



**ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

**Secretaría Distrital
Ambiente**

Informe trimestral de calidad de aire de Bogotá

Primer trimestre de 2014

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

Bogotá D.C. 2014

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





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

Susana Muhamad
Secretaria Distrital de Ambiente

Julio César Pulido Puerto
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
Oscar Julián Guerrero Molina
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

Claudia Patricia Cifuentes Forero
Darío Alejandro Gómez Flechas
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente
– SDA –

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

Año 2014.
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

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

I Informe Trimestral 2014

2014

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

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo	14
Introducción	18
1. Generalidades	19
1.1. Normatividad vigente	22
2. Indicadores de operación y desempeño	24
2.1. Porcentaje de captura de datos	24
2.2. Porcentaje de datos válidos	26
3. Evaluación y análisis de contaminantes	28
3.1. Material particulado – MP o PM (<i>Particulate Matter</i>)	28
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST	29
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀	35
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	46
3.1.4. Relación de concentración PM _{2.5} /PM ₁₀	54
3.2. Gases contaminantes	55
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O ₃	56
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO ₂	65
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO	73
3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO ₂	81
3.3. Índices de calidad del aire	89
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM ₁₀	90
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM _{2.5}	93
3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono	96
3.4. Síntesis de resultados	98
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas	109
4.1. Precipitación	111
4.2. Vientos	116
4.3. Temperatura Superficial	120
4.4. Radiación solar	125
4.5. Presión Atmosférica	126
4.6. Humedad Relativa	127
5. Meteorología y Calidad del Aire	129
5.1. Análisis de vientos vs. material particulado	129

5.2. Episodio de máxima concentración	135
Bibliografía.....	138
Glosario	140
Anexos	145

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el primer trimestre de 2014.	20
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Primer trimestre de 2014.....	24
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Primer trimestre de 2014.	25
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Primer trimestre de 2014.	26
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Primer trimestre de 2014.	27
Figura 3-1. Concentración máxima, número de excedencias y promedio (geométrico) de PST (TSP) durante el primer trimestre de 2014. Base diaria.....	30
Figura 3-2. Ciclo diario de las concentraciones de material particulado total (PST o TSP) en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada promedio está representado con su respectivo intervalo de confianza de 95%.	31
Figura 3-3. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014.	32
Figura 3-4. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST (TSP) por meses (desde base diaria) para los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.	34
Figura 3-5. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST en base diaria en los primeros trimestres de 2010, 2011 y 2013 y 2014 para la estación Carvajal.	34
Figura 3-6. Concentraciones promedio diarias, número de excedencias y máximos de PM ₁₀ por estación durante el primer trimestre de 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m ³ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.	35
Figura 3-7. Material particulado (PM ₁₀) con base en la interpolación espacial de los promedios de las estaciones por el método <i>Kriging</i>	38
Figura 3-8. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se presentan aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m ³	39
Figura 3-9. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se presenta el único día que supera el límite normativo de 100 µg/m ³	40
Figura 3-10. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. No se presentaron excedencias del límite normativo de 100 µg/m ³	40
Figura 3-11. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.	41
Figura 3-12. Ciclo diario de PM ₁₀ para 10 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.	42
Figura 3-13. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.	43
Figura 3-14. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función del día de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014...	44
Figura 3-15. Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estaciones en los primeros trimestres de los años 2010 a 2014.	45

Figura 3-16. Máximo, promedio y excedencias de PM _{2.5} en base diaria para el primer trimestre de 2014.....	46
Figura 3-17. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el primer trimestre de 2014 en las estaciones Carvajal y Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración.	48
Figura 3-18. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.....	49
Figura 3-19. Ciclo diario de la concentración de PM _{2.5} por estación en el primer trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.....	50
Figura 3-20. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de PM _{2.5} en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.	51
Figura 3-21. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de PM _{2.5} en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014.	52
Figura 3-22. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM _{2.5} por estaciones (desde base diaria) para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.....	53
Figura 3-23. Concentración máxima y excedencias de la norma para O ₃ en base horaria por estación durante el primer trimestre de 2014.	57
Figura 3-24. Concentración máxima y excedencias de la norma para O ₃ en base 8 horas por estación durante el primer trimestre de 2014.	59
Figura 3-25. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de O ₃ en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.	60
Figura 3-26. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de O ₃ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014.	61
Figura 3-27. Ciclo diario de las concentraciones de ozono en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada promedio está representado con su respectivo intervalo de confianza de 95%.....	62
Figura 3-28. Gráfico de <i>boxplot</i> de O ₃ en función de las estaciones para los primeros trimestres entre 2010 y 2014 (desde base diaria).	63
Figura 3-29. Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO ₂ por estación durante el primer trimestre de 2014.	66
Figura 3-30. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO ₂ en base diaria por estación para el primer trimestre de 2014.	67
Figura 3-31. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de NO ₂ en función del día de la semana y de la estación de monitoreo.	68
Figura 3-32. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de NO ₂ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo.....	69
Figura 3-33. Ciclo diario de las concentraciones de NO ₂ en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.....	70
Figura 3-34. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO ₂ por estaciones en base diaria para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.	71
Figura 3-35. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el primer trimestre de 2014.....	74
Figura 3-36. Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias para 8 horas de CO por estación para el primer trimestre de 2014.	75
Figura 3-37. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de CO en función del día de la semana por estación de monitoreo.....	76

Figura 3-38. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de CO en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo.....	77
Figura 3-39. Ciclo diario de las concentraciones de CO en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.....	78
Figura 3-40. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por estaciones para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.	79
Figura 3-41. Máximos y número de excedencias de SO ₂ en base de 3 horas por estación durante el primer trimestre de 2014.	82
Figura 3-42. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO ₂ en base diaria por estación para el primer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.....	83
Figura 3-43. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de SO ₂ en función del día de la semana y de la estación de monitoreo.	85
Figura 3-44. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones en base diaria de SO ₂ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo...	86
Figura 3-45. Ciclo diario de las concentraciones de SO ₂ en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.....	87
Figura 3-46. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ diario por estaciones en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.....	88
Figura 3-47. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el primer trimestre de 2014.....	90
Figura 3-48. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de enero, febrero y marzo de 2014.....	91
Figura 3-49. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el primer trimestre de 2014.	92
Figura 3-50. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el primer trimestre de 2014.	92
Figura 3-51. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por estación para el primer trimestre de 2014.....	93
Figura 3-52. Índice de calidad del aire (ICA) para PM _{2.5} durante el primer trimestre de 2014.	94
Figura 3-53. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por mes para el primer trimestre de 2014.	95
Figura 3-54 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM _{2.5} por día de la semana para el primer trimestre de 2014.....	95
Figura 3-55. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base diaria.....	97
Figura 3-56. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.....	97
Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas.....	97
Figura 4-1. Esquemización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013)	110
Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio climatológico reportado por el IDEAM (aeropuerto	

EIDorado serie 1971 – 2000) comparada con el promedio registrado en primer trimestre de 2014.....	111
Figura 4-3. Promedio de los acumulados trimestrales de precipitación desde 1999 hasta 2014.	112
Figura 4-4. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el primer trimestre de 2014.....	114
Figura 4-5. Anomalía de precipitación dese 1998 hasta 2014 para las estaciones de la RMCAB.....	115
Figura 4-6. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.....	118
Figura 4-7. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante I trimestre de 2014.....	119
Figura 4-8. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB, IDEAM aeropuerto EIDorado 1971-2000 en el periodo 1998- 2013 y su comparación con 2014.	120
Figura 4-9. Gráfica de la temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014.....	121
Figura 4-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el I trimestre de 2014.....	123
Figura 4-11. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.	124
Figura 4-12. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006- 2013 y su comparación con 2014.	125
Figura 4-13. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, I trimestre de 2014.	126
Figura 4-14. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.	127
Figura 4-15. Comparación de la presión en los últimos años.	127
Figura 4-16. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2013 y su comparación con los meses de 2014.	128
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 primer trimestre de 2014.....	131
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 de la mañana del primer trimestre de 2014.....	132
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 de la tarde del primer trimestre de 2014.....	133
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 de la noche del primer trimestre de 2014.....	134
Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 29 de marzo de 2014, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.....	135
Figura 5-6. PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 017 de enero de 2013. Fuente RMCAB.	136

Figura 5-7. PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.....	137
Figura 0-1. Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes.	145
Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PST en la estación Carvajal durante el primer trimestre de 2014.	147
Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM ₁₀ por estación durante el primer trimestre de 2014.	147
Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM _{2.5} por estación durante el primer trimestre de 2014.	148
Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O ₃ por estación durante el primer trimestre de 2014.	148
Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO ₂ por estación durante el primer trimestre de 2014.	149
Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el primer trimestre de 2014.	149
Figura 0-8. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO ₂ por estación durante el primer trimestre de 2014.	150

Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de ellas en el primer trimestre de 2014.	21
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA (<i>Environmental Protection Agency</i>).....	22
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.	23
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro..	25
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.	27
Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el primer trimestre de 2014. El promedio geométrico de este periodo no debe compararse en con la normatividad vigente por diferencias en los tiempos de exposición.	29
Tabla 3-2. Concentración promedio de PST por día de la semana para 2010, 2011, 2013 y 2014. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos.	32
Tabla 3-3. Promedios geométricos de PST por mes en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Se considera solamente la estación Carvajal.....	33
Tabla 3-4. Promedios geométricos de las concentraciones de PST con base diaria en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Solamente se considera la estación Carvajal.	34
Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos de PM ₁₀ durante el primer trimestre de 2014. Base de tiempo diaria.	36
Tabla 3-6. Resumen de máximos de PM ₁₀ en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.....	45
Tabla 3-7. Resumen de datos diarios de PM _{2.5} para el primer trimestre de 2014.....	47
Tabla 3-8. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM _{2.5} para los primeros trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010 y 2013.....	53
Tabla 3-9. Relación de concentraciones entre PM _{2.5} y PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el primer trimestre de 2014.....	54
Tabla 3-10. Resumen descriptivo de datos de O ₃ por estación para el primer trimestre de 2014. Base horaria.	57
Tabla 3-11. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O ₃ en base 8 horas durante el primer trimestre de 2014.....	59
Tabla 3-12. Resumen estadístico histórico de las concentraciones máximas de O ₃ en promedios de 8 horas para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.	64
Tabla 3-13. Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el primer trimestre de 2014.	65
Tabla 3-14. Resumen de datos diarios de NO ₂ por estación para el primer trimestre de 2014.	67
Tabla 3-15. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de NO ₂ en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.....	72
Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de CO por estación para el primer trimestre de 2014.	73

Tabla 3-17. Resumen de datos de CO por estación en el primer trimestre de 2014. Base de 8 horas.....	75
Tabla 3-18. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de CO en promedios en base de 8 horas para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.	80
Tabla 3-19. Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el primer trimestre de 2014.....	82
Tabla 3-20. Resumen de datos en base diaria de SO ₂ por estación para el primer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.....	84
Tabla 21. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO ₂ en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.	88
Tabla 3-22. 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).	89
Tabla 3-23. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), primer trimestre de 2014.....	99
Tabla 3-24. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM ₁₀), primer trimestre de 2014.	99
Tabla 3-25. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM _{2.5}), primer trimestre de 2014.....	100
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios horarios de O ₃ , primer trimestre de 2014....	101
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios de O ₃ para 8 horas, primer trimestre de 2014.	102
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios horarios de NO ₂ , primer trimestre de 2014.	103
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios de NO ₂ , primer trimestre de 2014. ..	104
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de CO, primer trimestre de 2014. .	105
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, primer trimestre de 2014.	106
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios de SO ₂ para 3 horas, primer trimestre de 2014.	107
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios de SO ₂ para 24 horas, primer trimestre de 2014.	108
Tabla 4-1. Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013)	110
Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el primer trimestre de 2014.....	111
Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014.....	112
Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2014.	113
Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2014, en mm/día.....	113
Tabla 4-6. Anomalías de precipitación en el periodo 1998 (estaciones disponibles) a 2014.	115
Tabla 4-7. Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral.....	116
Tabla 4-8. valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.	116

Tabla 4-9. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el trimestre EFM 2014	120
Tabla 4-10. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014.....	121
Tabla 4-11. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre.	122
Tabla 4-12. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre.....	125
Tabla 4-13. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.....	126
Tabla 4-14. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.	127
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.	146

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 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} ($100 \mu g/m^3$) fue excedida por las estaciones Carvajal, Kennedy y Suba con 37, 36 y 1 respectivamente. Los promedios encontrados para estas tres estaciones fueron en el trimestre de 97, 95 y $73 \mu g/m^3$, 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 $90 \mu g/m^3$ y menores o iguales a $100 \mu g/m^3$, se puede evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, las cuales fueron para este trimestre Minambiente, Usaquén y San Cristóbal, lo que evidencia que las zonas circundantes a estas tres estaciones estuvieron cerca de superar el límite normativo. El valor máximo encontrado en este trimestre fue de $150 \mu g/m^3$ para la estación Carvajal el día 28/03/2014. Con respecto a los días de la semana, resultan los domingos los que registran las menores concentraciones, debido a la reducción de actividades. De los días entre semana, el lunes resulta el de menor concentración, debido a la presencia de festivos y a la baja influencia residual del día previo, mientras que los viernes resultan los de mayor concentración, a excepción de la estación San Cristóbal para la cual es el domingo. Se debe destacar el comportamiento del día sábado, el cual no se diferencia de los demás días de la semana. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8am (dependiendo la estación) para estabilizarse alrededor de las 10am y hasta las 4-5pm, para empezar otro leve aumento hasta las 8-9pm. Con respecto al comportamiento mensual, enero resulta el más bajo de los tres meses, mientras que marzo y febrero

tienden a estar muy similares. Los resultados anteriores se encuentran íntimamente ligados al comportamiento meteorológico, pues para el caso de la precipitación se presentaron en marzo valores que superaron el histórico en cerca de 20mm, para la zona oriental y norte de la ciudad, mientras que para la zona occidental y suroccidental se presentaron deficiencias que influyen en las mayores concentraciones en esta zona de la ciudad (Kennedy y Carvajal), al no haber limpieza de la atmosfera. Por su parte los vientos, dejan ver un arrastre de contaminantes de la zona occidental hacia la capital, (municipios vecinos de Mosquera, Funza, Soacha), principalmente en las horas de la tarde y noche, siendo el comportamiento normal o habitual, el arrastre de contaminantes desde Bogotá hacia dichos municipios al occidente de la ciudad.

El contaminante $PM_{2.5}$ fue monitoreado para este trimestre I-2014 con 5 monitores con representatividad temporal superior a 75% en las estaciones: Kennedy, Carvajal, Tunal, CDAR y Usaquén, mientras que las estaciones Minambiente, Las Ferias y Suba entraron en operación durante este trimestre, pero no alcanzan a tener el 75% de representatividad. Se presentaron los promedios más altos para Carvajal y Kennedy con 44 y 40 $\mu g/m^3$, respectivamente; mientras que Usaquén, CDAR y Tunal tienen los valores más bajos con 17, 25 y 27 $\mu g/m^3$. El valor máximo encontrado durante el trimestre fue de 68 $\mu g/m^3$ en Carvajal, aunque Kennedy presenta un valor muy similar con 67 $\mu g/m^3$. Con respecto a las excedencias, se encontraron en el trimestre 37, distribuidas en Carvajal (26), Kennedy (7), Tunal (3) y Suba(1) y con respecto al año mismo trimestre de 2013, la estación Kennedy (la única disponible en ese momento) fue de 1. El viernes resulta el peor día de la semana para este contaminante, a excepción de Usaquén que resulta el sábado. De los tres meses analizados, marzo resulta el peor, mientras que enero el mejor. Con respecto a los históricos, este trimestre de 2014, resulta anormalmente alto (con respecto a la estación Kennedy, la única disponible) en comparación a los últimos 5 años, con excepción de 2011 que tuvo un valor máximo de 75 $\mu g/m^3$.

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 (0,6), lo cual evidencia una influencia considerable por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y/o también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas; mientras que estaciones como Kennedy y Usaquén están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido, con relaciones de 0,3 y 0,4, respectivamente. Por su parte la estación Carvajal presentan influencia tanto de material proveniente de fuentes de combustión como por material resuspendido (relación de 0,5).

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 65 excedencias de los límites normativos a la norma horaria de 120 $\mu g/m^3$, mientras que el año 2013 fueron solo 18. La concentración más alta fue registrada en Usaquén con un valor de 179 $\mu g/m^3$. En términos de la concentración octohoraria el O_3 en el primer trimestre de 2014 se presentaron 213 datos por encima de la norma (80 $\mu g/m^3$), principalmente hacia la zona norte y occidental de la ciudad, mientras que al sur y suroccidente casi no se aprecian excedencias, lo que contrasta con la información para PM_{10} . El máximo promedio móvil registrado en una base temporal de 8 horas fue 133

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 29 de marzo de 2014 a las 09:00 p.m. en Usaqué, día en el cual otras 8 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 - 2013, se presenta que este trimestre de 2014 tiene los acumulados más elevados, siendo enero el mes de mayor acumulado de radiación solar global del trimestre, aunque marzo tiene la diferencia histórica más alta con $843\text{W}/\text{m}^2$, lo que representa cerca de un 25% más en comparación al histórico.

El dióxido de nitrógeno NO_2 no superó 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 $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Puente Aranda, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ también en Puente Aranda.

El dióxido de azufre SO_2 no superó 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 $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para 24 horas de exposición estuvo en $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en ambos casos en la estación Carvajal. La comparación de este trimestre con años anteriores muestra en términos generales una mejora, lo cual puede ser atribuible a la mejora en la calidad del combustible diésel en relación a su contenido de azufre. La máxima concentración registrada durante los últimos 5 primeros trimestres para una exposición diaria fue de $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal el 25 de febrero de 2011.

El monóxido de carbono no presentó 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 $10 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 1 hora (norma nacional $40 \text{mg}/\text{m}^3$), lo que equivale a tan sólo 25% de la norma nacional y de $4 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 8 horas (norma nacional $10 \text{mg}/\text{m}^3$), lo que representa sólo el 40% 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 primer trimestre 2014. Con respecto a la precipitación, durante el periodo se observaron acumulados por encima de los históricos de la RMCAB (periodo 1998-2012), alcanzando la diferencia más alta con 20,6mm para el mes de marzo. No se presentaron déficits en comparación a los acumulados históricos. Especialmente, el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del sur de la localidad de Kennedy, Tunjuelito, Puente Aranda, mientras que los mayores acumulados se encuentran en el centro y sur oriente al igual que al norte de la ciudad, donde se aprecian valores significativos de precipitación.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio a lo largo del periodo, seguido de la estación de Carvajal con 2.9, 2.5 y $2.3 \text{m}/\text{s}$, respectivamente. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Minambiente con 7.8 y $7.7 \text{m}/\text{s}$ respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 y $1.2 \text{m}/\text{s}$ y valores máximos

de 4.1 y 4.2 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 m/s en el Occidente de la ciudad.

Introducción

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

Para el primer trimestre de 2014, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10} , PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO, O_3) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de cada las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el primer trimestre de 2014. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública. Posteriormente se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. Finalmente se presenta un capítulo concerniente a la relación entre calidad del aire y comportamiento meteorológico evidenciando la relación de las concentraciones de PM_{10} con los vientos así como el episodio de máxima concentración en la ciudad.

En la parte final del tercer capítulo se presenta una síntesis de resultados por medio de tablas que permiten visualizar el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad.

1. Generalidades

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

La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos de contaminantes y de variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones del entorno de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire. En la interpretación de los análisis de este informe es importante destacar dos cambios de nombres en las estaciones Parque Simón Bolívar que ahora es Centro de Alto Rendimiento y Sagrado Corazón que es Ministerio de Ambiente o Min. Ambiente. Las coordenadas geográficas no fueron modificadas con respecto a información de informes previos.

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

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

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

¹ También es posible acceder directamente mediante la dirección <http://201.245.192.252:81>

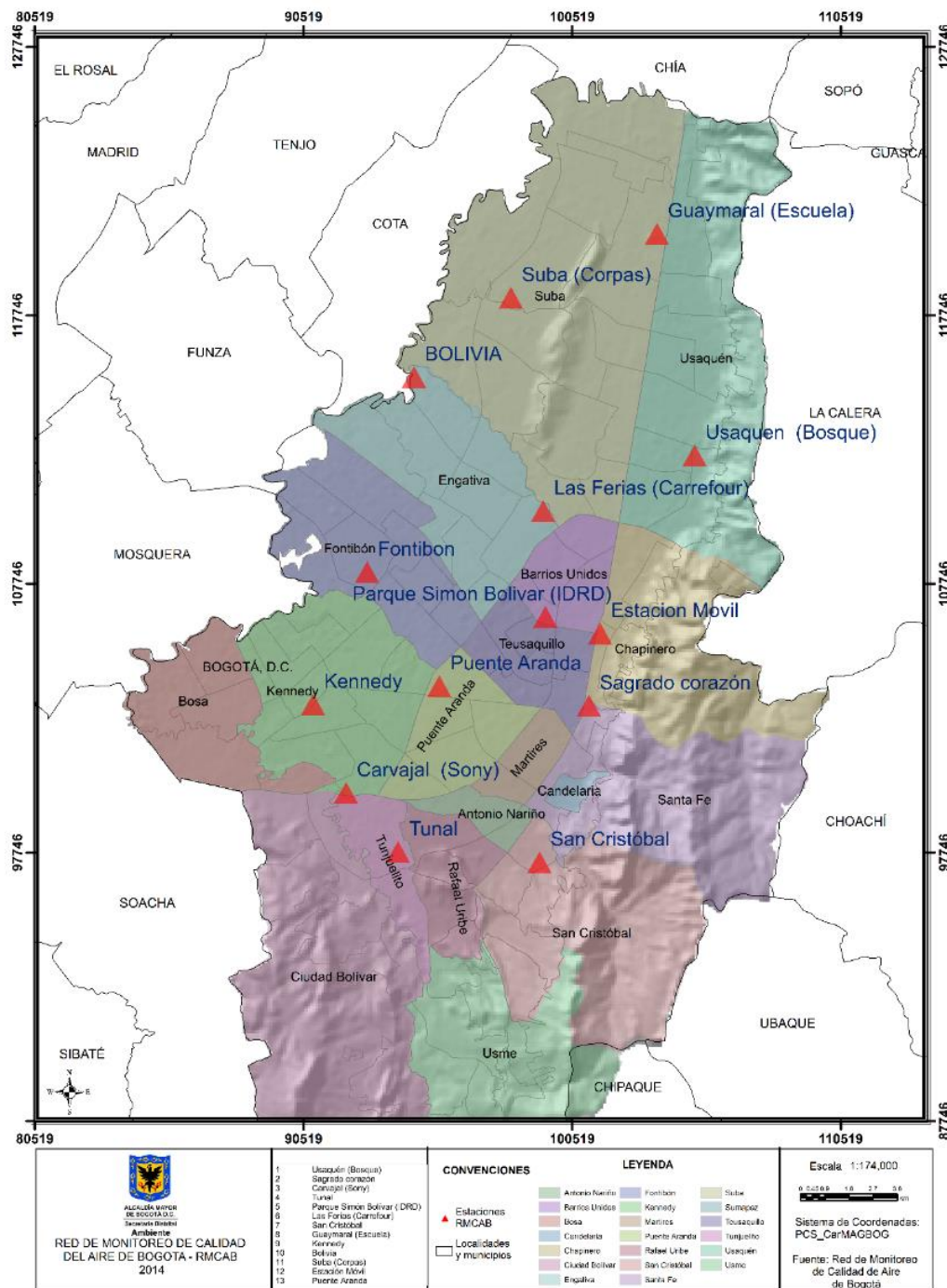


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el primer trimestre de 2014².

² La estación Parque Simón Bolívar (IDRD) será referida como Centro de Alto Rendimiento y Sagrado Corazón como Minambiente.

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de ellas en el primer trimestre de 2014.

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

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

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

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

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

1.1. Normatividad vigente.

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

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

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM ₁₀	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM _{2.5}	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO ₂	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO ₂	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O 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 Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el primer trimestre de 2014. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados y en operación, mientras que en la segunda parte se presenta los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el primer trimestre de 2014. Se observa que todos los parámetros tienen un porcentaje de captura de datos superior a 75% con excepción del monóxido de carbono. Este parámetro no fue monitoreado en San Cristóbal y presentó una baja captura en Usaquén y Centro de Alto Rendimiento. Estos hechos se atribuyen a fallas técnicas en las fuentes de infrarrojo (IR) de los respectivos analizadores. El detector en Centro de Alto Rendimiento empezó a presentar inconvenientes técnicos en febrero de 2014.

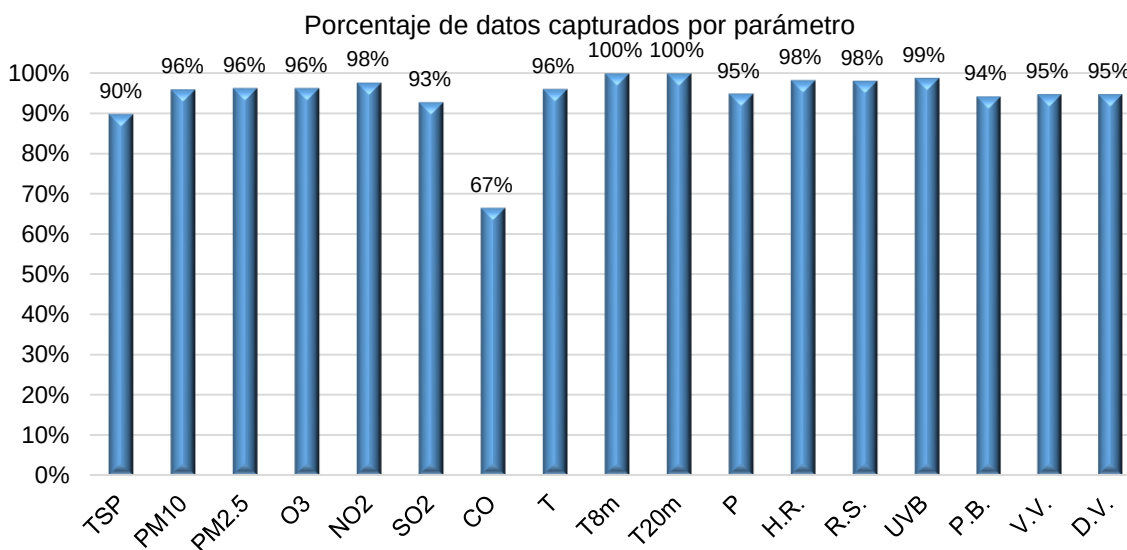


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Primer trimestre de 2014.

De acuerdo a la Figura 2-2, todas las estaciones presentaron un porcentaje de captura superior a 75%. Bolivia, Fontibón y Centro de Alto Rendimiento mostraron capturas relativamente bajas. De acuerdo a la Tabla 2-1, estos comportamientos se deben, en el caso de Bolivia, a operaciones en el mantenimiento del *data logger*, en Fontibón por cortes energéticos en los primeros días de enero en las instalaciones donde se encuentra localizada y en Centro de Alto Rendimiento la captura se reduce porque se tienen en cuenta en los cálculos los equipos de radiación solar difusa y radiación solar directa, los cuales no registraron datos en el periodo.

El porcentaje total de captura de datos para el primer trimestre de 2014 fue 92%. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

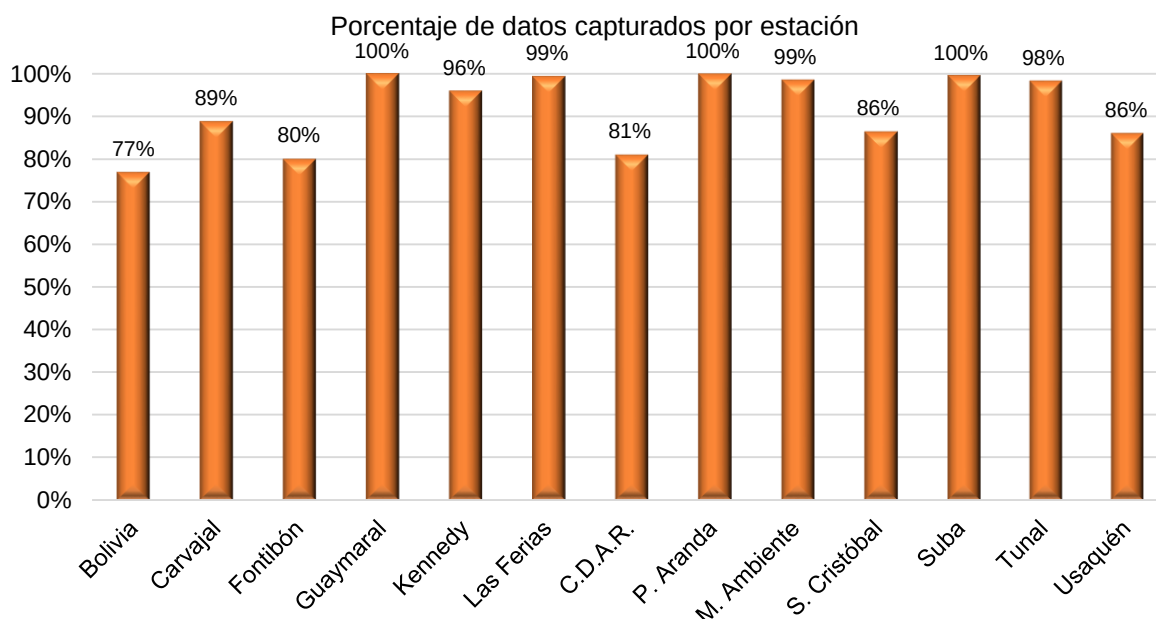


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Primer trimestre de 2014.

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

	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	T	T8m	T20m	P	H.R.	R.S.	RD R	RD F	UV B	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											77%							77%	77%	77%
Carvajal	90%	90%	90%	89%	85%	84%	90%	90%			90%							90%	90%	89%
Fontibón		80%		80%		80%	80%	80%			80%						80%	80%	80%	80%
Guaymaral		100%		100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%				100%	100%	100%	100%
Kennedy		98%	98%		98%	92%	84%	98%			98%	98%	98%				98%	98%	98%	96%
Las Ferias		99%	99%	99%	100%	99%	99%	99%			99%	99%					99%	99%	99%	99%
C.D.A.R.		99%	96%	99%	100%	91%	40%	99%			99%	99%	99%	0%	0%	99%		99%	99%	81%
P. Aranda		100%		100%	100%	100%	100%	100%			100%							100%	100%	100%
M. Ambiente		98%		98%							100%							98%	98%	99%
S. Cristóbal		96%		97%		96%	0%	96%			96%	96%	96%					96%	96%	86%
Suba		97%		100%	100%	100%		100%			100%							100%	100%	100%
Tunal		98%	98%	98%	98%		98%	98%			98%	98%	98%					98%	98%	98%
Usaquén		97%	97%	98%			8%	97%			97%							97%	97%	86%
Total	90%	96%	96%	96%	98%	93%	67%	96%	100%	100%	95%	98%	98%	0%	0%	99%	94%	95%	95%	92%

2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el primer trimestre de 2014 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 86%. 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.

De acuerdo a la Figura 2-3, el dióxido de nitrógeno (NO_2) presentó un cambio drástico entre porcentaje de datos capturados y válidos. Esto se debe a que se descartaron en su totalidad los datos registrados en las estaciones Carvajal, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento, como puede observarse en la Tabla 2-2, que corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. Los analizadores requieren una revisión en los convertidores catalíticos y en los tubos fotomultiplicadores, de manera que los datos medidos no fueron considerados en los análisis ya que requieren ser analizados en función de los resultados de la revisión. Con todo, el porcentaje de datos válidos de este contaminante fue 56%, que es menor al valor límite de 75%. El monóxido de carbono igualmente no cumple con esta recuperación debido principalmente a afectaciones en la captura de los datos, tal como fue descrito en la sección anterior. La Figura 2-4 muestra que Centro de Alto Rendimiento tiene una cobertura temporal de 73%. Este valor se debe, de acuerdo a la Tabla 2-2, a la invalidación de la serie de NO_2 y al bajo porcentaje de captura en las variables monóxido de carbono, radiación solar difusa y radiación solar directa. Las estaciones con los porcentaje más altos de datos válidos fueron Puente Aranda y Suba con valores de 98% y 96%, respectivamente.

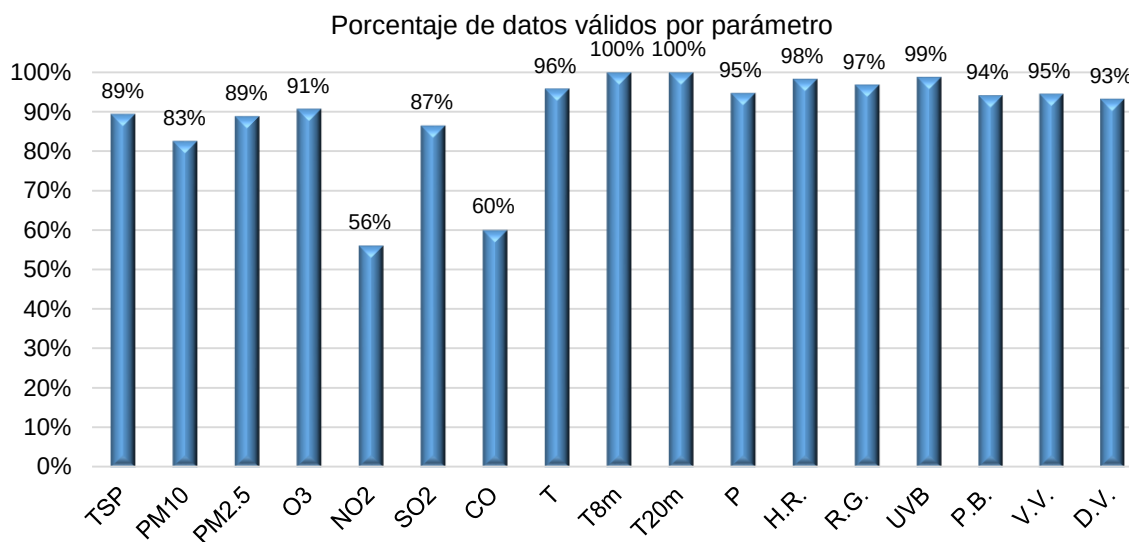


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Primer trimestre de 2014.

³ El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles 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%.

