



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

Informe trimestral de calidad del aire de Bogotá

Marzo – Abril – Mayo de 2015

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

Bogotá D.C. 2015

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





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

Maria Susana Muhamad Rodriguez
Secretaria Distrital de Ambiente

Ramón Eduardo Villamizar Maldonado
Subsecretario Distrital de Ambiente

Andrea Cortés Salazar
Directora de Control Ambiental

Rodrigo Alberto Manrique Forero
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

John Freddy Grajales
Coordinador RMCAB

Helberth Santiago Morales Pinilla
Nicolás Cuadros Rubio
Leonardo Quiñones Cantor
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Darío Alejandro Gómez Flechas
Héctor Alejandro Beltrán
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Diana María Rodríguez Alaguna
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

© Noviembre de 2015, Bogotá - Colombia
Informe Trimestral de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2015.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

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

**Informe Trimestral
Marzo – Abril - Mayo de 2015**

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo	13
Introducción	16
1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED	18
1.1. Características generales	18
1.2. Normatividad vigente	21
2. Indicadores de operación y desempeño	23
2.1. Porcentaje de captura de datos	23
2.2. Porcentaje de datos válidos	25
3. Evaluación y análisis de contaminantes	29
3.1. Material particulado – MP o PM (<i>Particulate Matter</i>)	29
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST	30
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀	36
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	48
3.1.4. Relación de concentración PM _{2.5} /PM ₁₀	59
3.2. Gases contaminantes	60
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O ₃	61
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO ₂	73
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO ₂	83
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO	93
3.3. Índices de calidad del aire	101
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM ₁₀	102
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM _{2.5}	105
3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O ₃), dióxido de azufre (SO ₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO ₂)	108
3.4. Síntesis de resultados	111
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas	123
4.1. Precipitación	124
4.2. Vientos	130
4.3. Temperatura Superficial	137
4.4. Radiación solar	143
4.5. Presión Atmosférica	145
5. Meteorología y Calidad del Aire	147
5. Episodio de máxima concentración	152
Bibliografía	155
Glosario	157
Anexos	162

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM-2015.....	19
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro para el segundo trimestre de 2015.	24
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación para el segundo trimestre de 2015.	25
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro para el segundo trimestre de 2015.	27
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación para el segundo trimestre de 2015.	27
Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el segundo trimestre de 2015. Base diaria.....	31
Figura 3-2. Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el	31
Figura 3-3. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre MAM por días de la semana.....	32
Figura 3-4. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre MAM por meses.	33
Figura 3-5. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre MAM. La línea roja representa la norma establecida para 24h y la amarilla para un año	34
Figura 3-6. Promedio trimestral, número de excedencias y máximos de PM ₁₀ por estación durante MAM 2015. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m ³ (Resolución 610 de 2010).	37
Figura 3-7. Material particulado (PM ₁₀) con base en la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Periodo MAM 2015.	39
Figura 3-8. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m ³	40
Figura 3-9. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.	41
Figura 3-10. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ..	41
Figura 3-11. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el trimestre MAM 2015.	42
Figura 3-12. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del trimestre MAM 2015.	43
Figura 3-13. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza.	44
Figura 3-14. Ciclo diario de PM ₁₀ para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.	45
Figura 3-15. Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estación de monitoreo en los trimestres comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre 2011 y 2015.....	46

Figura 3-16. Promedios, máximos y excedencias de PM _{2.5} en base diaria para el trimestre MAM 2015.	48
Figura 3-17. Material particulado (PM _{2.5}) con base en la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre MAM 2015.	51
Figura 3-18. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el trimestre MAM 2015 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las 2 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m ³) en el trimestre.	52
Figura 3-19. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el trimestre MAM 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ..	53
Figura 3-20. Diagrama calendario para PM _{2.5} para el trimestre MAM 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.....	53
Figura 3-21. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM _{2.5} en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.	54
Figura 3-22. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM _{2.5} en función de los meses del trimestre MAM 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.	55
Figura 3-23. Comportamiento de las concentraciones de PM _{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.....	56
Figura 3-24. Ciclos diarios de las concentraciones de PM _{2.5} por estación en el periodo MAM 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.	57
Figura 3-25. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM _{2.5} en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para el trimestre MAM 2015.	58
Figura 3-26. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O ₃ en base horaria por estación durante el periodo MAM 2015.....	62
Figura 3-27. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de O ₃ (80 µg/m ³) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el trimestre MAM 2015.	65
Figura 3-28. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. MAM 2015.....	66
Figura 3-29. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para trimestre MAM 2015.	67
Figura 3-30. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses del trimestre y cobertura temporal superior a 75%.	68
Figura 3-31. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.	69
Figura 3-32. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.....	70
Figura 3-33. Gráfico de <i>boxplot</i> de O ₃ en función de las estaciones de monitoreo en los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).....	71
Figura 3-34. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO ₂ por estación durante el periodo MAM 2015.....	73

Figura 3-35. Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO ₂ en base diaria por estación para el periodo MAM 2015.	75
Figura 3-36. Diagrama calendario para NO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Las ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m ³	76
Figura 3-37. Diagrama calendario para NO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m ³	76
Figura 3-38. Diagrama calendario para NO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m ³	77
Figura 3-39. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO ₂ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre MAM 2015. La norma aplicable es de 150µg/m ³	78
Figura 3-40. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO ₂ en función de los meses del trimestre MAM 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con cobertura temporal mayor a 75%.	79
Figura 3-41. Ciclos semanales de las concentraciones de NO ₂ para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.	80
Figura 3-42. Ciclos diarios de las concentraciones de NO ₂ para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	80
Figura 3-43. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO ₂ por estaciones en base diaria para los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre los años 2011 y 2015.	81
Figura 3-44. Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO ₂ en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo MAM 2015. Norma Nacional 750 µg/m ³	84
Figura 3-45. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO ₂ en base diaria por estación para el periodo MAM 2015.	85
Figura 3-46. Diagrama calendario para SO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m ³	86
Figura 3-47. Diagrama calendario para SO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m ³	86
Figura 3-48. Diagrama calendario para SO ₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m ³	87
Figura 3-49. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO ₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre MAM 2015.	88
Figura 3-50. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO ₂ en función de los meses del trimestre MAM 2015 por estación de monitoreo.	88
Figura 3-51. Ciclos semanales de las concentraciones de SO ₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	89
Figura 3-52. Ciclos diarios de las concentraciones de SO ₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	90

Figura 3-53. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ en base diaria por estación de monitoreo en los meses del trimestre MAMA, en el periodo 2011-2015.....	91
Figura 3-54. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el periodo MAM 2015.	93
Figura 3-55. Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el trimestre MAM 2015.	95
Figura 3-56. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre MAM 2015.	96
Figura 3-57. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del trimestre MAM 2015 por estación de monitoreo.	97
Figura 3-58. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el periodo MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	98
Figura 3-59. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo MAM 2015 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	98
Figura 3-60. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo en el periodo comprendido por el trimestre MAM a través de los años 2011 a 2015.....	99
Figura 3-61. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm ₁₀ por estación. Trimestre MAM 2015.....	103
Figura 3-62. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm ₁₀ por mes. Trimestre MAM 2015.....	103
Figura 3-63. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm ₁₀ por días de la semana. Trimestre MAM 2015.....	104
Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB para el periodo MAM 2015.....	104
Figura 3-65. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por estación para el trimestre MAM 2015.	106
Figura 3-66. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} en los meses del trimestre MAM 2015.....	106
Figura 3-67 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM _{2.5} por día de la semana para el trimestre MAM 2015.....	107
Figura 3-68. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM _{2.5} en el trimestre MAM 2015.....	108
Figura 3-69. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas. ...	109
Figura 3-70. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base diaria.	109
Figura 3-71. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.....	110
Figura 4-1. Esquematación hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013).....	124
Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.	125
Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta MAM 2015.	126

Figura 4-4. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.	127
Figura 4-5. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.	128
Figura 4-6. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM (a la izquierda). Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá (a la derecha).	129
Figura 4-7. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA.	130
Figura 4-8. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.	131
Figura 4-9. Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto EIDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM.	132
Figura 4-10. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año (marzo 2014 - febrero 2015).	133
Figura 4-11. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.	134
Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el trimestre MAM.	136
Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2014.	137
Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2015.	138
Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015.	139
Figura 4-16. Temperatura promedio horario de las estaciones. Junio de 2014 hasta mayo de 2015.	141
Figura 4-17. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM.	142
Figura 4-18. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde Junio de 2014 hasta mayo de 2015.	144
Figura 4-19. Radiación trimestral de los últimos años.	144
Figura 4-20. Radiación mensual de los últimos años.	145
Figura 4-21. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.	146
Figura 5-1. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del trimestre MAM.	148
Figura 5-2. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre MAM.	149
Figura 5-3. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre MAM.	150
Figura 5-4. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre MAM.	151
Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 24 de marzo de 2015, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h.	152

Figura 6-2 (a) PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 24 de marzo de 2015. (b) Rosas de contaminación (PM ₁₀) de las estaciones de la RMCAB durante el día.....	153
Figura 6-3. PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 24 de marzo de 2015 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.	154
Figura 0-1. Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes.	162
Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM ₁₀ por estación durante el periodo MAM 2015.	164
Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM _{2.5} por estación durante el periodo MAM 2015.	164
Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O ₃ por estación durante el periodo MAM 2015.	165
Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO ₂ por estación durante el periodo MAM 2015.	165
Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO ₂ por estación durante el periodo MAM 2015.	166
Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015.	166

Índice de tablas

Tabla 1-1. Información de las estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el trimestre MAM - 2015.	20
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA.....	21
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.	22
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro..	25
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.	28
Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el trimestre MAM 2015.....	30
Tabla 3-2. Concentración promedio (geométrico) de PST por día de la semana en el trimestre MAM 2015. Se considera solamente la estación Carvajal.	33
Tabla 3-3. Concentración promedio de PST por mes en el trimestre MAM de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal.	34
Tabla 3-4. Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios 24 horas el trimestre MAM de los años 2011 a 2015. Solamente se considera la estación de Carvajal ya que PST se monitoreó únicamente en esta estación durante los últimos años.	35
Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de los datos diarios de PM ₁₀ durante MAM 2015	38
Tabla 3-6. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM ₁₀ (100 µg/m ³) por estación y por mes para el trimestre MAM 2015.....	38
Tabla 3-7. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en el trimestre MAM 2015	47
Tabla 3-8. Resumen de datos diarios de PM _{2,5} para el periodo MAM 2015. Base de tiempo diaria.....	49
Tabla 3-9. Excedencias de la norma diaria de PM _{2,5} (50 µg/m ³) por estación y por mes para el año 2014.....	50
Tabla 3-10. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM _{2,5} en el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013.	58
Tabla 3-11. Relación de concentraciones entre PM _{2,5} y PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo MAM 2015 y que tienen cobertura temporal superior a 75%.....	59
Tabla 3-12. Resumen descriptivo de los datos horarios de O ₃ por estación para el periodo MAM – 2015.	61
Tabla 3-13. Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O ₃ en base 8 horas durante el trimestre MAM 2015.....	64
Tabla 3-14. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O ₃ (80 µg/m ³) por estación y por mes durante el trimestre MAM 2015.....	64
Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O ₃ en promedios móviles de 8 horas en el trimestre MAM para los años 2011-2015.....	72
Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el periodo MAM 2015.	74
Tabla 3-17. Resumen de datos diarios de NO ₂ por estación para el periodo MAM 2015.	75

Tabla 3-18. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO ₂ en base diaria en el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015.	82
Tabla 3-19. Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el periodo MAM 2015.	83
Tabla 3-20. Resumen de los datos diarios de SO ₂ por estación para el periodo MAM 2015.	85
Tabla 3-21. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO ₂ en los periodos comprendidos por el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015.	92
Tabla 3-22. Resumen de datos horarios de CO por estación para el trimestre MAM 2015.	94
Tabla 3-23. Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el trimestre MAM 2015.	95
Tabla 3-24. Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios móviles de 8 horas en el trimestre MAM para los años 2011 a 2015.	100
Tabla 3-25. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).	101
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), MAM 2015.	112
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM ₁₀), MAM 2015.	113
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM _{2.5}), MAM 2015.	114
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios horarios de O ₃ , MAM 2015.	115
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O ₃ , MAM 2015.	116
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios horarios de NO ₂ , MAM 2015.	117
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios diarios de NO ₂ , MAM 2015.	118
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO ₂ MAM 2015.	119
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios diarios de SO ₂ , MAM 2015.	120
Tabla 3-35. Consolidado de los promedios horarios de CO, MAM 2015.	121
Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, MAM 2015.	122
Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante el trimestre MAM.	125
Tabla 4-2. Acumulados de los trimestres marzo, abril y mayo multianuales y por estación.	126
Tabla 4-3. Valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.	130
Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en los trimestres MAM desde 2000 hasta 2015.	131
Tabla 4-5. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en los trimestres MAM de 2000 a 2015.	138
Tabla 4-6. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre MAM y su amplitud térmica.	139
Tabla 4-7. Radiación acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB.	143
Tabla 4-8. Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.	146
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m ³ y µg/m ³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.	163

Resumen ejecutivo

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

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

La norma diaria de PM_{10} ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fue excedida por las estaciones Carvajal, Kennedy y Puente Aranda con 27, 12 y 1 respectivamente. Los promedios encontrados para estas tres estaciones fueron en el trimestre de 87, 74 y $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, sin embargo se debe resaltar que no existe normatividad para periodos trimestrales, por lo cual la comparación con la norma no se puede hacer de forma directa y tan solo resulta una referencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 90% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menores o iguales a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, fueron para este trimestre Tunal y San Cristobal, lo que evidencia emisiones altas en las zonas circundantes a estas dos estaciones, además de las tres que ya excedieron la norma en este trimestre.

Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8am (dependiendo la estación) para estabilizarse alrededor de las 10am y hasta las 4-5pm, para empezar otro leve aumento hasta las 8-9pm. Con respecto al comportamiento mensual, marzo resulta el más alto de los tres meses, mientras que abril y mayo tienden a estar muy similares.

El contaminante $PM_{2.5}$ fue monitoreado para este trimestre II-2015 con 10 monitores con representatividad temporal superior a 75%. Se presentaron los promedios más altos para Carvajal, Kennedy y Suba con 31, 30 y $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Por su parte San Cristobal, Usaquén, Guaymaral y Minambiente tienen los valores más bajos con 11, 15, 16 y $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor máximo encontrado durante el trimestre fue de $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Kennedy. Con respecto a las excedencias diarias, se encontraron 2 en el trimestre en la estación Kennedy, mientras que en el trimestre referente del año anterior (abril-mayo-junio de 2014), se encontraron 6 distribuidas en varias estaciones.

El análisis de la relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades en las inmediaciones de la estación. La estación CDAR tiene una relación relativamente alta (0,66), lo cual evidencia una influencia considerable por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y probablemente también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas; mientras que estaciones como Carvajal-Sevillana y Kennedy están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido, con relaciones entre 0,3 y 0,4 (no se tiene en cuenta la estación San Cristobal por tener datos absolutos bajos, es decir por estar cumplimiento parcialmente normatividad nacional e incluso OMS).

El ozono (O_3), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar, presentó un total de 16 excedencias de los límites normativos a la norma horaria de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el año 2014 no hubo ninguna excedencia. La concentración más alta fue registrada en CDAR con un valor de $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En términos de la concentración octohoraria el O_3 en el segundo trimestre de 2015 se presentaron 157 datos por encima de la norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), principalmente hacia la zona norte y centro geográfico de la ciudad, mientras que al sur y suroccidente casi no se aprecian excedencias, lo que contrasta con la información para material particulado. El máximo promedio móvil registrado en una base temporal de 8 horas fue $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 2 de mayo de 2015 a las 06:00 p.m. en CDAR, día en el cual otras 4 estaciones registraron sus máximos. Este resultado alto en ozono se encuentra evidenciado en la alta radiación solar que se presentó en el trimestre, pues en comparación al histórico 2006 - 2014 (aunque para 2014 estuvo similar), se presenta que este trimestre de 2015 tiene los acumulados más elevados, siendo marzo el mes de mayor acumulado de radiación solar global del trimestre.

El dióxido de nitrógeno NO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como a 24 horas ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Suba y Carvajal-Sevillana, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ también en CDAR.

El dióxido de azufre SO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas ($750 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ni tampoco para 24 horas ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para 24 horas de exposición estuvo en $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en ambos casos en la estación Suba. La máxima concentración registrada durante los últimos 5 segundos trimestres para una exposición diaria fue de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal-Sevillana el 28 de marzo de 2011.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se aprecian datos entre el 75% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de $4,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 1 hora (norma nacional $40 \text{ mg}/\text{m}^3$) y de $3,0 \text{ mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 8 horas (norma nacional $10 \text{ mg}/\text{m}^3$), lo que representa sólo el 30% de la norma nacional.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante el segundo trimestre 2015. Con respecto a la precipitación, durante el periodo se observaron acumulados muy por debajo de los

históricos de la RMCAB (periodo 1998-2014), alcanzando diferencias del orden de 70mm en el mes de mayo y 40mm para abril, lo que significan reducciones cercanas al 70 y 40%, respectivamente, mientras que el mes de marzo estuvo dentro de la condición histórica normal. Lo anterior se encuentra influenciado por el fenómeno El Niño que comenzó a presentarse fuerte en estos meses del año y fue declarado oficialmente en abril 2015, por tanto sus consecuencias en la región Andina y buena parte del país se empezaron a sentir. Los déficits se presentaron en toda la ciudad, sin embargo hacia el oriente de la ciudad fueron los más altos, con valores de 175mm como déficit en el trimestre en función del histórico, no siendo despreciable los 101mm en la estación Kennedy y valores cercanos en las vecinas.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Kennedy y Carvajal-Sevillana registraron los mayores valores promedio en el trimestre, con velocidades medias de 2.5 y 2.3m/s, respectivamente, mientras que las máximas se observaron en Kennedy y Puente Aranda con 5,0 y 4,8 m/s respectivamente. Geográficamente, se observó que el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al norte y nororiente de la ciudad además de algunos sectores del Sur. De igual forma, la mayor cantidad de vientos en calma (menor a 0.5m/s) se encuentra al norte de la ciudad entre un 25 y 30%, mientras que la menor cantidad de vientos en calma se aprecian hacia el suroccidente. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera y Funza. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 1.0 a 2.0 m/s en el Nororiente hasta los 3 – 4 m/s en el Occidente de la ciudad.

Los resultados de bajas concentraciones de material particulado se encuentran ligados al comportamiento en las velocidades de viento, pues se tuvo un poco más de velocidades de viento promedio, lo cual que favorece la dispersión de los contaminantes, que en función de los históricos se tuvo 0,3m/s más.

Introducción

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

Para el trimestre de estudio, correspondiente a Marzo-Abril-Mayo (MAM) de 2015¹, la RMCAB estaba conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM₁₀, PST, PM_{2.5}), y gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃), así como de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedio obtenidos a lo largo del trimestre para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en la normatividad (Res 610 de 2010 del MAVDT), sin embargo, el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h y anuales, es comparativa y un referente de gestión. Este informe contempla el cálculo de número de excedencias frente a la norma (excedencias horarias o diarias), lo cual si es comparable directamente con la norma e 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.

El primer numeral del presente informe contiene información sobre las características generales de las estaciones de la RMCAB. En el segundo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el trimestre MAM-2015. El tercero corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta: i) un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de calidad del aire que se asocia a temas de salud pública; ii) una sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes; iii) En la parte final del tercer numeral el lector encontrará los resultados de los análisis de las mediciones de concentraciones de contaminantes criterio para el

¹ Correspondiente al segundo trimestre meteorológico de la ciudad y que se denominará MAM-2015 de aquí en adelante.

periodo MAM 2015, que corresponde a una síntesis por medio de tablas que permiten visualizar en términos cuantitativos el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad. Finalmente se presenta un cuarto numeral de meteorología y calidad de aire que contiene el análisis de vientos vs. material particulado y el estudio de caso del día de máxima concentración.

1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

1.1. Características generales

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 automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de contaminantes criterio y variables meteorológicas en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad. Posteriormente, se elabora el análisis 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.

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos con respecto a los contaminantes y a las variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones de la zona de influencia de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire. A fin de ilustrar de mejor forma el sitio en donde se encuentran ubicadas las estaciones, en la interpretación de los análisis de este informe es importante destacar tres cambios de nombres en: Parque Simón Bolívar que ahora es Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón que ahora es Minambiente y Carvajal que ahora es Carvajal–Sevillana,. Las coordenadas geográficas no fueron modificadas con respecto a información de documentos previos. La estación Fontibón se encuentra fuera de servicio, por problemas en el suministro de energía, por lo cual se encuentra en proceso de reubicación.

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

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

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

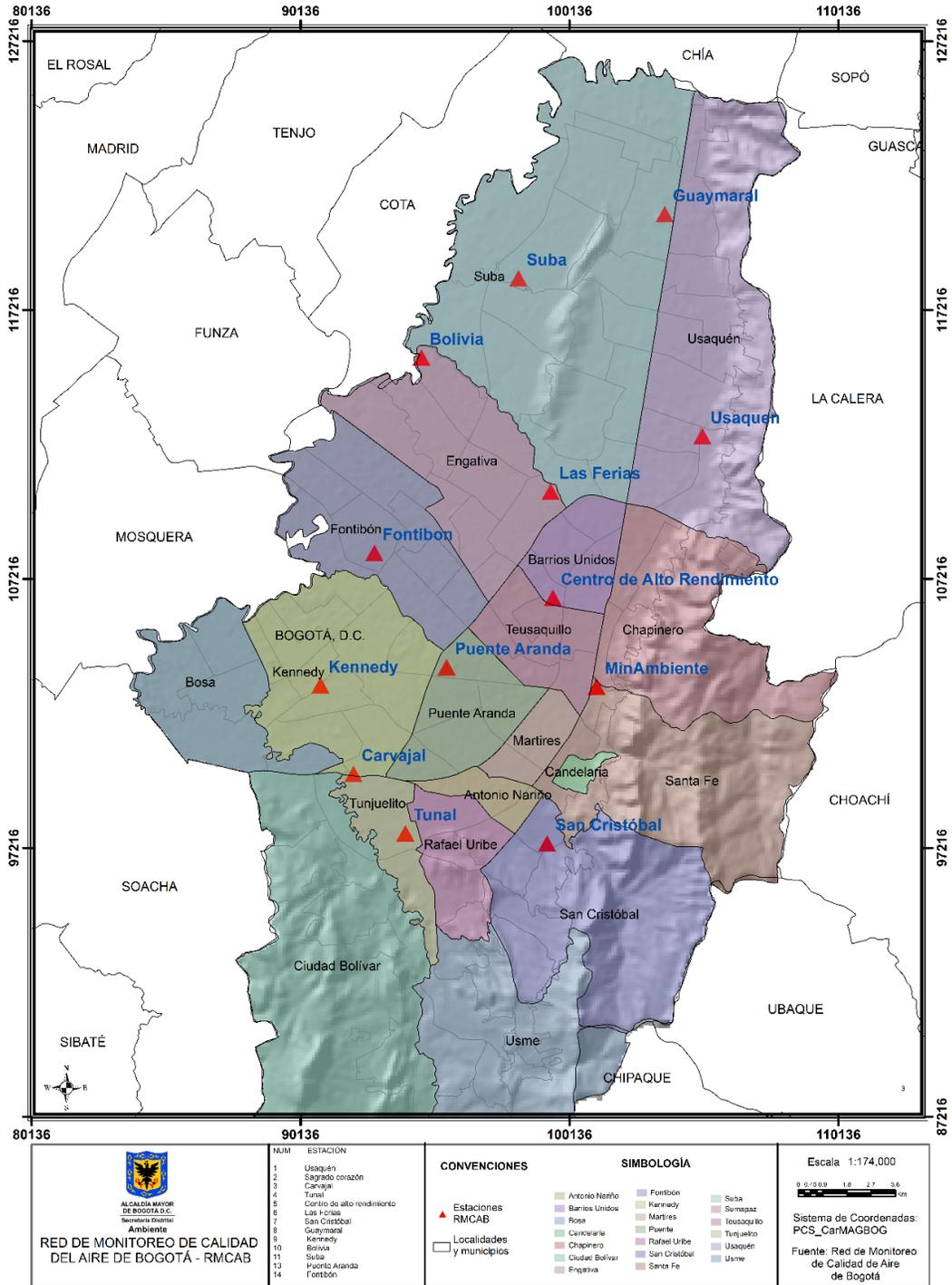


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM-2015

Tabla 1-1. Información de las estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el trimestre MAM - 2015.

Característica	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	C. de Alto Rendimiento	Min. Ambiente	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal	Móvil	
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°37'54.36"N	4°37'30.18"N	4°35'44.22"N	4°34'34.41"N	4°34'21.19"N	---
	Longitud	74°2'39.06"W	74°1'49.50"W	74° 5'36.46"W	74°7'33.18"W	74°4'56.94"W	74°5'2.28"W	74°4'1.13"W	74°7'2.94"W	74°9'40.80"W	74°8'54.90"W	74°7'51.44"W	74°5'1.73"W	---
	Altitud	2580 m	2570 m	2571 m	2574 m	2552 m	2577 m	2621 m	2590 m	2580 m	2563 m	2589 m	2688 m	---
	Altura del suelo	0 m	10 m	6 m	0 m	0 m	0 m	15 m	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	Puente Aranda	Kennedy	Kennedy	Tunjuelito	San Cristóbal	---
	Dirección	Autopista Norte # 205-59	Carrera 7B Bis # 132-11	Carrera 111 # 159A-61	Avenida Calle 80 # 121-98	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Calle 63 # 59A-06	Calle 37 # 8-40	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	---
	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	Urbana	
	Tipo de estación	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		
Contaminantes	PST									X				
	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	
	O ₃	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			X	

La estación Parque Simón Bolívar será referenciada como Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón como Min. Ambiente y Carvajal como Carvajal – Sevillana.

Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA

Contaminante	Principio de Medición	Método de referencia EPA
PM ₁₀	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122, EQPM-0308-170, EQPM-0709-185, EQPM-1102-150, EQPM-0609-183
PST	Atenuación por Radiación Beta	
PM _{2.5}	Atenuación por Radiación Beta	EQPM-0798-122, EQPM-0308-170, EQPM-0709-185, EQPM-1102-150, EQPM-0609-183.
O ₃	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQQA: 0992-087/0193-091
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA: 1289-074/1194-099/1292-090
CO	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA: 0992-088/0981-054/1093-093
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA:0495-100/0486-060

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones o cantidad de datos, debido a motivos operacionales.

1.2. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá se establece según la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), la cual fue modificada mediante Resolución 610 de 2010. La tabla 1.3 presenta los niveles máximos para los contaminantes criterios.

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

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Añual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM ₁₀	50	Añual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM _{2.5}	25	Añual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO ₂	80	Añual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO ₂	100	Añual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O ₃	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la RMCAB para el segundo trimestre de 2015. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que son aquellos obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados. En la segunda parte se presentan los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

Las Figura 2-1 y Figura 2-12 se presentan los porcentajes de captura de datos por parámetro y por estación para el segundo trimestre meteorológico de 2015², respectivamente. Se observa para ambas figuras que los 17 parámetros monitoreados cumplen representatividad temporal superior al **81%**. Para el periodo evaluado no se presentaron inconvenientes por suministro de energía para ninguna de las estaciones que es el factor que más afecta la captura masiva de datos. Se puede observar en la Figura 2-1 que en general los parámetros meteorológicos presentan un mayor porcentaje de captura de datos que los analizadores de contaminantes, lo cual obedece a que su funcionamiento no requiere de múltiples componentes internos y por lo tanto su operación es más simple y no requiere mayores intervenciones. Los analizadores de contaminantes requieren frecuente mantenimiento, cambio de repuesto, verificación, calibración y cambio de componentes para un desempeño óptimo, lo cual los hace más susceptible a la pérdida de datos que los sensores meteorológicos.

Algunos de los parámetros monitoreados no se miden en todas las estaciones de la RMCAB, por lo cual para conocer en mayor detalle el número de monitores por estación y su desempeño específico se presenta el consolidado en la Tabla 2-1.

La estación de Fontibón continúa fuera de servicio desde 1 de julio de 2014 por inconvenientes logísticos en su reubicación, por lo cual los analizadores de contaminantes fueron reubicados temporalmente en las estaciones de Kennedy y Unidad Móvil para mantenerlos en mantenimiento activo.

Los sensores de radiación directa y radiación difusa de la estación Centro de Alto Rendimiento se encuentran fuera de servicio.

De los equipos en funcionamiento tres parámetros presentaron una captura de datos inferior al 90%, estos corresponden a monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Para el caso de monóxido de carbono (CO), las estaciones que presentaron mayor pérdida de datos fueron Centro de Alto Rendimiento (C.D.A.R), Kennedy y Las Ferias con 84%, 62 % y 60% de datos capturados respectivamente. En las estaciones de C.D.A.R y Kennedy se presentó daño en el aire acondicionado de las estaciones, lo cual afecta los registros y pone en riesgo los analizadores, por lo tanto fue imperativo el apagar los monitores hasta lograr la reparación de los aires acondicionados. Este daño tuvo una

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

duración de 18 días en C.D.A.R y de 35 días en Kennedy. En la estación Las Ferias el analizador presentó falla en la fuente de infrarrojo y entró nuevamente en funcionamiento el equipo el 4 de mayo de 2015.

En cuanto al dióxido de azufre (SO₂), los equipos que presentaron mayores pérdidas de datos fueron los de las estaciones C.D.A.R., Carvajal, Kennedy y Tunal con 81%, 53%, 62% y 52% respectivamente. Para C.D.A.R. y Kennedy la causa de pérdida de datos fue el daño en el aire acondicionado. En Carvajal el analizador continuó con daño de tarjeta CPU y en la estación de Tunal el analizador operó correctamente hasta el 17 de abril de 2015, fecha en la cual se trasladó el analizador a la Unidad Móvil de la RMCAB. En la estación de Bolivia se presentó bloqueo del datalogger entre mediados de abril y mayo.

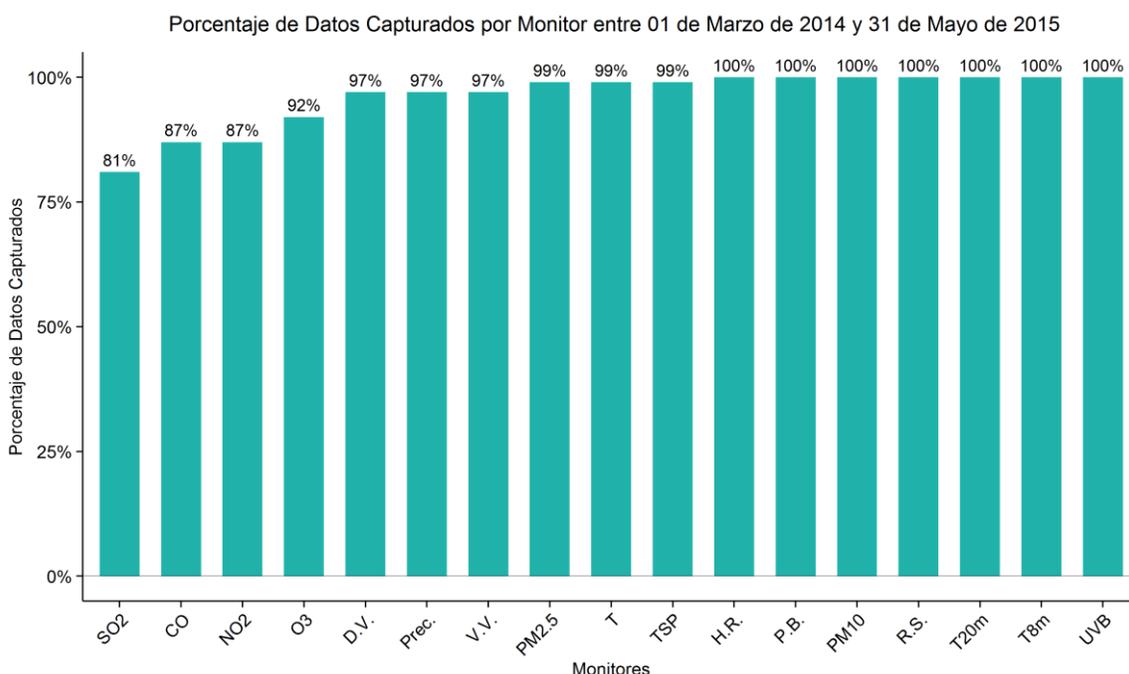


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro para el segundo trimestre de 2015.

En la Figura 2-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por estación y no se incluye la estación Fontibón por la razón de traslado mencionada.

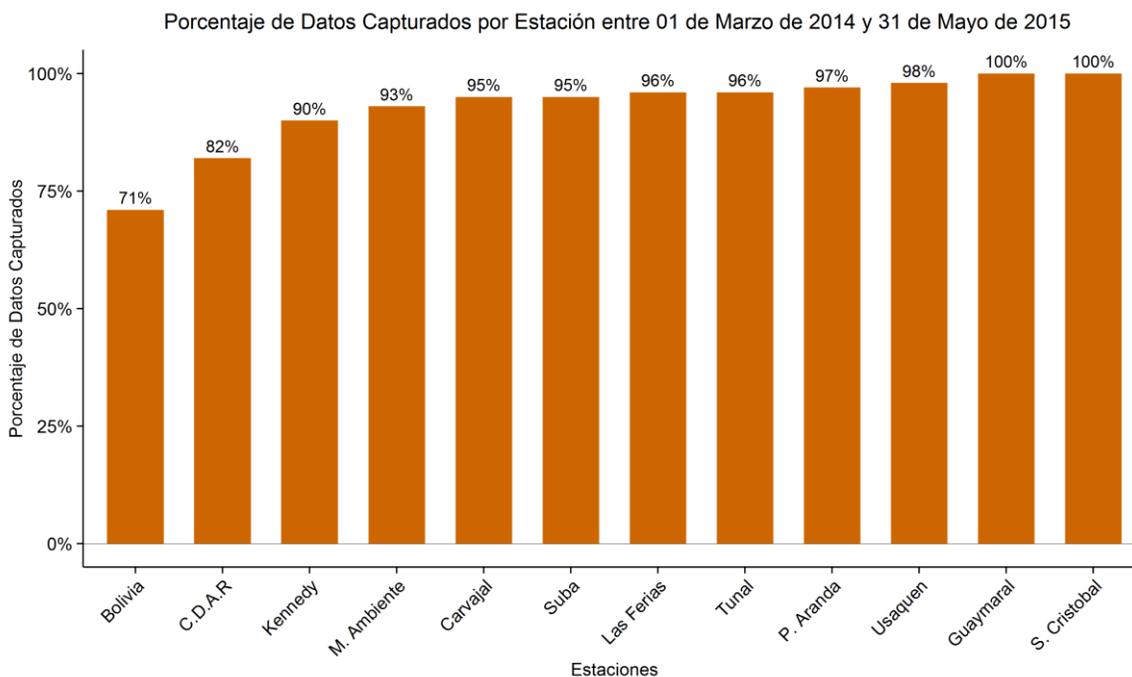


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación para el segundo trimestre de 2015.

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

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71%	-	-	-	-	-	-	71%	71%	71%
C.D.A.R.	-	100%	100%	84%	83%	84%	81%	100%	-	-	100%	100%	100%	0%	0%	100%	-	100%	100%	82%
Carvajal	99%	100%	100%	99%	100%	100%	53%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	95%
Guaymaral	-	100%	99%	100%	100%	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	100%	100%	100%	100%
Kennedy	-	100%	100%	-	62%	62%	62%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	100%	100%	100%	90%
Las Ferias	-	99%	99%	99%	99%	60%	99%	99%	-	-	99%	99%	-	-	-	-	99%	99%	99%	96%
M. Ambiente	-	100%	100%	60%	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	93%
P. Aranda	-	99%	-	81%	99%	99%	99%	99%	-	-	99%	-	-	-	-	-	-	99%	99%	97%
S. Cristobal	-	100%	100%	100%	-	100%	100%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%
Suba	-	100%	97%	100%	55%	-	100%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	95%
Tunal	-	99%	100%	100%	100%	100%	52%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	96%
Usaquen	-	100%	98%	100%	-	94%	-	92%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	98%
Fontibón	-	T ^a	-	T ^b	-	T ^b	T ^b	0%	-	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Total	99%	100%	99%	92%	87%	87%	81%	99%	100%	100%	97%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	97%	97%	86%

^a Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. ^b Equipo trasladado a Kennedy.

2.2. Porcentaje de datos válidos.

Los datos capturados por los diferentes analizadores de la RMCAB son sometidos a un proceso de validación de 3 etapas. Las 2 primeras etapas comprenden validaciones

automáticas en estación de monitoreo y en estación central respectivamente. En la tercera etapa se realiza la inspección manual final de la totalidad de los datos. El procedimiento de validación de la SDA está basado en la "Guía Práctica para la Validación de Datos en los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire - SVCA existentes en Colombia - GPVD" del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2011.

Se ha evidenciado que cuando se presenta una pérdida de datos en la RMCAB por parte de un monitor superior al 10% se debe principalmente a alguna de las tres situaciones siguientes: 1) fallas no obvias en equipos que normalmente requieren intervención mayor 2) falla en suministro de energía o 3) daño en aire acondicionado de la estación de monitoreo.

En total para este segundo trimestre meteorológico se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente al 81%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)³.

La Figura 2-3 presenta el porcentaje de datos válidos por parámetro, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-1 con el propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. Para el periodo se obtuvo un promedio de invalidación de datos por parámetro de 3%.

La disminución de datos de Ozono (O_3) se debió a la alteración del perfil y orden de magnitud de los registros de la estación de MinAmbiente y se realizó invalidación del 56% de los datos para la estación. Este cambio se presentó debido a que le ingresó agua al interior del equipo y afectó su funcionamiento.

La Figura 2-4 presenta el porcentaje de datos válidos por estación, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos por estación de la Figura 2-2 con el propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación. Para el periodo se obtuvo un promedio de invalidación de datos por estación de 4%. La estación de Bolivia presentó el mayor porcentaje de datos inválidos, 20%. Se presentó daño en sensor de velocidad del viento y atasco del sensor de dirección del viento reportando el mismo valor por varios días. El caso de Bolivia es particular por cuanto es la única estación fija que no posee servicio de internet y los datos no son capturados hora a hora como en el resto de las estaciones, debido a falta de servicio de internet en el sitio de la estación. La falta de seguimiento continuo a la descarga de los datos de esta estación disminuye dramáticamente la detección temprana de fallas en los sensores y por lo tanto se presenta alto número de invalidación de datos.

³ El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.

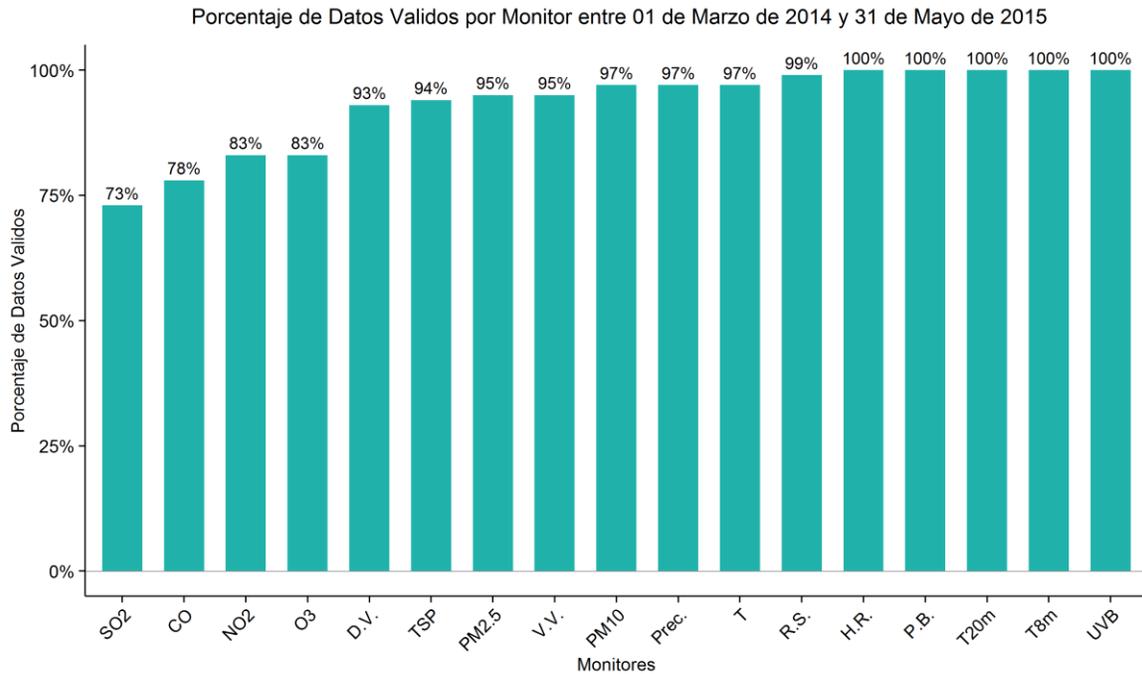


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro para el segundo trimestre de 2015.

En general no se presentaron invalidaciones masivas de datos para múltiples parámetros. Los porcentajes de invalidación de datos por estación y por parámetro son relativamente bajos comparados con los promedios de invalidación del año 2014.

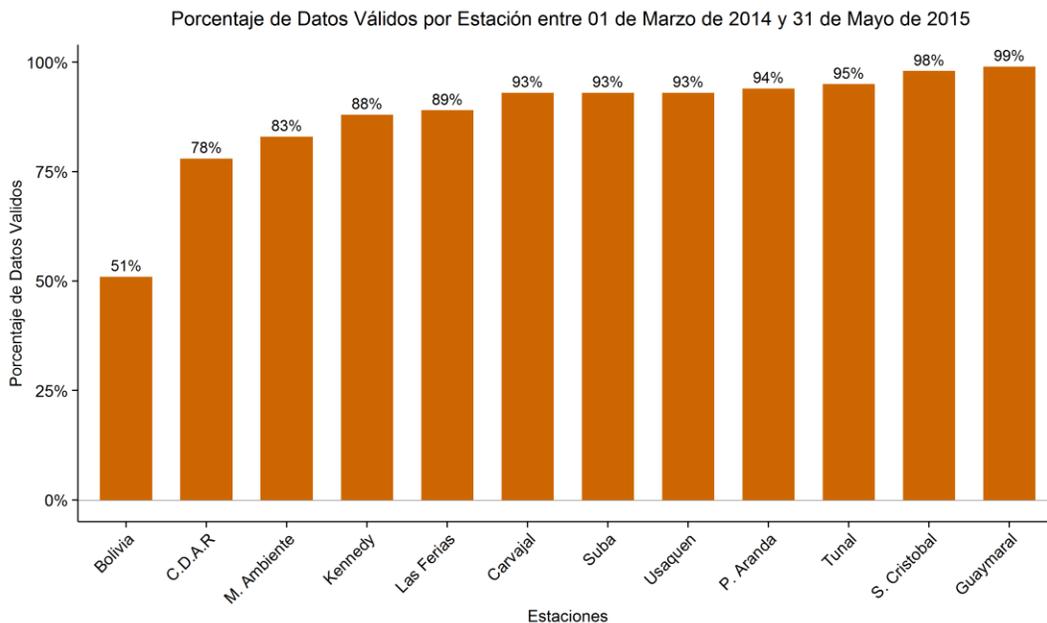


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación para el segundo trimestre de 2015.

La Tabla 2-2 corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

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

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71%	-	-	-	-	-	-	53%	30%	51%
C.D.A.R	-	96%	93%	74%	73%	71%	70%	100%	-	-	100%	100%	97%	0%	0%	100%	-	100%	100%	78%
Carvajal	94%	98%	95%	96%	95%	98%	48%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	93%
Guaymaral	-	97%	96%	97%	97%	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%	99%
Kennedy	-	100%	99%	-	46%	58%	61%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	100%	100%	100%	88%
Las Ferias	-	97%	90%	94%	97%	29%	70%	99%	-	-	99%	99%	-	-	-	-	99%	99%	99%	89%
M. Ambiente	-	100%	99%	4%	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	98%	83%
P. Aranda	-	96%	-	81%	98%	92%	98%	99%	-	-	99%	-	-	-	-	-	-	90%	90%	94%
S. Cristobal	-	100%	98%	92%	-	97%	88%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	98%
Suba	-	90%	95%	99%	55%	-	97%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	93%
Tunal	-	98%	96%	98%	99%	94%	51%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	95%
Usaquen	-	98%	87%	99%	-	88%	-	74%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	93%
Fontibón	-	T ^a	-	T ^b	-	T ^b	T ^b	0%	-	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Total	94%	97%	95%	83%	83%	78%	73%	97%	100%	100%	97%	100%	99%	0%	0%	100%	100%	95%	93%	81%

^a Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. ^b Equipo trasladado a Kennedy.

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en cuatro secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, PM₁₀ y el PM_{2.5}; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes: O₃, NO₂, SO₂ y CO, la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA) y la cuarta presenta un resumen cuantitativo para cada contaminante en los tiempos de exposición definidos en la Resolución 610 de 2010. Para esto, la RMCAB durante el trimestre MAM 2015 contó con 13 estaciones (incluyendo la estación móvil) que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentados en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

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

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

Resultan de interés para el distrito las partículas PST, PM₁₀ y PM_{2.5} reguladas a nivel nacional por la Resolución 610 de 2010. El PST corresponde al total de partículas suspendidas y es indicador general de resuspensión, el PM₁₀ corresponde a aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras el PM_{2.5}, corresponde a partículas con tamaño menor o igual a 2,5 µm y se encuentran asociadas a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas), siendo 100% respirables con el agravante de que pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Entre marzo y mayo de 2015, la RMCAB contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal-Sevillana para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST).

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

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

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

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

Comportamiento de las concentraciones diarias de PST

Con respecto a la representatividad de los datos para el periodo de análisis en la estación Carvajal, se registró un porcentaje de recuperación de 92%. La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue de 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrado el 21 de abril de 2015, sin embargo, este valor se mantuvo muy por debajo del límite normativo (300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La tabla 3.1 presenta un resumen de estos datos.

Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el trimestre MAM 2015.

Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma ⁴
84	92	0	107	182	21/04/2015	0

* Corresponde a la media geométrica de los datos diarios del trimestre MAM 2015

La figura 3.1 presenta estos mismos resultados en forma gráfica. La Figura 3-2 corresponde a un diagrama calendario con las concentraciones diarias de PST medidas durante el segundo trimestre de 2015. El diagrama calendario muestra los días con datos no disponibles o no recuperados y abril 27 como el día con mayor concentración de este contaminante en la estación Carvajal.

⁴ Mayor a 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor o igual a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

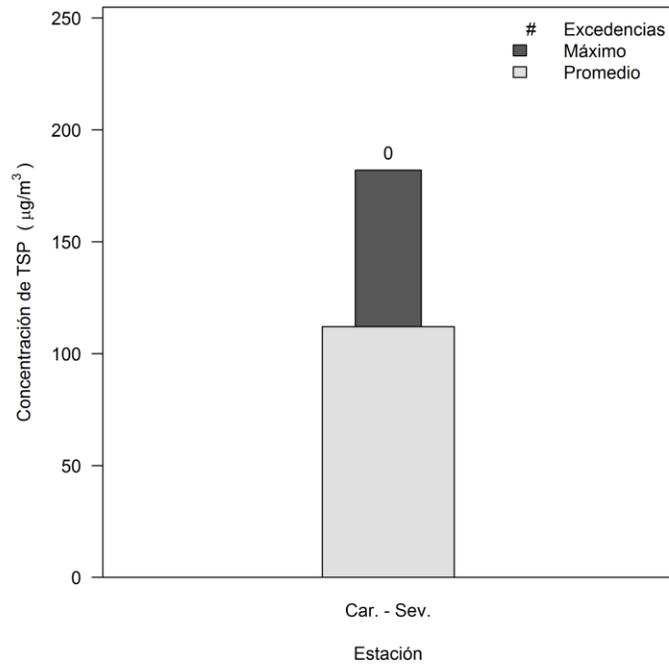


Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el segundo trimestre de 2015. Base diaria.

