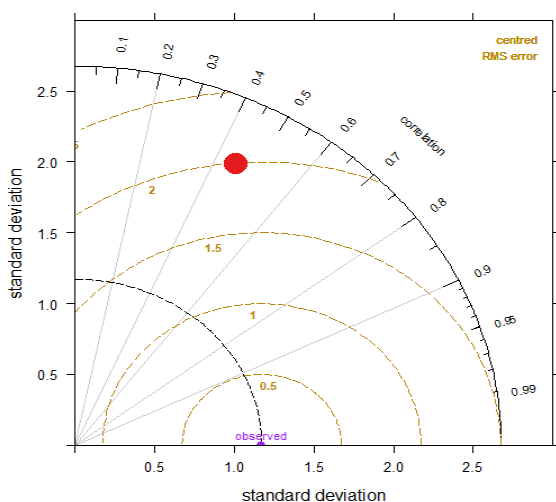
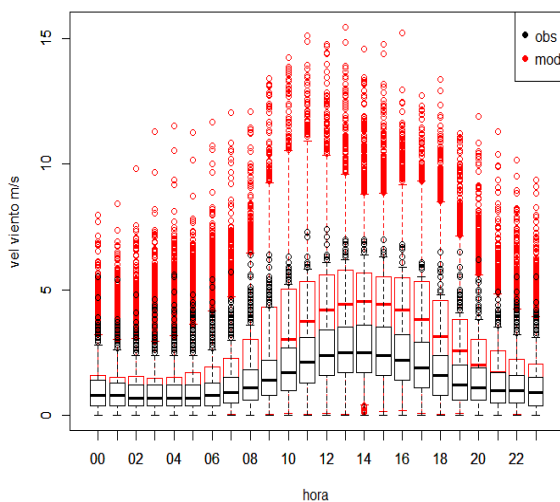


Diagrama de Taylor



Box-plot

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

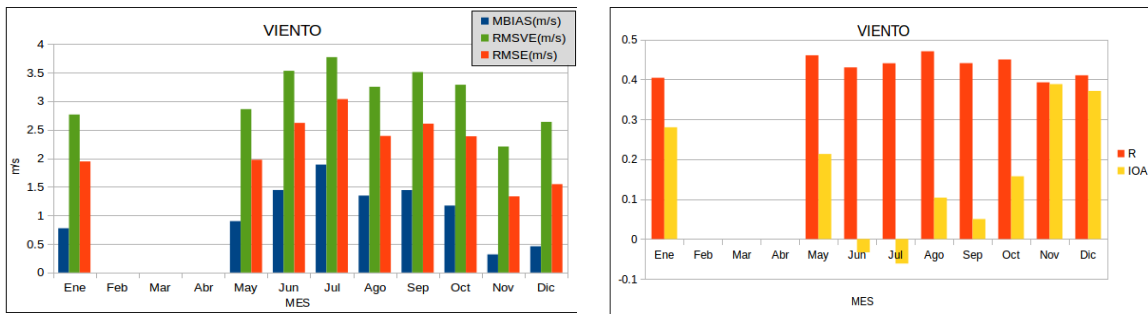


Figura 10-24 Validación del viento a nivel ciudad

En términos de RMSE, la velocidad del viento anual arroja un valor de 2 m/s sin embargo, hay meses como julio en donde el valor puede ser de 3.0 m/s, un valor alto para una variable que raramente supera los 6 m/s como se ve en el boxplot, sin embargo, es necesario recordar que el RMSE es altamente sensible a los outliers que son varios tanto observados como modelados. El bias indica que el modelo tiende a sobrestimar la velocidad del viento especialmente entre las 9 am y las 13 pm donde el modelo ha arrojado valores que están cerca a los 15 m/s. Los meses de junio y julio son los que más error presentan, incluso en términos de IOA, mostrando un valor negativo, por otro lado, los meses de noviembre y diciembre son los que menor error presentan y son los que tienen un IOA más alto.

Para evaluar la dirección y velocidad del viento en un solo estadístico se utilizó el RMSVE, el cual tiene un comportamiento muy similar al RMSE de la velocidad del viento, y está entre 0.5 m/s y 1 m/s por encima de éste, lo que indica que los errores debido a la dirección del viento son menores que los atribuibles a la velocidad del viento.

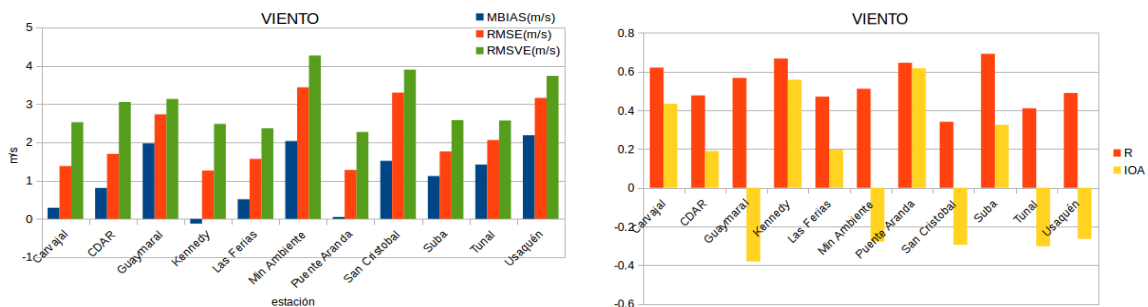


Figura 10-25 Validación del viento por estaciones

La validación de viento por estaciones (Figura 10-25) muestra que las estaciones con menor error, tanto en RMSE como en Bias y RMSVE, fueron Kennedy y Puente Aranda; las estaciones que mayor error presentaron fueron Min Ambiente, San Cristóbal y Usaquén; estaciones que también presentaron un IOA negativo junto a Guaymaral y Tunal. Es importante mencionar que la estación Kennedy tiene un Bias negativo, lo que indica que fue la única estación que subestimó la intensidad del viento. Por otro lado, al analizar la correlación de la velocidad del viento por estaciones se

observa que las correlaciones oscilan entre 0.4 y 0.6 (excepto San Cristóbal que estuvo por debajo), siendo las de mayor correlación Carvajal, Kennedy, Puente Aranda y Suba.

10.5.2.4 Radiación solar

En términos generales, la validación de la radiación solar (Figura 10-26) muestra que la radiación solar también es una variable bien modelada en términos de correlación la cual estuvo en promedio durante el año por encima de 0.8 es una de las variables mejor modeladas, especialmente en la correlación, que durante gran parte del año osciló alrededor de 0.8, julio y septiembre fueron los meses mejor correlacionados mientras que noviembre fue el de correlación más baja. El IOA también muestra un muy buen comportamiento, ya que osciló entre 0.6 y 0.7 durante todo el año, siendo diciembre el mes con IOA más alto.

Por otro lado, la radiación solar presenta un RMSE cercano a 250 W/m², mientras que el mean Bias osciló entre 50 y poco más de 100 W/m², lo cual no es un valor muy grande teniendo en cuenta los valores de radiación solar. Hay una situación particular con la radiación solar ya que, a pesar de que el modelo tiende a sobrestimar esta variable, presenta outliers con valores por debajo de los outliers observados, lo cual se puede ver claramente en el boxplot anual. A pesar de que el comportamiento de la validación de la radiación solar es muy homogéneo durante todo el año, se puede decir que noviembre y diciembre fueron los meses con error más bajo, tanto en RMSE como Bias, así como IOA mas alto; sin embargo éstos mismos meses fueron unos de los que presentaron correlación de Pearson más baja.

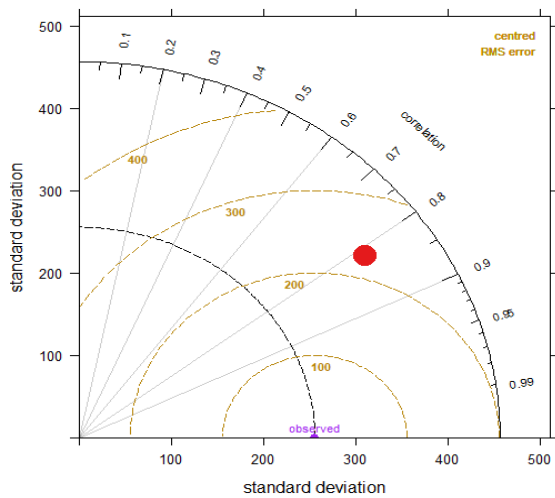
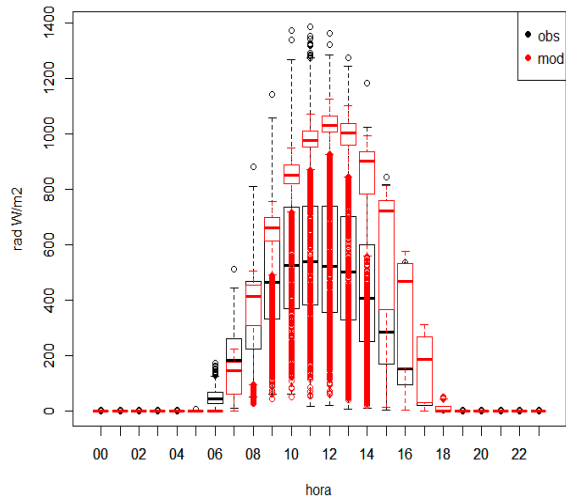


Diagrama de Taylor



Box-plot

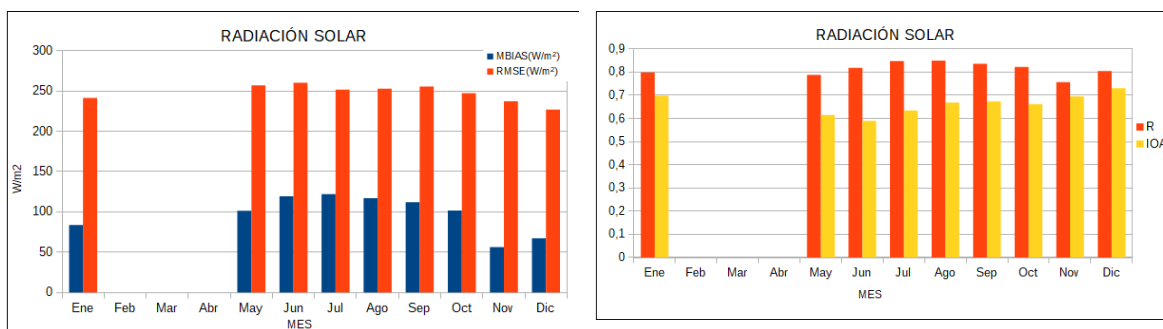


Figura 10-26 Validación de la radiación solar a nivel ciudad.

Al examinar la radiación solar por estaciones (Figura 10-27) se evidencia que el comportamiento de la validación es muy estable espacialmente, la estación con menor error, tanto RMSE como Bias, así como mayor IOA fue San Cristóbal, mientras que Tunal fue la estación con mayor error y menor IOA; paradójicamente ésta última estación fue la que mejor correlación presentó.

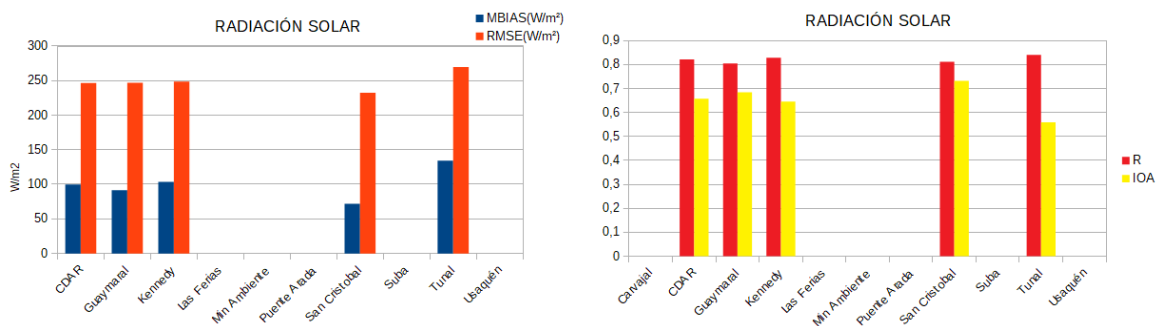


Figura 10-27 Validación de la radiación solar por estaciones.

10.5.2.5 Presión atmosférica

La presión atmosférica no presenta mayores variaciones diarias en los datos observados ni modelados. La validación de ésta variable (Figura 10-28) muestra que el modelo tiene un buen comportamiento con respecto a las observaciones ya que RMSE del modelo oscila entre 0.6 mmHg y 0.7 mmHg con tendencia a subestimación en términos anuales como lo muestra el boxplot. En términos mensuales, se observa que los meses de enero, mayo, julio, noviembre y diciembre el modelo tiende a sobrestimar, mientras que en junio, agosto, septiembre y octubre el modelo subestima la presión a nivel ciudad; los meses de noviembre y octubre presentan el RMSE más alto y junio es el mes con el RMSE más bajo. La correlación del modelo y el IOA son altos y estables durante gran parte del año excepto en los meses de junio y julio donde se presentaron los niveles más bajos de este estadístico.

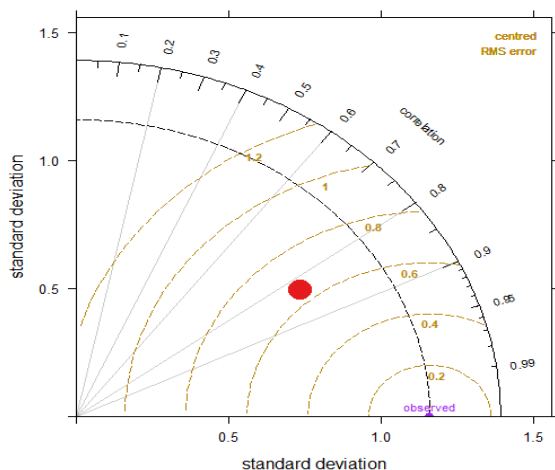
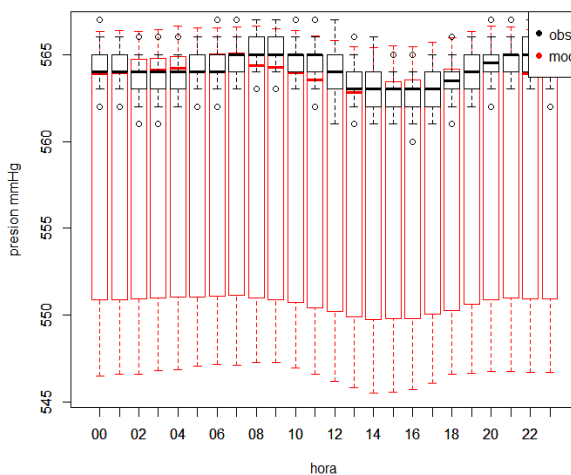


Diagrama de Taylor



Box-plot

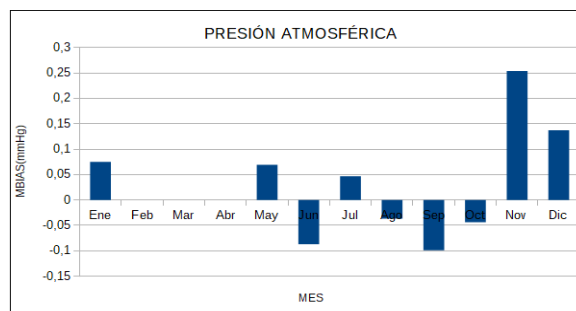
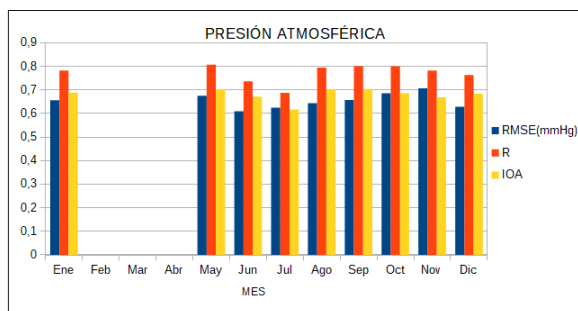


Figura 10-28 Validación de la presión atmosférica a nivel ciudad.

Ahora bien, en términos de estaciones es necesario recordar que la RMCAB solo cuenta con 3 estaciones para medir presión. Al analizar la validación de estas estaciones (Figura 10-29) se evidencia que el comportamiento es muy heterogéneo, a pesar de que Kennedy es la única estación que tiende a sobrestimar la presión, de igual manera es la que tiene un RMSE más alto y un IOA más bajo (aunque por muy poco). En términos de correlación todas las estaciones estuvieron por encima de 0.8.

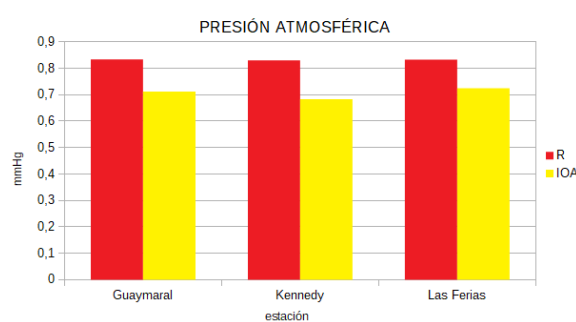
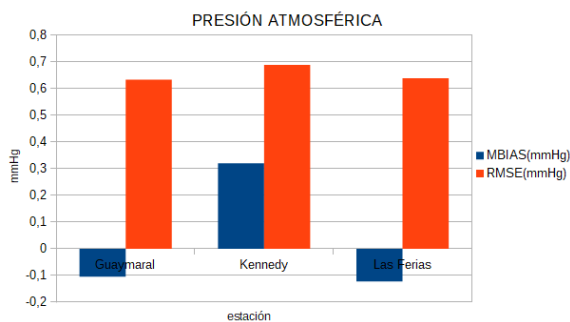


Figura 10-29 Validación de la presión atmosférica por estaciones.

10.5.2.6 Precipitación

Como se mencionó anteriormente, la validación de la precipitación de los datos de la RMCAB se realiza de manera categórica ya que no es una variable continua, en este sentido se realiza por medio de tablas de contingencia por medio de las cuales se hallan unos estadísticos que permiten validar el modelo en términos de lluvia/no lluvia.

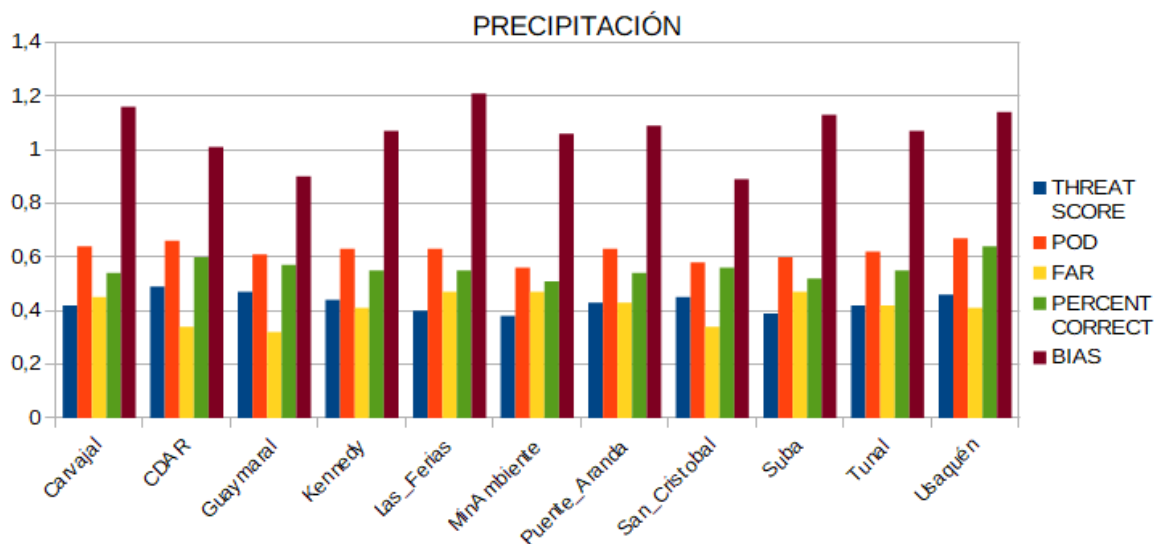


Figura 10-30. Validación de la precipitación por estaciones.

La Figura 10-30 nos muestra el resultado de la validación de la precipitación por medio de tablas de contingencia por estación. Lo primero que salta a la vista es que el Bias tiene un valor que oscila alrededor de 1, lo que indica que el modelo simula muy bien los días con lluvia (recordando que un Bias igual a 1 es un modelo perfecto de días con lluvia). En general, casi todas las estaciones sobrestiman los días con lluvia, exceptuando San cristobal y Guaymaral que subestiman. Por otro lado, se observa que la probability of detection (POD) es mayor que el False Alar Ratio (FAR) lo que indica que el modelo tiene mayor probabilidad de simular los días con lluvia que generar días con lluvia cuando no fue observada. Las estaciones CDAR y Usaquén fueron las que tuvieron un POD más alto versus un bajo FAR, éstas también fueron las estaciones con Percent Correct más alto, mientras que las estaciones Min Ambiente y Suba fueron las estaciones que tuvieron el POD y FAR más cercano así como el Percent Correct más bajo, lo que indica que éstas últimas estaciones tienen casi la misma probabilidad de modelar un evento como de generar una falsa alarma de lluvia. En términos de Threat Score (TS) se observa una vez más que las estaciones mejor evaluadas son CDAR, Guaymaral y Usaquén, mientras que Min Ambiente fueron las que menor TS presentaron, siendo coherente con los análisis anteriormente realizados.