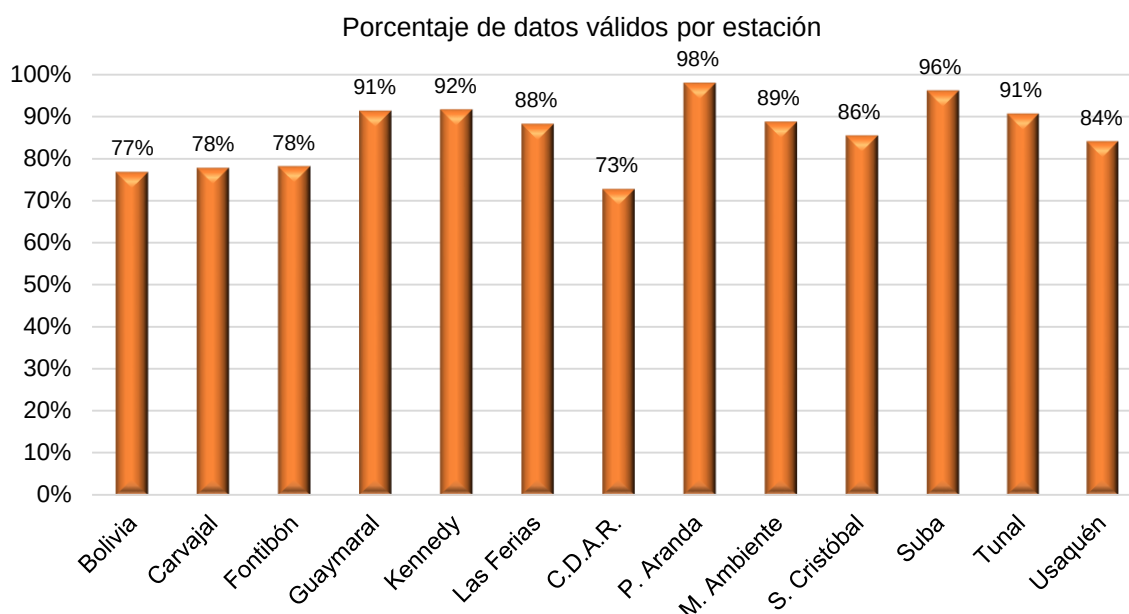


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Primer trimestre de 2014.

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

	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO	T	T8m	T20m	P	H.R.	R.G.	RD R	RD F	UV B	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											77%							77%	77%	77%
Carvajal	89%	89%	84%	86%	0%	75%	83%	88%			88%							88%	88%	78%
Fontibón		79%		79%		79%	67%	80%			80%						80%	80%	80%	78%
Guaymaral		0%		98%	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%				100%	100%	100%	91%
Kennedy		92%	94%		86%	76%	76%	98%			98%	98%	92%				98%	98%	98%	92%
Las Ferias		99%	76%	98%	0%	94%	98%	99%			99%	99%					99%	99%	99%	88%
C.D.A.R.		98%	93%	95%	0%	86%	30%	99%			99%	99%	99%	0%	0%	99%		99%	99%	73%
P. Aranda		97%		99%	88%	100%	100%	100%			100%							100%	100%	98%
M. Ambiente		98%		67%							100%							98%	82%	89%
S. Cristóbal		93%		94%		94%	0%	96%			96%	96%	96%					96%	96%	86%
Suba		92%		91%	100%	88%		100%			100%							100%	100%	96%
Tunal		60%	92%	93%	76%		87%	98%			98%	98%	98%					98%	98%	91%
Usaquén		96%	94%	96%			0%	97%			97%							97%	97%	84%
Total	89%	83%	89%	91%	56%	87%	60%	96%	100%	100%	95%	98%	97%	0%	0%	99%	94%	95%	93%	86%

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el TSP, el PM₁₀ y el PM_{2.5}; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O₃, NO₂, CO y SO₂ y la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el primer trimestre de 2014 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentado en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

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

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

Resultan de interés las partículas PM₁₀ y PM_{2.5} que además son las reguladas en el territorio colombiano por la Resolución 610 de 2010, como se presentó en la sección 1.1. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras que las segundas, las de PM_{2.5}, tienen tamaño menor o igual a 2,5 µm y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas) y resultan respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST) y son fracciones de este el PM₁₀ y el PM_{2.5}.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, PM_{2.5} y PM₁₀ como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM₁₀ se controla con 100 µg/m³ y el anual con 50 µg/m³.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST), la RMCAB durante el primer trimestre de 2014 contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal.

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 diario de la concentración de PST

En la estación Carvajal se registraron 80 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de recuperación de 89%. Se registró un promedio geométrico (no comparable con la normatividad nacional) de $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $229 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 11 de marzo de 2014 evidenciando que no se presentó ninguna excedencia del límite de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según la Resolución 610 de 2010. El 90% de este valor ($270 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tampoco fue excedido lo cual muestra que este contaminante no está propenso a presentar excedencias. En la Figura 3-1 y en la Tabla 3-1 se resume lo expuesto anteriormente.

Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el primer trimestre de 2014. El promedio geométrico de este periodo no debe compararse en con la normatividad vigente por diferencias en los tiempos de exposición.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Promedio geométrico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma ⁴
Carvajal	80	89%	133	0	229	11/03/2014	0

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

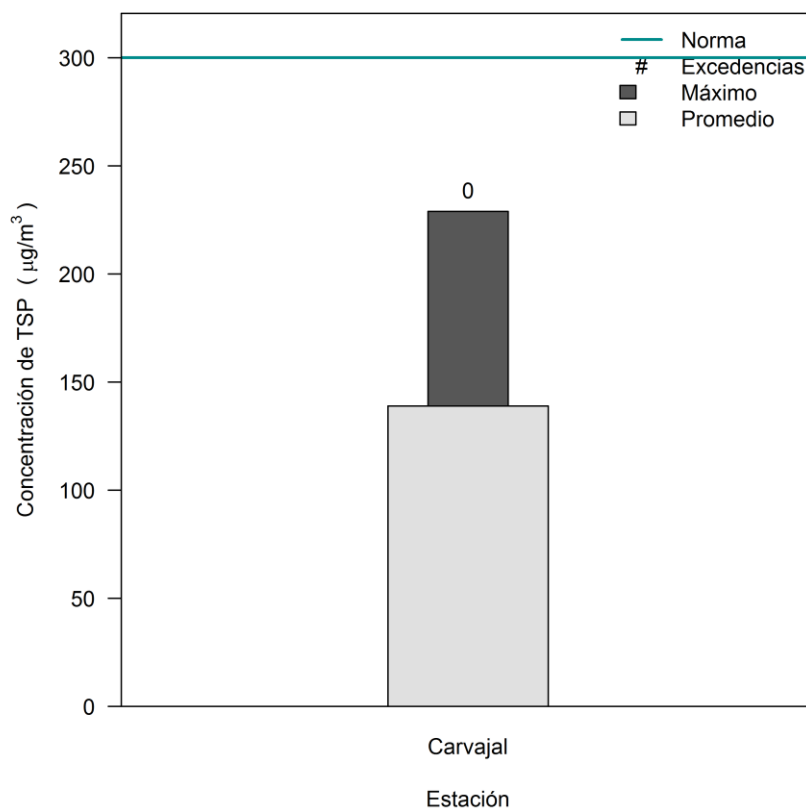


Figura 3-1. Concentración máxima, número de excedencias y promedio (geométrico) de PST (TSP) durante el primer trimestre de 2014. Base diaria.

Comportamiento diario de promedios horarios de PST.

La Figura 3-2 presenta el ciclo diario de las concentraciones de material particulado total en la estación Carvajal discriminado por días de la semana. En general, las mayores concentraciones se presentan en horas de la mañana y fluctúan en la tarde. Se observa que el intervalo de confianza de 95% es amplio en comparación con las tendencias en los otros contaminantes lo que muestra la alta heterogeneidad de las actividades emisoras de PST. Los ciclos correspondientes a los sábados y a los domingos tienden a ser más homogéneos evidenciando una reducción en el nivel de actividad en la zona circundante a esta estación.

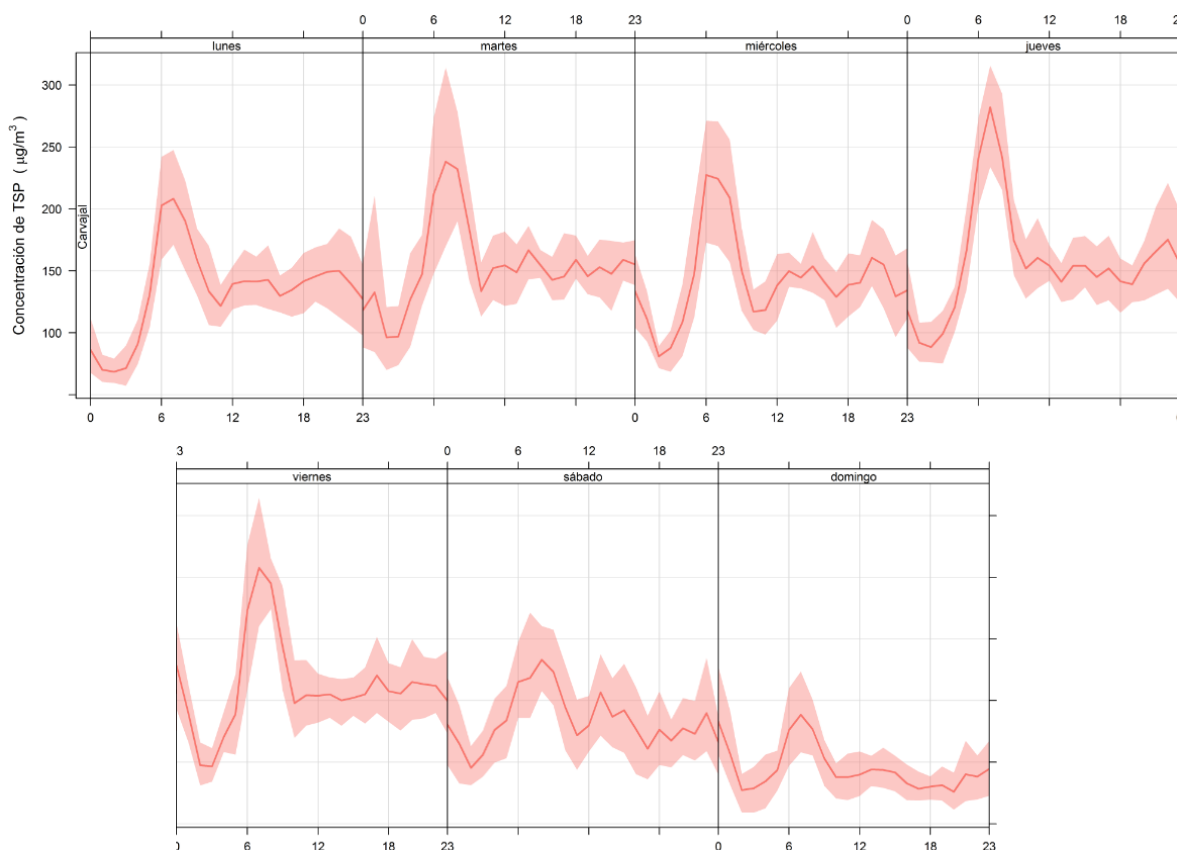


Figura 3-2. Ciclo diario de las concentraciones de material particulado total (PST o TSP) en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada promedio está representado con su respectivo intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios de PST en base diaria.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana en el primer trimestre de 2014 se presenta en la Figura 3-3 y el histórico de las concentraciones promedio en la Tabla 3-2. Es importante resaltar que esta tabla contiene promedios geométricos y no aritméticos. Por tanto, pueden presentarse diferencias en comparación a los reportes de los primeros trimestres de años previos.

El primer trimestre de 2010 presentó las mayores concentraciones de PST durante todos los días de la semana en contraste con el mismo periodo de 2013, trimestre en el cual se reportaron las concentraciones históricas más bajas de los 5 periodos estudiados. La mayor dispersión se encontró en el trimestre de 2011, que posiblemente responde a diferencias en condiciones meteorológicas o a cambios en las actividades de la ciudad. El primer trimestre de 2014 mostró niveles de concentración comparables al periodo de 2011, lo cual muestra una desmejora de la calidad del aire en Bogotá en comparación con 2013. En ninguna ocasión se excedió el límite normativo diario correspondiente a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este aumento de concentración de PST es concordante con los comportamientos

observados para PM₁₀ y PM_{2.5}. No se presenta el primer trimestre de 2012 ya que no se cumple con el criterio de representatividad temporal de mínimo 75%.

Con una diferencia apreciable, los domingos reportan las menores concentraciones, el cual es un resultado esperado teniendo en cuenta el cambio en las actividades de la ciudad durante dicho día. Le siguen los lunes y los sábados que reportan concentraciones similares.

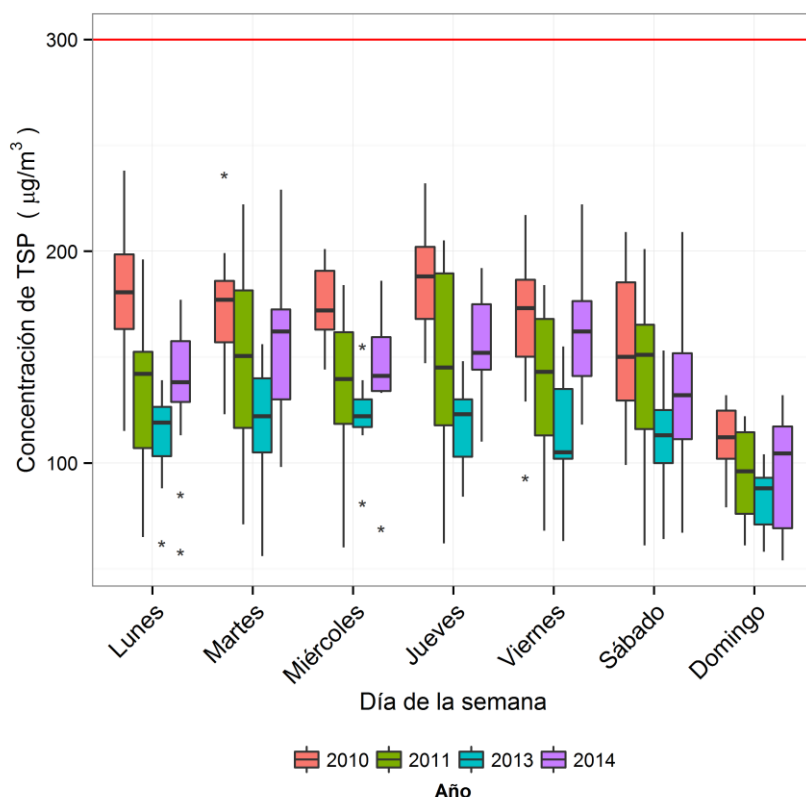


Figura 3-3. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014.

Tabla 3-2. Concentración promedio de PST por día de la semana para 2010, 2011, 2013 y 2014. Se considera solamente la estación Carvajal. Promedios geométricos.

Promedio geométrico del contaminante PST en µg/m³				
Día	2010	2011	2013	2014
Lunes	174	125	111	129
Martes	173	145	117	150
Miércoles	174	132	122	140
Jueves	186	133	118	155
Viernes	163	134	110	159
Sábado	151	135	108	128
Domingo	110	92	82	92

En la Figura 3-4 se puede observar el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de PST en función de los meses de enero, febrero y marzo. La Tabla 3-3 muestra los respectivos promedios geométricos. Como pudo observarse para los días de la semana, el primer trimestre de 2010 reporta las mayores concentraciones mientras que el periodo de 2013 las menores. Marzo de 2011 presentó la mayor dispersión de datos entre todos los meses estudiados. En comparación con el primer trimestre de 2013, el periodo de 2014 registra con diferencia las mayores concentraciones en los tres meses. Entre estos dos periodos únicamente es comparable la dispersión de datos en febrero. Los datos atípicos presentes responden a concentraciones bajas (por debajo de la caja) únicamente. Históricamente, no se observan diferencias apreciables entre los meses. Es importante aclarar que los promedios mensuales de la Tabla 3-3 se reportan únicamente si los datos del mes en cuestión tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Por tanto, no se reporta el dato respectivo para enero de 2014.

Tabla 3-3. Promedios geométricos de PST por mes en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Se considera solamente la estación Carvajal.

Mes	Promedio geométrico del contaminante PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2010	2011	2013	2014
Enero	152	137	107	N.R.
Febrero	167	139	109	141
Marzo	159	111	110	137

N.R.: No Representativo.

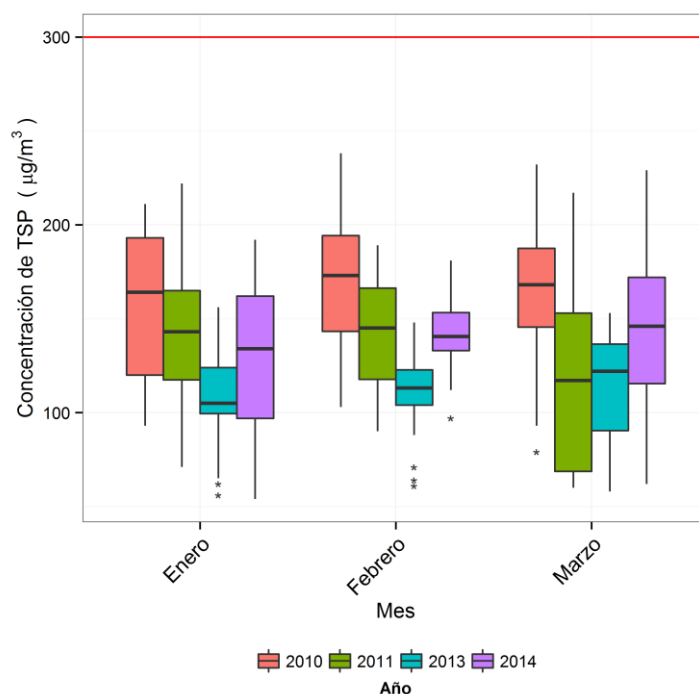


Figura 3-4. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por meses (desde base diaria) para los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.

En la Figura 3-5 se muestra el comportamiento histórico generalizado de la concentración de PST en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Nuevamente se observa que el primer trimestre de 2010 registró las mayores concentraciones mientras que el periodo de 2013 las menores. Las cajas de 2011 y 2014 son similares tanto en magnitud como en dispersión. No hay excedencias del límite normativo. Es importante destacar que esta figura corresponde únicamente a la estación Carvajal y por este motivo no se presenta una figura por estaciones.

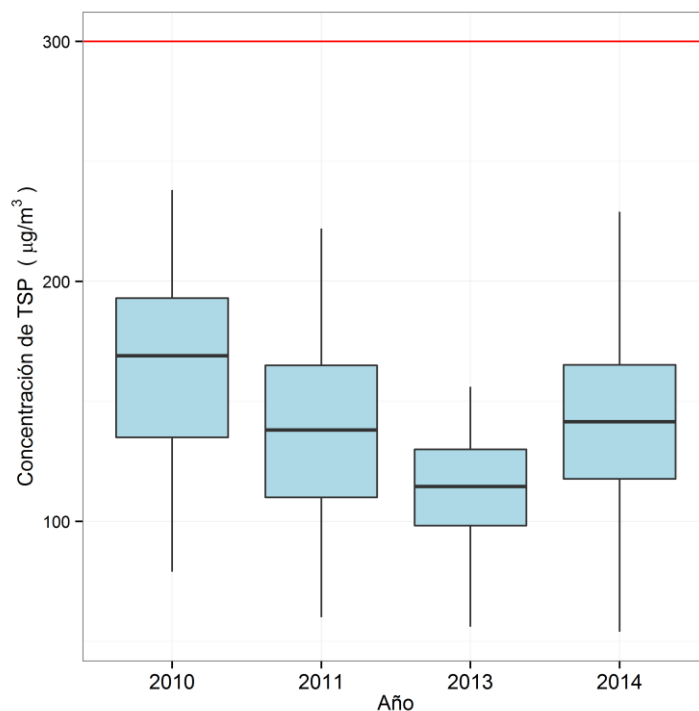


Figura 3-5. Gráfico de *boxplot* para PST en base diaria en los primeros trimestres de 2010, 2011 y 2013 y 2014 para la estación Carvajal.

La Tabla 3-4 contiene un resumen de los promedios geométricos de PST. Los valores reportados confirman las observaciones hechas previamente. Es importante mencionar que estos promedios no deben compararse con la normatividad nacional al presentarse tiempos de exposición diferentes (trimestre) a lo establecido en la Resolución 610 de 2010.

Tabla 3-4. Promedios geométricos de las concentraciones de PST con base diaria en los primeros trimestres de 2010, 2011, 2013 y 2014. Solamente se considera la estación Carvajal.

Año	Promedio geométrico de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2010	159
2011	127
2013	109
2014	133

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

Para el seguimiento de este contaminante, la RMCAB contó en el primer trimestre de 2014 con 11 monitores, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1. Como se ha mencionado previamente, no se considera en los presentes análisis el monitor de la estación móvil.

Comportamiento diario de PM₁₀ (24 h)

El comportamiento diario de la concentración de PM₁₀ se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Cada dato diario se calcula a partir del promedio de los respectivos valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día.

En el primer trimestre de 2014, como se observa en la Tabla 3-5, columna “% de datos válidos”, se reportó una representatividad temporal para el periodo mayor a 75% en 10 de las 11 estaciones que monitorearon este contaminante. Tunal presentó un porcentaje de representatividad de 58% y, por tanto, fue descartada para el cálculo de promedios. Del total de datos registrados el 8% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 74 valores en Carvajal (37), Kennedy (36) y Suba (1).

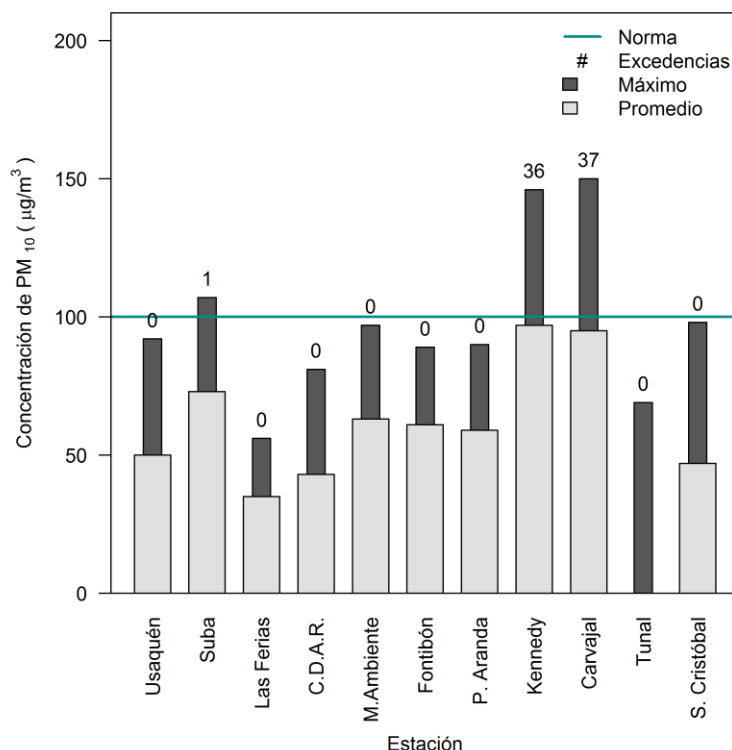


Figura 3-6. Concentraciones promedio diarias, número de excedencias y máximos de PM₁₀ por estación durante el primer trimestre de 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m³ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Las concentraciones máximas, el promedio trimestral y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-6. Es importante aclarar que los promedios mostrados en esta figura son meramente indicativos y no deben compararse con ningún límite normativo ya que no existe regulación para un tiempo de exposición de tres meses. La Tabla 3-5 resume los datos de PM₁₀ en base diaria para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el primer trimestre de 2014.

Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos de PM₁₀ durante el primer trimestre de 2014. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio aritmético (µg/m ³) ⁵	Excedencias de la norma 100 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁶	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo
Usaquén	84	93%	50	0	0	2	92	17/02/2014
Suba	82	91%	73	1	1	5	107	28/03/2014
Las Ferias	89	99%	35	0	0	0	56	17/02/2014
Centro de Alto Rendimiento	89	99%	43	0	0	0	81	25/02/2014
MinAmbiente	87	97%	63	0	0	4	97	07/03/2014
Fontibón	70	78%	61	0	0	0	89	07/03/2014
Puente Aranda	86	96%	59	0	0	0	90	07/03/2014
Kennedy	80	89%	97	36	45	19	146	04/02/2014
Carvajal	80	89%	95	37	46	15	150	28/03/2014
Tunal	52	58%	N.R.	0	0	0	69	04/02/2014
San Cristóbal	82	91%	47	0	0	1	98	30/03/2014

N.R.: no representativo.

El 07 de marzo de 2014, 3 estaciones de la RMCAB (MinAmbiente, Fontibón y Puente Aranda) registraron sus máximas concentraciones simultáneamente. Este hecho refleja un episodio no local de contaminación atmosférica en la ciudad que puede atribuirse a condiciones meteorológicas desfavorables o a contaminación transfronteriza procedente de otras jurisdicciones. Este día junto con los correspondientes al periodo comprendido entre el 28 y el 31 de marzo representaron episodios de alta concentración porque gran parte de las estaciones registraron niveles relativamente altos en comparación con los otros días del trimestre. No se reportó ninguna concentración máxima en el mes de enero.

En el primer trimestre de 2013 se registraron en total 14 excedencias, en contraste con 74 del primer trimestre de 2014, demostrando un aumento considerable de la contaminación

⁵ Estos promedios no deben compararse con los límites normativos de la Resolución 610 de 2010 al estar en base trimestral.

⁶ Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³.

por PM_{10} . Las causas de este aumento abrupto aún no están claramente definidas, es un tema de investigación en curso. Por otro lado, se destaca la última columna de la Tabla 3-5 que muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, es decir, mayores a $90 \mu g/m^3$ y menores o iguales a $100 \mu g/m^3$. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Nuevamente Kennedy, Carvajal y Suba reportan valores en este rango. Adicionalmente, también se reportan en MinAmbiente, Usaquén y San Cristóbal demostrando que sus zonas circundantes estarían propensas de superar la normatividad nacional.

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 PM_{10} (basado en promedios diarios) en las 11 estaciones durante el primer trimestre de 2014. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM_{10} fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. Por el contrario, las localidades de Engativá, Barrios Unidos y Teusaquillo presentaron los niveles de concentración más bajos. Es importante destacar las diferencias considerables en cuanto a concentraciones máximas y número de excedencias entre las estaciones Kennedy y Carvajal y el conjunto formado por los demás receptores. Esto se debe al número de actividades que se desarrollan en este sector causantes de la emisión de material particulado por fuentes fijas industriales y fuentes móviles, especialmente vehículos de carga pesada. Este resultado destaca la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios generales. Es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis.

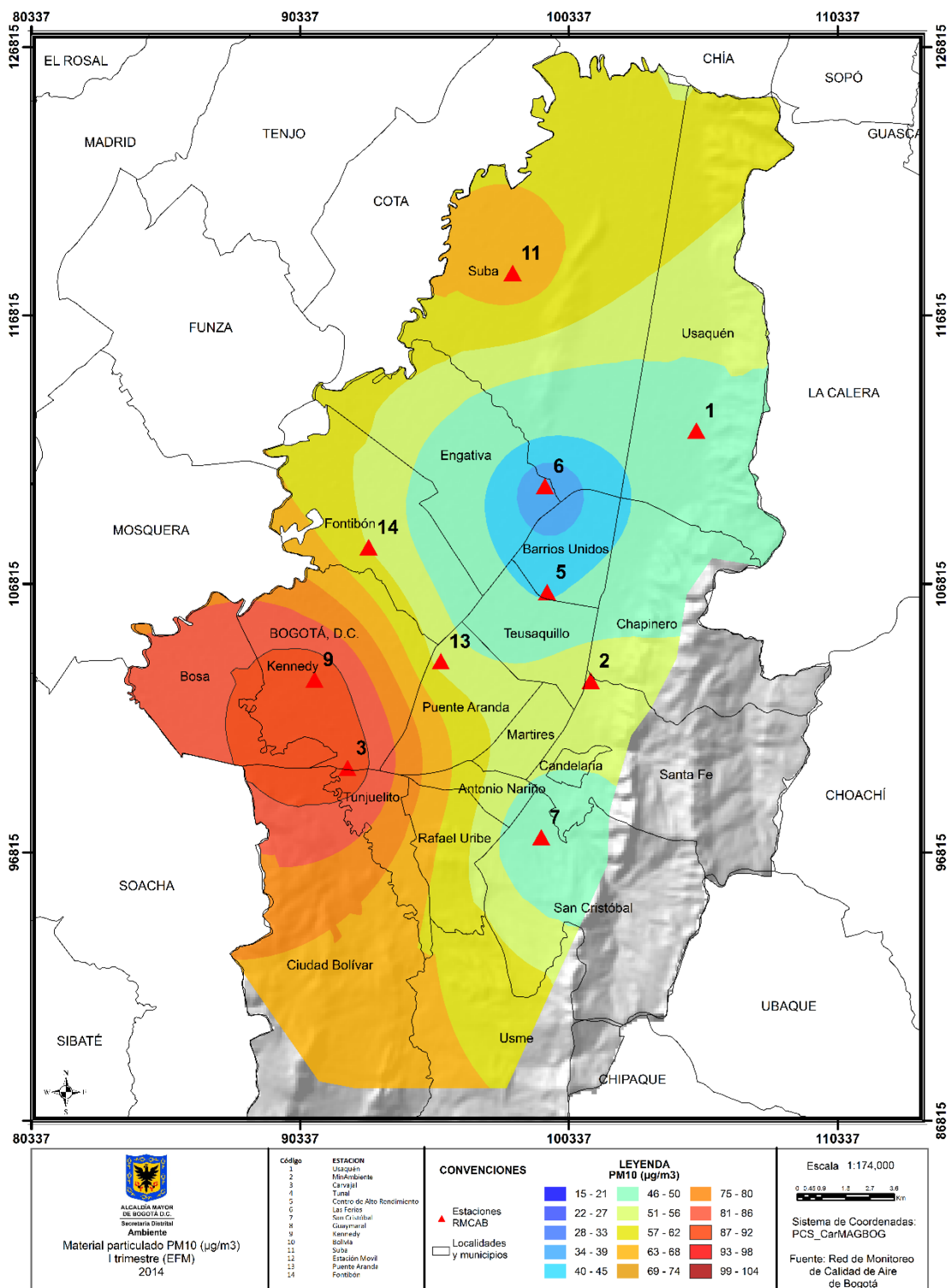


Figura 3-7. Material particulado (PM₁₀) con base en la interpolación espacial de los promedios de las estaciones por el método *Kriging*.

Calendario de contaminación por PM₁₀ durante el primer trimestre de 2014

La Figura 3-8, la Figura 3-9 y la Figura 3-10 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal, Suba y Centro de Alto Rendimiento, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. En Carvajal, los meses de enero, febrero y marzo registraron 8, 14 y 15 excedencias de la normatividad, respectivamente. Se observa que el máximo episodio ocurrió el viernes 28 de marzo tal como fue registrado en la Tabla 3-5. El rango de tiempo más amplio durante el cual no se presentaron excedencias ocurrió entre el 01 y el 07 de enero, periodo caracterizado por baja actividad en Bogotá.

Suba registra concentraciones en rangos moderados, en comparación con los demás receptores de la RMCAB. Febrero y marzo registraron valores más altos y el día más contaminado ocurrió el 28 de marzo con un valor de 107 µg/m³ que corresponde a la única excedencia de esta estación. Carvajal registró su máximo en la misma fecha lo que sugiere un fenómeno de contaminación a nivel ciudad. Por su parte, Centro de Alto Rendimiento no presentó excedencias y el máximo valor registrado fue 81 µg/m³, el martes 25 de febrero. En esta estación se destacan los tres últimos días de marzo que representan un episodio generalizado de alta concentración el cual también se observa para PM_{2.5}.

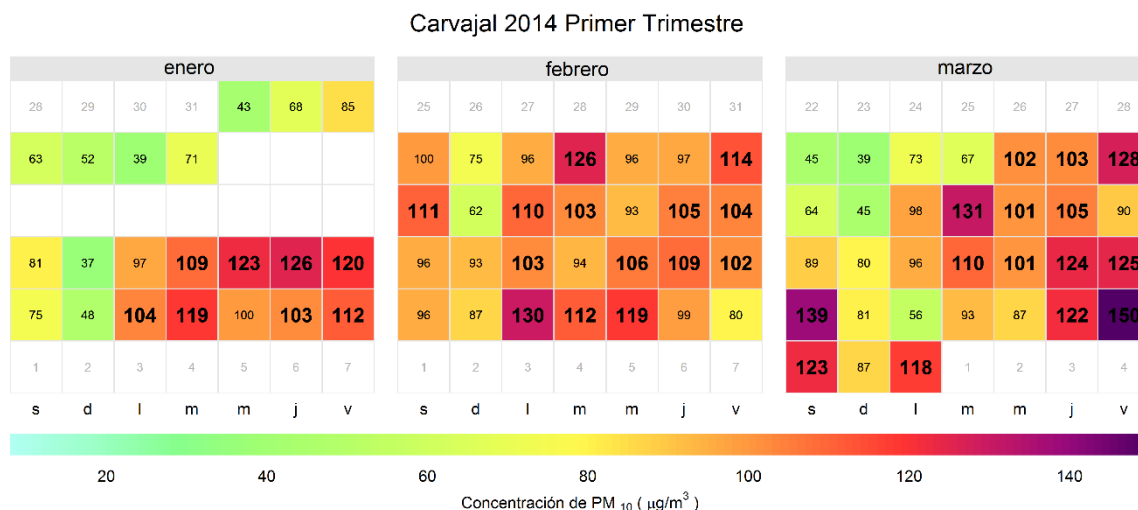


Figura 3-8. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se presentan aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m³.

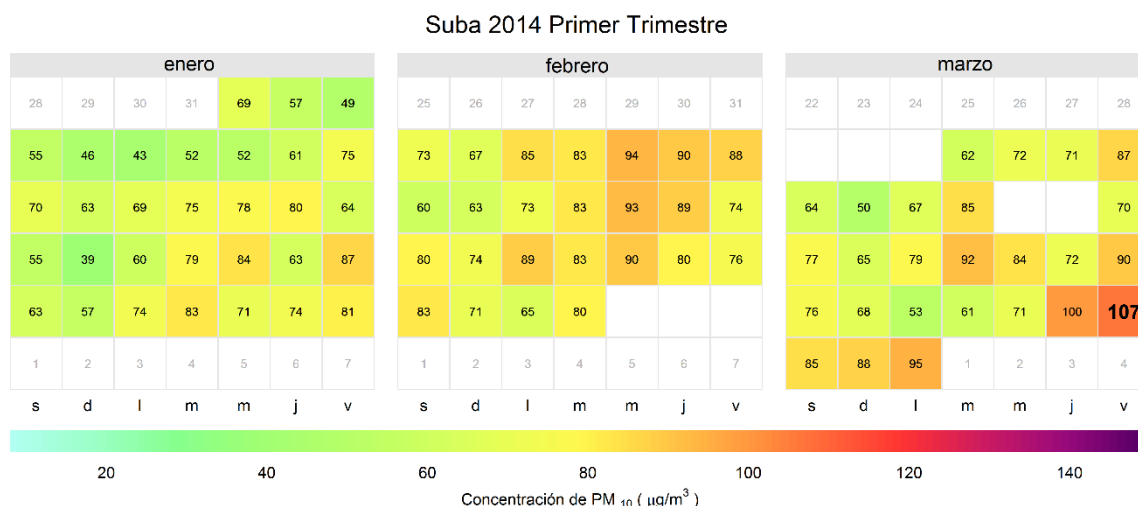


Figura 3-9. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se presenta el único día que supera el límite normativo de 100 µg/m³.