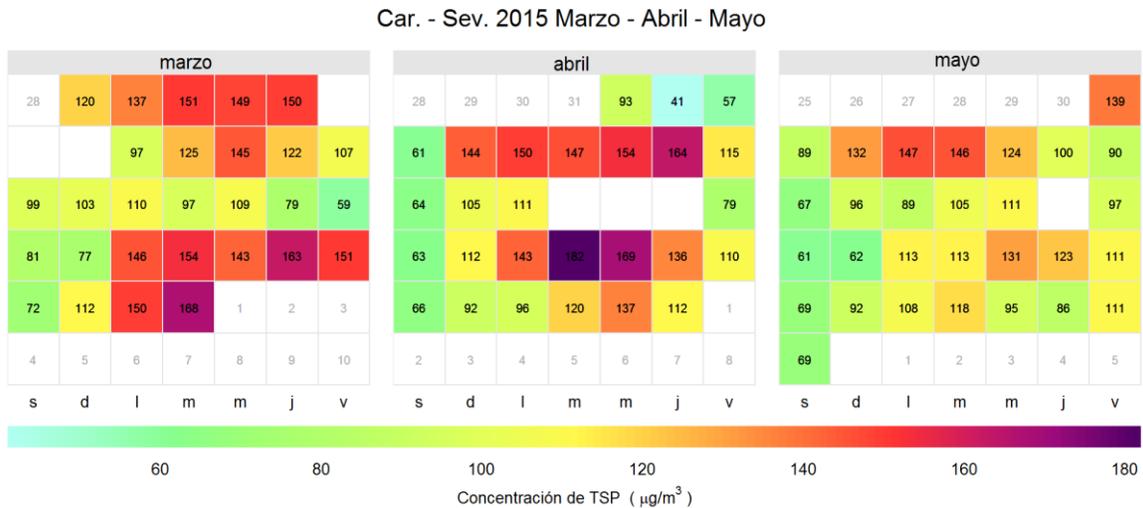


Figura 3-2. Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el Trimestre MAM 2015.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PST.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana del trimestre MAM 2015 se presenta en la Figura 3-3. Los datos de los años 2014 y 2012 se presentan a manera de seguimiento, pues tiene una representatividad inferior a 75% (53% y 66% respectivamente). Se toman datos con representatividad superior al 50%, al tratarse de una sola estación que

monitorea PST. La grafica muestra en general, una reducción sostenida de la concentración de PST del año 2015 frente a los 4 años anteriores. Siendo el día domingo el de menor concentración y menor dispersión de datos.

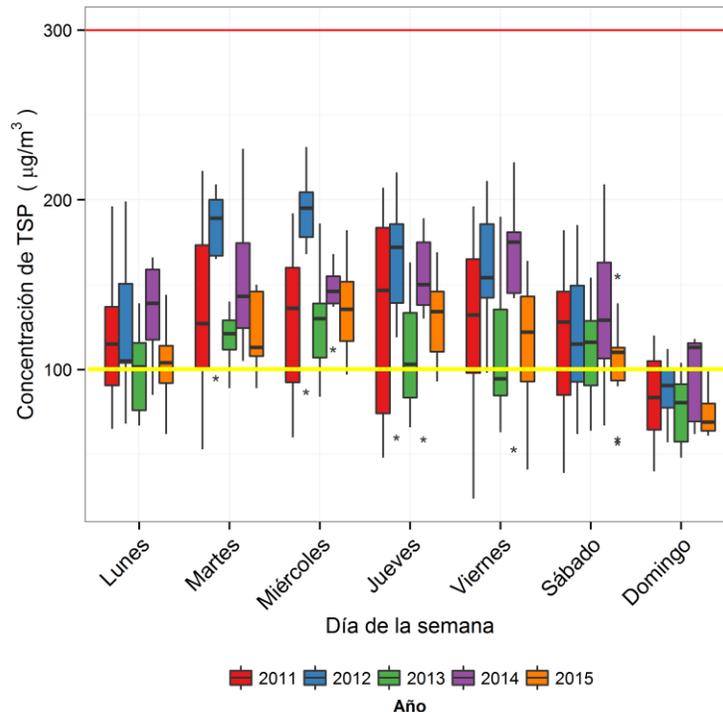


Figura 3-3. Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre MAM por días de la semana. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Las concentraciones promedio históricas de PST durante los últimos 5 años (incluyendo 2014 y 2012) se muestran en la Tabla 3-2. Los promedios concuerdan con la tendencia del *boxplot* y evidencian nuevamente el descenso de las concentraciones promedio de este contaminante para el trimestre MAM 2015. Cabe resaltar que si se comparan las excedencias para los días de la semana del trimestre MAM en los años de estudio con la norma diaria ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$), esta no es excedida, caso contrario ocurre si se compara con la norma anual ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$), donde todos los días de la semana del trimestre MAM en los años de estudio exceden la norma menos el domingo del año 2015. Un análisis de las medianas como medida de tendencia central muestran claramente que la norma es superada de manera recurrente excepto para los viernes de 2013 y el domingo de todos los años en estudio.⁵

⁵ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

Tabla 3-2. Concentración promedio (geométrico) de PST por día de la semana en el trimestre MAM 2015. Se considera solamente la estación Carvajal.

Día	Promedio geométrico del contaminante PST por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	2011	2012*	2013	2014*	2015
Lunes	112	119	97	132	102
Martes	126	170	119	149	121
Miércoles	120	176	123	144	133
Jueves	119	150	105	138	128
Viernes	111	155	105	146	109
Sábado	109	116	107	141	98
Domingo	79	86	75	91	72

* N.R.: No Representativo.

En la Figura 3-4 se puede apreciar el comportamiento de la concentración de PST en función del mes, tomando los meses con una representatividad superior al 50%. Se observa de manera general una reducción en la concentración para el trimestre 2015 frente a sus similares de 2011, 2012 y 2014 y con concentraciones ligeramente más bajas para el mes de mayo. No se observan valores atípicos para ninguno de los meses del presente trimestre y solo se presentan para abril de 2014. Marzo es el único mes que presenta simetría con respecto a la mediana mientras que mayo presenta la menor dispersión de datos. Ninguno de los meses en estudio excede la norma diaria ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$), sin embargo todos presentan excedencia si se comparan con la norma anual ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$).

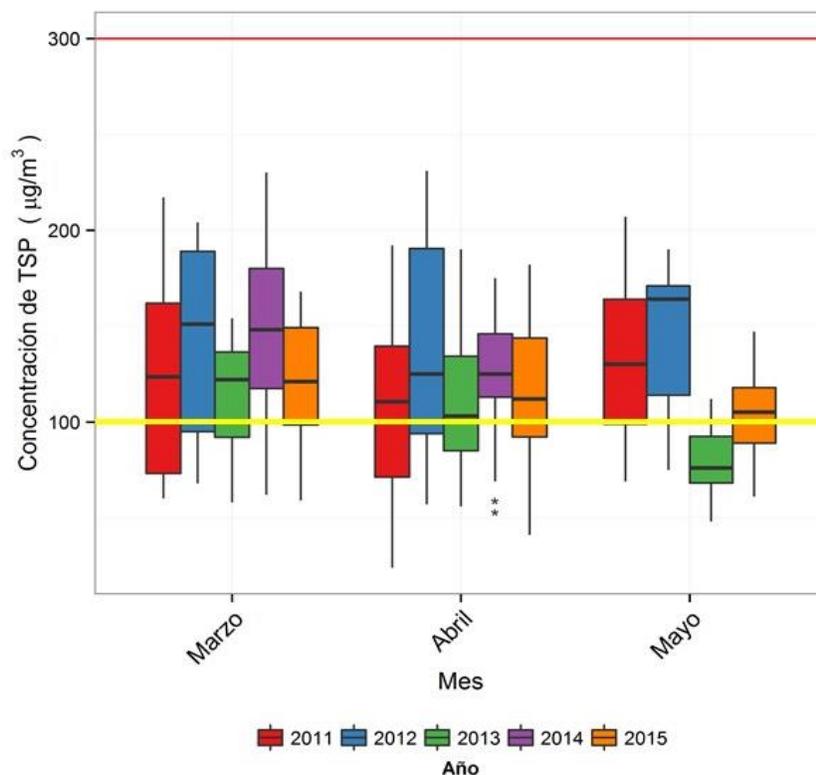


Figura 3-4. Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre MAM por meses. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La Tabla 3-3 corresponde a un resumen de promedios geométricos de concentraciones de PST durante los años 2011 a 2015 en función de los meses del año, con base en promedios de 24 horas.

Tabla 3-3. Concentración promedio de PST por mes en el trimestre MAM de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal.

Mes	Promedio geométrico del contaminante PST por mes del trimestre en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
	2011	2012	2013	2014	2015
Marzo	114	133	111	142	116
Abril	97	130	106	117	105
Mayo	130	139	78	NA	100

N.A.: No disponibles

En la Figura 3-5 se presenta el comportamiento histórico generalizado de la concentración de PST durante los años 2011 a 2015 mostrando los años con representatividad menor a 75% a manera de guía (años 2012 y 2014). De nuevo, se observa un descenso en los niveles de concentración de este contaminante para el trimestre MAM. El año 2012 presenta la mayor variabilidad de los datos y el 2015 la menor. Una comparación con la norma diaria ($300\mu\text{g}/\text{m}^3$), muestra que no se presentan excedencias, mientras que si se compara con la norma anual ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$), en todos los trimestres históricos se presentan excedencias y las medianas superan la norma⁶.

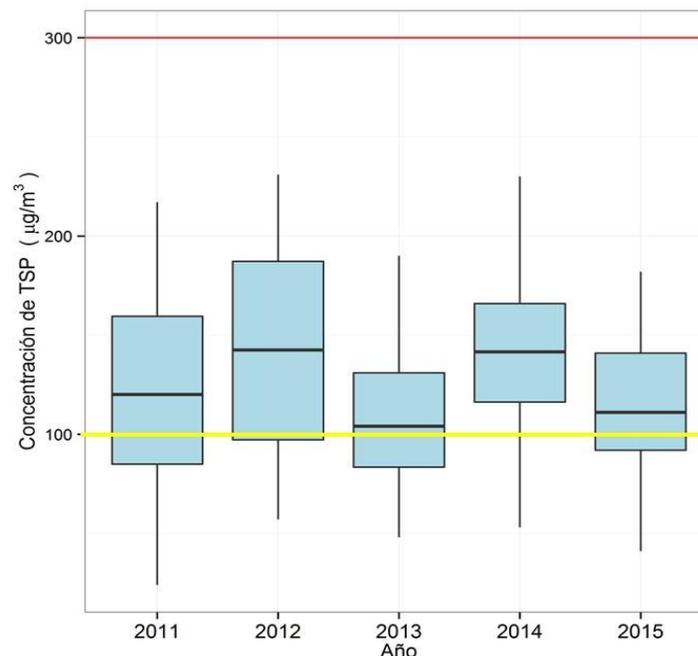


Figura 3-5. Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre MAM. La línea roja representa la norma establecida para 24h y la amarilla para un año

⁶ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

La Tabla 3-4 contiene un resumen de los promedios de PST del trimestre MAM para los años 2011 a 2015. El mayor promedio fue encontrado en el segundo trimestre del año 2012 y 2013 con una concentración promedio de $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que en el año 2013 se registró la menor concentración con $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 3-4. Resumen histórico de las concentraciones de PST en promedios 24 horas el trimestre MAM de los años 2011 a 2015. Solamente se considera la estación de Carvajal ya que PST se monitoreó únicamente en esta estación durante los últimos años.

Año	Concentración media de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2011	110
2012	133
2013	102
2014	133
2015	107

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

La RMCAB contó en el periodo de marzo de 2015 a mayo de 2015 con 11 equipos de medición de PM₁₀, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.

Comportamiento de las concentraciones diarias de PM₁₀ (24 h)

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

Las concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias se presentan en la Figura 3-6. La Tabla 3-5 resume los datos diarios de PM₁₀ para cada una de las estaciones de la RMCAB. En los 11 sitios de medición analizados se presentó una cobertura temporal superior a 75% y, por tanto, para todas es posible el cálculo de promedios trimestrales representativos. Los valores más altos se presentaron en Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda, en el suroccidente de la ciudad, cuyas respectivas zonas de influencia se encuentran afectadas por alta actividad de fuentes de emisión móviles (especialmente vehículos de carga pesada), fuentes industriales y resuspensión de material particulado. En contraste, los menores promedios se observaron en las estaciones Usaqué, Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento y San Cristobal, las cuales se localizan en la zona norte y central de la ciudad.

Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario es 100 µg/m³, se observó un total de 40 excedencias las cuales se distribuyeron en Carvajal – Sevillana (27), Kennedy (12) y Puente Aranda (1). Este comportamiento es consistente con los promedios trimestrales, donde las estaciones con mayores magnitudes fueron propensas a presentar más excedencias. En términos de mayor contaminación, se destaca Carvajal – Sevillana, cuyo promedio trimestral fue 87 µg/m³ con 27 excedencias del límite máximo permisible, las cuales representan el 30% de los correspondientes datos válidos. Aunque Tunal y San Cristóbal no presentaron excedencias, 1 promedio diario para la primera estación y dos para la segunda sí excedieron el valor del 90% de la norma y presentaron máximos de 95 µg/m³ y 92µg/m³ respectivamente. Este hecho muestra que estas estaciones son susceptibles de incumplir la normatividad vigente. Para las demás estaciones, ningún valor superó el 90% del límite máximo permisible.

No se registran episodios generalizados de altas concentraciones. Sin embargo, la última semana del mes de marzo de 2015 es cuando se registran los máximos para 8 de las 11 estaciones de monitoreo.

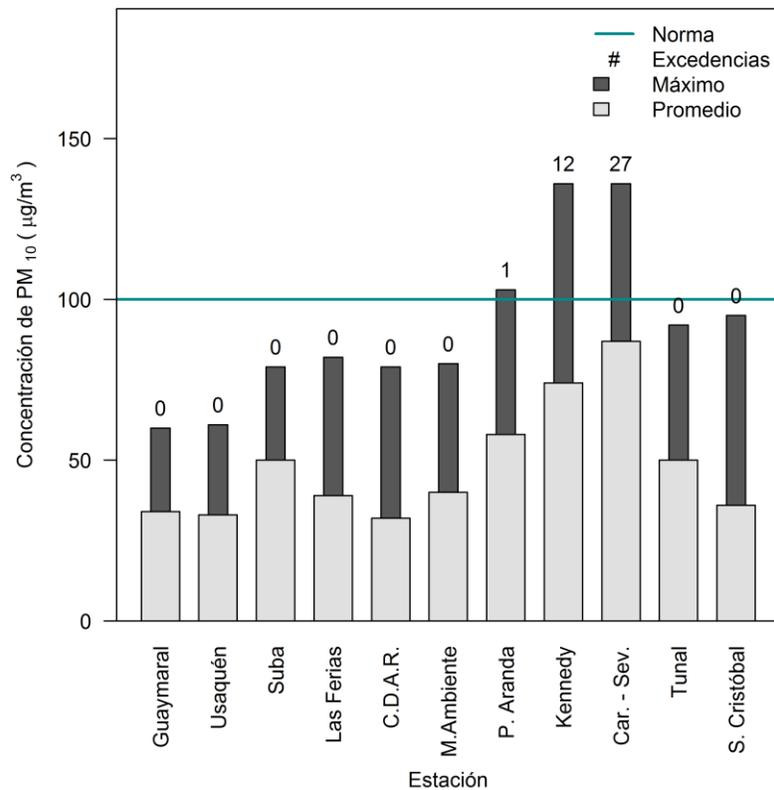


Figura 3-6. Promedio trimestral, número de excedencias y máximos de PM₁₀ por estación durante MAM 2015. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m³ (Resolución 610 de 2010).

La Tabla 3-6 muestra que marzo, abril y mayo presentaron 14, 11 y 4 días de excedencia (diferente a números de excedencias). Mayo presenta la menor cantidad de excedencia, lo cual se atribuye al cambio de la dinámica meteorológica en la ciudad por mayores velocidades de viento alrededor de la mitad del año. Es importante aclarar que un día de excedencia se define como aquel en el cual al menos una estación excede el límite máximo permisible, mientras que las excedencias son las totales. Para el periodo MAM 2015, 29 días excedieron la normatividad.

Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de los datos diarios de PM₁₀ durante MAM 2015

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio trimestral (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 ⁷	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	88	97	34	0	0	0	60	01/05/2015
Usaquén	87	96	33	0	0	0	61	29/03/2015
Suba	82	90	50	0	0	0	79	25/03/2015
Las Ferias	87	96	39	0	0	0	82	24/03/2015
Centro de Alto Rendimiento	86	95	32	0	0	0	79	24/03/2015
MinAmbiente	91	100	40	0	0	0	80	23/03/2015
Puente Aranda	85	93	58	1	1	4	103	27/03/2015
Kennedy	91	100	74	12	13	2	136	01/05/2015
Carvajal - Sevillana	90	99	87	27	30	7	136	21/04/2015
Tunal	89	98	50	0	0	1	92	01/03/2015
San Cristóbal	91	100	36	0	0	2	95	23/03/2015

Tabla 3-6. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM₁₀ (100 µg/m³) por estación y por mes para el trimestre MAM 2015.

Mes	Marzo	Abril	Mayo	MAM
Guaymaral	0	0	0	0
Usaquén	0	0	0	0
Suba	0	0	0	0
Las Ferias	0	0	0	0
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0
MinAmbiente	0	0	0	0
Puente Aranda	1	0	0	1
Kennedy	7	1	4	12
Carvajal - Sevillana	13	10	4	27
Tunal	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0
Total de excedencias	21	11	8	40
Días de excedencias	14	11	4	29

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-7 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio trimestrales de PM₁₀ (basado en promedios diarios) en las 11 estaciones durante el periodo MAM 2015.

⁷ Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³.

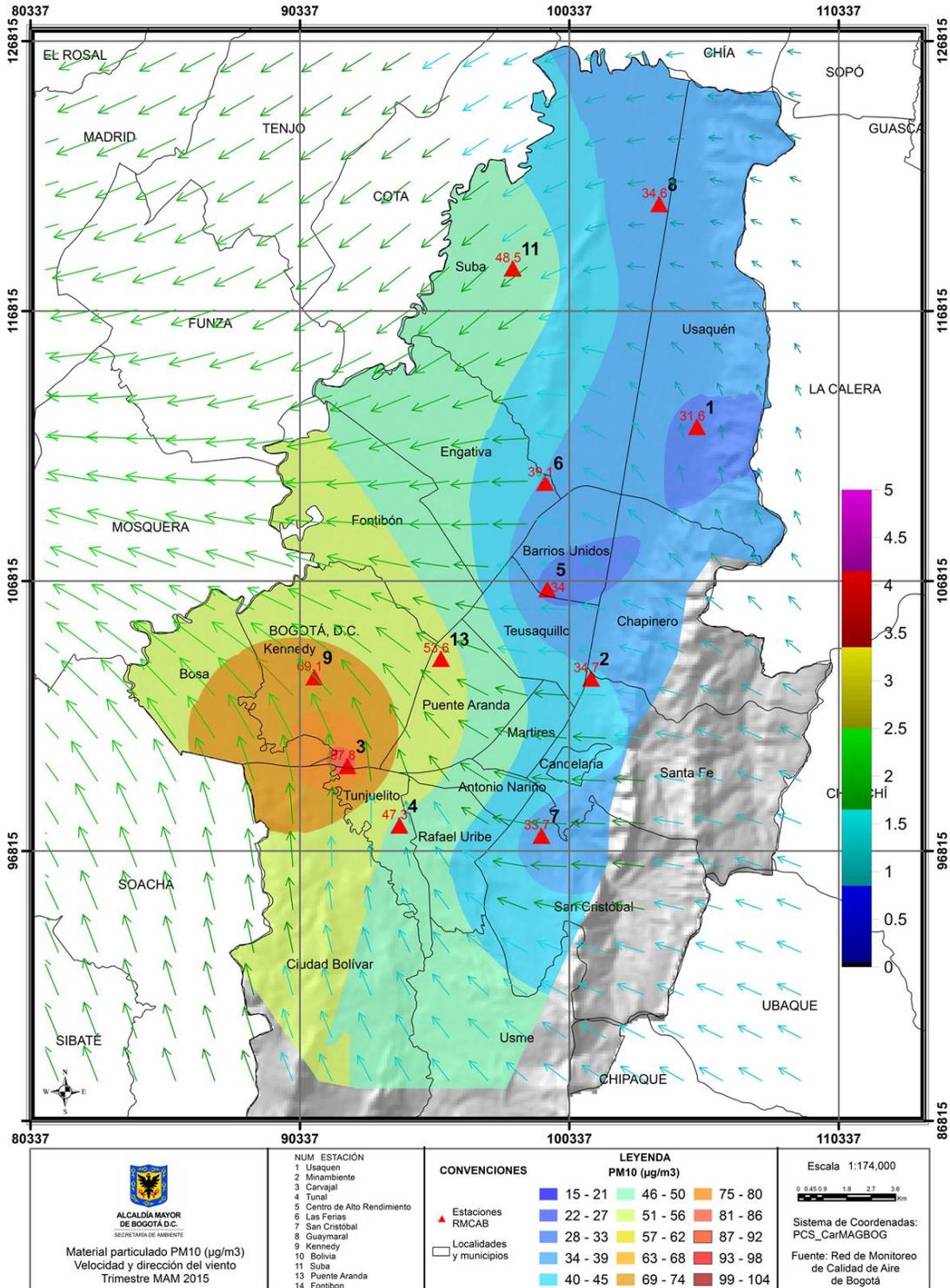


Figura 3-7. Material particulado (PM₁₀) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Periodo MAM 2015.

El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM₁₀ fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. Las tendencias observadas destacan la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios globales. Es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis.

Calendario de contaminación por PM₁₀ durante el periodo MAM 2015

La Figura 3-8, la Figura 3-9 y la Figura 3-10 corresponden a los diagramas calendario de contaminación por PM₁₀, para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y Centro De Alto Rendimiento, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. Carvajal – Sevillana muestra una diferencia notable con respecto a las otras dos estaciones al estar sus concentraciones en niveles relativamente altos y, por ende, presentar una mayor cantidad de excedencias. En esta estación se observa que las mayores concentraciones y excedencias se presentan en la última semana de marzo. En esta fecha también se observan los valores máximos para Suba y Centro de Alto Rendimiento.

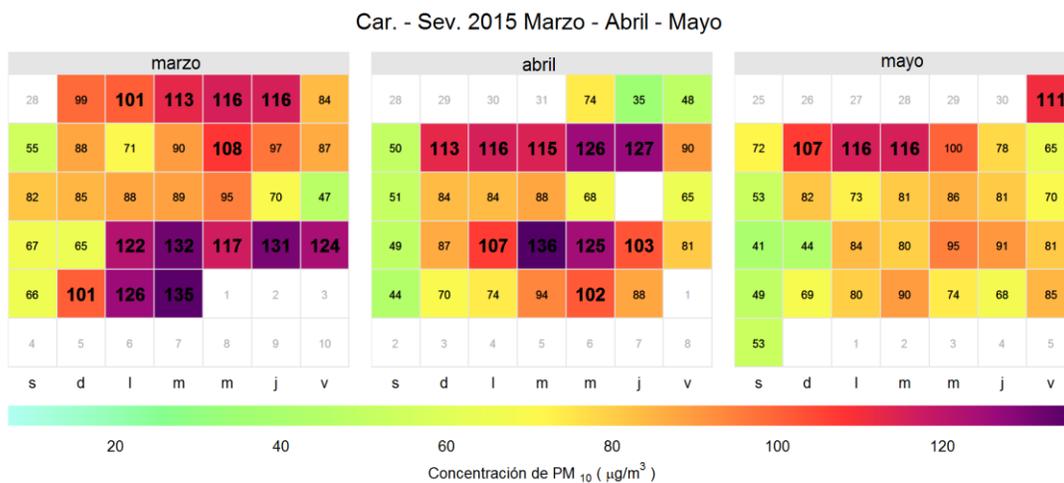


Figura 3-8. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m³.

Suba 2015 Marzo - Abril - Mayo

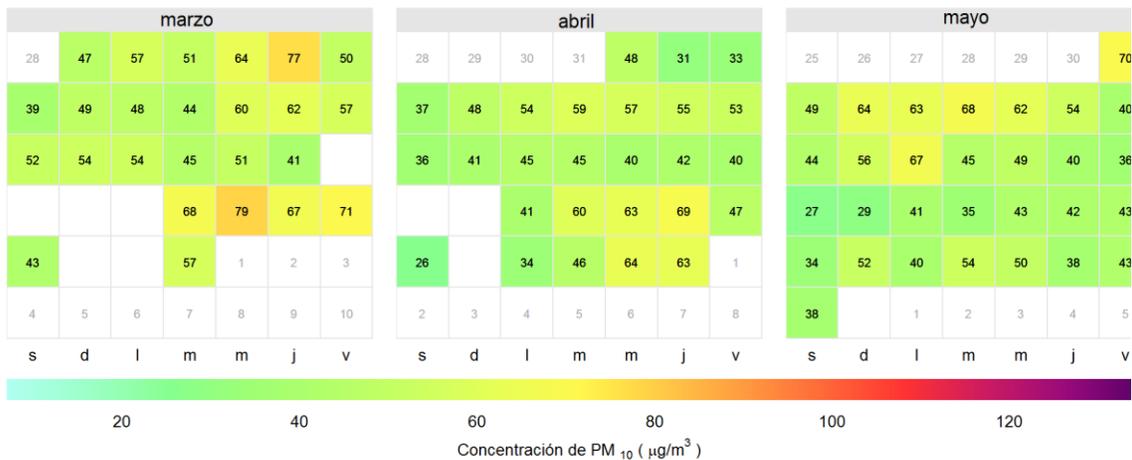


Figura 3-9. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

C.D.A.R. 2015 Marzo - Abril - Mayo

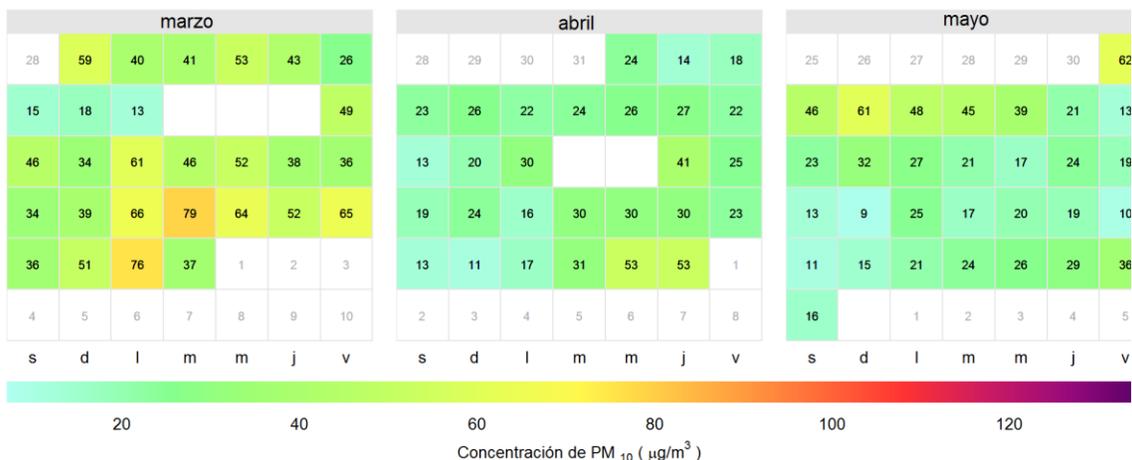


Figura 3-10. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el trimestre MAM 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PM₁₀

La Figura 3-11 presenta la distribución de las concentraciones de PM₁₀ en función de los días de la semana como promedio 24h. En las estaciones analizadas se observa que de los días hábiles los lunes son los que presentan las menores concentraciones, seguidos de los viernes y los sábados. Para el caso de los viernes se tuvieron dos festivos en el periodo (viernes santo y primero de mayo), lo cual contribuye a bajar el promedio de estos días en el trimestre. Entre martes y jueves se mantienen niveles de concentración similares. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma diaria, muestra que solo las estaciones Puente Aranda, Kennedy, y Carvajal-Sevillana presentan excedencias frente a los 100µg/m³, pero observando las medianas como medida de tendencia central, ningún valor supera la norma. Frente a la

norma anual ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), a través del trimestre MAM, se observa que la mayoría de estaciones superan la norma nacional. Al observar la mediana, se supera la norma de manera para los días laborales en Suba, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal y para algunos días en la estación Tunal (jueves y viernes)⁸. Es importante tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión. Se observa que el valor máximo de $136\mu\text{g}/\text{m}^3$ se presentó un día martes en la estación Carvajal y un viernes en la estación Kennedy.

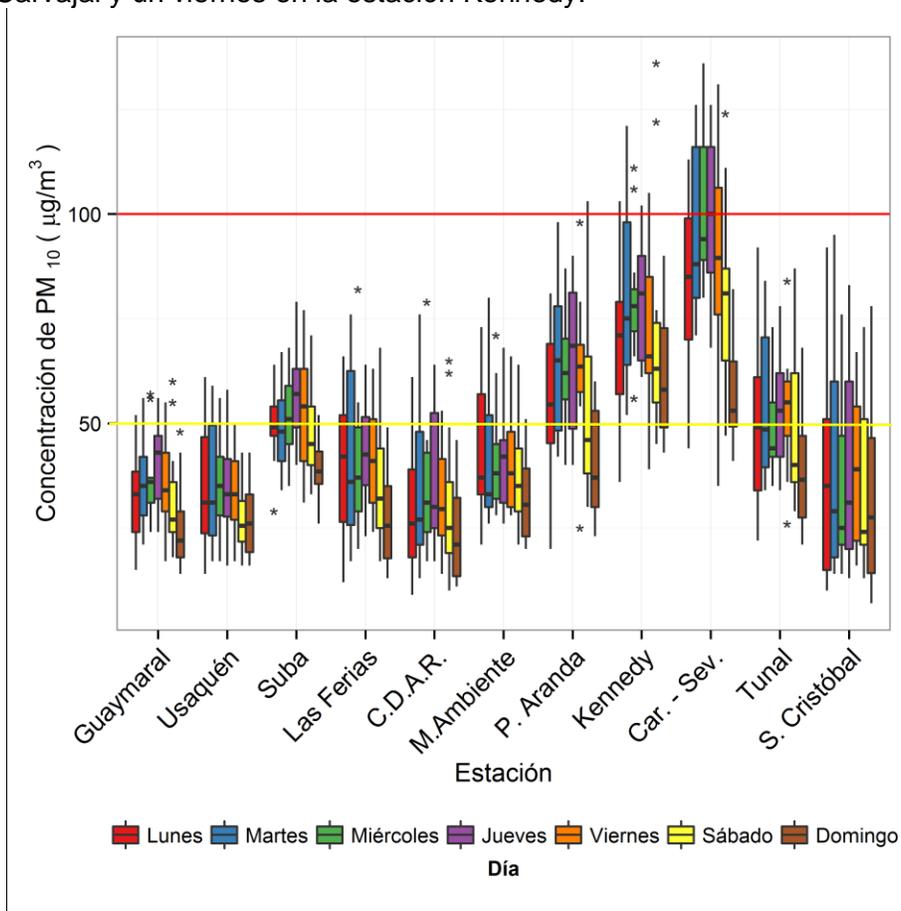


Figura 3-11. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el trimestre MAM 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los meses marzo, abril y mayo de 2015, y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-12. De manera similar a lo que ocurre con el análisis por día de la semana, una comparación de los valores de concentración por mes a través del trimestre frente a la norma diaria ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$), muestra que ésta presenta excedencias sólo en Puente Aranda, Kennedy y Carvajal, tal como se reporta en la Tabla 3-6. Frente a la norma anual ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), casi todas las estaciones

⁸ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

presentan excedencias de los registros 24 horas, a excepción de abril para el Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente⁹.

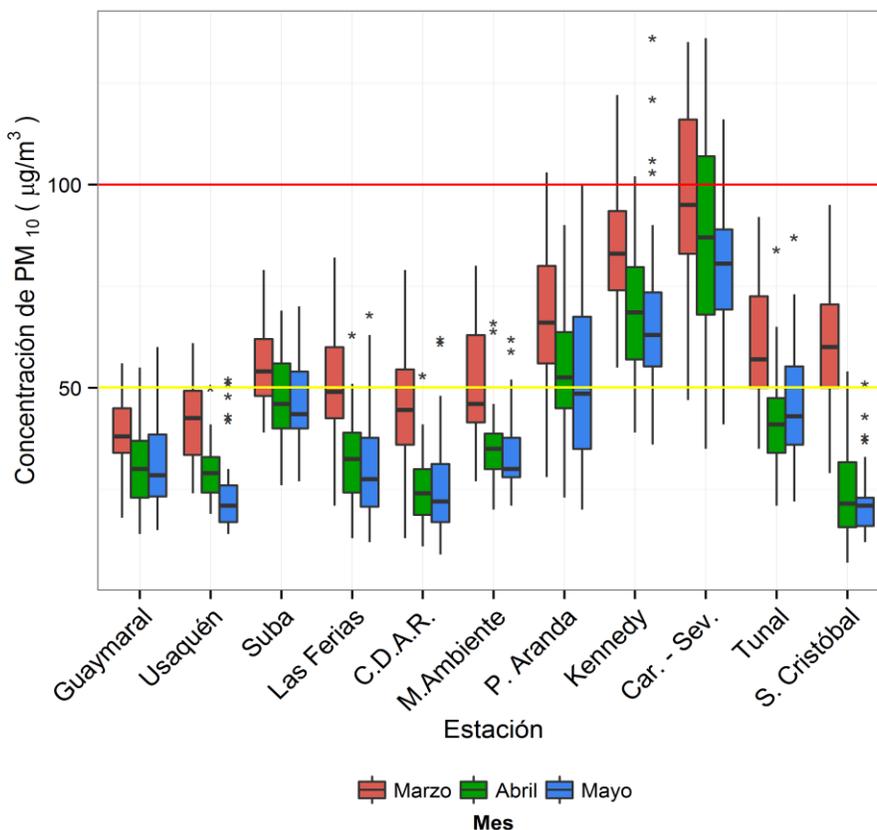


Figura 3-12. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del trimestre MAM 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM₁₀

La Figura 3-13 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de PM₁₀ por estación para el trimestre MAM 2015. Los domingos se presentaron los menores valores de concentración para este contaminante, lo cual es un hecho usual por la dinámica de la ciudad. Los sábados también presentan menores concentraciones frente a los días laborales, Los ciclos semanales con mayores variabilidades son los correspondientes a Carvajal–Sevillana, Kennedy, Puente Aranda y San Cristóbal, en los cuales las concentraciones en los días sábado descienden notablemente. Las demás estaciones presentan menor variabilidad en sus ciclos y entre estas se destacan MinAmbiente, Centro de Alto Rendimiento y Usaquén. El comportamiento de los niveles de PM₁₀ en función de los días de la semana está fundamentalmente asociado a las diferencias en el nivel de actividad de las fuentes de emisión y la meteorología.

⁹ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

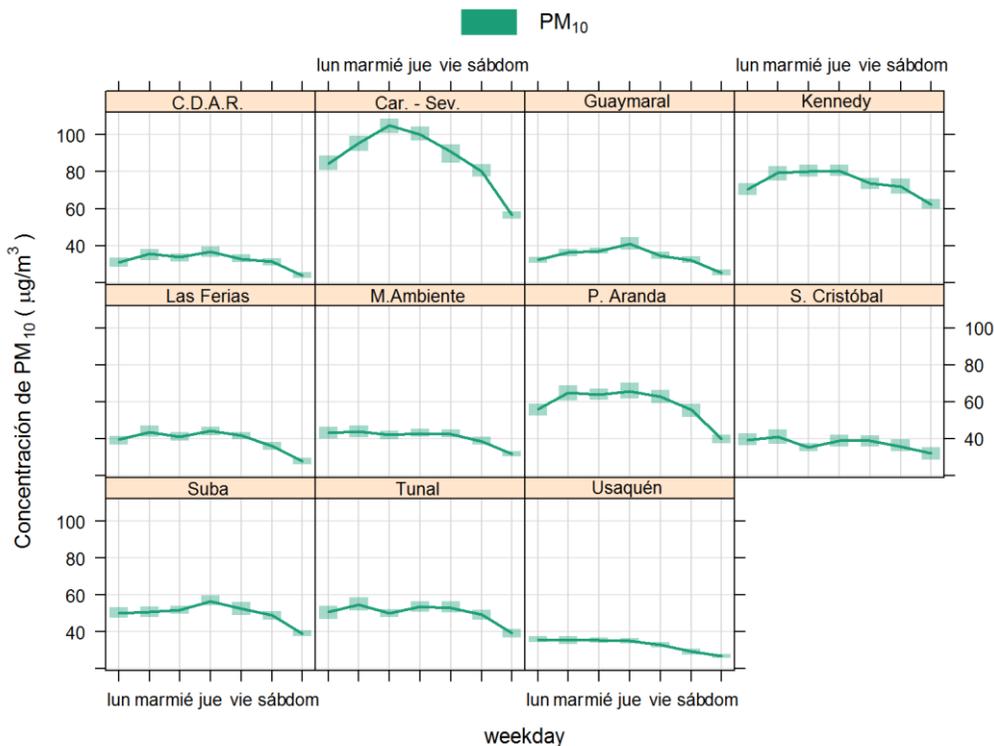


Figura 3-13. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Los ciclos diarios de las concentraciones de PM_{10} por estación se presentan en la Figura 3-14. Se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m. con magnitudes variables, donde las mayores se encuentran en las estaciones Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda y Suba, y las menores en Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral y Usaquén. Estas tendencias evidencian la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada “hora pico” en la mañana. En general para todas las estaciones se presenta un pico de concentración de menor magnitud en horas de la tarde, esto debido probablemente a la influencia de los vientos que son más intensos en la tarde y facilitan la dispersión y arrastre de contaminantes, también afecta el cambio de tendencia en la movilidad que tiende a ser en un tiempo más prolongado en ese periodo del día.

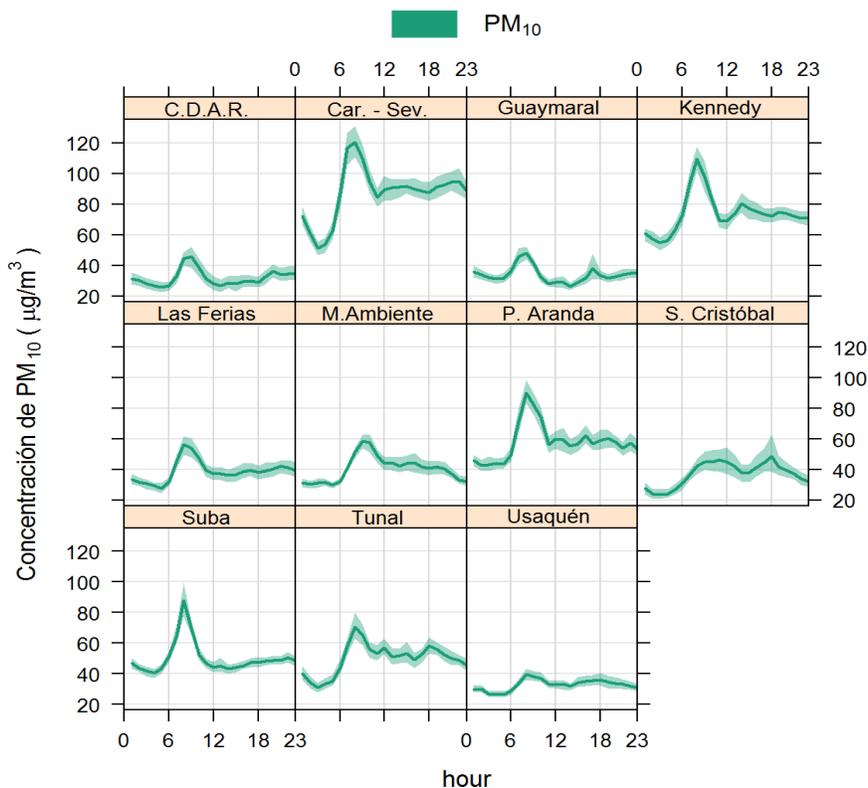


Figura 3-14. Ciclo diario de PM_{10} para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM_{10}

La Figura 3-15 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre los años 2011 a 2015. En general se observa que en las estaciones Carvajal–Sevillana y Kennedy, localizadas en el suroccidente de la ciudad, las concentraciones han sido altas y por tanto se tiene la mayor cantidad de excedencias. Como se ha mencionado previamente, las zonas de influencia de estas estaciones se caracterizan por alta actividad de fuentes de emisión. Una comparación de los valores de concentración trimestrales obtenidos para los últimos 5 años, frente a la norma existente, muestra que se presentan excedencias a la norma diaria ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones Puente Aranda, Kennedy y Carvajal en el trimestre MAM 2015, tal como se reporta en la Tabla 3-6, pero ninguna mediana supero dicho valor normativo. Frente a la norma anual ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), todos los trimestres a través del histórico MAM 2011 a 2015 presentan excedencias de los registros 24 horas; sin embargo, con base en las medianas, se puede establecer que solo Fontibón, Kennedy y Carvajal superan siempre este umbral y que para Suba se supera solo entre 2012 y 2014, para Guaymaral en 2013 y para tunal en 2011.¹⁰

¹⁰ El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

La gráfica muestra también, basados en la tendencia central (mediana), que se presentó una disminución en los valores de concentración registrados en el trimestre MAM del año 2015 frente a los años anteriores en estaciones como Guaymaral, Usaquen, Centro de Alto Rendimiento y San Cristobal; mientras que se presentó un aumento para Puente Aranda y Carvajal; Suba presento un descenso frente a los años 2012-2014 hasta llegar a los niveles registrados en 2011. Kennedy muestra un comportamiento diferente puesto que presento disminuciones en la concentración en los años 2012 y 2013 frente a 2011, aumento el promedio registrado en 2014 y nuevamente los niveles de concentración se estabilizaron en 2015 a los niveles de 2011.

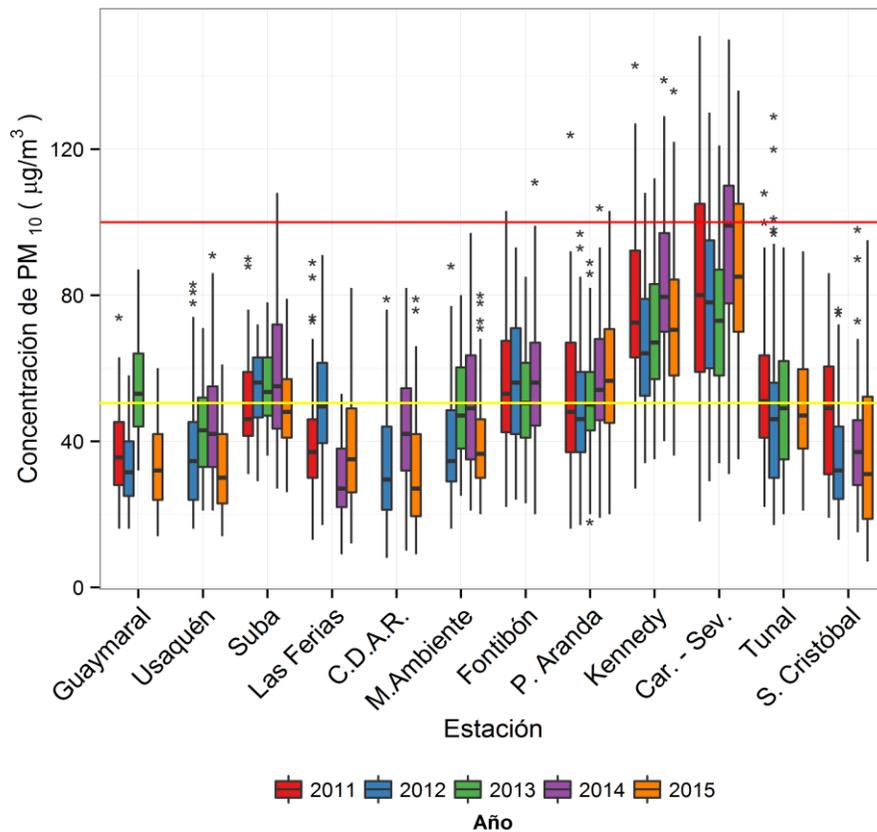


Figura 3-15. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM₁₀ por estación de monitoreo en los trimestres comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre 2011 y 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año.

La Tabla 3-7 contiene un resumen de máximos históricos entre los periodos MAM 2011-2015. De forma concordante con lo discutido previamente, La estación que históricamente se caracteriza por presentar máximos en este periodo es la de Carvajal-Sevillana, con una aparición de la estación Kennedy en el año 2014, que concuerda con los aumentos en la media registrada por esta estación.

Tabla 3-7. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM₁₀ en el trimestre MAM 2015

Año MAM	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	151	19/05/2011	Carvajal – Sevillana
2012	130	17/04/2012	Carvajal – Sevillana
2013	121	29/05/2013	Carvajal – Sevillana
2014	150	27/03/2014	Carvajal – Sevillana
2015	136	01/05/2015	Kennedy
	136	21/04/2015	Carvajal – Sevillana

3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5}

Durante el periodo MAM 2015 diez (10) estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. Las principales fuentes de PM_{2.5} incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014).

Comportamiento de las concentraciones diarias de PM_{2.5} (24h)

Se obtuvieron 845 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global del 93% entre las estaciones que registraron mediciones (superior a los 803 datos obtenidos en el trimestre DEF inmediatamente anterior) y todas las estaciones tuvieron una cobertura temporal superior al 75%. La Figura 3-16 y la Tabla 3-8 contienen un resumen de concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias de la norma diaria para PM_{2.5} en el trimestre MAM 2015. Se presentaron 2 excedencias del límite máximo permisible de 50 µg/m³, la cuales presentaron en la estación Kennedy, , mostrando una posible influencia más marcada por fuentes móviles.

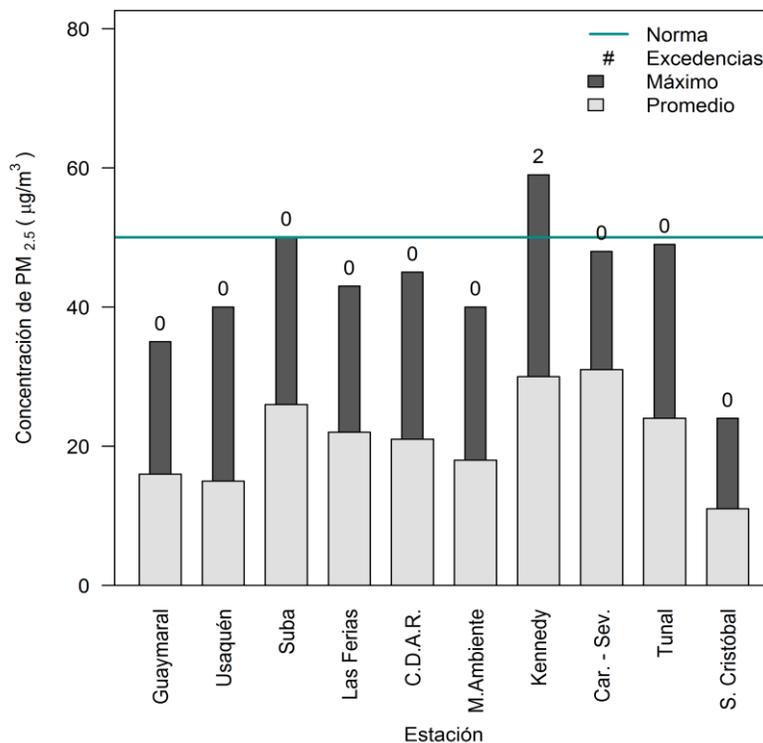


Figura 3-16. Promedios, máximos y excedencias de PM_{2.5} en base diaria para el trimestre MAM 2015.