10.5.3 Validación del modelo de transporte CMAQ

10.5.3.1. Comparación entre concentraciones observadas y modeladas

A continuación se hace el análisis sobre las concentraciones horarias medidas y simuladas sobre la ciudad, se debe tener en cuenta que estas diferencias entre las observaciones y las simulaciones pueden deberse a la estimación y desagregación espacial y temporal de los inventarios de emisiones, la estimación de distintas variables meteorológicas con el modelo meteorológico, principalmente la altura de capa de mezcla, velocidad y dirección del viento, temperatura ambiente y radiación solar, y la influencia de fuentes de emisión regionales no contempladas en la modelación de calidad de aire en la ciudad.

En la Figura 10-31 se muestra el comportamiento horario de las concentraciones anuales de PM_{10} para cada hora del día, en todas las estaciones. En dicha gráfica se puede observar que las medianas de las concentraciones modeladas son levemente más altas que las medianas de las concentraciones de las observaciones en horas de la tarde, y son casi de dos órdenes de magnitud en las horas de la mañana, entre las 0:00 y las 07:00. En cuanto al Material Particulado $PM_{2,5}$, éste tuvo un comportamiento similar al descrito para PM_{10} , con una sobre-estimación pronunciada en horas de la mañana (Ver Figura 10-32).

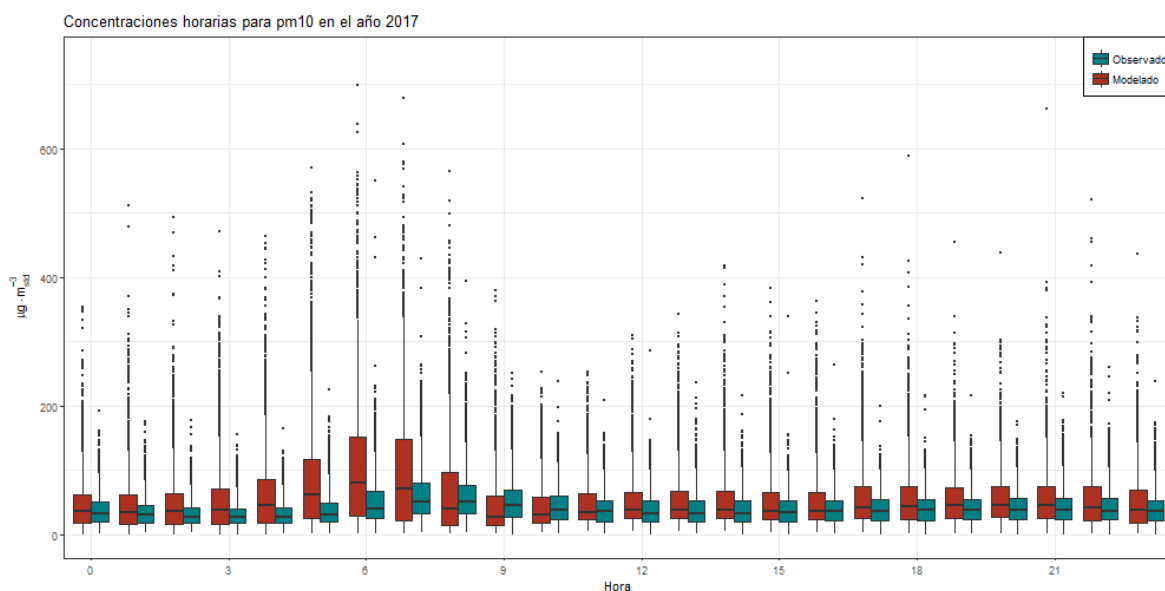


Figura 10-31 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{10}

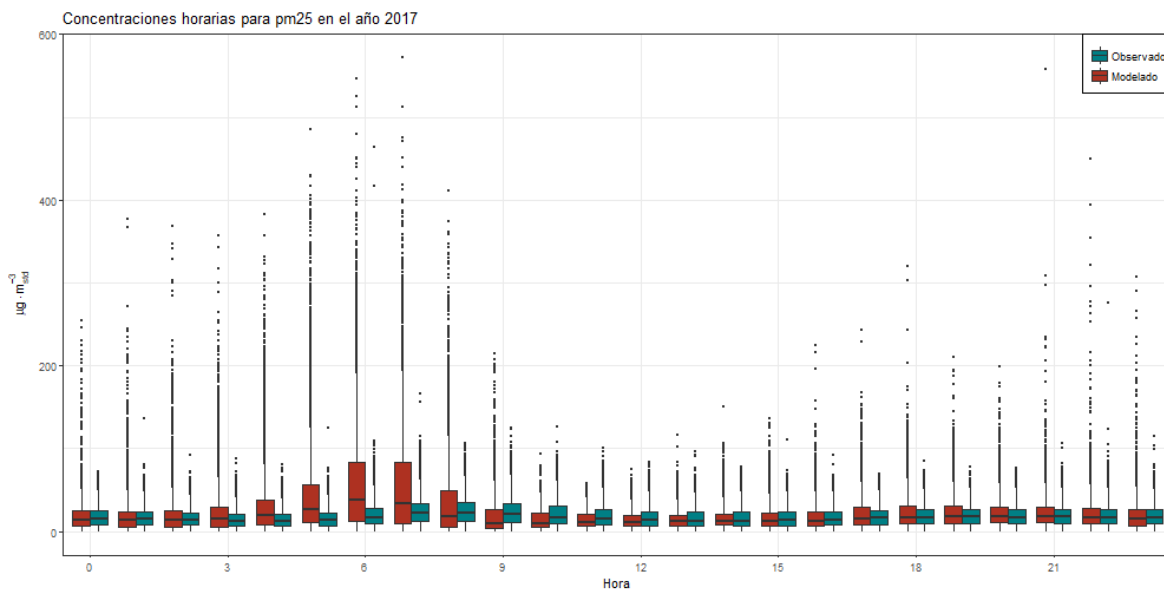


Figura 10-32 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para PM_{2.5}

En cuanto a los gases, las concentraciones horarias simuladas de NO₂ para el año 2017 se estimaron por encima de las concentraciones observadas, principalmente en horas de la noche y la madrugada, posiblemente por una sobre-estimación de las emisiones de NO₂ en los inventarios (Ver Figura 10-33). Esta sobre-estimación de concentraciones también es visible en el comportamiento del SO₂, teniendo concentraciones simuladas muy por encima de las concentraciones medidas en la ciudad (Ver Figura 10-34).

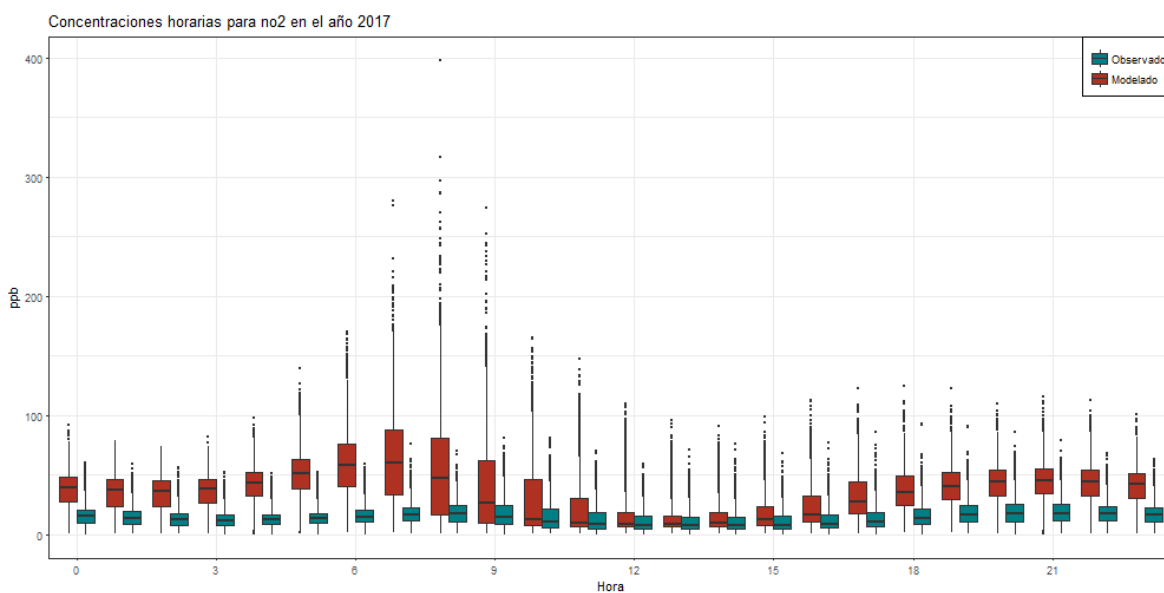


Figura 10-33 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para NO₂

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

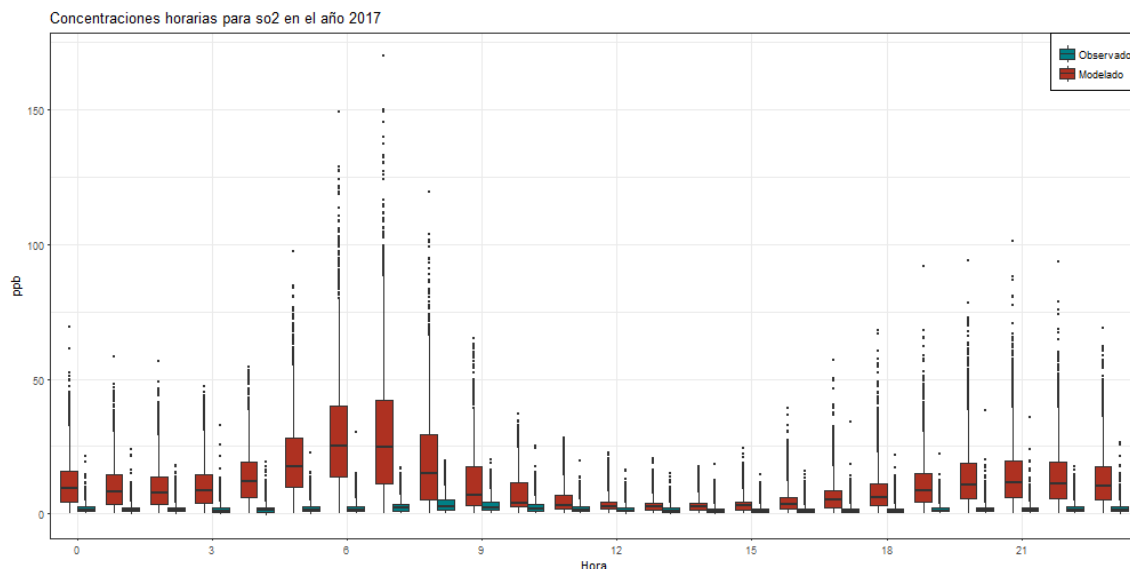


Figura 10-34. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para SO₂

Las concentraciones de CO tienen un comportamiento similar entre las 09:00 y las 18:00, mientras que en las demás horas del día, las concentraciones estimadas por el modelo suelen ser mayores (Ver Figura 10-35); por otro lado, las concentraciones horarias de O₃ tienden a ser similares en horas de la noche, pero en horas del día el modelo sobre-estima las concentraciones de O₃ en 20 ppb en promedio (Ver Figura 10-36).

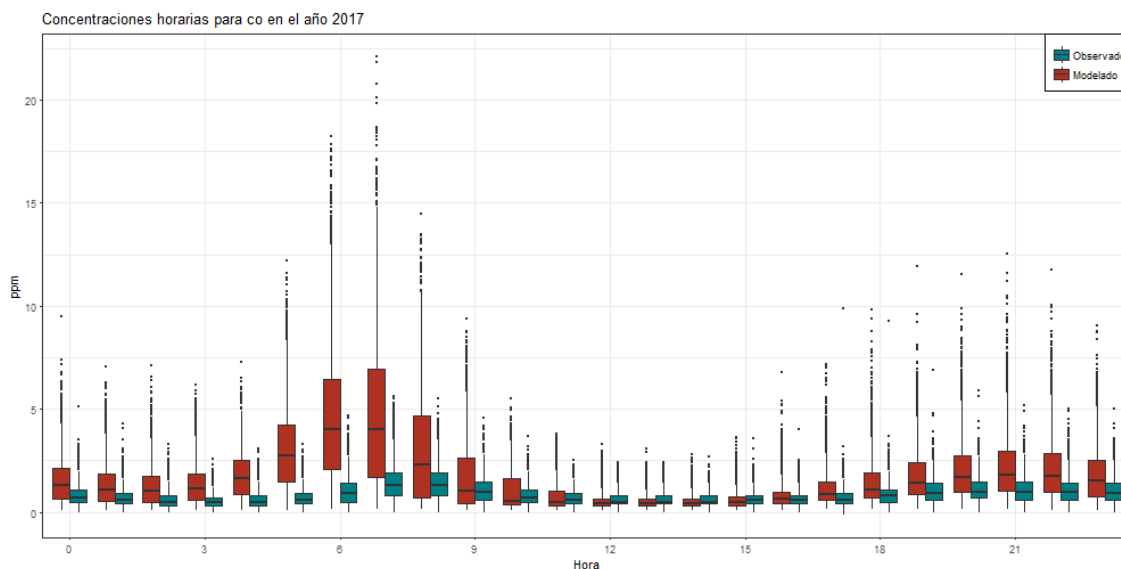


Figura 10-35. Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para CO

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

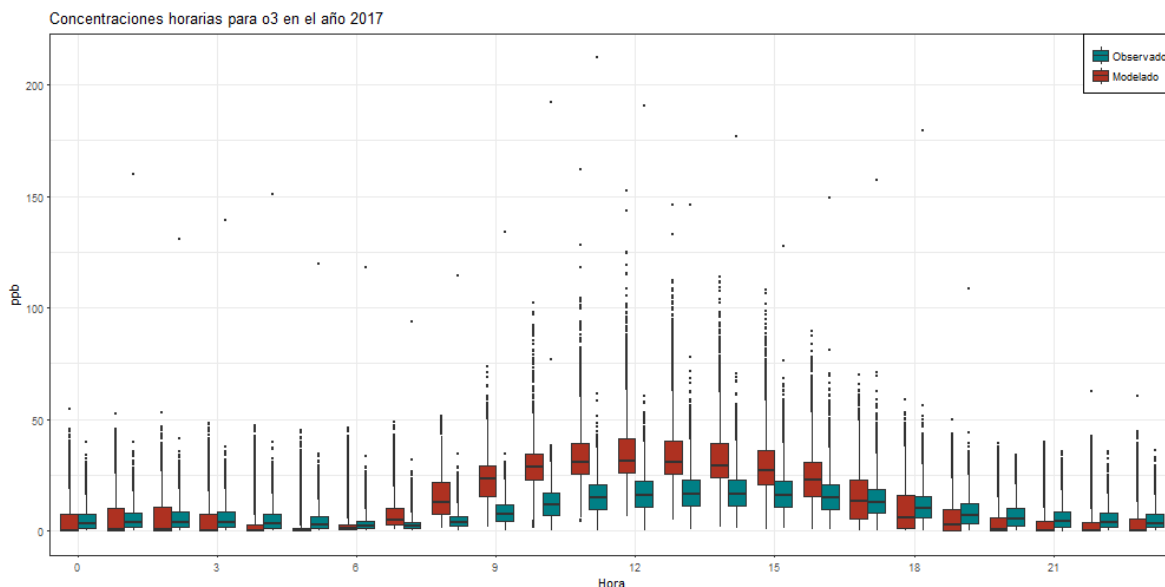


Figura 10-36 Comportamiento de concentraciones observadas y modeladas para O₃

10.5.3.2. Indicadores de desempeño del modelo de transporte CMAQ

A continuación se muestran distintos indicadores estadísticos que indican el desempeño del modelo de dispersión empleado en Bogotá.

Tabla 10-1. Estadísticos de ajuste entre el modelo de pronóstico y las observaciones

	N	FAC2	NMB	NMGE	RMSE	r	COE	IOA
PM10	65580	0,516	0,41	0,89	59,3	0,32	-0,78	0,12
PM2.5	64040	0,476	0,43	1,05	39,3	0,22	-0,83	0,08
CO	36924	0,420	1,33	1,67	2,4	0,23	-2,11	-0,38
O₃	59718	0,317	0,58	1,06	14,2	0,56	-0,48	0,26
SO₂	36617	0,189	4,96	5,20	17,1	0,04	-6,64	-0,74
NO₂	33081	0,307	1,76	1,89	35,9	0,30	-2,55	-0,44

Los indicadores presentados en la anterior tabla muestran, para cada contaminante, el número de datos (N), la fracción de predicciones dentro de un factor de dos (FAC2), el valor promedio normalizado del sesgo (NMB), el valor promedio normalizado del error grueso (NMGE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el coeficiente de correlación (r), el coeficiente de eficiencia (COE) y el Índice de concordancia (IOA).

A continuación se describen cada uno de los indicadores, teniendo en cuenta que O_i es el 'i-ésimo' dato observado y M_i es el 'i-ésimo' dato modelado para un contaminante.

FAC2: Con este indicador se estableció que el modelo se encuentra por debajo del rango de aceptación para todos los contaminantes, excepto para PM_{10} antes del ajuste.

NMB: Todos los valores presentados en la Tabla 10-1 muestran un promedio de sesgo normalizado de alrededor de 40% para material particulado, 58% para Ozono, y más de 100% para los demás contaminantes. Estos indicadores muestran que, en general, el modelo tiende a sobre-estimar las concentraciones para todos los contaminantes.

NMGE: Para el año reportado, este indicador está por encima de 1 en todos los contaminantes, excepto para PM_{10} , lo que indica que, los errores gruesos del modelo, en promedio, están en el mismo orden de magnitud que los valores promedio de concentraciones medidos por contaminante.

RMSE: En el caso de los contaminantes criterio simulados, el modelo tuvo un RMSE de $\sim 59 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para PM_{10} , $\sim 39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para $PM_{2.5}$, ~ 2 ppm para CO, ~ 14 ppb para O_3 , ~ 17 ppb para SO_2 y ~ 36 ppb para NO_2 .

10.5.3.3. Calibración del modelo de transporte CMAQ

Con el propósito de realizar el pronóstico diario, el modelo se ajustó diariamente a las observaciones a través de técnicas geoestadísticas, donde se trata de ajustar las concentraciones horarias estimadas por el modelo con base en el comportamiento histórico, tanto del modelo como de las observaciones registradas por la RMCAB.

En la Figura 10-37 se encuentran los diagramas de Taylor que describen la bondad de ajuste de las concentraciones estimadas de PM_{10} , con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, se mejora el coeficiente de correlación de Pearson de 0,2 a 0,6, se reducen los valores RMSE y los valores de la desviación estándar de los datos ajustados.

En la Figura 10-38 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de $PM_{2.5}$, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, se mejoran los estadísticos de manera similar que con PM_{10} , se mejora el coeficiente de correlación de Pearson de 0,2 a 0,6, se reducen los valores RMSE y los valores de la desviación estándar de los datos ajustados.

En la Figura 10-39 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de CO, con respecto a las observaciones, en dicho diagrama se puede observar que al hacer el ajuste del modelo, el coeficiente de correlación de Pearson llega hasta 0,6 con el ajuste del modelo, y el RMSE del modelo ajustado baja hasta valores cercanos de 2 ppm.

Adicionalmente, en la Figura 10-40 se encuentran los diagramas de Taylor para las concentraciones estimadas de SO_2 , con respecto a las observaciones; con el ajuste, las concentraciones de SO_2 pasan a tener un coeficiente de correlación hasta de 0,6 con respecto a las observaciones y a bajar los valores RMSE hasta 2 ppb

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

Para NO₂, el diagrama de Taylor representa una mejora de los coeficientes de correlación de Pearson hasta de 0,8 y una reducción del RMSE de hasta 5 ppb (Ver Figura 10-41).

Finalmente, el ajuste de O₃ hacia las mediciones muestra un incremento en los coeficientes de correlación de Pearson hasta de 0,85 y una reducción de RMSE de hasta 4 ppb (Ver Figura 10-42).