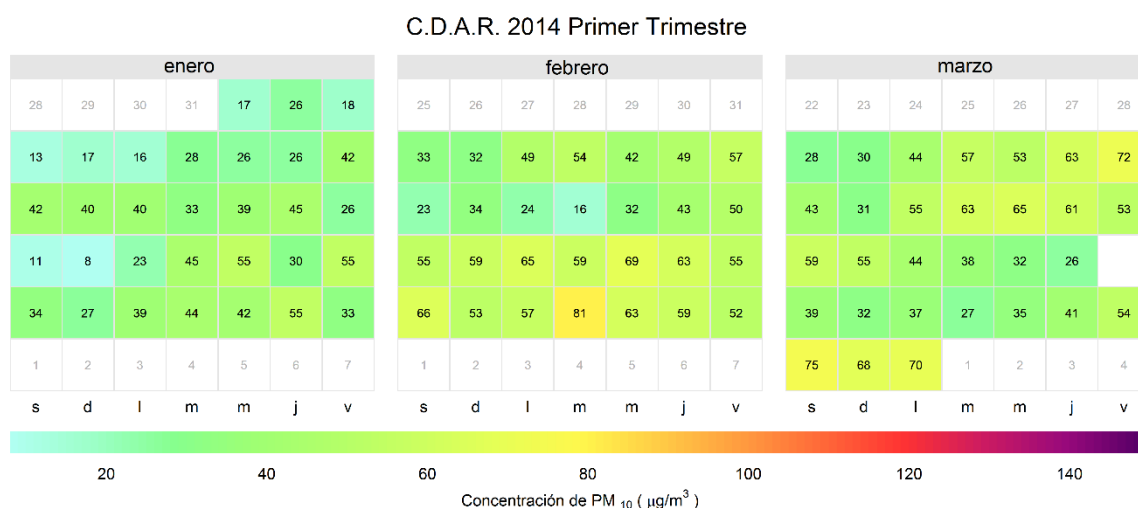


Figura 3-10. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el primer trimestre de 2014 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. No se presentaron excedencias del límite normativo de 100 µg/m³.

Ciclos semanales de las concentraciones de PM₁₀

La Figura 3-11 presenta el ciclo semanal de PM₁₀ por estación para el primer trimestre de 2014. Usualmente los domingos reportan las menores concentraciones de este contaminante en todas las estaciones analizadas con excepción de San Cristóbal la cual presenta los niveles más altos de toda la semana en dichos días. Este hecho sugiere que durante los domingos aumenta la actividad alrededor de esta estación que está ubicada dentro del Parque Metropolitano San Cristóbal.

En términos de bajas concentraciones, los domingos usualmente son seguidos por los lunes y los sábados. Los lunes están influenciados por la dinámica de la ciudad del día anterior mientras que los sábados están enmarcados en el fin de semana donde hay cambios en las actividades llevadas a cabo dentro de Bogotá. El periodo comprendido entre los días martes y viernes es homogéneo porque las concentraciones no tienen una variación significativa.

Los ciclos semanales más variables se observan en las estaciones con las mayores concentraciones que son Carvajal y Kennedy. En estas dos estaciones el intervalo de confianza de 95% abarca un rango más amplio. El día domingo en Carvajal la concentración desciende abruptamente, consecuencia de la reducción de actividades asociadas a la industria y al tráfico de vehículos de carga pesada. Es importante destacar que mientras estas dos estaciones registraron concentraciones de $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las demás estaciones se encuentran comprendidas entre $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

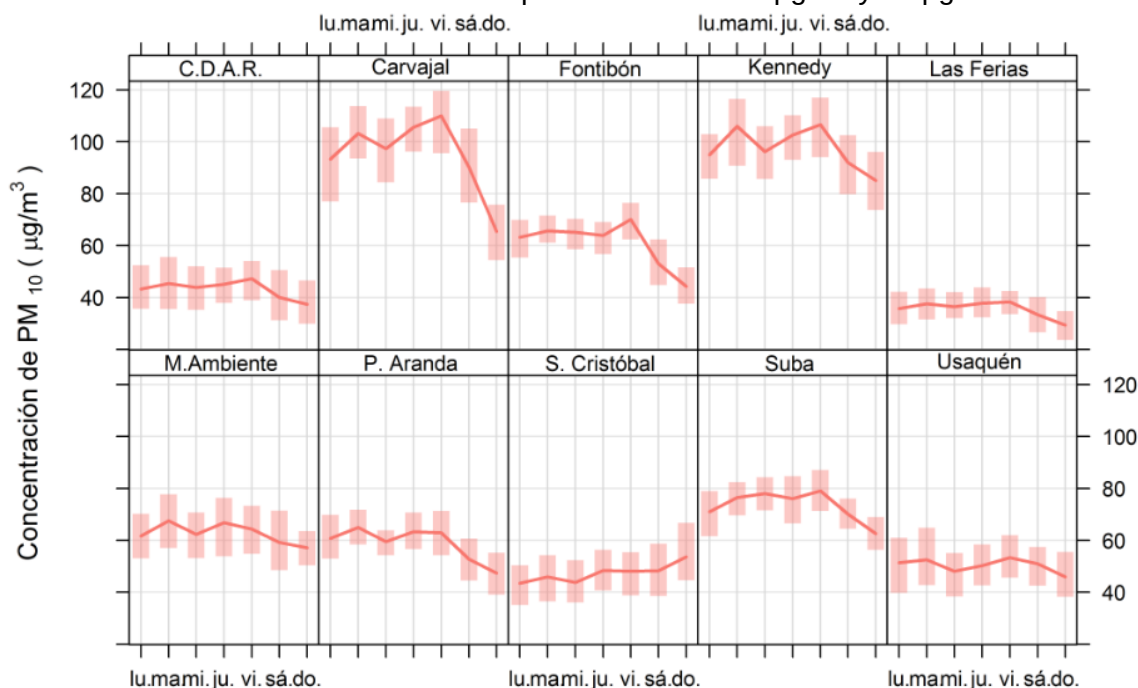


Figura 3-11. Comportamiento de la concentración de PM_{10} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Ciclos diarios de las concentraciones de PM_{10}

Aunque no existe normatividad de PM_{10} para tiempos de exposición de una hora, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones medias horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron este parámetro. La Figura 3-12 presenta los ciclos diarios por estación, en donde se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 06:00 a.m. y 08:00 a.m. con incrementos más notables en Carvajal y Kennedy lo cual evidencia la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada “hora pico” en la mañana. Los picos de Usaquén y MinAmbiente son menos pronunciados en relación a las demás horas del día porque se

presenta un aumento adicional de concentración en la tarde. Es importante destacar el comportamiento de San Cristóbal que registra una mayor variabilidad y concentración entre las 12:00 p.m. y las 06:00 p.m. La diferenciación en los perfiles diarios es atribuida principalmente a la influencia de las fuentes móviles.

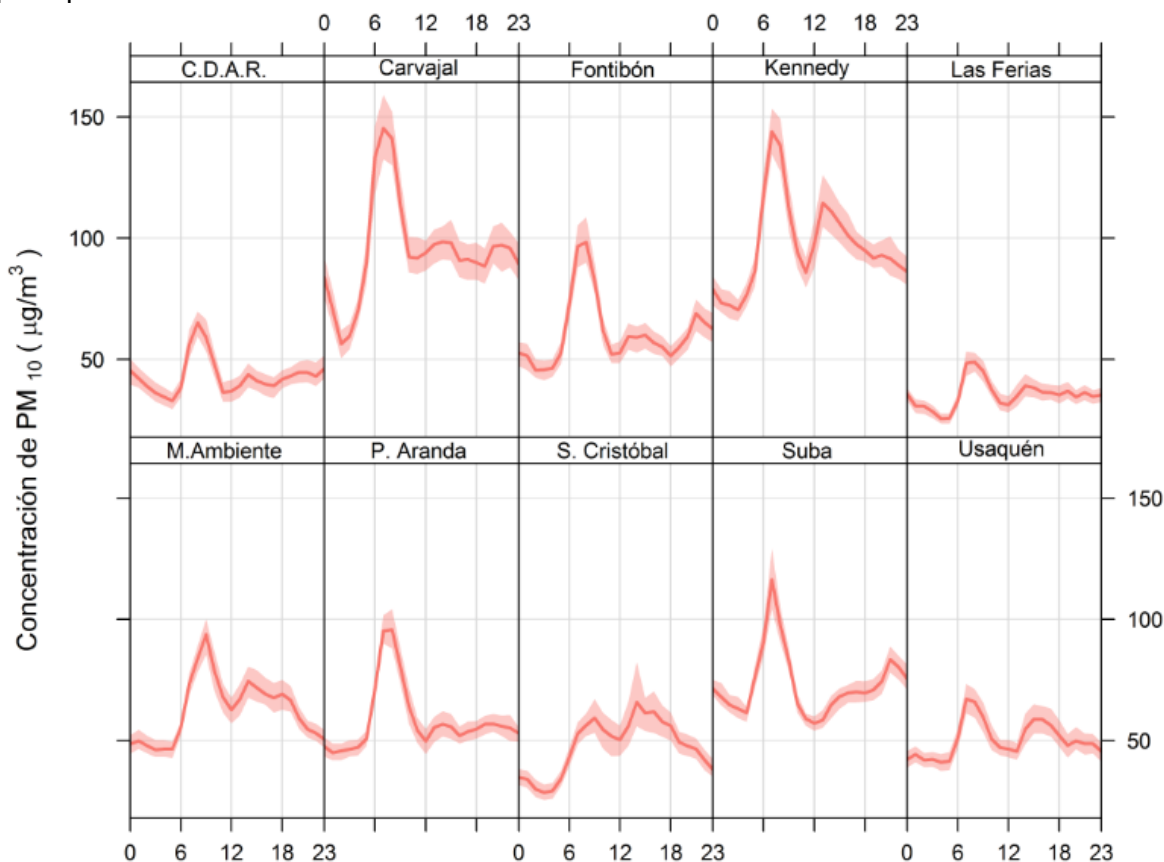


Figura 3-12. Ciclo diario de PM₁₀ para 10 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de PM₁₀

La Figura 3-13 es un diagrama de caja que contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de los días de la semana y de las estaciones para el primer trimestre de 2014. Como se mencionó previamente, los domingos registran las menores concentraciones en todos los sitios de monitoreo con excepción de San Cristóbal. En esta estación, el diagrama de caja correspondiente al domingo tiene una dispersión notablemente mayor en comparación con los demás días. Este hecho sugiere un cambio en el nivel de actividad en los alrededores de la estación, posiblemente por estar localizada en el interior del Parque Metropolitano San Cristóbal.

La estación Carvajal no excedió el límite normativo de 100 µg/m³ únicamente los domingos lo que sugiere que las actividades asociadas al transporte y a la industria son las principales responsables del aumento de concentración en esta estación al existir un contraste amplio con los niveles observados en los días hábiles y en los sábados.

Nuevamente con excepción de San Cristóbal, en términos de bajas concentraciones, los domingos son seguidos generalmente por los lunes posiblemente por la influencia de la capa residual del día anterior y por la ocurrencia de días festivos. Los días más contaminados tienden a ser los jueves y los viernes.

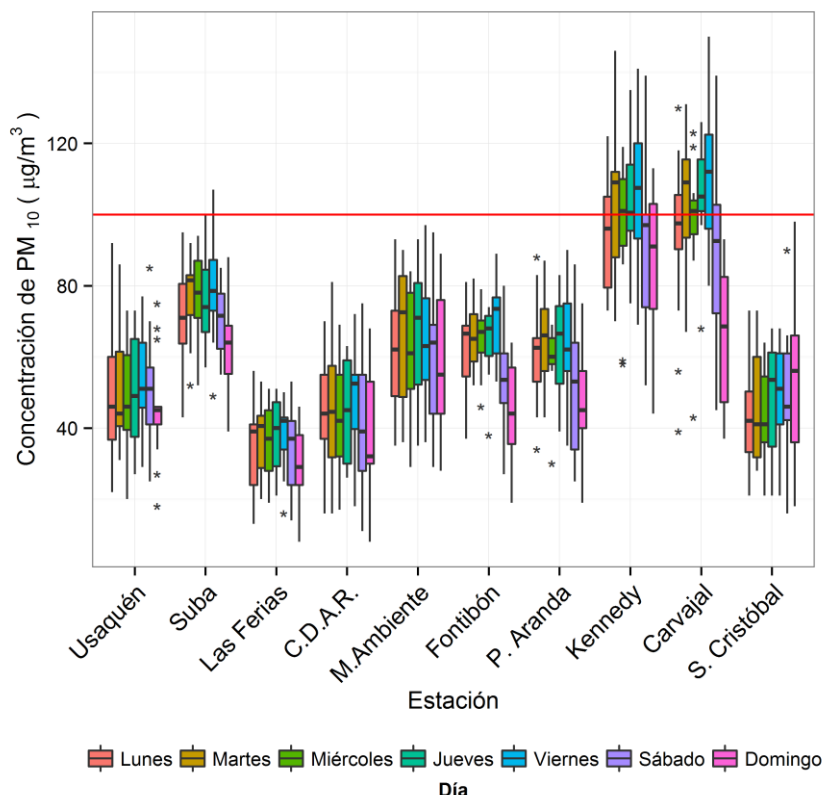


Figura 3-13. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.

La Figura 3-14 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación. Con excepción de Kennedy, enero se presenta como el mes con las menores concentraciones del trimestre. La temporada vacacional en los primeros días del año 2014 pudieron influenciar esta diferencia ya que se reduce la actividad de las principales fuentes generadoras de material particulado. No se observa una diferencia clara entre los comportamientos de febrero y marzo. Kennedy y Carvajal registran los mayores niveles de dispersión de la RMCAB lo que se asocia con una actividad alta y variada en las fuentes de emisión localizadas en el suroccidente de Bogotá.

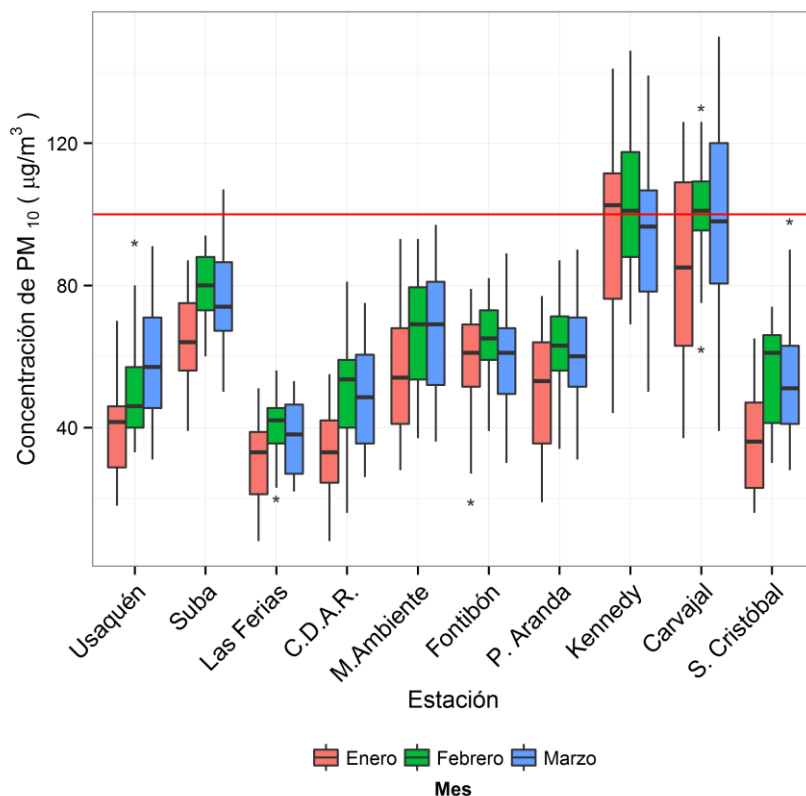


Figura 3-14. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función del día de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014.

Comportamiento histórico de promedios de PM₁₀

El análisis histórico por estaciones mostrado en la Figura 3-15 evidencia que los puntos de monitoreo en Kennedy y Carvajal han presentado las más altas concentraciones de PM₁₀ marcando una diferencia considerable en comparación con las demás estaciones de la RMCAB e incluso con las concentraciones registradas en el trimestre de 2013. Kennedy y Carvajal se ubican en la zona suroccidental de Bogotá que presenta altos niveles de contaminación por su localización en las inmediaciones de una zona industrial donde transitan vehículos de carga pesada. Estas estaciones son seguidas por Suba la cual presentó un aumento considerable en su concentración en el primer trimestre de 2014. Usaquén y Centro de Alto Rendimiento han mantenido niveles constantes de concentración en los periodos analizados. Tunal ha reducido progresivamente sus niveles entre 2010 y 2013 (no hay representatividad temporal en el primer trimestre de 2014 para esta estación). El primer trimestre de 2010 registra las concentraciones más altas en la mayoría de estaciones, una diferencia que posiblemente se atribuye a fenómenos de variabilidad climática.

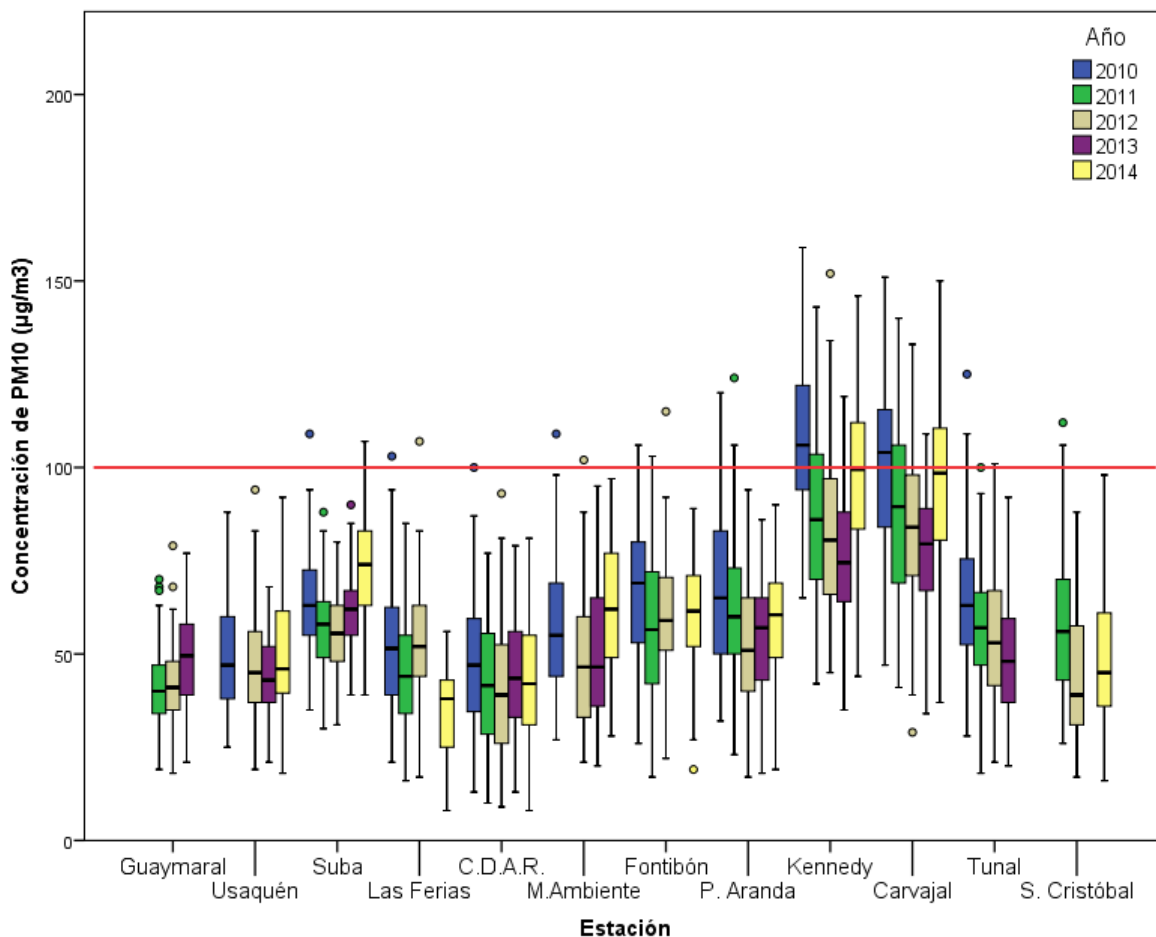


Figura 3-15. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM₁₀ por estaciones en los primeros trimestres de los años 2010 a 2014.

La Tabla 3-6 contiene un resumen de máximos para los primeros trimestres de los años 2010 a 2014. El valor máximo histórico reportado fue 159 µg/m³ el 15 de febrero de 2010 en la estación Kennedy. El periodo de 2014 registró una concentración de 150 µg/m³ el 28 de marzo de 2014 en Carvajal, valor que, en términos relativos, no es muy distante del máximo histórico. Se observa que en los primeros trimestres entre 2010 y 2013, los máximos de PM₁₀ de la RMCAB se atribuyen a Kennedy.

Tabla 3-6. Resumen de máximos de PM₁₀ en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	159	15/02/2010	Kennedy
2011	143	17/03/2011	Kennedy
2012	152	17/02/2012	Kennedy
2013	119	16/01/2013	Kennedy
2014	150	28/03/2014	Carvajal

3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5}

El límite normativo diario de PM_{2.5} es 50 µg/m³. Durante el primer trimestre de 2014, 8 estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. Se obtuvieron 503 datos válidos que corresponden a un porcentaje de representatividad temporal global de 70%. El monitor de la estación Suba inició operaciones el 18 de febrero de 2014 y el de Sagrado Corazón el 27 de febrero de 2014 y, por tanto, su representatividad temporal no cumple con el criterio de 75%, que define el cálculo de promedios para el periodo analizado.

Comportamiento diario de PM_{2.5} (24h)

La Figura 3-16 contiene un resumen de la concentración máxima, del promedio y del número de excedencias de la norma diaria de PM_{2.5} para el primer trimestre de 2014. Es importante destacar que estos promedios son indicativos y útiles para el análisis mutuo de las estaciones pero no son susceptibles de ser comparados con la normatividad nacional (Resolución 610 de 2010), al ser esta para periodo anual y de 24 horas y los datos presentados corresponden a promedios del trimestre.

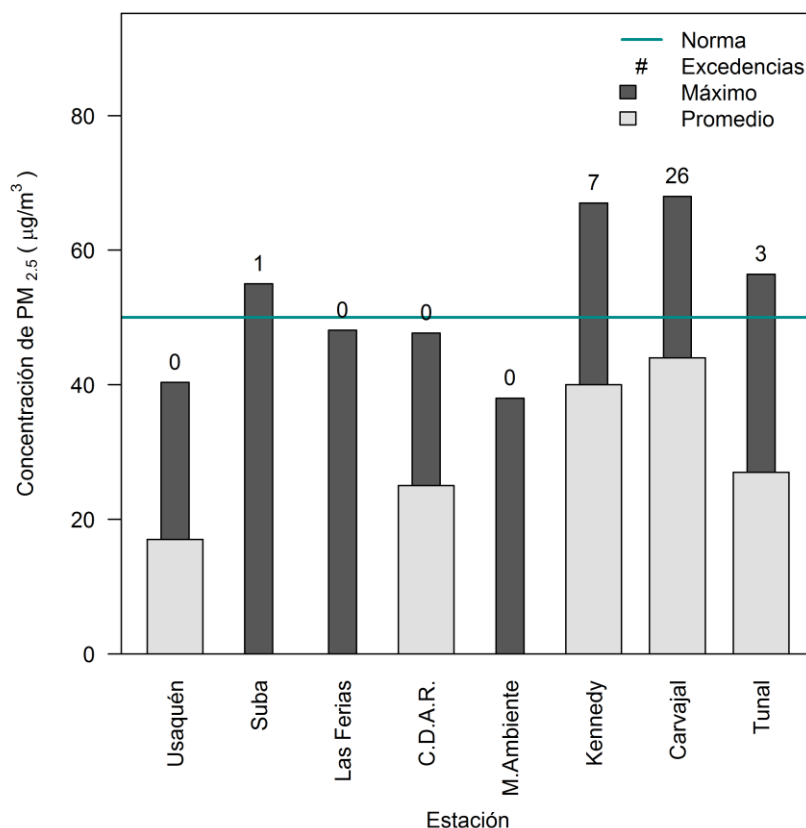


Figura 3-16. Máximo, promedio y excedencias de PM_{2.5} en base diaria para el primer trimestre de 2014.

La Tabla 3-7 contiene un resumen estadístico y de excedencias. De las 8 estaciones, 4 registraron concentraciones diarias que superaron la normatividad nacional siendo estas

Suba (1), Kennedy (7), Carvajal (26) y Tunal (3). Los mayores valores de máximos y promedios fueron observados en Kennedy y Carvajal, las cuales se caracterizan por ubicarse en un sector sujeto a actividades asociadas principalmente a industrias (fuentes fijas) y tráfico pesado (fuentes móviles), especialmente vehículos que usan diésel como combustible. La última columna de esta tabla presenta la cantidad de datos que son mayores que el 90% de la norma ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y menores o iguales al 100% ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se observa que aunque no hay excedencias de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento registraron 3 datos cada una en el rango mencionado evidenciando que las estaciones son propensas de incumplir la normatividad en sus bases diarias.

Las máximas concentraciones del trimestre se reportaron en las estaciones Carvajal y Kennedy con $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 24 de febrero y $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 31 de marzo, respectivamente. Estos valores máximos contrastan con el conjunto de formado por las demás estaciones en las cuales se obtuvieron máximos en un rango comprendido entre $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El mismo caso aplica para los promedios. Se observa una congruencia de las mediciones de $\text{PM}_{2.5}$ con las de PM_{10} ya que coincide el reporte de estaciones con mayor concentración confirmando que el suroccidente de Bogotá es la zona más contaminada por material particulado en la ciudad.

Tabla 3-7. Resumen de datos diarios de $\text{PM}_{2.5}$ para el primer trimestre de 2014.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio aritmético ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Excedencias norma $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma ⁷
Usaquén	85	94%	17	0	40	31/03/2014	0
Suba	24	27%	N.R.	1	55	31/03/2014	1
Las Ferias	66	73%	N.R.	0	48	31/03/2014	3
Centro de Alto Rendimiento	82	91%	25	0	48	17/02/2014	3
MinAmbiente	5	6%	N.R.	0	38	30/03/2014	0
Kennedy	83	92%	40	7	67	31/03/2014	11
Carvajal	75	83%	44	26	68	24/02/2014	13
Tunal	83	92%	27	3	56	15/03/2014	3

N.R.: no representativo.

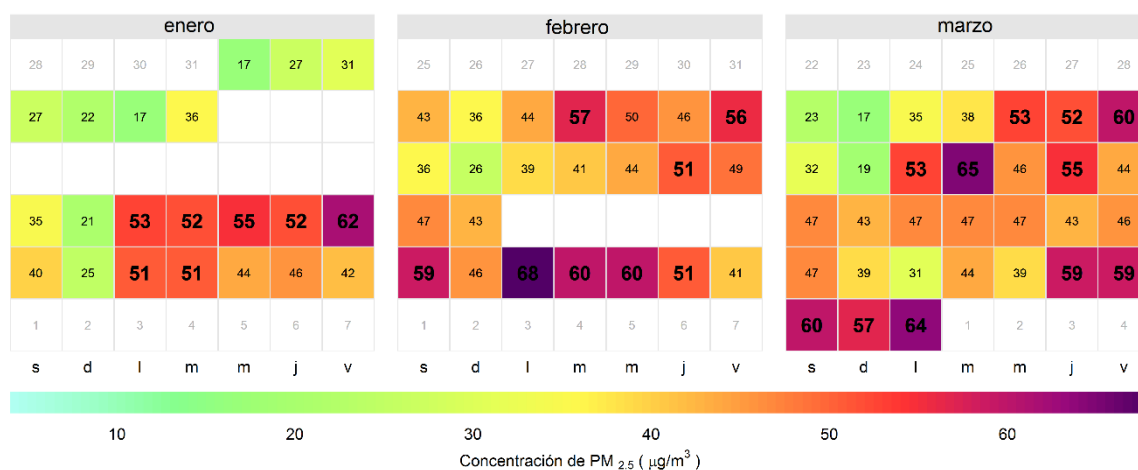
En el primer trimestre de 2013 solamente se contó con información de la estación Kennedy en la cual se presentó una excedencia con un porcentaje de representatividad temporal en base diaria de 100% y un promedio de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa entonces que esta estación desmejoró su calidad del aire en el periodo de 2014 al reportar 7

⁷ Mayor a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor o igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

excedencias y un promedio de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta diferencia es posiblemente atribuible a una variabilidad meteorológica desfavorable.

La Figura 3-17 corresponde a un diagrama calendario de las concentraciones diarias de $\text{PM}_{2.5}$ durante el primer trimestre de 2014 en la estación con mayores concentraciones (Carvajal) y en la que tiene las menores (Usaquén) mostrando el alto contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. Se observa la distribución temporal de las 26 excedencias de Carvajal, las cuales están distribuidas en los tres meses estudiados. El valor máximo de $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es seguido por tres días donde también se presentaron altas concentraciones evidenciando una tendencia de contaminación a largo plazo. Usaquén no presentó excedencias y su valor máximo fue $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual es precedido por dos días de alta concentración con $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Carvajal 2014 Primer Trimestre



Usaquén 2014 Primer Trimestre



Figura 3-17. Diagrama calendario para $\text{PM}_{2.5}$ durante el primer trimestre de 2014 en las estaciones Carvajal y Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

El perfil semanal de la Figura 3-18 muestra la alta variabilidad de los promedios diarios evidenciando la contribución de diferentes fuentes de emisión. Carvajal y Kennedy mantienen las mayores concentraciones, y perfiles más variables (en el intervalo de confianza y a lo largo de la semana) respondiendo a la alta actividad en sus alrededores, con descensos abruptos los días sábado y domingo. En cambio, los perfiles de Centro de Alto Rendimiento, Tunal y Usaquén son más homogéneos. Se destaca especialmente esta última estación donde las concentraciones son notablemente bajas. Todos los sitios de monitoreo registran el viernes como el día de más alta concentración de $PM_{2.5}$.