Los mayores promedios se reportaron en las estaciones Kennedy, Carvajal–Sevillana, Suba y Tunal. Se destaca que las dos primeras estaciones reportaron valores muy similares de concentración (30µg/m³ y 30µg/m³ respectivamente). Los menores promedios se observaron en San Cristóbal y Usaquén con 11µg/m³ y 15µg/m³, respectivamente. Estos

valores demuestran el contraste espacial existente en la ciudad así como la precaución de no generalizar las tendencias de calidad del aire a nivel ciudad con promedios trimestrales.

Tabla 3-8. Resumen de datos diarios de PM_{2.5} para el periodo MAM 2015. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m ³)	Excedencias norma 50 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma ¹¹	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	86	95	16	0	0	0	35	27/03/2015
Usaquén	75	82	15	0	0	0	40	18/03/2015
Suba	86	95	26	0	0	2	50	25/03/2015
Las Ferias	71	78	22	0	0	0	43	24/03/2015
Centro de Alto Rendimiento	82	90	21	0	0	0	45	30/03/2015
MinAmbiente	90	99	18	0	0	0	40	23/03/2015
Kennedy	91	100	30	2	2.2	4	59	01/05/2015
Carvajal - Sevillana	87	96	31	0	0	1	48	08/04/2015
Tunal	89	98	24	0	0	2	49	18/03/2015
San Cristóbal	88	97	11	0	0	0	24	16/03/2015

N.R.: no representativo. Los datos diarios tienen una cobertura temporal inferior a 75%.

En cuanto a los máximos registrados y sus fechas de ocurrencia se puede observar que existe una coherencia con los datos registrados de PM₁₀, ya que las fechas corresponden en su mayoría a la última semana del mes de marzo de 2015 para Guaymaral, Usaquén, Suba, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente. Sin embargo, no se puede afirmar que se presentaron episodios graves de contaminación pues los días de máximos no son coincidentes.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo, es decir, entre 45 µg/m³ y 50 µg/m³, evidencia la presencia de datos en las estaciones Kennedy, Carvajal – Sevillana, Suba y Tunal, las cuales están más propensas a incumplimientos normativos. Las demás estaciones reportaron valores iguales y menores a 45 µg/m³, lo cual demuestra que sus zonas de influencia son menos propensas a presentar excedencias.

La Tabla 3-9 presenta el número de excedencias de PM_{2.5} por estación y por mes. Se observa que se presentó una excedencia en el mes de marzo y una en el mes de mayo.

¹¹ Mayor a 45 µg/m³ y menor o igual a 50 µg/m³

Tabla 3-9. Excedencias de la norma diaria de PM_{2.5} (50 µg/m³) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Marzo	Abril	Mayo
Guaymaral	0	0	0
Usaquén	0	0	0
Suba	0	0	0
Las Ferias	0	0	0
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0
MinAmbiente	0	0	0
Kennedy	1	0	1
Carvajal - Sevillana	0	0	0
Tunal	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0
Total de excedencias	1	0	1
Días de excedencias	1	0	1

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la **Figura 3-7** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM_{2.5} (basado en promedios diarios) en las estaciones durante el periodo MAM 2015. Los resultados muestran que la zona occidental de Bogotá está sujeta a niveles más altos de este contaminante, especialmente el suroccidente de la ciudad.

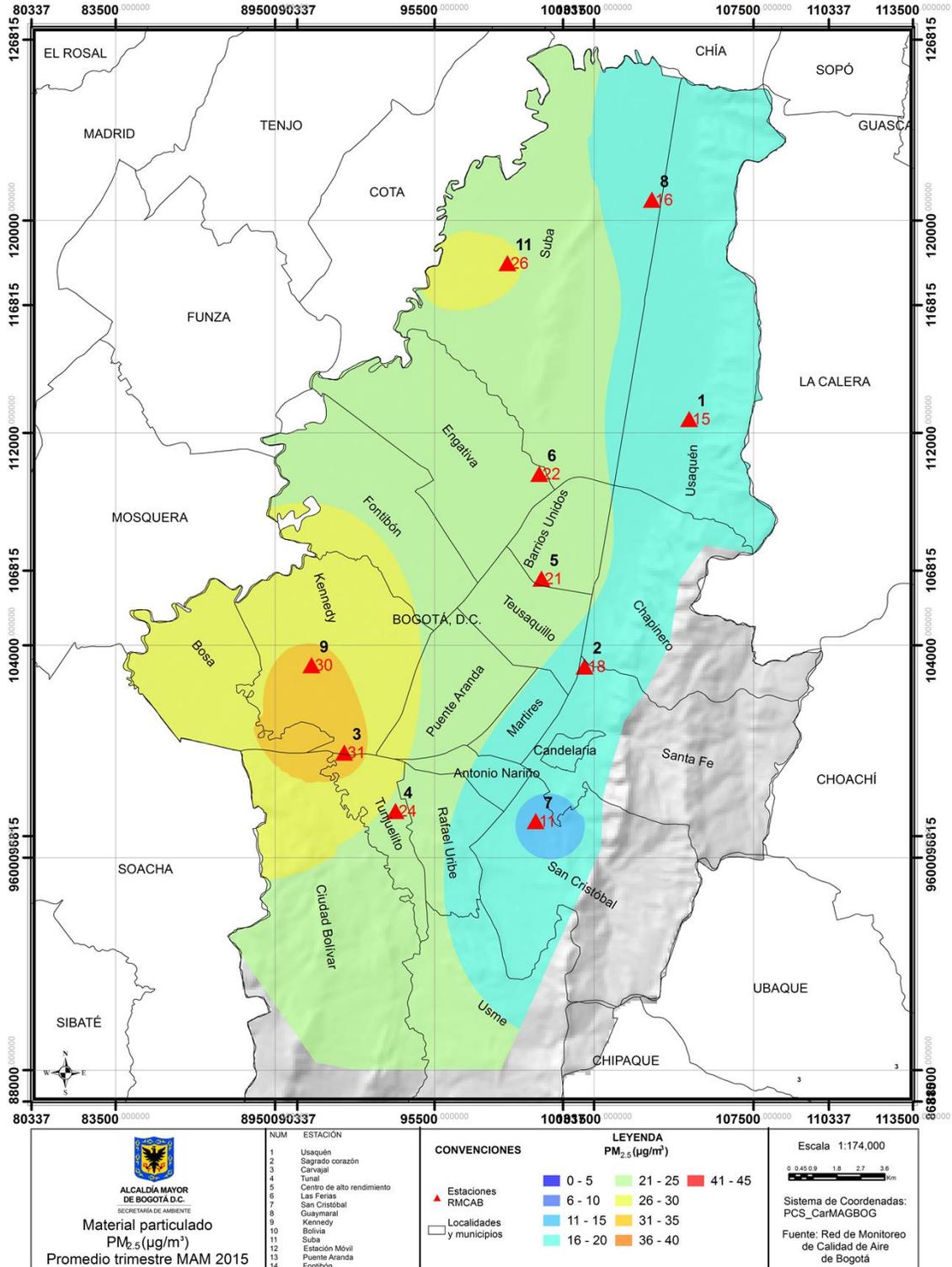


Figura 3-17. Material particulado (PM_{2.5}) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre MAM 2015.

Calendario de contaminación por PM_{2.5} durante el periodo MAM 2015

Las Figura 3-18, Figura 3-19 y Figura 3-20 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de PM_{2.5} durante el periodo MAM 2015 en estaciones con concentraciones altas (Kennedy), concentraciones en rangos medios (Centro de Alto Rendimiento) y concentraciones bajas (San Cristóbal) mostrando el contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. En los tres diagramas calendario se observa que los últimos días de marzo y los primeros de mayo se presentaron las concentraciones más altas, de igual manera se muestra un valor al límite de la norma en la estación de Kennedy para la segunda semana de mayo.

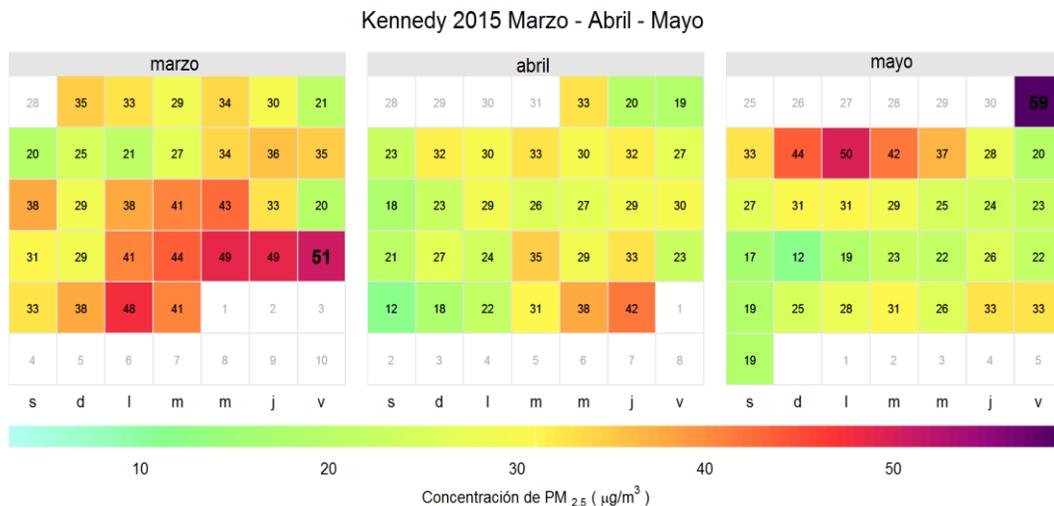


Figura 3-18. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el trimestre MAM 2015 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las 2 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m³) en el trimestre.

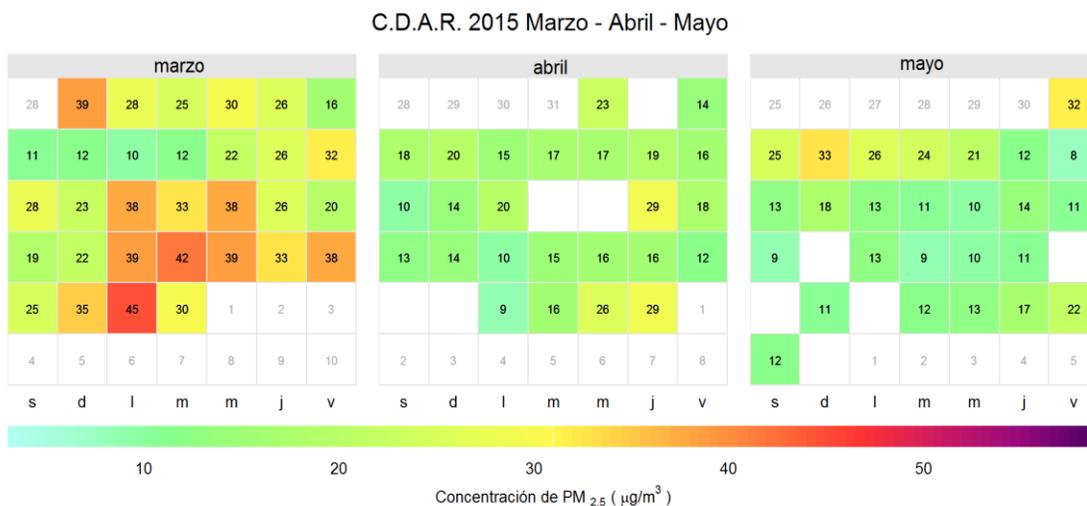


Figura 3-19. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el trimestre MAM 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

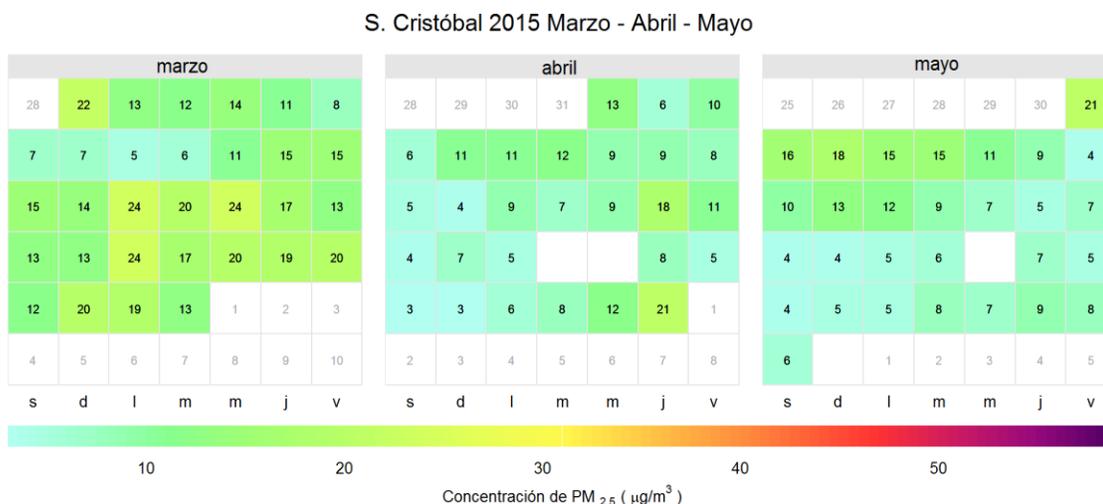


Figura 3-20. Diagrama calendario para PM_{2.5} para el trimestre MAM 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de PM_{2.5}

La Figura 3-21 contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. En las estaciones analizadas se observa en general que los viernes y sábados se presentaron las menores concentraciones entre los días hábiles. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma existente muestra que solo valores extremos superan la norma diaria (50µg/m³) en la estación Kennedy. Frente a la norma anual (25µg/m³), la gráfica muestra que se presentan excedencias en todas las estaciones excepto San Cristóbal; sin embargo, tomando la mediana como medida de tendencia central, sólo Suba (martes, miércoles y jueves), Kennedy (días laborales) y Carvajal (todos los días excepto domingo), superan la norma.

En términos de dispersión de datos, las menores variabilidades se observaron en Guyamaral y San Cristóbal mientras que las mayores en Suba y Centro de Alto Rendimiento. Aunque Carvajal-Sevillana y Kennedy tienen los mayores niveles de concentración, su dispersión es menor en comparación con otras estaciones. Las características de los alrededores de las estaciones influyen en el grado de distribución de las concentraciones medidas y en la dinámica de la ciudad en cada día.

El comportamiento en función de los meses de marzo, abril y mayo de 2015 se observa en la Figura 3-22. En todas las estaciones se observa que marzo presentó los mayores niveles de concentración y mayo los menores. La norma diaria es superada solo por valores extremos en Kennedy mientras que la norma anual es excedida de manera recurrente en todas las estaciones, excepto San Cristóbal y para el mes de abril en Las Ferias y MinAmbiente. Observando la mediana como medida de tendencia central, se puede

concluir que Kennedy y Carvajal-Sevillana superan la norma en todos los meses, mientras que Suba, Centro de Alto Rendimiento y Tunal la superan en el mes de marzo.

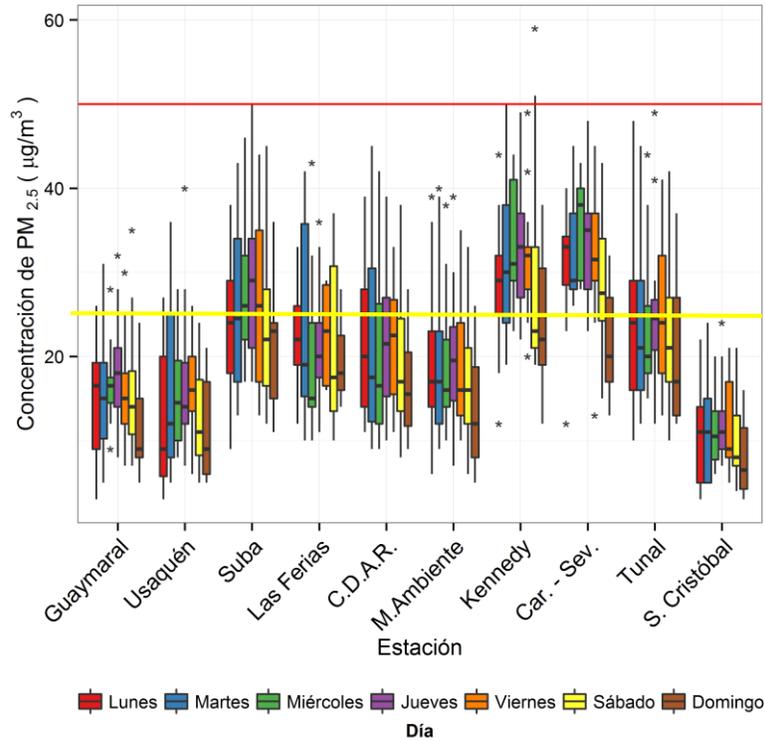


Figura 3-21. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.

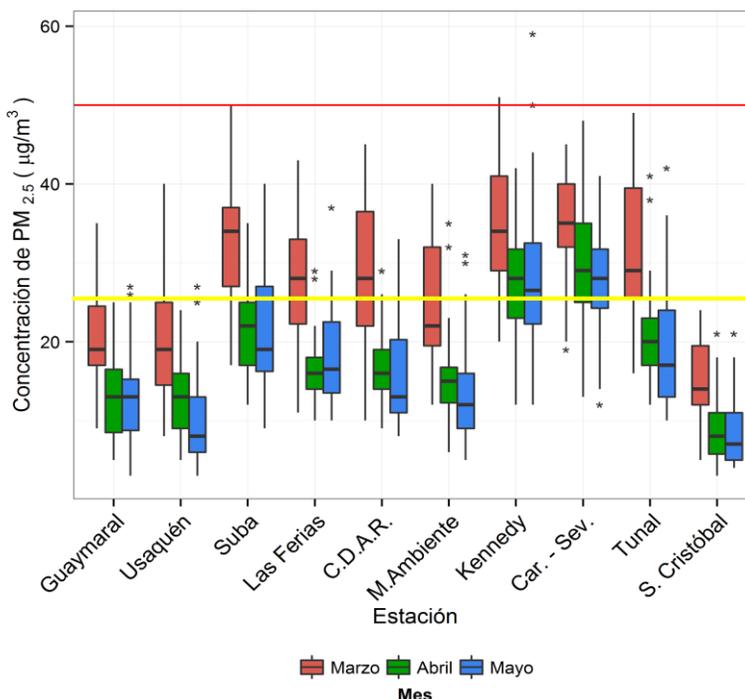


Figura 3-22. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses del trimestre MAM 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-23 presenta el perfil semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Para todos los monitores se registraron las menores concentraciones los días domingo y en general los días laborales (lunes a viernes), son los más contaminados. Carvajal-Sevillana y Kennedy presentan la mayor variabilidad, mientras que Las Ferias, San Cristóbal, Guaymaral y Usaquén presentan las concentraciones más estables. Es de resaltar que los intervalos de confianza para la mayoría de estaciones, exceptuando San Cristóbal y Guaymaral, son notablemente más grandes, lo cual denota una desviación estándar más grande y por tanto datos más dispersos.

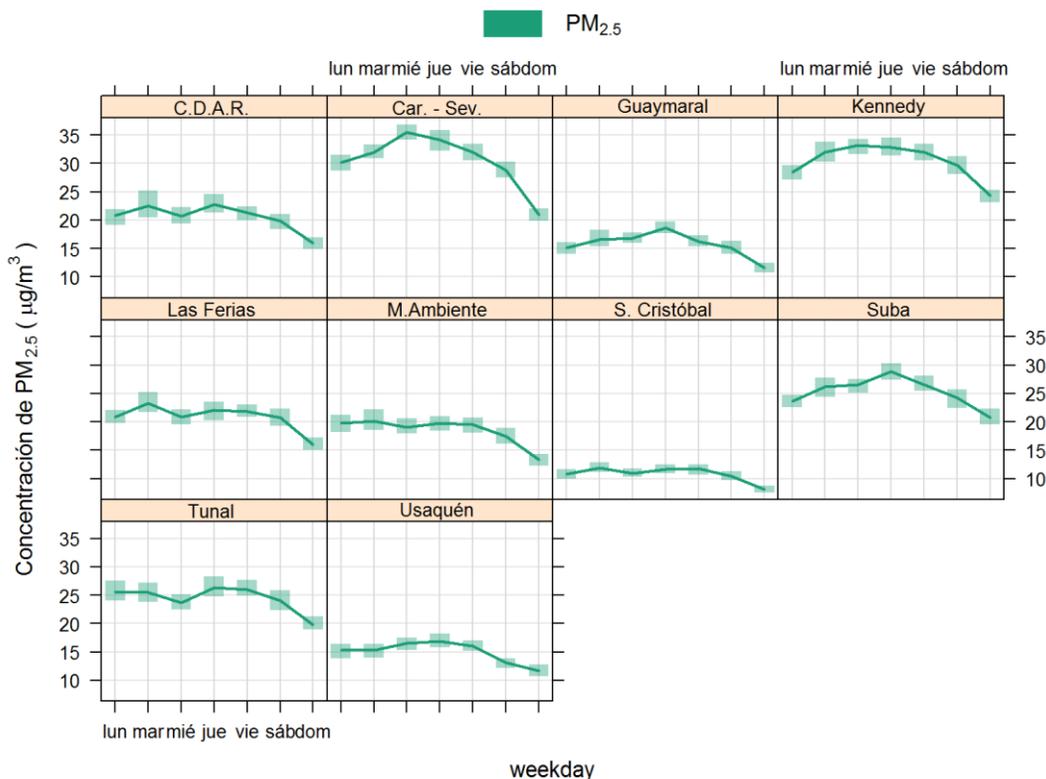


Figura 3-23. Comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-24 presenta los ciclos diarios por estación de las concentraciones horarias de PM_{2.5}. En todos los sitios de monitoreo a excepción de Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m., especialmente en Carvajal-Sevillana y Kennedy. Este comportamiento se atribuye a la influencia de las fuentes móviles durante la hora pico. Para Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente se presenta un corrimiento del pico hacia las 9 y 10 de la mañana. Los ciclos de Guaymaral y Suba muestran comportamientos similares al aumentar las concentraciones en horas de la mañana, con un valle a medio día y aumento de la concentración en la tarde y noche. En Carvajal-Sevillana se observa un comportamiento particular ya que el pico de máxima concentración en el ciclo diario se ubica entre 8:00 p.m. y 9:00 p.m., lo cual sugiere aumento de actividad de las fuentes de emisión (industriales o móviles) en su zona de influencia durante dichos momentos. En Tunal se observa un pico de magnitud relativamente menor en horas de la tarde (entre 4:00 p.m. y 6:00 p.m.), coincidiendo con el inicio de la segunda hora pico del día. Las diferencias existentes entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

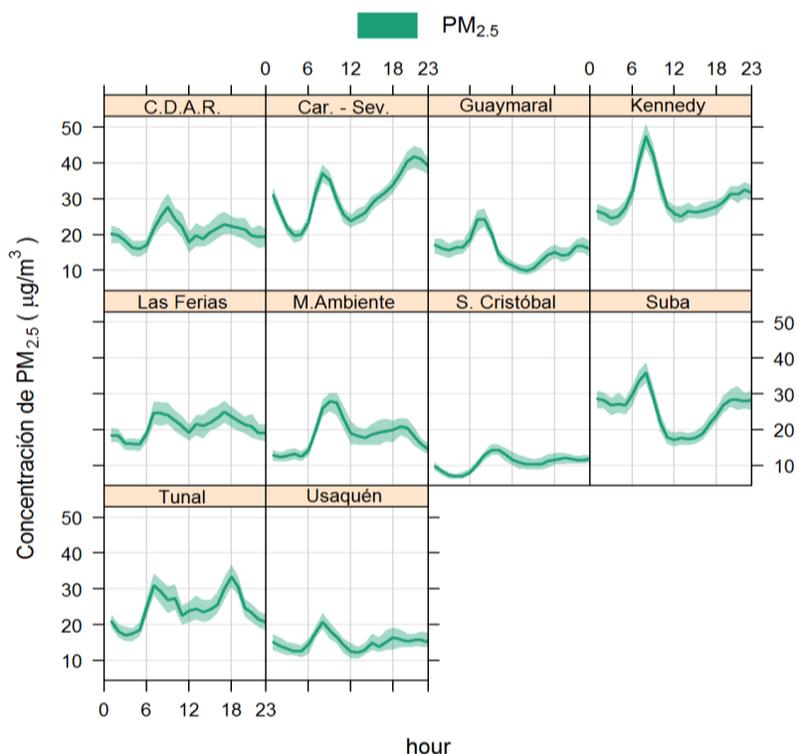


Figura 3-24. Ciclos diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por estación en el periodo MAM 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos MAM 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que los trimestres 2014 y 2015 corresponden al análisis de 6 y 10 estaciones con cobertura temporal suficiente, teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 se inició gradualmente la operación de monitores adicionales.

La Figura 3-25 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en los meses de marzo, abril y mayo. Para todas las estaciones se registra un descenso en los valores de concentración del año 2015 frente al año 2014. Una comparación de los valores de concentración trimestrales obtenidos para los últimos 5 años, frente a la norma existente, muestra que existen excedencias a la norma diaria ($50\mu g/m^3$), para Suba, Kennedy, Carvajal y Tunal por valores extremos. Ninguna estación supera la norma al emplear la mediana como medida de tendencia central. Frente a la norma anual ($25\mu g/m^3$), el valor de concentración del trimestre MAM muestra que se presentan excedencias a la norma en todas las estaciones para los años 2014 y 2015, exceptuando San Cristóbal; pero observando el valor de la mediana como medida de tendencia central, se puede establecer que la norma solo se supera en Kennedy, Carvajal y Tunal (para el año 2014)¹².

¹² el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

La Tabla 3-10 contiene un resumen histórico de máximos en el trimestre MAM para los años 2011 a 2015. Es importante reiterar que en los periodos 2010 a 2013 solamente existieron mediciones válidas en Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2011, el cual establece una diferencia notable con respecto a los máximos de los demás trimestres, que oscilan entre $52\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $69\mu\text{g}/\text{m}^3$.

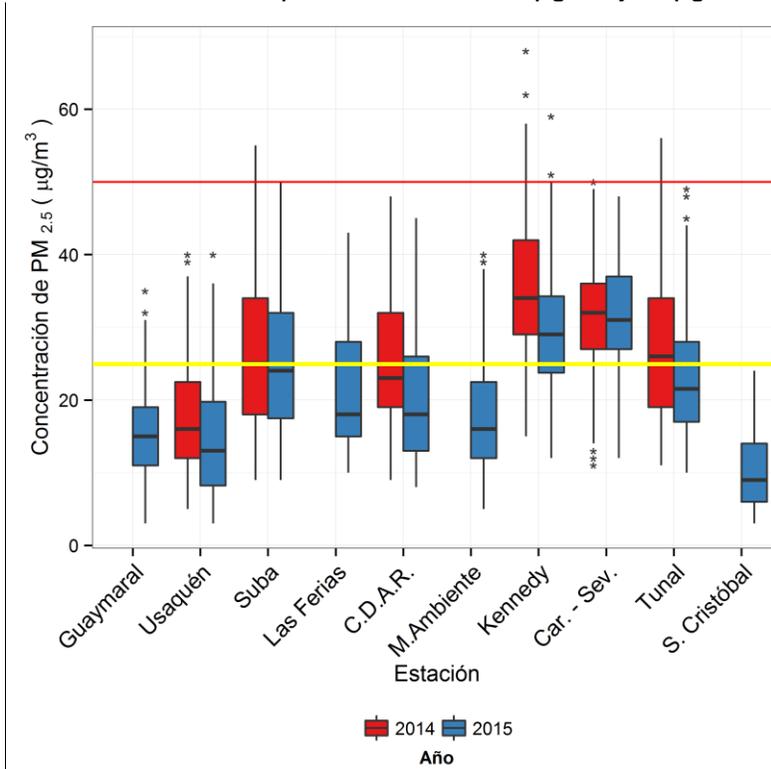


Figura 3-25. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de $\text{PM}_{2.5}$ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para el trimestre MAM 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año.

Tabla 3-10. Resumen histórico de concentraciones máximas de $\text{PM}_{2.5}$ en el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013.

Periodo MAM	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	75	16/03/2011	Kennedy
2012	55	19/04/2012	Kennedy
2013	52	10/04/2013	Kennedy
2014	68	30/03/2014	Kennedy
2015	59	01/05/2015	Kennedy

3.1.4. Relación de concentración $PM_{2.5}/PM_{10}$

La Tabla 3-11 muestra la relación de concentraciones promedio trimestrales entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el periodo MAM 2015 y que tienen una cobertura temporal superior a 75%. Diez (10) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas fueron observadas en Centro de Alto Rendimiento, Las ferias y Suba lo cual indica que en el área cubierta por estas habría una mayor influencia por parte de las fuentes de combustión. Por el contrario Carvajal-Sevillana y San Cristóbal registraron los menores valores reflejando una mayor participación de material particulado grueso asociado a la influencia de la resuspensión de partículas.

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

Tabla 3-11. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo MAM 2015 y que tienen cobertura temporal superior a 75%.

Estación	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Guaymaral	16	34	0.47
Usaquén	15	33	0.45
Suba	26	50	0.52
Las Ferias	22	39	0.56
Centro de Alto Rendimiento	21	32	0.66
MinAmbiente	18	40	0.45
Kennedy	30	74	0.41
Carvajal - Sevillana	31	87	0.36
Tunal	24	50	0.48
San Cristóbal	11	36	0.31

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el 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.

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

El NO_2 es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O_3) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

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

El SO_2 , 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.

En las secciones que se presentan a continuación, las concentraciones de los gases serán reportadas en unidades de masa por unidad de volumen. En decir, las concentraciones de O_3 , NO_2 y SO_2 se presentarán en $\mu g/m^3$ mientras que las correspondientes a CO en mg/m^3 . El reporte en este sistema está acorde al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Teniendo en cuenta que en informes anteriores los resultados se reportaron en ppb y ppm, en el Anexo B se proporciona una tabla con los factores de conversión de unidades.

3.2.1. Comportamiento de la concentración de O₃

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el trimestre MAM 2015, los cuales se encuentran ubicados según se reporta en la Tabla 1-1.

Comportamiento de las concentraciones horarias de O₃

Durante el Trimestre MAM 2015 se obtuvieron 17837 promedios horarios válidos de O₃, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 77%; al tomar las estaciones representativas, se recuperaron 15916 datos, correspondientes al 94% del total posible. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora de ocurrencia por estación se presentan en la Tabla 3-12. La Figura 3-26 condensa la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

Tabla 3-12. Resumen descriptivo de los datos horarios de O₃ por estación para el periodo MAM – 2015.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m ³	Máximo [µg/m ³] ¹³	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ¹⁴
Guaymaral	97	1	127	25/03/2015 15:00	5
Usaquén	99	7	137	25/03/2015 15:00	10
Suba	99	3	132	02/05/2015 14:00	4
Las Ferias	93	2	129	02/05/2015 14:00	0
Centro de Alto Rendimiento	74	3	162	02/05/2015 13:00	5
MinAmbiente	4	0	35	31/05/2015 13:00	0
Puente Aranda	80	0	100	25/03/2015 14:00	0
Kennedy	13	0	38	24/05/2015 13:00	0
Carvajal - Sevillana	95	0	104	02/05/2015 13:00	0
Tunal	97	0	99	08/05/2015 12:00	0
San Cristóbal	91	0	79	02/05/2015 14:00	0

En todas las estaciones se presentó una cobertura temporal superior a 75%, con excepción de MinAmbiente, cuya representatividad fue de 4%, debido a fallas operacionales del respectivo monitor y Kennedy con 13%, Centro de Alto Rendimiento se toma como válida al estar muy cerca del 75%. Un total de 16 datos horarios excedieron el límite máximo

¹³ En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O₃, NO₂, CO y SO₂) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m³ y µg/m³ acordeamente.

¹⁴ Mayor o a 108 µg/m³ y menor o igual a 120 µg/m³.

permisible, los cuales se distribuyeron entre las estaciones Guaymaral (1), Usaqué (7), Suba (3), Las ferias (2), Centro de Alto Rendimiento (3) representando el 0,09% del total de datos registrados en el trimestre. La concentración máxima reportada en la RMCAB fue 162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Usaqué el 02 de mayo de 2015 a la 1:00 p.m. En esta misma fecha a las se presentaron máximos en la estación de Suba, Las Ferias, Carvajal–Sevillana y San Cristóbal entre 1:00p.m. y 2:00p.m, un hecho que sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel de la ciudad. El 25 de marzo de 2015 también se presentó coincidencia para los datos de Guaymaral, Usaqué y Puente Aranda.

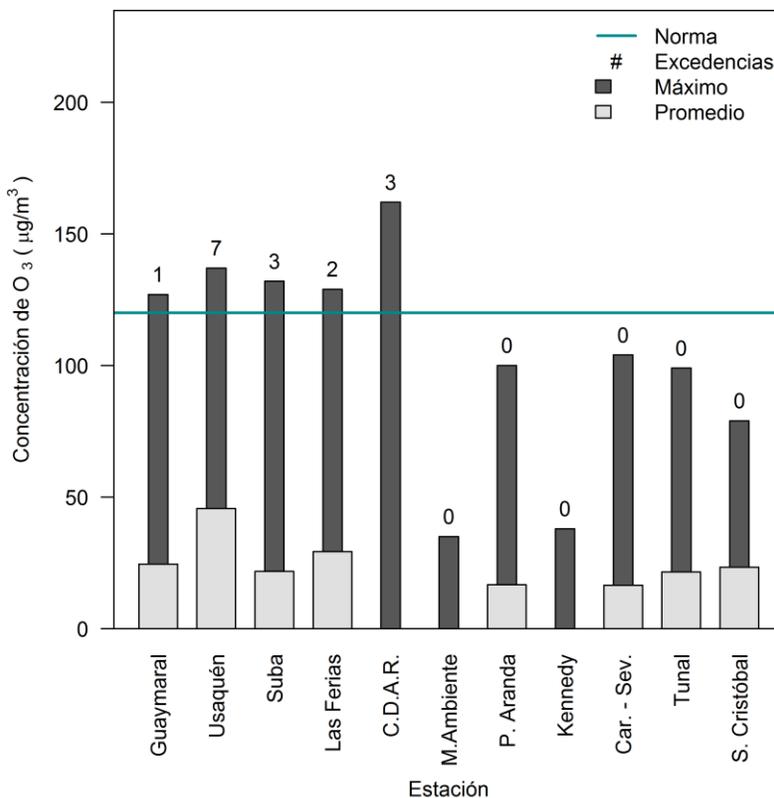


Figura 3-26. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O_3 en base horaria por estación durante el periodo MAM 2015.

A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur y sur occidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana Tunal y San Cristóbal) tienden a registrar niveles menores de ozono, un comportamiento que puede deberse a dinámicas climatológicas y de concentración de precursores de contaminantes secundarios, pero que requiere de mayor investigación.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O_3

Los promedios móviles de ocho horas permiten suavizar las tendencias de las concentraciones horarias y visualizar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 17903

promedios que representan el 77% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el periodo MAM 2015, de estos, se tienen 15990 datos de las estaciones con representatividad superior al 75%, lo cual corresponde al 94% de los datos totales posibles en esas estaciones. El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia se presenta en la Tabla 3-13. Los promedios trimestrales que se muestran en la tabla son indicativos para comparación mutua de las estaciones y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles ya que estos no consideran un tiempo de exposición de tres meses.

En total 157 promedios móviles de 8 horas excedieron el límite máximo permisible de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los cuales se distribuyen en las estaciones Usaqué (103), Suba (21), Centro de Alto Rendimiento (20), Guaymaral (10), y Las Ferias (3) y las cuales representan el 1% del total de datos válidos del trimestre. Usaqué se destaca por tener la mayor participación en el número de excedencias del trimestre con 66%. Esta estación se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles inusualmente elevados en horas de la noche. Las estaciones localizadas en el occidente y sur de la ciudad (Puente Aranda, Carvajal-Sevillana, Tunal y San Cristóbal) no registraron excedencias. 91 excedencias, es decir 58% del total, se concentraron en mayo, lo cual establece una gran diferencia con los meses de marzo y abril.

El promedio trimestral más alto se presentó en Usaqué con $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (mucho mayor a los $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos para el trimestre DEF en esta misma estación), el cual es seguido en magnitud por Las Ferias con $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Centro de Alto Rendimiento $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En contraste, los valores más bajos fueron observados en Carvajal-Sevillana y Puente Aranda con $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Las diferencias observadas muestran que es más adecuado analizar la calidad del aire de Bogotá por sectores en lugar de calcular promedios a nivel ciudad. Se destaca el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios. En Ministerio de Ambiente y Kennedy la cobertura temporal fue inferior a 75%, razón por la cual no se tienen en cuenta para el reporte. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , SO_2 y CO , las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual se debe a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Centro de Alto Rendimiento el **2 de mayo de 2015** a las 6:00 p.m. En la misma fecha Las ferias, Puente Aranda, Carvajal y Tunal reportaron sus máximos, lo cual indica un evento adicional de altas concentraciones a nivel ciudad. Es importante mencionar que un promedio móvil de 8 horas reportado a las 6:00 p.m. incluye las concentraciones registradas entre las 11:00 a.m. y las 6:00 p.m. lo cual abarca las horas usuales de alta concentración de ozono.

La Figura 3-27 presenta el resumen en forma gráfica de máximos y excedencias del límite máximo permisible de la Resolución 610 de 2010 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) así como la comparación de los valores máximos con la guía de la Organización Mundial de la Salud de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Organización Mundial de la Salud, 2006) y con el límite normativo de los *National Ambient*

Air Quality Standards (NAAQS) de Estados Unidos correspondiente a 75 ppb o 147 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

La comparación con el nivel recomendado por la OMS indica un total de once (11) excedencias en Usaquén y tres (3) en Suba. Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la RMCAB no presentó excedencias del límite normativo de los NAAQS. Con respecto a la normatividad europea que establece 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (European Commission - Environment, 2014), no se presentaron excedencias.

Tabla 3-13. Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O_3 en base 8 horas durante el trimestre MAM 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma (8h) 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	97	24	10	88	25/03/2015 18:00
Usaquén	99	45	103	103	24/03/2015 18:00
Suba	99	22	21	105	04/05/2015 18:00
Las Ferias	94	29	3	87	02/05/2015 17:00
Centro de Alto Rendimiento	74	28	20	119	02/05/2015 18:00
MinAmbiente	4	12	0	28	31/05/2015 17:00
Puente Aranda	80	17	0	75	02/05/2015 18:00
Kennedy	13	12	0	33	24/05/2015 16:00
Carvajal - Sevillana	97	16	0	80	02/05/2015 17:00
Tunal	98	22	0	67	02/05/2015 17:00
San Cristóbal	92	23	0	54	04/05/2015 16:00

La Tabla 3-14 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que las 157 excedencias se distribuyeron en un total de 14 días de los cuales 8 correspondieron al mes de marzo. A pesar de que marzo tuvo más días de excedencias, mayo se destaca con mayor número en menos días, lo cual comprueba la ocurrencia de un episodio de contaminación en ese mes. Como se discutió previamente, la mayoría de excedencias se concentraron en la estación Usaquén.

Tabla 3-14. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) por estación y por mes durante el trimestre MAM 2015.

Mes	Marzo	Abril	Mayo	Total
Guaymaral	4	0	6	10
Usaquén	33	28	42	103
Suba	0	0	21	21
Las Ferias	0	0	3	3

Centro de Alto Rendimiento	1	0	19	20
MinAmbiente	0	0	0	0
Puente Aranda	0	0	0	0
Kennedy	0	0	0	0
Carvajal - Sevillana	0	0	0	0
Tunal	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0
Total de excedencias	38	28	91	157
Días de excedencias	8	2	4	14

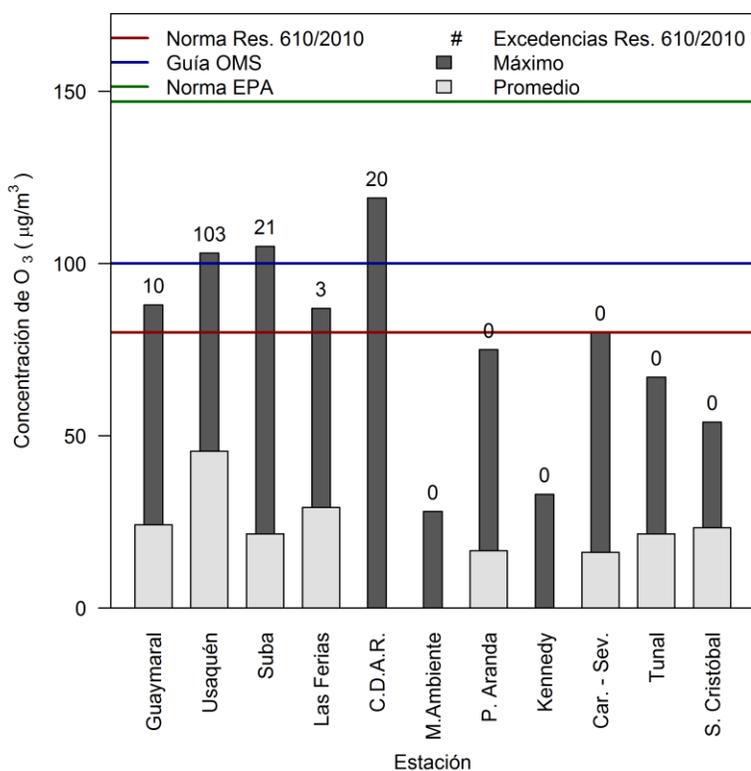


Figura 3-27. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de O₃ (80 µg/m³) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el trimestre MAM 2015.

La Figura 3-28 corresponde a un mapa con la distribución espacial de las concentraciones anuales de ozono (en base de promedios móviles de 8 horas) en las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal superior a 75%. Como se ha mencionado previamente, se observa que a diferencia del material particulado, donde las altas concentraciones predominan en el suroccidente, el ozono tiende a mantener niveles altos en el norte de la ciudad, especialmente en la localidad de Usaquén. Al ser un contaminante secundario, el ozono presenta ciertas particularidades que están asociadas al comportamiento de sus precursores y al transporte de los mismos sobre Bogotá.

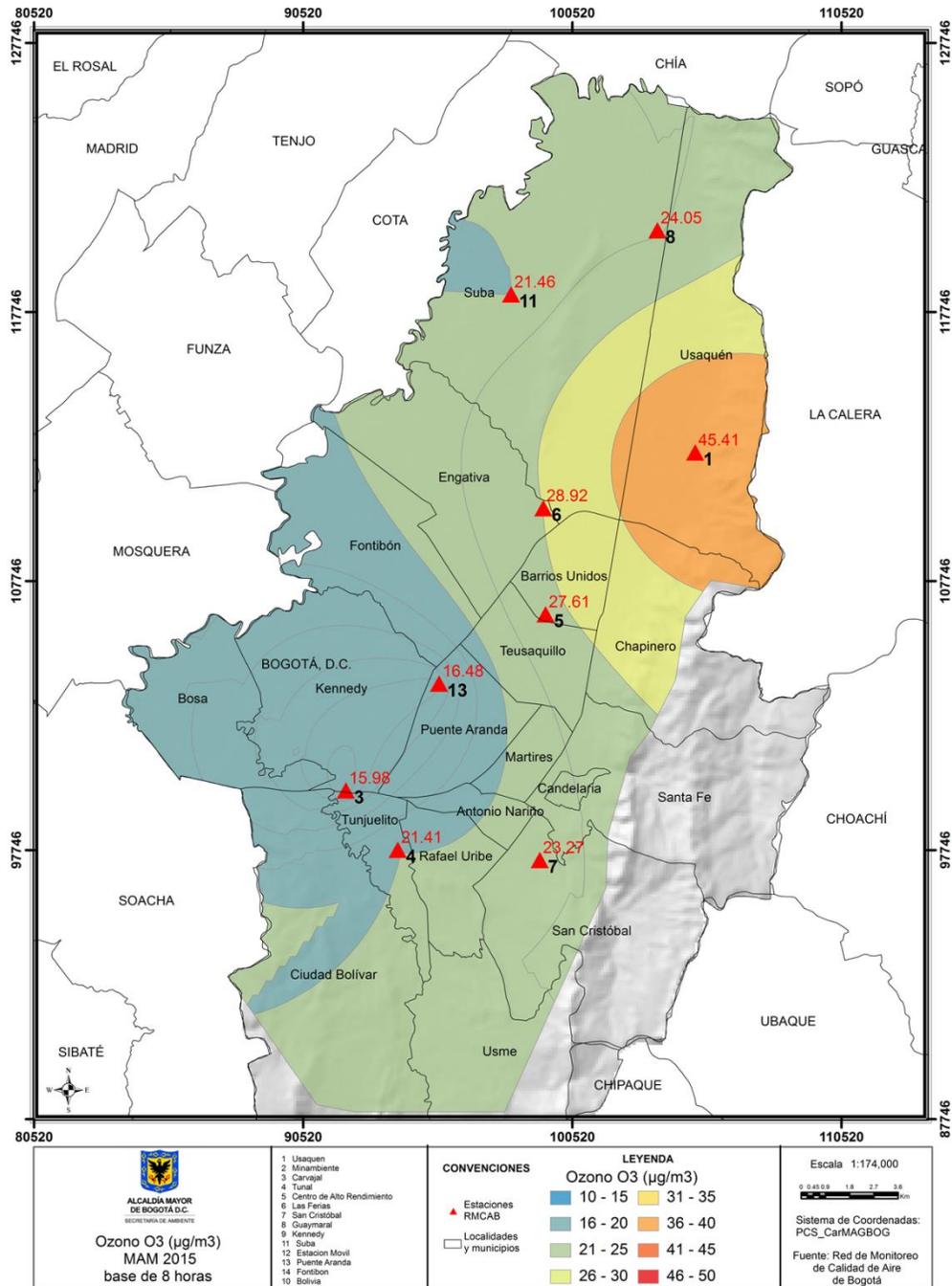


Figura 3-28. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. MAM 2015

Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O₃

La Figura 3-29 presenta la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo. Las distribuciones con los niveles más altos de concentración tienden a presentarse los miércoles y los días con más baja concentración corresponden a los sábados. Las estaciones localizadas al norte de la ciudad, especialmente Usaquén, mostraron mayor grado de dispersión y mayores valores de concentración de O₃ en comparación con aquellas localizadas al sur. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma 8 horas (80µg/m³), muestra que las excedencias para Guaymaral, Suba y Las Ferias corresponden a datos extremos, es decir fuera de la condición normal de la distribución (rango intercuartilico) y que ninguna mediana supera dicho valor.