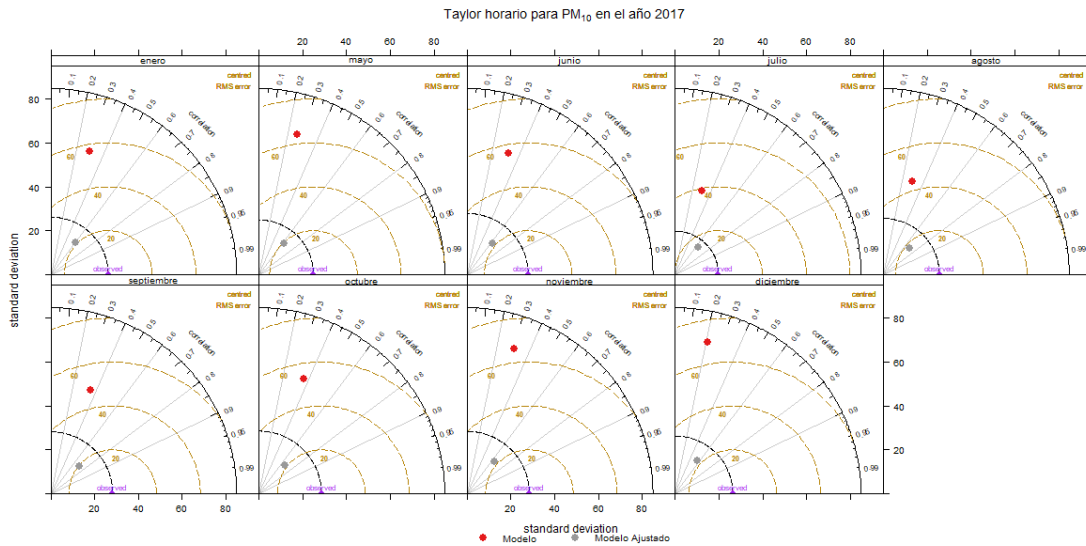


Figura 10-37 Diagramas de Taylor por mes para PM₁₀

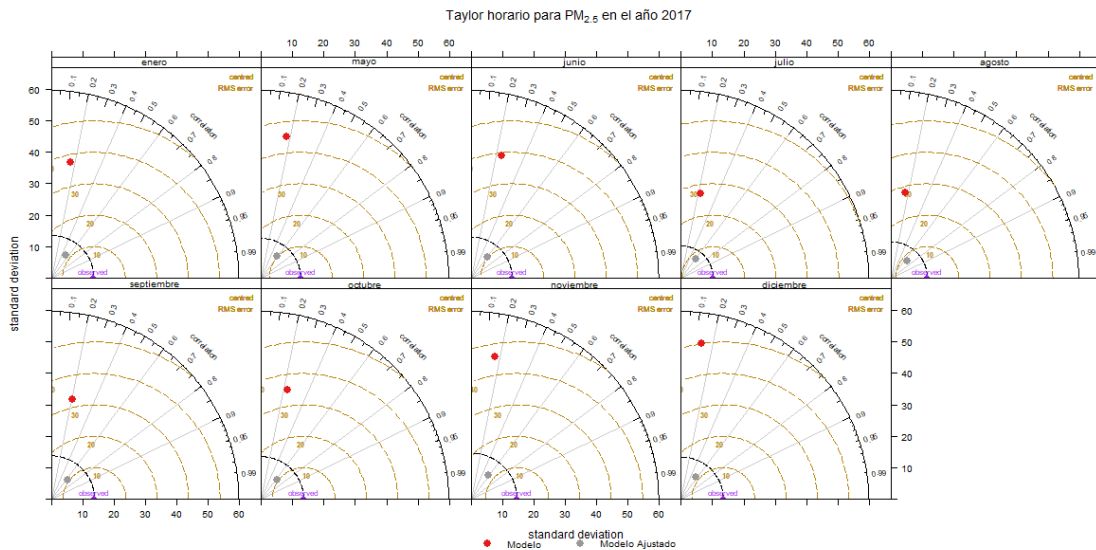


Figura 10-38 Diagramas de Taylor por mes para PM_{2.5}

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

Taylor horario para CO en el año 2017

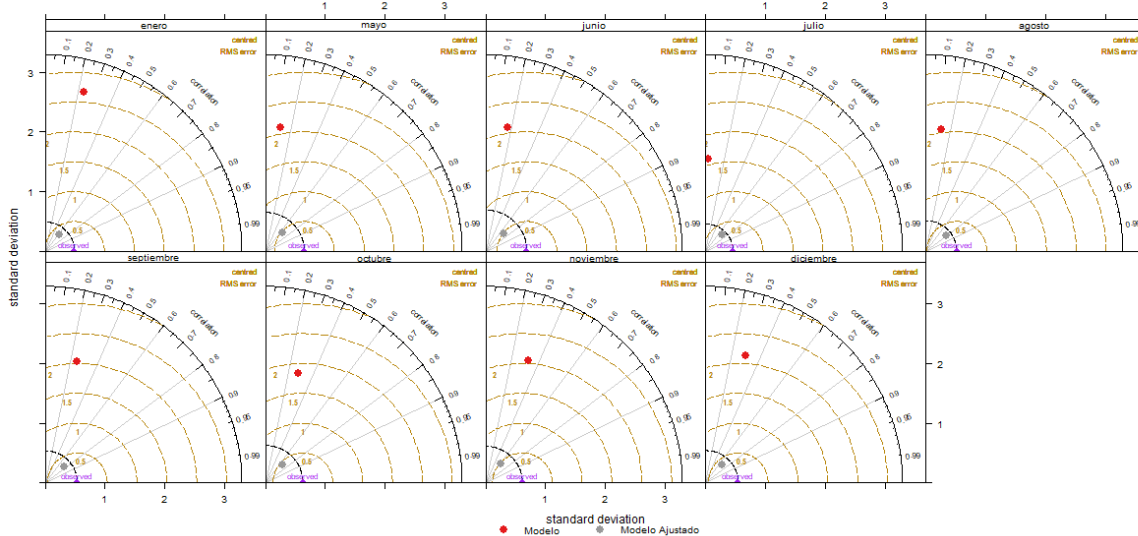


Figura 10-39 Diagramas de Taylor por mes para CO

Taylor horario para SO₂ en el año 2017

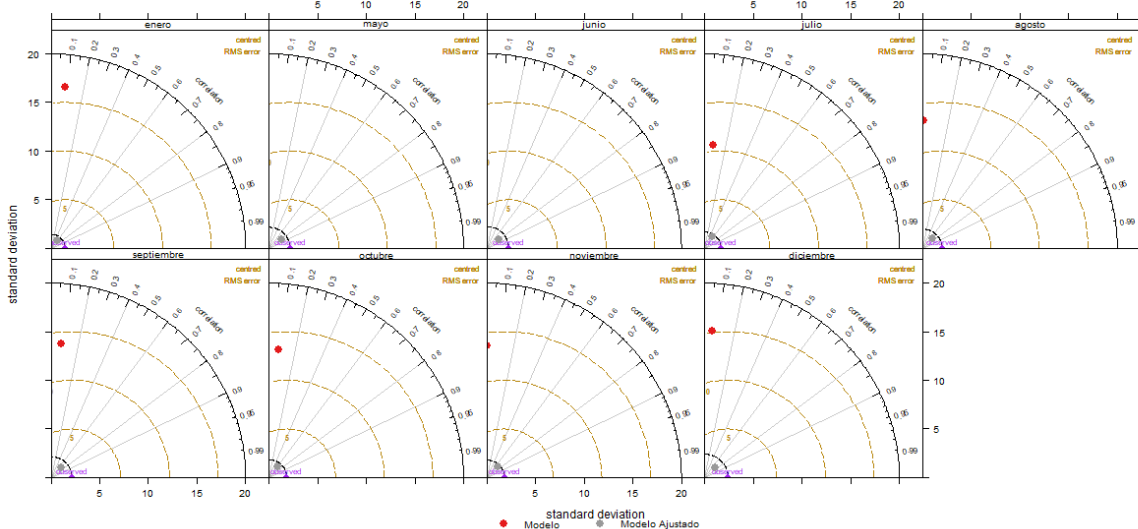


Figura 10-40 Diagramas de Taylor por mes para SO₂

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

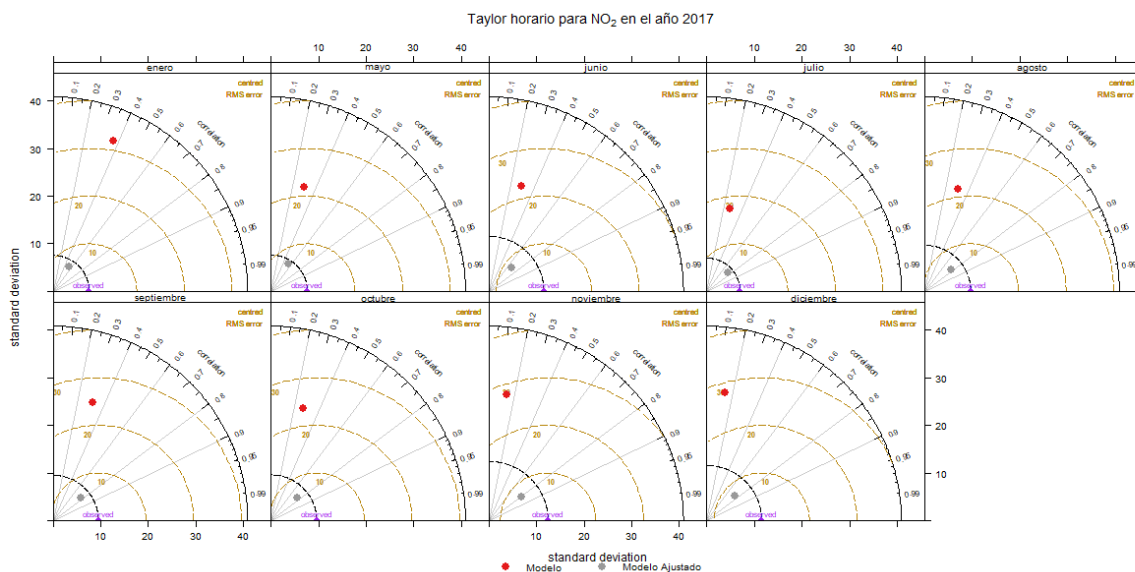


Figura 10-41 Diagramas de Taylor por mes para NO₂

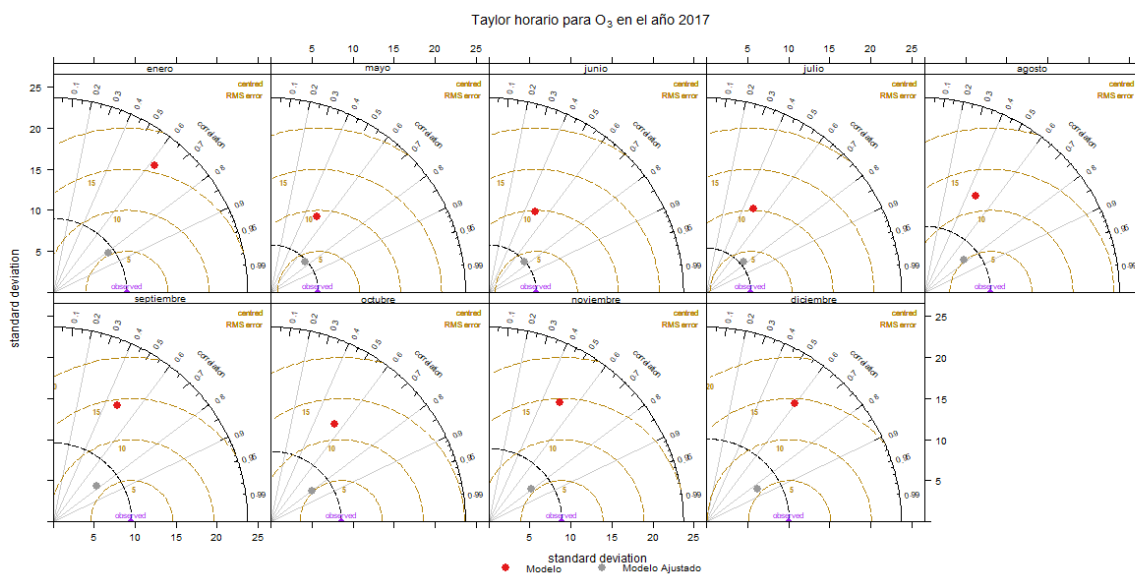


Figura 10-42 Diagramas de Taylor por mes para O₃

11 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

La necesidad de un ambiente sano permite mejorar las condiciones de salud de la población, por esta razón desde la dimensión de salud ambiental propuesta en el Plan decenal de salud pública se establecen un conjunto de políticas desarrolladas de forma transectorial que pretenden promover la calidad de vida y salud de la población, materializando el derecho a un ambiente sano, a través de la transformación de los determinantes sanitarios, sociales y ambientales usando la metodología de las fuerzas motrices, la cual muestra la relación entre factores ambientales y efectos en la salud, este método permite a los gobiernos determinar e identificar los factores determinantes de orden estructural, intermedio y proximal y plantear acciones sectoriales y transectoriales que permitan adoptar medidas preventivas y de intervención.⁹

Dicho plan comprende 8 dimensiones prioritarias, siendo una de ellas la de salud ambiental; Uno de los componentes de esta dimensión es el hábitat saludable, buscando mejorar la calidad de vida y salud de la población, interviniendo de forma positiva los determinantes sociales y en salud que influyen en el desarrollo de un ser humano desde su nacimiento, esto reúne una serie de entornos cotidianos como: vivienda, entornos educativos, entornos comunitarios saludables, entorno de trabajo y ecosistemas estratégicos saludables.

Entre los objetivos del componente de hábitat saludable, está el de intervenir con enfoque diferencial los determinantes sanitarios y ambientales de la salud relacionados con la calidad del aire, el ruido y las radiaciones electromagnéticas, los impactos del urbanismo, las condiciones de la ruralidad, las características de la movilidad, las condiciones de la vivienda y espacios públicos.

Con base en lo anterior, el decreto 596 de 2011 por el cual se adopta la Política Distrital de Salud Ambiental, establece que una de sus líneas de acción es la de Aire, Ruido y radiación Electromagnética y que se debe operar a través de las diferentes estrategias entre ellas: Gestión de la Salud Ambiental, Entornos Ambientalmente Saludables y Vigilancia de la Salud Ambiental. Dentro de este contexto la línea, ha venido adelantado acciones intersectoriales con el propósito de analizar los factores de riesgo posiblemente asociados al desarrollo de sintomatología respiratoria en los grupos vulnerables como son menores de catorce años y adultos mayores de 60 años, con esto se busca establecer acciones de intervención que tengan un efecto sobre los factores de riesgo con el propósito de disminuir la incidencia de los eventos posiblemente relacionados con la calidad del aire en Bogotá.⁹

Las anteriores acciones son realizadas a través de las cuatro subredes que reorganizaron la oferta pública de prestación de servicios de salud de la ciudad por medio del decreto 641 de 2016, conforme se evidencia en la Tabla 11-1.

9 Dimensión de Salud Ambiental, Plan decenal de Salud Pública 21021-2021. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf>

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 11-1. Subredes Integradas de Servicio de Salud y localidades donde realiza la cobertura

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

Fuente: Secretaría Distrital de Salud

11.1 GESTIÓN DE LA SALUD AMBIENTAL

En el marco de la implementación del Consejo Territorial de Salud Ambiental (COTSA) establecido por el CONPES 3550 de 2007 por el cual se adoptan los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, en Bogotá se desarrolló la Mesa de Salud Ambiental de la Comisión Intersectorial de Protección Ambiental, Sostenibilidad Ambiental, Eco urbanismo y Ruralidad CISPAER, en donde participaron diferentes entidades de la administración Distrital.

Dentro de los avances, la Secretaría Distrital de Ambiente realizó un análisis de series temporales de datos de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá – RMCAB, estableciendo las zonas de mayor contaminación del aire en Bogotá, las cuales se ubican al Sur Occidente de la ciudad, a fin que las entidades que realizan las acciones de inspección, vigilancia y control de las diferentes fuentes de emisión (industrias, vehículos y vías en mal estado) intensifiquen sus acciones de control en esta zona y con ello reducir las emisiones en el sector.

11.2 VIGILANCIA DE LA SALUD AMBIENTAL

La secretaria Distrital de Salud de Bogotá viene adelantando desde el año 2012 una vigilancia de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en grupos poblacionales vulnerables en la ciudad de Bogotá. Para realizar esta se tiene en cuenta los siguientes componentes de la vigilancia en salud pública:

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

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

La Secretaría Distrital de Salud desde el año 2007 viene adelantando diferentes iniciativas con el fin de documentar el impacto en la salud por la exposición a contaminación del aire en la ciudad; es así que se formuló y ejecutó un estudio epidemiológico encaminado a establecer relación entre la contaminación del aire intra y extramural y enfermedad respiratoria en menores de 5 años en Bogotá, el cual fue ejecutado hasta el año 2010; dados los resultados y la necesidad sentida de la ciudad, se decidió que a partir de este estudio se diseñara e implementará un sistema de vigilancia, epidemiológico, ambiental y sanitaria del impacto en la salud por exposición a contaminación del aire. La implementación de la vigilancia se ha realizado de manera progresiva y actualmente tiene una cobertura del 100% en las localidades urbanas de la Ciudad. (Figura 11-1)

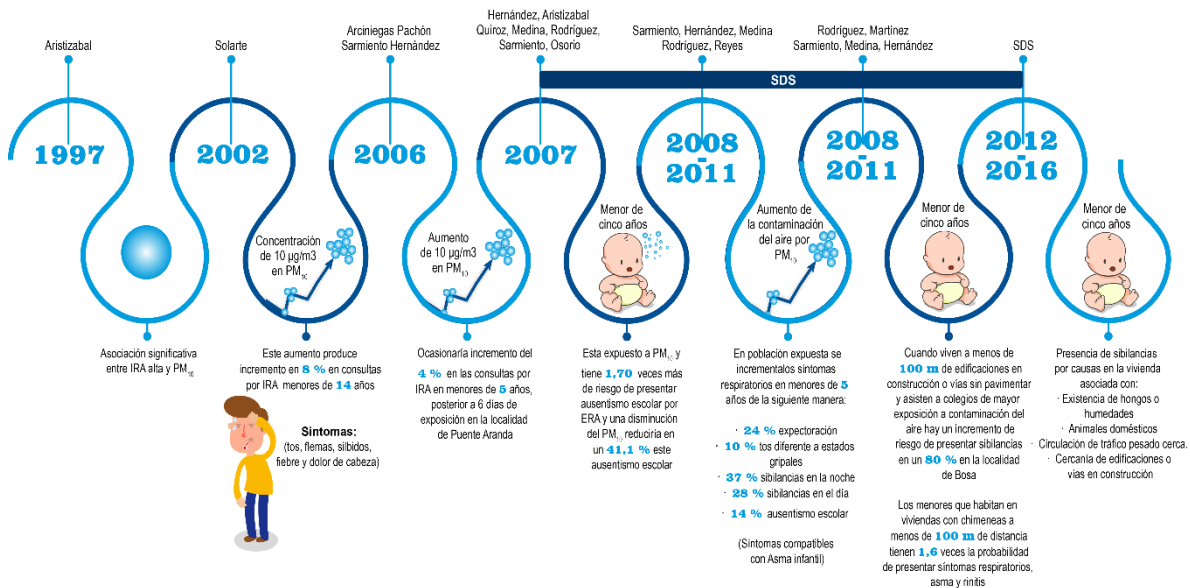


Figura 11-1. Estudios de la relación entre contaminación del aire y salud realizados en Bogotá.

Fuente: Secretaría Distrital de Salud

Entre los resultados encontrados se aclara, que la contaminación del aire por material particulado **NO** es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria sino un factor asociado, que en combinación con otros factores como la desnutrición, la contaminación intra domiciliar por tabaquismo pasivo, las enfermedades de base, las deficientes condiciones higiénicas, la falta de vacunación, el clima, entre otras, produce un aumento de las enfermedades respiratorias especialmente en grupos susceptibles (menores de 5 años, mujeres embarazadas y adultos mayores). Los estudios epidemiológicos actuales no establecen un umbral crítico por debajo del cual no se afecte la salud, riesgo cero no existe, por ejemplo en las metrópolis la población está expuesta a diferentes niveles de contaminación, es así que el periodo de latencia o de inicio de presentación de síntomas relacionados con esta exposición a contaminación del aire está entre 3 y 7 días.

Cabe mencionar que las afecciones respiratorias no son los únicos efectos en salud por contaminación del aire, existen diferentes patologías relacionadas con la contaminación del aire; de acuerdo a un metanálisis realizado en el año 2017, se encontró que con incrementos de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$ aumenta en 0,89% la mortalidad por todas las causas, así mismo aumenta en 0,80% la mortalidad cardiovascular y en 1,10% la mortalidad por enfermedades respiratorias.¹⁰ Por otra parte, otro evento relacionado con la contaminación atmosférica es el bajo peso al nacer, en la actualidad se encontró que la exposición materna durante el embarazo a $\text{PM}_{2.5}$ está asociada con partos prematuros y bajo peso al nacer.¹¹

Con respecto a enfermedades mentales como el Alzheimer, recientemente se halló que el polimorfismo MTHFR C677T se asoció con un mayor riesgo de desarrollo de la enfermedad de alzheimer, esto se debe a que “los mecanismos epigenéticos que incluyen las toxinas ambientales de la contaminación del aire pueden afectar el desarrollo del alzheimer a través de la modificación de las expresiones de los genes en las vías de metilación”.¹² Por último, en relación a posibles afecciones renales, en el año 2017 se evidenció que la exposición a material particulado ambiental puede estar asociada con un mayor riesgo de cáncer de parénquima renal.¹³ Es necesario reiterar, que estas son solo algunas de las enfermedades asociadas a contaminación del aire, ya que en el mundo se continúa realizando investigaciones con el propósito de observar otras posibles asociaciones.

11.4 VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA

La Secretaría Distrital de Salud realiza el seguimiento continuo y sistemático de las diferentes estrategias para la vigilancia de la infección respiratoria aguda de acuerdo con los procesos establecidos para la notificación, recolección y análisis de los datos, que permita generar información oportuna, válida y confiable para orientar medidas de prevención, vigilancia y control; es así que la Ciudad de Bogotá se adelanta el seguimiento de la morbilidad y mortalidad de este evento de notificación obligatoria.