Los ciclos diarios de la Figura 3-19 confirman las observaciones realizadas para los ciclos semanales ya que Kennedy y Carvajal muestran mayores concentraciones y variaciones con picos de concentración que ocurren generalmente entre 06:00 a.m. y 09:00 a.m. Este pico no se observa de forma marcada en Tunal y en Usaquén y en estas estaciones aparece un aumento en la tarde comparable en magnitud al de la mañana. Se reitera entonces que no es posible generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios generales a nivel ciudad sino que es necesario sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

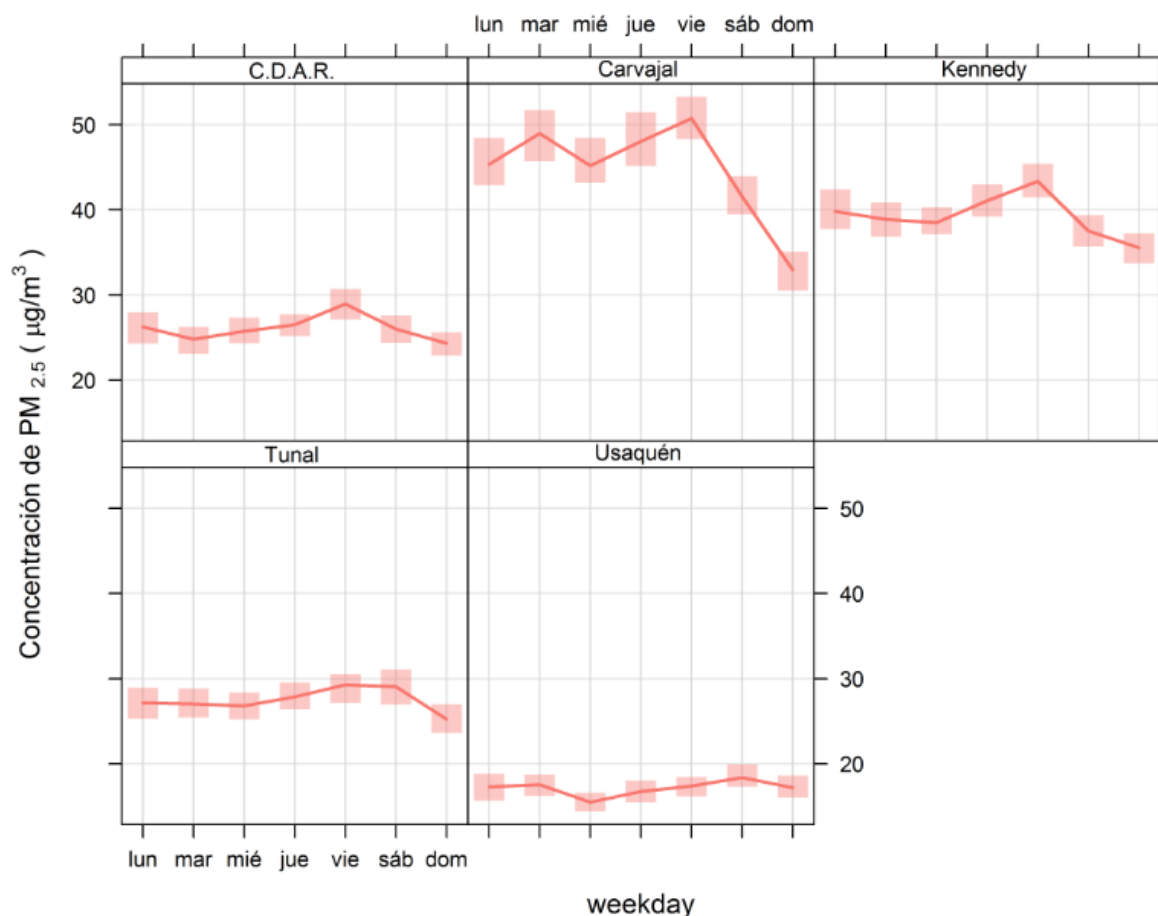


Figura 3-18. Comportamiento de la concentración de $PM_{2.5}$ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

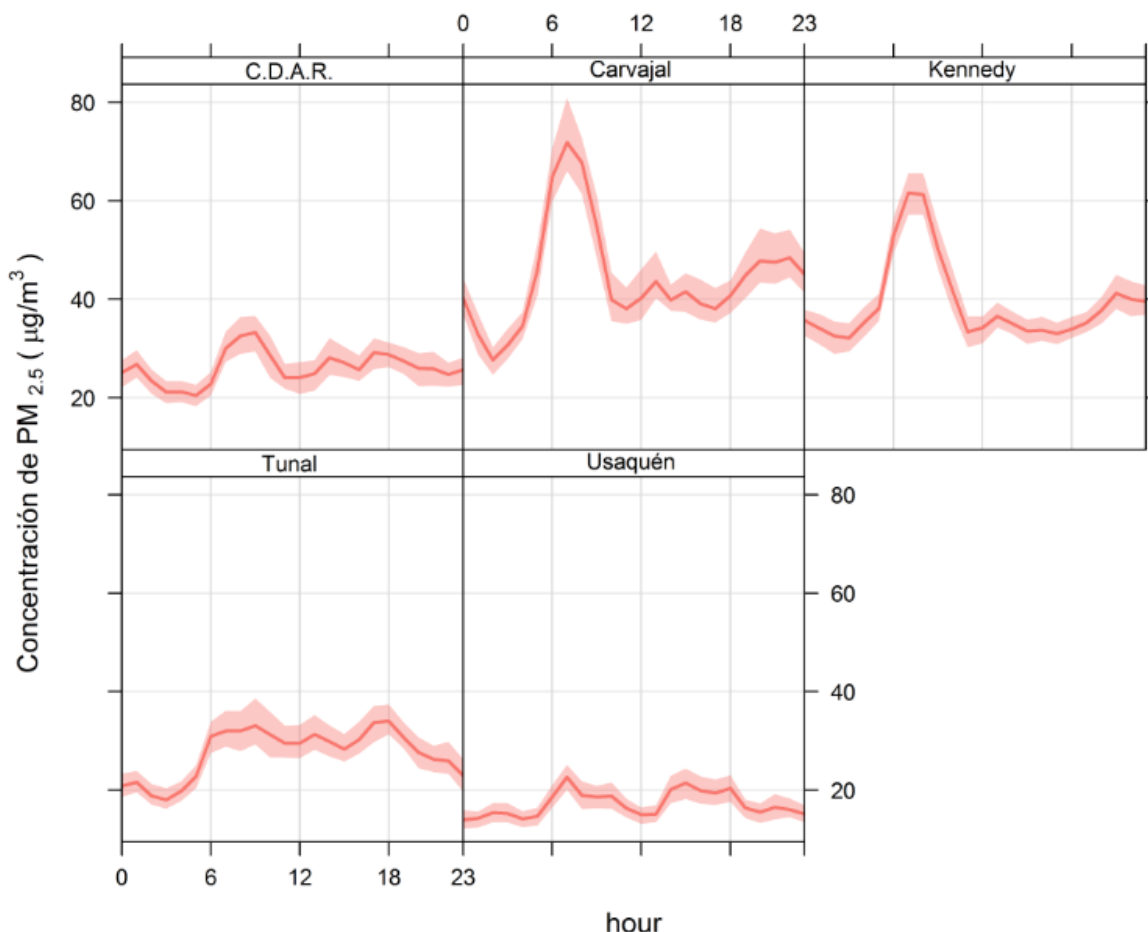


Figura 3-19. Ciclo diario de la concentración de $PM_{2.5}$ por estación en el primer trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

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

La Figura 3-20 presenta diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función del día de la semana y de la estación de monitoreo para el primer trimestre de 2014. Los ciclos semanales de las 5 estaciones analizadas son variados en cuanto a magnitud y variabilidad entre los diferentes días. Usaquén es la estación que registra las menores concentraciones de $PM_{2.5}$ y tiene la mayor homogeneidad en su ciclo semanal, caso contrario a Carvajal donde se presenta un amplio contraste con respecto a los días comprendidos entre lunes y sábado. En esta última estación es importante destacar la amplitud de los diagramas de caja correspondientes a los lunes y a los domingos.

A excepción de Usaquén, los domingos registran las menores concentraciones de los ciclos analizados lo cual se debe a cambios en la dinámica de la ciudad. Los jueves, viernes y sábados tienden a ser los días con las mayores concentraciones de la semana.

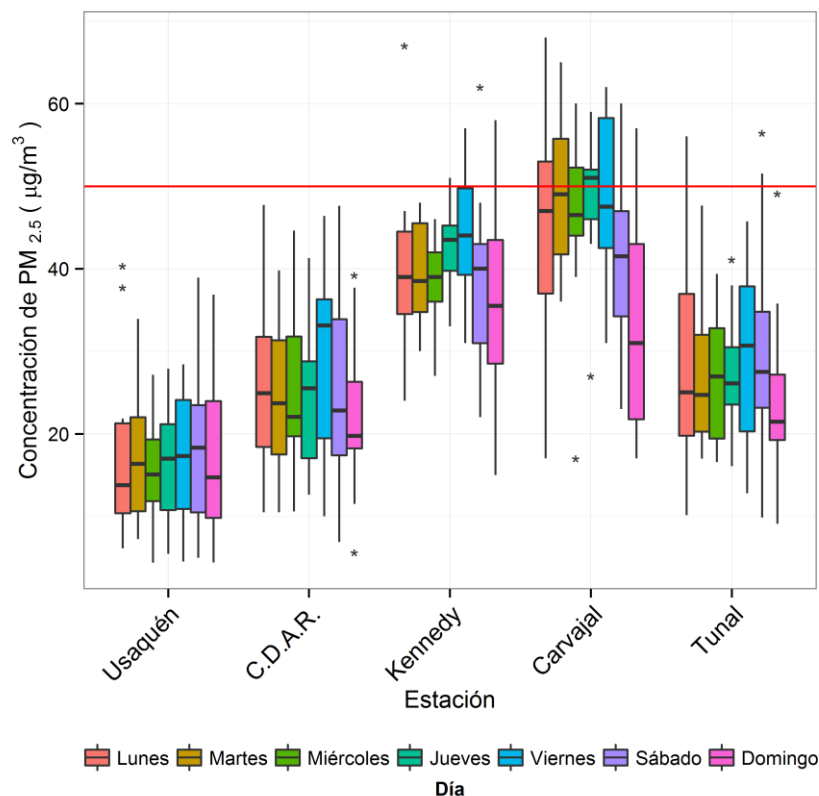


Figura 3-20. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.

La Figura 3-21 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los meses de enero, febrero y marzo y de las estaciones de monitoreo. De forma similar al comportamiento observado para PM₁₀, enero es el mes que registra de forma generalizada las menores concentraciones lo cual se debe posiblemente a la influencia de la temporada vacacional de los primeros días del año 2014. Marzo tiende a registrar las mayores concentraciones en Usaquén, Kennedy y Tunal y enmarca el mayor número de excedencias. Aunque no hay diferencias significativas en cuanto a la dispersión de los datos, se observa que Usaquén presenta los menores niveles.

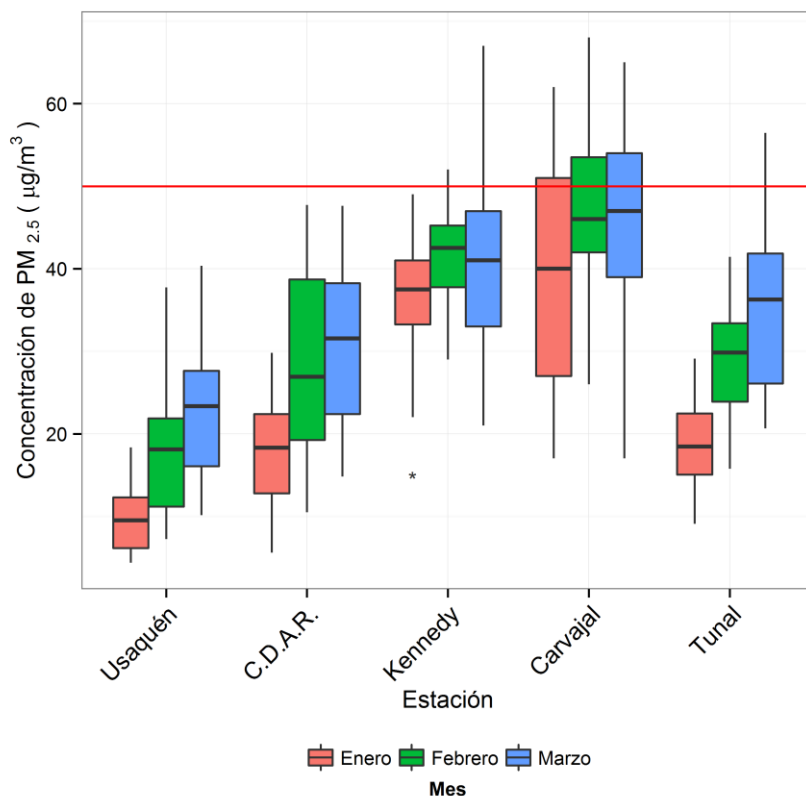


Figura 3-21. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014.

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis del comportamiento histórico es importante aclarar que los periodos entre 2010 y 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que el primer trimestre de 2014 corresponde al análisis de 5 estaciones en conjunto teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 monitores adicionales iniciaron operación. 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).

La Figura 3-22 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de la concentración media de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo en los primeros trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se muestran aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. En el primer trimestre de 2014, Kennedy y Carvajal presentaron las concentraciones más altas mientras que los menores niveles se evidenciaron en Centro de Alto Rendimiento (Parque Simón Bolívar) y Usaquén. Estas diferencias concuerdan con las características de los alrededores de las estaciones ya que Kennedy y Carvajal se localizan en el suroccidente de Bogotá, que es una zona que presenta una fuerte actividad industrial y de vehículos de tráfico pesado. Esta

comparación espacial no es posible realizar en los trimestres entre 2010 y 2013 porque, como se ha reiterado, solamente se ha contado con la estación Kennedy. Para esta estación los menores niveles se registraron en el periodo de 2012 mientras que el primer trimestre de 2014 presentó niveles comparables con el periodo de 2010 posiblemente por efectos meteorológicos.

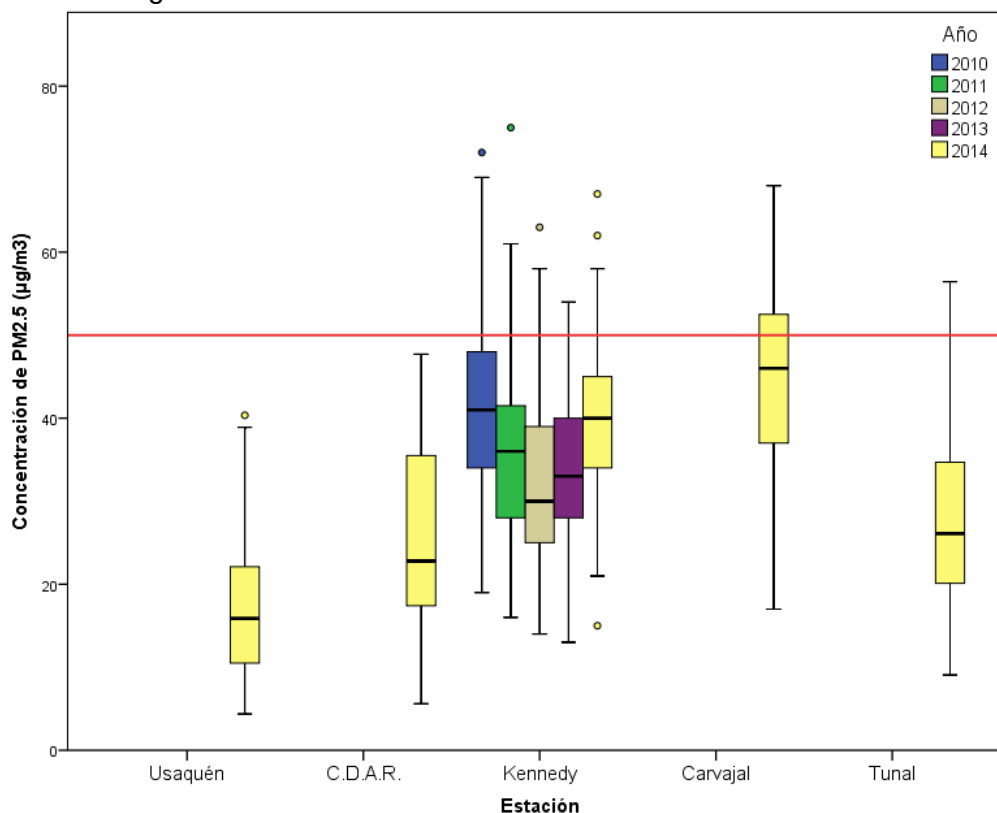


Figura 3-22. Gráfico de *boxplot* para PM_{2.5} por estaciones (desde base diaria) para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

La Tabla 3-8 contiene un resumen histórico de máximos en los periodos considerados. El máximo valor registrado fue 75 µg/m³ en Kennedy el 17 de marzo de 2011. Entre los trimestres de 2011 y 2013 los niveles máximos descendieron y la tendencia fue alterada en el primer trimestre de 2014 posiblemente por variabilidad meteorológica que dificultó la mezcla de contaminantes en la atmósfera bogotana.

Tabla 3-8. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM_{2.5} para los primeros trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010 y 2013.

Trimestre del año	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	72	15/02/2010	Kennedy
2011	75	17/03/2011	Kennedy
2012	63	17/02/2012	Kennedy
2013	55	16/01/2013	Kennedy
2014	68	24/02/2014	Carvajal

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

La Tabla 3-9 muestra la relación de concentraciones entre material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el primer trimestre de 2014. Esta relación muestra la fracción de PM_{10} que es $PM_{2.5}$ y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. Parque Simón Bolívar registra la más alta relación, lo cual se atribuye posiblemente a la influencia de actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles y/o alta influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003). La baja relación de Usaquén muestra influencia principalmente por material particulado resuspendido, el cual es más grueso que el emitido por las fuentes de combustión.

Tabla 3-9. Relación de concentraciones entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el primer trimestre de 2014.

Estación	$PM_{2.5}$	PM_{10}	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Usaquén	17	50	0,3
Centro de Alto Rendimiento	25	43	0,6
Kennedy	40	97	0,4
Carvajal	44	95	0,5

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), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2). 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 luz 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 de combustibles fósiles. Este gas afecta la salud puesto que tiene mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno, por lo cual en altas concentraciones puede llegar a interferir en el proceso de transporte de oxígeno en la sangre.

El 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 primer trimestre de 2014, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1. No se considera el analizador de la Estación Móvil al estar enmarcado en el Convenio 176 de 2010, como fue mencionado previamente.

Comportamiento horario de O₃

Durante el primer trimestre de 2014 se obtuvieron 21459 (veintiún mil cuatrocientos cincuenta y nueve) promedios horarios válidos de O₃, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 90%. 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 por estación se presentan en la Tabla 3-10. La Figura 3-23 es un reflejo de la información de esta Tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y números de excedencias. No se muestra promedio para la estación MinAmbiente (antiguamente conocida como Sagrado Corazón) porque su porcentaje de representatividad es 65%.

Con excepción de Suba y Carvajal todas las estaciones presentaron excedencias de la normatividad vigente. La mayor cantidad de excedencias se presentó en Guaymaral, Usaquén y Fontibón. Este comportamiento contrasta con el observado para PM₁₀ porque, por ejemplo, Carvajal se caracteriza por presentar la mayor cantidad de excedencias de material particulado (PM_{2.5}, PM₁₀ y PST).

El 29 de marzo de 2014 entre 14:00 y 15:00, 7 estaciones de la RMCAB registraron sus valores máximos simultáneamente. Este día es seguido por el 30 y el 31 de marzo, los cuales enmarcan un periodo de aumentos inusuales de concentración. El 29 de enero de 2014 Guaymaral, Suba y San Cristóbal coinciden en el registro de sus máximos representando otro episodio de máxima concentración. La concentración más alta de la RMCAB en el primer trimestre de 2014 para ozono fue registrada en Usaquén el 29 de marzo con un valor de 179 µg/m³.

En el primer trimestre de 2013 se obtuvo una recuperación de datos válidos de 89% con un total de 18 excedencias en comparación con 65 del primer trimestre de 2014 lo cual evidencia un deterioro considerable de la calidad del aire y está en concordancia con el aumento de concentración de PM₁₀ tal como pudo evidenciarse en la sección 3.1.2. Es posible que el deterioro de la calidad del aire pueda ser atribuido a contaminación transfronteriza (de otras jurisdicciones al Distrito Capital) o a condiciones meteorológicas desfavorables en el área urbana de Bogotá.

Aunque los promedios de la Figura 3-23 no son susceptibles de comparación con la normatividad nacional, se observa que las estaciones ubicadas en el norte de la ciudad (especialmente Guaymaral) tienen los promedios más altos de O₃.

Tabla 3-10. Resumen descriptivo de datos de O₃ por estación para el primer trimestre de 2014. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m ³	Máximo [µg/m ³] ⁸	Fecha/hora de ocurrencia del máximo
Guaymaral	98%	12	159	29/01/2014 15:00
Usaquén	96%	14	179	29/03/2014 15:00
Suba	91%	0	120	29/01/2014 14:00
Las Ferias	99%	7	168	29/03/2014 14:00
Centro de Alto Rendimiento	95%	11	157	29/03/2014 14:00
MinAmbiente	65%	1	123	29/03/2014 15:00
Fontibón	79%	16	165	29/03/2014 14:00
Puente Aranda	99%	2	126	29/03/2014 14:00
Carvajal	87%	0	106	30/03/2014 12:00
Tunal	91%	1	128	29/03/2014 14:00
San Cristóbal	94%	1	128	29/01/2014 14:00

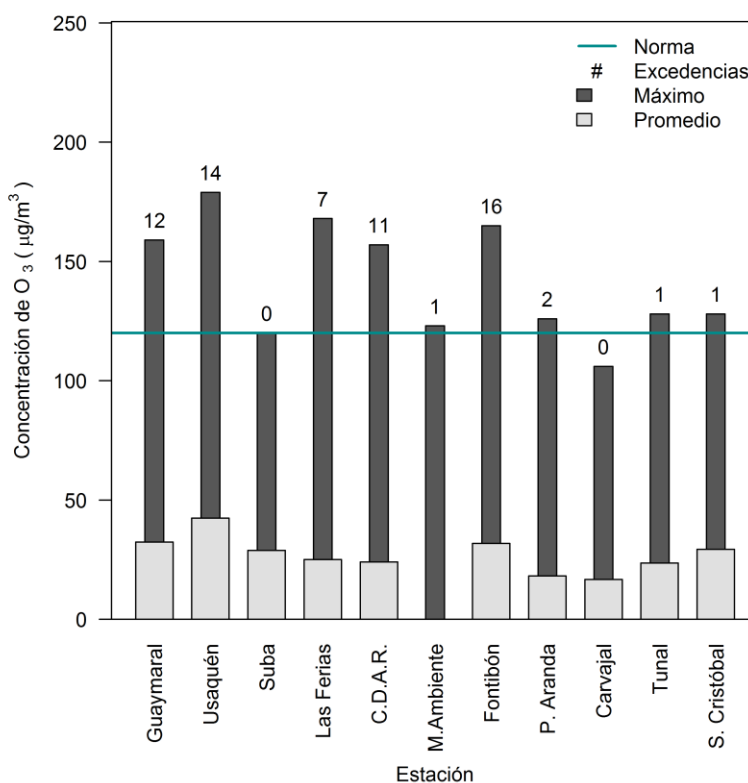


Figura 3-23. Concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base horaria por estación durante el primer trimestre de 2014.

⁸ 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.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O₃

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 21320 (veintiún mil trescientos veinte) promedios que representan el 90% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el primer trimestre de 2014. 213 datos excedieron la normatividad nacional (80 µg/m³, Resolución 610 de 2010) en todas las estaciones con excepción de Carvajal y San Cristóbal que se encuentran localizadas en el sur de la ciudad. Estas excedencias representan el 1% del total de datos capturados válidos en el trimestre. Nuevamente MinAmbiente no cumple con el criterio de representatividad temporal de 75%.

El máximo promedio móvil registrado en una base temporal de 8 horas fue 133 µg/m³ el 29 de marzo de 2014 a las 09:00 p.m. en Usaqué, día en el cual otras 8 estaciones registraron sus máximos. Esta fecha también fue crítica en términos horarios para este contaminante. Con una diferencia notable las estaciones Guaymaral, Usaqué y Fontibón representan el mayor número de excedencias tal como se observa en la Tabla 3-11. La Figura 3-24 muestra las concentraciones máximas, los promedios y las excedencias para cada una de las estaciones. Al igual que la Figura 3-23, los promedios son indicativos y no deben ser comparados con los límites normativos vigentes al tener tiempos de exposición diferentes.

En el primer trimestre de 2013 se reportaron 66 excedencias con una representatividad temporal global de 85% que corresponde a un porcentaje de excedencias de 0,3%. La información del mismo periodo de 2014 muestra un deterioro de la calidad del aire de la ciudad al representar un número considerablemente mayor de excedencias (213).

Al comparar con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o 116 µg/m³ en el cual no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena” (U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013), 4 de las 11 estaciones superaron este límite normativo con 15 excedencias en total en Usaqué (5), Las Ferias (4), Centro de Alto Rendimiento (2) y Fontibón (4). Esta es una situación inusual porque en el año 2013 ninguna concentración en base de 8 horas superó este límite y en el 2012 solamente fue excedido por MinAmbiente (Sagrado Corazón). Estos resultados, junto con los obtenidos para el material particulado muestran niveles relativamente altos de contaminación atmosférica en la ciudad causados por una posible influencia meteorológica.

Según los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2012), la norma anual es 75 ppb (147 µg/m³). Teniendo en cuenta que el máximo valor reportado en el primer trimestre de 2014 fue 133 µg/m³ no hay excedencias hasta el momento en el año 2014 de este límite normativo.

Las horas de concentración máxima sugieren que los máximos niveles de O₃ en base de 8 horas ocurren predominantemente entre las 05:00 p.m. y las 07:00 p.m., lo cual no es concordante con los fenómenos atmosféricos porque en general mayores concentraciones de ozono están asociadas a alta radiación solar. En relación a este hecho, es importante tener en cuenta que los valores de dichas horas son el resultado de

promediar las 8 horas pasadas, cuando la radiación solar es considerable, donde están incluidas horas cercanas al medio día que registran los niveles más altos de esta variable.

Tabla 3-11. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O₃ en base 8 horas durante el primer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8 h) 80 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m ³)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	98%	49	2	107	29/03/2014 19:00
Usaquén	96%	46	2	133	29/03/2014 19:00
Suba	91%	12	1	89	31/03/2014 18:00
Las Ferias	99%	22	1	127	29/03/2014 18:00
Centro de Alto Rendimiento	94%	22	1	120	29/03/2014 18:00
MinAmbiente	61%	3	0	90	29/03/2014 19:00
Fontibón	79%	50	3	129	29/03/2014 18:00
Puente Aranda	99%	4	0	97	29/03/2014 18:00
Carvajal	86%	0	0	80	29/03/2014 17:00
Tunal	90%	5	0	95	29/03/2014 18:00
San Cristóbal	94%	0	0	78	29/01/2014 17:00

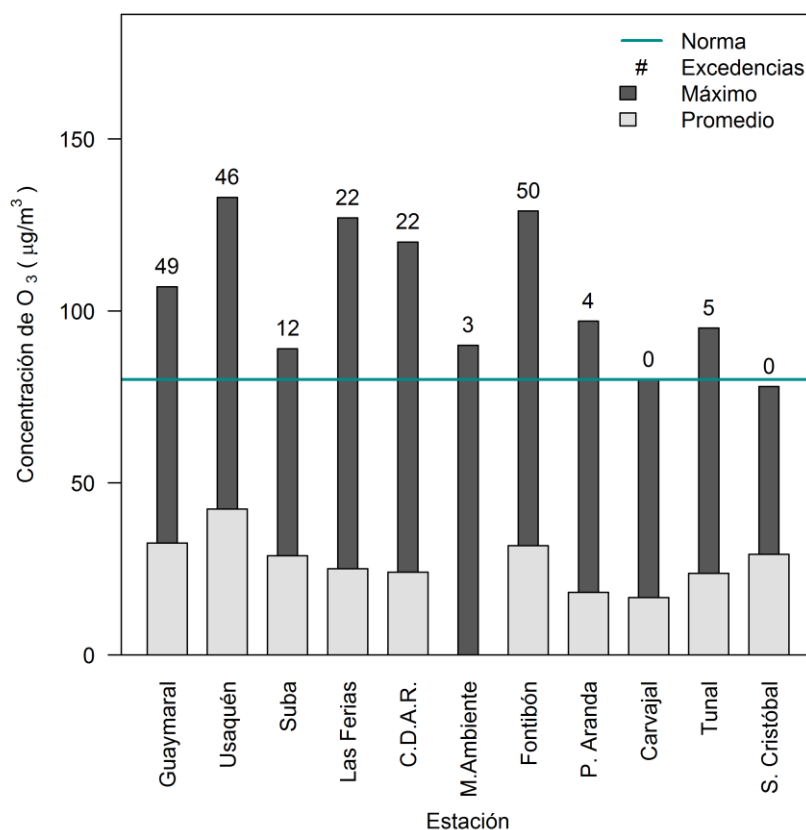


Figura 3-24. Concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base 8 horas por estación durante el primer trimestre de 2014.

Comportamiento temporal de las concentraciones de O₃

La Figura 3-25 presenta diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo. Aunque no existe límite máximo permisible diario para las concentraciones de O₃, los valores se presentan en esta base temporal porque se facilita la interpretación gráfica al suavizar las tendencias y reducir el número de valores atípicos en comparación con el uso de promedios horarios o móviles de 8 horas.

En términos generales se observa que las menores concentraciones de ozono se presentan entre martes y viernes y que los sábados y domingos se caracterizan por mayores niveles. Esta tendencia es inversa a la observada para los demás contaminantes donde generalmente los domingos registran las menores concentraciones y los jueves y viernes las mayores. En este aspecto es importante considerar que el ozono no es emitido directamente a la atmósfera sino que se forma a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

Los sábados presentaron en general los mayores niveles de dispersión. Usaquén se destacó como la estación con las mayores concentraciones mientras que Carvajal presentó las menores.

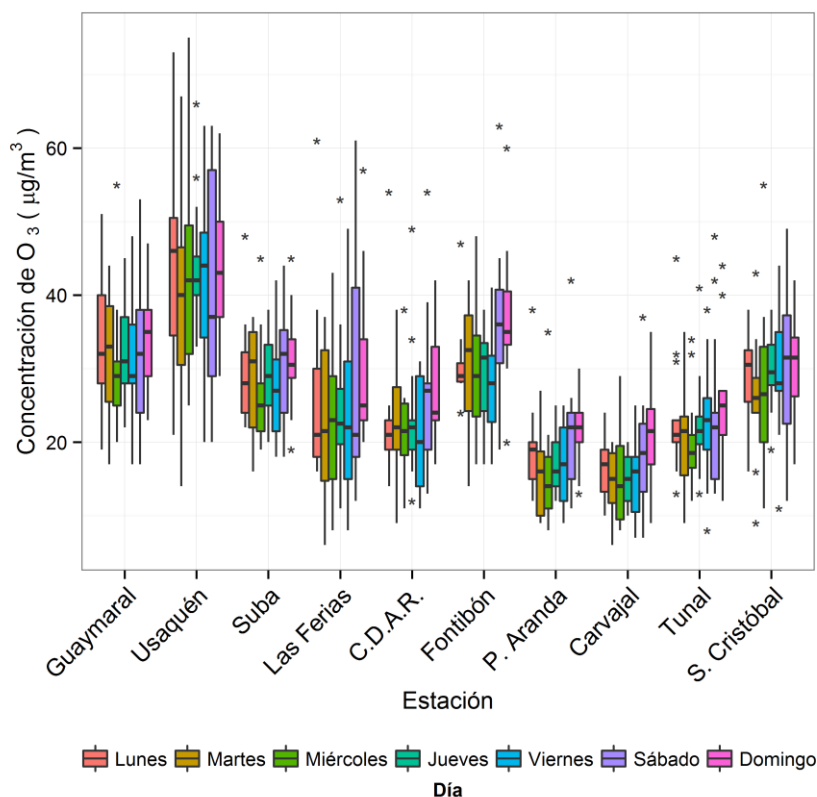


Figura 3-25. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de O₃ en función de los días de la semana por estación para el primer trimestre de 2014.

La Figura 3-26 presenta la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de los meses de enero, febrero y marzo y de las estaciones de monitoreo. Las tendencias de los diagramas de caja muestran que no es posible establecer de forma generalizada los meses con las menores y mayores concentraciones. En marzo de 2014 Usaquén presentó una alta variabilidad en sus concentraciones de ozono y este hecho contribuyó a que sus niveles se elevaran drásticamente en el presente trimestre. Con excepción de dicho mes, no puede establecerse una diferenciación clara entre las dispersiones de las diferentes cajas.

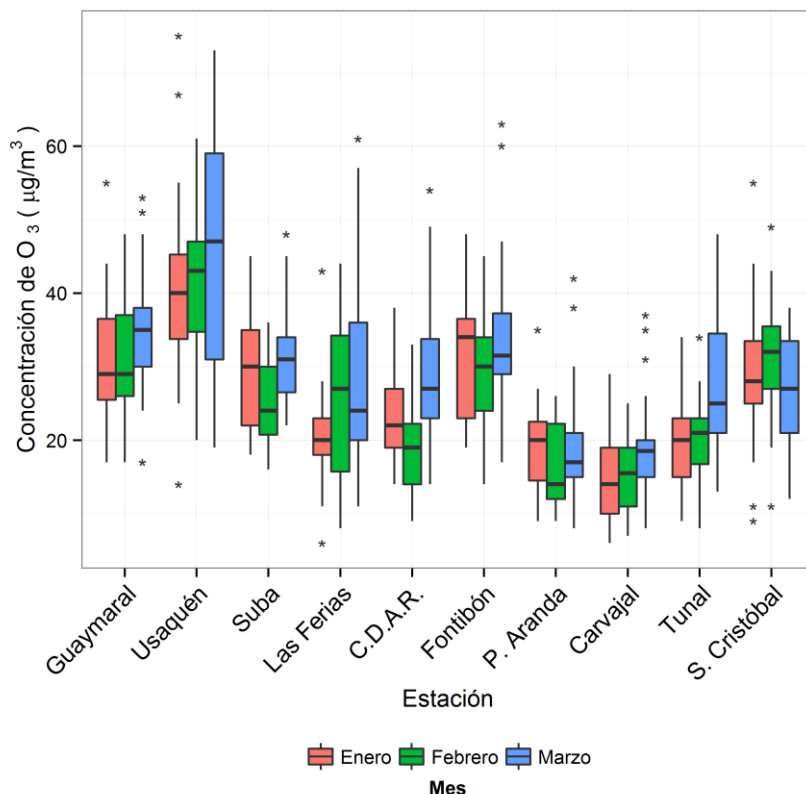


Figura 3-26. Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de O_3 en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación para el primer trimestre de 2014.

Los ciclos diarios por estación de monitoreo se presentan en la Figura 3-27. Se observa que los picos de ozono ocurren en horas cercanas a la 01:00 p.m. cuando la radiación solar es alta. Las variabilidades diarias son más pronunciadas en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Fontibón, Guaymaral y Suba. La estación Usaquén, aunque no presenta alta variabilidad, sí mantiene concentraciones e intervalos de confianza por encima de los valores usuales encontrados en las demás estaciones.

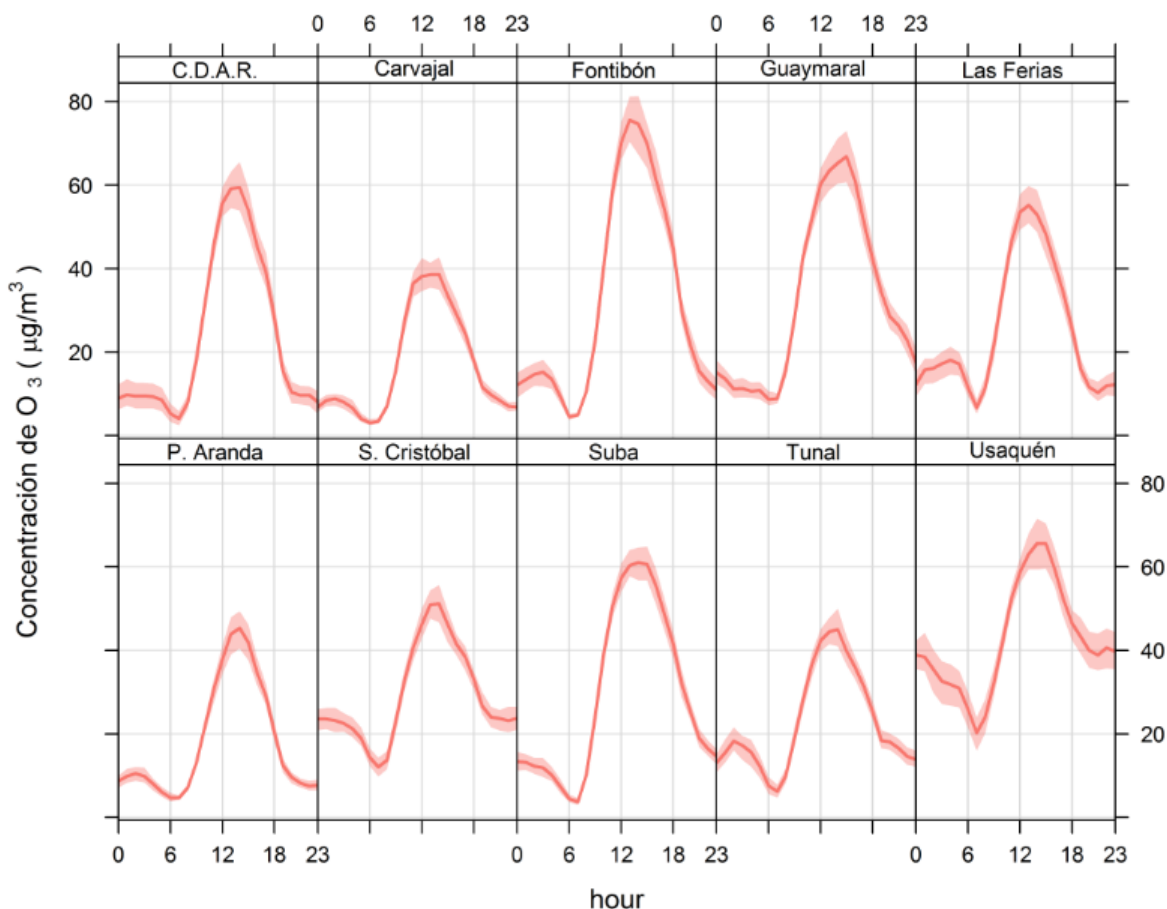


Figura 3-27. Ciclo diario de las concentraciones de ozono en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada promedio está representado con su respectivo intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico del O₃. Base temporal diaria.