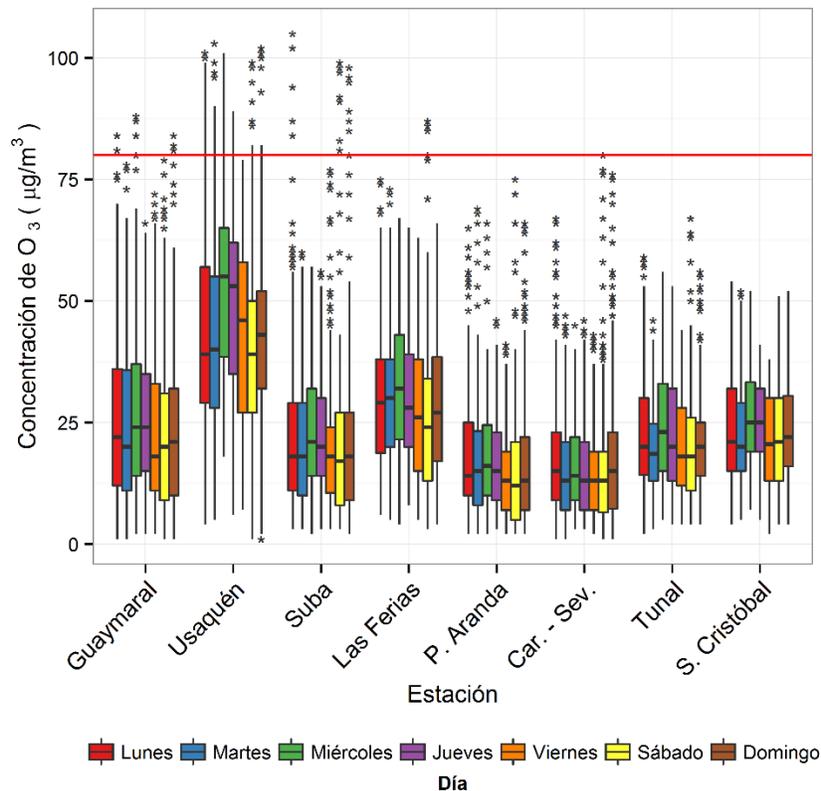


Figura 3-29. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para trimestre MAM 2015. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses de marzo, abril y mayo de 2015 se presenta en la Figura 3-30. Las menores concentraciones fueron observadas en el mes de mayo, coincidiendo con los demás contaminantes y el mes de marzo fue el de mayor concentración. Se destaca el diagrama de caja de Usaquén del mes de marzo en el cual la magnitud de las concentraciones y el

grado de dispersión es notablemente mayor en comparación con los demás meses. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma 8 horas ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$), muestra que las excedencias para Guaymaral, Suba y Las Ferias corresponden a datos extremos fuera del rango intercuartilico y que ninguna mediana supera dicho valor.

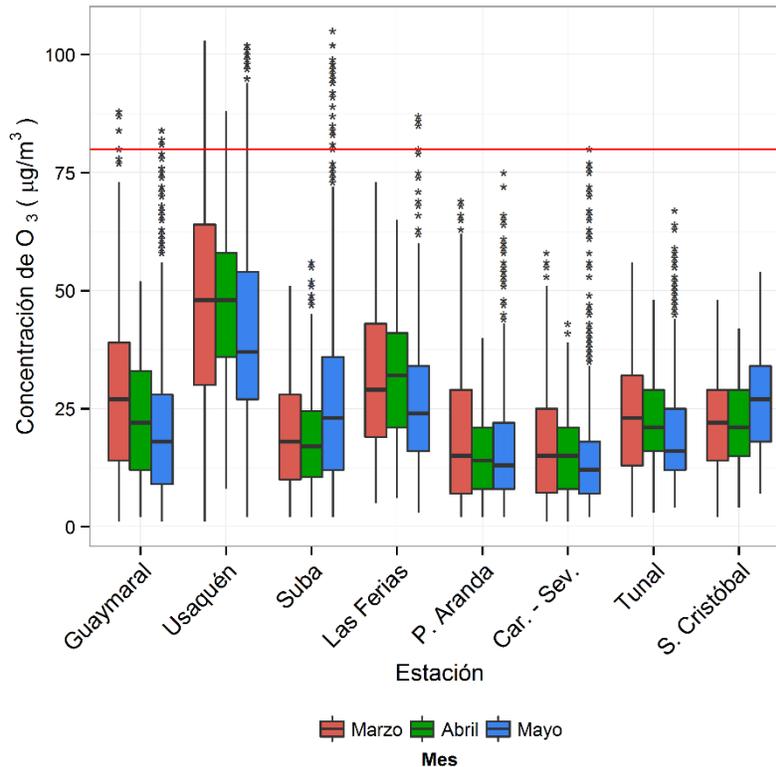


Figura 3-30. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses del trimestre y cobertura temporal superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de O₃

La Figura 3-31 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Como se mencionó en la sección previa, se observa que las menores concentraciones fueron observadas los días sábados y las mayores los días miércoles. Para algunas estaciones (Carvajal–Sevillana, Guaymaral, Puente Aranda), las concentraciones promedio de los lunes también son altas. La variabilidad de los ciclos depende de la estación a analizar. Los ciclos más homogéneos se observaron en Carvajal, Guaymaral y Puente Aranda. En esta figura también es posible observar que las estaciones ubicadas al norte y oriente de la ciudad registran los niveles más altos de ozono.

Los ciclos diarios de la Figura 3-32 confirman la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al

medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaquén y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada.

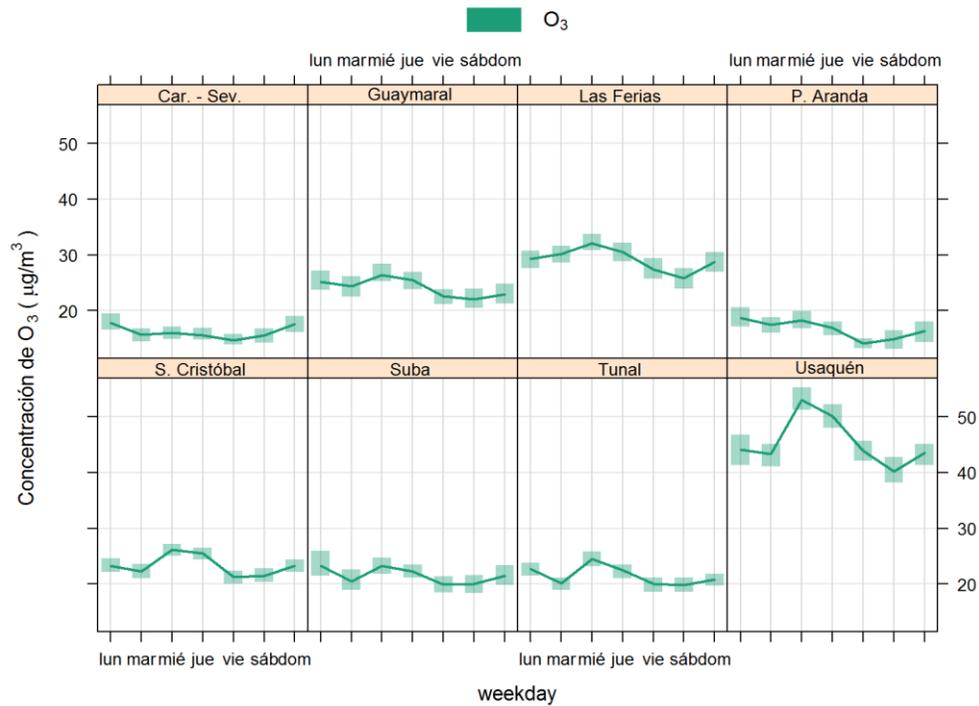


Figura 3-31. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.

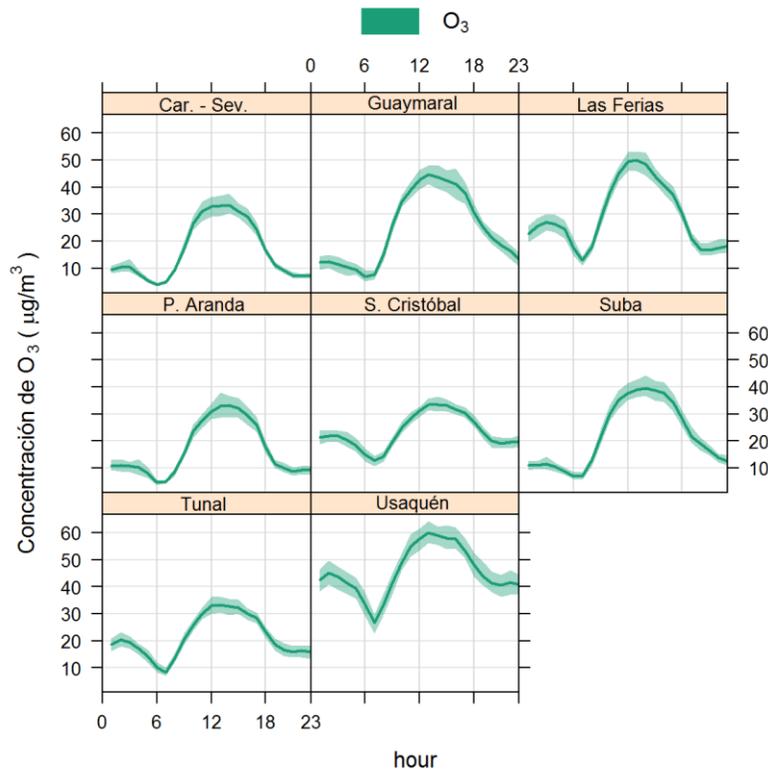


Figura 3-32. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.

Comportamiento histórico del O₃

La Figura 3-33 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo en el trimestre MAM de los años 2011 a 2015. Para todas las estaciones excepto Suba, se denota un aumento consistente en la concentración de ozono a través de los años de estudio, esto indica que puede existir mayor concentración de precursores secundarios y radiación solar. En los trimestres comprendidos entre 2011 y 2014 las concentraciones se han mantenido estables en la estación de Suba, mostrándose un leve descenso para el año 2015. En términos de dispersión se observa que las estaciones localizadas al norte presentan mayores distribuciones, en contraste con el sur. Una comparación de los valores de concentración por estación a través del trimestre frente a la norma 8 horas (80µg/m³), muestra que todas las estaciones presentan excedencias, sin embargo, ninguna mediana superó el valor establecido por norma. Las excedencias son en general datos extremos a excepción de Usaquén no resultan extremos y más bien son parte de la distribución de los datos (años 2014 y 2015).

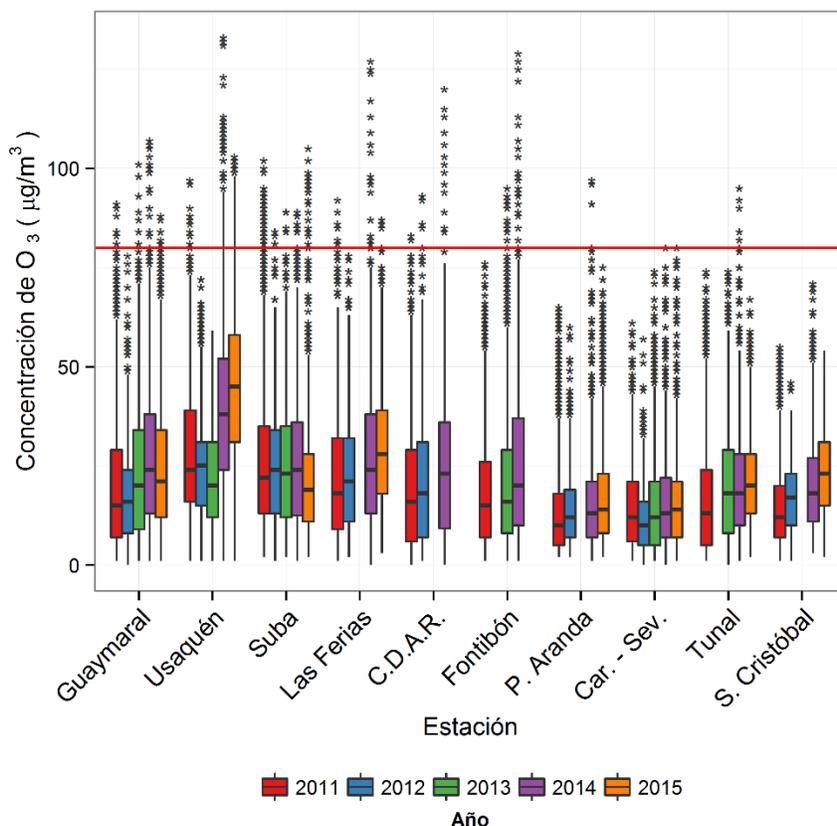


Figura 3-33. Gráfico de *boxplot* de O_3 en función de las estaciones de monitoreo en los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).

La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

La Tabla 3-15 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas en los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo para los años 2011 a 2015. En los 5 trimestres estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto fue $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Usaquén. Los máximos trimestres fueron reportados siempre en la tarde entre las 4:00p.m. y 6:00p.m. Conforme a las discusiones previas, las estaciones que se han caracterizado por reportar las concentraciones más altas de ozono se localizan en el norte y centro de la ciudad. Un promedio móvil de ozono de 8 horas reportado a las 6:00 p.m. incluye el promedio de los datos reportados entre las 11:00 a.m. y las 6:00 p.m., lo cual incluye las horas donde la radiación solar es más alta, lo cual repercute en mayores concentraciones de ozono. En los demás periodos las concentraciones se mantuvieron en el rango comprendido entre $93\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $105\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O₃ en promedios móviles de 8 horas en el trimestre MAM para los años 2011-2015.

Periodo MAM	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	102	03/04/2011 17:00	Suba
2012	93	23/03/2012 16:00	Centro de Alto Rendimiento
2013	101	04/04/2013 17:00	Guaymaral
2014	133	29/03/2014 18:00	Usaquén
2015	105	04/05/2015 18:00	Suba

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO₂

En el periodo MAM 2015, se contó con 8 estaciones para el monitoreo de óxidos de nitrógeno, tal como se indica en la Tabla 1-1. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de los promedios horarios de NO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 14506 promedios horarios validos (7% menos que en el periodo DEF 2015 que correspondió 15538 datos), que corresponden a una representatividad temporal global de 82% entre las ocho estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con representatividad superior al 75%, es decir cinco (5) estaciones, se obtuvieron 10675 datos que corresponden a una representatividad global del 97%. La Figura 3-34 contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para NO₂, en base de tiempo horaria. Los valores de porcentajes de representatividad temporal, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-16. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma horaria (200 µg/m³), pero sí del 75% de la misma (150 µg/m³) en Las Ferias (3) y Centro de Alto Rendimiento (2).

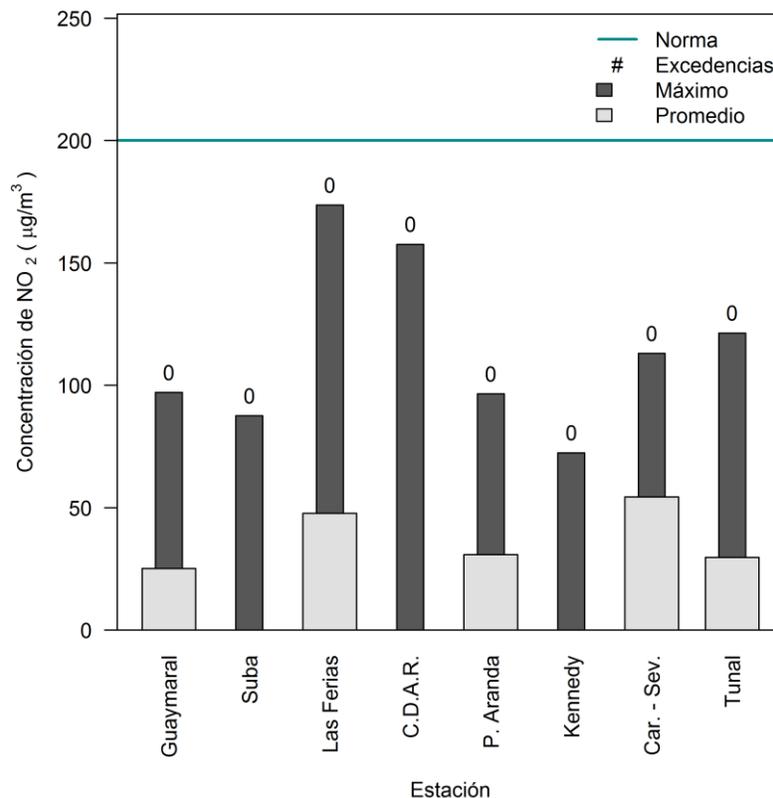


Figura 3-34. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO₂ por estación durante el periodo MAM 2015

La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en el periodo de análisis fue $174\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 2 de mayo de 2015 a las 08:00a.m. en la estación Carvajal-Sevillana. En esta misma fecha, Tunal y Kennedy reportaron sus máximos del trimestre a la misma hora. Los datos de Ozono y los obtenidos en este numeral indican que se presentó un episodio generalizado de contaminación por agentes secundarios en este día.

Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el periodo MAM 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma ¹⁵
Guaymaral	96	97	31/03/2015 15:00	0
Suba	55	174	30/03/2015 17:00	0
Las Ferias	97	96	05/05/2015 07:00	3
Centro de Alto Rendimiento	73	113	04/05/2015 08:00	2
Puente Aranda	98	121	14/03/2015 18:00	0
Kennedy	46	97	02/05/2015 08:00	0
Carvajal - Sevillana	94	174	02/05/2015 08:00	0
Tunal	98	96	02/05/2015 08:00	0

Comportamiento de las concentraciones diarias de NO_2

Se obtuvieron 594 valores diarios de NO_2 , cuya representatividad temporal global corresponde al 82% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición. Con respecto a las estaciones representativas, se obtuvieron 439 datos válidos, que corresponden al 996% del total de datos posibles. En la Tabla 3-17 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios trimestrales, máximos con sus fechas de ocurrencia, y cantidad de datos superiores al 50% del límite máximo permisible, por estación. De estos valores diarios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para un tiempo de exposición de 24 horas ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$) como se observa en la Figura 3-35. Sin embargo, se observaron ocho (8) promedios que superan el 50% de la norma ($75\mu\text{g}/\text{m}^3$) en Las Ferias (4), Centro de Alto Rendimiento (4) y Carvajal-Sevillana (2). Estas estaciones están sujetas a una influencia destacable de emisiones de fuentes móviles y fijas, lo cual contribuye a que los niveles de inmisión de NO_2 sean notablemente más altos, en comparación con las demás estaciones de la RMCAB.

La máxima concentración diaria reportada en la RMCAB fue $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Centro de Alto Rendimiento el 30 de abril de 2015. Esta fecha no coincide con los máximos de concentración horaria del 02 de mayo de 2015, lo que sugiere un evento momentáneo.

¹⁵ Mayor a $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor o igual a $200\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 3-17. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el periodo MAM 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m ³)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos superior al 50% de la norma diaria ¹⁶
Guaymaral	95	25	44	18/03/2015	0
Suba	54	24*	39	18/03/2015	0
Las Ferias	96	47	86	03/05/2015	4
Centro de Alto Rendimiento	71	38*	90	30/04/2015	4
Puente Aranda	98	31	56	13/03/2015	0
Kennedy	45	24*	45	02/03/2015	0
Carvajal - Sevillana	96	54	82	01/05/2015	2
Tunal	99	30	64	16/04/2015	0

*N.R. No representativo. La serie de datos correspondiente tiene una cobertura temporal inferior al 75% de mediciones posibles en el periodo.

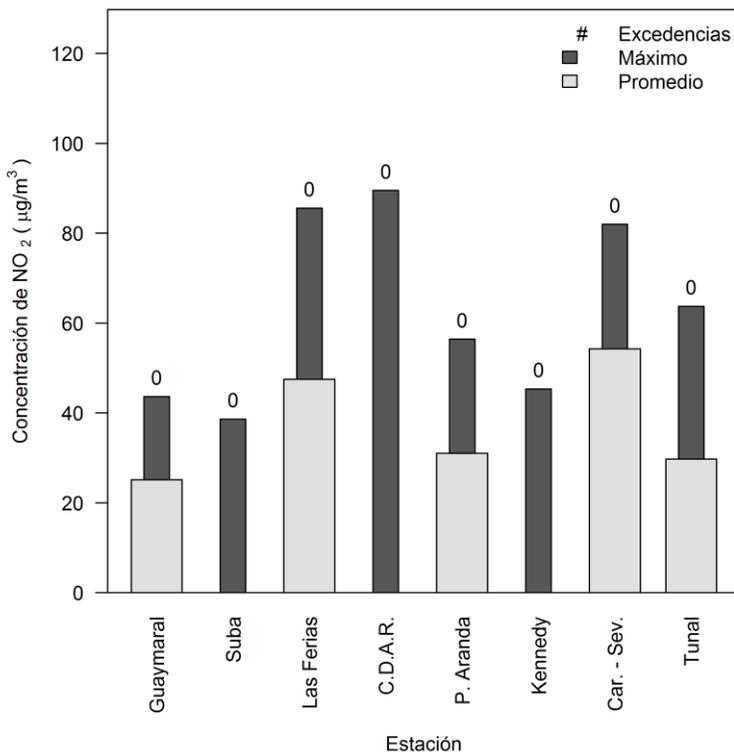


Figura 3-35. Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO₂ en base diaria por estación para el periodo MAM 2015.

Calendario de contaminación por NO₂ durante el periodo MAM 2015

La Figura 3-36, la Figura 3-37 y la Figura 3-38 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de NO₂ para las estaciones Las Ferias, Puente Aranda y Guaymaral que registraron, de acuerdo a promedios trimestrales representativos,

¹⁶ Mayores a 75 µg/m³.

concentraciones en rangos altos, medios y bajos, respectivamente; no se tiene en cuenta las estaciones con baja representatividad. En Las Ferias se observa el segundo valor máximo registrado en la RMCAB, correspondiente a $86\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 03 de mayo de 2015 y que los días con las menores concentraciones de NO_2 se encuentran en abril. Los diagramas calendario de las tres estaciones permiten evidenciar el contraste espacial en Bogotá en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante.

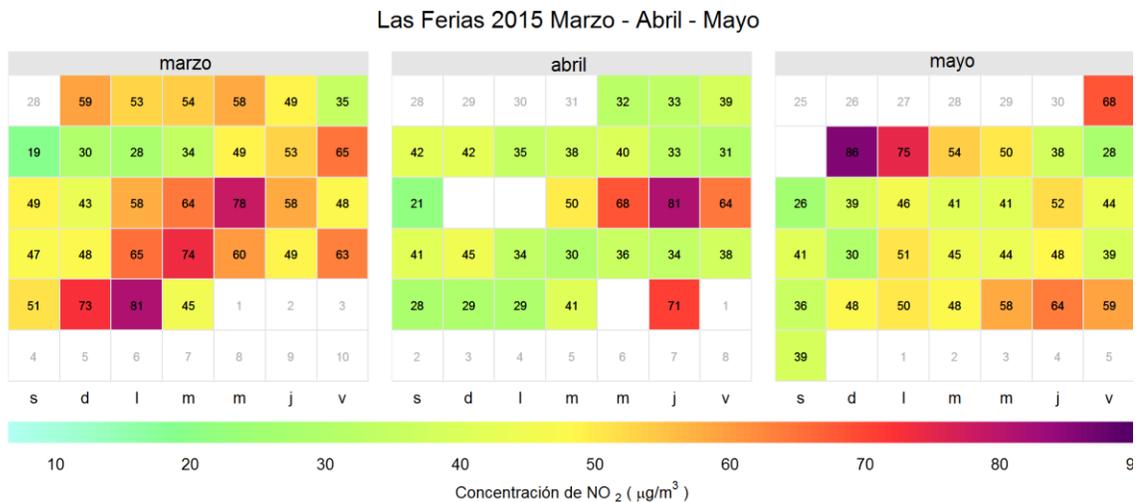


Figura 3-36. Diagrama calendario para NO_2 durante el periodo MAM 2015 en la estación Las ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es $150\mu\text{g}/\text{m}^3$.

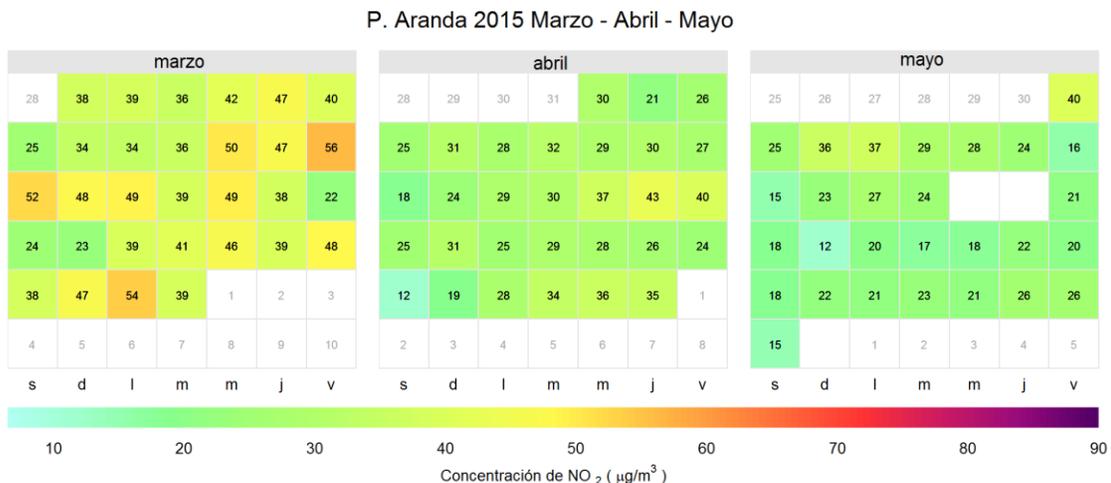


Figura 3-37. Diagrama calendario para NO_2 durante el periodo MAM 2015 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es $150\mu\text{g}/\text{m}^3$.

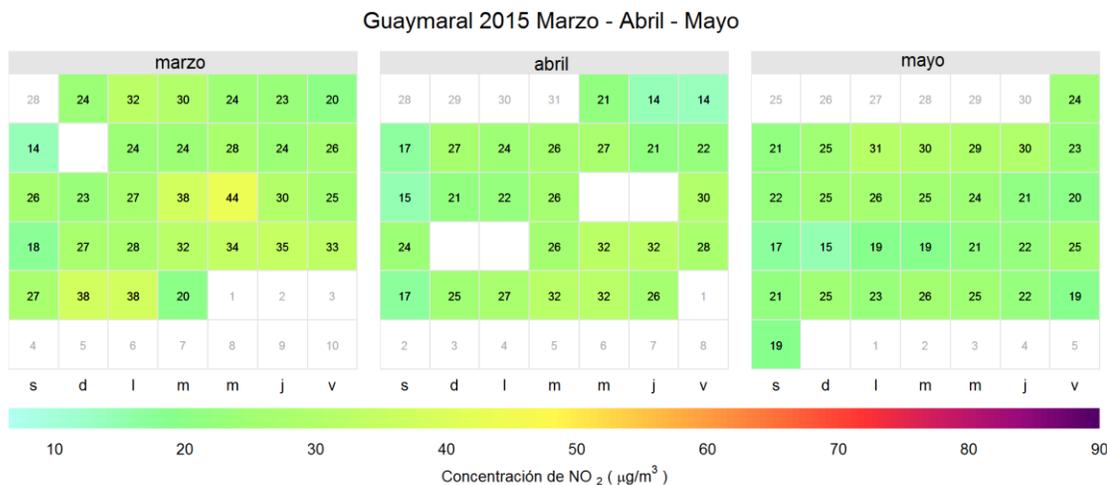


Figura 3-38. Diagrama calendario para NO₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m³.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO₂

La Figura 3-39 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% y de los días de la semana. Los domingos reportaron las concentraciones más bajas del trimestre. La razón de esta diferencia se basa en que durante estos días se reduce la actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles. Se observa que, en general, los jueves tienden a presentar mayores magnitudes en sus concentraciones. Los rangos intercuartílicos tienden a ser mayores en Las Ferias y Puente Aranda, consecuencia del nivel de actividad desarrollado en sus respectivas zonas de influencia. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma horaria (200µg/m³), muestra que ningún valor supera la norma. Frente a la norma diaria (150µg/m³), se observa que no se supera este valor salvo para datos extremos en la estación Las Ferias. La norma anual (100µg/m³), es excedida por valores extremos y algunos dentro del rango intercuartílico para la estación Las Ferias y solo por datos extremos en Carvajal y Tunal y ninguna mediana supera la norma¹⁷.

La Figura 3-40 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses del trimestre MAM 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75%. Para todas las estaciones se observa una disminución progresiva en las magnitudes de las concentraciones diarias de este contaminante en el transcurrir del trimestre excepto Las Ferias, donde también se presentan las mayores variabilidades.

¹⁸ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

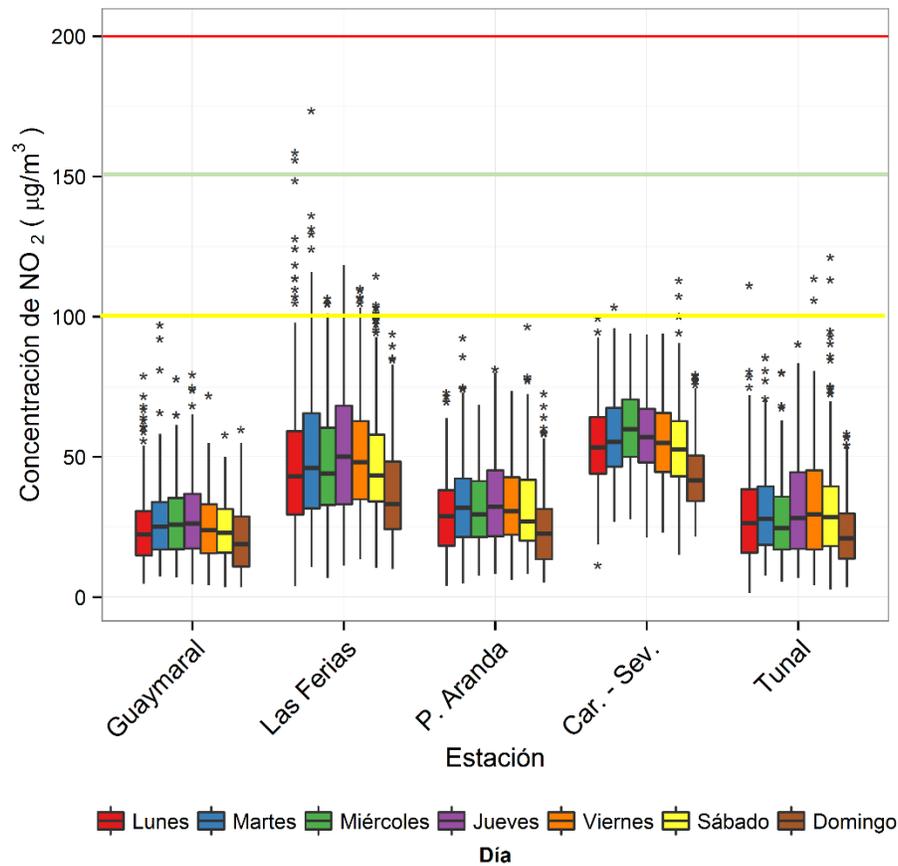


Figura 3-39. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre MAM 2015. La norma aplicable es de 150µg/m³. La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año.

En cuanto a la comparación de los valores de concentración mensual a través del trimestre frente a la norma horaria (200µg/m³), muestra que ningún valor supera la norma. Frente a la norma diaria (150µg/m³), se observa que se supera este valor solo en la estación Las Ferias. La norma anual (100µg/m³), es excedida por valores extremos y algunos dentro del rango intercuartílico para la estación Las Ferias y solo por datos extremos en Carvajal y Tunal y ninguna mediana supera la norma¹⁸.

¹⁸ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

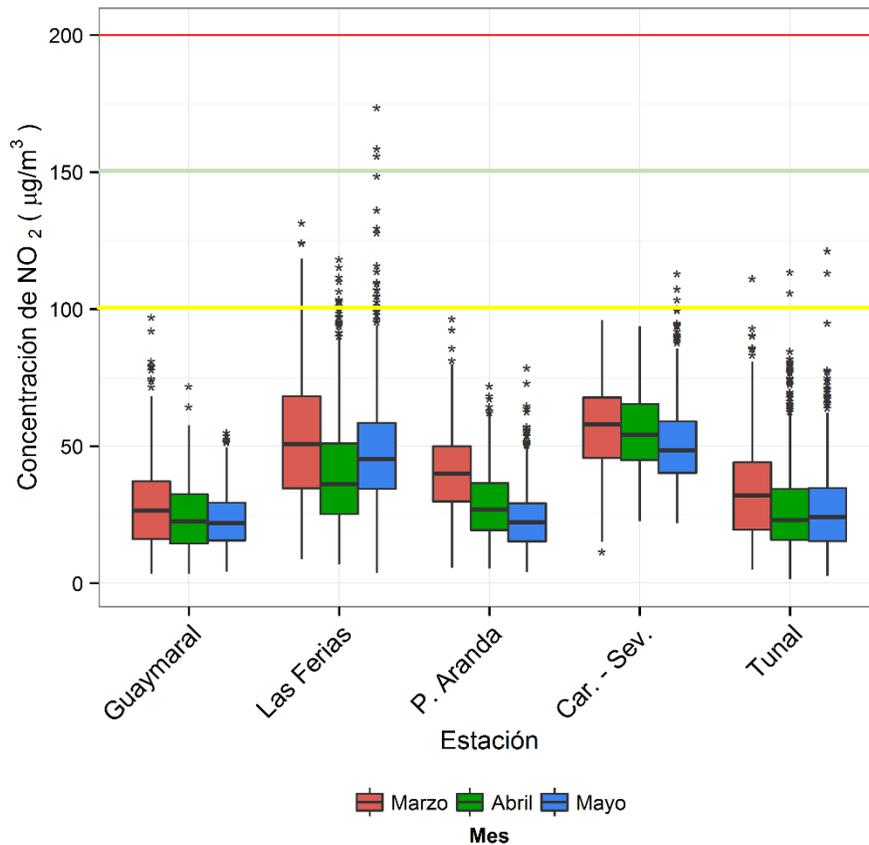


Figura 3-40. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses del trimestre MAM 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con cobertura temporal mayor a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO₂

Los ciclos semanales de la Figura 3-41 muestran que los domingos son, en general, los días con las menores valores de concentración de la semana y los miércoles los de mayores valores. Los días laborales presentan las mayores concentraciones debido a la dinámica industrial y de movilidad de la ciudad. Carvajal y Las Ferias presentan los ciclos más variables y con mayores magnitudes.

La Figura 3-42 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una cobertura temporal superior a 75%. En todas las estaciones se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana y a la tarde. Al medio día ocurre una reducción significativa, estableciendo un mínimo, el cual es producto del consumo de NO₂ y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 6:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Para Las Ferias, la magnitud del pico de la tarde presenta mayores magnitudes que su contraparte de la mañana.

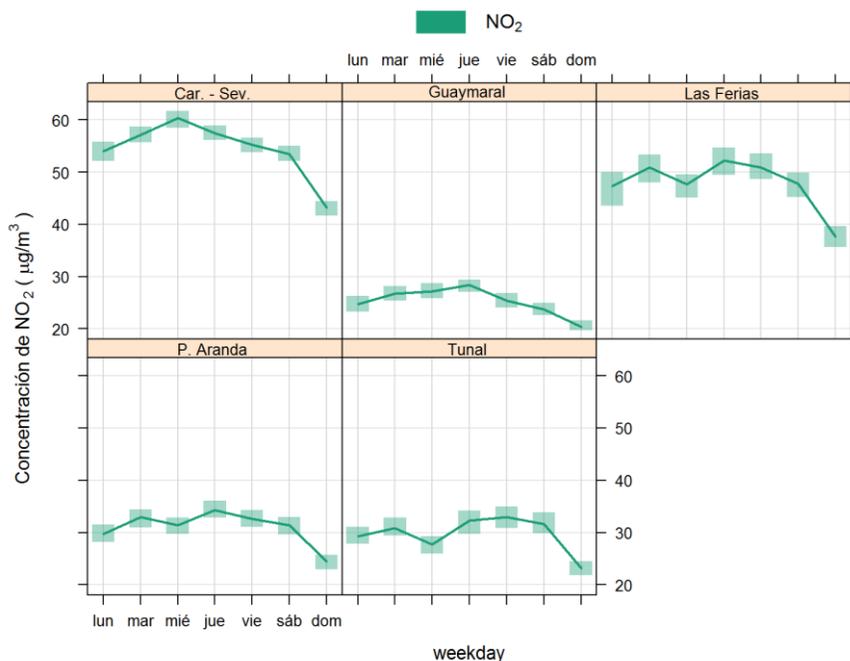


Figura 3-41. Ciclos semanales de las concentraciones de NO₂ para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.

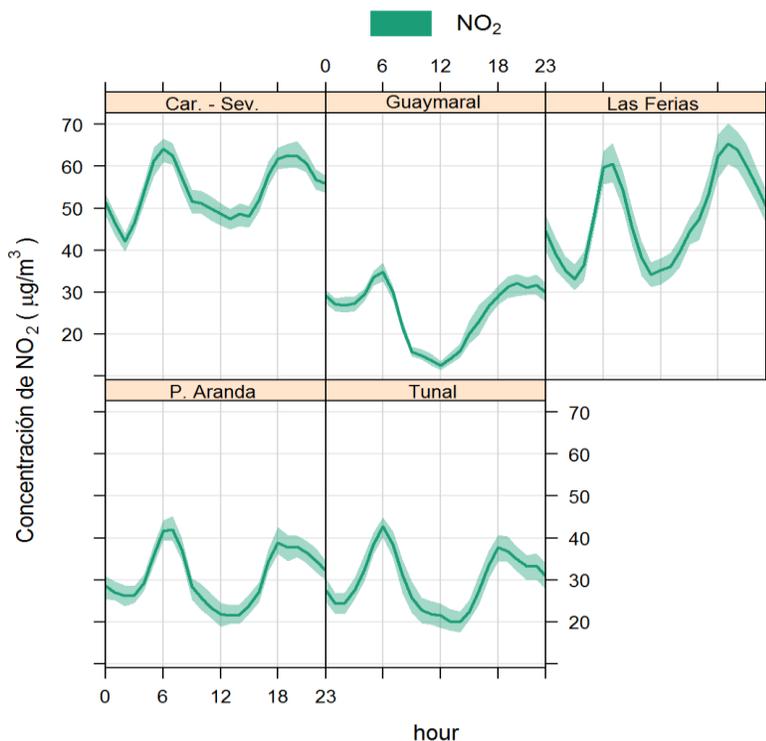


Figura 3-42. Ciclos diarios de las concentraciones de NO₂ para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de NO₂.

La Figura 3-43 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% en los periodos comprendidos por el trimestre MAM 2015. Se observa una tendencia al aumento de este contaminante para la estación de Las Ferias a través de los años analizados. Y con concentraciones estables en estaciones como Carvajal, Tunal y Guaymaral; para las demás estaciones no es posible establecer la tendencia debido a la falta de representatividad de los datos, cabe destacar el caso de la estación Centro de Alto rendimiento, donde la representatividad ha sido baja a través de los años, lo cual impide la realización de un análisis más completo.

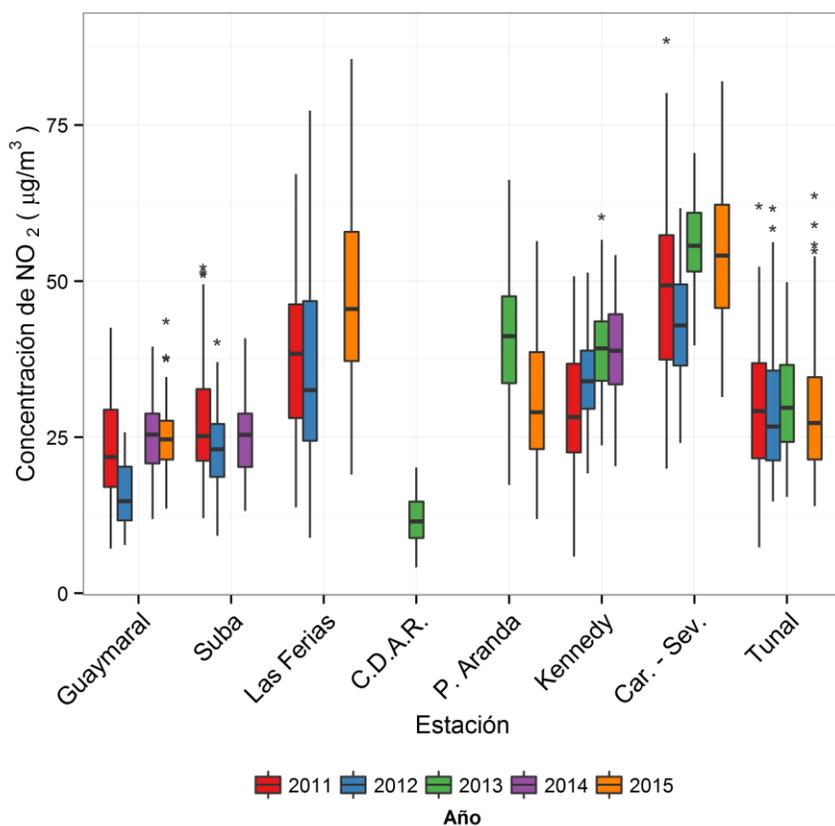


Figura 3-43. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los periodos comprendidos por los meses de marzo, abril y mayo entre los años 2011 y 2015.

La Tabla 3-18 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO₂ en el trimestre MAM para los años 2011 y 2015. Todos los máximos fueron reportados en las estaciones Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Kennedy. La zona de influencia de estas estaciones se caracteriza por la actividad notable de fuentes de combustión. La concentración máxima reportada en los 5 trimestres analizados fue 89µg/m³ el 16 de marzo de 2011 en Carvajal-Sevillana, concentración por debajo de lo establecido como concentración anual (100µg/m³). Para los demás trimestres las concentraciones se mantienen en el rango comprendido entre 54 µg/m³ y 86µg/m³.

Tabla 3-18. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO₂ en base diaria en el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015.

Periodo MAM	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	89	16/03/2011	Carvajal - Sevillana
2012	77	13/04/2012	Las Ferias
2013	71	11/04/2013	Carvajal-Sevillana
2014	54	31/03/2014	Kennedy
2015	86	04/05/2015	Las Ferias

3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO₂

La RMCAB contó con 8 analizadores de dióxido de azufre (SO₂) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones con representatividad adecuada, permitieron calcular las concentraciones promedio diarias y móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Comportamiento de las concentraciones de SO₂. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 12741 promedios horarios validos (7% menos que en el periodo DEF 2015 que fue de 13705 datos), que corresponden a una representatividad temporal global de 72% entre las ocho estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con representatividad superior al 75%, es decir tres (3) estaciones, se obtuvieron 6208 datos que corresponden a una representatividad del 94% frente al total posible de tres estaciones.

En la Figura 3-44 se visualizan los promedios trimestrales, las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma, graficándose solo datos de excedencias para las estaciones no representativas, ningún promedio supero la norma para 3 horas.

En la Tabla 3-19 se muestra un resumen de la cobertura temporal por estación en base temporal 3 horas (promedio móvil), así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 84µg/m³ en la estación Suba y no se presentan coincidencias en la ocurrencia de estos máximos, lo cual hace descartar un fenómeno de contaminación a nivel ciudad por causa de este contaminante. En las demás estaciones los valores de concentración oscilan entre 7µg/m³ en San Cristóbal y 36µg/m³ en Carvajal. De acuerdo al valor máximo de 84µg/m³, no se presentaron excedencias del límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m³).

Tabla 3-19. Resumen de datos de SO₂ en base de 3 horas por estación para el periodo MAM 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	91	84	25/05/2015 09:00
Las Ferias	68	21	24/05/2015 07:00
Centro de Alto Rendimiento	67	17	30/05/2015 08:00
Puente Aranda	97	20	24/03/2015 09:00
Kennedy	54	30	05/05/2015 04:00
Carvajal - Sevillana	47	36	23/05/2015 01:00
Tunal	51	23	02/03/2015 09:00
San Cristóbal	87	7	28/03/2015 09:00

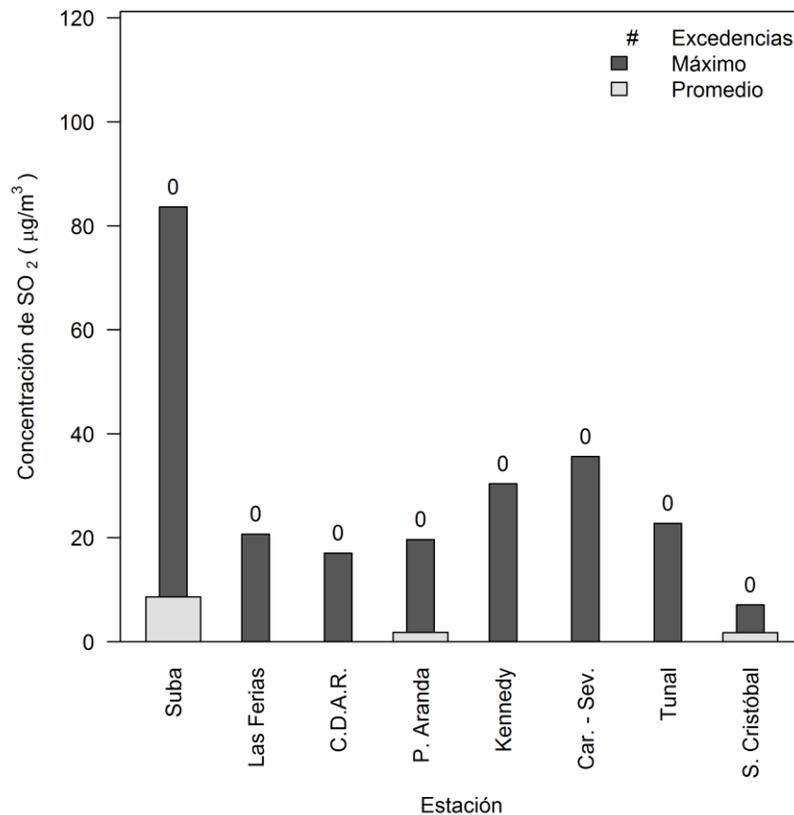


Figura 3-44. Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO₂ en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo MAM 2015. Norma Nacional 750 µg/m³.

Comportamiento las concentraciones diarias de SO₂

Se analizaron 524 valores diarios cuya representatividad temporal global es 71% entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año y 256 datos para las tres estaciones con representatividad superior al 75%, es decir un porcentaje de datos del 93% sobre el total posible de las tres estaciones. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido (250 µg/m³) y ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m³). La Figura 3-45 y la Tabla 3-20 presentan un resumen de promedios trimestrales y concentraciones máximas diarias de SO₂.

La máxima concentración diaria para las estaciones representativas correspondió a 36 µg/m³ el 27 de mayo de 2015 en la estación Kennedy y no se presentaron otros máximos para esa fecha.

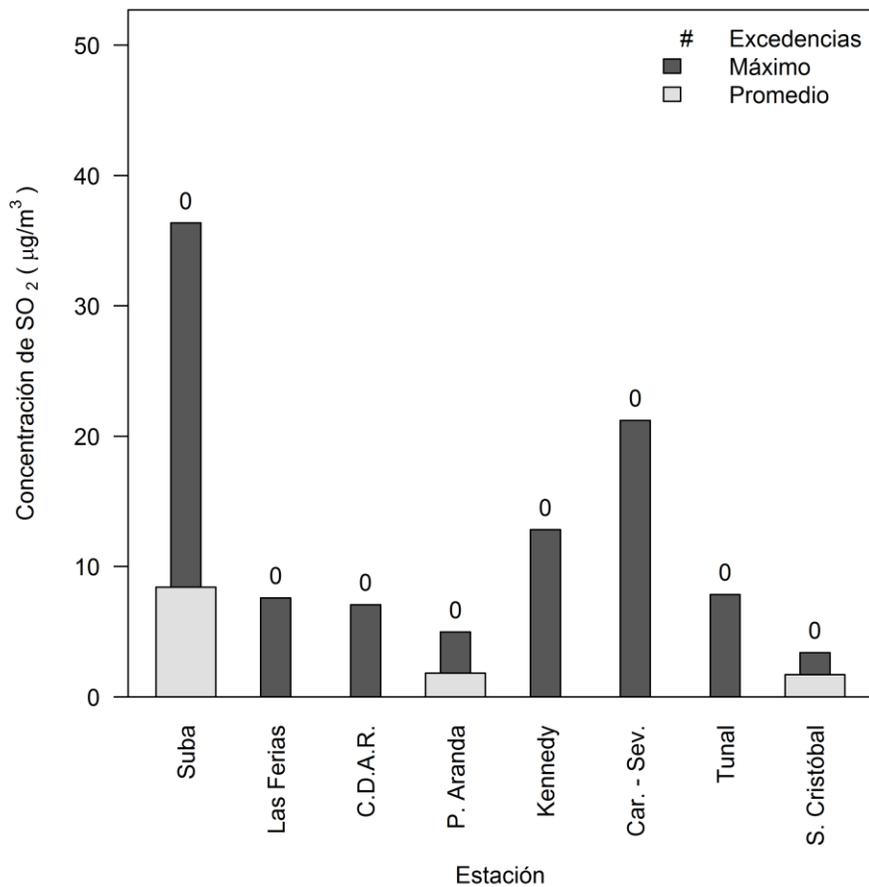


Figura 3-45. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO₂ en base diaria por estación para el periodo MAM 2015.