11.4.1 MORTALIDAD POR INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA

10 Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. Souza Achilleos, Marianthi-Anna, Kioumourtoglou. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0160412016310418?via%3Dihub>

11 Association between ambient fine particulate matter and preterm birth or term low birth weight: An updated systematic review and meta-analysis. Xiangyu Li, Shuqiong Huang, Anqi Jiao. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.unbosque.edu.co/science/article/pii/S0269749116325507?via%3Dihub#bib20>

12 Meta-Prediction of the Effect of Methylenetetrahydrofolate Reductase Polymorphisms and Air Pollution on Alzheimer's Disease Risk. Suh-Mian Wu, Zhao-Feng Chen, Lufei Young and S. Pamela K. Shiao. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5295314/>

13 Outdoor air pollution and risk for kidney parenchyma cancer in 14 European cohorts. Raaschou-Nielsen, O Pedersen M, Stafoggia M. Disponible en: <https://spiral.imperial.ac.uk:8443/handle/10044/1/46219>

La infección respiratoria aguda (IRA) se considera un factor de riesgo para desencadenar algunas enfermedades del sistema respiratorio, como la exacerbación de enfermedades crónicas o síndrome bronco-obstrutivo; estas infecciones pueden ser causadas por microorganismos virales, bacterianos y otros, con una evolución menor a 15 días; representan una de las primeras causas de atención médica en todo el mundo, tanto en la consulta ambulatoria como en la hospitalización y se encuentran entre las primeras causas de mortalidad. Los menores de cinco años y los adultos mayores son los más vulnerables para adquirir estas infecciones¹⁴; ahora bien, en cuanto a la carga ambiental atribuible de esta enfermedad la Organización Mundial de la Salud determinó que la exposición a contaminación del aire es responsable del 7,9% de la carga de la enfermedad en el año 2012 a nivel mundial.¹⁵

La mortalidad por infección respiratoria aguda en menores de cinco años en Bogotá presenta una tendencia decreciente durante los últimos años representa un descenso del 25,0% en el número de casos de mortalidad por IRA en los últimos dos años. Ahora bien, la neumonía es quizás el evento más destacado de las llamadas Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) por lo cual internacionalmente se toma como un evento trazador y al igual que la IRA también ha representado un descenso en los últimos años correspondiente a un 14,8% en los casos, como se muestra en la Figura 11-2.

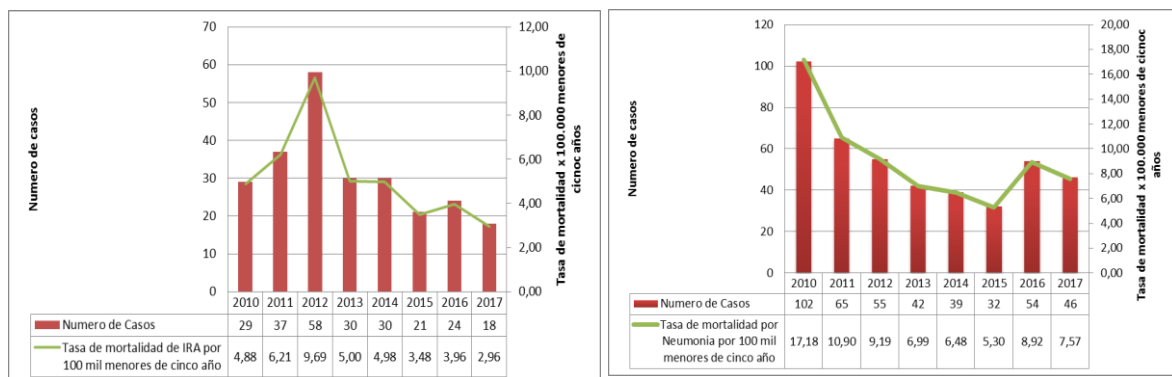


Figura 11-2. Comportamiento de la mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores de Cinco años. Bogotá, Periodo 2010 a 2017* (* años 2015 al 2017* datos preliminares)

Fuente: Base de datos SDS y aplicativo Web RUAF_ND, 2014, 2015*, 2016* y 2017* (*Preliminares)

En relación al comportamiento por localidades en Bogotá de la mortalidad por infección respiratoria aguda (IRA) en menores de 5 años durante el año 2017, Kennedy, Engativá y Rafael Uribe son las que presentan mayores casos.

14 Plan de Choque Segundo pico de infección respiratoria aguda. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf

15 Preventing disease through healthy environments A global assessment of the burden of disease from environmental risks A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos an. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

Por otro lado, la mortalidad infantil por neumonía, se presentó con mayor frecuencia en las localidades de Bosa y Kennedy. Según cifras de la estimación de carga de la enfermedad para Colombia, en el año 2010 las infecciones respiratorias inferiores, representaron aproximadamente un 3.5% del total de muertes en Colombia en el año 2010 ¹⁶, algunos factores ambientales como la contaminación del aire interior ocasionada por el uso de biomasa (como leña o excrementos) como combustible para cocinar o calentar el hogar, el hacinamiento en los hogares y el consumo de tabaco por los padres de los menores, aumentan la susceptibilidad de los niños para que desarrollen neumonía.(2)

Respecto a la presencia de estos casos en relación con los niveles de contaminación del aire, se observa que 5 casos de mortalidad por IRA y 8 casos de mortalidad por neumonía se presentaron en las zonas determinadas como de mayor exposición a contaminación del aire en Bogotá por material particulado PM_{2.5}, situación que también corresponde para material particulado PM₁₀ como se muestra en la Figura 11-4.

Según los análisis de los determinantes de la mortalidad por IRA y Neumonía en menores de 5 años realizados por la Secretaría Distrital de Salud se ha evidenciado que los factores de riesgo que influyen en este evento son: ser menor de 1 año, con antecedentes de prematurez, con bajo peso al nacer, hijos de madre adolescente, pertenecientes a estratos 1 y 2, con viviendas ubicadas en cercanías a un alto tráfico vehicular, con fuentes de contaminación del aire al interior de la vivienda.



Figura 11-3. Factores de riesgo para presencia de mortalidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) y Neumonía en Menores 5 años.

Fuente: Grupo ERA Secretaría Distrital de Salud

16 Estimación de carga de la enfermedad para Colombia, 2010. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/documents/12789/4434885/Carga+de+Enfermedad+Colombia+2010.pdf/e0dbfe7b-40a2-49cb-848e-bd67bf7bc62e>

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

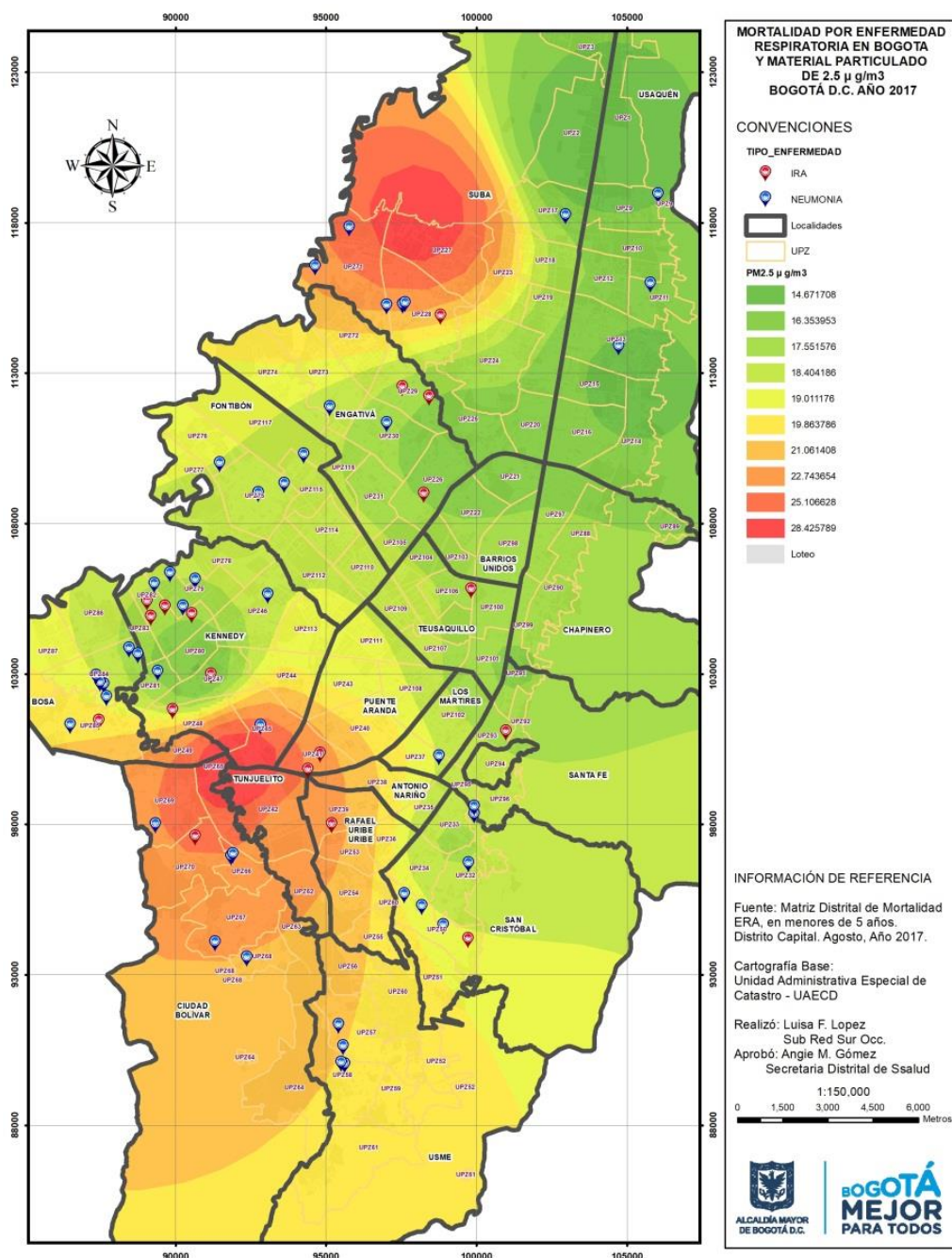


Figura 11-4. Casos de mortalidad por Enfermedad Respiratoria en menores de 5 años y material particulado 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Bogotá, 2017.

Fuente: Niveles de contaminación Secretaría Distrital de Ambiente y mortalidad grupo ERA y Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética –Secretaría Distrital de Salud.

11.4.2 MORBILIDAD POR INFECCION RESPIRATORIA AGUDA

Según los protocolos establecidos a nivel nacional, la Secretaría de Salud viene adelantando dos esquemas de vigilancia de la IRA en Bogotá, el primero dado por los eventos de notificación obligatoria en el marco del Sistema de Vigilancia Epidemiológico SIVIGILA del distrito con base en la resolución 3518 de 2006 (morbilidad atendida) y en segunda medida la vigilancia centinela de los efectos en salud por exposición a contaminación del aire en Bogotá (morbilidad sentida) conforme a lo establecido en la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021.

11.4.2.1 Morbilidad Atendida

En Colombia, el Instituto Nacional de Salud -INS-, en el informe final de IRA, indicó que hasta la semana 52 del año 2017 se notificaron 6.955.075 casos de consulta externa y urgencias por infección respiratoria aguda, para lo cual la ciudad de Bogotá aporta el 25% de los casos en el país; adicionalmente frente al impacto de la enfermedad y con base en los registros de hospitalización el Distrito Capital aporta el 32% de los casos, siendo la ciudad que más aporta a la aparición de este evento en Colombia¹⁷.

Por lo anterior, en Bogotá la Infección Respiratoria Aguda es uno de los principales eventos de interés en salud pública que afecta a la población infantil de la ciudad. En la figura 10-5 se presenta el consolidado del total de casos que fueron reportados a través del Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SIVIGILA) de forma colectiva durante los años 2012 a 2017, por lugar de atención de los casos (localidad que notifica), conforme a lo establecido en el Protocolo Nacional de Vigilancia¹⁸. Es así que de los casos notificados, el 30% se presentan en menores de 5 años representando el grupo más vulnerable en el Distrito Capital; a través de los años se observa una tendencia creciente en la notificación de casos de Infección respiratoria aguda en menores de cinco años en Bogotá siendo el año 2017 el año que mayor incremento se ha registrado con 553.970 caso que comparado con el año 2016 corresponde a un incremento del 6,9% en la notificación de IRA y el mayor incremento de estos casos se presenta en los meses de marzo a junio del año 2017.

17 <http://www.ins.gov.co/buscadoreventos/Informesdeevento/IRA%20PE%20XIII%202017.pdf>

18 *Vigilancia de morbilidad por IRA* : “La vigilancia de la morbilidad por IRA se realizará en todas las instituciones de salud de todos los niveles de atención; corresponde a la notificación semanal, colectiva por grupos de edad de casos de IRA en los servicios de consulta externa y urgencias, hospitalización general, hospitalización en UCI del total de casos atendidos por todas las causas, y el número de muertes por IRA del total de muertes por todas las causas”. En: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA/PRO%20Infeccion%20Respiratoria%20Aguda%20IRA.pdf>

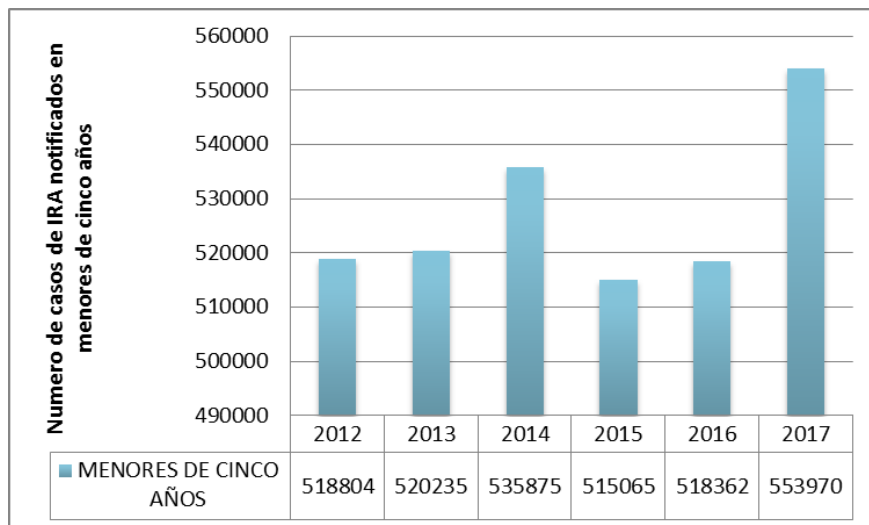


Figura 11-5. Consolidado Morbilidad por Infección Respiratoria Aguda (IRA) en menores de cinco años en Bogotá D.C. Años 2012 a 2017.

Fuente: Base de datos Sivigila. Vigilancia de IRA.2012-2017

Una estrategia de Atención Primaria en Salud para reducir el impacto de esta enfermedad, es la atención de menores de 5 años en las salas de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) ubicadas en las diferentes instituciones prestadoras de servicio de salud; de esta atención se registran los casos en este grupo de edad a través de 80 salas ERA; es así que en el año 2016 se atendieron un total de 54.186 menores de cinco años y que comparado con el año 2017 se redujo la atención en 9,7% (48.931 menores) en comparación con el año anterior. Los diagnósticos atendidos en salas ERA se muestran en la Figura 11-6.

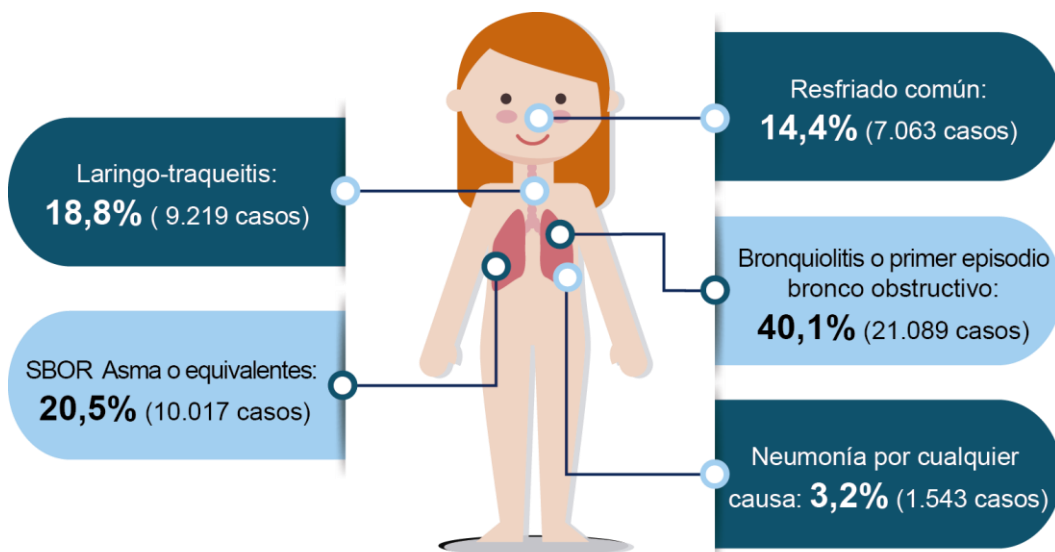


Figura 11-6. Principales diagnósticos de IRA atendidos en salas ERA en Bogotá año 2017

Fuente: Base de datos Salas ERA.2017

De los casos atendidos en menores de 5 años, el 35% se presentaron en menores de 1 año, en donde el diagnóstico más frecuente para este subgrupo de edad la presencia de bronquiolitis y Síndrome Bronco-obstrutivo siendo los más graves de los atendidos en estas salas.

11.4.2.2 Morbilidad Sentida

El Sistema de vigilancia epidemiológica, ambiental y sanitaria de los efectos en salud por la exposición a contaminación del aire por material particulado, mensualmente realiza el monitoreo de eventos respiratorios en población vulnerable en escolares (0-14 años) y adulto mayor de 60 años configurándose como una vigilancia centinela que se realiza por medio de la aplicación de una encuesta de prevalencia de sintomatología respiratoria y factores asociados a contaminación del aire. A continuación se presentan los resultados para el grupo más vulnerable (menores de 5 años):

En el año 2017 se intervinieron un total de 5418 niños(as), de los cuales el 50,8% corresponden al sexo masculino, como aparece en la Tabla 11-2. Adicionalmente los niños analizados pertenecían en su mayoría a los estratos 1 al 3 con un promedio de edad de 37.4 meses.

Tabla 11-2. Estadísticas descriptivas según sexo, edad y estrato socioeconómico de los menores de cinco años según la exposición a contaminación del aire.

Estrato	Sexo				Total		EDAD MESES	
	Masculino		Femenino		No. de Casos	Porcentaje	Media	Desviación estándar
	No. de Casos	Porcentaje	No. de Casos	Porcentaje				
0	2	0,1%	0	0,0%	2	0,0%	37,4 meses	+/-12,8
1	422	15,3%	449	16,9%	871	16,1%		
2	1425	51,7%	1402	52,6%	2827	52,2%		
3	842	30,6%	746	28,0%	1588	29,3%		
4	62	2,3%	61	2,3%	123	2,3%		
5	1	0,0%	5	0,2%	6	0,1%		
6	0	0,0%	1	0,0%	1	0,0%		
Total	2754	50,8%	2664	49,2%	5418	100,0%		

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética–Secretaría Distrital de Salud. 2017

En el marco de la vigilancia se identifican síntomas trazadores como sibilancias (ruidos en el pecho), tos y congestión nasal, así como el impacto de la enfermedad por medio de la medición del ausentismo escolar por enfermedad respiratoria. Es así que en la Tabla 11-3, se observan las prevalencias de sintomatología respiratoria en menores de cinco años, más frecuentes fueron sibilancias alguna vez en la vida y congestión nasal dado por mocos y nariz tapada en el último año.

Las prevalencias de los diferentes síntomas respiratorios en los menores de cinco años en la muestra 2017 en Bogotá fueron menores en el grupo de Mayor exposición por lo cual, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre las variables mencionadas, por lo tanto se hizo

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

necesario el análisis de otros posibles factores de riesgo que pueden estar asociados con la aparición de sintomatología respiratoria en los menores de cinco años.