La Figura 3-28 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de las estaciones de monitoreo. Históricamente, las estaciones ubicadas en la zona norte y central de Bogotá han registrado mayores concentraciones en comparación con la zona sur, especialmente el suroccidente de Bogotá. Guaymaral, Usaquén y Suba se caracterizan por presentar altos niveles, los cuales son similares a los registrados por MinAmbiente durante los trimestres de los años 2010 y 2012. Es importante destacar que para los demás contaminantes monitoreados por la RMCAB, las mayores concentraciones se localizan en el sur.

Los niveles de Suba, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda han bajado de forma progresiva mientras que Guaymaral ha estado aumentando en los periodos comprendidos entre 2012 y 2014. Las mediciones de Puente Aranda, Carvajal y Tunal, en el suroccidente y sur de la ciudad históricamente han sido las más bajas. En comparación con el primer trimestre de 2013, Guaymaral, Usaquén y Fontibón aumentaron sus concentraciones abruptamente, especialmente Usaquén.

Los primeros cuatro meses de 2010 se caracterizaron por presentar una influencia significativa por el fenómeno de El Niño (NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center, 2014), que pudo haber influido en el aumento de los niveles de ozono durante el primer trimestre. El máximo valor diario reportado en los periodos estudiados fue 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación MinAmbiente el domingo 14 de marzo de 2010. Este día se caracterizó por presentar concentraciones horarias alrededor de 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ desde las 10:00 a.m. hasta la terminación del día.

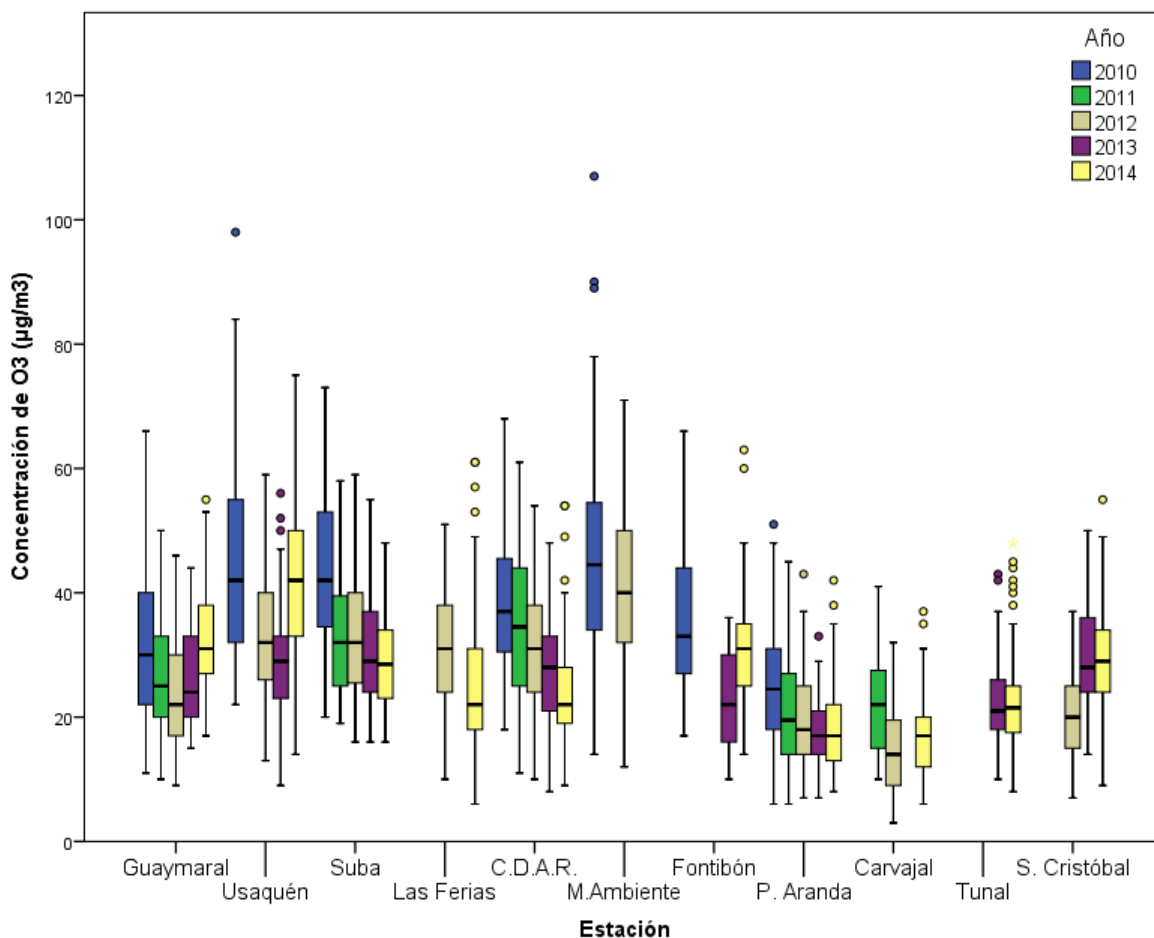


Figura 3-28. Gráfico de *boxplot* de O_3 en función de las estaciones para los primeros trimestres entre 2010 y 2014 (desde base diaria).

La Tabla 3-12 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de ozono en promedios de 8 horas. El máximo valor reportado en esta base temporal fue 197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 01 de enero de 2010 en Min. Ambiente. Es importante destacar que, al tratarse de promedios móviles, los valores consideran las 8 horas anteriores al reporte de máxima concentración, las cuales generalmente cubren el medio día cuando la radiación solar presenta mayor intensidad. Las estaciones Usaquén y Min. Ambiente se han destacado

por presentar altas concentraciones de ozono en la RMCAB. No se presentan resultados en base diaria para esta Tabla al no existir normatividad correspondiente.

Tabla 3-12. Resumen estadístico histórico de las concentraciones máximas de O₃ en promedios de 8 horas para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m ³	Fecha y hora de ocurrencia del máximo	Estación
2010	197	01/01/2010 17:00	Min. Ambiente
2011	128	25/01/2011 18:00	Usaquén
2012	132	16/02/2012 18:00	Min. Ambiente
2013	100	14/02/2013 18:00	Suba
2014	133	29/03/2014 19:00	Usaquén

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO₂

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO₂ para el primer trimestre de 2014 a partir de los datos obtenidos en 6 estaciones que se presentan en la Tabla 1-1. No se incluye la estación Carvajal ya que en el analizador correspondiente no hay confiabilidad en la operatividad del equipo al requerir una revisión en la eficiencia de la conversión del catalizador. La estación Las Ferias no reportó mediciones durante el trimestre por causas similares.

Comportamiento horario de la concentración de NO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 9680 (nueve mil seiscientos ochenta) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 90%. Las 5 estaciones analizadas cumplen con una cobertura temporal superior a 75%. La Figura 3-29 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO₂, en base de tiempo horaria. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m³, Resolución 610 de 2010) pero sí del 50% de la misma (100 µg/m³) en Puente Aranda (18 datos), Kennedy (1 datos) y Tunal (7 datos).

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 3-13. Puente Aranda presentó la concentración promedio más alta de las estaciones analizadas, lo que es congruente con las actividades que se desarrollan en sus alrededores y en el suroccidente de la ciudad. Kennedy y Tunal registraron medias similares, al igual que Guaymaral y Suba. El máximo valor horario de NO₂ registrado en la RMCAB fue 136 µg/m³ en Tunal el 24 de enero de 2014 a las 11:00 a.m. En la misma fecha a las 10:00 a.m., Puente Aranda registró su máximo con 135 µg/m³ en un evento de alta concentración que posiblemente afectó el sur de la ciudad.

Tabla 3-13. Resumen de datos horarios de NO₂ por estación para el primer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	100%	93	14/02/2014 17:00
Suba	100%	91	13/03/2014 21:00
Puente Aranda	88%	135	24/01/2014 10:00
Kennedy	85%	102	31/03/2014 09:00
Tunal	76%	136	24/01/2014 11:00

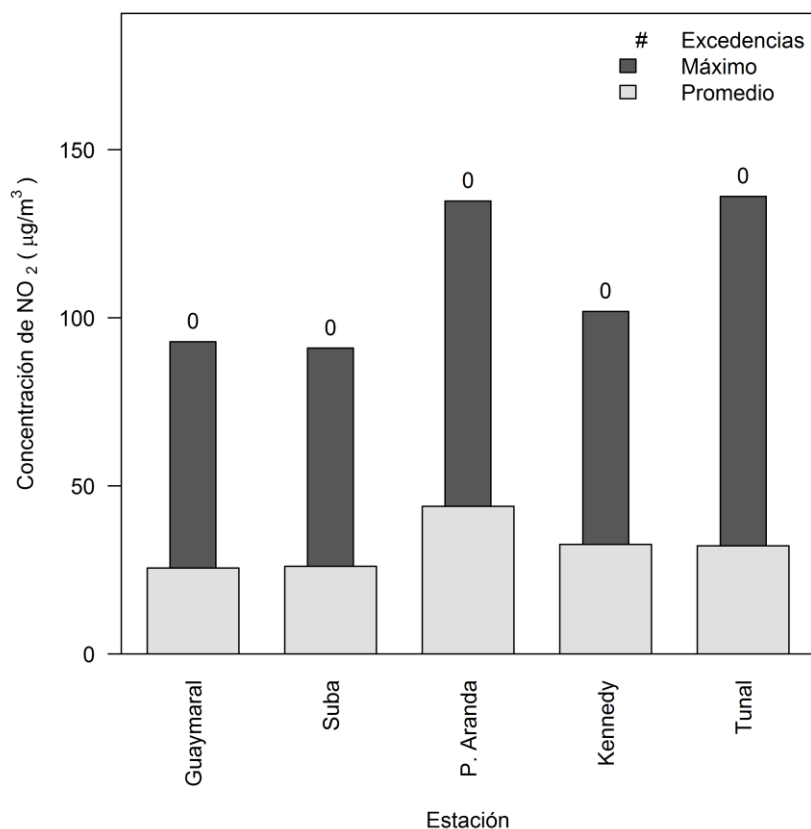


Figura 3-29. Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO₂ por estación durante el primer trimestre de 2014.

Comportamiento diario de la concentración de NO₂

Se calcularon 401 promedios diarios de NO₂, cuya representatividad temporal corresponde al 89% del total de datos posibles. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO₂ para 24 horas (150 µg/m³) como se observa en la Figura 3-30. Tampoco se presentaron valores superiores al 50% de la norma (75 µg/m³). En la Tabla 3-14 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. Aunque el porcentaje de representatividad temporal de Tunal es 74%, ciertamente es cercano al porcentaje mínimo exigido de 75%. Por tanto, se tendrá en cuenta para el cálculo de promedios y el análisis de tendencias históricas. Es importante aclarar que los promedios mostrados en la Tabla 3-14 no deben compararse con la normatividad vigente ya que esta no contempla tiempos de exposición trimestrales.

La máxima concentración diaria fue 69 µg/m³ en Puente Aranda el 17 de febrero de 2014. En la misma fecha Suba y Guaymaral registraron igualmente sus valores máximos lo cual pudo corresponder a un evento generalizado de alta contaminación en Bogotá. Usaquén y Las Ferias reportaron altos niveles de PM₁₀ y Centro de Alto Rendimiento de PM_{2.5} el 17 de febrero de 2014, como puede observarse en las respectivas secciones.

Tabla 3-14. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el primer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Promedio (µg/m ³)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	100%	26	42	17/02/2014
Suba	100%	26	41	17/02/2014
Puente Aranda	88%	44	69	17/02/2014
Kennedy	83%	32	50	18/03/2014
Tunal	74%	32	61	24/01/2014

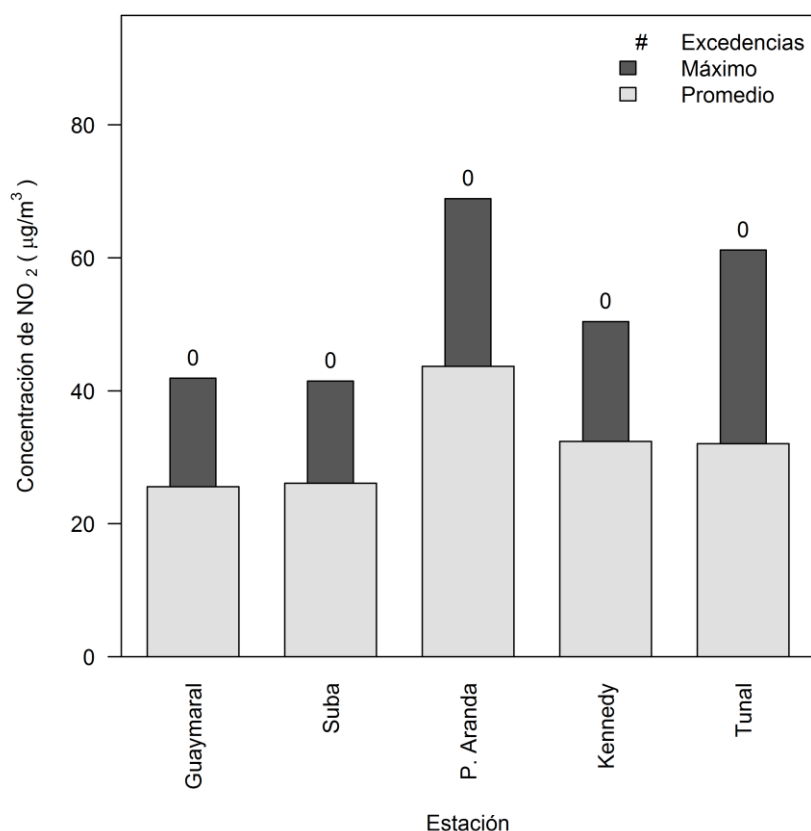


Figura 3-30. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO₂ en base diaria por estación para el primer trimestre de 2014.

Comportamiento temporal de las concentraciones de NO₂

La Figura 3-31 presenta la distribución de los datos diarios de NO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo. Los domingos y los lunes presentan en general las menores concentraciones. En aquellas estaciones donde su zona circundante está sujeta al tráfico de vehículos de carga pesada (Suba, Puente Aranda y Kennedy), las concentraciones también son bajas los sábados. Las fuentes móviles son una contribución importante a la emisión de este contaminante (U.S. Environmental Protection

Agency, 2014) y, por tanto, los cambios en la semana del comportamiento de este contaminante están asociados a las variaciones de los flujos vehiculares tanto de carga liviana como de carga pesada.

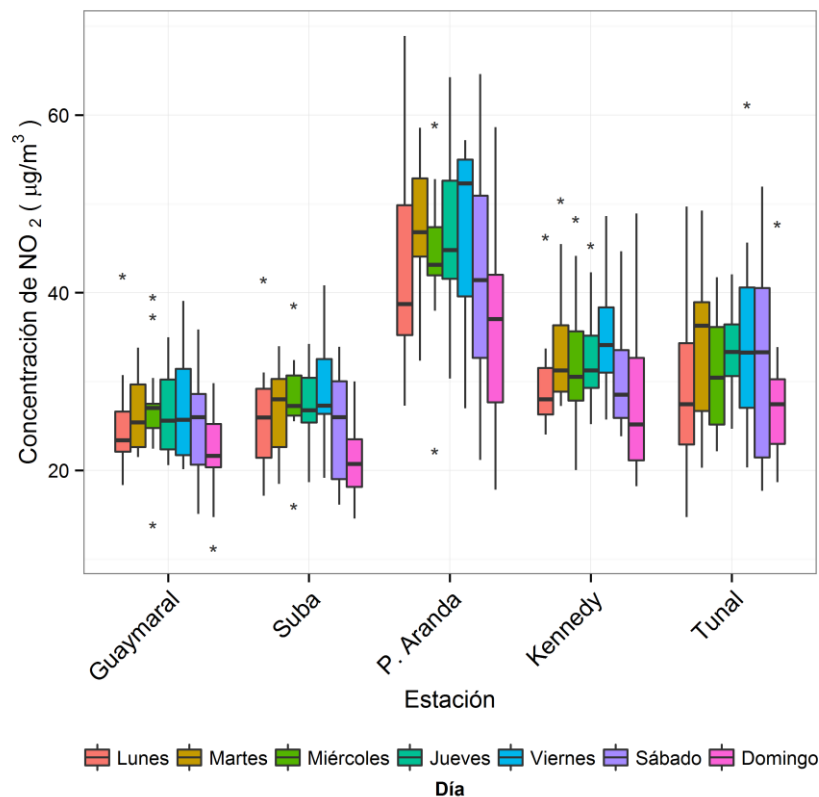


Figura 3-31. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función del día de la semana y de la estación de monitoreo.

La distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo se encuentra en la Figura 3-32. Marzo es el mes que presenta las mayores concentraciones en las estaciones localizadas en el sur (Puente Aranda, Kennedy y Tunal), mientras que en Guaymaral y Suba es febrero. Con excepción de Kennedy, enero presentó los menores niveles de concentración.

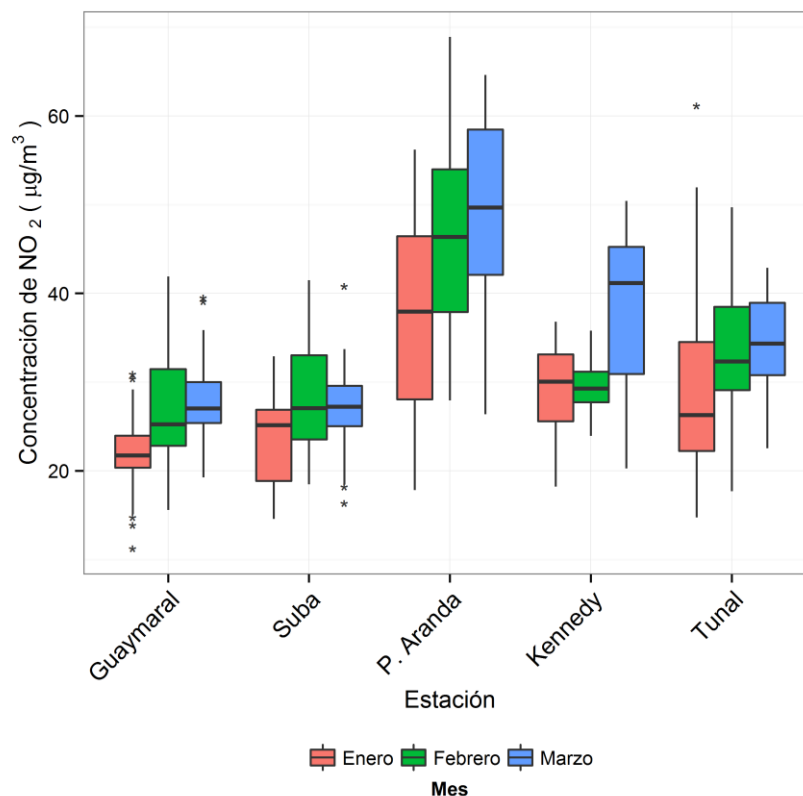


Figura 3-32. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo.

La Figura 3-27 presenta los ciclos diarios de concentraciones de NO₂ por estación de monitoreo durante el primer trimestre de 2014. En general, en estos ciclos se observan dos picos de magnitud equivalente en la mañana (06:00 a.m. a 09:00 a.m.) y en la tarde (07:00 p.m. a 09:00 p.m.). En horas cercanas al medio día la concentración desciende de forma abrupta. Esto se debe a procesos asociados con la fotoquímica que dan lugar a la generación de ozono troposférico a expensas del consumo de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Las concentraciones más altas se observan en la estación Puente Aranda.

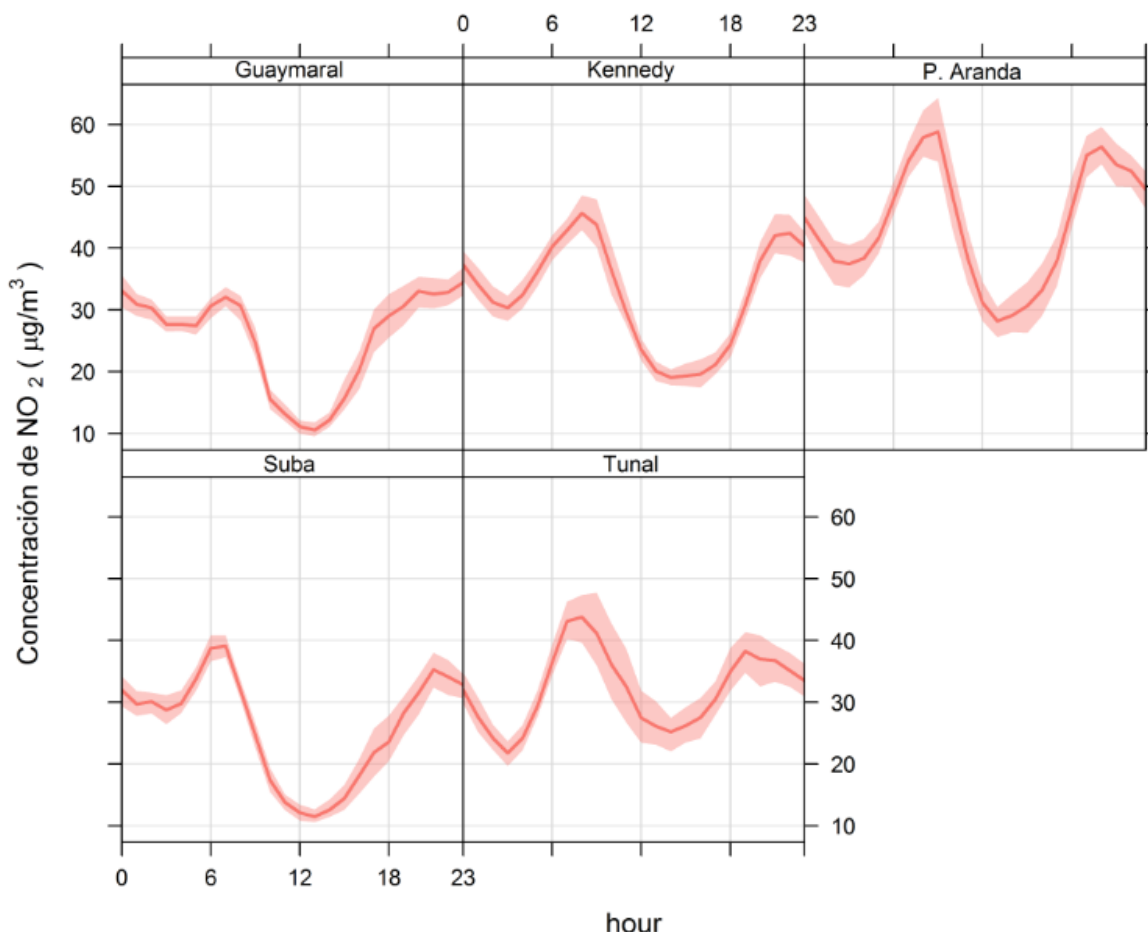


Figura 3-33. Ciclo diario de las concentraciones de NO_2 en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios de NO_2 . Base de tiempo diaria.

La Figura 3-34 presenta la distribución de las concentraciones de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los años. Las Ferias y Puente Aranda registraron las concentraciones más altas. De Carvajal solamente se dispone de información para el año 2010. En el primer trimestre de 2013 se observó un descenso abrupto de concentración en la estación Centro de Alto Rendimiento respecto a los periodos de 2010 y 2011. En el primer trimestre de 2014, Suba, Puente Aranda y Tunal aumentaron sus concentraciones en comparación con el periodo de 2013. Kennedy, por el contrario, fue la única que mostró un descenso, rompiendo una tendencia de aumento entre 2011 y 2013. Los mayores niveles de dispersión se observan en Las Ferias.

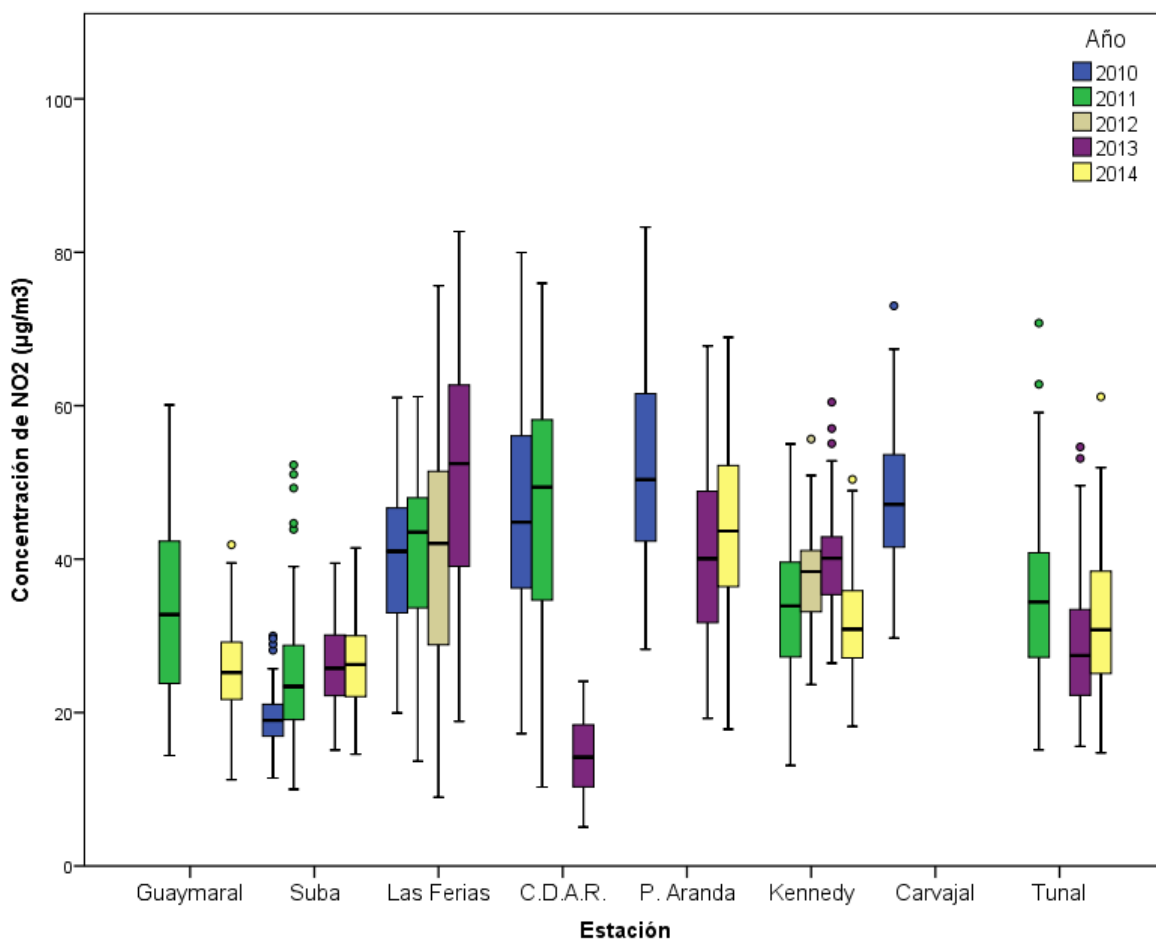


Figura 3-34. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

La Tabla 3-15 presenta un resumen de las concentraciones máximas históricas en los primeros trimestres entre 2010 y 2014. El primer trimestre de 2014 registró una concentración máxima con magnitud inferior a la reportada en los 4 periodos previos. La máxima concentración registrada durante dichos periodos fue 89 µg/m³ el 26 de febrero de 2011 en Carvajal. Este valor no aparece en el diagrama de caja de la Figura 3-34 porque esta estación no tiene una cobertura temporal suficiente. Ninguna de las concentraciones mencionadas en la tabla ha superado el límite diario de 150 µg/m³ establecido en la Resolución 610 de 2010. Carvajal y Puente Aranda se destacan como las estaciones que más presentan estos episodios.

Tabla 3-15. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de NO₂ en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	83	15/02/2010	Puente Aranda
2011	89	26/02/2011	Carvajal
2012	77	29/02/2012	Carvajal
2013	83	05/02/2013	Las Ferias
2014	69	17/02/2014	Puente Aranda

3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el primer trimestre de 2014 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) en base de 1 hora y de 8 horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-1. No se registraron mediciones en las estaciones de Usaquén y San Cristóbal por falla del detector IR.

Comportamiento horario de CO

Se obtuvieron 11668 (once mil seiscientos sesenta y ocho) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB en el primer trimestre de 2014. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 77% en base horaria respecto al máximo posible de información a obtener en las estaciones que registraron mediciones. Centro de Alto Rendimiento y Fontibón no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% y fueron descartadas para el cálculo de promedios indicativos.

Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m³, Resolución 610 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma (20 mg/m³). En la Tabla 3-16 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. El máximo valor se registró en la estación Puente Aranda el 20 de febrero de 2014 a las 11:00 a.m. con 10,4 mg/m³.

Aunque los promedios mostrados en la Figura 3-35 son indicativos únicamente y no comparables con la normatividad nacional, se observa que todos estuvieron por debajo de 2 mg/m³, un valor que está fuera de exceder la normatividad nacional. Aunque los valores son relativamente bajos, aún se puede observar que Carvajal registra la mayor concentración de CO, que se atribuye a la influencia de fuentes móviles. Centro de Alto Rendimiento y Fontibón registran bajos porcentajes de representatividad con valores de 30% y 67%, respectivamente.

Tabla 3-16. Resumen de datos horarios de CO por estación para el primer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (mg/m ³)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	98%	3,3	0	07/02/2014 21:00
Centro de Alto Rendimiento	30%	5,2	0	22/01/2014 08:00
Fontibón	67%	2,6	0	10/02/2014 08:00
Puente Aranda	100%	10,4	0	20/02/2014 11:00
Kennedy	76%	4,3	0	24/01/2014 07:00
Carvajal	84%	7,7	0	28/03/2014 06:00
Tunal	87%	5,1	0	16/01/2014 07:00

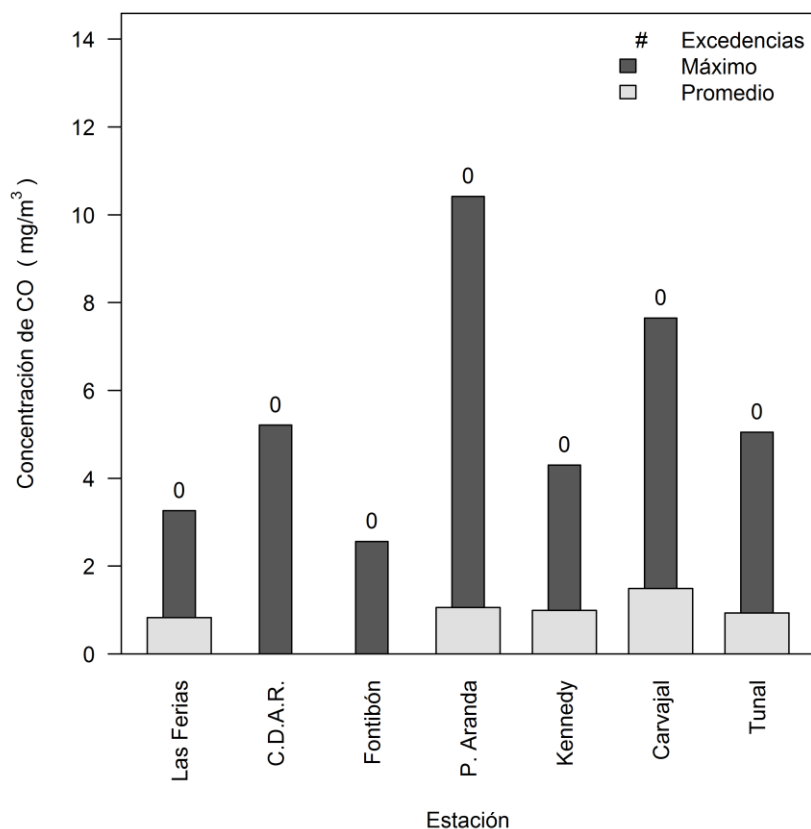


Figura 3-35. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el primer trimestre de 2014.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

Para el primer trimestre de 2014 se calcularon 11553 (once mil quinientos cincuenta y tres) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 76% de los datos posibles en el periodo. Las estaciones Fontibón y Centro de Alto Rendimiento presentaron un porcentaje de representatividad inferior a 75% y por tanto, no es posible el respectivo cálculo de promedios.

Como se evidencia en la Tabla 3-17 y en la Figura 3-36, las máximas concentraciones, tanto en promedios como en valores máximos, se observan en las estaciones Carvajal y Puente Aranda. Las principales fuentes contribuyentes de monóxido de carbono son móviles e incendios forestales, lo cual corresponde con las tendencias observadas ya que las zonas circundantes a estas dos estaciones presentan una gran actividad de tráfico vehicular. La máxima concentración en base de 8 horas registrada en el periodo fue 4,3 mg/m³ el 07 de febrero de 2014 a las 07:00 en Carvajal. Fontibón y Puente Aranda registraron sus máximos valores del periodo de forma simultánea el 07 de marzo de 2014 entre 12:00 y 13:00. Estos valores máximos muestran que no se excedió el límite normativo vigente de 10 mg/m³ en ningún momento.

Tabla 3-17. Resumen de datos de CO por estación en el primer trimestre de 2014. Base de 8 horas.