No se presentaron excedencias para un tiempo de exposición de 24 horas. Suba presentó el mayor promedio con 8µg/m³, teniendo en cuenta que los promedios trimestrales no son comparables con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 al no considerarse un tiempo de exposición de tres meses, sirviendo solo para fines de gestión.

Tabla 3-20. Resumen de los datos diarios de SO₂ por estación para el periodo MAM 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m ³)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	96	8	36	27/05/2015
Las Ferias	68	3	8	20/03/2015
Centro de Alto Rendimiento	70	3	7	30/05/2015
Puente Aranda	97	2	5	24/03/2015
Kennedy	55	5	13	22/05/2015
Carvajal - Sevillana	47	11	21	22/05/2015

Tunal	51	2	8	02/03/2015
San Cristóbal	86	2	3	17/04/2015

Calendario de contaminación por SO₂ durante el trimestre MAM 2015

La Figura 3-46, la Figura 3-47 y la Figura 3-48 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de SO₂ en los meses del trimestre MAM 2015 para tres estaciones de la RMCAB con mediciones representativas. Las diferencias en magnitudes entre estas tres estaciones son significativas evidenciando la alta heterogeneidad espacial en el comportamiento de este contaminante en la ciudad. En Suba se observa que el valor máximo de 36 µg/m³ contrasta con los reportados en los demás días de mayo, especialmente con los del comienzo de mes. Las concentraciones reportadas para mayo tienden a ser mayores que las correspondientes a los meses de marzo y abril.

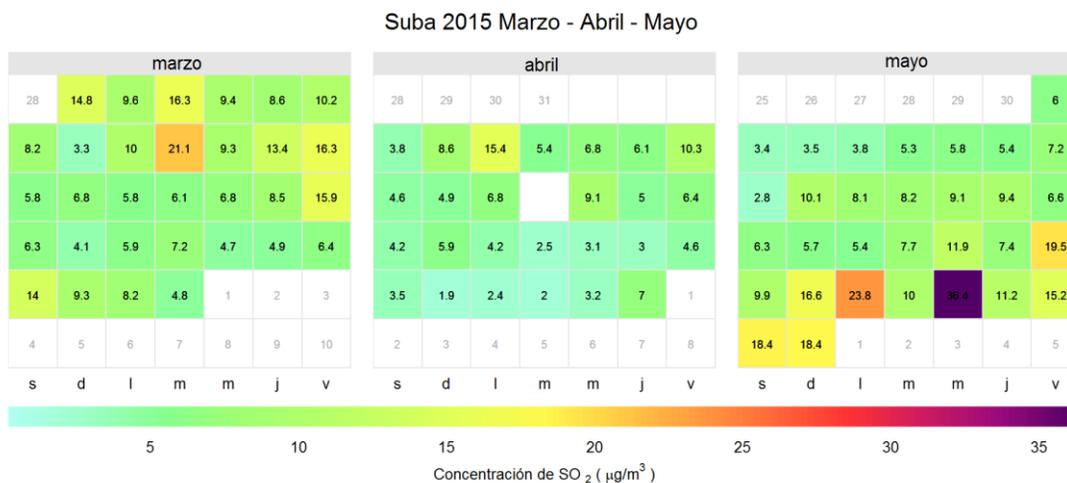


Figura 3-46. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m³.



Figura 3-47. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m³.

S. Cristóbal 2015 Marzo - Abril - Mayo



Figura 3-48. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo MAM 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m³.

Comportamiento temporal de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-49 describe el comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo. En comparación con las demás estaciones, Suba mantiene notablemente los mayores valores de concentración y las mayores dispersiones de los datos durante todos los días de la semana para el trimestre MAM 2015, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia (vía Suba – Cota). El caso contrario sucede en la estación Puente Aranda y San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma diaria y anual (250µg/m³ y 80µg/m³), muestra que ningún valor supera la norma.¹⁹

La Figura 3-50 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias en función de los meses del trimestre MAM 2015 por estación de monitoreo. En Suba las concentraciones aumentaron para el mes de mayo, caso contrario a lo observado en Puente Aranda, donde la mayor concentración se obtuvo en marzo y en San Cristóbal, donde las mayores concentraciones se obtuvieron en abril.

¹⁹ el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

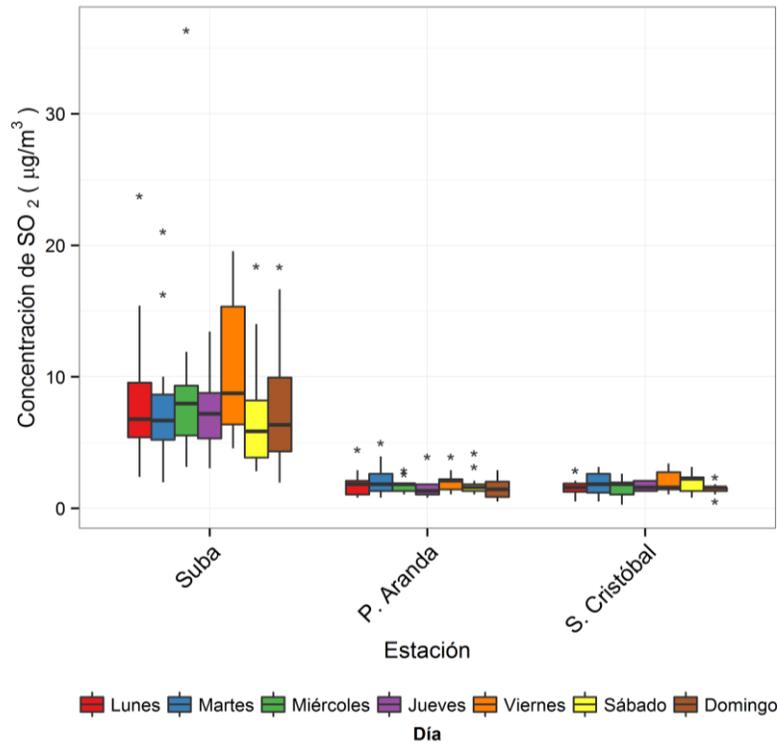


Figura 3-49. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre MAM 2015.

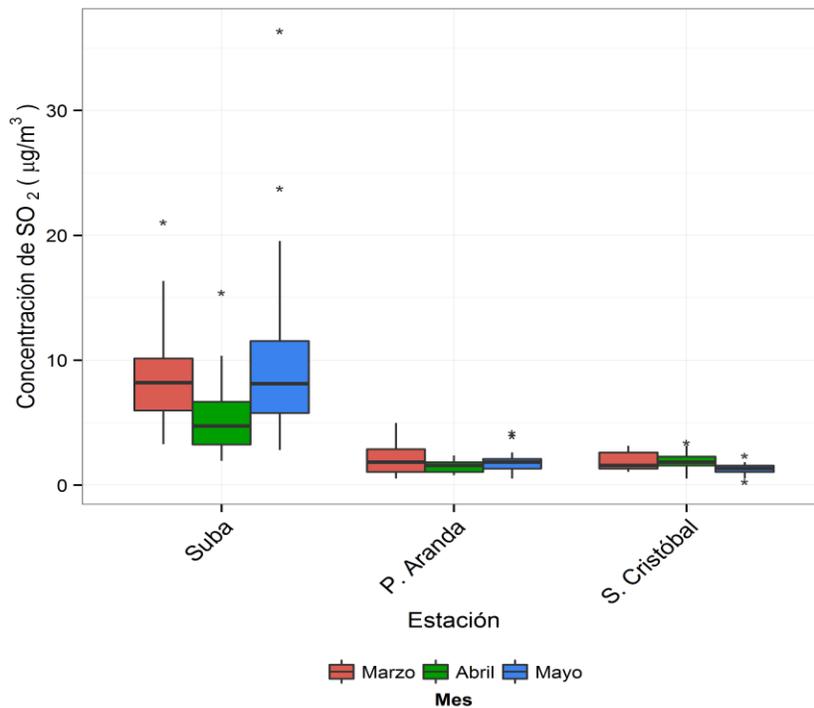


Figura 3-50. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los meses del trimestre MAM 2015 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-51 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% en el periodo MAM 2015. En general las variaciones de concentración en el contaminante por día de la semana en el trimestre MAM 2015, son mínimos, alcanzándose a observar que los domingos son los días con menor concentración. En cuanto a variabilidad semanal y de datos diarios, Suba tiene los mayores valores.

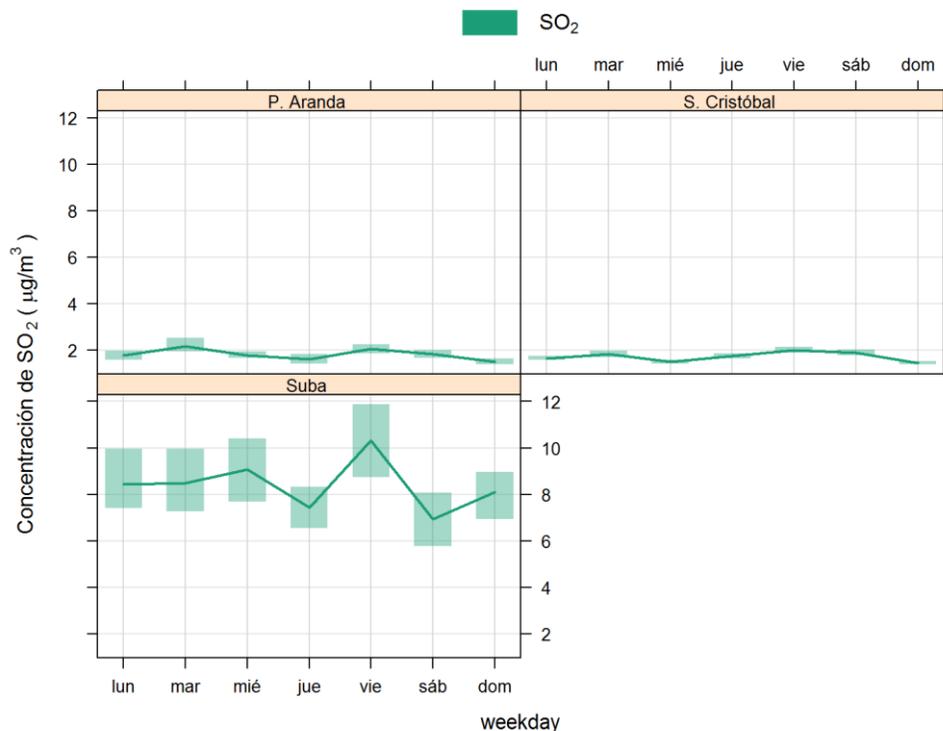


Figura 3-51. Ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los perfiles diarios de la Figura 3-52 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en la presencia de niveles altos de este contaminante. En Suba se observa un pico de concentración pronunciado y posteriormente un descenso significativo de magnitudes en horas del mediodía y de la tarde, las cuales son inferiores incluso a las observadas en horas de la madrugada y de la noche. Este perfil es similar al correspondiente a PM_{2.5}, un hecho que indica que este tamaño de material particulado tiene una asociación particular con las fuentes de combustión.

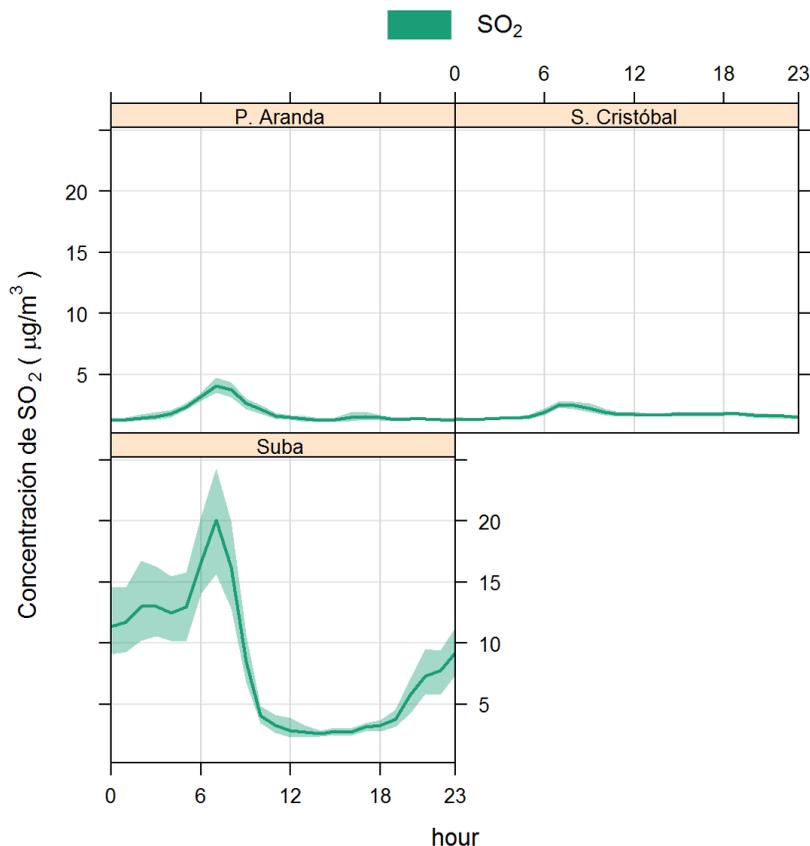


Figura 3-52. Ciclos diarios de las concentraciones de SO_2 para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de SO_2

La Figura 3-53 presenta la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 en los periodos comprendidos por el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015 en función de las estaciones de monitoreo. Debido a la falta de representatividad de algunas estaciones, no es posible establecer una tendencia general para el contaminante, sin embargo, se puede ver que como Carvajal y Puente Aranda la tendencia es decreciente y para otras estaciones como Suba, la tendencia es al aumento de concentración de SO_2 para el periodo de tiempo analizado.

La estación Carvajal presenta además una dispersión mucho más alta frente a las demás estaciones, lo que puede indicar fuentes de combustión que influyen de manera importante en valores extremos en ésta. Las menores variabilidades se presentan en San Cristóbal y Las Ferias. En general, todas las tendencias observadas dan evidencia de la alta heterogeneidad de Bogotá en relación a sus fuentes de emisión y correspondientes niveles de inmisión.

Una comparación de los valores de concentración por estación a través del trimestre frente a la norma diaria y anual ($250\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80\mu\text{g}/\text{m}^3$), muestra que todas las estaciones presentan cumplen la norma.

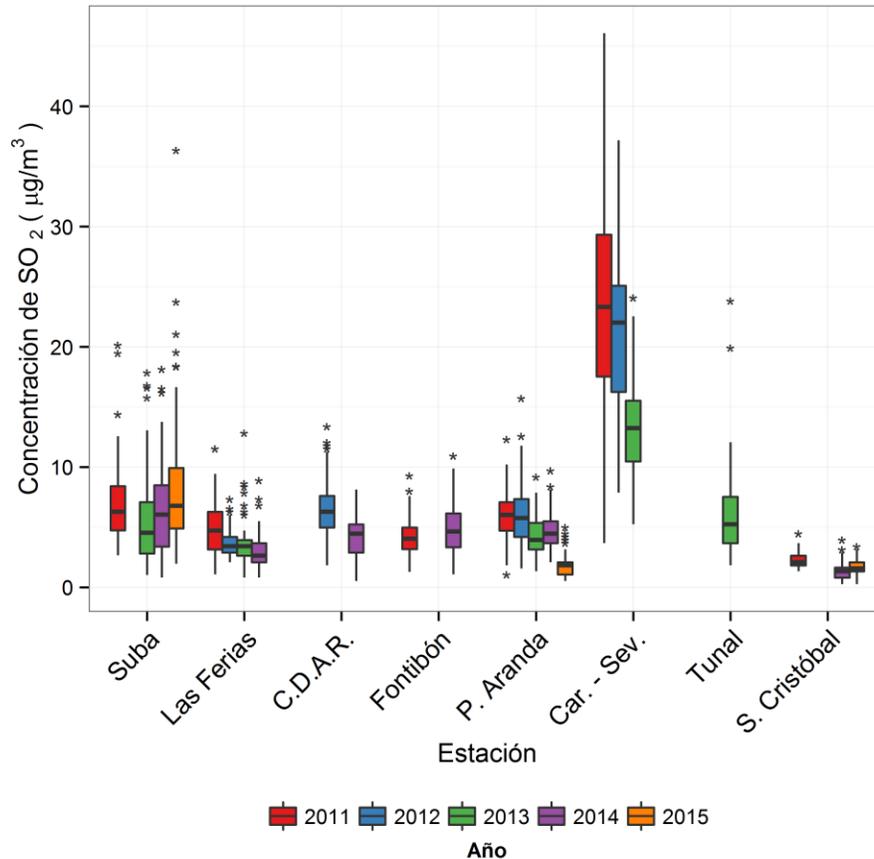


Figura 3-53. Gráfico de *boxplot* para SO_2 en base diaria por estación de monitoreo en los meses del trimestre MAMA, en el periodo 2011-2015

La Tabla 3-21 es el resumen de los máximos reportados en los periodos comprendidos por los meses del trimestre MAM entre los años 2011 y 2015. La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados fue $46\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Carvajal – Sevillana el 28 de marzo de 2011. Las concentraciones de los demás trimestres se encuentran entre $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $37\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al no excederse el límite normativo inferior (norma anual) por ningún valor extremo, se infiere que el SO_2 representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.

Tabla 3-21. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO₂ en los periodos comprendidos por el trimestre MAM entre los años 2011 y 2015.

Periodo MAM	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	46	28/03/2011	Carvajal - Sevillana
2012	37	28/05/2012	Carvajal - Sevillana
2013	24	09/04/2013	Carvajal - Sevillana
2014	18	03/05/2014	Suba
2015	36	27/05/2015	Suba

3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el periodo MAM 2015 se contó con promedios horarios y móviles de 8 horas de monóxido de carbono (CO) para nueve (9) estaciones, como se indica en la Tabla 1-1. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Durante el periodo analizado se obtuvieron 13810 promedios horarios validos (4% más que en el periodo DEF 2015 que correspondió 13239 datos, fruto de la mejora en la captura de datos), que corresponden a una representatividad temporal global de 78% entre las ocho (8) estaciones que registraron mediciones. De las ocho (8) estaciones con datos registrados, cinco (5) tuvieron una representatividad superior al 75%. La Figura 3-343-50 contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para CO, en base de tiempo horaria. Se observa que no se presentan excedencias a la norma horaria en el periodo de estudio.

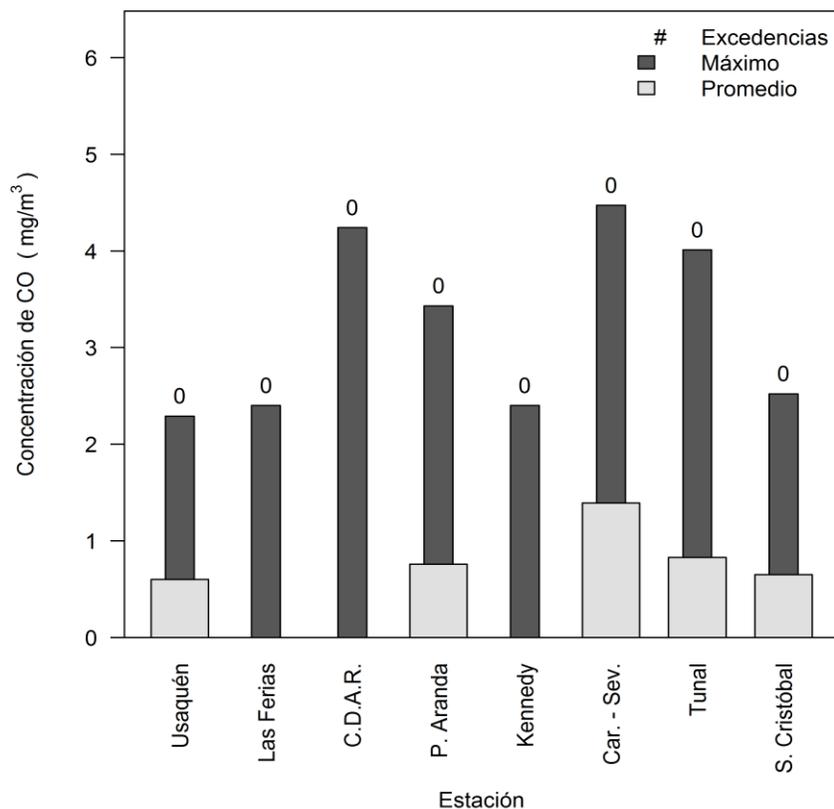


Figura 3-54. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el periodo MAM 2015.

En la Tabla 3-22 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio trimestral, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal–Sevillana y Tunal, asociadas a captura de datos con preponderancia de fuentes móviles. Las menores concentraciones promedio trimestrales fueron observadas en San Cristóbal y Las Ferias, ubicadas el suroriente y noroccidente de la ciudad, respectivamente. Es importante destacar que los promedios trimestrales de la Tabla 3-22 son indicativos para la comparación mutua de las estaciones pero no contrastables con la normatividad nacional ya que esta no regula tiempos de exposición de tres meses.

Tabla 3-22. Resumen de datos horarios de CO por estación para el trimestre MAM 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m ³)	Máximo (mg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	88	0.6	2.3	30/03/2015 18:00
Las Ferias	29	0.6	2.4	05/05/2015 07:00
Centro de Alto Rendimiento	71	0.7	4.2	30/04/2015 20:00
Puente Aranda	91	0.8	3.4	02/05/2015 06:00
Kennedy	57	0.7	2.4	02/05/2015 06:00
Carvajal - Sevillana	98	1.4	4.5	18/03/2015 07:00
Tunal	93	0.8	4.0	28/03/2015 08:00
San Cristóbal	97	0.7	2.5	02/03/2015 09:00

El 2 de mayo de 2015 a las 6:00 a.m. las estaciones Puente Aranda y Kennedy coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas sugiriendo un episodio de alta concentración al suroccidente de la ciudad. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB para el periodo MAM 2015 fue de 4,5 mg/m³ en la estación Carvajal–Sevillana. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de una hora es 40 mg/m³, durante el trimestre analizado no se presentaron excedencias. Se destaca que todos los datos horarios se registraron por debajo del 50% del límite (20 mg/m³).

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el periodo MAM 2015 se calcularon 13788 promedios móviles de 8 horas de CO (4% más que en el periodo DEF 2015), equivalentes al 78% de los datos posibles a capturar en el año, entre las estaciones que reportaron mediciones. Se cuenta con 10313 datos de las estaciones con representatividad superior a 75%, lo que equivale al 93% de los datos posibles a capturar.

La Figura 3-55 muestra los valores de promedios trimestrales, máximos y número de excedencias del límite máximo permisible en forma gráfica. Se observa que no se presentaron excedencias a la norma 8 horas (10mg/m³) y los promedios 8 horas del trimestre están muy por debajo de este valor. El promedio más alto se presentó en Carvajal y el menor en San Cristóbal.

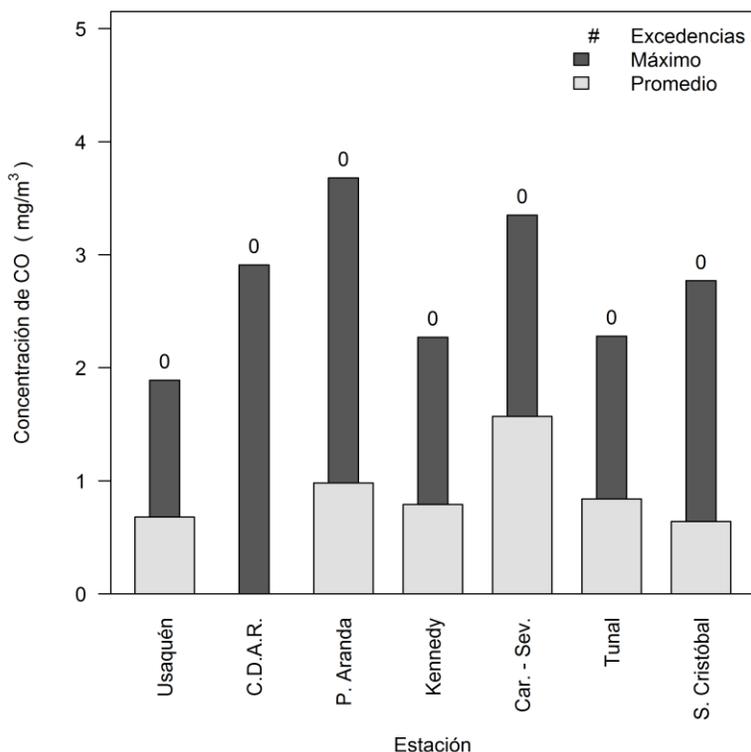


Figura 3-55. Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el trimestre MAM 2015.

La Tabla 3-23 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal – Sevillana y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio trimestrales fueron observadas en San Cristóbal y Usaquén, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. El máximo promedio móvil de 8 horas de CO reportado en la RMCAB durante el periodo analizado fue 3,0mg/m³ en Carvajal el 23 de marzo de 2015 a las 8:00 a.m. No se presentaron concentraciones elevadas fechas y horas coincidentes, por lo cual se descartan máximos generalizados por zona o a nivel ciudad.

Tabla 3-23. Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el trimestre MAM 2015

Estación	% de datos válidos	Máximo (mg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	88	1.6	18/03/2015 20:00
Las Ferias	29	1.7	30/05/2015 00:00
Centro de Alto Rendimiento	71	2.4	30/04/2015 23:00
Puente Aranda	91	1.8	02/05/2015 07:00
Kennedy	57	1.7	02/05/2015 07:00
Carvajal - Sevillana	98	3.0	27/03/2015 08:00
Tunal	93	2.3	28/03/2015 12:00
San Cristóbal	97	1.7	19/03/2015 22:00

Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-56 presenta el comportamiento de las concentraciones de CO (promedios móviles de 8 horas) en función los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Los domingos se caracterizaron por presentar las concentraciones ligeramente más bajas del trimestre, lo cual es consecuencia de la reducción de la actividad vehicular; para el resto de días las variaciones tienden a mantenerse estables. La estación Carvajal presenta los valores más altos registrados en la RMCAB, con gran variabilidad. Las estaciones de Usaquén, Tunal y San Cristóbal tienen un número importante de datos extremos a pesar de registrar concentraciones notoriamente más bajas que en Carvajal. Una comparación con la norma de 10mg/m³ para 8 horas, muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

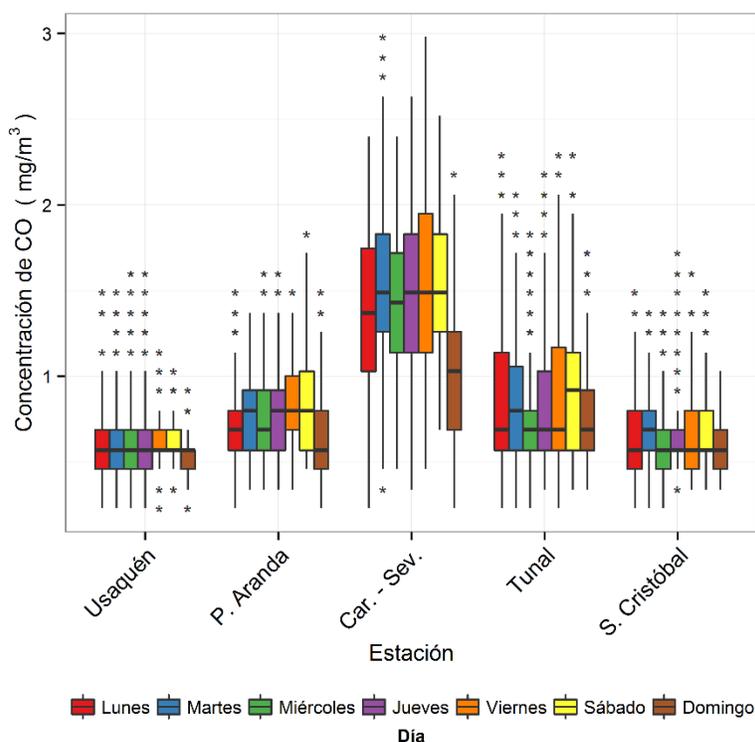


Figura 3-56. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre MAM 2015.

La Figura 3-57 muestra los datos de concentración en función de los meses del trimestre MAM 2015. Para todas las estaciones, marzo (al igual que con PM₁₀ y PM_{2.5}), fue el mes con las más altas concentraciones y se observa una tendencia general en la RMCAB de disminución de las concentraciones de CO a medida que avanza el trimestre.

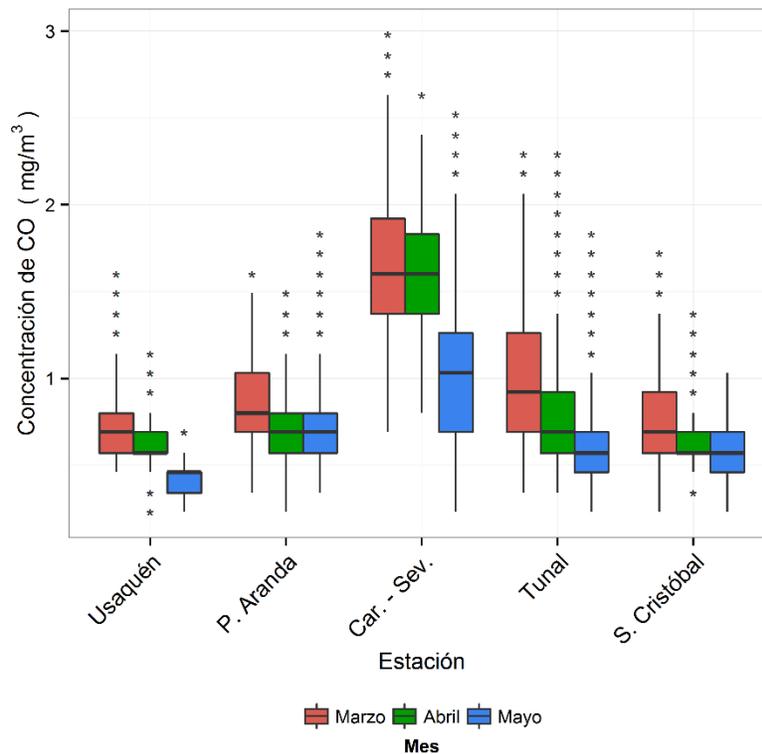


Figura 3-57. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del trimestre MAM 2015 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de CO

La Figura 3-58 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. El ciclo más heterogéneo y las concentraciones más altas se observaron en la estación Carvajal-Sevillana estableciendo una diferencia significativa con respecto a los correspondientes a las demás estaciones. Los días domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menor concentración de CO, los miércoles también se evidencia un descenso en el valor de la concentración respecto a los demás días de la semana laboral.

La Figura 3-59 presenta el comportamiento en función de las horas del día. En general se observa un pico de concentración en la mañana, lo cual está acorde con el comportamiento del flujo vehicular de la ciudad que tiende a ser mayor entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. En horas de la noche, después de las 6:00 p.m., se presenta un nuevo aumento de concentración que coincide con la denominada “hora pico” de la tarde, el cual es menos notorio en Usaquén.

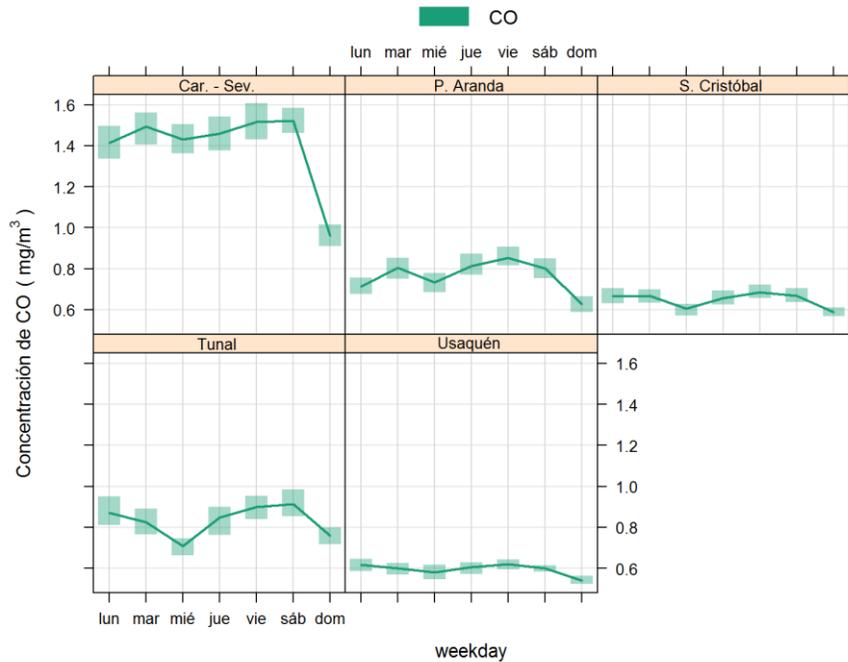


Figura 3-58. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el periodo MAM 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

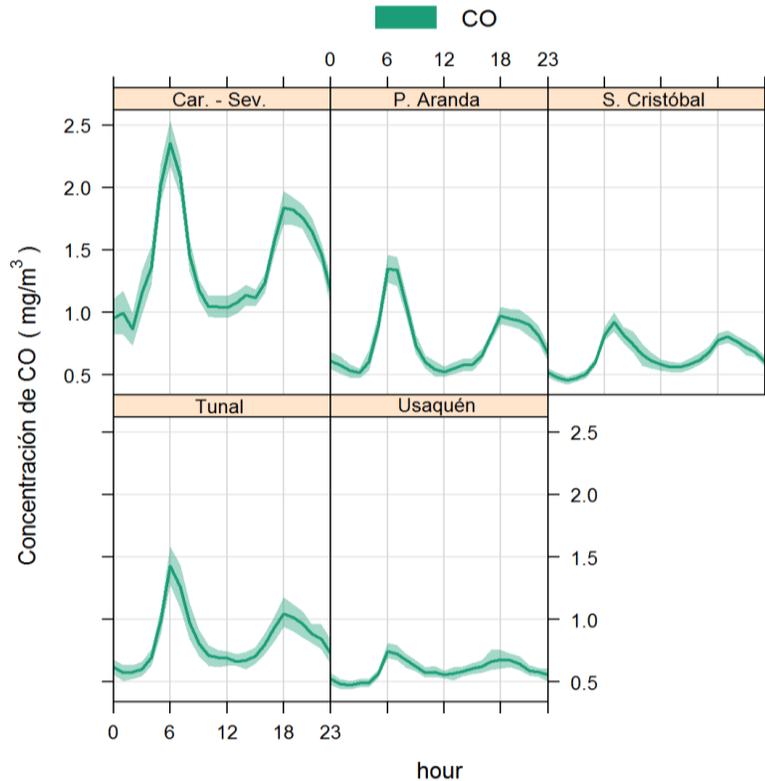


Figura 3-59. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo MAM 2015 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de las concentraciones de monóxido de carbono.

En la Figura 3-60 se encuentra la tendencia histórica de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas en las estaciones de la RMCAB para el trimestre MAM en el periodo 2011 a 2015. Con una diferencia importante, las mayores concentraciones se han observado en la estación Carvajal–Sevillana, lo cual sugiere una mayor influencia de las fuentes móviles. Para esta estación se observó una reducción de los niveles de concentración en los años 2011 a 2014 y un leve aumento para el trimestre MAM 2015; este comportamiento es similar a lo encontrado para el periodo DEF 2015, lo cual evidencia un incremento a través del año de este contaminante en la zona cubierta por esa estación. Para las estaciones Usaquén, Puente Aranda, Tunal y San Cristóbal, se presenta una reducción en la concentración de CO a través del periodo de estudio. Una comparación con la norma más restrictiva (10mg/m³ para 8 horas), muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.

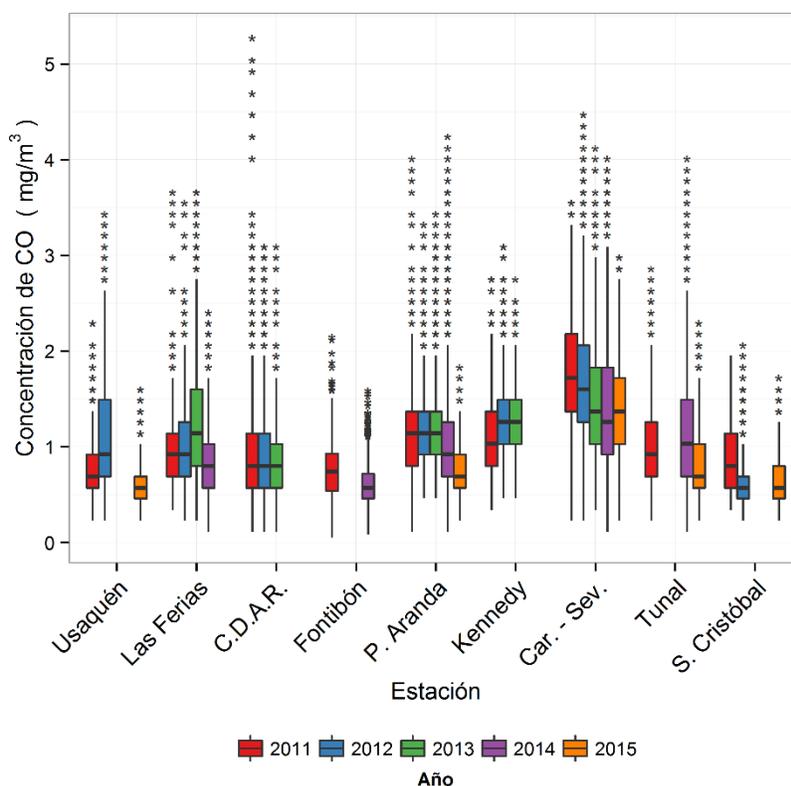


Figura 3-60. Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo en el periodo comprendido por el trimestre MAM a través de los años 2011 a 2015.

El resumen de máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas en el trimestre MAM para los años 2011 a 2015 se presenta en la Tabla 3-24. La máxima concentración de monóxido de carbono de los trimestres estudiados fue 5,3mg/m³ en la estación Centro de Alto Rendimiento el 5 de marzo de 2011. Un análisis de los máximos obtenidos muestra lo expresado por la gráfica anterior y es un descenso general en las concentraciones de este contaminante. Se observa que todos los máximos se reportaron en horas de la mañana y en este punto es importante considerar que estos valores

representan las concentraciones medidas en las 8 horas anteriores al tratarse de promedios móviles. Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es 10 mg/m^3 , se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y O_3 .

Tabla 3-24. Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios móviles de 8 horas en el trimestre MAM para los años 2011 a 2015.

Periodo MAM	Máximo mg/m^3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	5.3	05/03/2011 01:00	Centro de Alto Rendimiento
2012	4.5	11/05/2012 03:00	Carvajal - Sevillana
2013	4.1	08/05/2013 06:00	Carvajal - Sevillana
2014	4.2	07/03/2014 11:00	Puente Aranda
2015	3.0	27/03/2015 08:00	Carvajal - Sevillana

3.3. Índices de calidad del aire

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

La metodología de cálculo se basa en la definida 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 EPA, 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), tal y como lo muestra la Tabla 3-25.

Tabla 3-25. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

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

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

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.

3.3.1. Índice de calidad del aire para PM₁₀.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM₁₀ puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-61 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Las diferencias en la proporción del ICA entre los sitios de monitoreo muestra la alta variabilidad en las características de sus zonas de influencia. Con excepción de San Cristóbal, en las estaciones localizadas en el sur y suroccidente de la ciudad predomina la categoría “moderada” para PM₁₀. La zona que representan estas estaciones está sujeta a alta actividad de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada. La categoría “moderada” en PM₁₀ implica un riesgo a la salud, especialmente para personas con enfermedades respiratorias. En las demás estaciones se observa la predominancia de la categoría “buena”, entre las que se destacan Guaymaral y Usaquén, ubicadas al norte de la ciudad.

La Figura 3-62 muestra la discriminación del ICA de PM₁₀ en función de los meses del trimestre MAM 2015. El mes con la mejor calidad del aire en términos de ICA para PM₁₀ fue abril y marzo se presenta como el de mayores incidencias, lo cual es coherente con lo presentado conforme a valores de concentración de PM₁₀.

La Figura 3-63 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Como se pudo observar e los análisis boxplot para este contaminante, de lunes a viernes se presentan las condiciones menos favorables de concentración y por ende mayores valores de ICA moderado.

La Figura 3-64 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM₁₀ durante el periodo MAM 2015. La categoría “Buena” se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría con excepción de Kennedy y Carvajal-Sevillana El mayor valor promedio de ICA correspondió a 66 en la estación de Carvajal-Sevillana (63 para el trimestre DEF 2015), mientras que el menor fue observado en Centro de Alto rendimiento con un valor de 29.

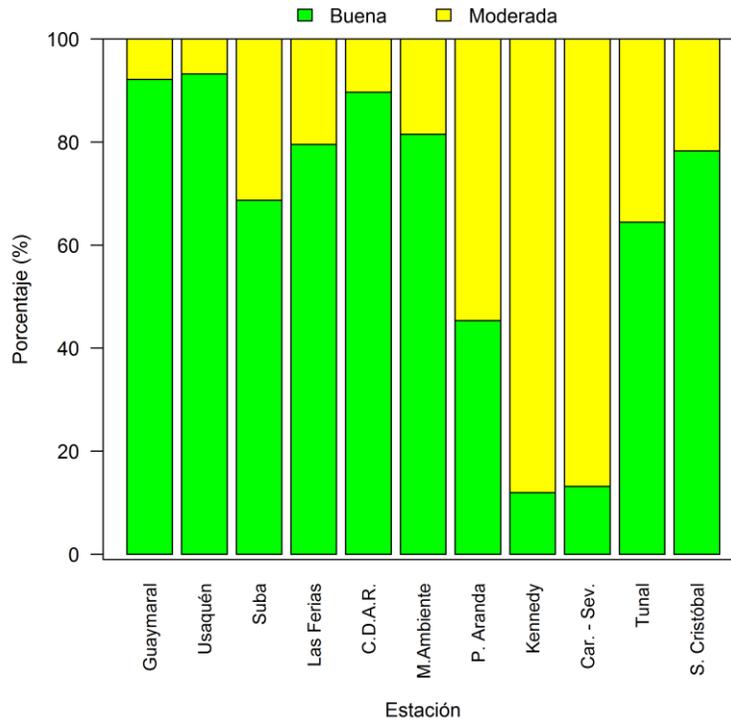


Figura 3-61. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm₁₀ por estación. Trimestre MAM 2015

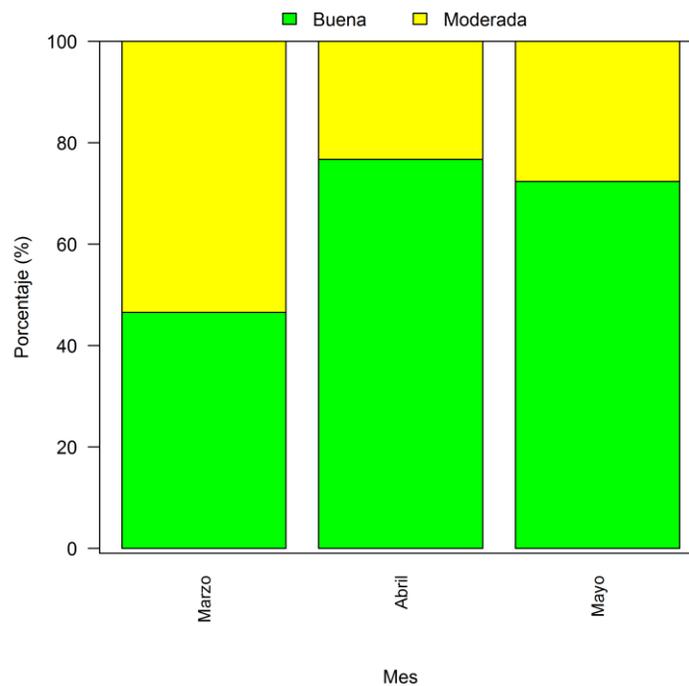


Figura 3-62. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm₁₀ por mes. Trimestre MAM 2015

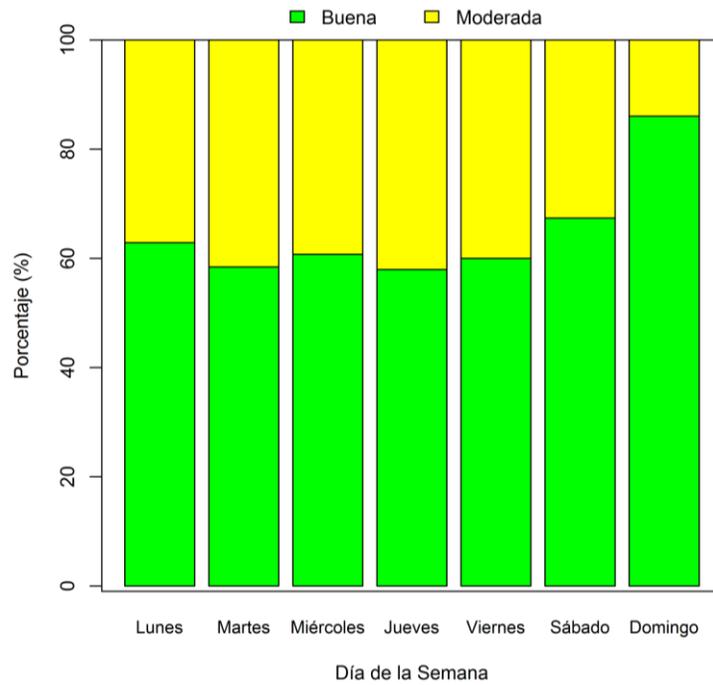


Figura 3-63. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm₁₀ por días de la semana. Trimestre MAM 2015

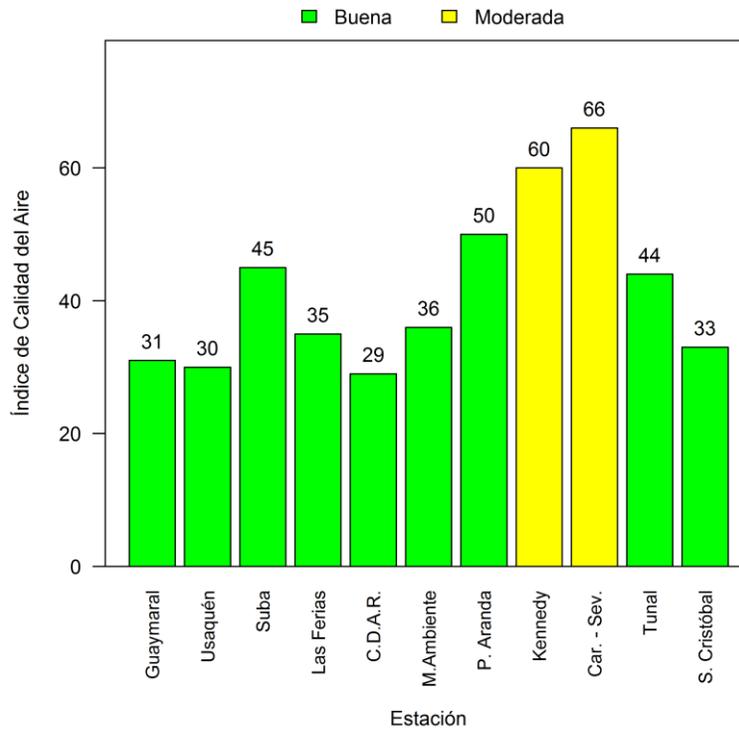


Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB para el periodo MAM 2015.