Tabla 11-3. Porcentaje de Síntomas respiratorios según la exposición a contaminación del aire

Síntomas	Exposición				Total	
	Mayor		Menor			
	Número de Casos	Porcentaje	Número de Casos	Porcentaje	Número de Casos	Porcentaje
MOCOS Y NARIZ TAPADA ULTIMO AÑO	756	26,40%	806	31,60%	1562	28,80%
SIBILANCIAS ALGUNA VEZ EN LA VIDA	1020	35,60%	911	35,70%	1931	35,60%
SIBILANCIAS EN EL ULTIMO AÑO	380	13,20%	356	14,0%	736	13,60%
TOS EN EL ULTIMO DIFERENTE A LA TOS POR INFECCIONES RESPIRATORIAS	526	18,30%	608	23,80%	1134	20,90%
TOS POR EJERCICIO LEVE	462	16,10%	421	16,50%	883	16,30%
TOS POR RISA/LLANTO	234	8,20%	291	11,40%	525	9,70%
DESPIERTA POR TOS	454	15,80%	493	19,30%	947	17,50%
AUSENTISMO ESCOLAR	729	25,40%	794	31,10%	1523	28,10%
Total	2868	100%	2550	100%	5418	100%

* Diferencias estadísticamente significativas entre las prevalencias ($p < 0,05$)

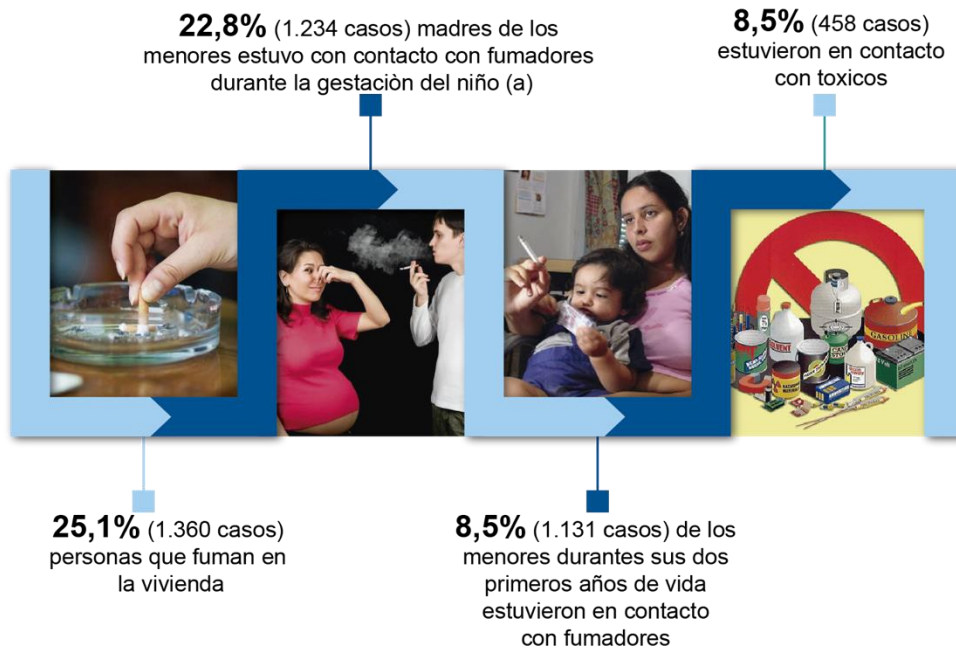
Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética–Secretaría Distrital de Salud.2017

Desde el punto de vista de impacto de la enfermedad, la presencia de Sibilancias en menores de 5 años es un síntoma compatible con el asma, siendo esta una enfermedad principalmente de tipo alérgico en donde la contaminación del aire es un factor de riesgo importante para desarrollar este evento; existe una fuerte evidencia que muestra que el aumento de la contaminación del aire provoca las exacerbaciones del asma y aumentan el número de hospitalizaciones en adultos y niños.

Posteriormente se comparó la prevalencia entre los expuestos a distintos factores de riesgo con relación a los no expuestos, como se muestra a continuación:

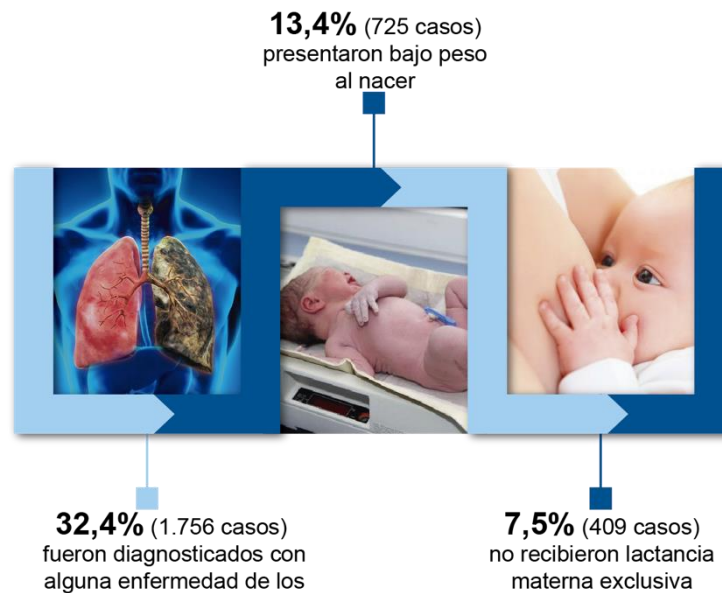
- Exposición a tóxicos

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 – RM CAB
INFORME ANUAL



- Antecedentes en salud

En cuanto a los antecedentes en salud de los menores con sibilancias, el 32,4% (1756 casos) fueron diagnosticados con alguna enfermedad de los bronquios o pulmones, el 13,4% (725 casos) presentaron bajo peso al nacer y el 7,5% (409 casos) no recibieron lactancia materna exclusiva.



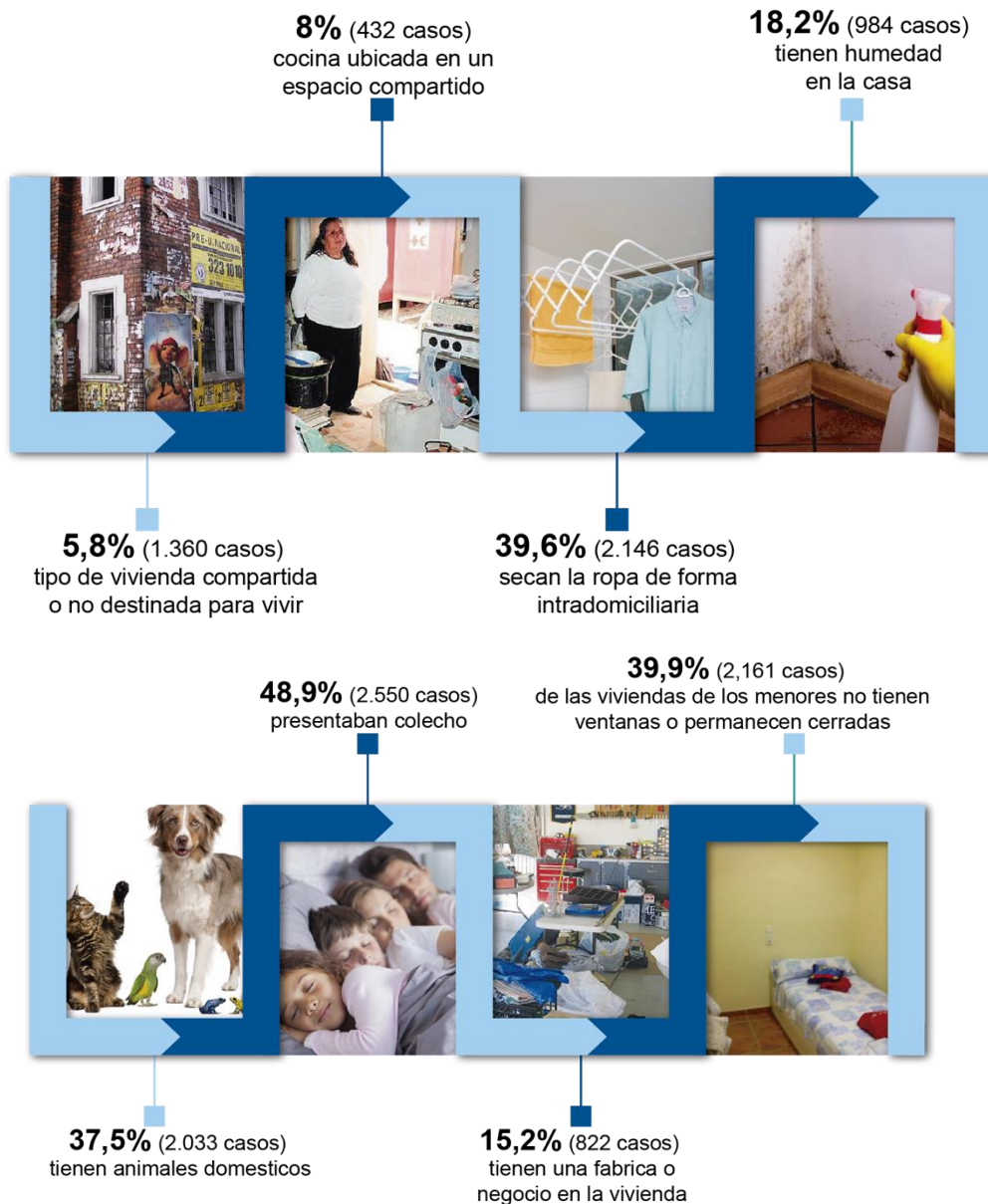
Fuentes fotos:

<https://www.lavidalucida.com/10-remedios-caseros-para-curar-la-bronquitis.html>

<http://www.consumer.es/web/es/bebe/bebes/una-semana/2017/04/18/225184.php>

<http://ve.emedemujer.com/embarazada/la-lactancia-materna-reduce-riesgo-mortalidad-infantil/>

- Condiciones intradomiciliarias

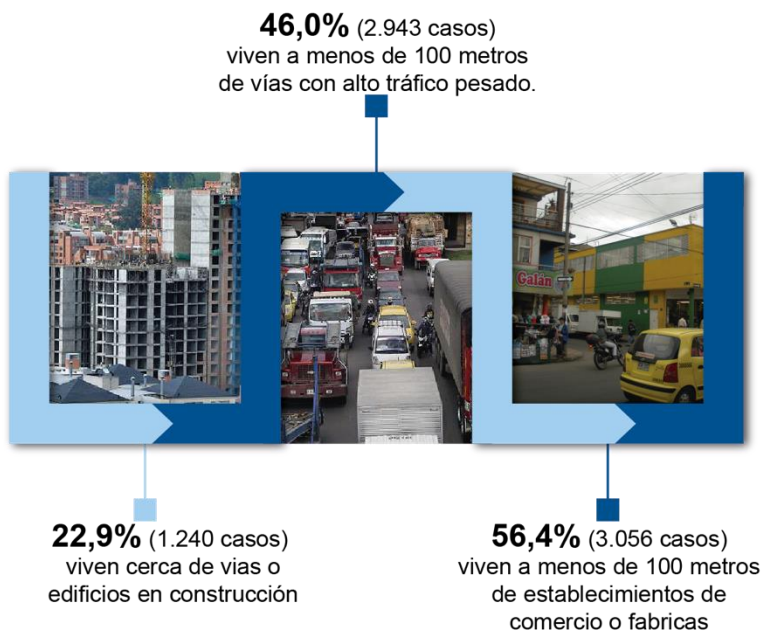


Fuentes fotos:

- <https://www.unipymes.com/subastaran-31-edificaciones-que-estan-abandonadas-en-bogota/>
- http://www.la-razon.com/suplementos/especiales/Vida-refugios_5_1565893400.html
- <http://www.decoracionia.net/tendederos.html>
- <https://mejorconsalud.com/7-trucos-infalibles-deshacerte-la-humedad-la-casa/>
- <http://blog.segurosbroker.com/animales-domesticos-o-no-y-el-seguro/>
- http://cadenaser.com/programa/2016/11/08/hoy_por_hoy/1478602677_519522.html
- <http://ellatinonline.com/news/2016/apr/28/crecen-negocios-en-casa-informo-lider-de-sba-en-sd/>

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

- Condiciones extradomiciliarias



Fuente fotos:

<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16469767>

<http://mapio.net/pic/p-59506>

Según la organización mundial de la salud (OMS), ocurren más de 500.000 muertes al año por infecciones respiratorias atribuidas a la contaminación del medio ambiente en el mundo. En relación a la contaminación del aire, se estima que la quema de carbón o biomasa en interiores, aumenta el riesgo de padecer cáncer de pulmón; el estudio de carga de la enfermedad estimó que el 14% de los cánceres de pulmón son atribuibles a la contaminación del aire, el 17% a contaminación del aire en el hogar, 6.5% al radón, 1.8% al humo de tabaco de segunda mano y el 6,6% a riesgos ocupacionales. Adicionalmente se encontró que la exposición a la contaminación del aire puede reducir la esperanza vida de la población hasta varios años, este factor es responsable de aproximadamente el 24% de la carga mundial por enfermedad isquémica del corazón. Por otro lado, en el año 2012, el 25% de la carga de la enfermedad por accidente cerebrovascular (en DALYs) fue atribuible a la contaminación del aire exterior.¹⁹

De acuerdo al análisis multivariado, no se observó una asociación estadísticamente significativa entre la exposición a la contaminación atmosférica a la que estuvieron sometidos los niños estudiados y la ocurrencia de sibilancias en los menores de cinco años.

Sin embargo si se logró determinar que los siguientes factores de riesgo se asociaron con la presencia de este síntoma de la siguiente manera:

¹⁹ Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks. A Prüss-Ustün, J Wolf, C Corvalán, R Bos and M Neira. Disponible en: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/preventing-disease/en/

✓ **Factores de riesgo ambiental**

- Los niños que habitan a menos de 100 metros de vías con tráfico pesado tienen 22,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que habitan en una vivienda que poseen humedad tienen 32.1% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que conviven con animales domésticos tienen 22.6% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que están en contacto con sustancias tóxicas tienen un 50,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que están en contacto con fumadores durante sus dos primeros años tienen 50,7% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- Los niños que habitan una vivienda compartida tienen 51,5% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.

✓ **Otros**

- Los niños que nacen con bajo peso tienen 33,1% más posibilidades de presentar sibilancias en el último año
- Los niños que han tenido una enfermedad de bronquios o pulmones tienen 6,8 veces más posibilidades de presentar sibilancias en el último año.
- A menor edad del niño más posibilidad de presentar sibilancias en el último año.

Dados los resultados anteriormente expuestos, se concluye que en cuanto a la exposición a tóxicos se observa una asociación estadísticamente significativa entre el tabaquismo pasivo durante los dos primeros años de vida del menor y la presencia de sibilancias en los menores de cinco años; cabe mencionar que la exposición a humo de tabaco de segunda mano sigue siendo el principal condicionante de los síntomas respiratorios en menores de 5 años, con lo cual se hace necesario fortalecer la prevención de consumo de tabaco al interior de los hogares.

Otro factor de gran importancia en la contaminación ambiental es el tráfico circulante; según varios estudios, las emisiones de los vehículos son una de las fuentes más relevantes de exposición a contaminación del aire para el ser humano, esta exposición a material particulado puede darse al caminar o pasear en bicicleta por las calles o avenidas(5).

11.5 VIGILANCIA AMBIENTAL

La Secretaría Distrital de Salud realiza el análisis de los niveles de calidad del aire en la ciudad de Bogotá con base en la Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de Salud – OMS; con base en los datos reportados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Para el año 2017 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá reportó un total de 3316 datos válidos de material particulado PM₁₀. Los datos fueron reportados por 11 estaciones las cuales

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

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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; fueron Carvajal 6,8% ($n=225$) y con un Kennedy 5,2% ($n=172$), Puente Aranda con un 4,3% ($n=141$) y Suba Corpas con un 4,2% ($n=140$) con respecto al total de datos diarios. Adicionalmente, en el Distrito se reportaron un total de 920 excedencias de los promedios diarios respecto a la guía OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando un 28% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 11-7.

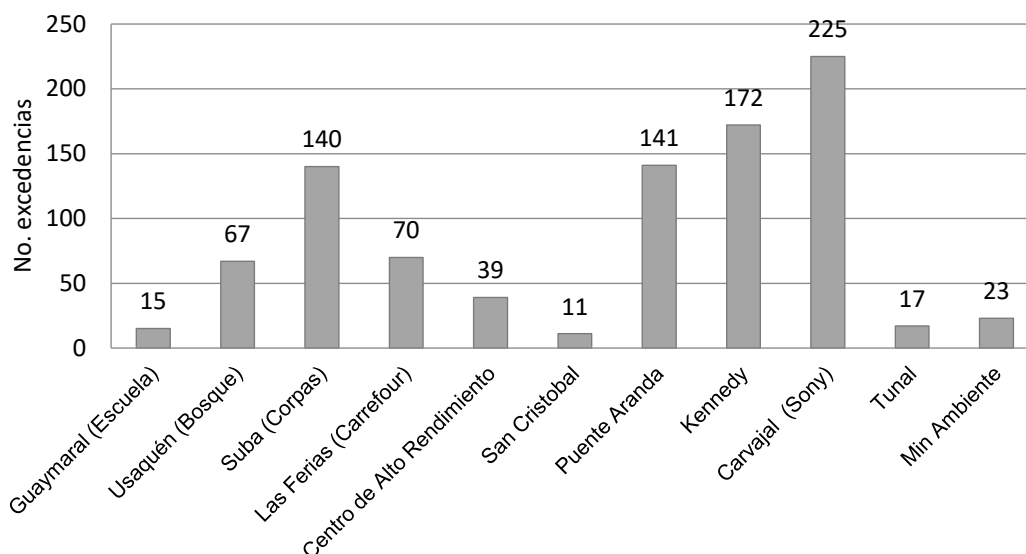


Figura 11-7. Excedencias diarias de la normativa guía OMS de material particulado PM_{10} en Bogotá en el año 2017

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

De igual forma, en el Distrito se reportaron un total de 769 excedencias de los promedios diarios de $\text{PM}_{2.5}$ respecto a la guía OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando un 23% respecto al total de los datos reportados en el año, como se muestra en la Figura 11-8.

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

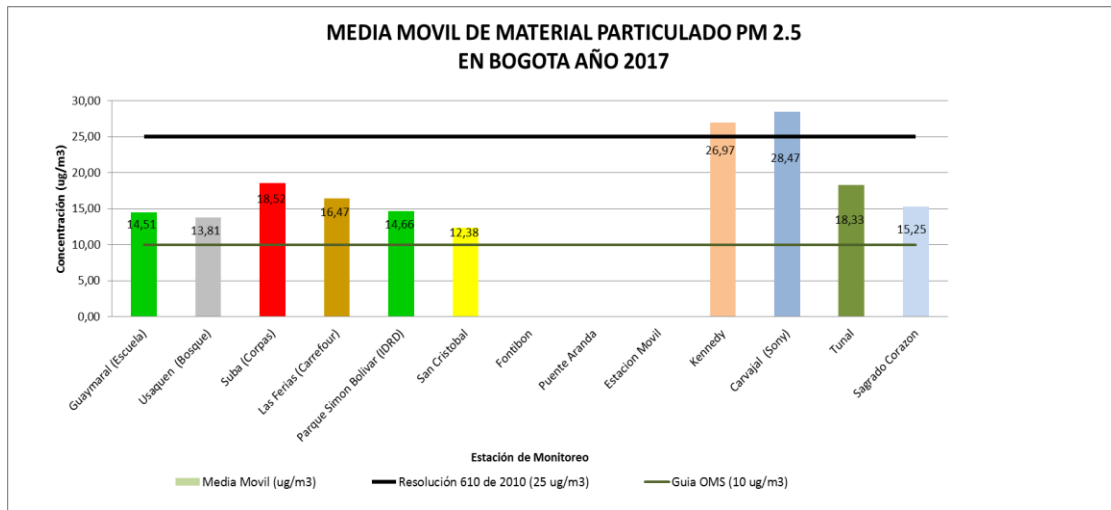


Figura 11-8. Promedios de las medias móviles de concentraciones de PM_{2.5} por estación para el año 2017

Desde el punto de vista de exposición aguda, es decir concentración en 24 horas se observa en la Figura 11-9 y la Figura 11-10 la temporalidad de las excedencias diarias del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en Bogotá, en donde de forma histórica se presentan dos picos de excedencias, el primero en los meses de enero a marzo y el segundo en los meses de septiembre a noviembre, evidenciando que los niveles más bajos en el año se presentan en julio y agosto. Es así que, en los 365 días del año, entre el 2011 y el 2017 en promedio el 38% de los días excede la recomendación dada por la OMS de 50 µg/m³.