Estación	% de datos válidos	Máximo (mg/m ³)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	98%	2,0	0	08/02/2014 00:00
Centro de Alto Rendimiento	28%	3,5	0	23/01/2014 02:00
Fontibón	66%	1,2	0	07/03/2014 01:00
Puente Aranda	100%	4,1	0	07/03/2014 12:00
Kennedy	76%	2,7	0	25/01/2014 10:00
Carvajal	83%	4,3	0	07/02/2014 07:00
Tunal	84%	3,8	0	16/03/2014 00:00

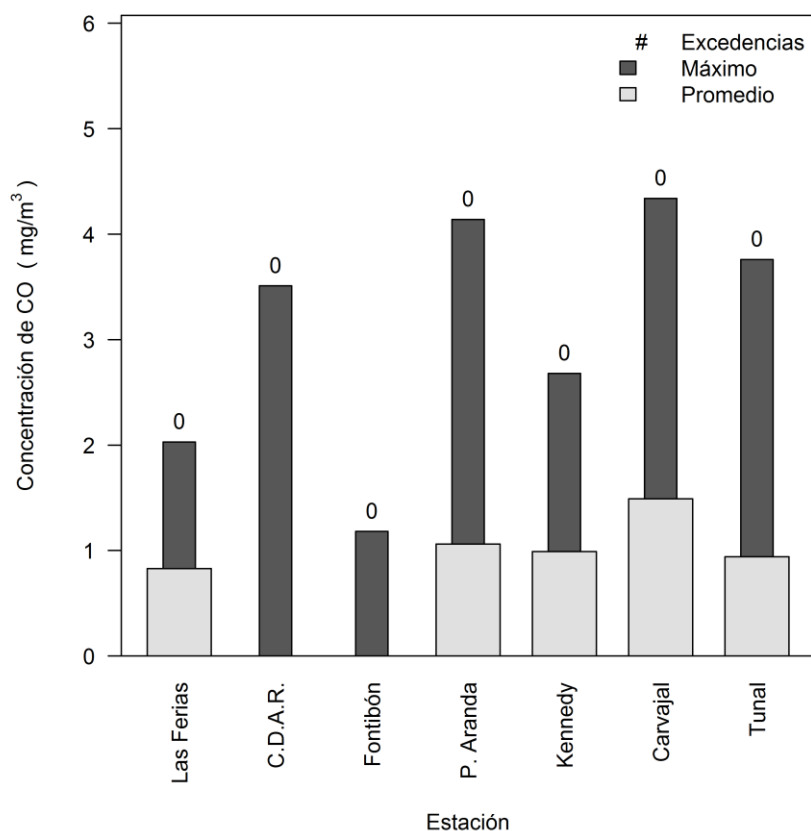


Figura 3-36. Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias para 8 horas de CO por estación para el primer trimestre de 2014.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-37 presenta la distribución de las concentraciones diarias de CO en función del día de la semana y de las estaciones de monitoreo. Al igual que en el caso del ozono, estos datos no se presentan en base horaria o como promedios móviles de 8 horas porque el dato diario permite una mejor visualización de las tendencias y reduce la

cantidad de valores atípicos. Como es usual para el material particulado, las menores concentraciones se observan los domingos, especialmente en Carvajal donde se presenta un descenso abrupto en comparación con los demás días de la semana. El perfil más homogéneo se observa en Las Ferias. En términos de dispersión, no hay diferencias significativas entre las diferentes cajas de la mencionada Figura.

A pesar de que el domingo registra las concentraciones más bajas, la diferencia con los demás días no es tan alta si se tienen en cuenta los límites normativos (40 mg/m³ horario y 10 mg/m³ en ocho horas de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

De forma similar al caso de los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono es emitido principalmente por procesos de combustión en las fuentes móviles, específicamente por vehículos que usan gasolina como combustible (U.S. Environmental Protection Agency, 2014). Entonces, la actividad vehicular de la ciudad tiene una gran influencia en la emisión e inmisión de este contaminante.

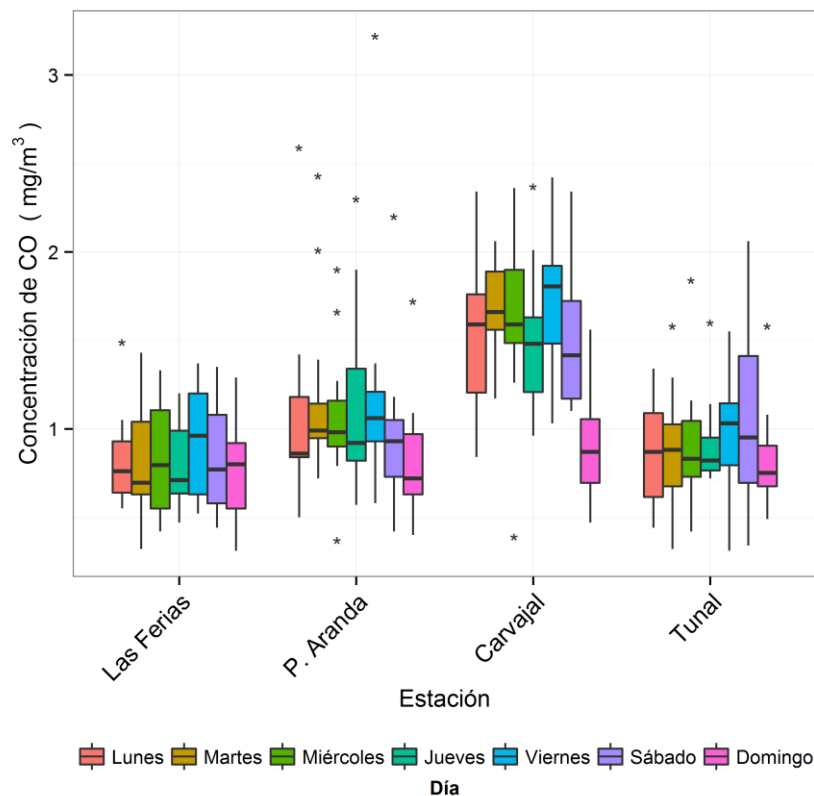


Figura 3-37. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de CO en función del día de la semana por estación de monitoreo.

La Figura 3-38 presenta la distribución de las concentraciones diarias de CO en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación. Aunque no hay una tendencia clara en la distribución de estas concentraciones, se observa que los meses de febrero y marzo tendieron a presentar los mayores niveles del trimestre. La distribución de los datos fue

más amplia en Carvajal. El mes de marzo en Puente Aranda fue especialmente disperso en comparación con los anteriores.

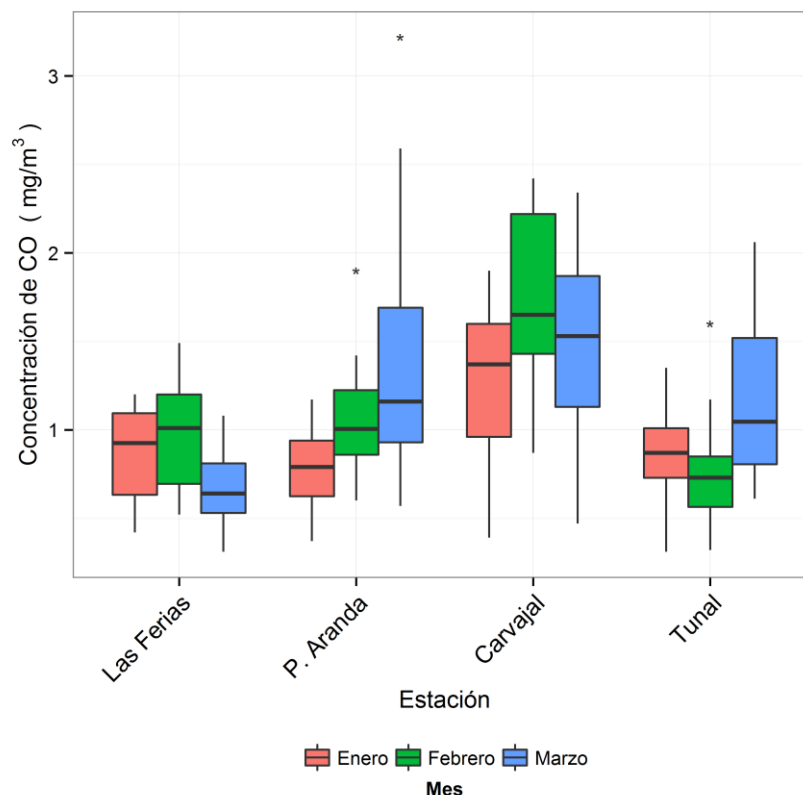


Figura 3-38. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de CO en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo.

Los ciclos diarios por estación de la Figura 3-39 muestran que en general se presentan dos picos de concentración en horas de la mañana y de la tarde siendo el de la mañana notablemente mayor para las estaciones de Carvajal, Kennedy y Puente Aranda. Como se ha mencionado previamente, las concentraciones de monóxido de carbono están fundamentalmente asociadas a las fuentes móviles. Entonces estos ciclos diarios corresponden primordialmente a la variación horaria de los flujos vehiculares en los alrededores de cada una de las estaciones analizadas.

En cuanto a variación de concentraciones, expresada como el intervalo de confianza de 95%, esta es mayor en las horas pico y, en el caso de Carvajal, aumenta considerablemente en horas de la madrugada posiblemente por el cambio de flujo vehicular sobre la Autopista Sur.

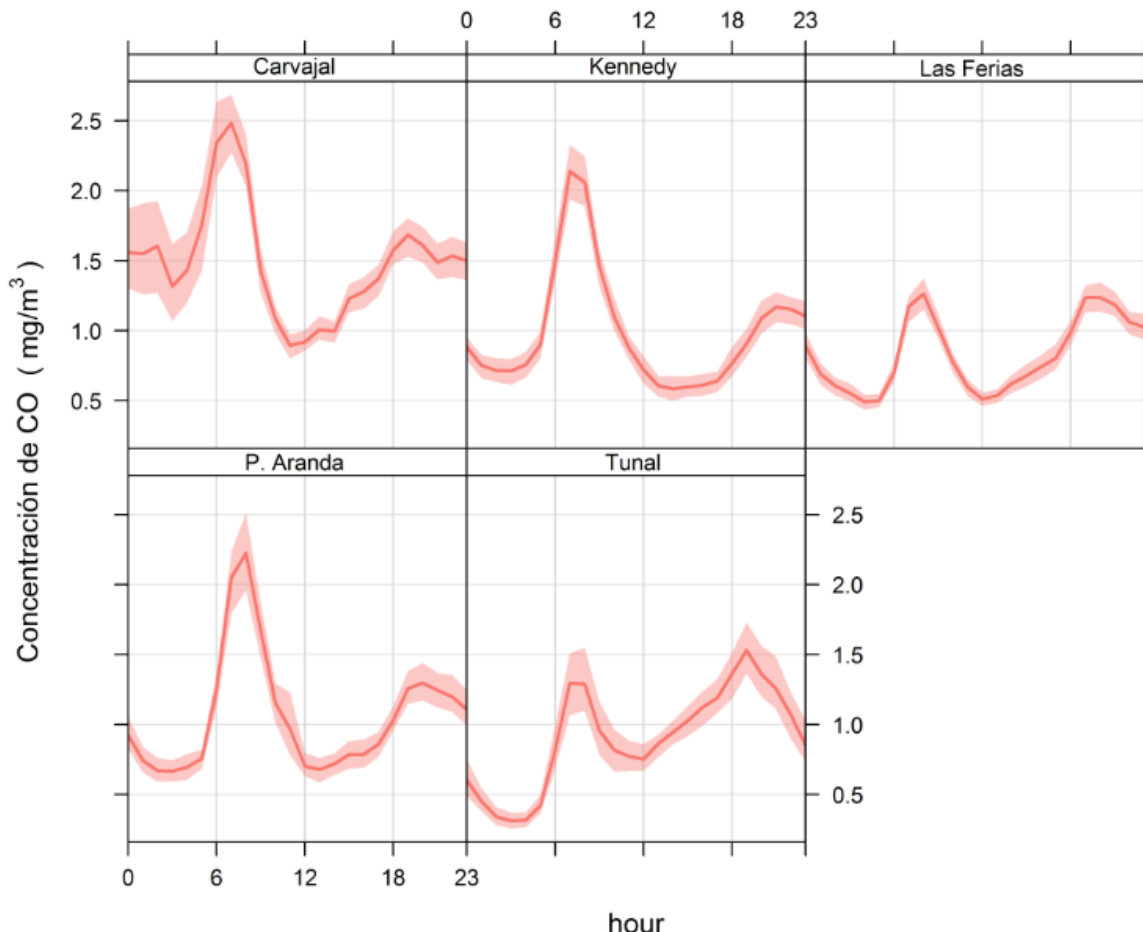


Figura 3-39. Ciclo diario de las concentraciones de CO en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.

Análisis de tendencias históricas

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

En la Figura 3-40 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO en los primeros trimestres entre 2010 y 2014 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Carvajal históricamente ha registrado las mayores concentraciones en comparación con las demás estaciones de la RMCAB mientras que Tunal y San Cristóbal presentan los niveles más bajos. Las características del diagrama de caja para Kennedy en el 2010 marcan una diferencia en cuanto a dispersión y ubicación de la mediana. Se presentó una cantidad considerable de valores altos durante este periodo, lo cual imposibilita su catalogación como atípicos. Los trimestres entre 2010 y 2014 han reducido sus concentraciones progresivamente.

En comparación con el primer trimestre de 2013, en el periodo de 2014 Carvajal y Tunal aumentaron sus concentraciones mientras que estas se redujeron en Las Ferias y Puente Aranda. No se registran datos para Kennedy porque su representatividad temporal en base diaria es menor que 75%.

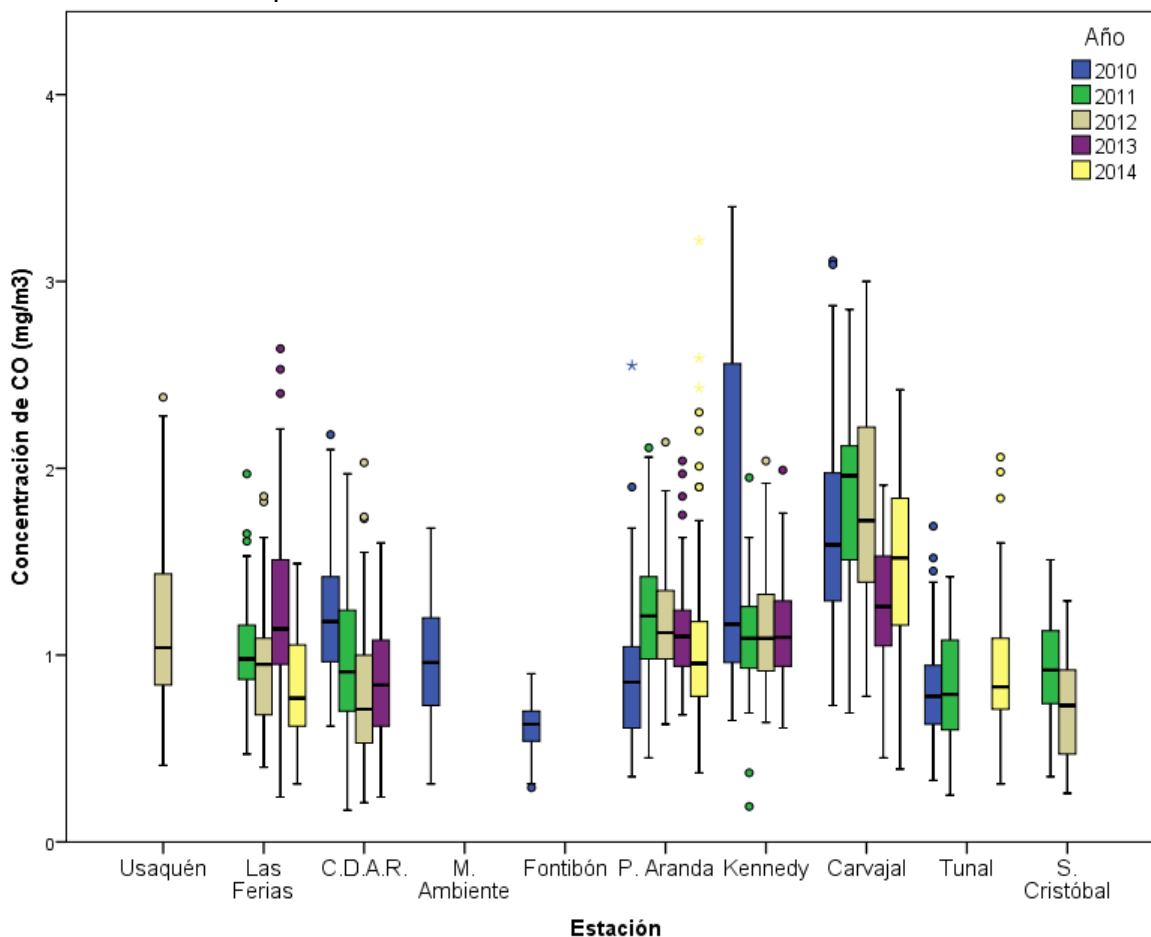


Figura 3-40. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por estaciones para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

La Tabla 3-18 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de CO para los primeros trimestres entre 2010 y 2014 en base de 8 horas. Los valores de la Tabla muestran que en ninguna oportunidad se ha superado el límite normativo correspondiente a 10 mg/m^3 mostrando que en términos de protección a la salud pública, el monóxido de carbono no presenta riesgos si se compara con contaminantes como el PM_{10} y el $\text{PM}_{2.5}$. La concentración máxima reportada entre los periodos considerados fue $5,2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en Centro de Alto Rendimiento el 05 de marzo de 2011 a las 02:00. Es importante mencionar que de forma similar al caso del ozono, los valores corresponden al promedio de las ocho horas anteriores.

Tabla 3-18. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de CO en promedios en base de 8 horas para los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo mg/m ³	Fecha y hora de ocurrencia del máximo	Estación
2010	4,7	04/03/2010 09:00	Carvajal
2011	5,2	05/03/2011 02:00	Centro de Alto Rendimiento
2012	4,3	20/01/2012 05:00	Carvajal
2013	3,6	12/02/2013 04:00	Carvajal
2014	4,3	07/02/2014 07:00	Carvajal

3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO₂.

La RMCAB contó con 9 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 permitieron calcular concentraciones promedio diarias y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010. El analizador de la estación Tunal no registró datos en el presente trimestre al encontrarse fuera de operación.

Comportamiento de SO₂. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 14480 (catorce mil cuatrocientos ochenta) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 84% de los posibles en el primer trimestre de 2014. En la Tabla 3-19 se muestra un resumen estadístico de los datos por estación, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-41 se visualizan las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma. También se puede observar los promedios cuyo propósito únicamente es indicativo para comparación mutua de las estaciones. Kennedy y Carvajal no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% y presentan porcentajes de 72% y 73%, respectivamente. Como excepción, se omite el incumplimiento de este criterio y se considerarán estas estaciones en todos los análisis teniendo en cuenta que sus porcentajes válidos no difieren en gran medida del límite del criterio y que se ubican en una zona con altos niveles de contaminación.

El valor límite permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m³) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. El máximo valor registrado fue 149 µg/m³ el 18 de marzo de 2014 a las 00:00 en la estación Carvajal, el cual representa solamente el 20% de este límite. Por tanto, este contaminante no es susceptible de presentar excedencias de la normatividad nacional. En los promedios de 3 horas de SO₂ y, por ende, en los horarios es importante destacar que las magnitudes de los valores máximos difieren significativamente de los respectivos promedios en todas las estaciones, especialmente en Carvajal. Por encontrarse en las cercanías a corredores viales, esta estación tiene una exposición más directa a emisiones de fuentes móviles registrando altas concentraciones episódicamente.

El día 06 de febrero de 2014, que correspondió a la jornada del denominado “Día Sin Carro”, tres estaciones de la RMCAB registraron sus concentraciones máximas del trimestre las cuales fueron Suba, Puente Aranda y San Cristóbal. Las estaciones están distantes entre sí en diferentes sectores lo que muestra un evento a nivel ciudad atribuido al aumento del tránsito de vehículos que usan diésel como combustible, especialmente transporte público, al imponerse una restricción en la circulación de vehículos particulares durante la jornada.

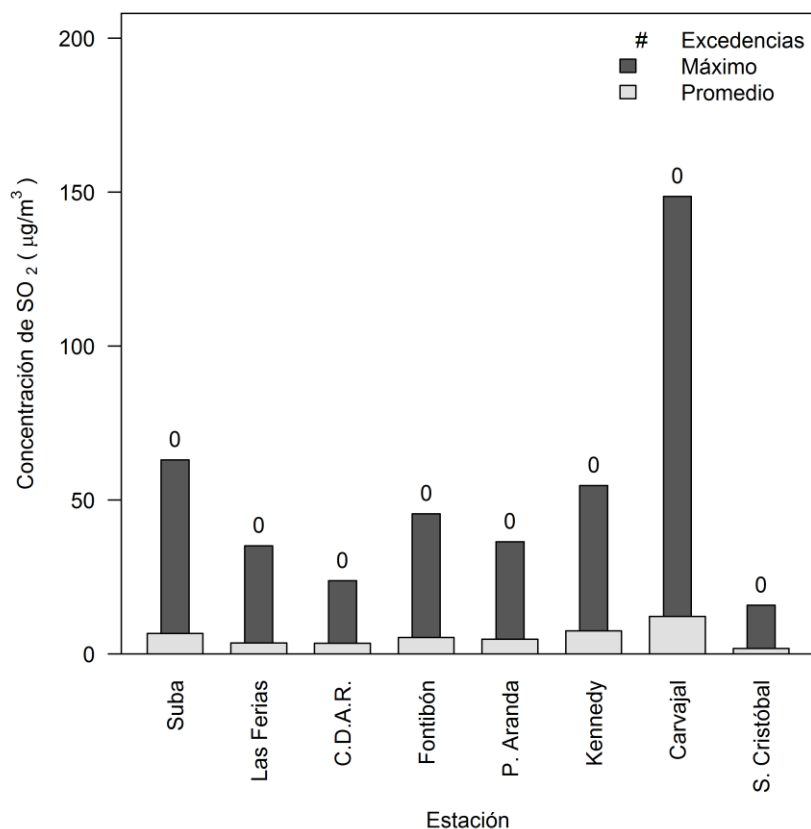


Figura 3-41. Máximos y número de excedencias de SO₂ en base de 3 horas por estación durante el primer trimestre de 2014.

Tabla 3-19. Resumen de datos de SO₂ en base de 3 horas por estación para el primer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Excedencias
Suba	77%	63	06/02/2014 05:00	0
Las Ferias	94%	35	31/01/2014 02:00	0
Centro de Alto Rendimiento	83%	24	22/01/2014 10:00	0
Fontibón	79%	46	16/03/2014 09:00	0
Puente Aranda	100%	36	06/02/2014 10:00	0
Kennedy	72%	55	24/01/2014 22:00	0
Carvajal	73%	149	18/03/2014 00:00	0
San Cristóbal	93%	16	06/02/2014 11:00	0

Comportamiento diario de la concentración de SO₂

Se analizaron 611 valores diarios cuya representatividad temporal es del 85%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m³) y, de forma similar al caso de la comparación con

promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como PM_{10} y ozono. La Figura 3-42 y la Tabla 3-20 presentan un resumen de promedios y concentraciones máximas de SO_2 en base diaria. Carvajal presentó un porcentaje de representatividad temporal de 72%. Al igual que el caso de los promedios móviles de 3 horas, se omite el incumplimiento del criterio de representatividad temporal de 75% para esta estación y se incluye en todos los análisis presentados. La razón de la inclusión de este analizador se basa en que la representatividad temporal está cercana al límite establecido y que la estación se ubica en una zona con niveles críticos de contaminación.

Carvajal y Kennedy registran los valores más altos de promedios ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y de magnitudes de valores máximos, un hecho que tiene correspondencia con el comportamiento observado para el material particulado lo cual se atribuye principalmente a las emisiones por parte de fuentes móviles de vehículos de carga pesada. Por su parte, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal presentan los promedios más bajos. Es importante aclarar que los promedios reportados en la Tabla 3-20 son meramente indicativos y no se deben comparar los límites normativos vigentes al presentar un tiempo de exposición diferente a tres meses. El 06 de febrero de 2014, jornada del Día Sin Carro, Suba, Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal registraron sus concentraciones máximas lo que corresponde, como se había explicado previamente, al aumento del tránsito de vehículos de carga pesada, especialmente transporte público.

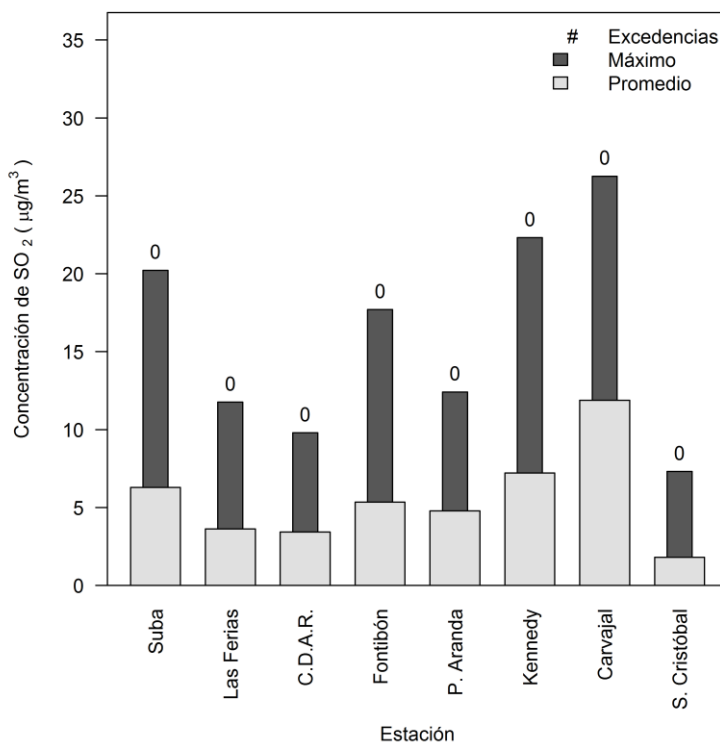


Figura 3-42. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO_2 en base diaria por estación para el primer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Tabla 3-20. Resumen de datos en base diaria de SO₂ por estación para el primer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Promedio (µg/m ³)	Excedencias
Suba	79%	20	06/02/2014	6	0
Las Ferias	93%	12	31/01/2014	4	0
Centro de Alto Rendimiento	88%	10	22/01/2014	3	0
Fontibón	79%	18	06/02/2014	5	0
Puente Aranda	100%	12	06/02/2014	5	0
Kennedy	77%	22	24/01/2014	7	0
Carvajal	72%	26	25/01/2014	12	0
San Cristóbal	91%	7	06/02/2014	2	0

N.R.: no representativo.

Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de SO₂

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo se presenta en la Figura 3-43. No se observa una tendencia consistente y generalizada en el comportamiento de las estaciones. En Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Carvajal, los domingos son los días con las menores concentraciones. Las emisiones de SO₂ están asociadas principalmente a procesos de reacción de combustibles fósiles (U.S. Environmental Protection Agency, 2014) y, por tanto, se espera mayor actividad en aquellas estaciones con magnitudes y dispersiones más altas.

Es importante destacar el comportamiento en la estación San Cristóbal donde tanto las magnitudes de las concentraciones como las dispersiones son notablemente bajas en comparación con los demás días de la semana. El ciclo semanal de Carvajal es el más heterogéneo entre las estaciones de la RMCAB que midieron SO₂ con representatividad temporal suficiente lo cual evidencia la actividad industrial y de transporte en sus alrededores, especialmente los viernes y los sábados. Los domingos en Suba y Fontibón presentan niveles altos, posiblemente por las actividades asociadas al transporte en sus alrededores.

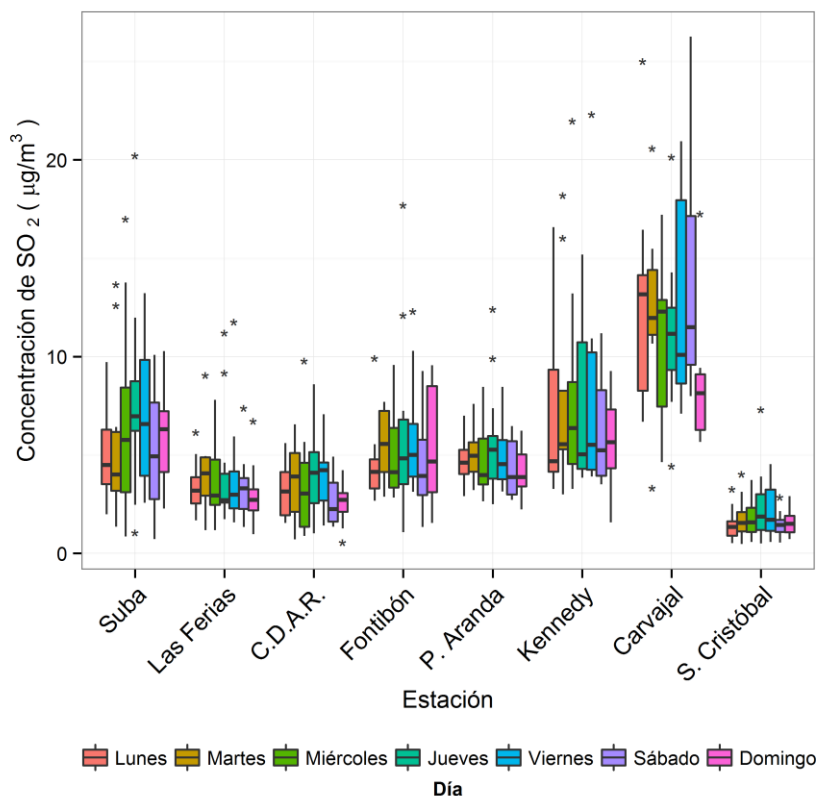


Figura 3-43. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 en función del día de la semana y de la estación de monitoreo.

La Figura 3-44 presenta la distribución de los datos diarios de SO_2 por mes y por estación de monitoreo. No es posible deducir una tendencia consistente entre los meses del año más sin embargo se puede observar que los datos están más dispersos en Carvajal y Suba. El mes de enero en Kennedy muestra una diferencia considerable respecto a febrero y marzo.

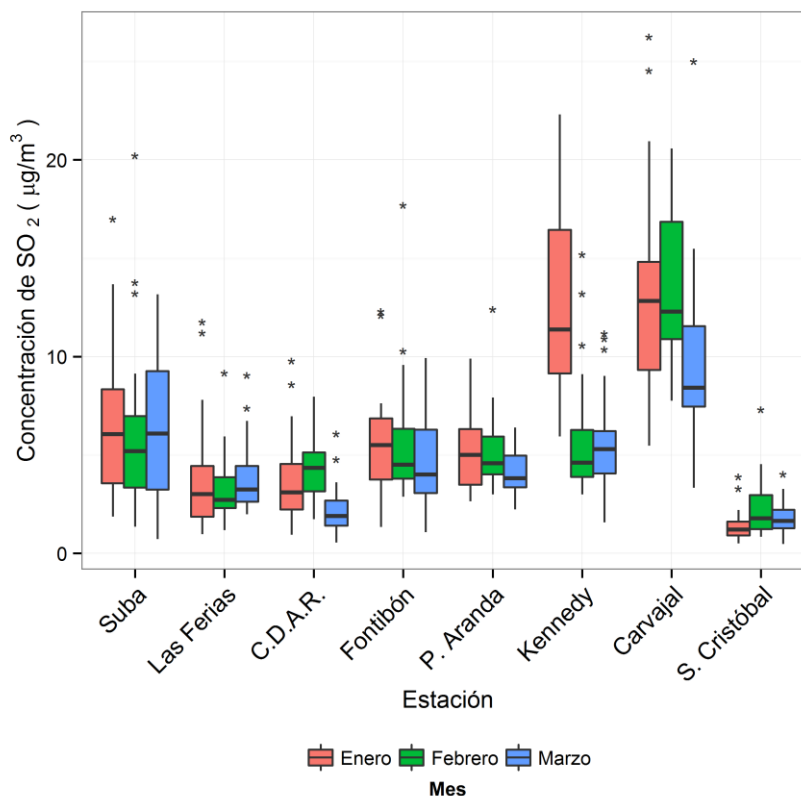


Figura 3-44. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones en base diaria de SO_2 en función de los meses de enero, febrero y marzo por estación de monitoreo.

La Figura 3-45 presenta los ciclos diarios por estación de monitoreo de las concentraciones horarias de SO_2 . Para todas las estaciones se observan picos de concentración en horas de la mañana, lo que sugiere la influencia de procesos de combustión en fuentes móviles. En Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias, Puente Aranda y San Cristóbal los perfiles tienden a mantenerse en valores relativamente estables en las demás horas del día. Por su parte, Fontibón Kennedy y Suba presentaron un incremento leve en horas de la noche.

Entre el medio día y la media noche, Carvajal presenta un perfil heterogéneo con dispersión alta y cambio abruptos de concentración. Esta estación se encuentra influenciada directamente por actividades de tráfico al estar en las inmediaciones de la Autopista Sur. Las de emisiones industriales también contribuyen como factores en estos comportamientos.

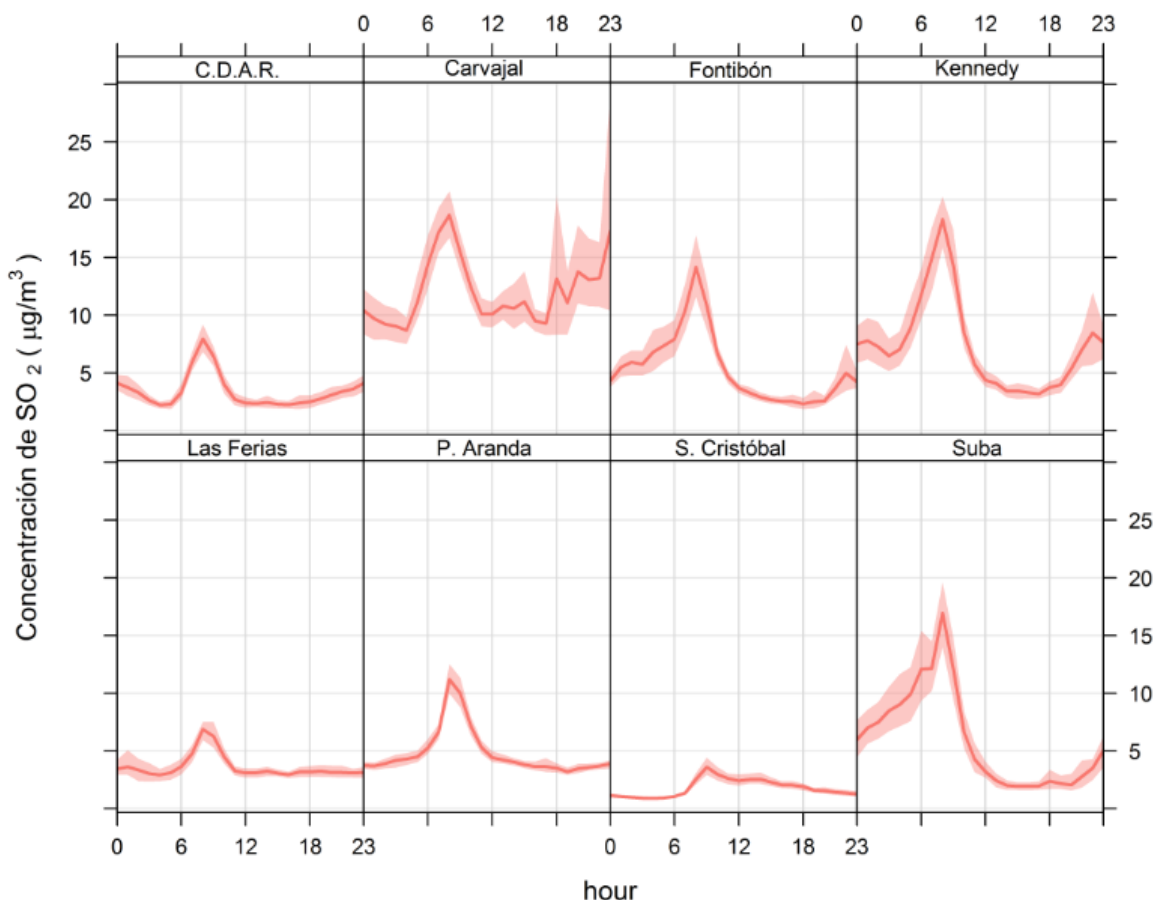


Figura 3-45. Ciclo diario de las concentraciones de SO_2 en las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante en el primer trimestre de 2014. Cada dato se representa con su respectivo intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios de SO_2 . Base de tiempo diaria.