3.3.2. Índice de calidad del aire para PM_{2.5}

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 μm (PM_{2.5}) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La Figura 3-65 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. De acuerdo con el índice, la calidad del aire en términos de este contaminante mostró tres categorías: “buena”, “moderada”, “dañina a la salud para grupos sensibles, las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. En concordancia con el análisis realizado para PM₁₀, las estaciones con la calidad del aire más crítica fueron Kennedy, Carvajal–Sevillana y Tunal las cuales, como se ha mencionado previamente, se localizan el suroccidente y sur de la ciudad donde es mayor la afectación por fuentes fijas, móviles y de área.

Al tratarse de promedios móviles de 24 horas, los efectos de concentraciones altas determinados por la categoría “dañina para la salud (G.S.) en los valores del ICA, impactan al día siguiente teniéndose una exposición aguada fuerte el 15% del tiempo para Kennedy, 11% para Carvajal-Sevillana y 10% Tunal. Las estaciones con una mejor calidad del aire en términos de PM_{2.5} fueron Usaquén, San Cristóbal y Guaymaral en las cuales participaron únicamente las categorías “buena” y “moderada” con mayor proporción de la primera. En Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y Suba, se observó una participación leve de la categoría “dañina a la salud para grupos sensibles”, pero mayor proporción de una calidad del aire “moderada”.

La Figura 3-66 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses del periodo MAM 2015. En los tres meses se observa la participación de las categorías “buena”, “moderada” y “dañina a la salud para grupos sensibles”, mostrándose nuevamente marzo como el más contaminado desde el punto de vista de este contaminante y el índice ICA. Los niveles más saludables de calidad del aire en términos de este contaminante fueron observados en mayo.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-67 muestra la participación de las categorías “buena”, “moderada” y “dañina a la salud para grupos sensibles” en todos los días. El domingo, de manera concordante con los datos de PM₁₀, es el único día que no muestra valores “dañinos para la salud” y los días laborales se muestran como los más afectados con la aparición mayoritaria del índice “aceptable”.

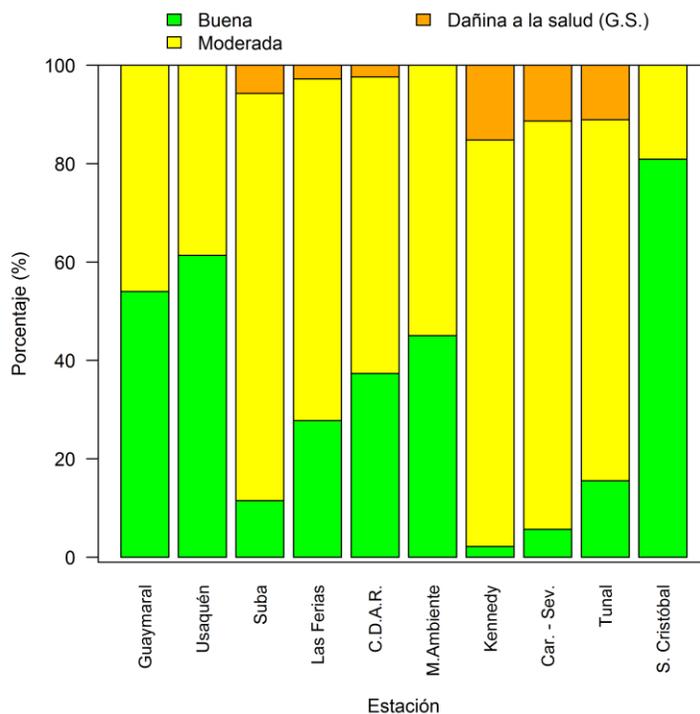


Figura 3-65. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por estación para el trimestre MAM 2015.

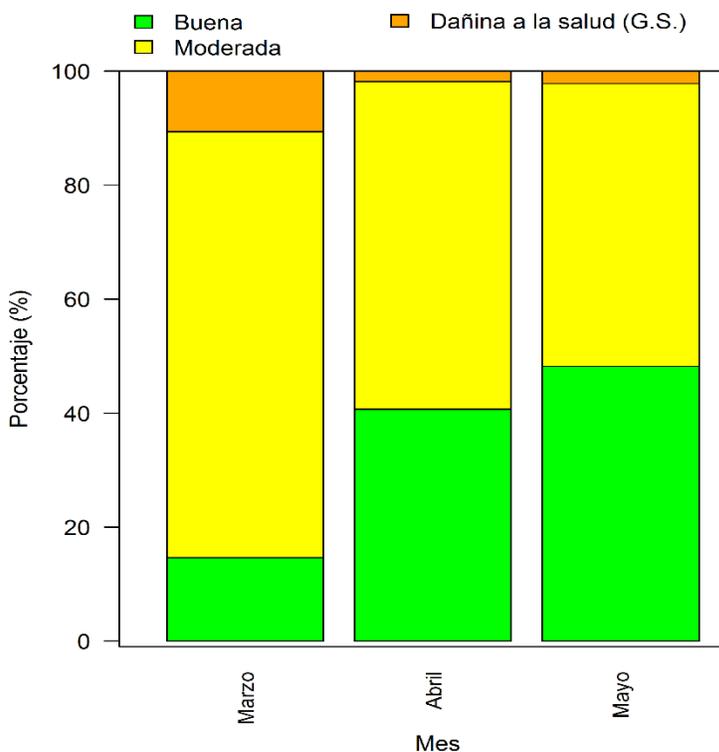


Figura 3-66. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} en los meses del trimestre MAM 2015

Los valores de ICA de la Figura 3-68 durante el año 2014 muestran que, con excepción de Usaquén y San Cristóbal, todas las estaciones presentaron valores promedio por encima de las 50 unidades, lo que las clasifica en la categoría “moderada”. El valor promedio de ICA más alto fue 86 en las estaciones Kennedy y Carvajal – Sevillana. A manera de contraste, en Usaquén y San Cristóbal se observaron las magnitudes más bajas con valores de 41 y 38, respectivamente.

En comparación con los resultados obtenidos para PM_{10} , se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de $PM_{2.5}$ en el periodo MAM 2015 demostraron una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como a la ocurrencia de episodios de alta contaminación.

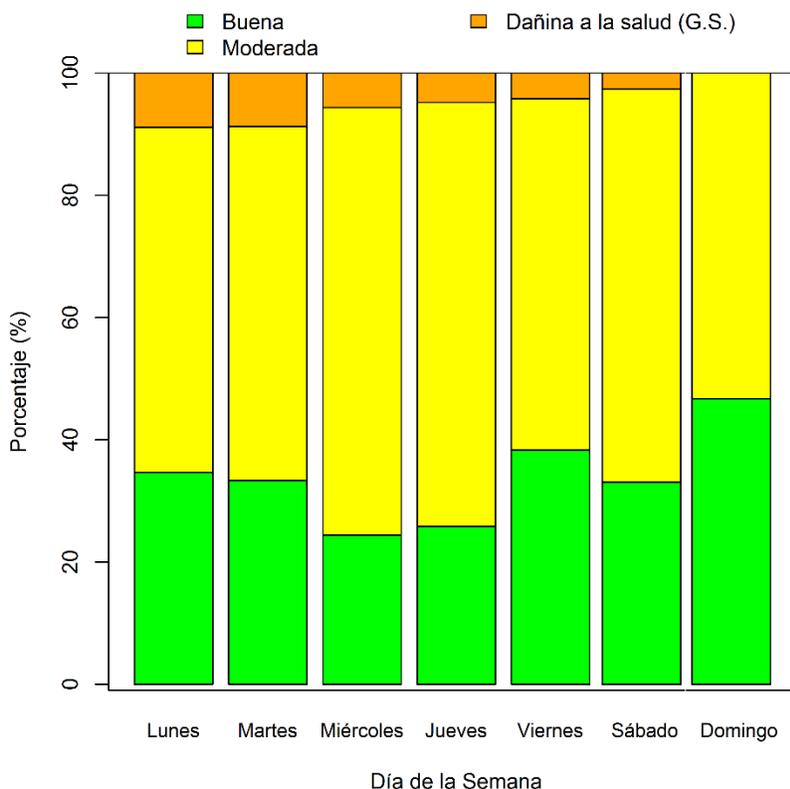


Figura 3-67 Índice de Calidad del Aire (ICA) de $PM_{2.5}$ por día de la semana para el trimestre MAM 2015

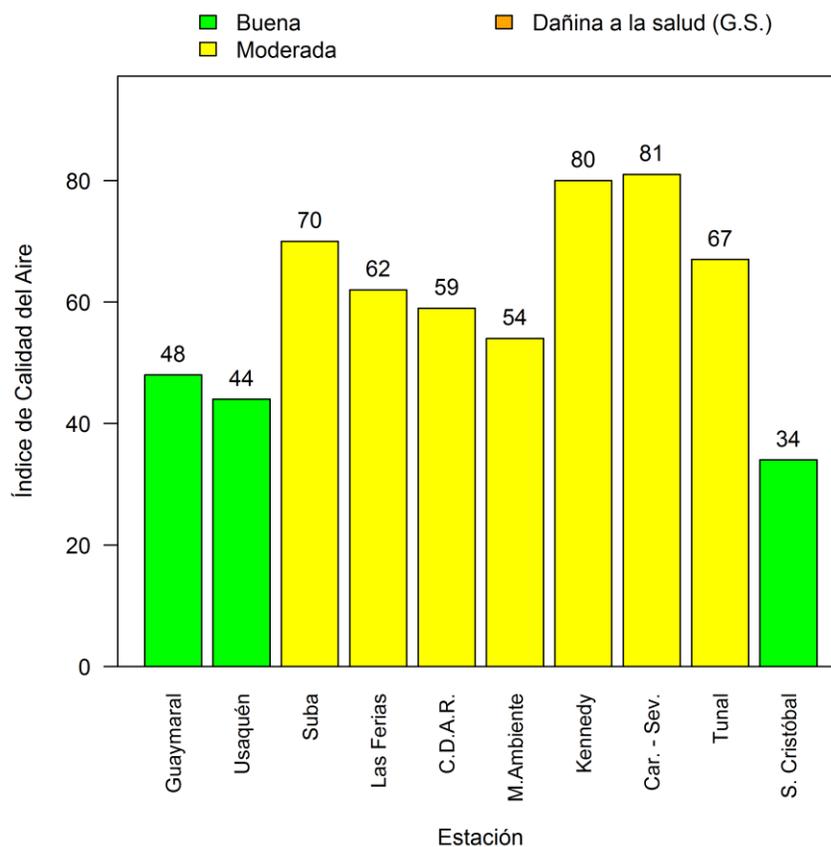


Figura 3-68. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM_{2.5} en el trimestre MAM 2015

Los datos ICA, así como los valores de concentración y el análisis realizado a través de este informe, permiten concluir que el material particulado PM_{2.5} se constituye en un contaminante de alto interés desde el punto de vista ambiental y de salud, dados sus valores de concentración elevados y el impacto que tiene sobre población sensible o vulnerable.

3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

La Figura 3-69, la Figura 3-70 y la Figura 3-71 presentan los índices de calidad del aire promedio por estación para el trimestre MAM 2015 en los contaminantes O₃, SO₂ y CO en tiempos de exposición de 8 horas, 24 horas y 8 horas, respectivamente. No se presentan resultados para el dióxido de nitrógeno teniendo en cuenta que en este contaminante solamente se consideran valores de ICA superiores a 200, correspondientes a una concentración de 650 ppb o 1222 µg/m³ en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de NO₂ medida por la RMCAB en el periodo MAM 2015 fue 174 µg/m³ en la estación Suba, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

La categoría “Moderada” se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría “Buena” en el trimestre. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO₂ teniendo en cuenta su bajo índice ICA.

El máximo valor de ICA para ozono fue 20 en la estación Usaquén y es seguido por Las Ferias con 12 unidades. Estos resultados son concordantes con los análisis llevados a cabo en apartados anteriores teniendo en cuenta que las concentraciones más altas fueron observadas en el norte de la ciudad, y los valores más bajos en el suroccidente, en las estaciones Carvajal y Puente Aranda. En general todas las estaciones se mantuvieron en promedio en la categoría “Buena”.

Los índices de calidad del aire para el dióxido de azufre muestran un valor máximo de 5 en la estación Suba, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría “Buena” y “Moderada”. Este valor es seguido por 1 en Puente Aranda y San Cristóbal, por lo cual este contaminante no representa un riesgo para la salud en Bogotá.

En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 14 en la estación Carvajal-Sevillana. Como se ha mencionado previamente, en la zona de influencia de esta estación predomina alta actividad relacionada con la emisión de fuentes industriales y móviles cuyos procesos de combustión favorecen la emisión de monóxido de carbono. Este valor de ICA es seguido por 8 en Puente Aranda y Tunal, demostrando un contraste en las tendencias de la calidad del aire en la ciudad. Todos los promedios móviles de 8 horas del trimestre se enmarcaron en la categoría “Buena”.

En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}.

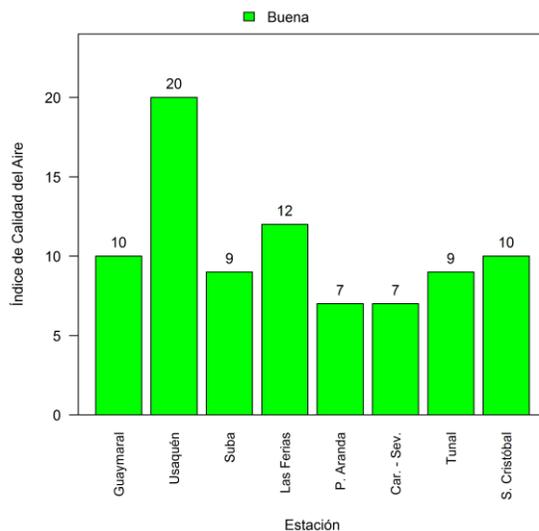


Figura 3-69. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O₃). Base de 8 horas.

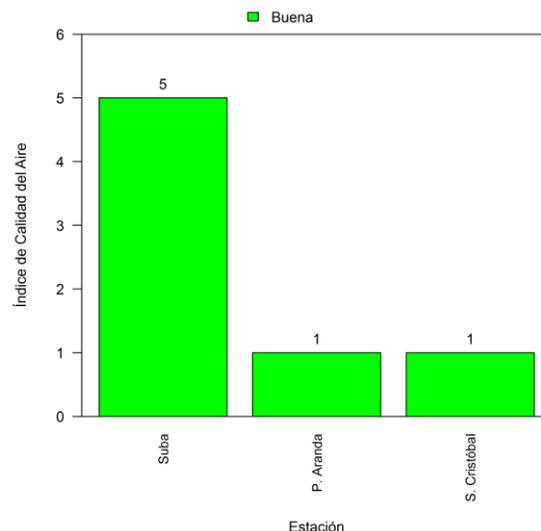


Figura 3-70. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base diaria.

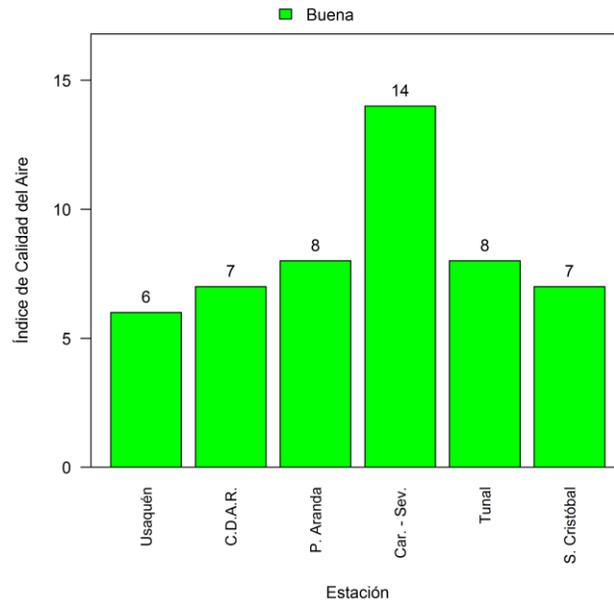


Figura 3-71. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

3.4. Síntesis de resultados

Esta sección contiene una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para cada caso se presenta el comportamiento de los promedios en las bases temporales estudiadas para el periodo MAM 2015.

Para cada tabla, se observa en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un trimestre o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cobertura temporal del monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que excedieron el límite normativo y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor del límite máximo permisible, lo que da un indicativo de la susceptibilidad presentar excedencias. La última columna presenta los valores de los promedios trimestrales los cuales son indicativos al no estar regulado un tiempo de exposición trimestral en la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), MAM 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PST										
[Norma: 300 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	85	92	0	0	0	9	182	0.61	107

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Promedio geométrico para PST

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀), MAM 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PM ₁₀										
[Norma: 100 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal (%)	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guaymaral	89	97	0	0	0	12	60	0.6	34
	Usaquén	88	96	0	0	0	9	61	0.6	33
	Subtotal	177	97	0	0	0	21	61	0.6	33.5
Noroccidente	Suba	83	90	0	0	2	34	79	0.8	50
	Las Ferias	88	96	0	0	2	18	82	0.8	39
	Subtotal	171	93	0	0	4	52	81	0.8	44.5
Centro	Centro de Alto Rendimiento	87	95	0	0	2	13	79	0.8	32
	MinAmbiente	92	100	0	0	2	19	80	0.8	40
	Subtotal	179	98	0	0	4	32	80	0.8	36
Suroccidente	Puente Aranda	86	93	1	1	16	37	103	1.0	58
	Kennedy	92	100	12	13	28	45	136	1.4	74
	Carvajal Sevillana	91	99	27	30	33	22	136	1.4	87
	Subtotal	269	97	40	15	77	104	125	1.3	73
Sur	Tunal	90	98	0	0	8	31	92	0.9	50
	San Cristóbal	92	100	0	0	7	19	95	1.0	37
	Subtotal	182	99	0	0	15	50	94	0.9	43.5

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), MAM 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PM _{2.5}										
[Norma diaria: 50 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guamaral	87	95	0	0	0	9	35	0.7	16
	Usaquén	75	82	0	0	1	7	40	0.8	15
	Subtotal	162	89	0	0	1	16	38	0.8	16
Noroccidente	Suba	87	95	0	0	9	29	50	1.0	26
	Las Ferias	72	78	0	0	4	18	43	0.9	22
	Subtotal	159	87	0	0	13	47	47	0.9	24
Centro	Centro de Alto Rendimiento	83	90	0	0	8	17	45	0.9	21
	MinAmbiente	91	99	0	0	5	12	40	0.8	18
	Subtotal	174	95	0	0	13	29	43	0.9	20
Suroccidente	Kennedy	92	100	2	2	16	45	59	1.2	30
	Carvajal-Sevillana	88	96	0	0	20	47	48	1.0	31
	Subtotal	180	98	2	1	36	92	54	1.1	31
Sur	Tunal	90	98	0	0	13	19	49	1.0	24
	San Cristóbal	89	97	0	0	0	0	24	0.5	11
	Subtotal	179	98	0	0	13	19	37	0.7	18

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios horarios de O₃, MAM 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de O ₃										
[Norma: 120 µg/m ³]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guaymaral	2043	97	1	0.05	16	79	127	1.1	24.55
	Usaquén	2091	99	7	0.33	60	465	137	1.1	45.62
	Subtotal	4134	98	8	0	76	544	132	1.1	35
Noroccidente	Suba	2095	99	3	0.14	13	44	132	1.1	21.83
	Las Ferias	1972	93	2	0.1	9	99	129	1.1	29.26
	Subtotal	4067	96	5	0	22	143	131	1.1	26
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1559	74	3	0.19	27	70	162	1.4	28.04
	MinAmbiente	83	4	0	0	0	0	35	0.3	12.54
	Subtotal	1642	39	3	0	27	70	99	0.8	20
Suroccidente	Puente Aranda	1703	80	0	0	5	28	100	0.8	16.75
	Kennedy	279	13	0	0	0	0	38	0.3	12.36
	Carvajal - Sevillana	2015	95	0	0	5	34	104	0.9	16.5
	Subtotal	3997	63	0	0	10	62	81	0.7	15
Sur	Tunal	2063	97	0	0	3	16	99	0.8	21.58
	San Cristóbal	1934	91	0	0	0	5	79	0.7	23.38
	Subtotal	3997	94	0	0	3	21	89	0.7	22

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O₃, MAM 2015.

[Norma: 80 µg/m ³]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guaymaral	2063	97	10	0	55	240	88	1.1	24
	Usaquén	2091	99	103	5	343	742	103	1.3	45
	Subtotal	4154	98	113	3	398	982	96	1.2	35
Noroccidente	Suba	2097	99	21	1	17	165	105	1.3	22
	Las Ferias	1989	94	3	0	42	390	87	1.1	29
	Subtotal	4086	97	24	1	59	555	96	1.2	25
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1561	74	20	1	44	287	119	1.5	28
	MinAmbiente	80	4	0	0	0	0	28	0.4	12
	Subtotal	1641	39	20	1	44	287	74	0.9	20
Suroccidente	Puente Aranda	1696	80	0	0	20	47	75	0.9	17
	Kennedy	272	13	0	0	0	0	33	0.4	12
	Carvajal - Sevillana	2048	97	0	0	16	68	80	1.0	16
	Subtotal	4016	63	0	0	36	115	63	0.8	15
Sur	Tunal	2067	98	0	0	4	109	67	0.8	22
	San Cristóbal	1939	92	0	0	0	81	54	0.7	23
	Subtotal	4006	95	0	0	4	190	61	0.8	22

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios horarios de NO₂, MAM 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de NO ₂										
[Norma: 200 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guaymaral	2123	96	0	0	0	0	97	0.5	25
	Subtotal	2123	96	0	0	0	0	97	0.5	25
Noroccidente	Suba	1207	55	0	0	0	0	88	0.4	23
	Las Ferias	2136	97	0	0	3	50	174	0.9	48
	Subtotal	3343	76	0	0	3	50	131	0.7	36
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1607	73	0	0	2	50	158	0.8	38
	Subtotal	1607	73	0	0	2	50	158	0.8	38
Suroccidente	Puente Aranda	2170	98	0	0	0	0	96	0.5	31
	Kennedy	1017	46	0	0	0	0	72	0.4	24
	Carvajal-Sevillana	2077	94	0	0	0	4	113	0.6	54
	Subtotal	5264	79	0	0	0	4	94	0.5	37
Sur	Tunal	2169	98	0	0	0	5	121	0.6	30
	Subtotal	2169	98	0	0	0	5	121	0.6	30

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios diarios de NO₂, MAM 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de NO ₂										
[Norma: 150 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Guamaral	87	95	0	0	0	0	44	0.3	25
	Subtotal	87	95	0	0	0	0	44	0.3	25
Noroccidente	Suba	50	54	0	0	0	0	39	0.3	23
	Las Ferias	88	96	0	0	0	4	86	0.6	47
	Subtotal	138	75	0	0	0	4	62	0.4	35
Centro	Centro de Alto Rendimiento	66	72	0	0	0	4	90	0.6	38
	Subtotal	66	72	0	0	0	4	90	0.6	38
Suroccidente	Puente Aranda	90	98	0	0	0	0	56	0.4	31
	Kennedy	42	46	0	0	0	0	45	0.3	24
	Carvajal-Sevillana	88	96	0	0	0	2	82	0.6	54
	Subtotal	220	80	0	0	0	2	61	0.4	36
Sur	Tunal	91	99	0	0	0	0	64	0.4	30
	Subtotal	91	99	0	0	0	0	64	0.4	30

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO₂ MAM 2015

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO ₂										
[Norma: 750 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Noroccidente	Suba	2006	91	0	0	0	0	84	0.11	9
	Las Ferias	1493	68	0	0	0	0	21	0.03	3
	Subtotal	3499	80	0	0	0	0	52	0.07	6
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1473	67	0	0	0	0	17	0.02	3
	Subtotal	1473	67	0	0	0	0	17	0.02	3
Suroccidente	Puente Aranda	2149	97	0	0	0	0	20	0.03	2
	Kennedy	1203	54	0	0	0	0	30	0.04	5
	Carvajal - Sevillana	1033	47	0	0	0	0	36	0.05	11
	Subtotal	4385	66	0	0	0	0	29	0.04	6
Sur	Tunal	1134	51	0	0	0	0	23	0.03	2
	San Cristóbal	1915	87	0	0	0	0	7	0.01	2
	Subtotal	3049	69	0	0	0	0	15	0.02	2

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios diarios de SO₂, MAM 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de SO ₂										
[Norma diaria: 250 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Noroccidente	Suba	88	96	0	0	0	0	36	0.15	8
	Las Ferias	63	68	0	0	0	0	8	0.03	3
	Subtotal	151	82	0	0	0	0	22	0.09	6
Centro	Centro de Alto Rendimiento	64	70	0	0	0	0	7	0.03	3
	Subtotal	64	70	0	0	0	0	7	0.03	3
Suroccidente	Puente Aranda	89	97	0	0	0	0	5	0.02	2
	Kennedy	51	55	0	0	0	0	13	0.05	5
	Carvajal - Sevillana	43	47	0	0	0	0	21	0.08	11
	Subtotal	183	66	0	0	0	0	13	0.05	6
Sur	Tunal	47	51	0	0	0	0	8	0.03	2
	San Cristóbal	79	86	0	0	0	0	3	0.01	2
	Subtotal	126	69	0	0	0	0	6	0.02	2

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-35. Consolidado de los promedios horarios de CO, MAM 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de CO										
[Norma: 40 mg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Usaquén	1936	88	0	0	0	0	2.3	0.06	0.6
	Subtotal	1936	88	0	0	0	0	2.3	0.06	0.6
Noroccidente	Las ferias	649	29	0	0	0	0	2.4	0.06	0.6
	Subtotal	649	29	0	0	0	0	2.4	0.06	0.6
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1578	71	0	0	0	0	4.2	0.11	0.7
	Subtotal	1578	71	0	0	0	0	4.2	0.11	0.7
Suroccidente	Puente Aranda	2018	91	0	0	0	0	3.4	0.09	0.8
	Kennedy	1269	57	0	0	0	0	2.4	0.06	0.7
	Carvajal-Sevillana	2157	98	0	0	0	0	4.5	0.11	1.4
	Subtotal	5444	82	0	0	0	0	3.4	0.09	0.9
Sur	Tunal	2061	93	0	0	0	0	4.0	0.10	0.8
	San Cristóbal	2142	97	0	0	0	0	2.5	0.06	0.7
	Subtotal	4203	95	0	0	0	0	3.3	0.08	0.7

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-36. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, MAM 2015.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO										
[Norma: 10 mg/m ³]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m ³)*
Norte	Usaquén	1936	88	0	0	0	0	1.6	0.16	0.6
	Subtotal	1936	88	0	0	0	0	1.6	0.16	0.6
Noroccidente	Las ferias	649	29	0	0	0	0	1.7	0.17	0.6
	Subtotal	649	29	0	0	0	0	1.7	0.17	0.6
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1568	71	0	0	0	0	2.4	0.24	0.7
	Subtotal	1568	71	0	0	0	0	2.4	0.24	0.7
Suroccidente	Puente Aranda	2015	91	0	0	0	0	1.8	0.18	0.8
	Kennedy	1258	57	0	0	0	0	1.7	0.17	0.7
	Carvajal-Sevillana	2159	98	0	0	0	0	3.0	0.30	1.4
	Subtotal	5432	82	0	0	0	0	2.2	0.22	1.0
Sur	Tunal	2064	93	0	0	0	0	2.3	0.23	0.8
	San Cristóbal	2139	97	0	0	0	0	1.7	0.17	0.7
	Subtotal	4203	95	0	0	0	0	2.0	0.20	0.7

* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.

4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas durante el trimestre marzo, abril y mayo (MAM) de 2015 asociado a la primera temporada de lluvias en la ciudad de Bogotá. 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 y humedad relativa.

El Niño Oscilación del Sur

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur). A partir del trimestre febrero, marzo, abril (FMA) y durante marzo, abril y mayo (MAM) se consolidó El Niño según los informes emitidos por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), en donde el índice oceánico de EL NIÑO (ONI) alcanzó el valor de 0.5 y 0.7 respectivamente. Asociado a este evento se considera una reducción significativa de los volúmenes de precipitación, condición que normalmente afecta gran parte de la sabana de Bogotá.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del noreste y sureste, los cuales confluyen en la zona tropical formando la llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra genera las temporadas de lluvia en el país (Hurtado, 2000). Regularmente la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía modificando la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad (500 a 1000 mm en promedio (IDEAM, 2010)). La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado). Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá se resumen desde el punto de vista horario y mensual en la **Figura 4-1**, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde y primeras horas de la noche.

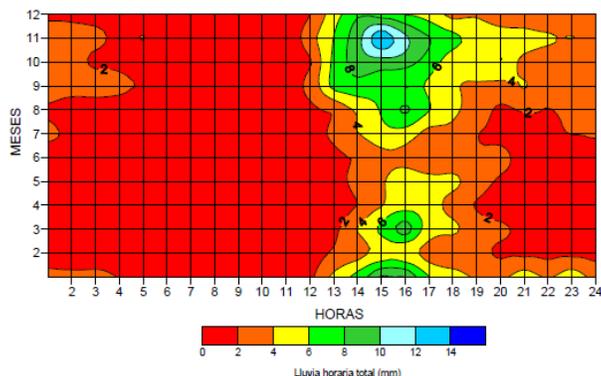


Figura 4-1. Esquematación hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto El Dorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013)

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la tabla 1.1 en donde se observa la representatividad de los datos recolectados.

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual de la red en el periodo 1998 – 2014, el promedio mensual de la estación del aeropuerto El Dorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB, partiendo desde el mes de junio de 2014 hasta mayo de 2015. El año 2015 se caracterizó por un inicio relativamente regular y coincidente con la climatología, con valores bajos para los primeros meses y tendiendo a incrementarse en el mes de marzo muy cerca tanto de los valores promedio de la RMCAB como de lo registrado por el IDEAM. No obstante los siguientes dos meses, particularmente en mayo, se observaron precipitaciones moderadamente bajas de 53 mm y 20 mm en ciudad con un déficit del 45% y 78% en abril y mayo, respectivamente. Las estaciones con menor volumen fueron Centro de Alto Rendimiento con 12.9 mm y Kennedy con 15.5 mm, ambas en el último mes. En marzo se registraron los acumulados más altos, en Las Ferias con 154 mm y en Centro de Alto Rendimiento con 136 mm. Por su parte en abril se resalta el comportamiento del norte de la ciudad; en la estación de Suba se alcanzaron 109 mm mientras que a unos pocos kilómetros, en Usaquén, se registraron tan sólo 18 mm (ver Figura 4-3). Es importante resaltar que los promedios de la RMCAB aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

De otra parte, los acumulados trimestrales multianuales de los trimestres MAM muestran que a partir de 2010 existe una tendencia negativa en el acumulado de lluvia, siendo el trimestre de 2015 el más bajo en los últimos 7 años solamente superado por 2007 con 158 mm y 2001 con 169 mm. Es interesante notar que la tendencia de los últimos tres años de los trimestres DEF y SON han sido positivas, contrario a los trimestres MAM y JJA. Asimismo se nota que el acumulado de la primera temporada seca de Bogotá en 2015 alcanzó un valor ligeramente superior a la primera temporada húmeda del año. (Figura 4-2). En esta temporada, las estaciones Centro de alto Rendimiento, Kennedy, Minambiente y San Cristóbal alcanzaron sus mínimos históricos como se puede observar en la tabla 4-1

Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante el trimestre MAM.

Estación	Mar.-2015	Abr.-2015	May.-2015
Carvajal	66.9	58.6	14.2
Centro de Alto Rendimiento	135.8	38.8	12.9
Guaymaral	78.6	52	27.4
Kennedy	70.2	53.3	15.5
Las_Ferías	154	54.9	20.3
MinAmbiente	111.2	41.8	17.7
Puente Aranda	79.2	48.6	31
San Cristóbal	102.8	39.6	21.4
Suba	102.2	109.2	16.5
Tunal	75.3	67.5	17.2
Usaquén	98	18.5	31.6
Promedio	97.7	53	20.5

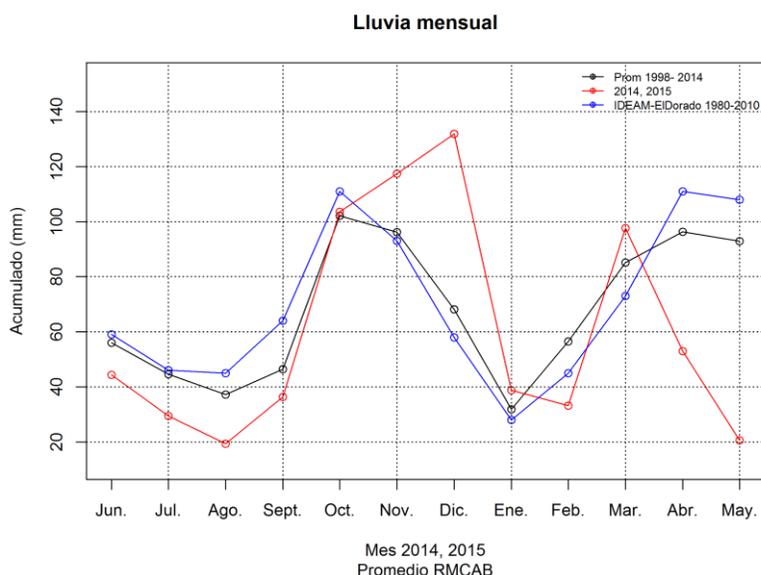


Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.

En la Figura 4-4, se presenta la lluvia en escala horaria y mensual, de manera que el eje de las abscisas presenta los meses desde junio de 2014 hasta mayo de 2015, en el eje de las ordenadas la hora y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el último año. Todas las estaciones mostraron una tendencia al descenso durante los últimos meses y en zonas como Minambiente y Puente Aranda las lluvias tendieron a presentarse más temprano. Las madrugadas de Suba fueron las más lluviosas en especial en abril, mientras que en las mañanas los acumulados no fueron significativos. Las tardes de marzo de Usaquén, Las Ferías y San Cristóbal fueron las más representativas.

Lluvia trimestral multianual

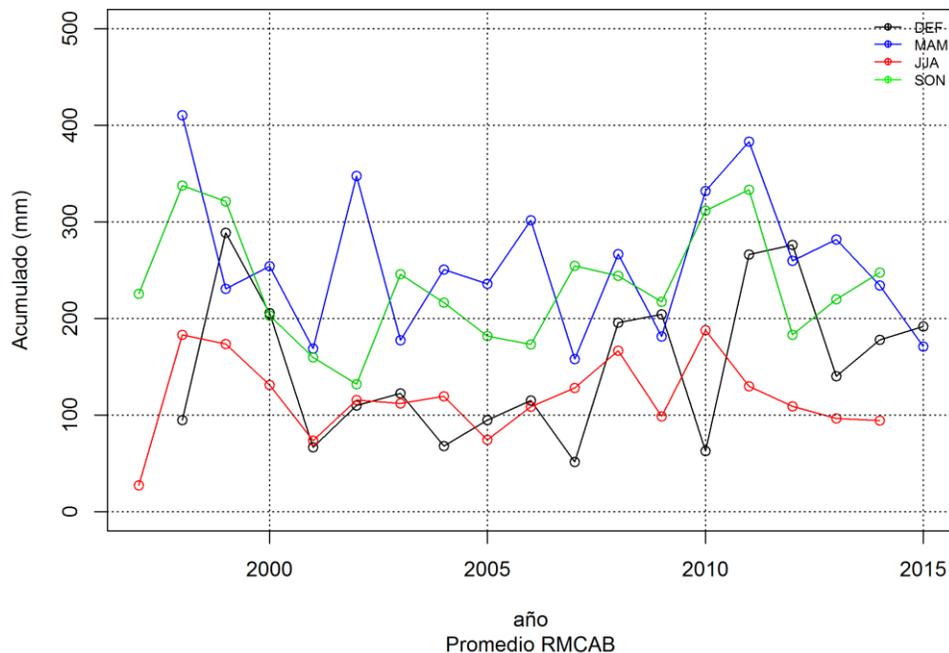


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta MAM 2015.

Tabla 4-2. Acumulados de los trimestres marzo, abril y mayo multianuales y por estación.

Estaciones	2000 MAM	2001 MAM	2002 MAM	2003 MAM	2004 MAM	2005 MAM	2006 MAM	2007 MAM	2008 MAM	2009 MAM	2010 MAM	2011 MAM	2012 MAM	2013 MAM	2014 MAM	2015 MAM
Cade_Energia	214	173	390	209	159											
Carvajal	199	95	275	130	241		302	216	304	139	246	386	278	293	204	140
Cazuca	164	86	253	69	237		279	96	228							
Centro_de_Alto_Rendimiento					224	295			204	259	529	565	301	359	385	188
Chico_lago_Sto_Tomas.	229	160	419	121	311	136	387	264		222	475					
Fontibon	177	192	308	183	288	225	319	131		100	194	153	53	158	116	
Guaymaral	353		294						119	322	164	320	429	164	338	200
Kennedy							178		302	143	220	384		224	235	139
Las_Ferias	124	219		195		305	377			196	409	430	331	369	299	229
MinAmbiente	229	215	369	240						232	426		315	339	231	171
Olaya	524	198														
Puente_Aranda		210	426	188		133	214	157	199	416	284	231	287	225	183	159
San_Cristobal													340		338	164
Suba	80	132			294		168			166	287	465	346	312	205	228
Tunal									269	138	343	398	148	263	160	160
Univ_Nacional	215	178														
Usaquen	544		395	264		322	240	214	203	88	456	408	295	217	256	148
USME							415	97	273							
Vitelma							442	128	363	99	128	368				
Promedio(sin coordenada)	254	169	348	178	251	236	302	158	267	182	332	383	260	282	234	171

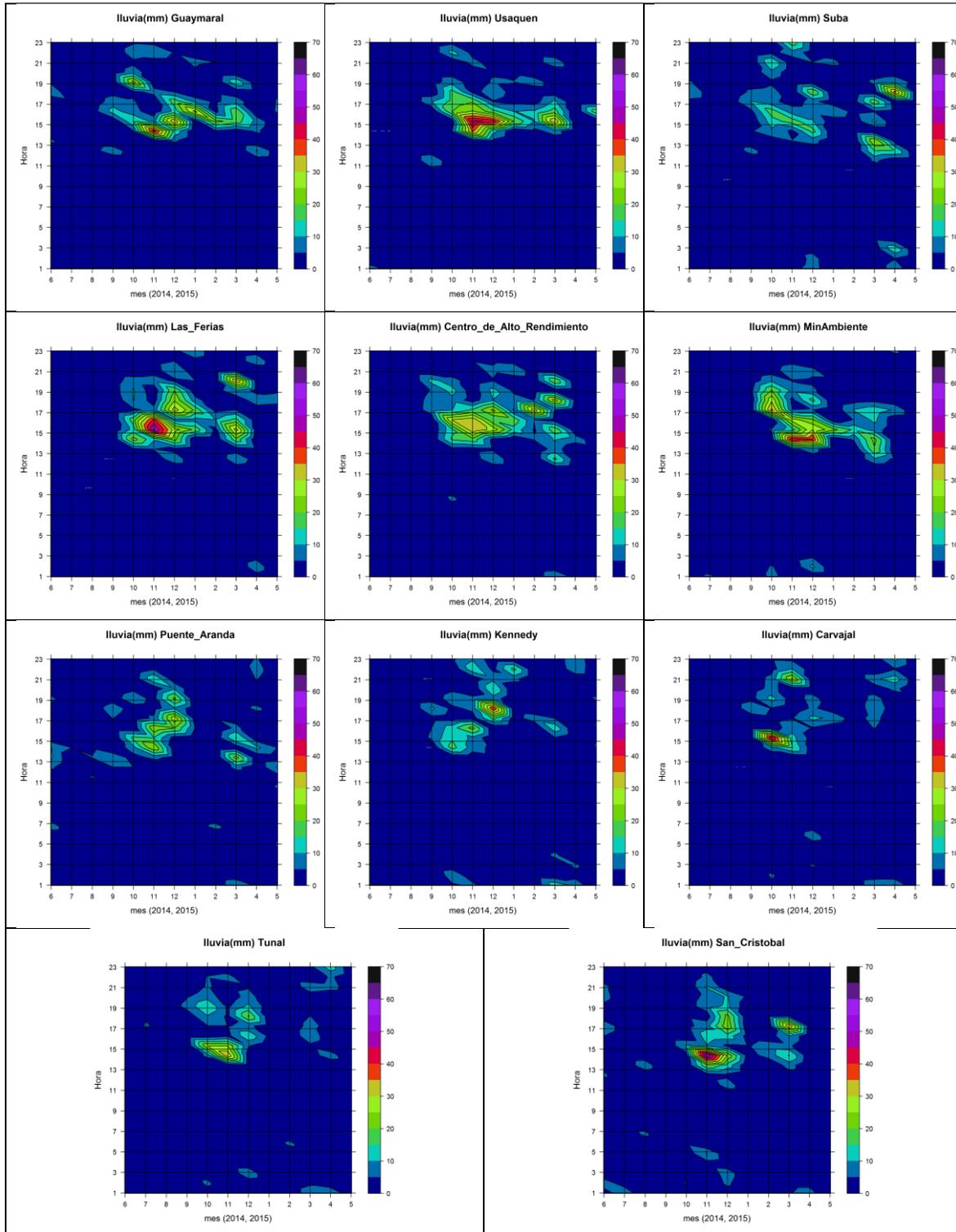


Figura 4-4. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.

El comportamiento deficitario del trimestre no se manifestó de manera significativa en el número de días con lluvia; en especial para marzo y abril, mientras que en mayo el promedio de días con lluvia fue menor de acuerdo a la Figura 4-5. Esto puede ser explicado por presencia de lloviznas o lluvias ligeras durante el trimestre.

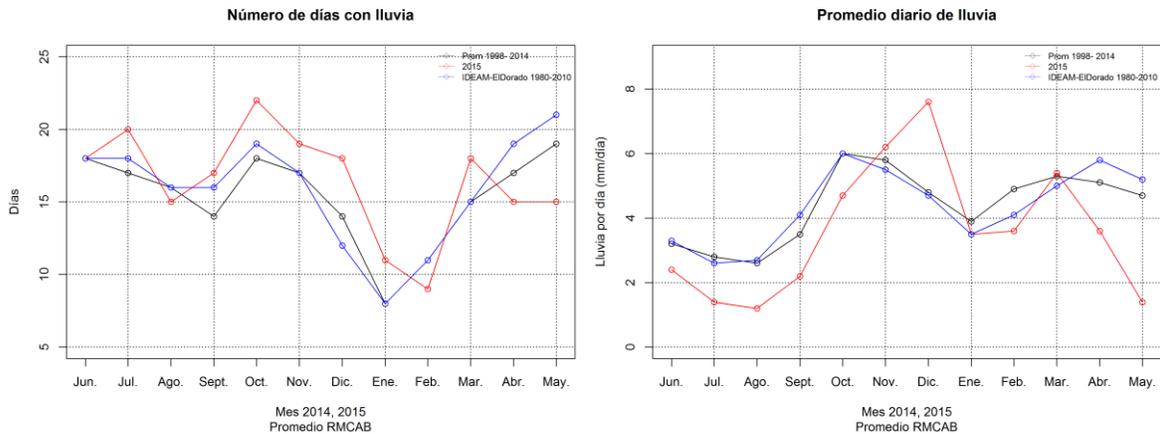


Figura 4-5. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.

El mapa de la Figura 4-6. (izquierda) muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación del trimestre MAM sobre esta superficie. En el periodo los mayores acumulados se presentaron en zonas del occidente y noroccidente en las localidades de Engativá y de Suba, mientras que en el resto de la ciudad tendieron a prevalecer valores homogéneos. Los acumulados más bajos se concentraron en la localidad de Kennedy, siendo esta estación la de menor volumen de lluvia. Para determinar cambios significativos, el mapa de anomalías de lluvia (Figura 4-6. (derecha)) se construye a partir de las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el trimestre MAM y su similar en el periodo histórico que tenga la estación, algunas desde 1998 hasta 2014 (**Figura 4-6**); es evidente la disminución de precipitación en la ciudad en especial hacia la zona oriental en donde las localidades de Chapinero, Teusaquillo, Candelaria y San Cristóbal presentaron las anomalías más significativas.

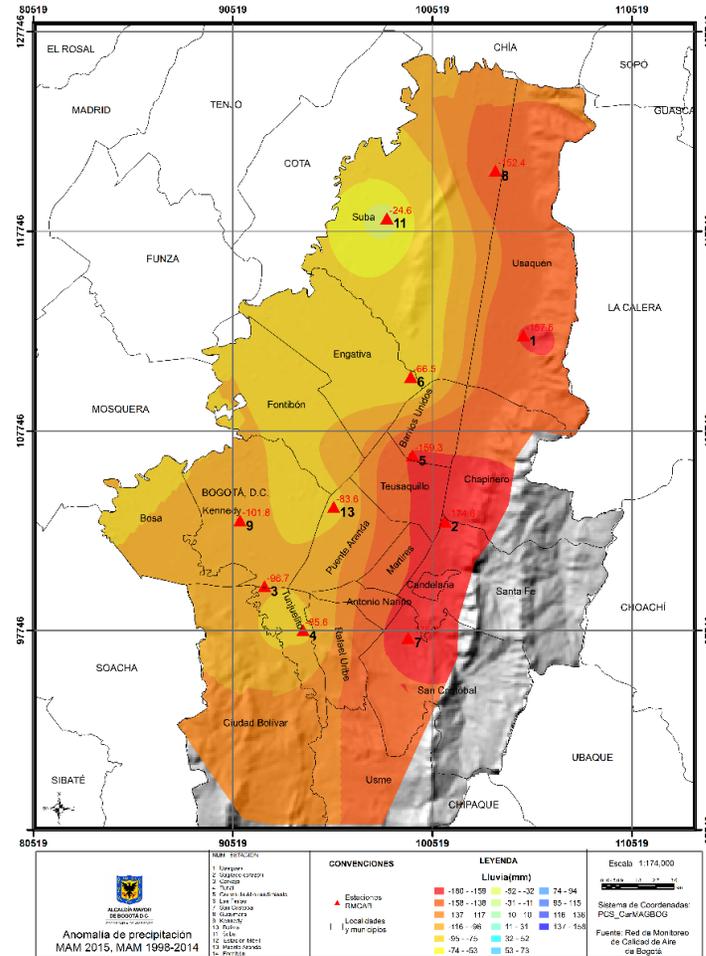
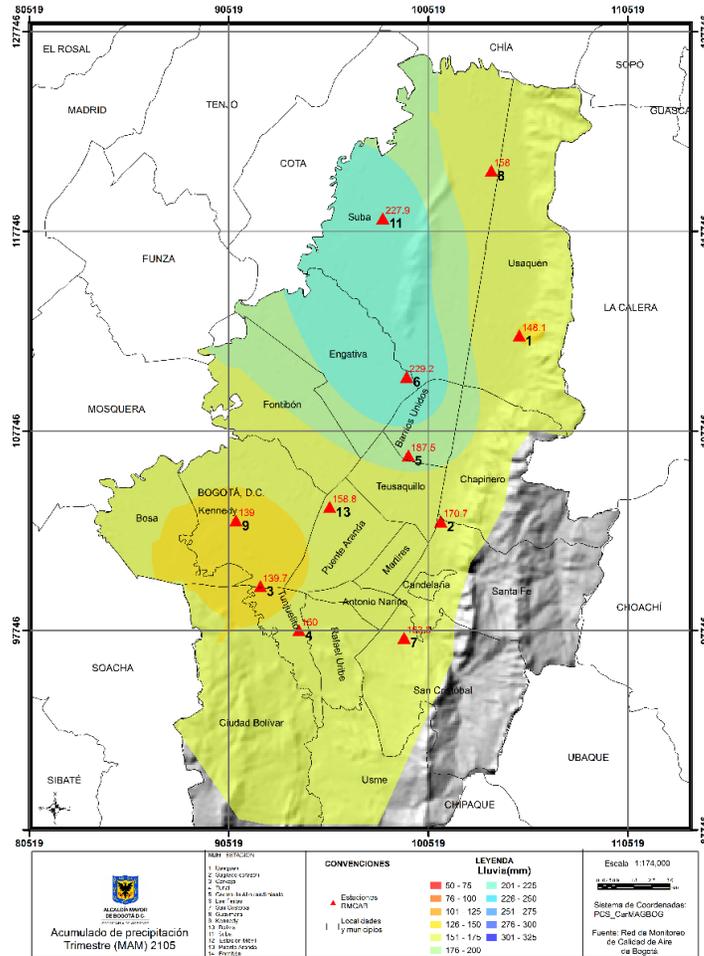


Figura 4-6. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM (a la izquierda). Anomalia de precipitación en la ciudad de Bogotá (a la derecha).