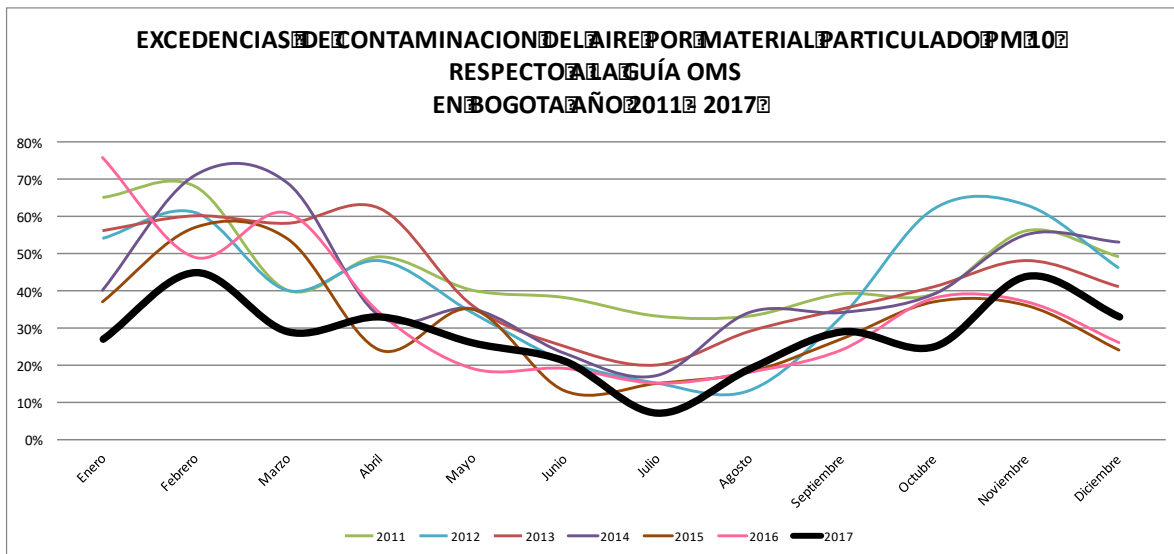


Figura 11-9. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM₁₀ respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2011-2017

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

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 – RM CAB
INFORME ANUAL

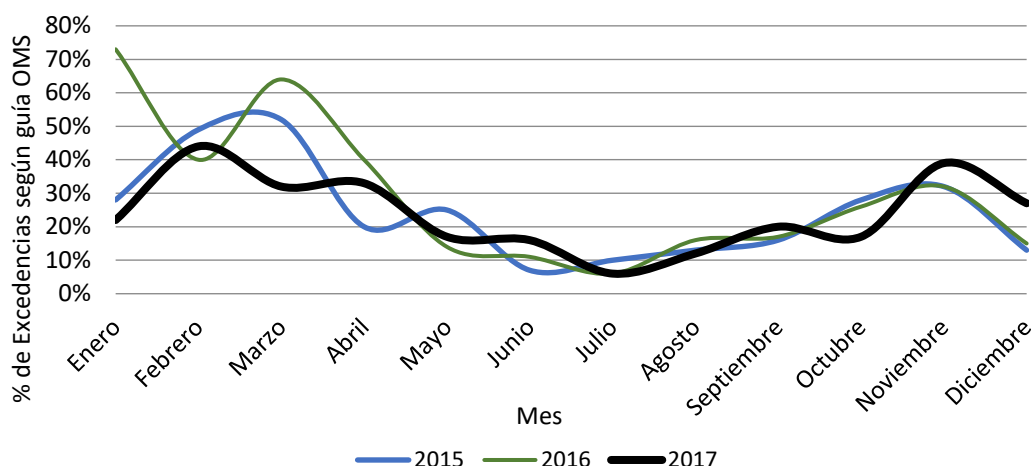


Figura 11-10. Proporción de excedencias de contaminación del aire por material particulado PM_{2.5} respecto a la Guía de Calidad del Aire de la OMS en Bogotá año 2015-2017

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

Ahora bien, con base en los datos históricos y comparándolos frente los diferentes objetivos establecidos por la OMS, se evidencia que para el caso del material particulado PM₁₀ para el año 2017 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo de 70 µg/m³, siendo la primera vez en los últimos 4 años que se logra, sin embargo y aunque se ha mejorado los niveles de calidad para el caso de las metas establecidas para el objetivo intermedio 2 y 3 todavía falta alcanzar el nivel de cumplimiento.(Tabla 11-4)

Tabla 11-4. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM₁₀ establecidos por la Organización Mundial de la Salud

Año	Cumplimiento objetivo Intermedio 1 (70 µg/m ³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 2 (50 µg/m ³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 3 (30 µg/m ³)	Guía de Calidad del Aire (20 µg/m ³)
2014	83%	50%	0%	0%
2015	91%	73%	27%	0%
2016	91%	55%	9%	0%
2017	100%	73%	27%	0%

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

Para el caso del material particulado PM_{2.5} para el año 2017 se cumple en su totalidad con la meta de estar por debajo 35 µg/m³, sin embargo, aunque falta cumplir con los objetivos 2 y 3 se evidencia un aumento en el nivel de cumplimiento para el ultimo llegando a un 50%, cabe anotar que esta fracción de material particulado es una de las que más incidencia tiene en la salud. (Tabla 11-5).

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 11-5. Proporción de cumplimiento en Bogotá de objetivos de calidad del aire para material particulado PM2.5 establecidos por la Organización Mundial de la Salud

AÑO	Cumplimiento objetivo Intermedio 1 (35 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 2 (25 µg/m³)	Cumplimiento objetivo Intermedio 3 (15 µg/m³)	Guía de Calidad del Aire (10 µg/m³)
2015	100%	80%	40%	0%
2016	100%	100%	30%	0%
2017	100%	80%	50%	0%

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

11.6 VIGILANCIA SANITARIA

Este proceso consta de las quejas recibidas por la comunidad respecto a las fuentes de contaminación del aire a nivel local que posiblemente están afectando la salud; para el año 2017 se presentaron ante la Secretaría Distrital de Salud un total de 57 relacionadas con contaminación del aire por material particulado. (Figura 10-11). Las 57 quejas atendidas en el año 2017 equivalen a una reducción del 23% con respecto a las atendidas en el año 2016.

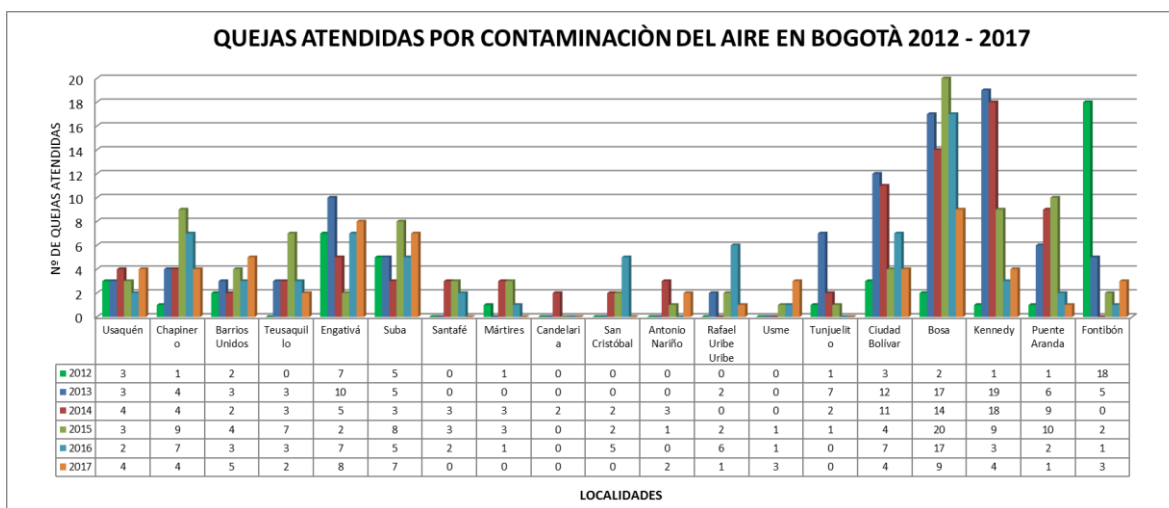


Figura 11-11. Quejas atendidas por contaminación del aire en Bogotá 2012-2017.

(Fuente: Sistemas de Información aire, ruido y radiación electromagnética. SDS.2017)

Las localidades donde se presentó la mayor frecuencia de reporte fueron: Bosa con un 15,8% del total de quejas (n=9), Engativá con un 14% del total de quejas (n=8) y Suba con un 12,3% del total de quejas (n=7).

Durante el proceso de atención a las quejas se indaga frente a los conocimientos, actitudes y prácticas relacionadas con prevención de la exposición a contaminación del aire y sus posibles efectos sobre la salud; es así que se logró encuestar a un total de 350 personas en 38 UPZ, de estas

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

personas el 65% eran de sexo femenino y 35% de sexo masculino, sus edades se encuentran entre los 14 y 82 años con un promedio de 44 años. (Figura 11-12)

En dicha población el 65% reportó que el tipo de fuente objeto de la queja fue área (quemadas a cielo abierto, explotación de canteras, inadecuada disposición de residuos sólidos) y el restante 35% correspondió a tipo de fuente fija como restaurantes, asaderos, parqueaderos, quemadas al interior de viviendas, talleres de mecánica entre otros.

Al encuestar a las personas respecto a la forma en que percibían la contaminación del aire dentro del hogar el 35% lo percibe en forma de humo, el 34% en forma de olor y el 23% en forma de polvo. El tiempo de exposición a la problemática objeto de la queja en un 56% es mayor a un año, en un 88% en horario diurno y el 12% de las personas comentaron percibir la contaminación en la noche. Al indagar por la percepción de salud en las personas encuestadas, se tiene que el 63% considera que la contaminación del aire le ha afectado de alguna manera el estado de salud principalmente por el aumento en síntomas respiratorios como tos, estornudos, alergias otros como irritación ocular, dolor de cabeza y estrés.

Respecto a la exposición a contaminantes del aire por otras fuentes diferentes a la que motivo la queja se tiene que el 42% de las viviendas se encuentran cerca de vías de tráfico pesado, el 30% tiene cerca edificaciones en construcción, el 15% tiene exposición al humo de cigarrillo y el 13% reporta presencia de humedad y hongos al interior de la vivienda. Estos últimos se consideran como factores adicionales de exposición que en asociación con las problemáticas ambientales incrementan el riesgo para presentar enfermedad respiratoria.

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

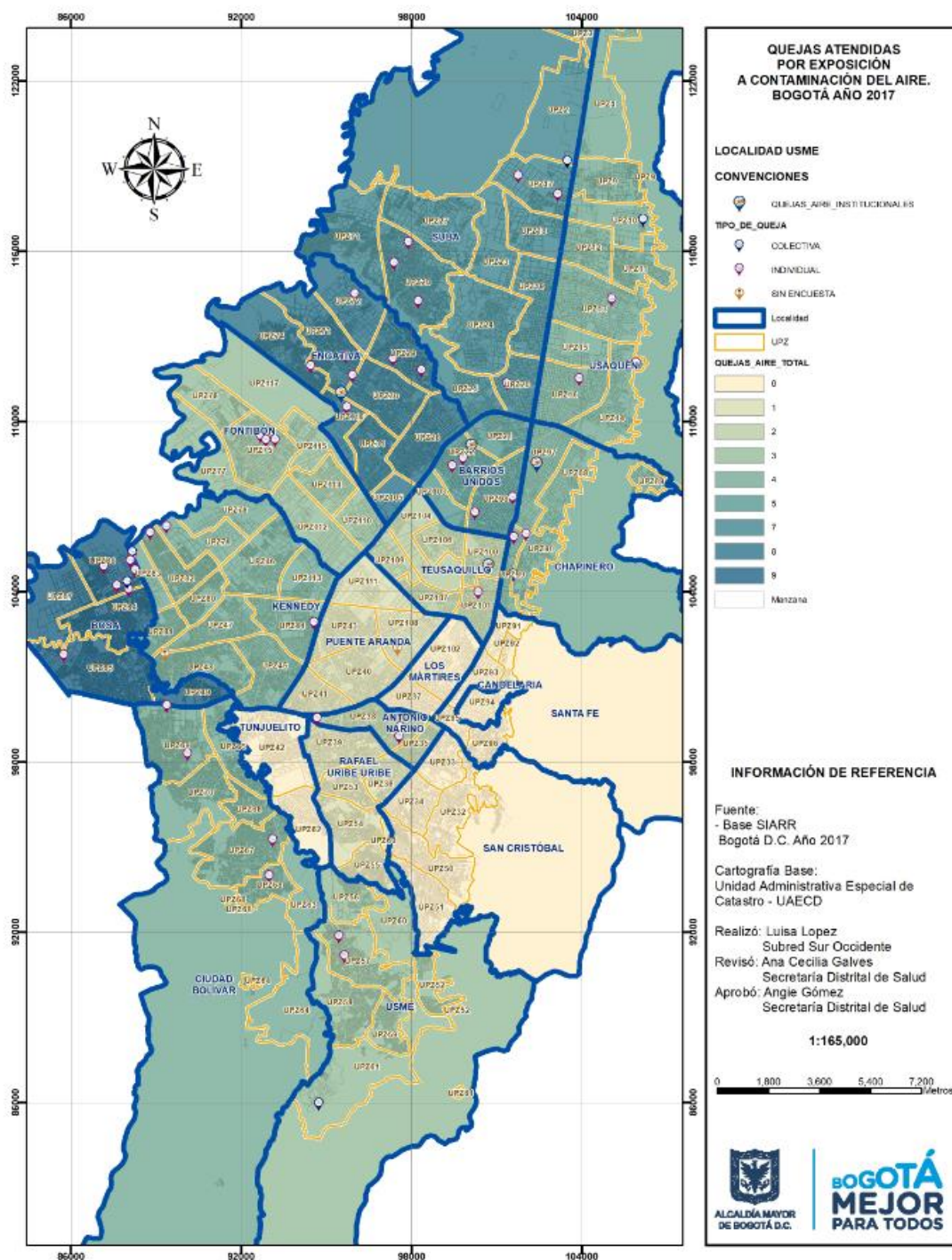


Figura 11-12. Quejas atendidas por la Secretaría Distrital de Salud debido a la exposición de la comunidad a contaminación del aire en Bogotá, 2017

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

11.6.1 ACCIONES DE PROMOCION Y PREVENCION

La Secretaría Distrital de Salud suscribió con la Secretaría Distrital de Ambiente el Convenio Interadministrativo 1353 de 2015, el cual tiene por objeto “Aunar esfuerzos entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Secretaría Distrital de Salud, para articular el desarrollo de acciones de cooperación técnica e investigativa, como parte de las estrategias de implementación de la Política Distrital de Salud Ambiental y del Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá –PDDAB”.

Producto de este convenio se cuenta con la expedición de la Resolución 2410 de 2015 “Por medio de la cual se establece el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA– para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá D.C. y se toman otras determinaciones” y de la Resolución 595 de 2015 “Por el cual se adopta el Sistema de Alertas Tempranas Ambientales de Bogotá para su componente aire, SATAB-aire”

De acuerdo con las disposiciones establecidas en la Resolución 2410 de 2015 en relación con la “Estrategia pedagógica, de comunicación y de divulgación del Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA–”, esta Secretaría en conjunto con la Secretaría Distrital de Ambiente elaboró el Manual de identidad del Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA (disponible para su consulta en el link http://201.245.192.252:81/App_AQI/AQI.es-CL.pdf).

Al respecto, en el año 2017 la Secretaría Distrital de Salud desarrollo piezas comunicativas, a través de las cuales se realiza la divulgación del IBOCA, así como las recomendaciones en salud para prevenir la exposición a contaminación del aire (disponible para consulta en el Observatorio de Salud Ambiental de Bogotá <http://biblioteca.saludcapital.gov.co/ambiental/>)

Como complemento a esta estrategia y conscientes de la necesidad de hacer partícipe a la ciudadanía en la prevención y el control de los factores que ponen en riesgo la calidad del aire y por ende la afectación en su salud, el 1 de Junio de 2017 se presentó a la comunidad la herramienta informática que permite **conocer el Pronóstico** del Índice Bogotano de Calidad del Aire “IBOCA” en el que consiste en un modelamiento de calidad del aire de Bogotá, con una prospección de 48 horas empleando el Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá de la Secretaría Distrital de Ambiente, siendo este lanzamiento realizado con medios de comunicación por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Distrital de Salud y acompañamiento del Ministerio de Ambiente.



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 – RM CAB
INFORME ANUAL

Figura 11-13. Registro fotográfico presentación Pronóstico IBOCA

Fuente: Línea de Aire, Ruido y Radiación Electromagnética. SDS

Es importante mencionar que el pronóstico IBOCA se complementa con el boletín diario de pronóstico experimental de calidad del aire para Bogotá, publicado en la página web del Observatorio de Salud, que puede ser consultado a través del siguiente links: http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/8091b853a4dfbdf5c477a01ca21b2cd9/pronostic-o-iboca-bogota.html

En el año 2017, según el reporte de tráfico de la página del Observatorio de Salud Ambiental este índice fue consultado por 6.537 personas.



Figura 11-14. Portal del Pronóstico del IBOCA

Fuente: Observatorio de Salud Ambiental. SDS

Así mismo, en el marco de las acciones de Salud Urbana contratadas por medio del Plan de Intervenciones Colectivas –PIC- en el espacio público, socializó este índice a 122.547 mediante diferentes actividades lúdicas, entrega de material POP a niños y jóvenes que se dinamizan a través de la estrategia “Cuídate y Se Feliz”, orientada a dar una respuesta integral a la comunidad en materia de prevención de enfermedades cardiovasculares generados por diferentes factores de riesgo tales como el tabaquismo, la inactividad física y la contaminación del aire, dando información sobre el acceso y uso del pronóstico del Índice de Calidad del Aire en Bogotá.

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 – RM CAB
INFORME ANUAL



Figura 11-15. Registro fotográfico de la socialización del IBOCA

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Sala, W. J. (2011). *Neumología clínica*. Elsevier.
- Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion*. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/
- European Commission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Helen E. Wood, N. M. (2015). Effects of Air Pollution and the Introduction of the London Low Emission Zone on the Prevalence of Respiratory and Allergic Symptoms in Schoolchildren in East London: A Sequential Cross-Sectional Study. *Journal PLoS ONE*, 1-12.
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en Colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en Colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Johansson C, Lövenheim B, Schantz P, Wahlgren L, Almström P, Markstedt A, et al. Impacts on air pollution and health by changing commuting from car to bicycle. *Sci Total Environ*. 15 de abril de 2017;584-585:55-63.
- Luis 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.
- 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
- OMM. (1974). *Compendio de Meteorología para el uso del personal meteorológico de la clase I y de clase II*. (A. Wiin-Nielsen, Ed.) Ginebra: OMM. Recuperado el 25 de 06 de 2017
- OMS | Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es>

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

- OMS | Neumonía [Internet]. WHO. [citado 4 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Ginebra.
- Pedro Iván Solarte MD, M. C. (2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Médica Sanitas*.
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Obtenido de <http://www.R-project.org/>
- Salby, M. L. (1995). *Fundamental of Atmospheric Physics*. London: Academic Press.
- SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Salud. Plan_de_Choque.pdf [Internet]. [citado 26 de febrero de 2018]. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Enfermedad%20respiratoria%20aguda/2017/Plan_de_Choque.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Obtenido de <http://epa.gov/air/criteria.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5)*.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment*.
- Y. Ishihara, M. N. (2016). Effect Of Particulate Matter Air Pollution On The Health Status, Respiratory Symptoms, And Lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine; New York*, 193.

GLOSARIO

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, 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:

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

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.

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:

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

Donde:

$C_{promgeom}$: Promedio geométrico de concentración

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

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

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

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

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

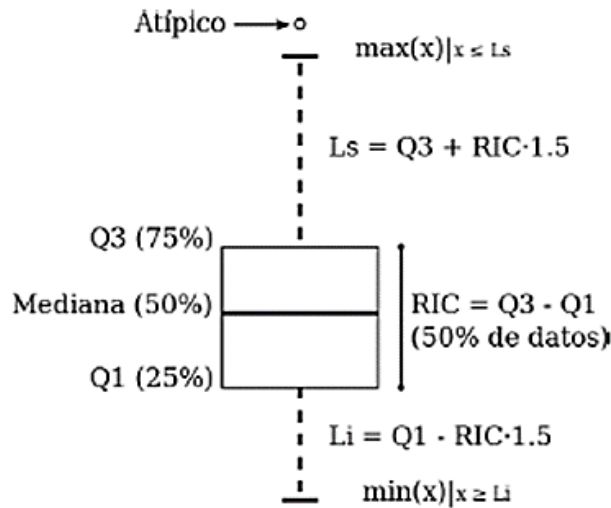


Figura 0-1. Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

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

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente:

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.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m^3
SO ₂	2,6186	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	1,8804	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	1,9620	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Es importante mencionar que el resultado de cada una de las conversiones se encuentra a una presión de 760 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:

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

Donde:

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

P : Presión atmosférica [Pa]

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

T : Temperatura absoluta [K]

C. Calendarios de concentraciones diarias 2017– PM_{2.5}

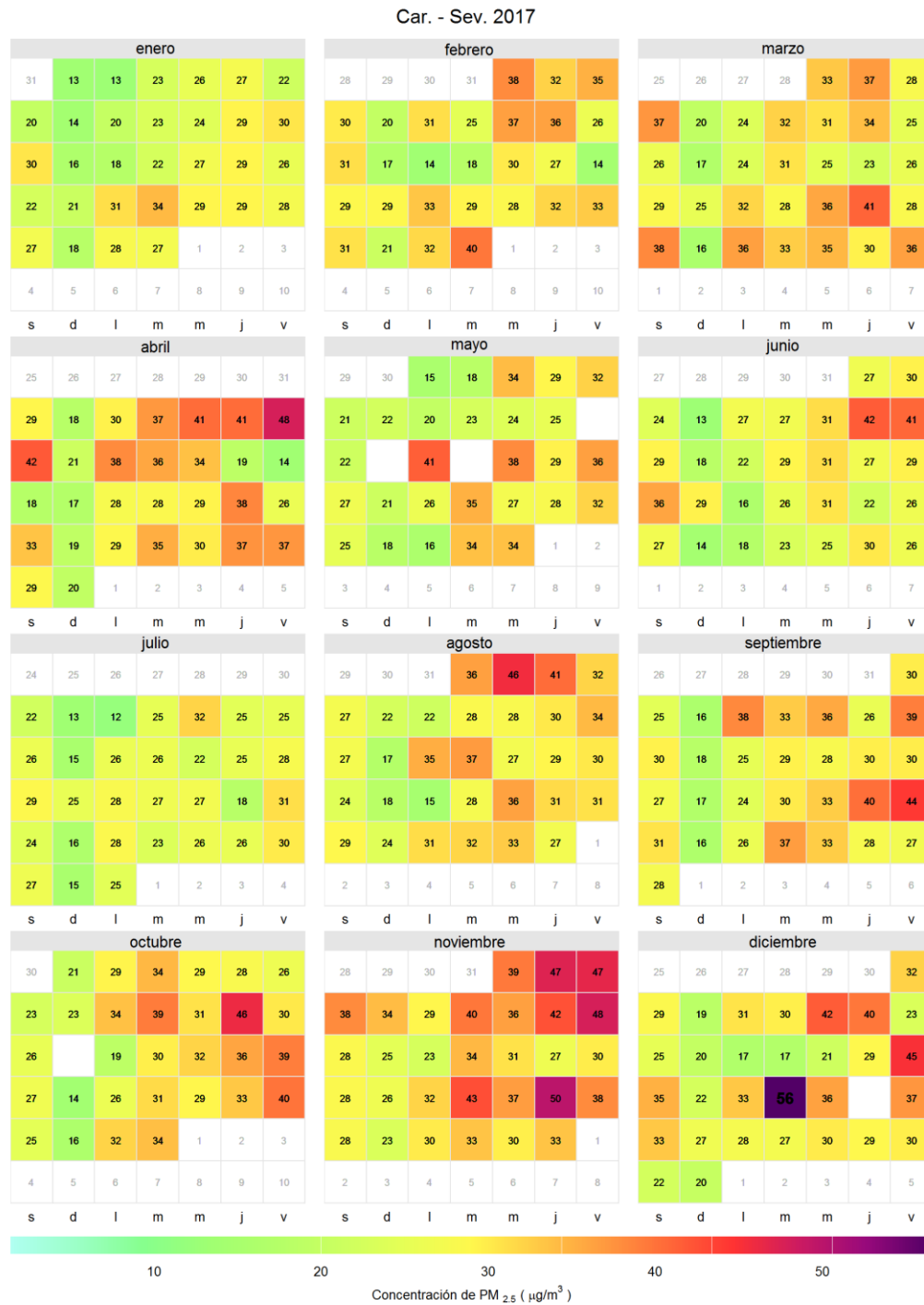


Figura 0-2 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} – Carvajal-Sevillana