La Figura 3-46 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO_2 en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente. Carvajal históricamente ha presentado las mayores concentraciones y el primer trimestre de 2011 mostró niveles significativamente altos. Esta diferencia se debe a la actividad de los vehículos de carga pesada en las cercanías de la estación. La concentración de esta estación ha estado reduciéndose progresivamente desde entonces. Las Ferias y San Cristóbal registran las menores concentraciones históricas en la RMCAB. Todas las estaciones redujeron sus niveles de concentración en comparación con el mismo periodo de 2013. Descensos progresivos también se observan en Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda.

El resumen estadístico histórico de las concentraciones máximas de SO_2 en base diaria, presentado en la Tabla 21, muestra que Carvajal es la estación que ha registrado constantemente los máximos de la RMCAB durante los 5 periodos estudiados. Se observa un cambio abrupto entre los periodos de los años 2010 – 2011 y 2012 – 2014. La gran mayoría de concentraciones máximas se presentaron en febrero. El máximo valor

diario reportado por la RMCAB en los periodos estudiados fue $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 25 de febrero de 2011 en Carvajal. Este valor, aunque alto en comparación con el resto del conjunto, no supera el 50% del límite normativo establecido, lo cual no representa un riesgo en términos de protección a la salud pública.

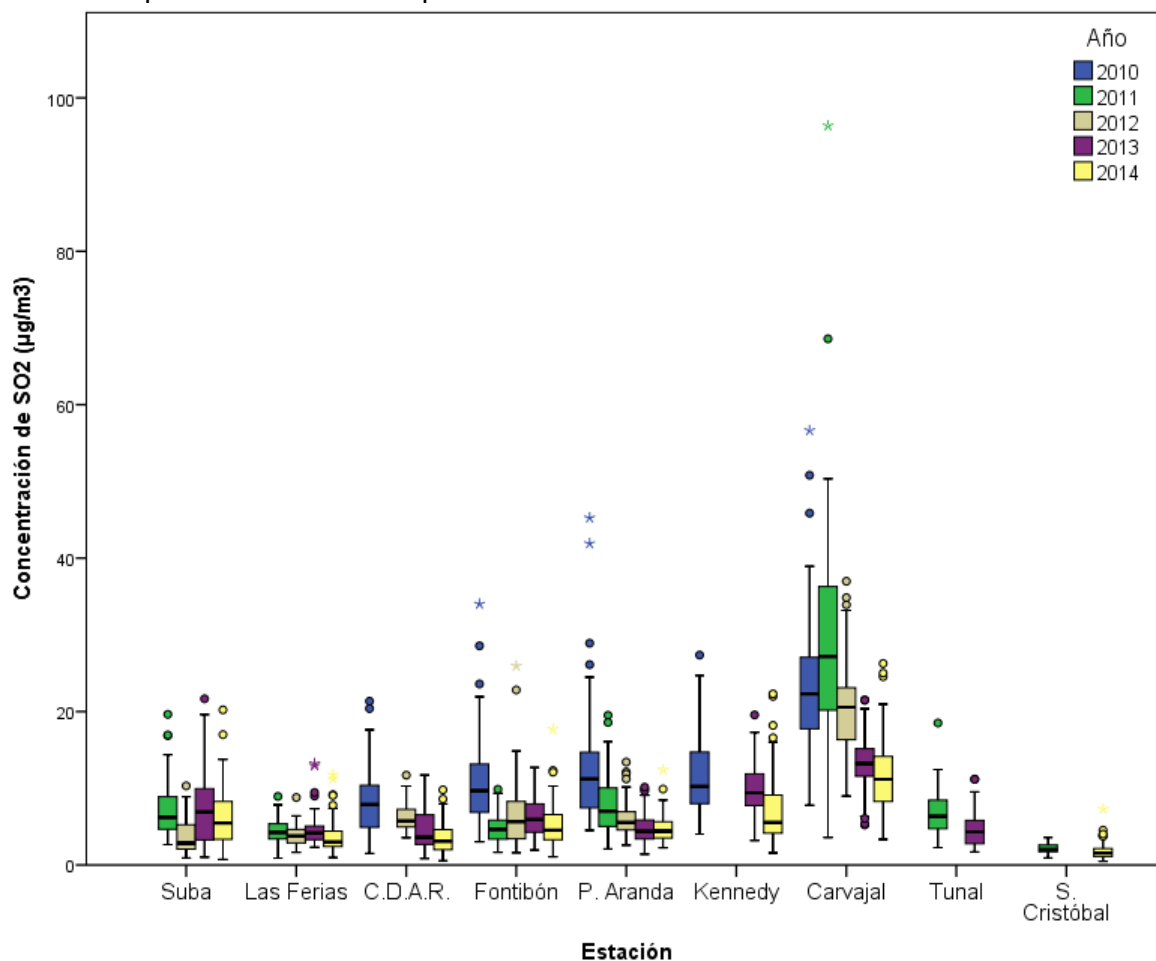


Figura 3-46. Gráfico de *boxplot* para SO_2 diario por estaciones en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Tabla 21. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO_2 en promedios diarios en los primeros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha y hora de ocurrencia del máximo	Estación
2010	57	12/02/2010	Carvajal
2011	96	25/02/2011	Carvajal
2012	37	09/02/2012	Carvajal
2013	22	15/02/2013	Carvajal
2014	26	25/01/2014	Carvajal

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 , CO , SO_2 y NO_2). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013), donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo como lo muestra la Tabla 3-22.

Tabla 3-22. 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 tomado de valores y parámetros EPA.

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

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

La importancia de este índice radica en ofrecer información sobre la calidad del aire a la población que sea fácil de entender y que exponga las posibles complicaciones en la salud que pueden llegar a presentarse 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 3-47 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM₁₀ en función de la estación de monitoreo. La categoría “Moderada” es predominante en las estaciones Suba, MinAmbiente, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal. Las últimas 4 estaciones se ubican en la zona occidental y suroccidental de la ciudad donde es mayor la presencia de industrias y de vehículos de carga pesada. Una categoría “Moderada” de PM₁₀ implica un riesgo a la salud, especialmente para personas con enfermedades respiratorias. Por el contrario, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento, Las Ferias y San Cristóbal tienen predominancia de la categoría “Buena”.

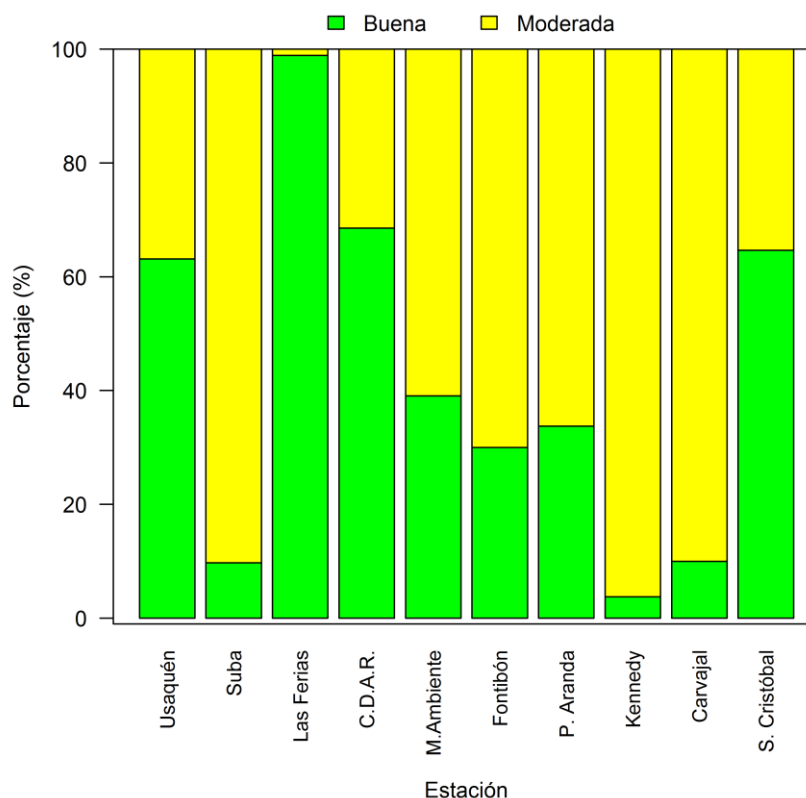


Figura 3-47. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el primer trimestre de 2014.

La Figura 3-48 muestra la discriminación del ICA de PM₁₀ en función de los meses de enero, febrero y marzo. En términos de PM₁₀ se obtuvo una mejor calidad del aire en enero por la influencia de los primeros días del mes donde generalmente ocurre una temporada vacacional. Enero es seguido por marzo y luego por febrero, mes en el cual se observó mayor contaminación durante el trimestre.

La Figura 3-49 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Los jueves y viernes tienen la mayor afectación mientras que los sábados y domingos las menores concentraciones. Se observa que entre lunes y jueves hay un deterioro progresivo de la calidad del aire consecuencia de las actividades que se desarrollan en los días considerados hábiles.

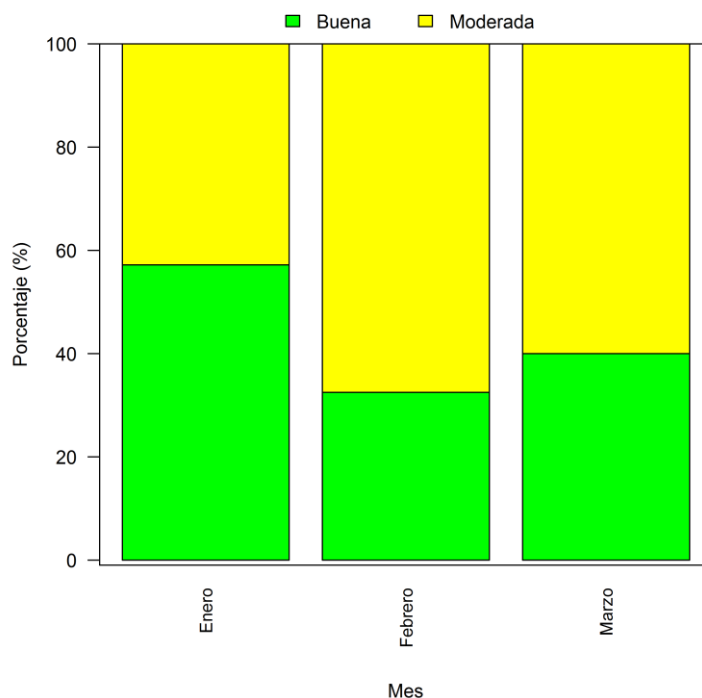


Figura 3-48. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de enero, febrero y marzo de 2014.

La Figura 3-50 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire de este contaminante. La categoría “Moderada” se define cuando el índice de calidad del aire supera el valor 50. De las 11 estaciones analizadas, 6 presentaron predominantemente esta clasificación. Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal son de menor preocupación por sus bajos índices de calidad del aire.

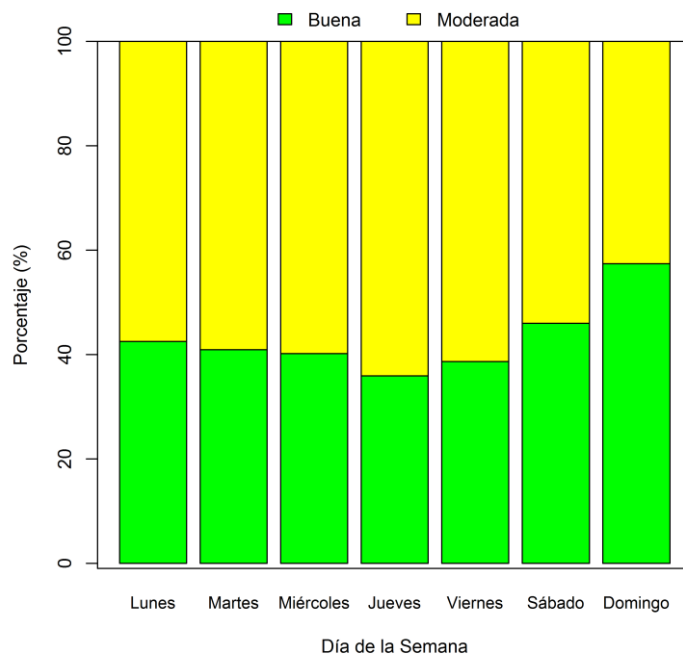


Figura 3-49. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el primer trimestre de 2014.

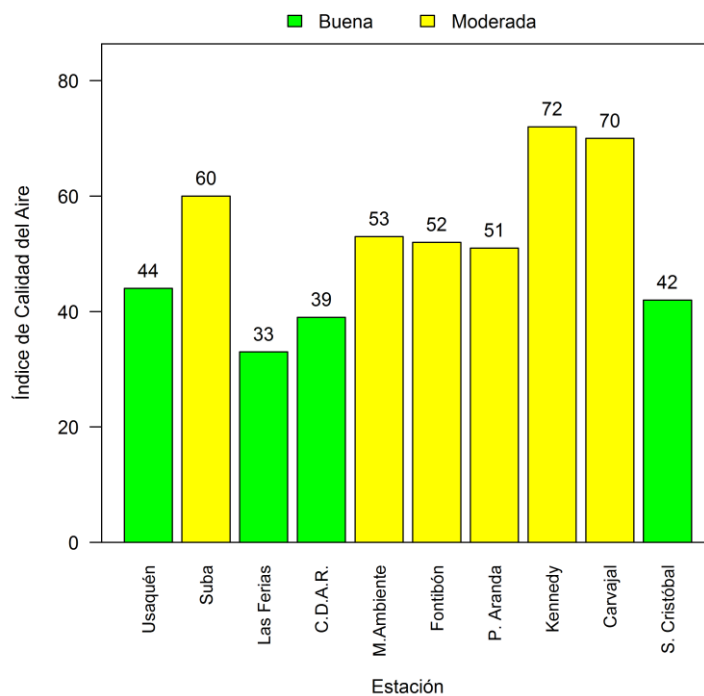


Figura 3-50. Índice de Calidad del Aire promedio de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el primer trimestre de 2014.

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 3-51 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios diarios. Para este contaminante se registran las categorías “Buena”, “Moderada,” “Dañina a la salud para grupos sensibles” y “Dañina a la salud” demostrando que sus niveles representaron un riesgo para la salud pública.

Carvajal y Kennedy fueron las estaciones más críticas. Las concentraciones de la primera se enmarcan en las cuatro categorías mencionadas mientras que en la segunda no se observa la categoría “Buena”. Como se ha mencionado reiteradamente, estas estaciones se ubican en el suroccidente de la ciudad donde la contaminación es relativamente más alta. Los días más críticos fueron el 24 de febrero de 2014 en Carvajal y el y el 31 de marzo de 2014 en Kennedy y fueron los únicos que registraron la categoría “Dañina para la salud”.

La categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” representa efectos adversos en la salud para personas con afecciones cardíacas o respiratorias, adultos mayores y niños. Por su parte la categoría “Dañina a la salud” está asociada la agravación de enfermedades cardíacas o respiratorias y una mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiovasculares, adultos mayores y personas de bajos niveles socioeconómicos; los efectos respiratorios se incrementan en la población en general.

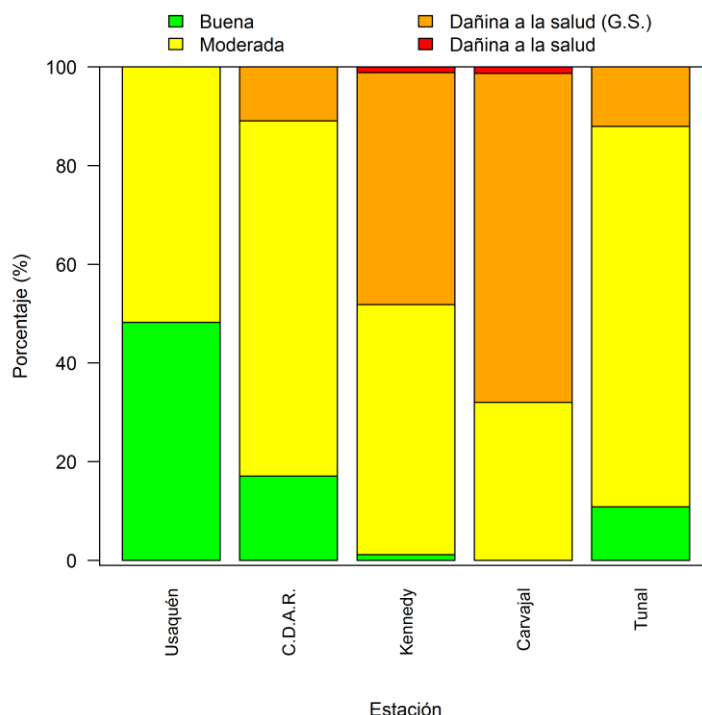


Figura 3-51. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por estación para el primer trimestre de 2014.

Los valores de ICA de la Figura 3-52 durante el primer trimestre de 2014 muestran que la única estación que presentó en promedio una calidad del aire “Buena” fue Usaquén mientras que la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” predominó en Carvajal. Las demás estaciones se enmarcan en la categoría “Moderada”.

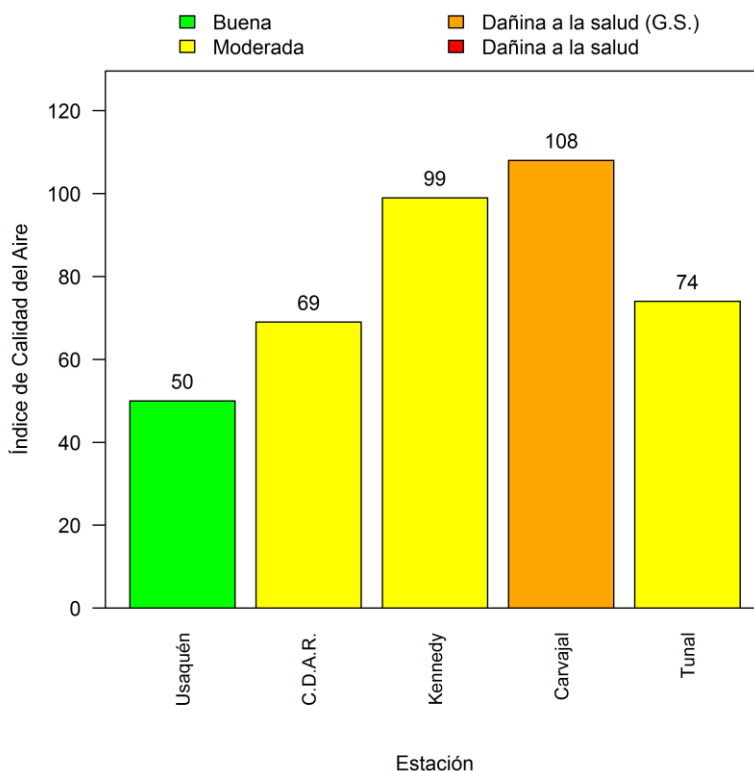


Figura 3-52. Índice de calidad del aire (ICA) para PM_{2.5} durante el primer trimestre de 2014.

La Figura 3-53 corresponde a la disgregación del Índice de Calidad del Aire en función de los meses. De forma similar al caso observado para PM₁₀, el mes con la mejor calidad del aire fue enero y el más afectado por alta contaminación fue marzo. Nuevamente la tendencia de enero puede explicarse por las bajas concentraciones durante sus primeros días. Además, este mes es el único que no registra la categoría “Dañina para la salud”.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-53 muestra que los jueves y los viernes son los más afectados por degradación de la calidad del aire porque la categoría “Buena” tiene una menor predominancia y la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” es más frecuente en comparación con los demás días. La categoría “Dañina a la salud” se registró para los días lunes por su correspondencia con las fechas 24 de febrero de 2014 y 31 de marzo de 2014. El domingo por el contrario presentó los niveles más saludables en calidad del aire.

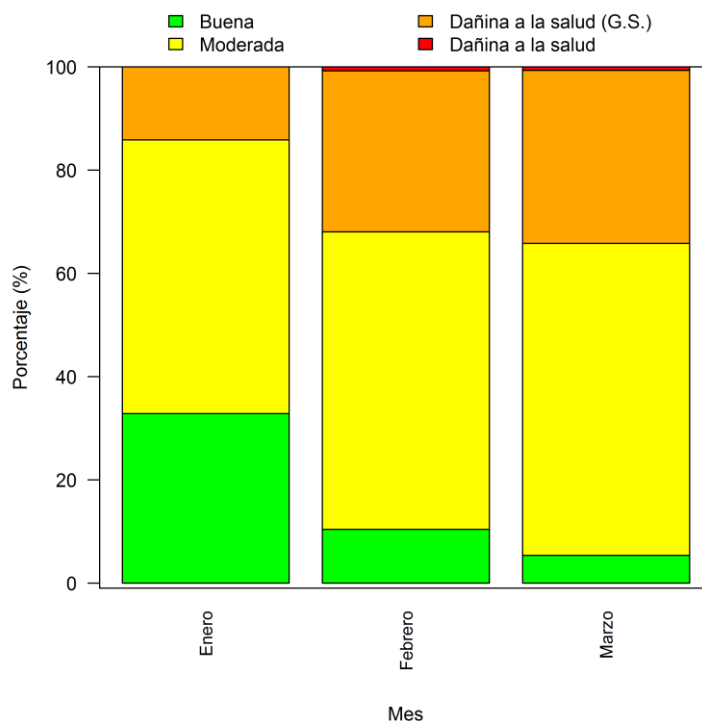


Figura 3-53. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por mes para el primer trimestre de 2014.

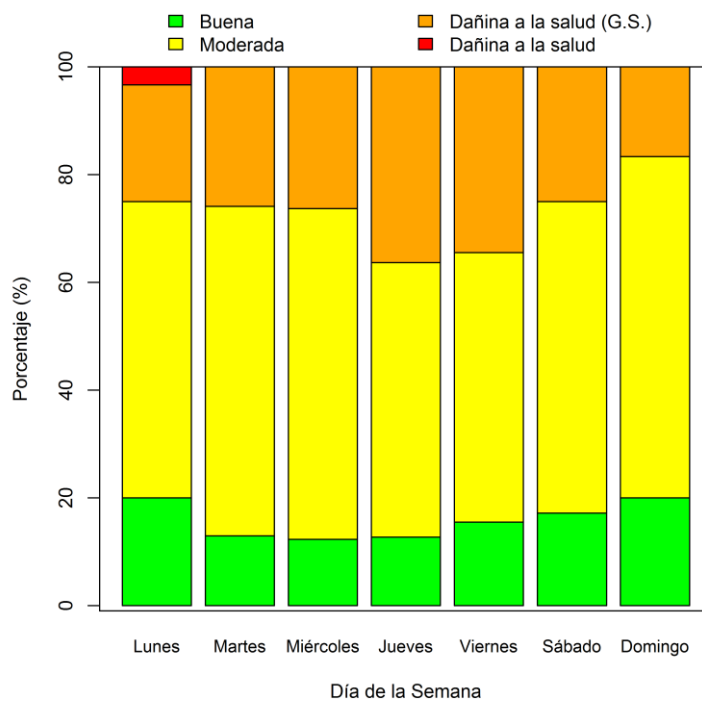


Figura 3-54 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{2.5} por día de la semana para el primer trimestre de 2014.

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

La Figura 3-55, la Figura 3-56 y la Figura 3-57 presentan el índice de calidad promedio por estación para el primer trimestre de 2014 en los contaminantes SO₂, CO y O₃. 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 demostrando la predominancia de la categoría “Buena” durante el trimestre. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO₂ ya que ninguna estación supera las 4 unidades.

En cuanto al monóxido de carbono, la estación con mayor ICA fue Carvajal la cual está afectada directamente por la influencia de fuentes móviles. En lo referente al ozono, Usaquén tiene el mayor ICA con 18 unidades, lo cual concuerda con las tendencias observadas en los análisis de las respectivas concentraciones (sección 3.2.1). Aunque no es observable en la Figura 3-57, el sábado 29 de marzo de 2014, Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Fontibón registraron concentraciones “Moderadas”. Estos episodios son una fracción reducida de las concentraciones medidas durante el trimestre al tener en cuenta que se trata de promedios móviles de 8 horas.

Los resultados para estos tres gases permiten afirmar que los niveles de concentración de estos contaminantes representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}.

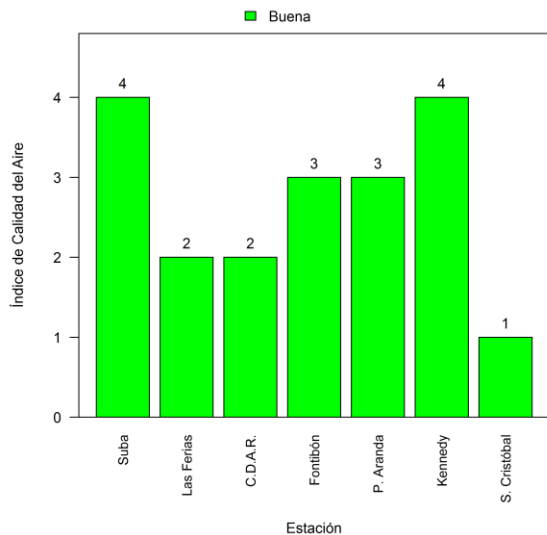


Figura 3-55. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base diaria.

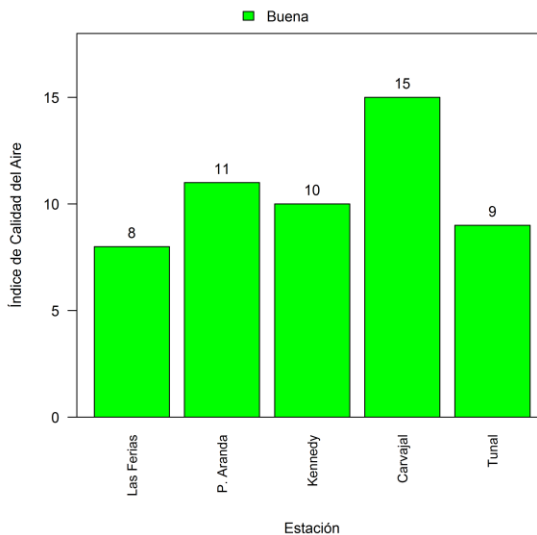


Figura 3-56. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

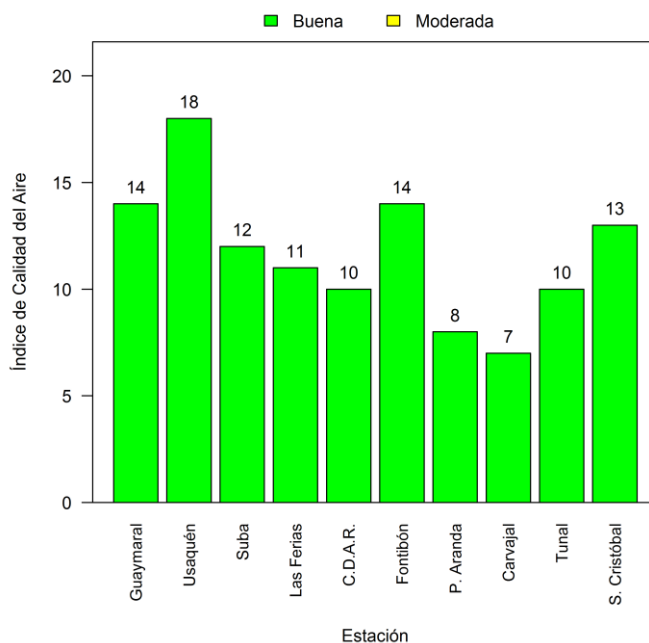


Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O₃). Base de 8 horas.

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 primer trimestre de 2014.

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 mes 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 estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la susceptibilidad de exceder los límites normativos.

Tabla 3-23. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), primer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m³]	Max/ Norma
Suroccidente	Carvajal	80	89%	0	0%	30	1	229	0,8%

Tabla 3-24. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀), primer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PM ₁₀ [Norma: 100 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m³]	Max/Norma
Norte	Usaquén	84	93%	0	0%	31	6	92	0,9
	Subtotal	84	93%	0	0%	31	6	92	0,9
Noroccidente	Suba	82	91%	1	1%	41	35	107	1,1
	Las Ferias	89	99%	0	0%	7	0	56	0,6
	Subtotal	171	95%	1	1%	48	35	107	1,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	89	99%	0	0%	33	1	81	0,8
	MinAmbiente	87	97%	0	0%	33	28	97	1,0
	Subtotal	176	98%	0	0%	66	29	97	1,0
Suroccidente	Fontibón	70	78%	0	0%	46	11	89	0,9
	Puente Aranda	86	96%	0	0%	51	11	90	0,9
	Kennedy	80	89%	36	45%	12	30	146	1,5
	Carvajal	80	89%	37	46%	11	25	150	1,5
	Subtotal	316	88%	73	23%	120	77	150	1,5
Sur	Tunal	52	58%	0	0%	11	0	69	0,7
	San Cristóbal	82	91%	0	0%	32	2	98	1,0
	Subtotal	134	74%	0	0%	43	2	98	1,0

Tabla 3-25. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}), primer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{2.5} [Norma diaria: 50 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Usaquén	85	94%	0	0%	11	3	40	0,8
	Subtotal	85	94%	0	0%	11	3	40	0,8
Noroccidente	Suba	24	27%	1	4%	13	7	55	1,1
	Las Ferias	66	73%	0	0%	14	8	48	1,0
	Subtotal	90	50%	1	2%	27	15	55	1,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	82	91%	0	0%	19	16	48	1,0
	MinAmbiente	5	6%	0	0%	2	1	38	0,8
	Subtotal	87	48%	0	0%	21	17	48	1,0
Suroccidente	Kennedy	83	92%	7	8%	25	45	67	1,3
	Carvajal	75	83%	26	35%	11	30	68	1,4
	Subtotal	158	88%	34	22%	36	75	68	1,4
Sur	Tunal	83	92%	3	4%	31	12	56	1,1
	Subtotal	83	92%	3	4%	31	12	56	1,1

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios horarios de O₃, primer trimestre de 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de O ₃ [Norma: 120 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2119	98%	12	1%	188	68	159	1,3
	Usaquén	2078	96%	14	1%	387	44	179	1,5
	Subtotal	4197	97%	26	1%	575	112	179	1,5
Noroccidente	Suba	1970	91%	0	0%	187	30	120	1,0
	Las Ferias	2132	99%	7	0%	125	21	168	1,4
	Subtotal	4102	95%	7	0%	312	51	168	1,4
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2041	95%	11	1%	140	27	157	1,3
	MinAmbiente	1405	65%	1	0%	21	5	123	1,0
	Subtotal	3446	80%	12	0%	161	32	157	1,3
Suroccidente	Fontibón	1714	79%	16	1%	228	61	165	1,4
	Puente Aranda	2132	99%	2	0%	56	12	126	1,1
	Carvajal	1875	87%	0	0%	43	5	106	0,9
	Subtotal	5721	88%	18	0%	327	78	165	1,4
Sur	Tunal	1958	91%	1	0%	42	7	128	1,1
	San Cristóbal	2035	94%	1	0%	88	16	128	1,1
	Subtotal	3993	92%	2	0%	130	23	128	1,1

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios de O₃ para 8 horas, primer trimestre de 2014.

Información de los promedios de 8 horas de concentración de O ₃ [Norma: 80 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2114	98%	49	2%	438	166	107	1,3
	Usaquén	2074	96%	46	2%	844	296	133	1,7
	Subtotal	4188	97%	95	2%	1282	462	133	1,7
Noroccidente	Suba	1973	91%	12	1%	369	130	89	1,1
	Las Ferias	2138	99%	22	1%	320	49	127	1,6
	Subtotal	4111	95%	34	1%	689	179	127	1,6
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2026	94%	22	1%	315	55	120	1,5
	MinAmbiente	1316	61%	3	0%	49	4	90	1,1
	Subtotal	3342	77%	25	1%	364	59	120	1,5
Suroccidente	Fontibón	1715	79%	50	3%	310	166	129	1,6
	Puente Aranda	2130	99%	4	0%	135	20	97	1,2
	Carvajal	1859	86%	0	0%	86	11	80	1,0
	Subtotal	5704	88%	54	1%	531	197	129	1,6
Sur	Tunal	1938	90%	5	0%	191	16	95	1,2
	San Cristóbal	2037	94%	0	0%	341	42	78	1,0
	Subtotal	3975	92%	5	0%	532	58	95	1,2

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios horarios de NO₂, primer trimestre de 2014.

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 anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2158	100%	0	0%	0	0	93	0,5
	Subtotal	2158	100%	0	0%	0	0	93	0,5
Noroccidente	Suba	2154	100%	0	0%	0	0	91	0,5
	Subtotal	2154	100%	0	0%	0	0	91	0,5
Suroccidente	Puente Aranda	1896	88%	0	0%	18	0	135	0,7
	Kennedy	1841	85%	0	0%	1	0	102	0,5
	Subtotal	3737	87%	0	0%	19	0	135	0,7
Sur	Tunal	1631	76%	0	0%	7	0	136	0,7
	Subtotal	1631	76%	0	0%	7	0	136	0,7

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios de NO₂, primer trimestre de 2014.