4.2. Vientos

Durante el trimestre MAM la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones según se observa en la tabla 4-3, la cual presenta la representatividad de los datos recolectados en el periodo. Por su parte, la Figura 4-7 presenta los valores promedio de velocidad y predominancia de la dirección de los vientos durante el año en grupos horarios y diarios. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de las tardes, particularmente en las estaciones de Kennedy, Puente Aranda y Carvajal, con vientos máximos promediados de hasta 5.0 m/s en Kennedy y 4.8 m/s en Puente Aranda. Por el contrario Tunal y Guaymaral registraron vientos de 1.1 y 1.0 m/s promedio diario, alcanzando valores máximos de 2.6 m/s respectivamente.

Tabla 4-3. Valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.

Estación	Velocidad del viento						Dirección del viento				
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Max prom	Predomina ncia	madrugada	mañana	tarde	noche
Carvajal	1.7	2.6	3.5	2.4	2.3	4.4	180	180	180	180	180
Centro de Alto Rendimiento	1	1.6	2.2	1.2	1.4	3.3	90	315	90	135	90
Guaymaral	0.5	1.2	1.8	0.8	1	2.6	90	0	90	90	90
Kennedy	1.7	2.7	4	2.5	2.5	5.0	135	135	135	135	135
Las Ferias	1.5	2.1	2.5	1.8	1.8	3.7	90	45	90	90	90
MinAmbiente	1.1	1.9	2.7	1.6	1.7	4.2	90	135	90	90	90
Puente Aranda	1.2	2.2	3.5	1.9	2	4.8	135	315	135	135	180
San Cristobal	0.8	1	1.4	1	1.9	1.8	90	90	90	90	90
Suba	0.9	2.2	2.7	1.2	1.9	3.9	45	0	45	90	0
Tunal	0.7	1.3	1.9	1	1.1	2.6	180	180	180	180	180

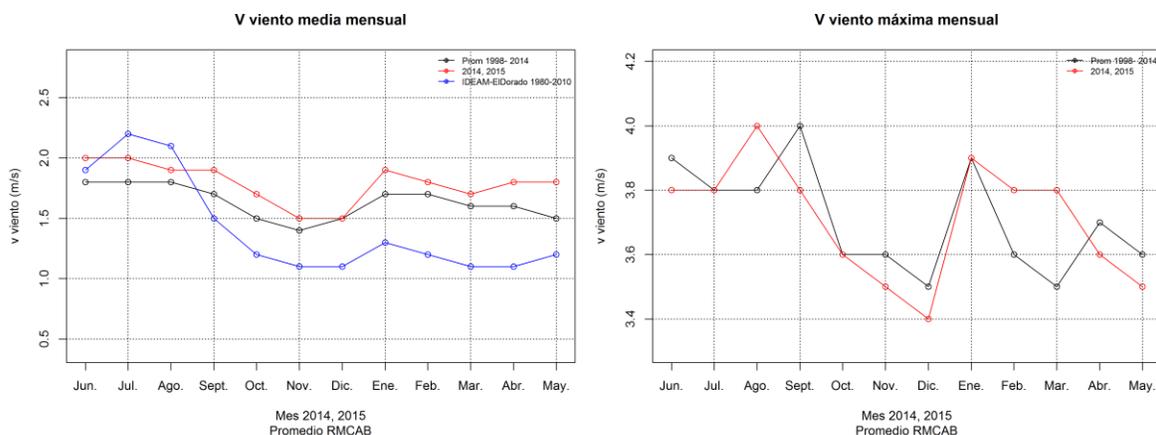


Figura 4-7. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

La velocidad del viento media mensual fue superior a lo esperado históricamente, particularmente en el mes de mayo (Figura 4-7), mientras que los meses del primer trimestre fueron similares a la historia de la red. La Tabla 4-4 presenta los promedios del trimestre

MAM para cada una de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015. Las estaciones de Kennedy y Minambiente alcanzaron sus máximos históricos para el trimestre, mientras que por el contrario San Cristóbal presentó su mínimo valor, (téngase en cuenta su corta historia). Por su parte, la Figura 4-8 presenta el comportamiento multianual de los promedios trimestrales; los últimos años de los trimestres MAM han presentado valores de velocidad del viento similares desde 2010 con un promedio de 1.8 m/s.

Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en los trimestres MAM desde 2000 hasta 2015.

Estación	2000 MAM	2001 MAM	2002 MAM	2003 MAM	2004 MAM	2005 MAM	2006 MAM	2007 MAM	2008 MAM	2009 MAM	2010 MAM	2011 MAM	2012 MAM	2013 MAM	2014 MAM	2015 MAM
Cade_Energia	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8											
Carvajal	1	1	1.1	3.2			1.1	2	1.6	2.3	2.1	2	2.3	2.2	2.3	2.5
Cazuca	1.6	2	2.2	2.3	2.7		2.3		2.5							
Central_de_Mezclas																
Centro_de_Alto_Rendimiento					0.8	2.5			1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.4	1.5
Chico_lago_Sto_Tomas.	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5			1.2			0.9					
Fontibon	2.1	2.6	2.7	2.7	2.5	2.6	2.5	3	2.6	2.8	2.7	2.8	3	2.8	2.8	
Guaymaral	0.7		0.6					1	1.2	1.3		0.9	1	0.9	1	1.1
Kennedy							1.2		2.3	2.6	2.5	2.3	2.4	2.4	2.5	2.7
Las_Ferias	2.1	1.7		1.6		1.5	1.1	1.4	2.4	1.9	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	2.0
MinAmbiente	0.4	0.4	0.4	0.5						1.5	0.9			1.7	1.7	1.8
Olaya	1.7	2														
Puente_Aranda		2	2.4	2.5	2.4	2.6	2.4	2.5	2.7	2.6	2.7	2.6	1.9	1.9	2	2.2
San_Cristobal													1.7		1.9	1
Suba	1.4	1.5		1.7	1.6				0.4		0.9	1.6	1.9	1.8	1.9	1.7
Tunal								2.2	1.4	1.2	1.1	1.1	1	1	1.1	1.2
Univ_Nacional	0.4	0.6														
Usaquen	1.1		1	1.2		1.6	1.9	1.6	0.7	0.6	1	1.3	1.5	1.7	1	1.7
USME							2.6	2.4	3.7							
Vitelma							1.7	1.4	1.5	1.6						
Promedio	1.1	1.4	1.3	1.7	1.6	2.2	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

V viento trimestral multianual

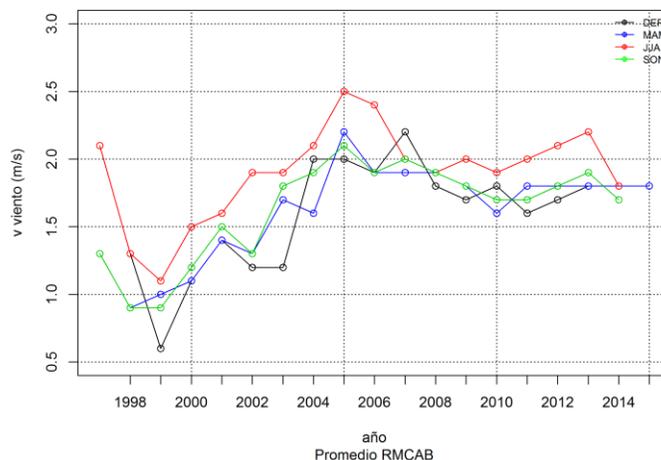


Figura 4-8. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.

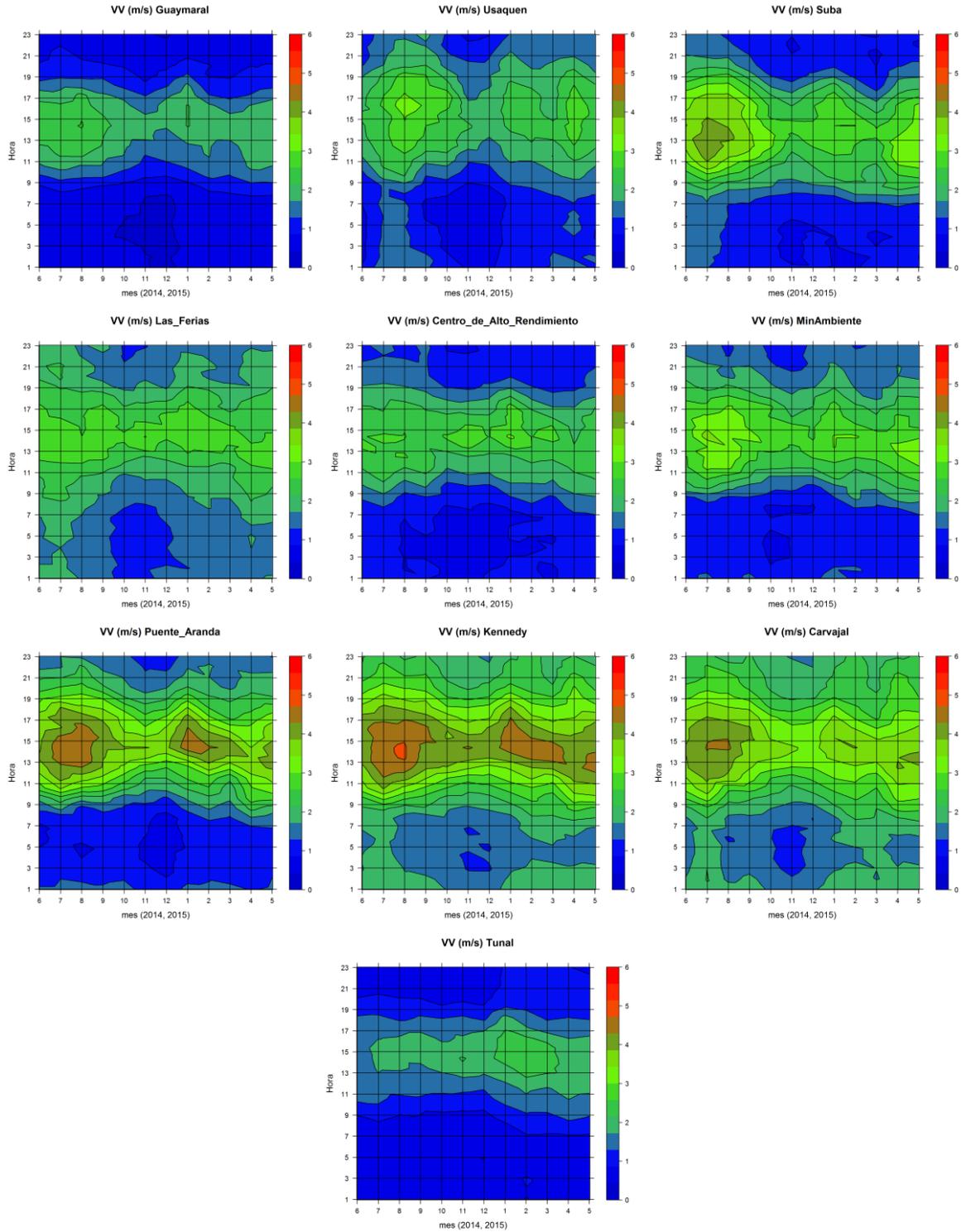


Figura 4-10. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año (marzo 2014 - febrero 2015)

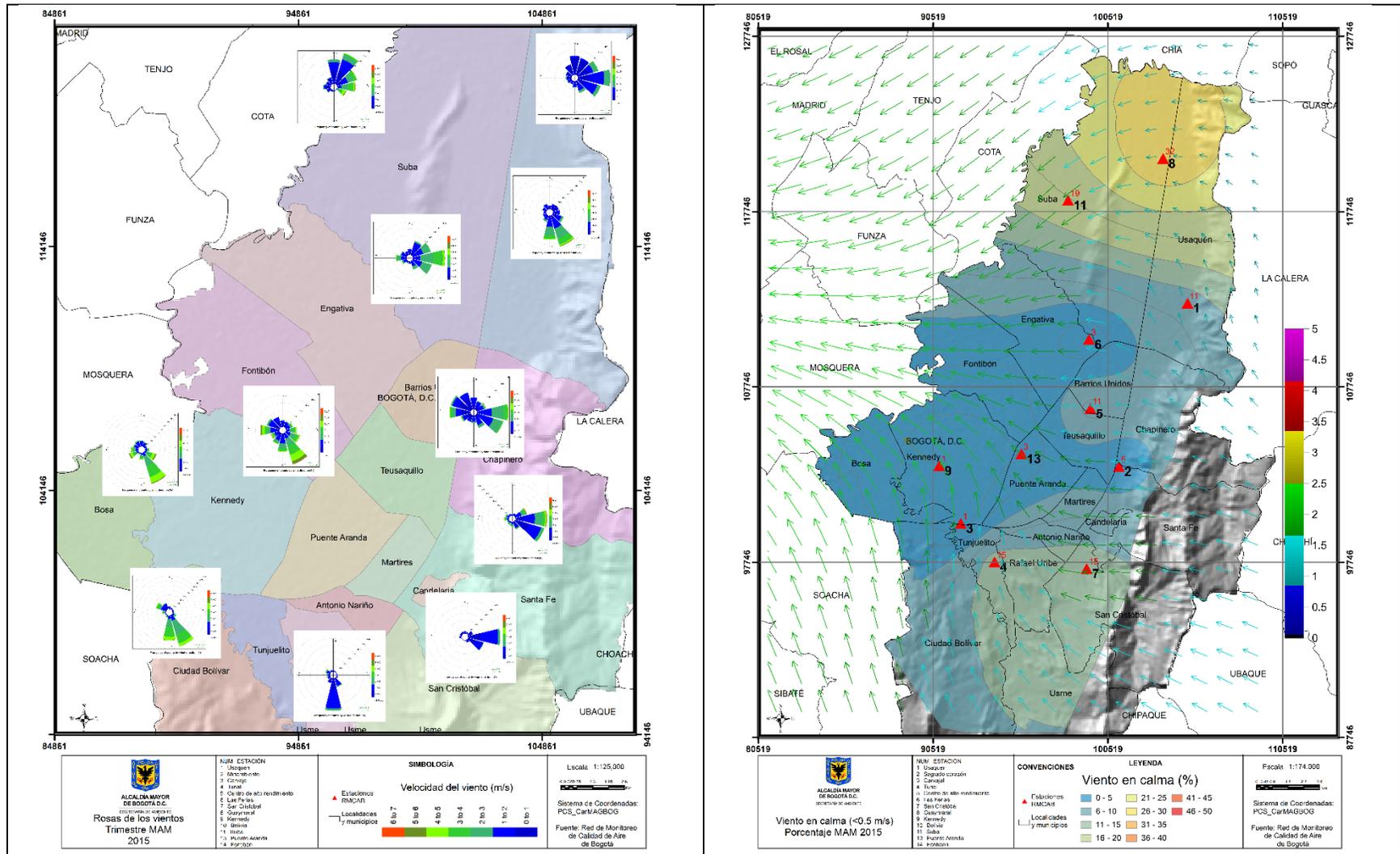


Figura 4-11. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (<0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

El mapa de la Figura 4-12 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento en el trimestre MAM sobre esta superficie utilizando el método de *Kriging*. Asimismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos interpolados a partir de los datos de velocidad y dirección del viento de cada estación. Según lo descrito anteriormente, se puede observar que la tendencia de la velocidad del viento espacialmente tiende a presentar velocidades bajas al norte, nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del noreste - este y sureste - este en los extremos norte y sur de la capital, aunque durante el trimestre no fue tan clara la confluencia de los vientos en sectores de las afueras de la ciudad; esta condición pudo apoyar el déficit de precipitaciones observado en el periodo. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 2.5 m/s en promedio diario.

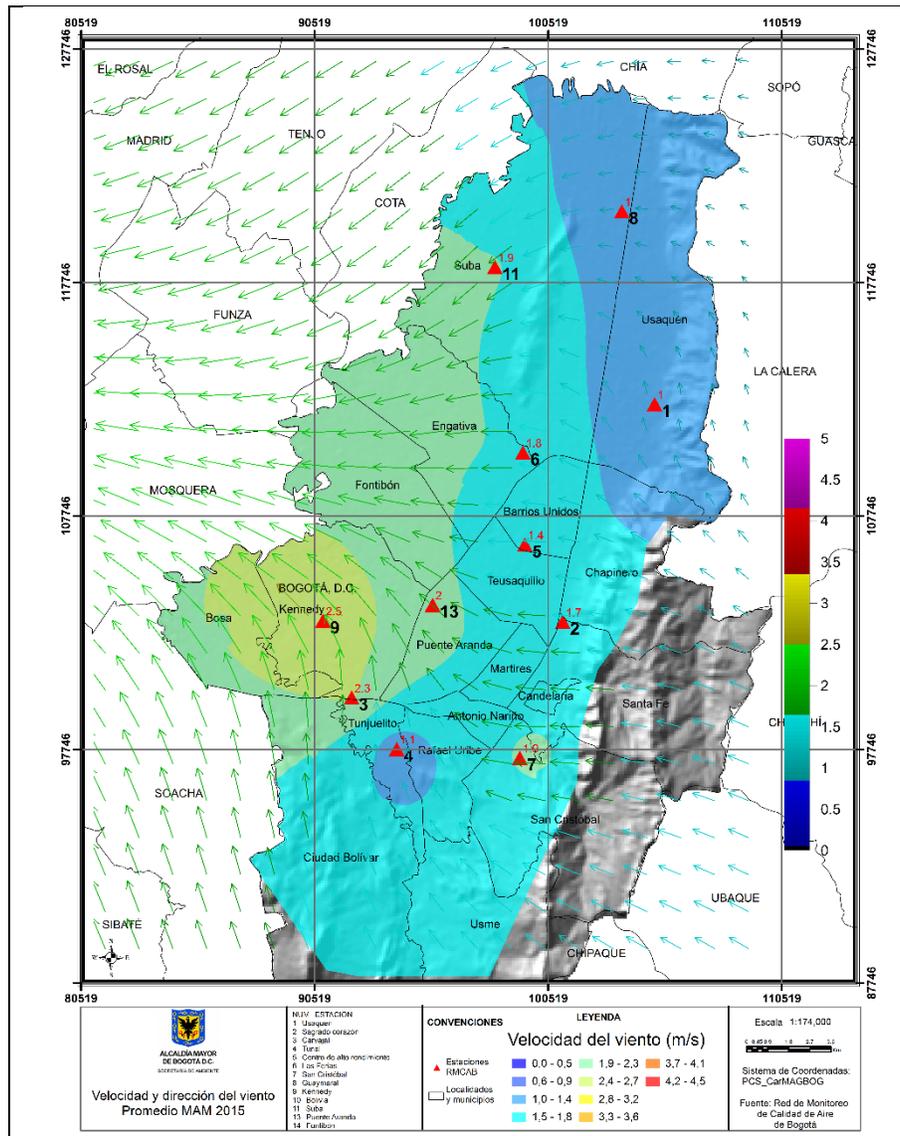


Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el trimestre MAM.

4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el trimestre para la temperatura se presentan en Tabla 1.1. Durante el trimestre se notó un incremento de la temperatura superficial, en especial en el mes de mayo donde se alcanzó una diferencia de 1.4°C con respecto a lo esperado en la historia de la red, como se puede ver en Figura 4-13 en la cual se puede comparar con el comportamiento climatológico de la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM, curva que muestra que en el mes de mayo se alcanzan las temperaturas promedio más altas, significativamente por debajo de lo presentado en el promedio de la RMCAB.

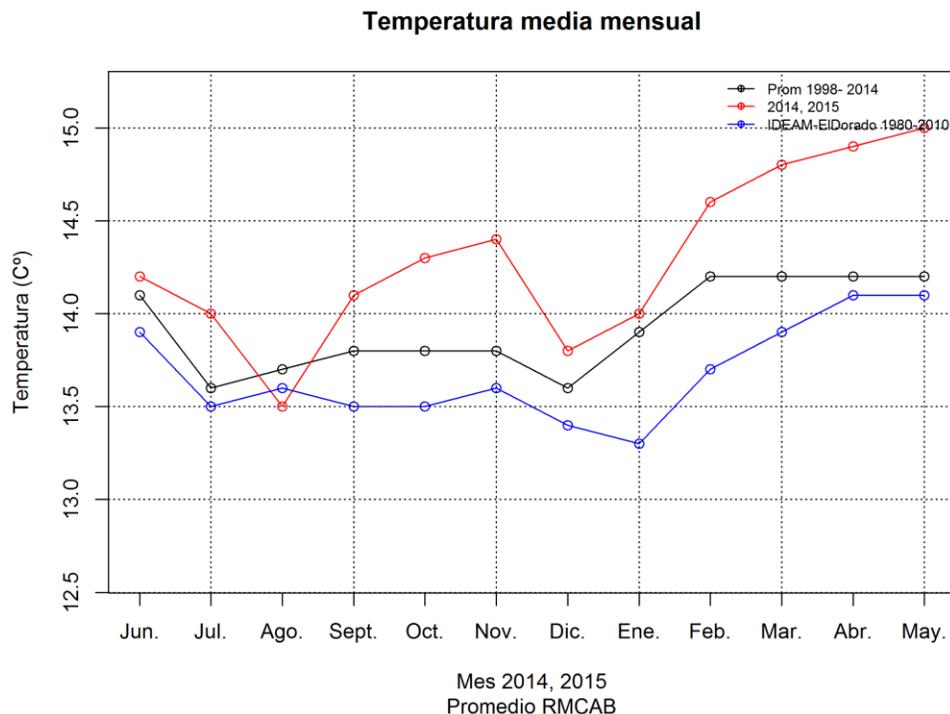


Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2014.

La Figura 4-14 muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 1998-2015. A lo largo de la historia del trimestre MAM se advierten valores por encima del resto de trimestres y se nota un incremento significativo en los últimos tres años, solamente superado por los periodos 2001, 2003, 2005 y 2010. En este trimestre, las estaciones de San Cristóbal y Suba alcanzaron los valores más altos de los registros históricos. En Figura 4-15, se aprecian los valores de todas las estaciones a lo largo de la historia de la red.

Temperatura trimestral multianual

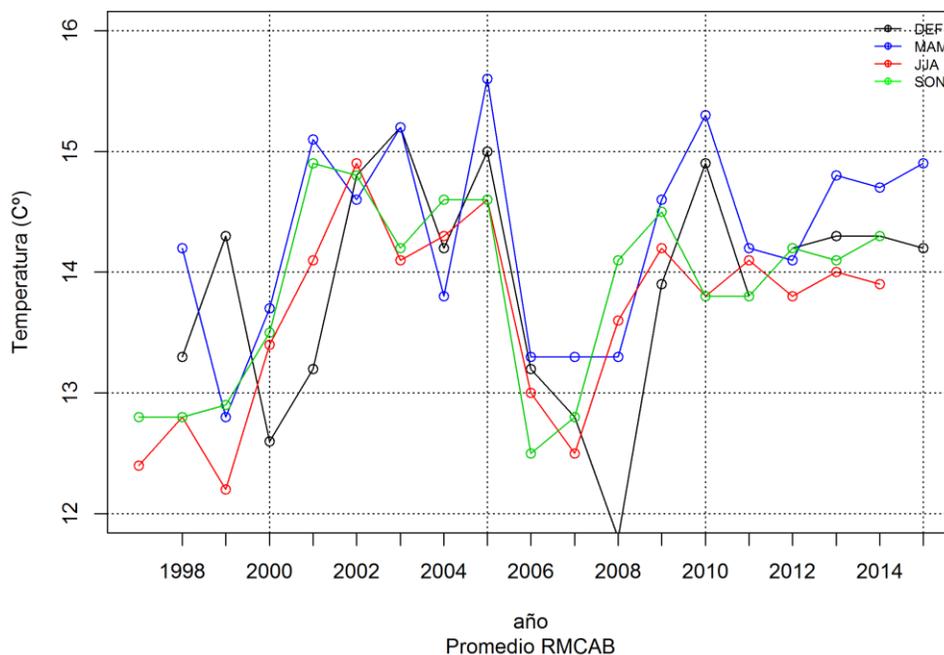


Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2015.

Tabla 4-5. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en los trimestres MAM de 2000 a 2015.

Estaciones	2000 MAM	2001 MAM	2002 MAM	2003 MAM	2004 MAM	2005 MAM	2006 MAM	2007 MAM	2008 MAM	2009 MAM	2010 MAM	2011 MAM	2012 MAM	2013 MAM	2014 MAM	2015 MAM
Carvajal							12.8	11.8	14.9	15.5	16.3	15.2	15.1	16	15.9	16.1
Cazuca							12.8		10.7							
Centro de Alto Rendimiento						16.7			14.4	14.8	15.6	14.8	14.6	15.2	15.2	15.5
Fontibón	13.8	14.3	14.3	14.4	14.4	14.7	14	14.4	14.5	14.8	15.5	13.8	13.9	14.5	14.4	
Guaymaral									14.2	14.6	15.6	14.7	14.4	15.2	15.1	15.2
Kennedy									12.2	14.8	15.7	14.5	14.5	15.2	15.2	15.5
Las Ferias	16.1	16.3		16.2		15.8			13.6	14.1	15	13.9	13.9	14.5	14.5	14.7
Puente Aranda		14.8	14.9	15.1	14.9	15.3	14.5	15	14	14.7	15.3	14.1	13.9	14.2	14.4	14.4
San Cristóbal													12.9		13.5	13.8
Suba	11.1				12.1		12.8	13.6	13.9	13.4	13.5		14.1	14.8	14.7	14.9
Tunal										14.8		13.4	13.6	13.5	13.6	13.8
Usaquén									10.7	14.1	15.9	14.7	14.5	15.3	15.2	
USME							12.7	12.9	14.6							
Vitelma							13.4	12.3	11.4		13.8	12.8				
Promedio	13.7	15.1	14.6	15.2	13.8	15.6	13.3	13.3	13.3	14.6	15.3	14.2	14.1	14.8	14.7	14.9

Adicionalmente la Tabla 4-6 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el trimestre. En ella se observa que Suba, Tunal, Guaymaral y CDAR presentan las mayores amplitudes

mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 6.3°C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Las temperaturas máximas tendieron a ser mayores comparadas con el promedio histórico de la red, particularmente en el mes de mayo donde se alcanzó un tope de 19.9°C; por su parte las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio en especial en el mes de abril Figura 4-165

Tabla 4-6. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre MAM y su amplitud térmica.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal	20.7	12.8	7.9
Centro de Alto Rendimiento	21.1	11.1	10
Guaymaral	21.2	10.7	10.5
Kennedy	19.3	12.7	6.6
Las Ferias	19.4	11.5	7.9
Puente Aranda	18.1	11.8	6.3
San Cristóbal	17.9	10.8	7.1
Suba	21.3	10.6	10.7
Tunal	20.2	9.7	10.5
Usaquén	19.8	12.3	7.5
Promedio	19.9	11.4	8.5

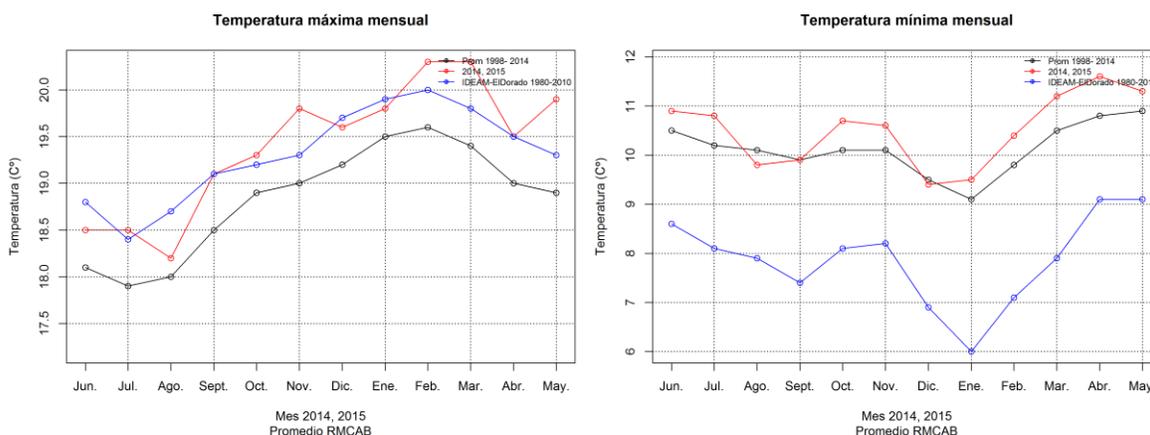


Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015.

De acuerdo a la Figura 4-16 las temperaturas máximas y mínimas influyen en el comportamiento promedio de algunas estaciones que no se caracterizan por tener los valores máximos promedio; es decir, estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de Alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y frías en las madrugadas, a

diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal que mantienen condiciones menos calurosas durante los días y más cálidas hacia las noches. En los meses del trimestre tendió a incrementarse la temperatura en la mayoría de las estaciones en horas del mediodía acompañado de un aumento de la temperatura en la madrugada, particularmente en el último mes. La hora de la temperatura máxima se dio aproximadamente entre las 2 y 3 p.m y las mínimas tendieron a permanecer entre las 4 y 7 am.

La ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones y la interpolación de los promedios de temperatura superficial para el trimestre son presentados en el mapa de Figura 4-17 en donde cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados, principalmente al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital y cerca de los promedios más altos de temperatura, es decir en colindancia. Hacia el norte y centro, localidades como Chapinero, Usaquén y norte de Suba presentan valores ligeramente por encima de lo ocurrido en zonas como Engativá, Fontibón y sur de Suba. Durante el trimestre y de acuerdo al mapa se nota una superficie con altos valores a lo largo de gran parte de la capital.

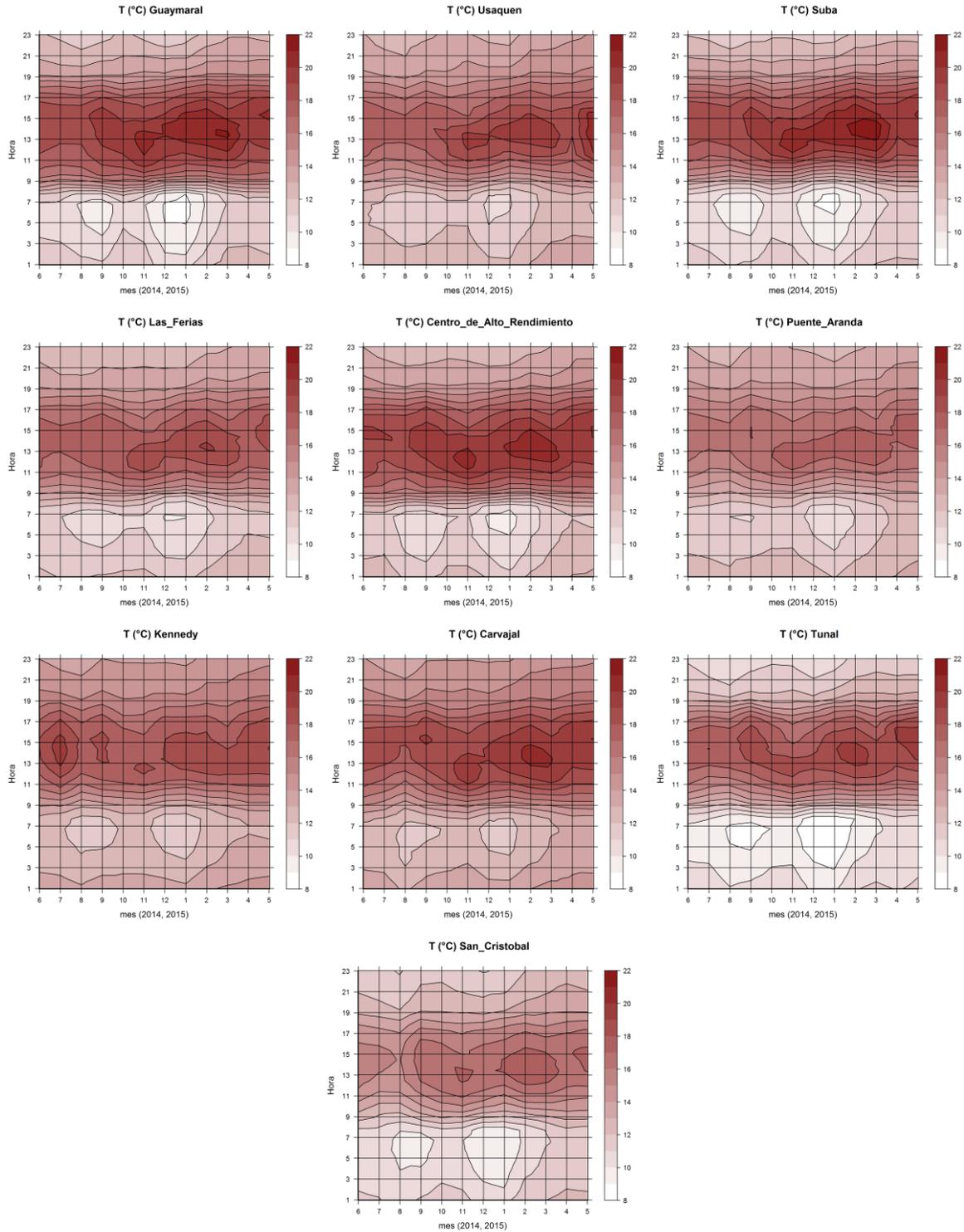


Figura 4-16. Temperatura promedio horario de las estaciones. Junio de 2014 hasta mayo de 2015.

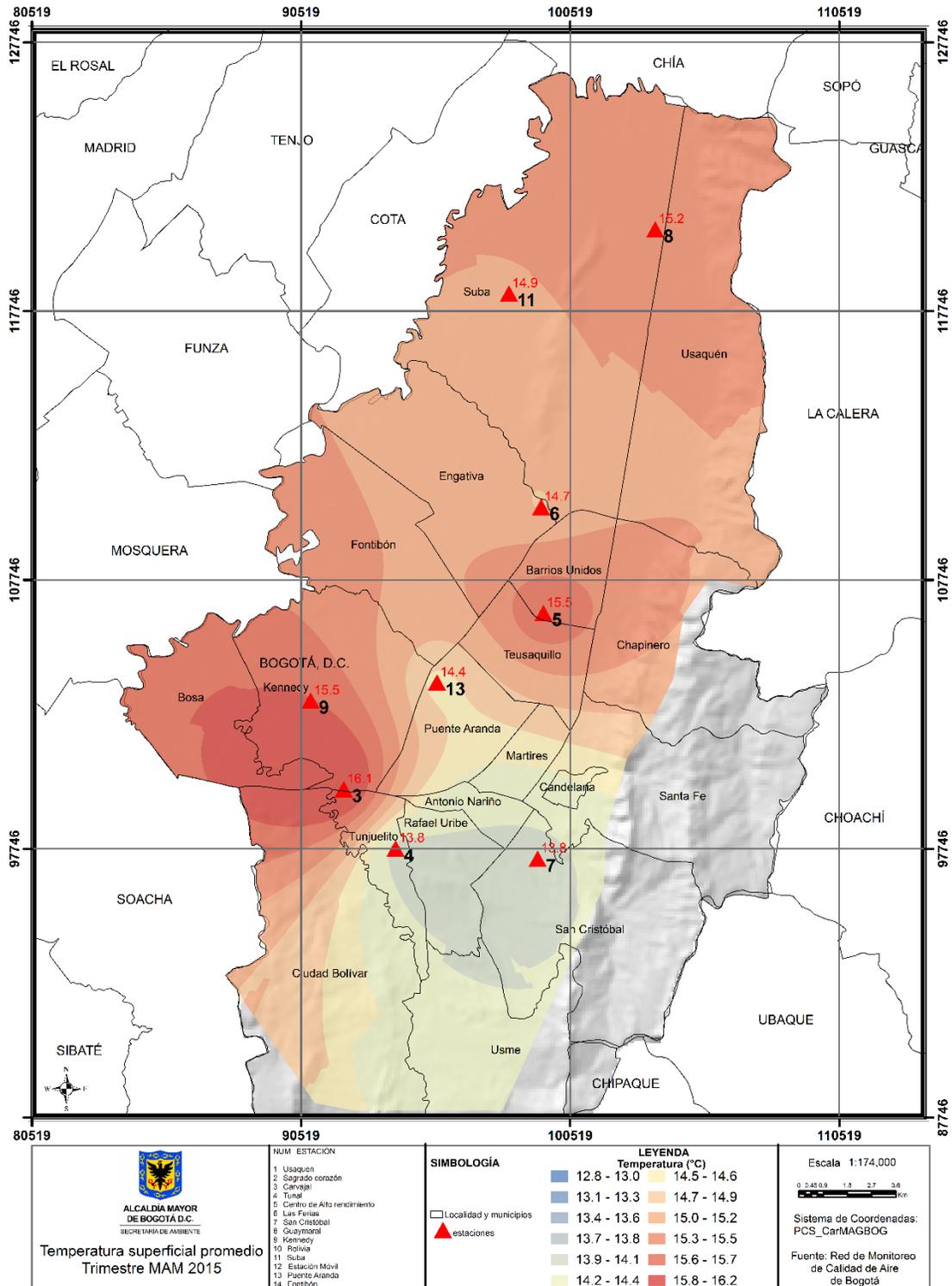


Figura 4-17. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el trimestre MAM.

4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global fue monitoreado por las estaciones descritas en la Tabla 1-1, la cual presenta la representatividad de los datos durante el año.

En el trimestre, la estación San Cristóbal se consolidó como la de mayor acumulado trimestral con 4873 W/m², significativamente menor a Tunal donde el promedio fue de 3579 W/m². De la misma forma, el mes de abril San Cristóbal alcanzó 5261 W/m² en contraste con la estación de Tunal donde en el mismo mes se observó el menor promedio, 3465 W/m². (Tabla 4-7)

Tabla 4-7. Radiación acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB

Estación	Mar.-2015	Abr.-2015	May.-2015	Promedio (W/m ²)
Centro de Alto Rendimiento	3845	3845	4033	3908
Guaymaral	4230	3806	3772	3936
Kennedy	4207	4105	3792	4035
San Cristóbal	4631	5261	4727	4873
Tunal	3623	3465	3648	3579
promedio	4107	4096	3994	4066

La Figura 4-48 muestra los mapas de calor de las estaciones de la RMCAB, en donde en el eje de las abscisas se presenta el mes y en las ordenadas la hora, entre las 6 am y las 7 pm y la gama de colores presenta el acumulado de radiación. San Cristóbal presenta los mayores acumulados de todas las estaciones durante el último año tendiendo a disminuir a lo largo del último trimestre. Este comportamiento no coincide con el resto de estaciones, en particular en la estación de Tunal donde se aprecia un incremento de la radiación en el último mes, en horas del mediodía. Asimismo en las estaciones se aprecia que en las mañanas tendió a disminuir el ingreso de radiación, situación que fue contraria en horas de las tardes.

La Figura 4-19 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2009 hasta 2015. El acumulado promedio de radiación en el trimestre MAM ha tendido a ser constante hasta 2013 y a incrementarse en los últimos dos años, contrario a los trimestres JJA y SON y similar a DEF. En el último año los acumulados mensuales de radiación fueron superiores al promedio de la red en especial en el mes de enero siendo el mayor valor de los últimos doce meses. (Figura 4-20)

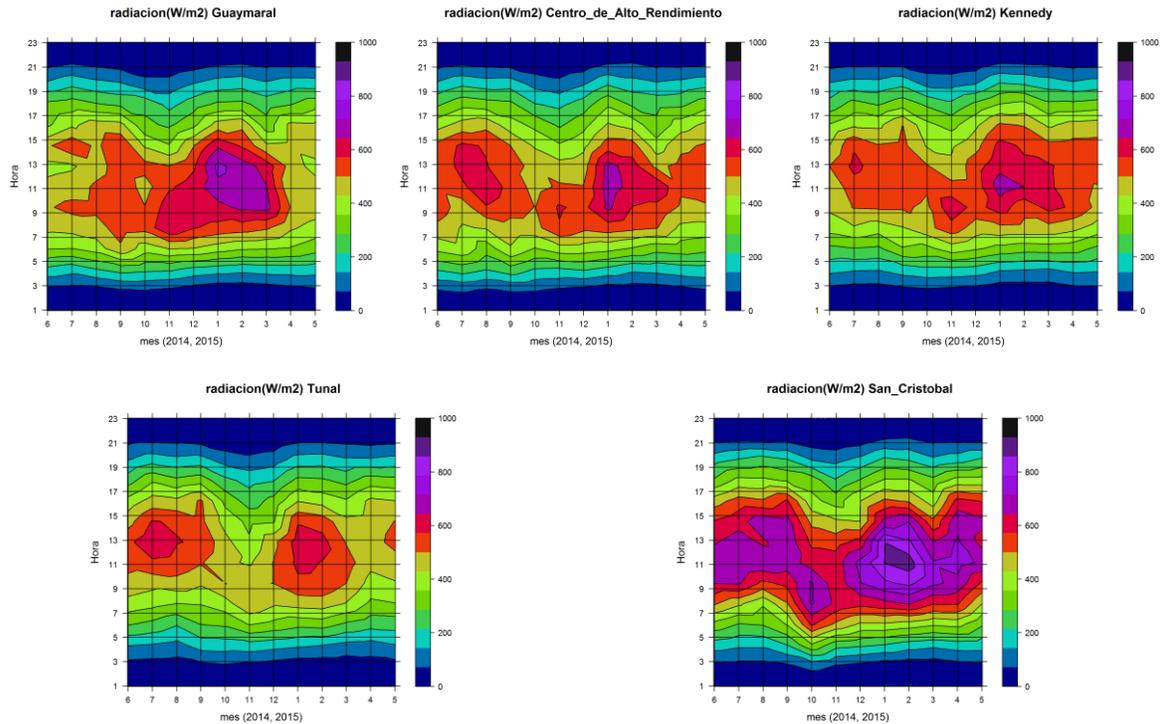


Figura 4-18. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde Junio de 2014 hasta mayo de 2015.

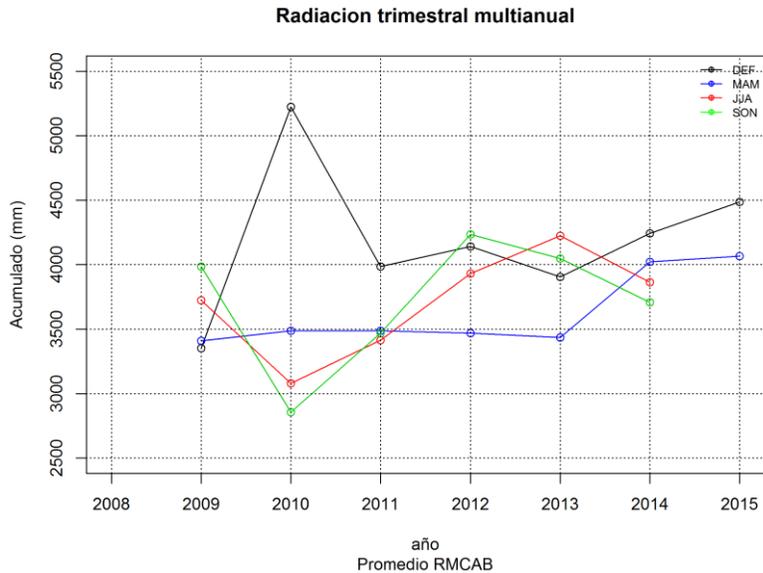


Figura 4-19. Radiación trimestral de los últimos años.

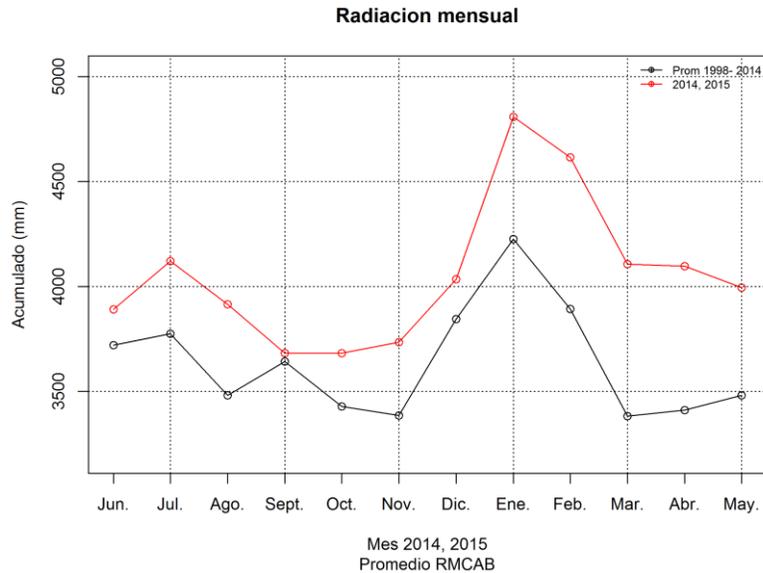


Figura 4-20. Radiación mensual de los últimos años.

4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en Tabla 1-1. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general, depende de la posición geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad). La monomodalidad característica en la ciudad de Bogotá predominó durante el último año, alcanzando una presión significativamente alta en el primer trimestre del año y manteniéndose estable en el trimestre MAM, incluso por debajo de lo esperado en el mes de mayo (Figura 4-21). En la Tabla 4-8 se presentan los datos promedios mensuales de presión por estación en el trimestre.