C.D.A.R. 2017

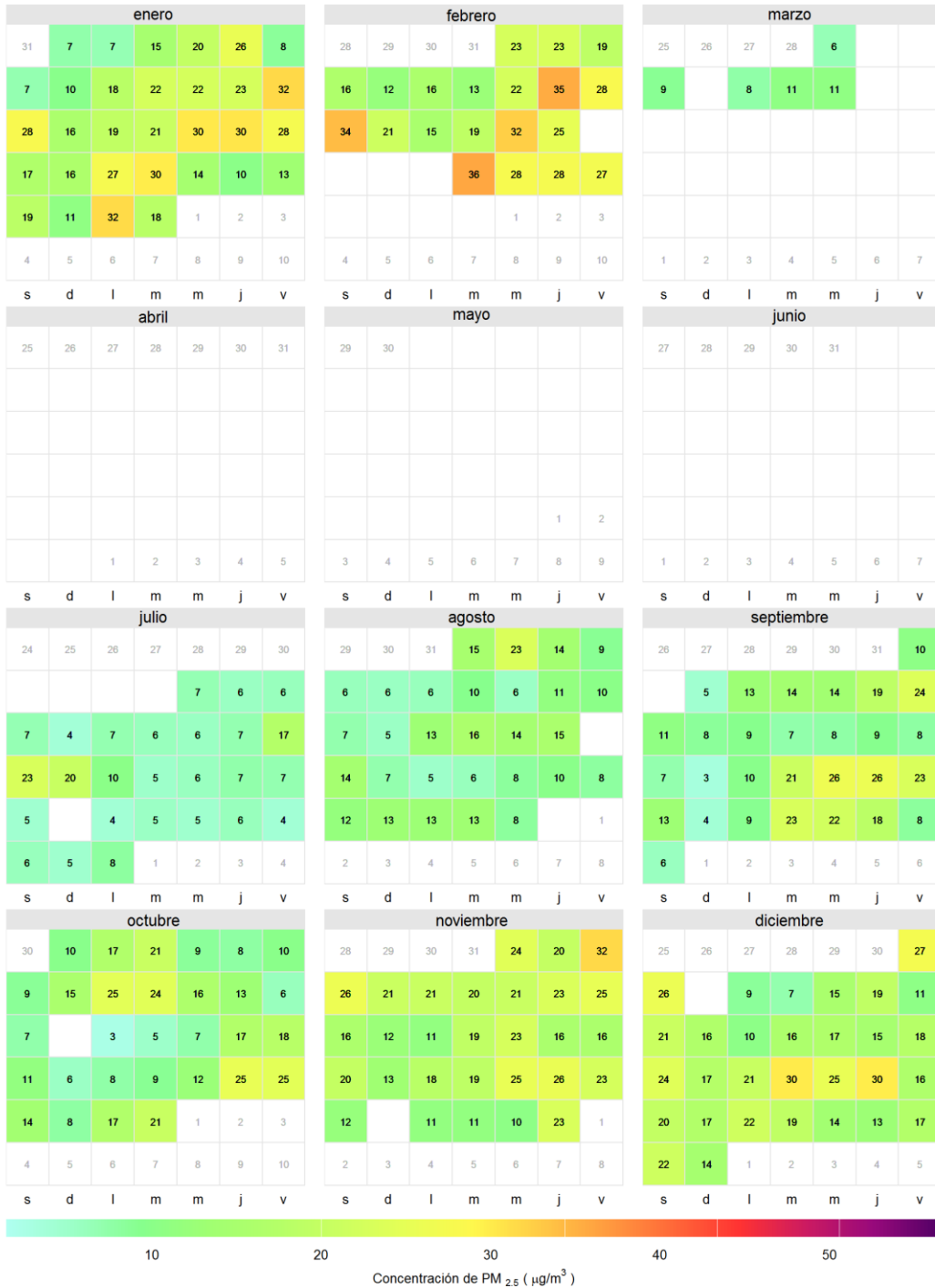


Figura 0-3 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Centro de Alto Rendimiento