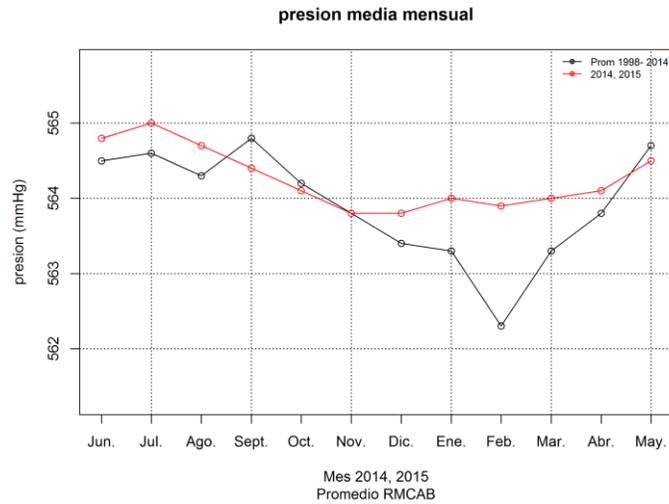


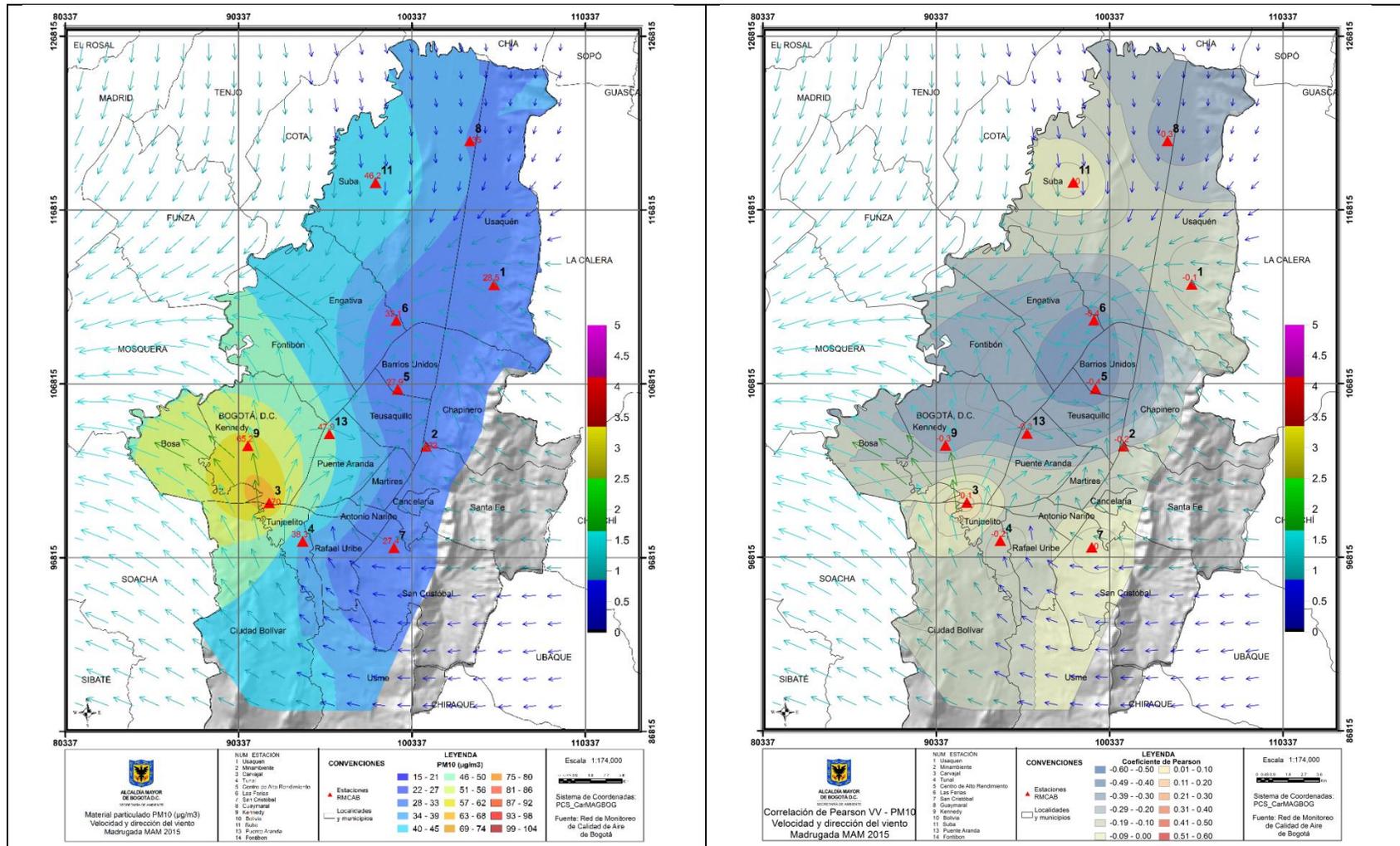
Figura 4-21. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

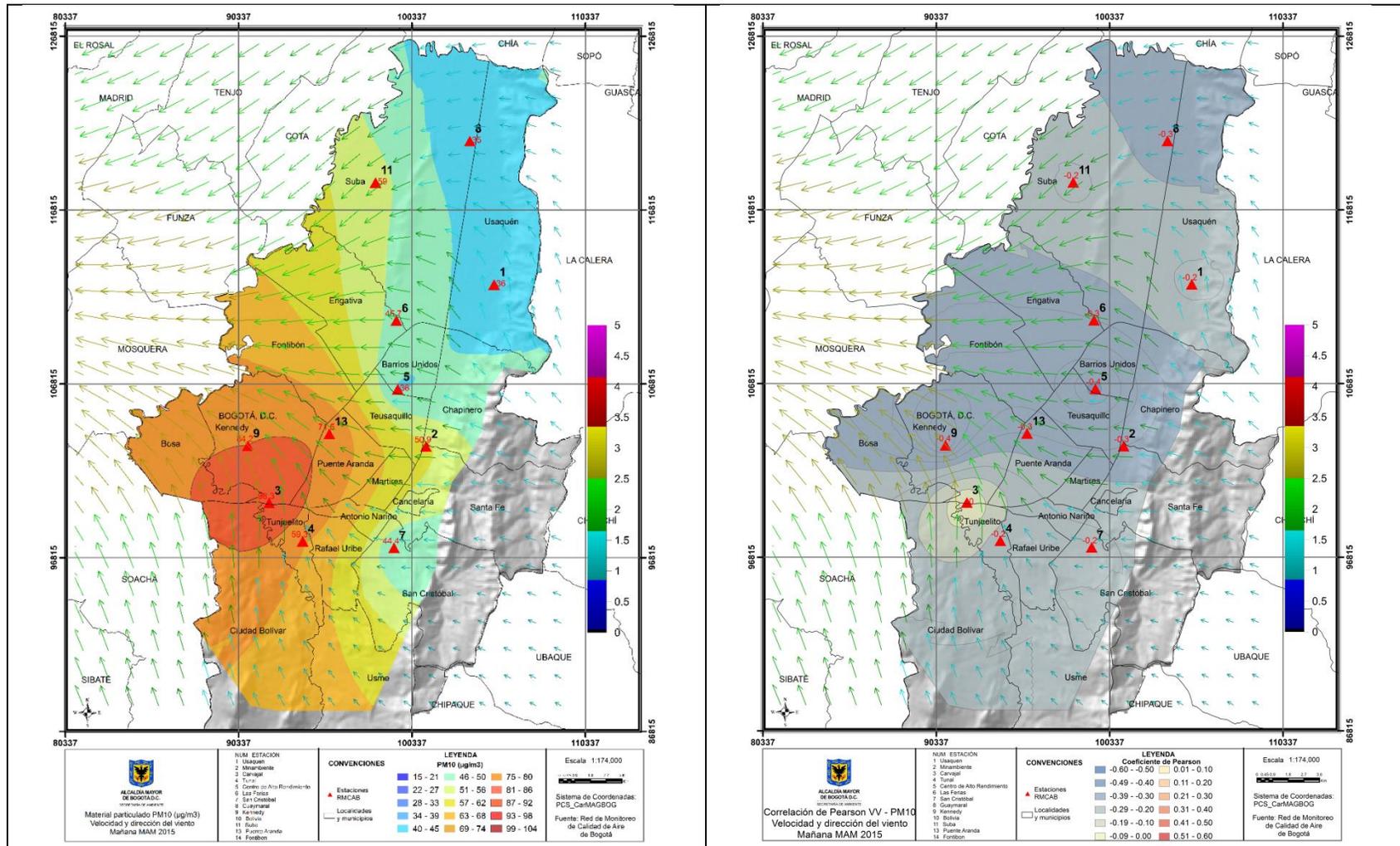
Tabla 4-8. Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.

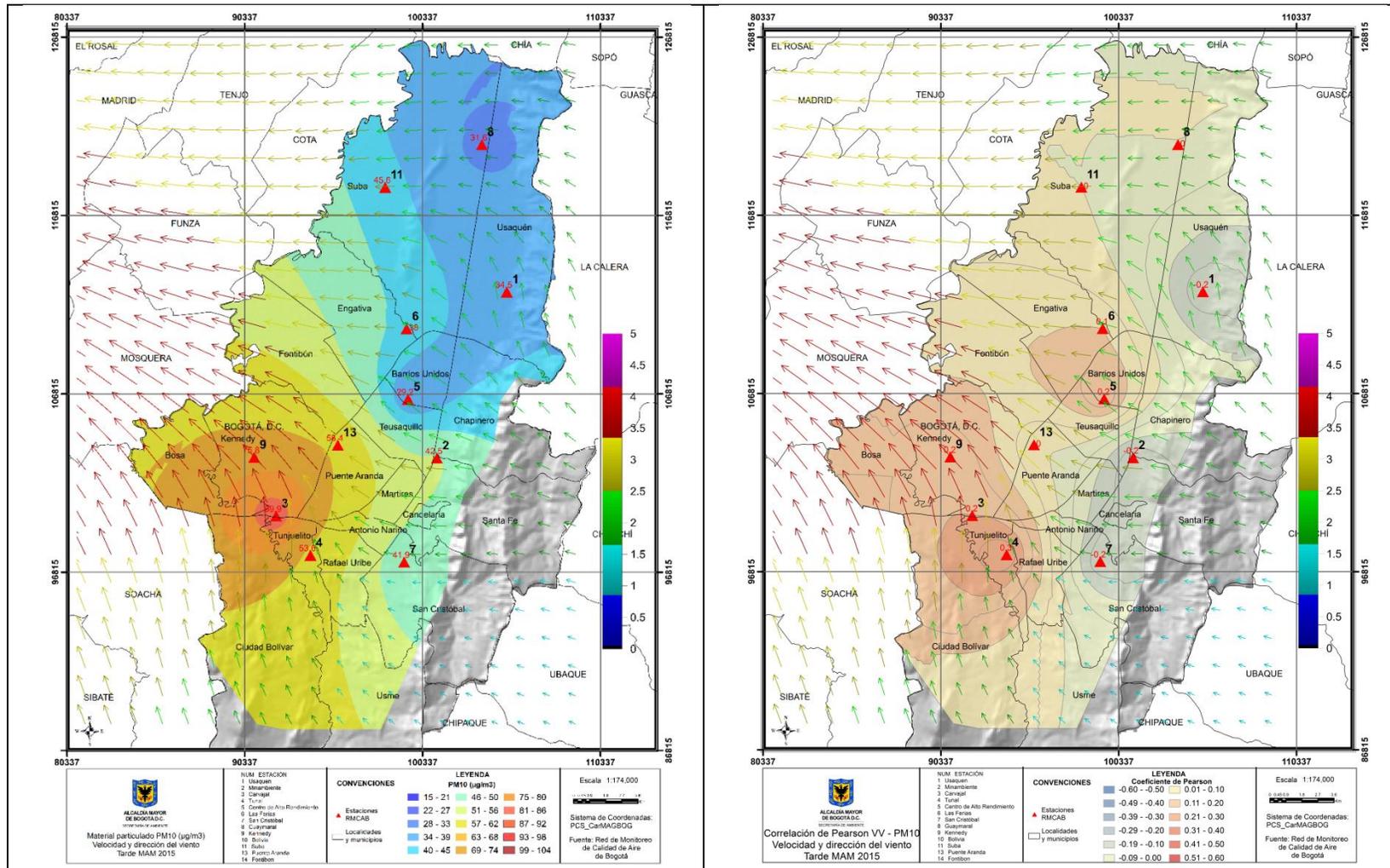
Estación.	dic.-2014	ene.-2015	feb.-2015	promedio
Guaymaral	563.9	564	564.4	564.1
Kennedy	563.6	563.7	564.1	563.8
Las Ferias	564.4	564.5	564.9	564.6
Promedio	564	564.1	564.5	564.1

5. Meteorología y Calidad del Aire

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM_{10} y las variables velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el trimestre. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en las tres variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios; madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Desde la Figura 5-1 hasta la Figura 5-4 se hace énfasis en el comportamiento del PM_{10} en estos grupos horarios con sus respectivos vectores de viento (mapas del costado izquierdo) y se presenta la interpolación de *Kriging* del coeficiente de correlación de Pearson obtenido a partir de los valores de velocidad del viento y de material particulado PM_{10} , a los cuales se le ha sobrepuesto los vectores de viento también interpolados con este método (mapas de la derecha para cada figura). En horas de la madrugada, los vientos débiles provenientes del sureste alcanzan la zona de mayor concentración de material particulado, presentan signos de influencia hacia el centro - occidente de la ciudad y tienden a direccionarse del oriente en los municipios vecinos del occidente, mientras que en zonas cercanas a Fontibón hay tendencia de confluencia producto de vientos del norte y noreste provenientes de las localidades de Suba y de Usaquén. A esta hora la correlación es negativa o poco significativa en gran parte del área urbana, teniendo en cuenta las bajas velocidades de viento de este grupo horario. En la mañana, vientos intensificados del sur se mantienen en las localidades del occidente mientras que en el centro prevalecen del este, en donde se observa un incremento importante en el área de zonas con valores significativos de concentración de PM_{10} . Los vientos continúan favoreciendo la dispersión según el mapa de índices de correlación para este grupo horario salvo la estación de Carvajal donde es poco significativa la relación. En esta franja horaria se concentran las actividades vespertinas de la ciudad, por lo que dichas concentraciones son provenientes de actividades antropogénicas con mayor porcentaje comparado con los vientos que no superan los 3.5 m/s (1.0 m/s por encima del trimestre anterior). En la tarde se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y por aumento de la velocidad del viento; no obstante la predominancia de los vientos se mantuvo de manera similar, condición que favoreció la escasas de precipitación del periodo. El occidente de la ciudad presentó índices de correlación positivos mientras que hacia el oriente tendió a presentar baja correlación. Por la noche se mantienen valores elevados de contaminación en la zona occidental, con vientos muy similares a las franjas anteriores con valores máximos de hasta 2.5 m/s.







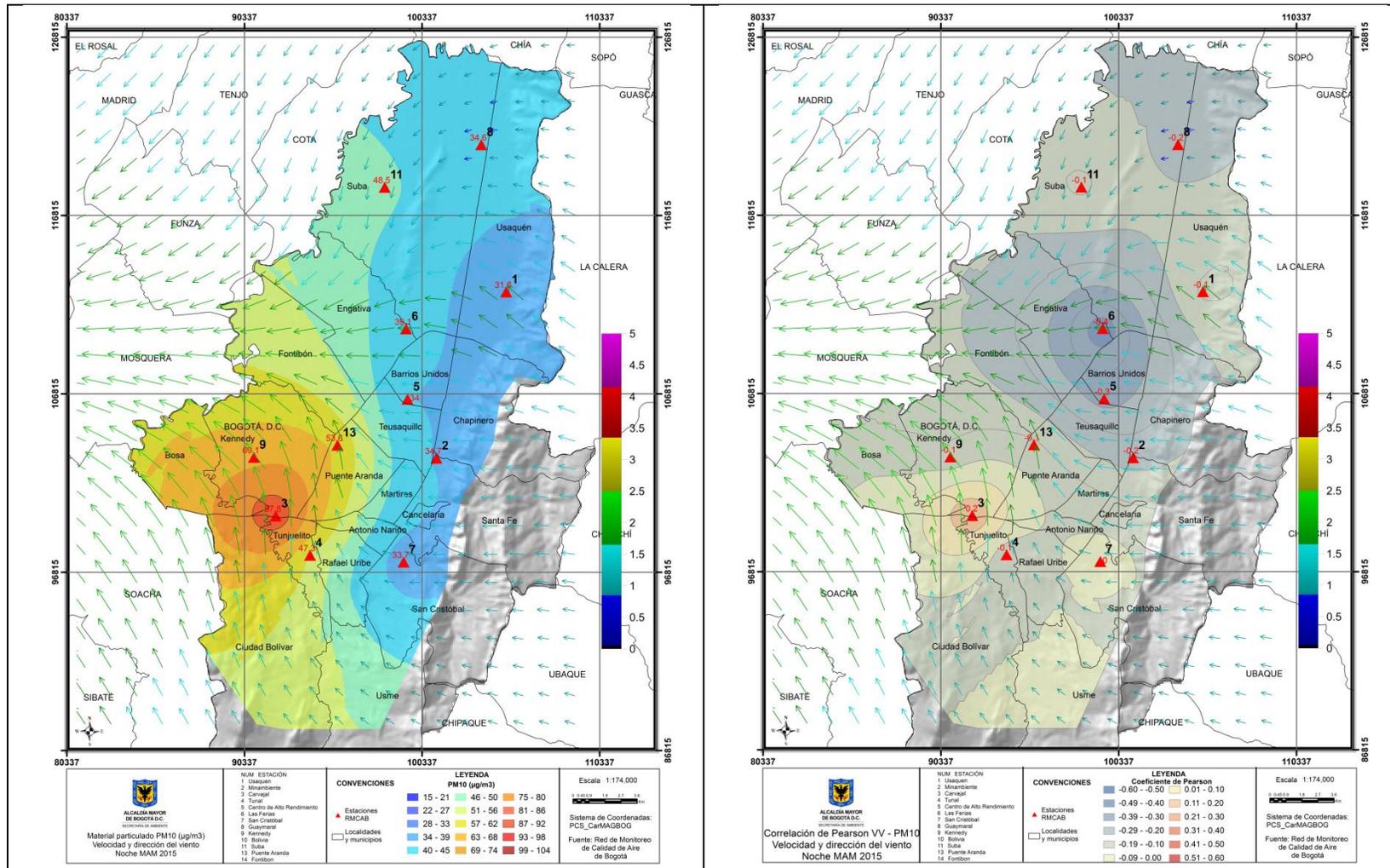


Figura 0-4. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre MAM.

6. Episodio de máxima concentración

Esta sección presentará el día de mayor inmisión de material particulado, que por su naturaleza y características se han considerado relevantes para mencionar. El día 24 de marzo de 2015, las estaciones de la red registraron un aumento considerable en concentración de material particulado, de manera que se presentará un análisis de caso para el día.

24 de marzo de 2015

El 24 de marzo de 2015 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado del trimestre y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 6-1 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional EIDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 1.49, CAPE = 24.52) las condiciones eran estables o levemente inestables con baja probabilidad de lluvia a la hora de la medición, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo en las primeras capas con vientos predominantes del oeste lo que produjo algunas precipitaciones de carácter ligero, registradas en las estaciones de Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Minambiente y en Las Ferias. A la hora en que se realiza la medición se presentaron algunas inversiones térmicas, en 633 hPa con un gradiente de 1.0 °C y en 563 hPa con 0.8 °C favoreciendo de manera leve la permanencia de concentración de PM₁₀ durante las primeras horas del día. Es posible que por esta razón, se presentará el mayor valor de concentración de PM₁₀ en horas de la mañana, como se observa en los mapas de la Figura 6-23 y la concentración fue moderadamente mayor en este grupo horario, en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, sector cuyos vientos vienen de noroeste y suroeste mostrando una zona de confluencia de vientos en el área. En el resto de grupos horarios se notó predominancia de vientos del oeste -noroeste dirección de la cual se atrajo mayor concentración de PM₁₀ de acuerdo a la rosa de contaminación de la estación de Kennedy en el mapa de la Figura 6-2 (a).

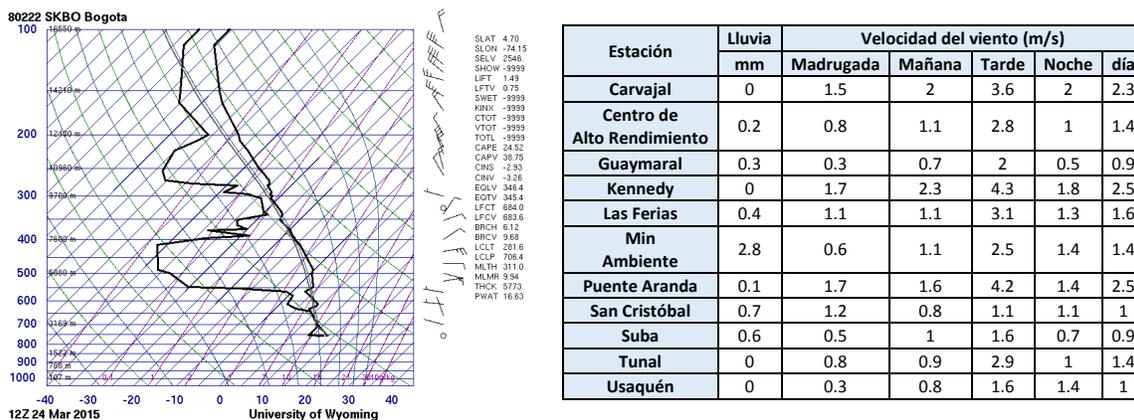


Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 24 de marzo de 2015, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h.

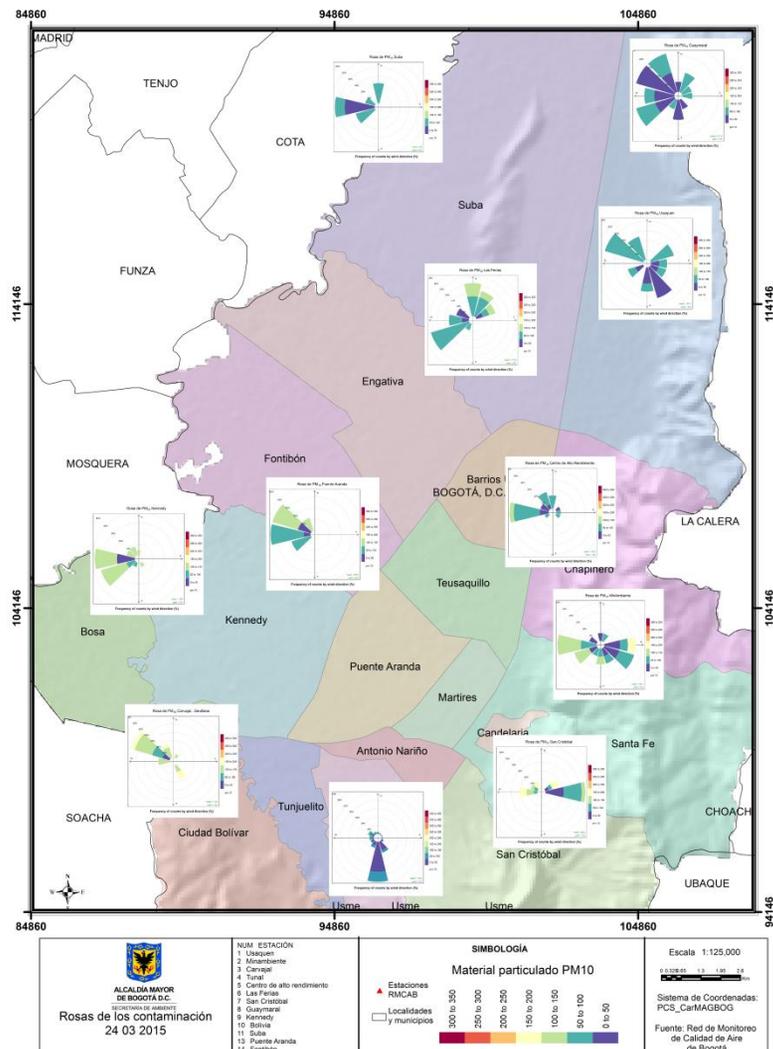
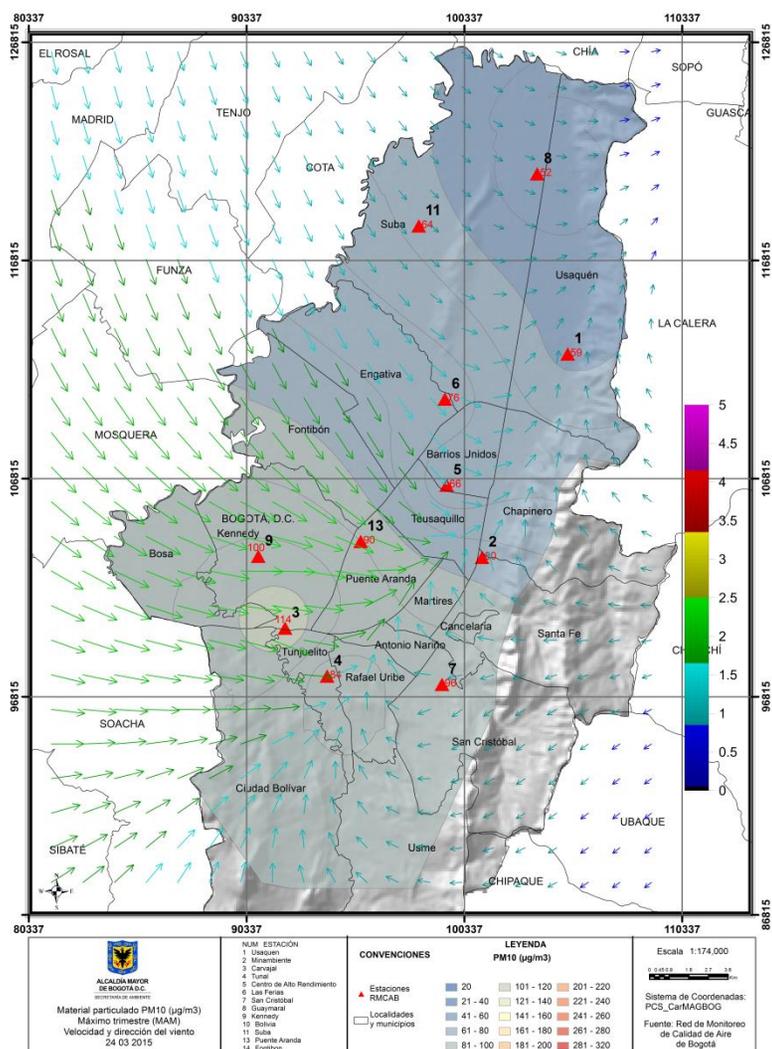


Figura 6-2 (a) PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 24 de marzo de 2015. (b) Rosas de contaminación (PM₁₀) de las estaciones de la RMCAB durante el día.

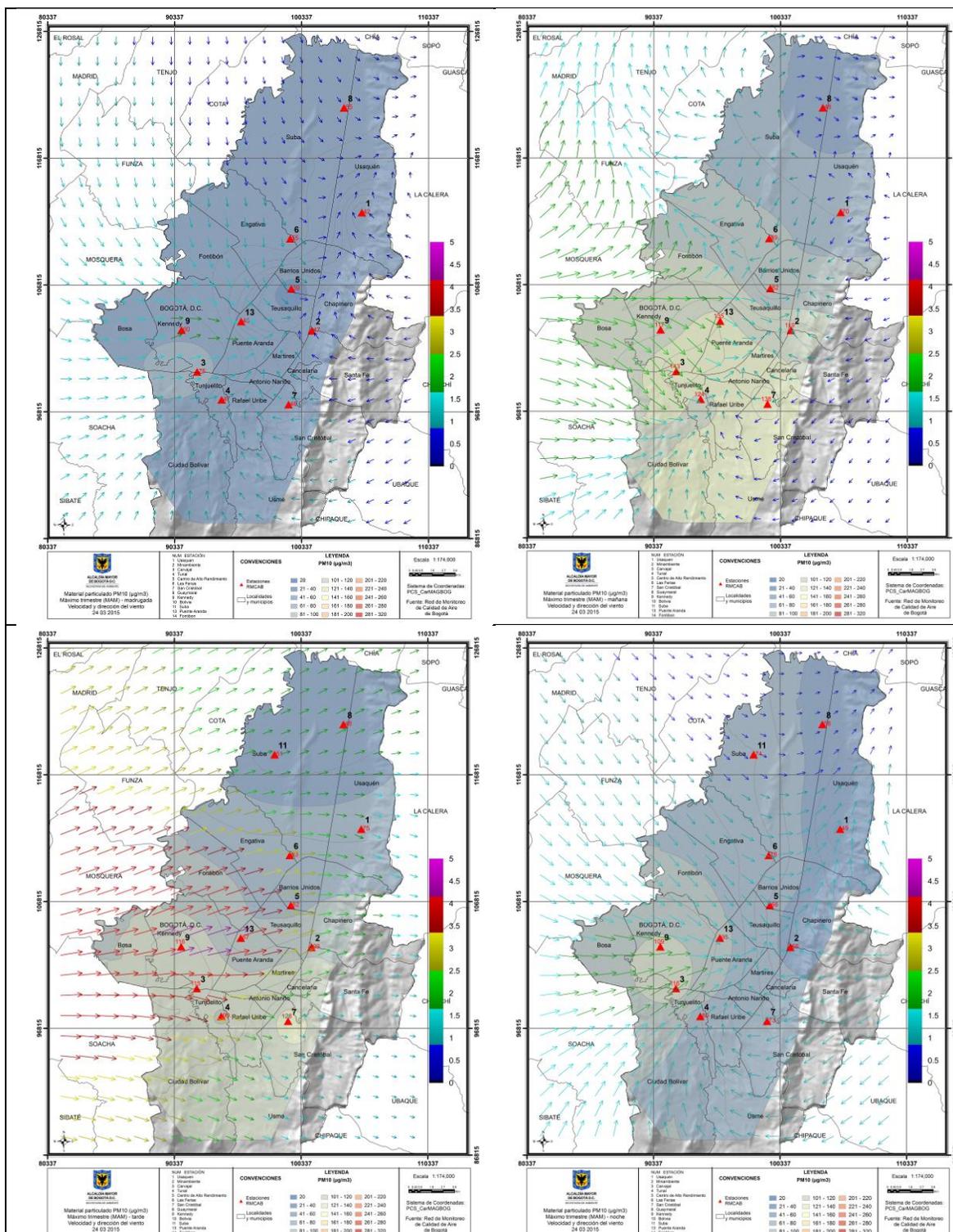


Figura 6-3. PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 24 de marzo de 2015 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

Bibliografía

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

- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Obtenido de <http://epa.gov/air/criteria.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5)*.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment*.

Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hidrometeoro: fenómeno formado por un conjunto de partículas acuosas, líquidas o sólidas que caen a través de la atmósfera. Las partículas acuosas pueden estar en suspensión, ser remontadas por el viento desde la superficie terrestre o ser depositadas sobre objetos situados en la atmósfera libre. Entre los principales se encuentran la lluvia, llovizna, nieve, granizo, niebla, neblina, rocío, escarcha, chubasco y tromba.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norma de calidad del aire o nivel de inmisión: es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

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

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

Unidades: Las unidades más utilizadas son:

mg/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 *boxplot*

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

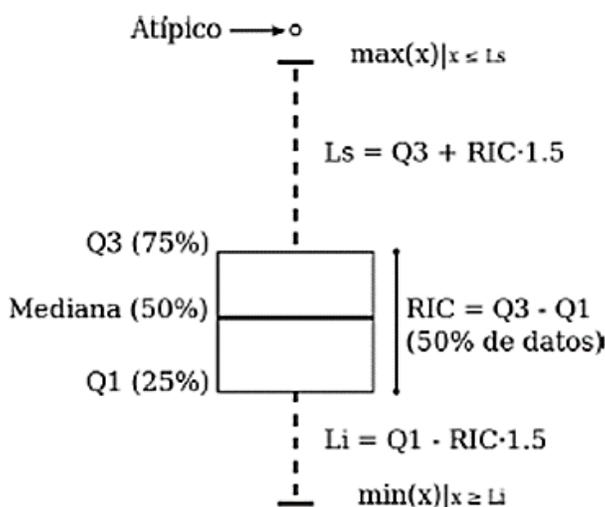


Figura 0-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. 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 $Q_1 - (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q_3 - Q_1$). **Ls**, límite superior, corresponde a $Q_3 + (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q_3 - Q_1$). 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:

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]

C. Diagramas de caja con el ciclo diario de las concentraciones horarias de PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂, CO y SO₂.

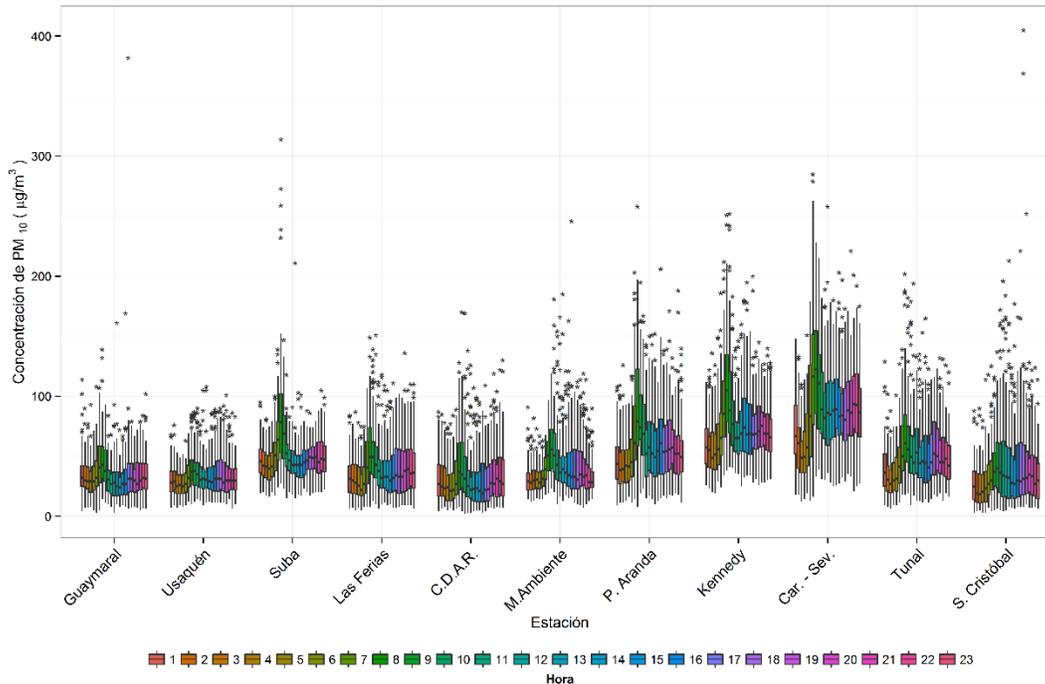


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM₁₀ por estación durante el periodo MAM 2015.

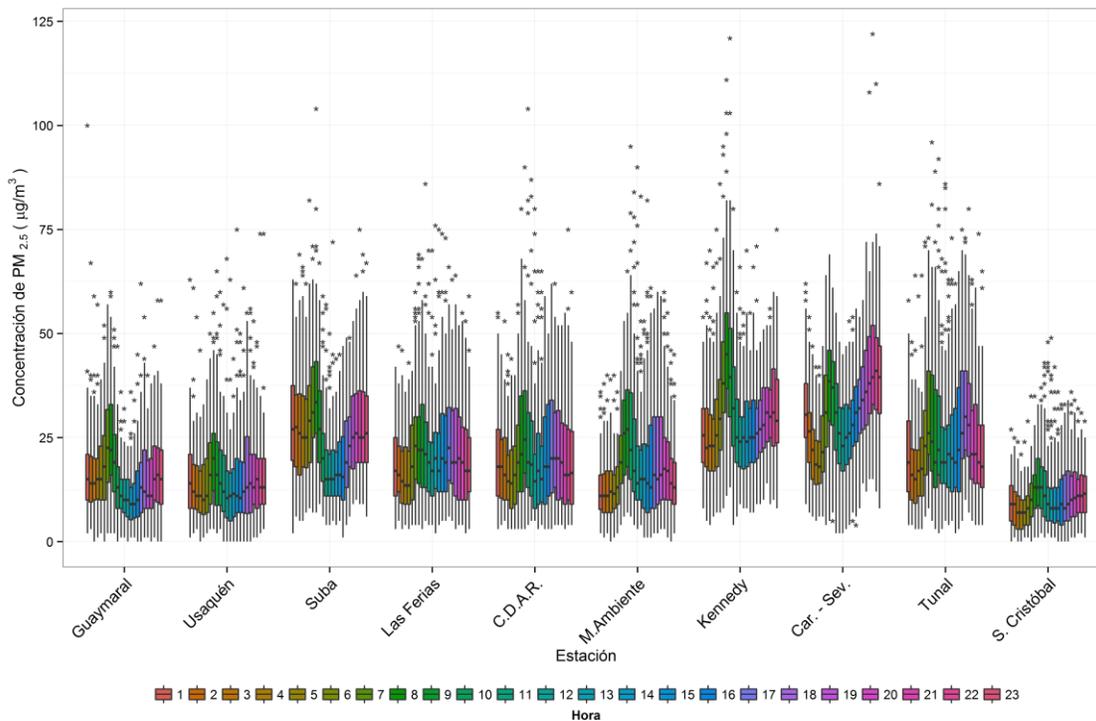


Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{2.5} por estación durante el periodo MAM 2015.

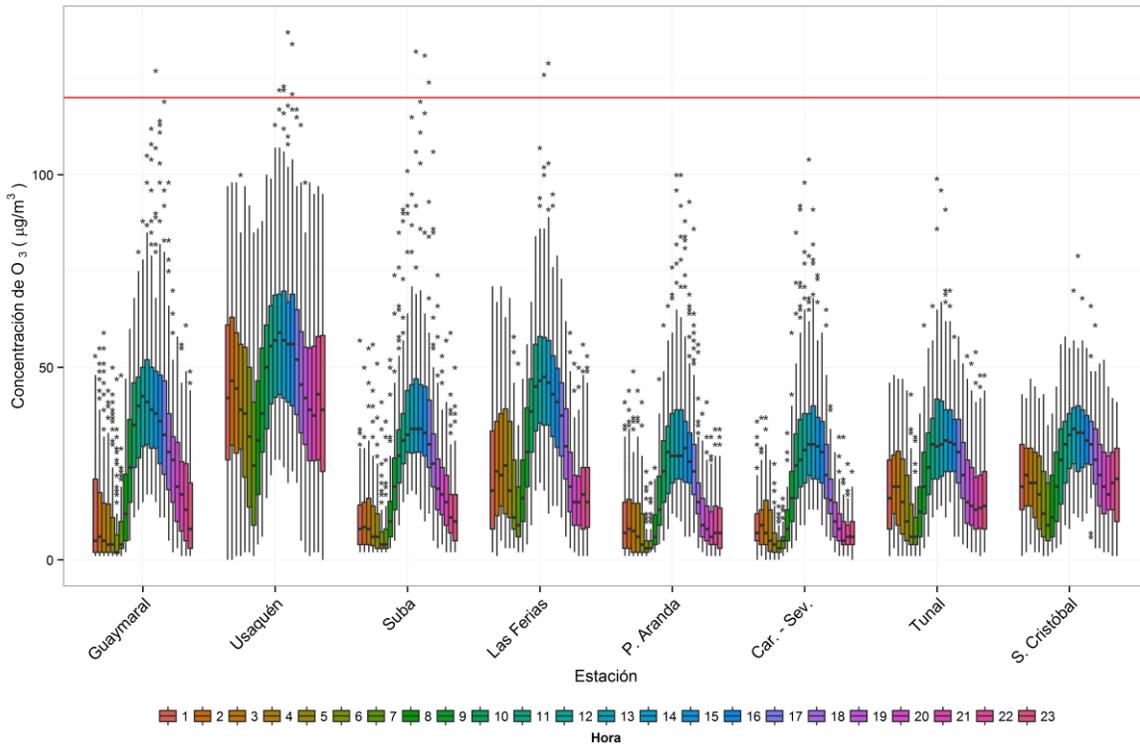


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O₃ por estación durante el periodo MAM 2015.

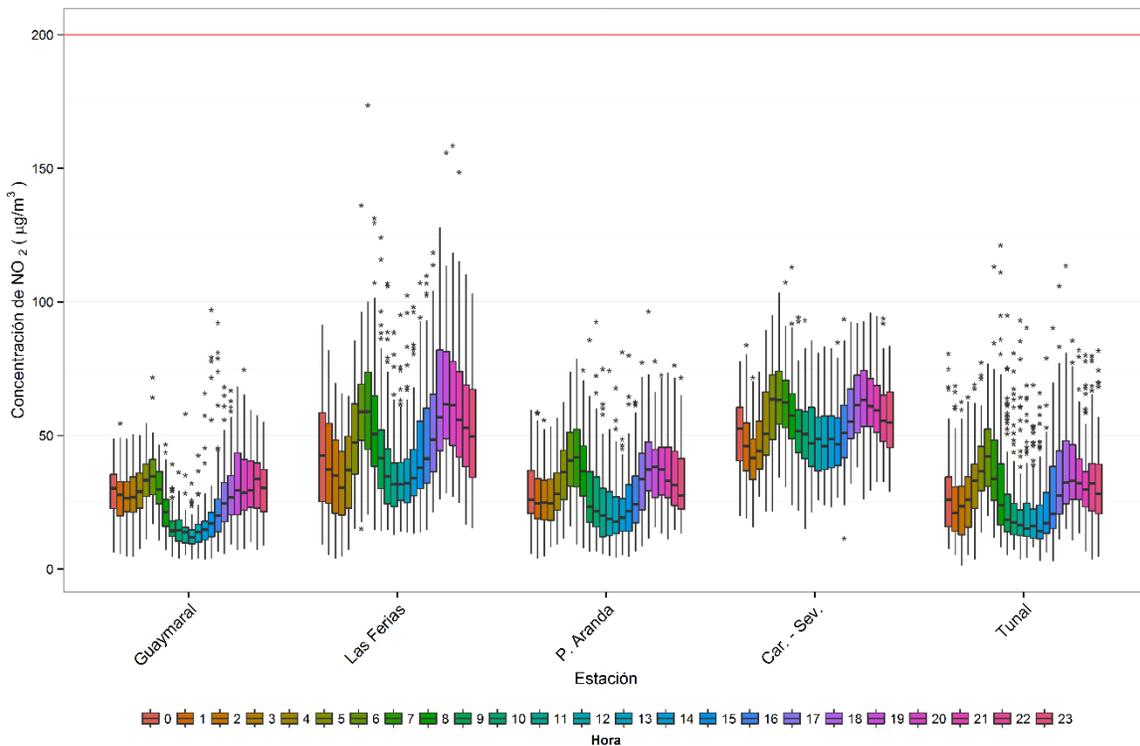


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO₂ por estación durante el periodo MAM 2015.

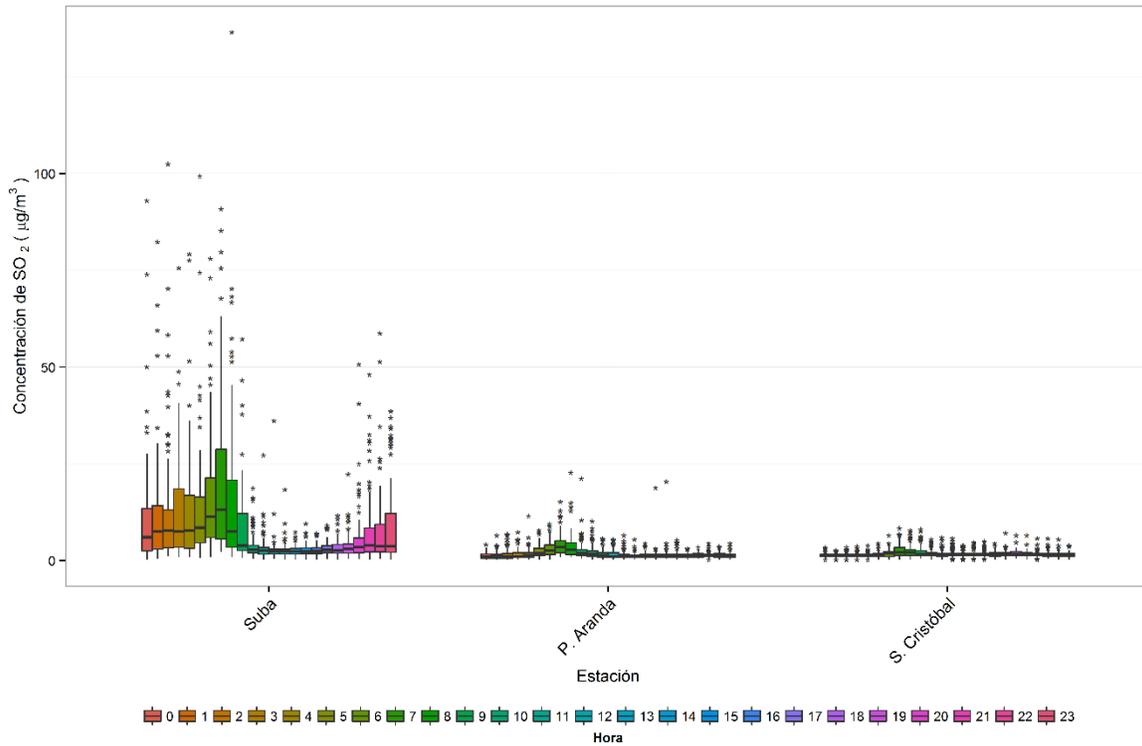


Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el periodo MAM 2015.

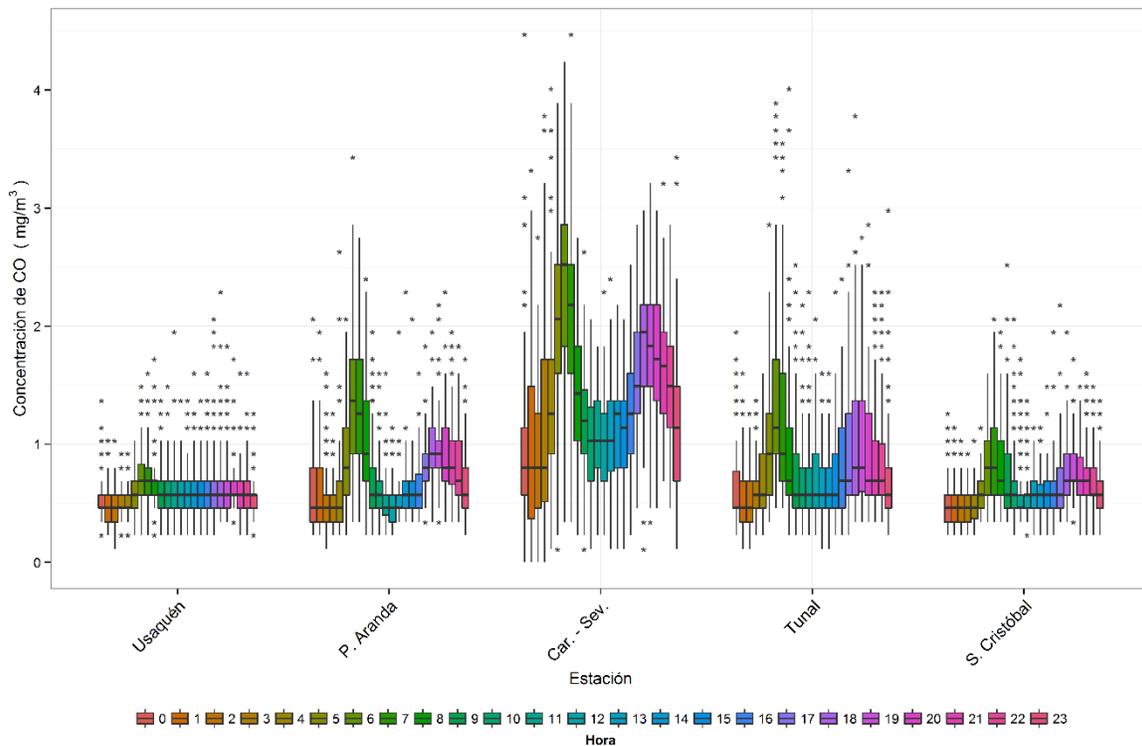


Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015.

ÚLTIMA PÁGINA
FIN DEL INFORME