Guaymaral 2017

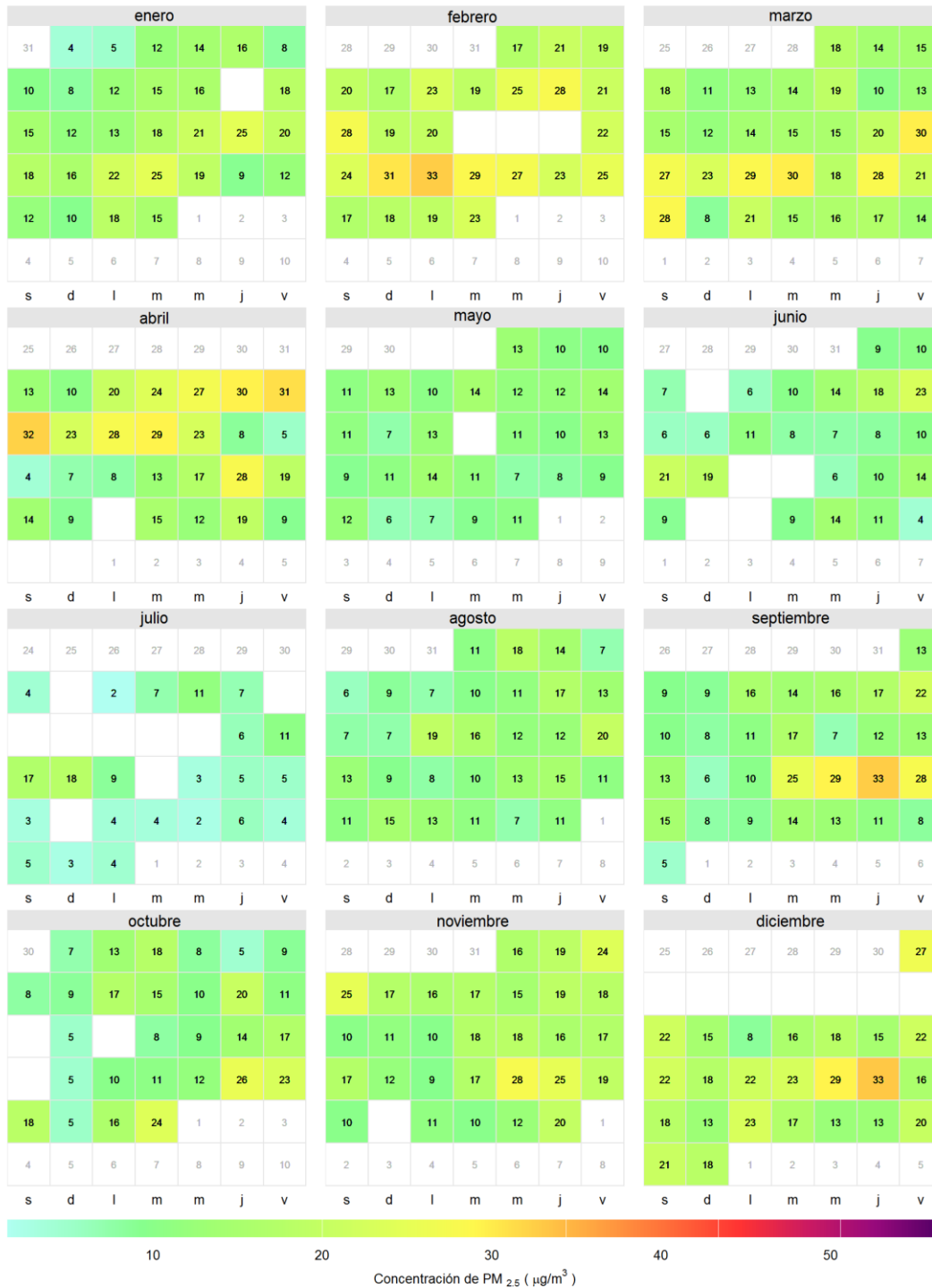


Figura 0-4 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} Guaymaral

Kennedy 2017

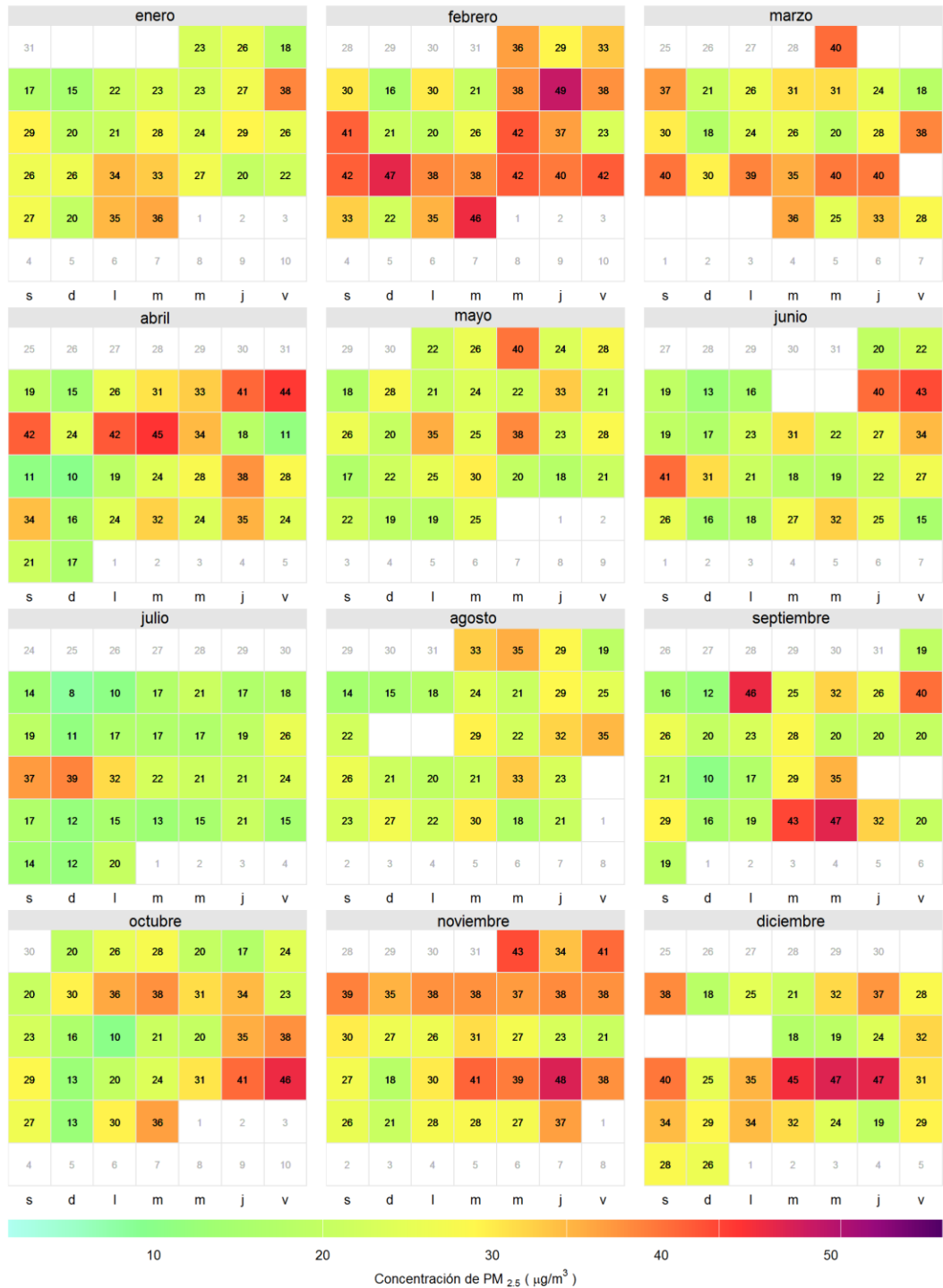


Figura 0-5 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} - Kennedy

Las Ferias 2017

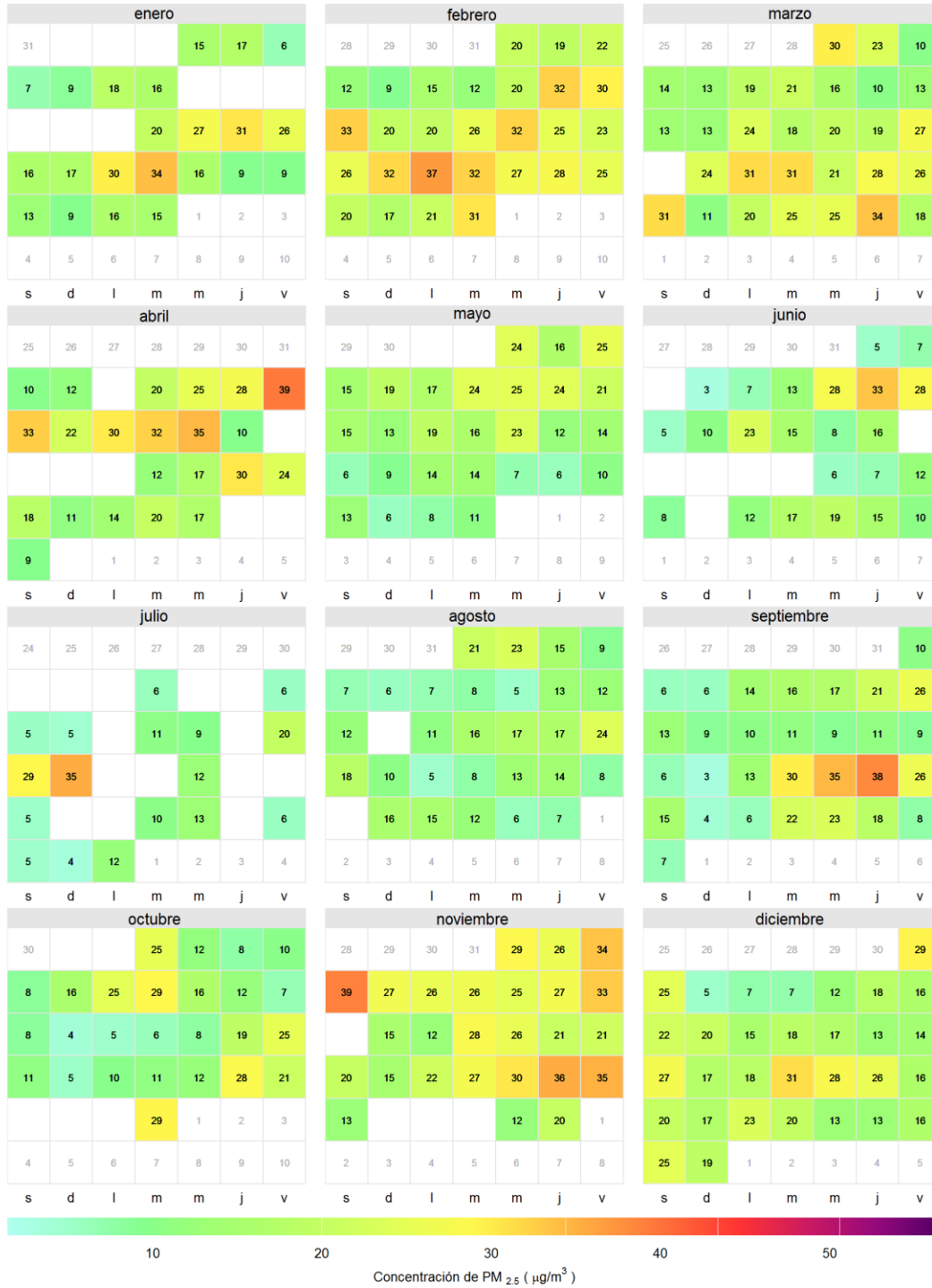


Figura 0-6 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} - Las Ferias

M.Ambiente 2017

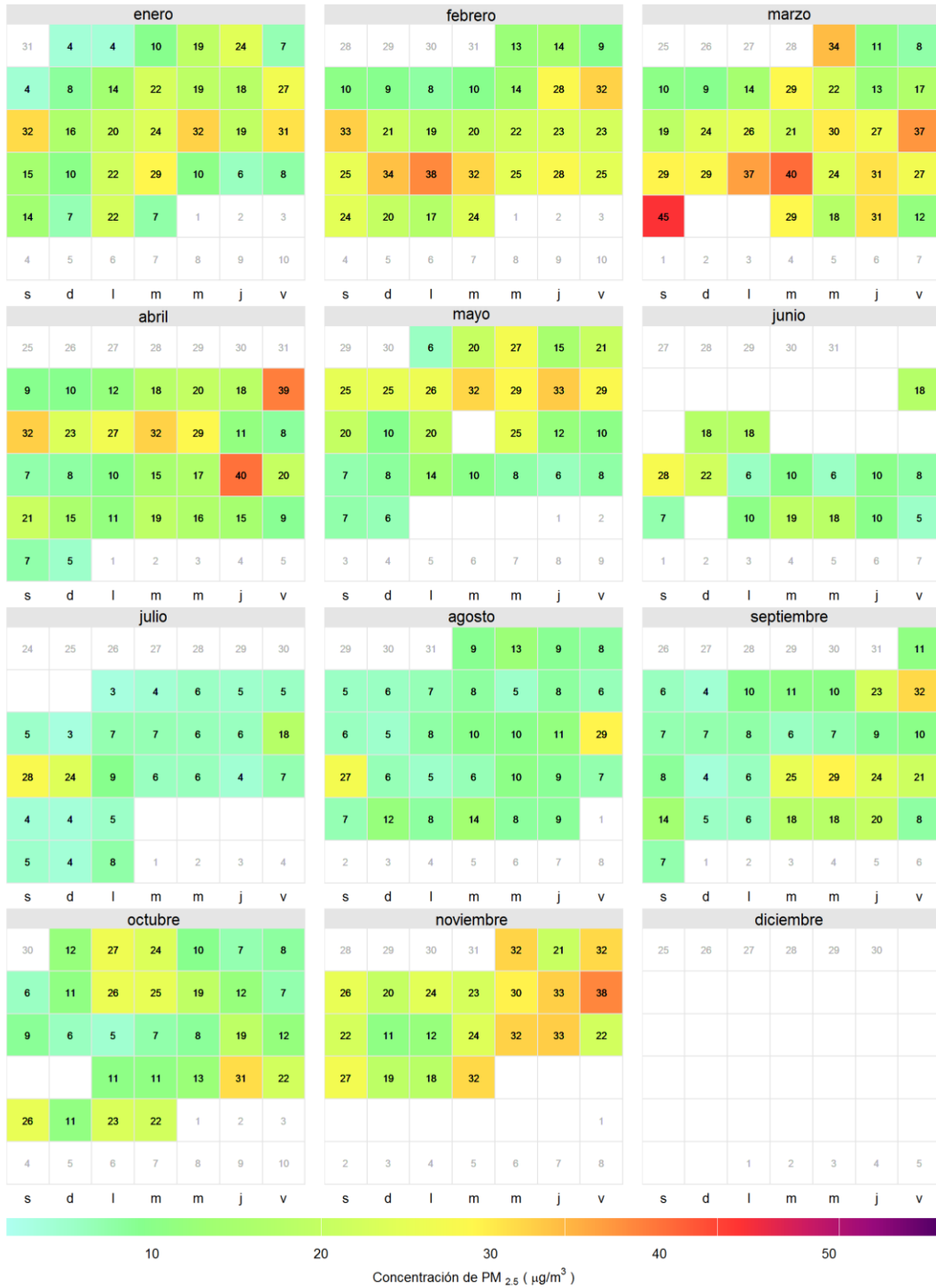


Figura 0-7 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} MinAmbiente

P. Aranda 2017

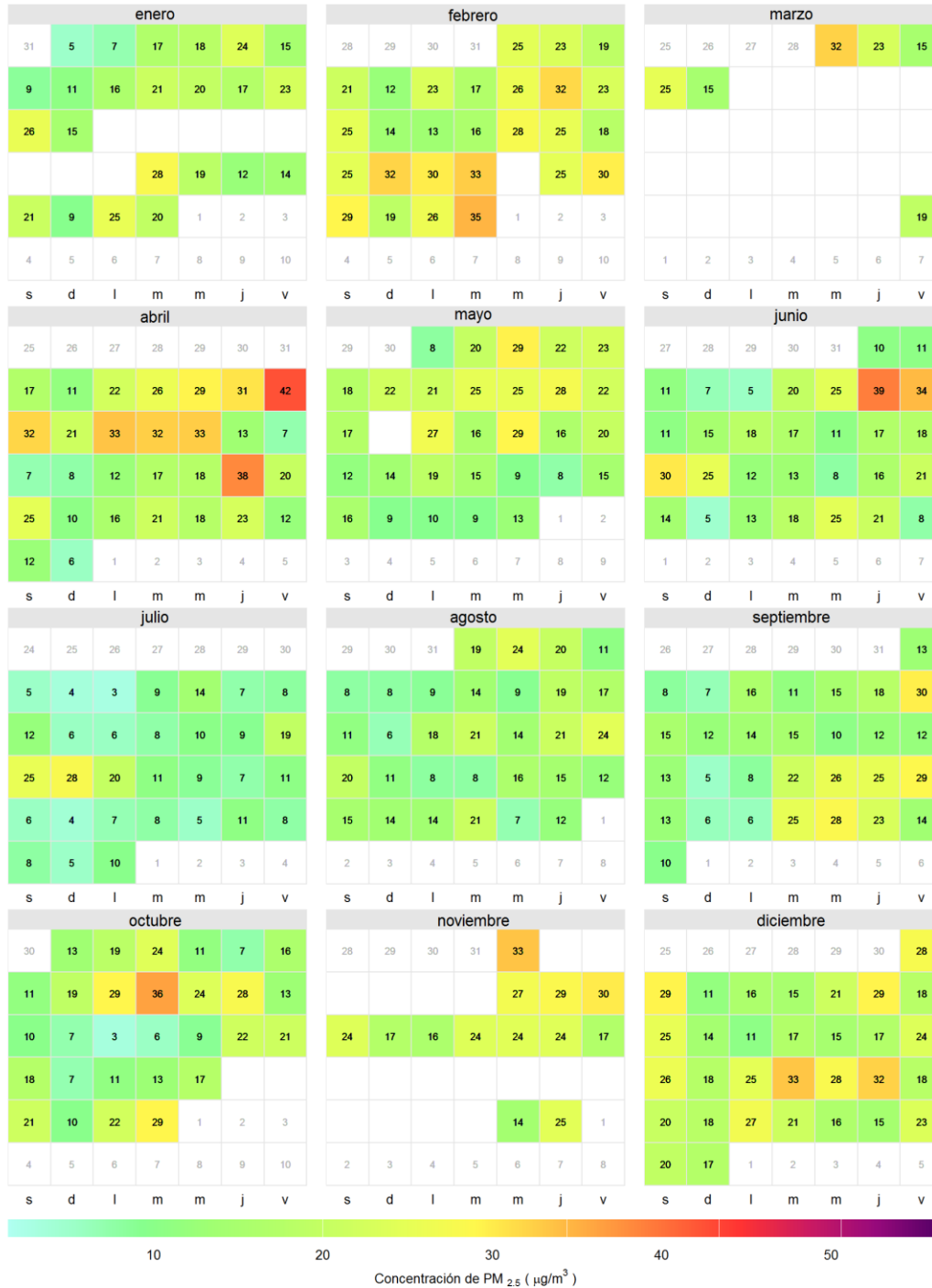


Figura 0-8 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} – Puente Aranda

S. Cristóbal 2017

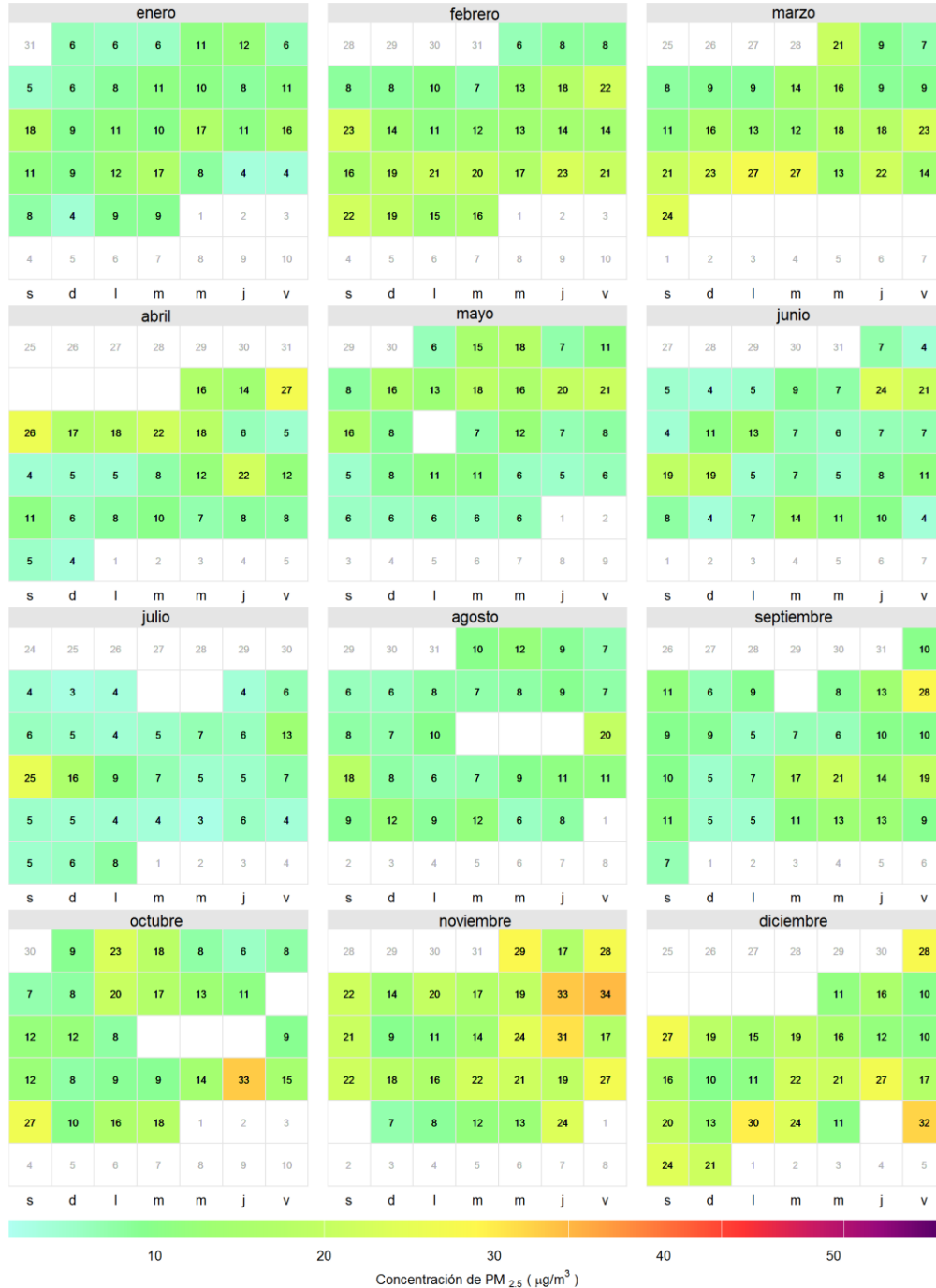


Figura 0-9 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} – San Cristóbal

Suba 2017

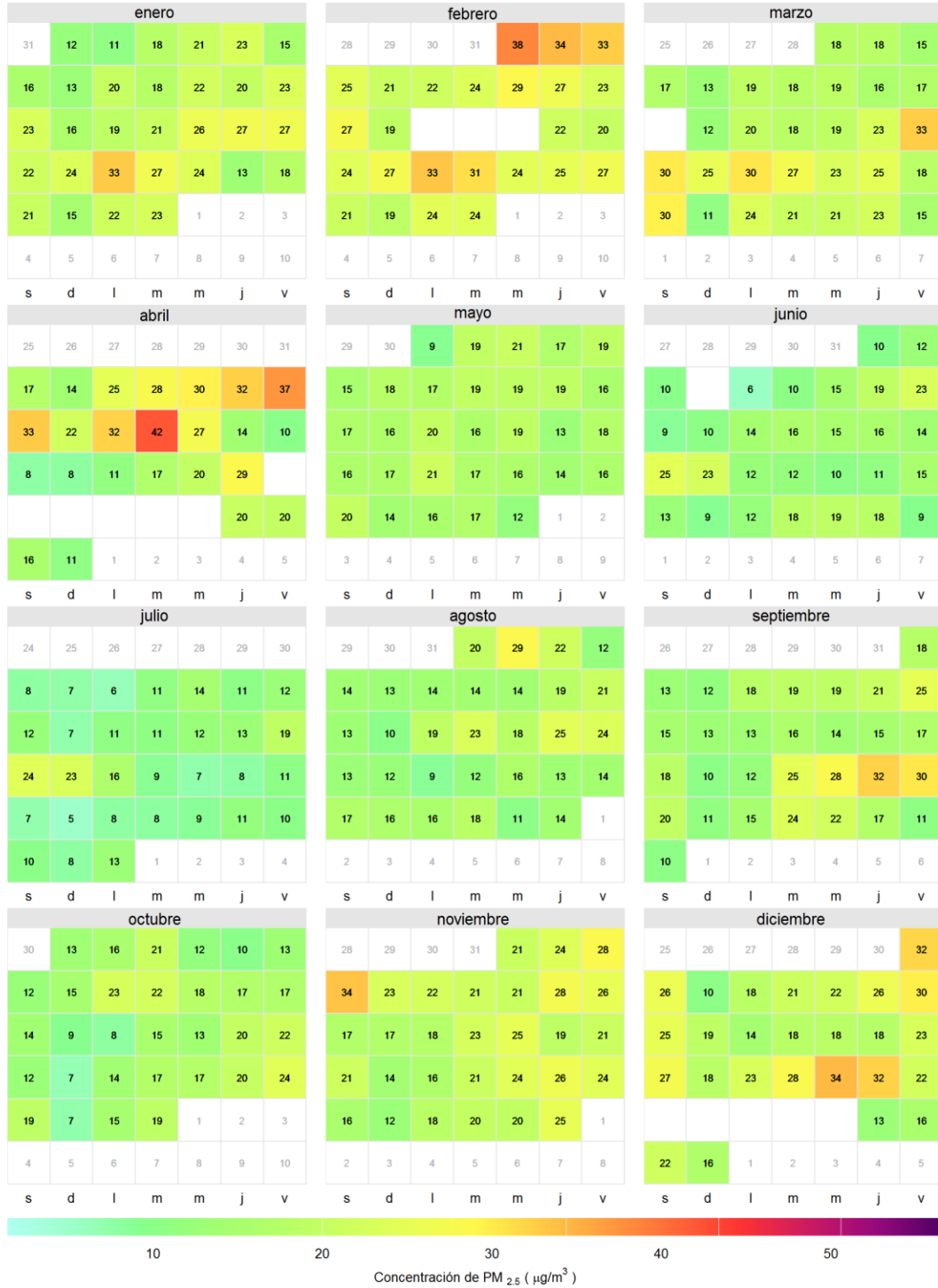


Figura 0-10 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} - Suba

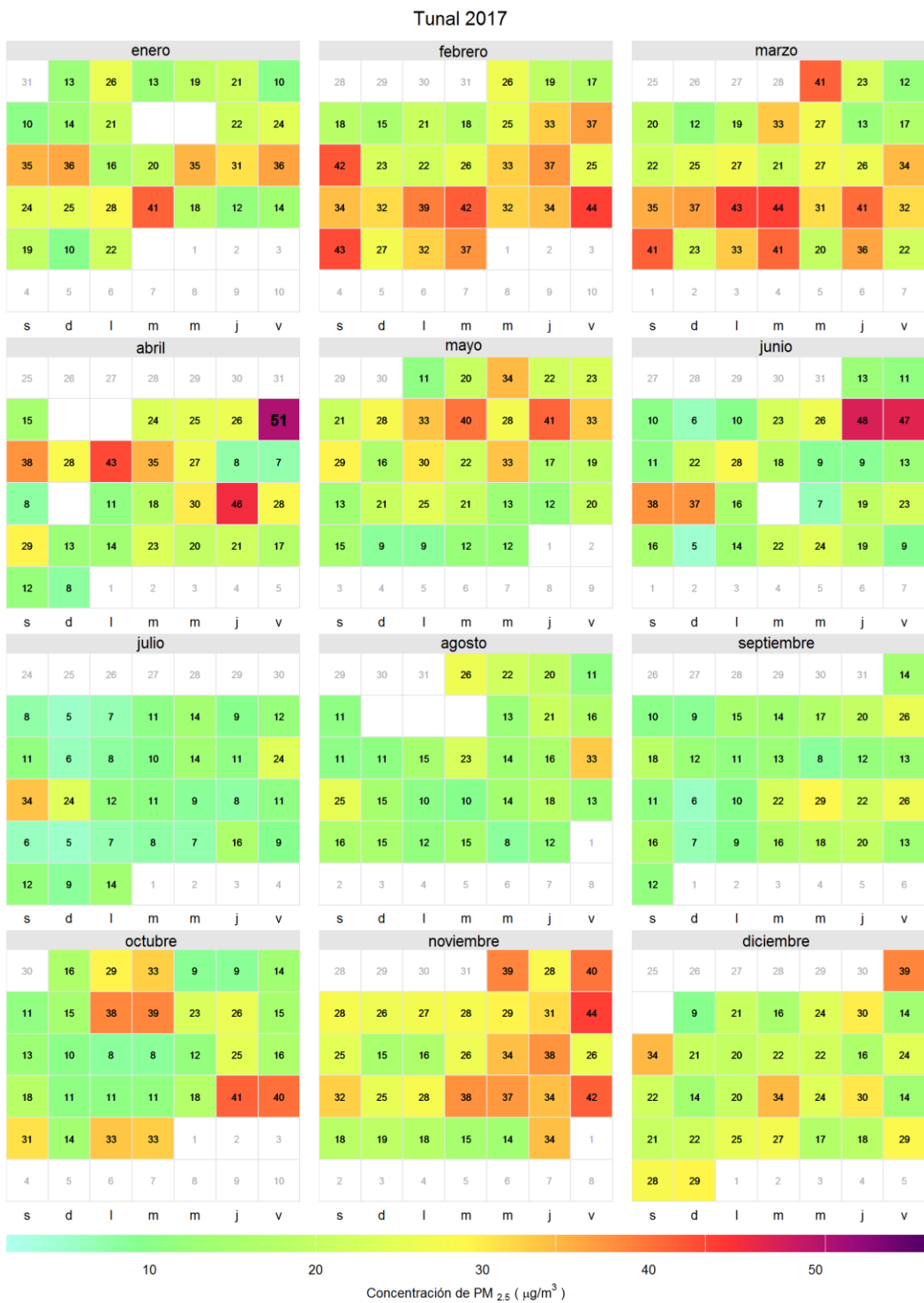


Figura 0-11 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} -Tunal

Usaquén 2017

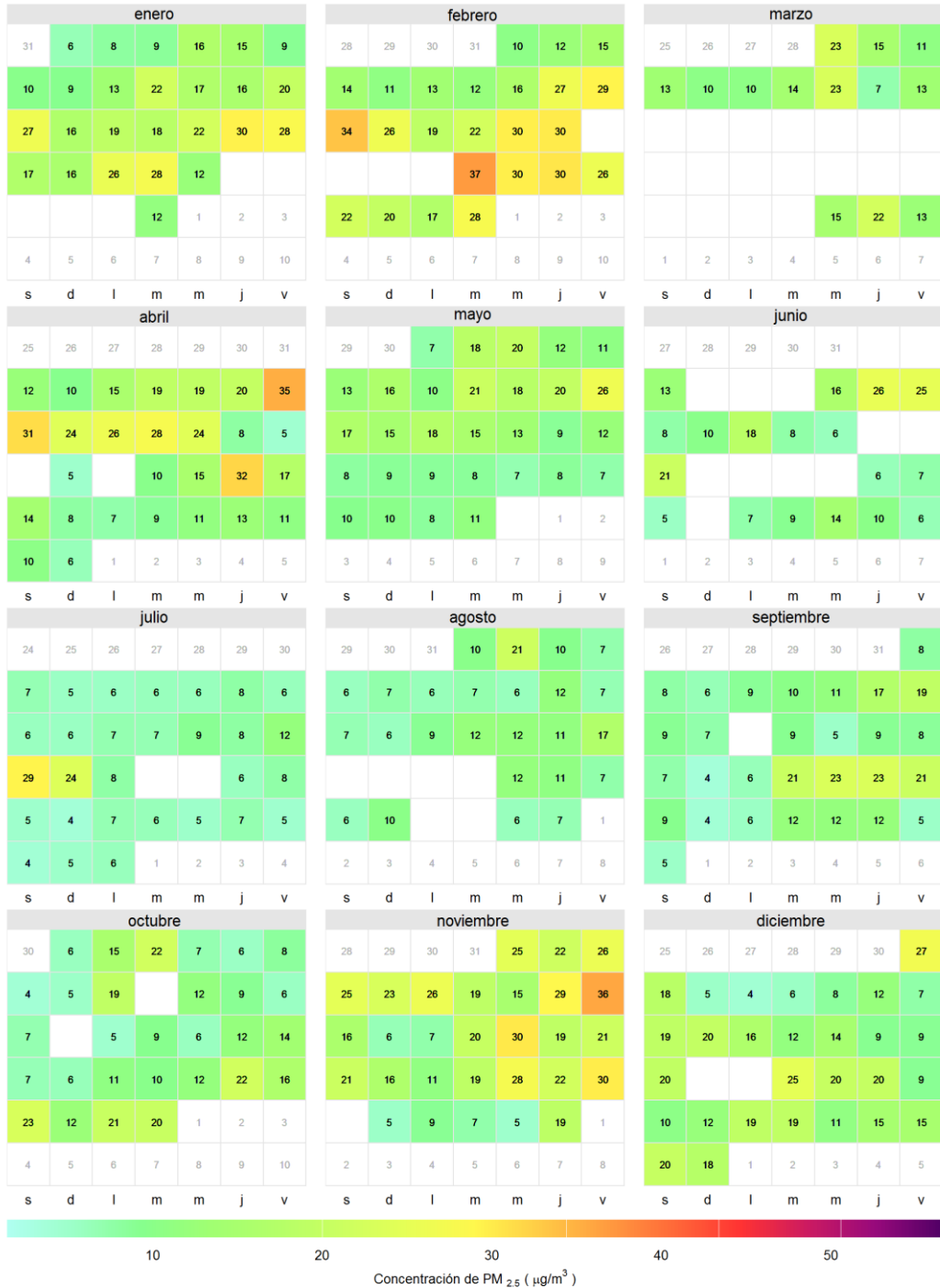


Figura 0-12 Calendario de Concentraciones Diarias de PM_{2.5} - Usaquén

El análisis realizado en el presente informe anual corresponde a los datos recolectados por la Red de Monitoreo de Calidad el Aire de Bogotá – RMCAB durante el período comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2017, y los resultados del informe sólo están relacionados con los ítems ensayados o calibrados.

Este informe fue elaborado con base en el modelo de los informes anuales de la RMCAB establecido en el procedimiento interno 126PM04-PR84 Generación y Control de Informes de la RMCAB. Adicionalmente para la validación de los datos se tiene en cuenta lo definido en el procedimiento interno 126PM04-PR87 - Validación de datos de la RMCAB.

Adicionalmente, los procesos de monitoreo de contaminantes en la RMCAB se realizan bajo los siguientes procedimientos internos:

126PM04-PR101	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de PM10 y PM 2.5
126PM04-PR102	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Dióxido de Azufre (SO2)
126PM04-PR103	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Ozono (O3)
126PM04-PR104	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de Monóxido de Carbono CO
126PM04-PR105	Monitoreo y revisión rutinaria de la operación del analizador de óxidos de Nitrógeno (NOx)

Elaboró

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Eaking Alberto Ballesteros Urrutia – PROFESIONAL RMCAB

Jhonathan Ramírez Gamboa– PROFESIONAL RMCAB

Daissy Lizeth Zambrano Bohórquez– PROFESIONAL RMCAB

Cristian Darío Arango Chacón– PROFESIONAL SIMCAB

Sandra Mireya Fajardo González– PROFESIONAL SIMCAB

SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD

Jhon Jairo Abella – SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA

Ana Cecilia Galvez - SUBDIRECCIÓN DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA

Edna Katalina Medina Palacios – SUBDIRECCIÓN DE DETERMINANTES EN SALUD

Diana Celeita- SUBRED NORTE

Pedro Andrés Morales- SUBRED NORTE

Harol Giovanny León Niampira – APOYO EN DISEÑO

Revisó

Edison Yesid Ortíz Durán – COORDINADOR SIMCAB

Diana Alexandra Ramírez Cardona – COORDINADORA RMCAB

Fabián Ricardo Guevara Gómez – COORDINADOR SATAB

Aprobó

Oscar Alexander Ducuara Falla – SUBDIRECTOR DE CALIDAD DEL AIRE, AUDITIVA Y VISUAL

FIN DEL INFORME