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 anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	90	100%	0	0%	0	0	42	0,3
	Subtotal	90	100%	0	0%	0	0	42	0,3
Noroccidente	Suba	90	100%	0	0%	0	0	41	0,3
	Subtotal	90	100%	0	0%	0	0	41	0,3
Suroccidente	Puente Aranda	79	88%	0	0%	0	0	69	0,5
	Kennedy	75	83%	0	0%	0	0	50	0,3
	Subtotal	154	86%	0	0%	0	0	69	0,5
Sur	Tunal	67	74%	0	0%	0	0	61	0,4
	Subtotal	67	74%	0	0%	0	0	61	0,4

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de CO, primer trimestre de 2014.

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 anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	2110	98%	0	0	0	0	3	0,1
	Subtotal	2110	98%	0	0	0	0	3	0,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	639	30%	0	0	0	0	5	0,1
	Subtotal	639	30%	0	0	0	0	5	0,1
Suroccidente	Fontibón	1440	67%	0	0	0	0	3	0,1
	Puente Aranda	2158	100%	0	0	0	0	10	0,3
	Kennedy	1645	76%	0	0	0	0	4	0,1
	Carvajal	1803	84%	0	0	0	0	8	0,2
	Subtotal	7046	82%	0	0	0	0	10	0,3
Sur	Tunal	1873	87%	0	0	0	0	5	0,1
	Subtotal	1873	87%	0	0	0	0	5	0,1

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, primer trimestre de 2014.

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 anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	2111	98%	0	0%	0	0	2	0,2
	Subtotal	2111	98%	0	0%	0	0	2	0,2
Centro	Centro de Alto Rendimiento	606	28%	0	0%	0	0	4	0,4
	Subtotal	606	28%	0	0%	0	0	4	0,4
Suroccidente	Fontibón	1426	66%	0	0%	0	0	1	0,1
	Puente Aranda	2159	100%	0	0%	0	0	4	0,4
	Kennedy	1643	76%	0	0%	0	0	3	0,3
	Carvajal	1798	83%	0	0%	0	0	4	0,4
	Subtotal	7026	81%	0	0%	0	0	4	0,4
Sur	Tunal	1810	84%	0	0%	0	0	4	0,4
	Subtotal	1810	84%	0	0%	0	0	4	0,4

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios de SO₂ para 3 horas, primer trimestre de 2014.

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 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Promedio Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	1672	77%	0	0%	0	0	63	0,1
	Las Ferias	2022	94%	0	0%	0	0	35	0,1
	Subtotal	3694	86%	0	0%	0	0	63	0,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1785	83%	0	0%	0	0	24	0,0
	Subtotal	1785	83%	0	0%	0	0	24	0,0
Suroccidente	Fontibón	1696	79%	0	0%	0	0	46	0,1
	Puente Aranda	2153	100%	0	0%	0	0	36	0,1
	Kennedy	1565	72%	0	0%	0	0	55	0,1
	Carvajal	1569	73%	0	0%	0	0	149	0,2
	Subtotal	6983	81%	0	0%	0	0	149	0,2
Sur	San Cristóbal	2018	93%	0	0%	0	0	16	0,0
	Subtotal	2018	93%	0	0%	0	0	16	0,0

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios de SO₂ para 24 horas, primer trimestre de 2014.

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. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	71	79%	0	0%	0	0	20	0,1
	Las Ferias	84	93%	0	0%	0	0	12	0,1
	Subtotal	155	86%	0	0%	0	0	20	0,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	79	88%	0	0%	0	0	10	0,0
	Subtotal	79	88%	0	0%	0	0	10	0,0
Suroccidente	Fontibón	71	79%	0	0%	0	0	18	0,1
	Puente Aranda	90	100%	0	0%	0	0	12	0,1
	Kennedy	69	77%	0	0%	0	0	22	0,1
	Carvajal	65	72%	0	0%	0	0	26	0,1
	Subtotal	295	82%	0	0%	0	0	26	0,1
Sur	San Cristóbal	82	91%	0	0%	0	0	7	0,0
	Subtotal	82	91%	0	0%	0	0	7	0,0

4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el I trimestre de 2014. La RMCAB a través de los sensores localizados en las estaciones presentadas en la Tabla 1-1, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo:

Uno de los fenómenos climáticos que tiene mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A lo largo del periodo, se presentó una fase neutral según la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (*El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.*), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un mínimo de -0.6°C en el promedio de los trimestres de diciembre enero febrero (DEF) y de enero febrero marzo (EFM) y un máximo de -0.5°C en febrero marzo abril. Esto significa que durante el trimestre, si bien no se declaró una niña por persistencia de la temperatura superficial del mar, si se notó un incremento de las lluvias en la ciudad de Bogotá como se mostrará más adelante.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

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

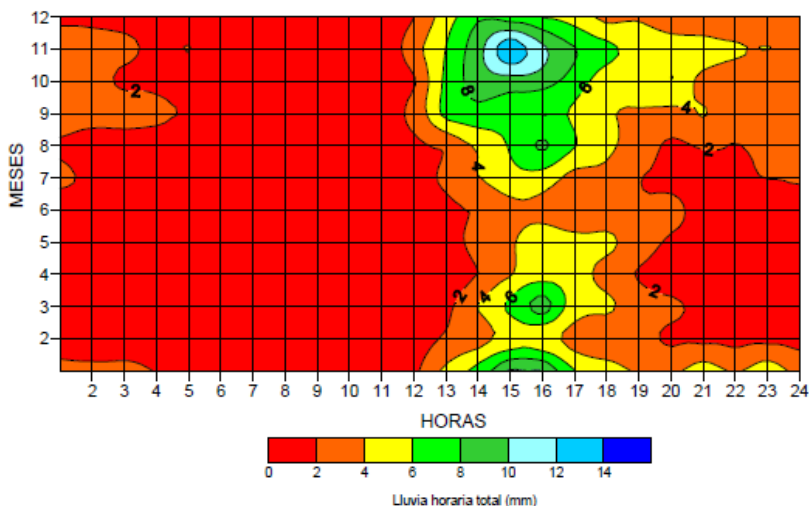


Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (IDEAM, 2013)

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

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

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

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

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas y su representatividad durante el trimestre para la variable precipitación se describen en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el primer trimestre de 2014.

Estación	ENE	FEB	MAR	EFM
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100
Usaquén (Bosque)	96	95	100	97
Suba (Corpas)	100	100	100	100
Las Ferias (Carrefour)	98	100	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	96	99
Sagrado Corazón (MAVDT)	100	100	99	100
Fontibón	49	93	99	80
Puente Aranda	100	100	100	100
Kennedy	93	100	100	97
Carvajal (Sony)	71	93	100	88
Tunal	95	100	100	98
San Cristóbal	100	97	90	96
Bolívia	100	100	33	77

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual de cada uno de los meses históricos y 2014. A lo largo del trimestre se presentaron lluvias por encima del promedio histórico, presentándose la diferencia más significativa en el mes de marzo con 20,6 mm, muy cerca del mes de enero con 17,5 mm y finalmente febrero, con una diferencia de 13,5 mm. Es importante resaltar que los promedios aquí mostrados no constituyen una climatología de Bogotá; se hace a modo de comparación con lo presentado en los últimos años en la RMCAB. La Figura 4-3 muestra que el acumulado de precipitación trimestral fue uno de los más altos comparado con los últimos años, solamente superado por los periodos de 2000, 2011 y 2012 (durante algunos de estos años no se contaba con la cobertura actual de estaciones, de manera que se esquematiza a modo de análisis de tendencias y comportamientos).

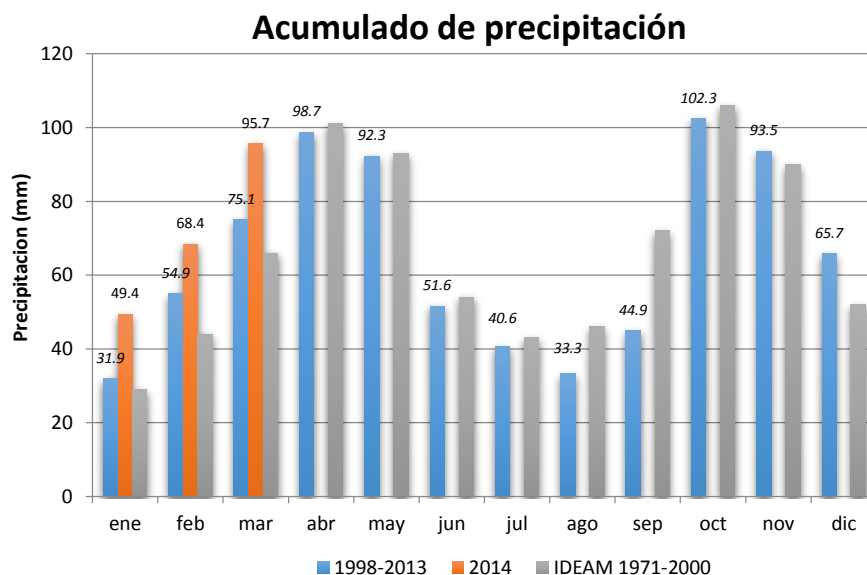


Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio climatológico reportado por el IDEAM (aeropuerto El Dorado serie 1971 – 2000) comparada con el promedio registrado en primer trimestre de 2014.

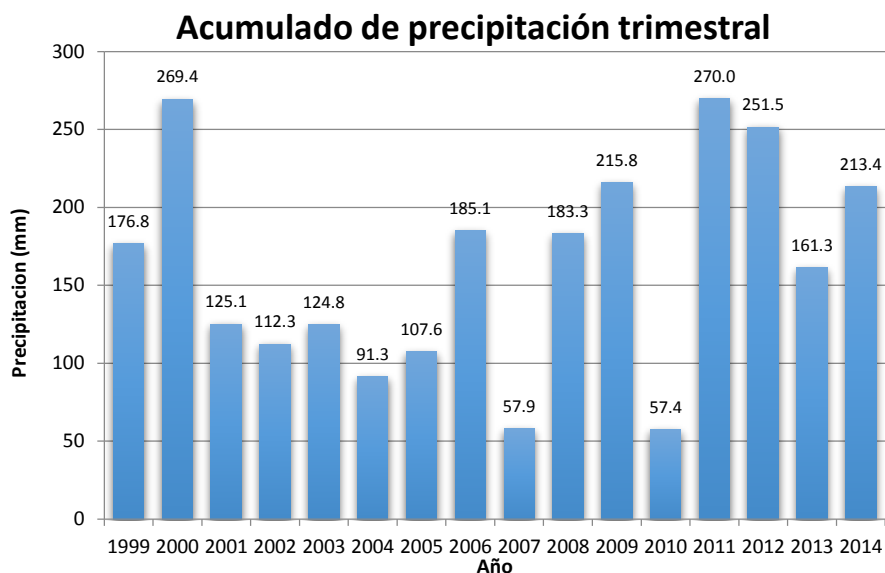


Figura 4-3. Promedio de los acumulados trimestrales de precipitación desde 1999 hasta 2014.

Los datos exhibidos en la Tabla 4-3 representan los acumulados trimestrales de cada estación de la red, hasta 2014.

Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014.

Valores en mm	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Guaymaral	244		91	101	24		102	35	244	189	31	305	184	168	286
Usaquén						210		89	191	201	41	196	139	150	236
Suba	140	112	130		91		122	76		261	89	260	286	153	180
Las ferias		168	68	131		141	258	73	152	315	56	314	324	126	258
Simón Bolívar						145	351	78	110	296	78	419	329	182	342
Sagrado Corazón										320	55		309	217	227
Fontibón	185	133	136	99	111	74	274	26	86	103	22	84	68	95	75
Puente Aranda	238	144		142	6	58	139	60		435	48	159	184	132	111
Kennedy							87	29	234	221	39	206		121	143
Carvajal	193	58	65	83	95	70	91	65	269	137	63	227		121	109
Tunal								55	268	116	36	197	120	103	133
San Cristóbal											28		296	226	316

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, característica de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. La Tabla 4-4 muestra que en la estación de Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos se registró el mayor número de días de lluvia con 58 días, (registro diario superior a 1,0 mm) seguido de Guaymaral con 56 días. Por otra parte, Tunal registró 30 días, consolidándose como la estación con menor número de días de lluvia; en la Tabla 4-5, se observa que en San Cristóbal y en Las Ferias se presentan las mayores precipitaciones por día con 8,8 y 6,1mm/día.

Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2014.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Guaymaral	28		11	11	2		18	5	29	28	6	35	28	18	56
Usaquén						22		9	22	21	9	21	23	18	42
Suba	22	20	16		17		17	14		31	13	37	28	19	44
Las ferias		16	14	21		24	30	13	28	36	11	37	31	17	42
Simón Bolívar						25	36	9	14	32	14	38	34	20	58
Sagrado Corazón										30	10		32	17	39
Fontibón	25	14	19	15	17	20	23	7	19	23	10	18	13	16	34
Puente Aranda	26	15		13	3	14	26	13		41	11	31	30	17	49
Kennedy							20	8	21	29	13	30		15	40
Carvajal	25	13	14	13	15	14	11	15	23	21	13	26		14	34
Tunal								12	23	22	12	27	21	12	30
San Cristóbal											7		30	16	36

Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2014, en mm/día.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Guaymaral	8.7		8.3	9.1	12.1		5.7	7.0	8.4	6.8	5.1	8.7	6.6	9.4	5.1
Usaquén						9.5		9.9	8.7	9.6	4.6	9.4	6.0	8.3	5.6
Suba	6.4	5.6	8.1		5.3		7.1	5.5		8.4	6.8	7.0	10.2	8.1	4.1
Las ferias		10.5	4.8	6.3		5.9	8.6	5.6	5.4	8.7	5.1	8.5	10.4	7.4	6.1
Simón Bolívar						5.8	9.8	8.6	7.8	9.2	5.6	11.0	9.7	9.1	5.9
Sagrado Corazón										10.7	5.5		9.7	12.8	5.8
Fontibón	7.4	9.5	7.2	6.6	6.5	3.7	11.9	3.7	4.5	4.5	2.2	4.7	5.3	5.9	2.2
Puente Aranda	9.1	9.6		10.9	2.1	4.1	5.4	4.6		10.6	4.4	5.1	6.1	7.8	2.3
Kennedy							4.4	3.6	11.1	7.6	3.0	6.9		8.0	3.6
Carvajal	7.7	4.5	4.7	6.3	6.3	5.0	8.2	4.3	11.7	6.5	4.9	8.7		8.6	3.2
Tunal								4.6	11.6	5.3	3.0	7.3	5.7	8.6	4.4
San Cristóbal											3.9		9.9	14.1	8.8

El mapa de la Figura 4-4 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación total para el primer trimestre de 2014 sobre esta superficie. Los sectores sombreados principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no son aptos para ser representados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*.

Se puede observar que el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en la localidad de Fontibón, Noroccidente de Kennedy y Occidente de Puente Aranda. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado oriental – nororiental en las localidades de San Cristóbal, zonas de Barrios Unidos y sectores de Suba.

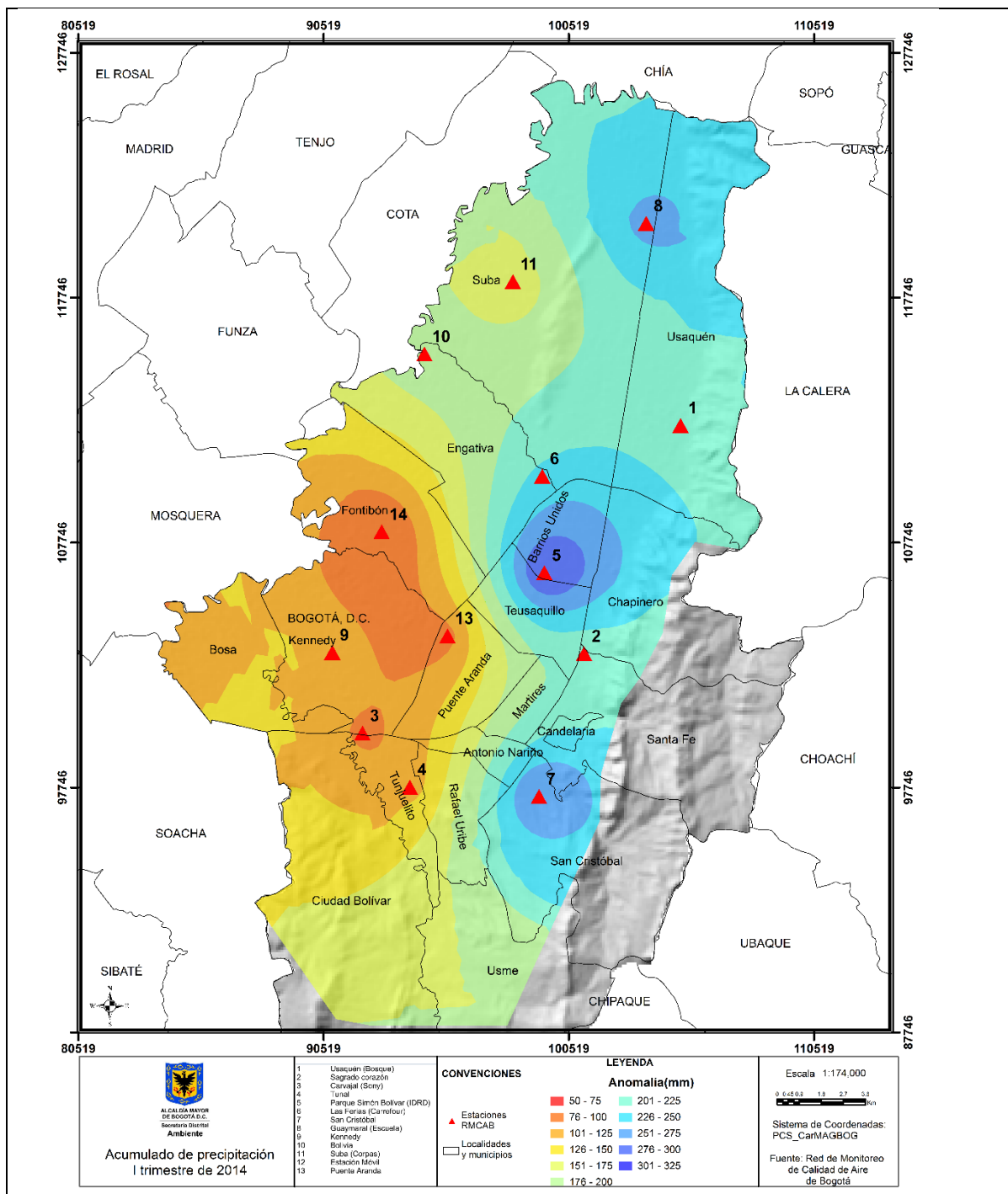


Figura 4-4. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el primer trimestre de 2014.

En la Figura 4-5 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el I trimestre de 2014 y el promedio de los primeros trimestres del periodo 1998-2013 o anomalía de precipitación (note que cada estación tiene una historia distinta, según la fecha de inicio de operación). Se observa una

importante diferencia de lo sucedido en Suba, Usaquén, Barrios Unidos y San Cristóbal donde la anomalía resulta significativa a favor del trimestre con cerca de 130 mm. Por su parte en la zona Occidental, en Fontibón, Kennedy y zonas de Puente Aranda la anomalía es negativa con cerca de 35 mm de diferencia a lo esperado históricamente. La Tabla 4-6, especifica los valores encontrados, los cuales fueron calculados con valores de la Tabla 4-3

Tabla 4-6. Anomalías de precipitación en el periodo 1998 (estaciones disponibles) a 2014.

Estación	Anomalía (mm)
Guaymaral (Escuela)	131.4
Usaquén (Bosque)	84.2
Suba (Corpas)	12.8
Las Ferias (Carrefour)	80.6
Parque Simón Bolívar (IDRD)	121.5
Sagrado corazón	1.2
Fontibón	-32.2
Puente Aranda	-34.1
Kennedy	9.2
Carvajal (Sony)	-9.3
Tunal	5.4
San Cristóbal 2009	132.3

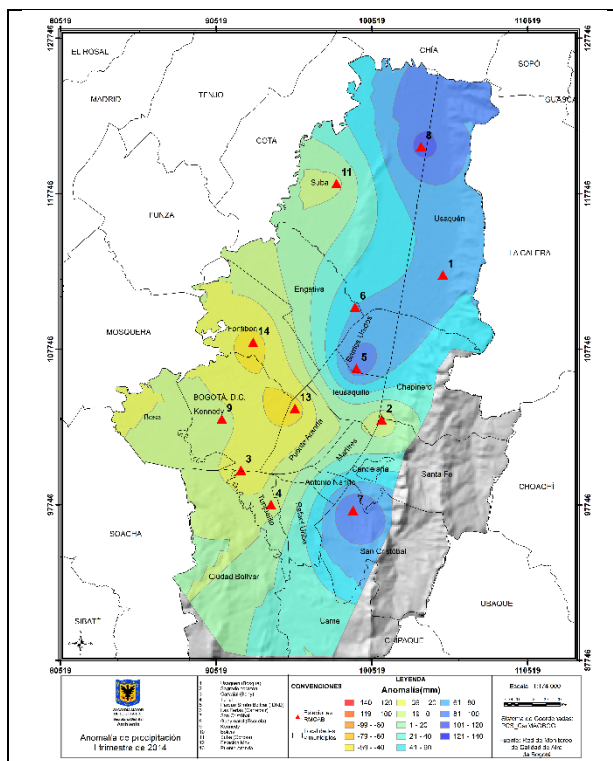


Figura 4-5. Anomalía de precipitación dese 1998 hasta 2014 para las estaciones de la RMCAB.

4.2. Vientos

Durante el primer trimestre de 2014 la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones de la Tabla 4-7 la cual presenta la representatividad de los datos recolectados en el periodo; la Tabla 4-8 presenta los valores promedio y de velocidad máxima relativa de velocidad del viento en las estaciones de la RMCAB. Fontibón y Kennedy son las estaciones en que se registraron los mayores valores promedio de velocidad de viento durante el trimestre seguido de la estación de Carvajal; en velocidades máximas se observó a Fontibón y Sagrado Corazón con promedios de 7,8 y 7,7 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1,0 y 1,2 m/s con valores máximos relativos de 4,1 y 4,2 m/s.

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

Estación	Velocidad del viento (%)				Dirección del viento (%)			
	EFM	ENE	FEB.	MAR.	EFM	ENE	FEB.	MAR.
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100	100	100	100	100
Usaquén (Bosque)	96	96	94	99	97	96	95	100
Suba (Corpas)	100	100	100	100	100	100	100	100
Las Ferias (Carrefour)	99	98	100	100	99	98	100	100
Parque Simón Bolívar (IDRD)	99	100	100	96	99	100	100	96
Minambiente	82	56	100	91	98	100	100	94
Fontibón	80	49	93	99	80	49	92	99
Puente Aranda	100	100	100	100	100	100	100	100
Kennedy	97	93	100	100	97	93	100	100
Carvajal (Sony)	88	71	93	100	88	71	93	100
Tunal	98	95	100	100	98	95	100	100
San Cristóbal	96	100	97	91	96	100	97	91

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

Estación	Promedios de velocidad del viento (m/s)				Valores máximos de velocidad del viento (m/s)			
	ENE	FEB.	MAR.	EFM	ENE	FEB.	MAR.	EFM
Guaymaral	1.0	1.0	1.0	1.0	4.3	4.0	3.9	4.1
Usaquén	1.7	1.7	1.4	1.6	6.0	5.5	5.3	5.6
Suba	1.8	1.7	1.7	1.7	5.5	5.3	5.6	5.5
Las ferias	1.7	1.6	1.8	1.7	4.9	4.5	5.5	5.0
Simón Bolívar	1.3	1.3	1.4	1.3	4.2	4.5	4.6	4.4
Minambiente	2.0	1.6	1.7	1.7	8.1	5.8	9.3	7.7
Fontibón	3.0	2.7	2.8	2.9	7.5	7.8	8.2	7.8
Puente Aranda	2.0	1.9	2.0	2.0	6.9	6.6	6.6	6.7
Kennedy	2.5	2.5	2.5	2.5	5.7	6.3	6.6	6.2
Carvajal	2.4	2.2	2.2	2.3	5.2	5.1	5.1	5.1
Tunal	1.1	1.2	1.2	1.2	4.1	4.2	4.4	4.2
San Cristóbal	2.5	2.3	2.0	2.2	5.8	5.9	5.6	5.8

La Figura 4-6 esquematiza las rosas de vientos en la RMCAB durante el trimestre. Las estaciones de Carvajal y Tunal mostraron una predominancia del Sur, mientras que en Kennedy predominó del Sureste. No obstante se aprecia una componente significativa del Occidente, la cual coincide con varias estaciones tales como Fontibón, Las Ferias, Parque Simón Bolívar y Puente Aranda. Por su parte, las estaciones ubicadas hacia el oriente de la ciudad como son Guaymaral, Sagrado Corazón y San Cristóbal presentaron vientos predominantes del Este; únicamente Suba mostro una predominio del Norte. Así mismo, presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0,5 m/s), en donde se observa que hacia el occidente, los vientos tienden a estar en movimiento, a diferencia del Norte en donde más del 30% de los datos del trimestre se presentaron en calma como es el caso de la estación de Guaymaral.

El mapa de la Figura 4-7 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para el primer trimestre de 2014 sobre esta superficie. Así mismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento, al Nororiente de la ciudad y sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza y Madrid. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón y de Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 2,7 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0,5 m/s en el Nororiente hasta los 2,7 m/s en el Occidente de la ciudad.

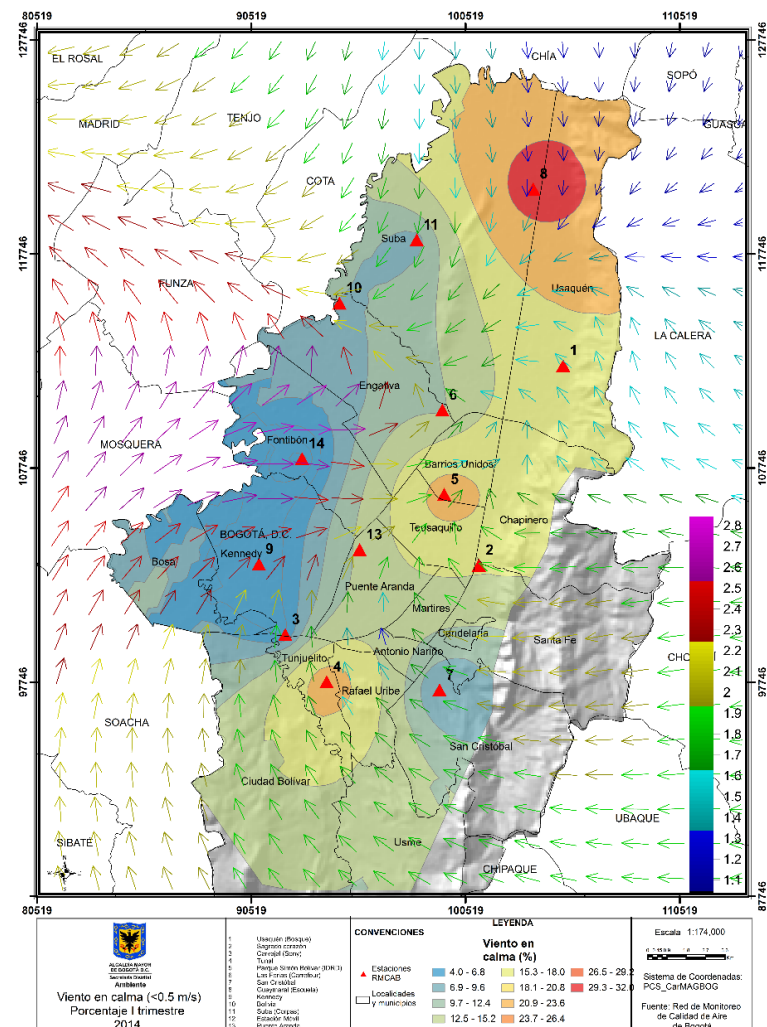
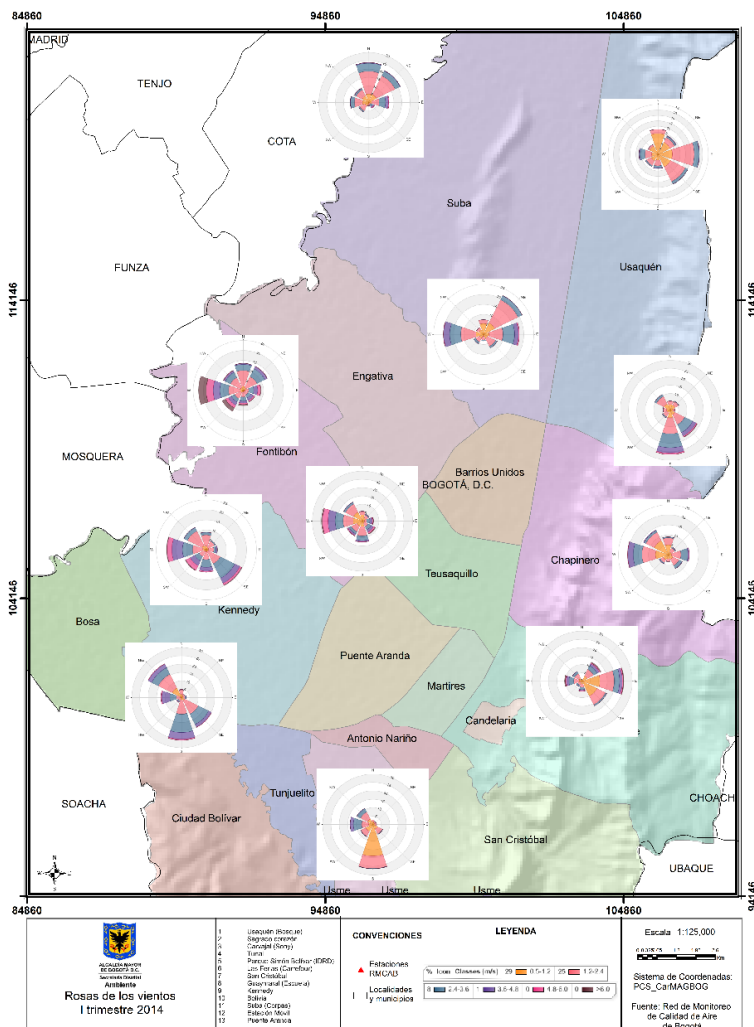


Figura 4-6. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

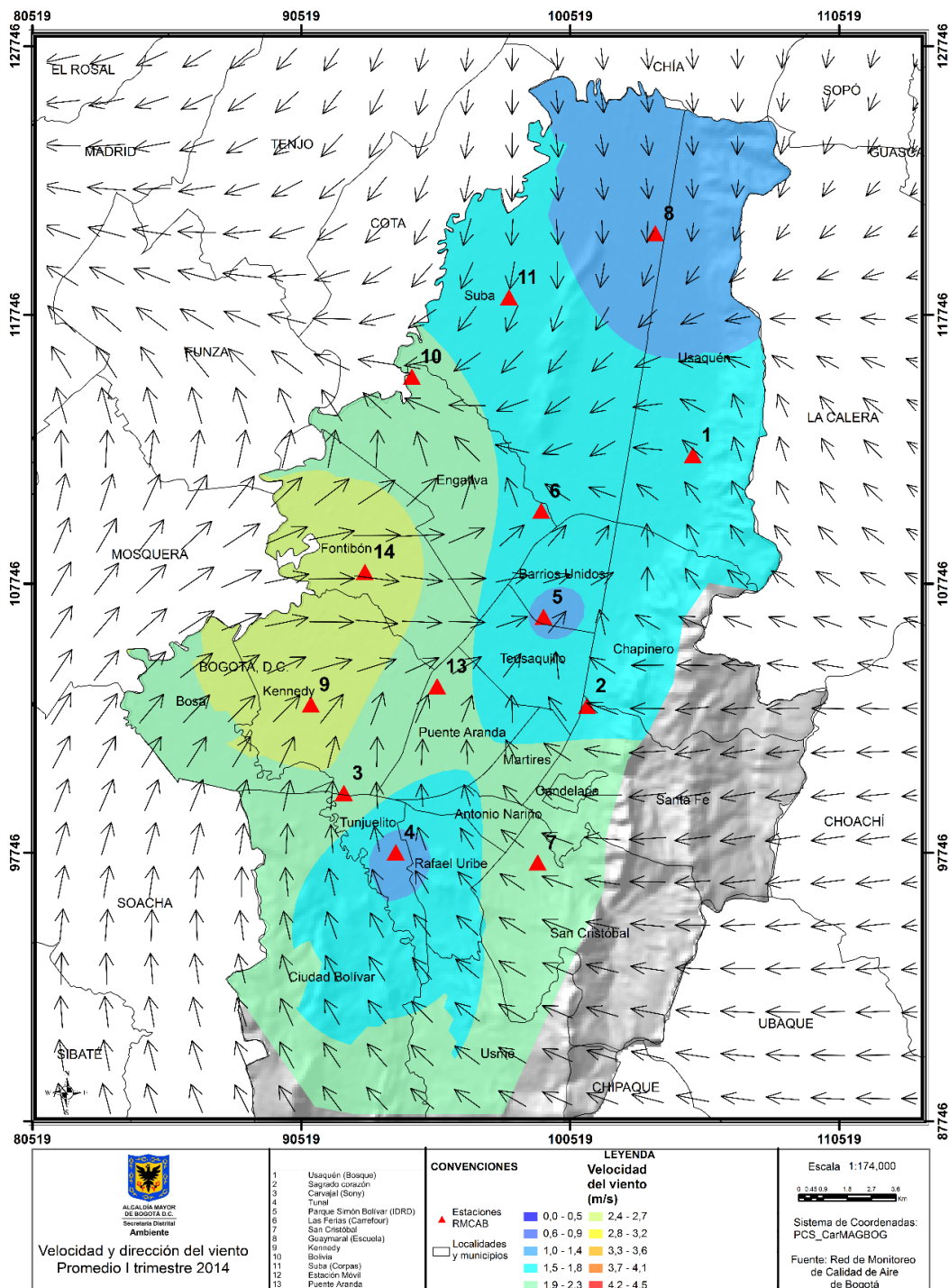


Figura 4-7. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante I trimestre de 2014.

4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el trimestre para la variable temperatura se presentan en la Tabla 4-9 donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos. El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el trimestre se caracterizó por valores moderadamente por encima de los promedios (periodo 1998-2013) con diferencias de 0,4 °C, en todos los meses. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 4-8 la cual muestra el promedio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura en el trimestre.

Tabla 4-9. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el trimestre EFM 2014

Estación	ENE	FEB.	MAR.	EFM
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100
Usaquén (Bosque)	96	95	100	97
Suba (Corpas)	100	100	100	100
Las Ferias (Carrefour)	98	100	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	96	99
Fontibón	49	93	99	80
Puente Aranda	100	100	100	100
Kennedy	93	100	100	97
Carvajal (Sony)	71	93	100	88
Tunal	95	100	100	98
San Cristóbal	100	97	90	96

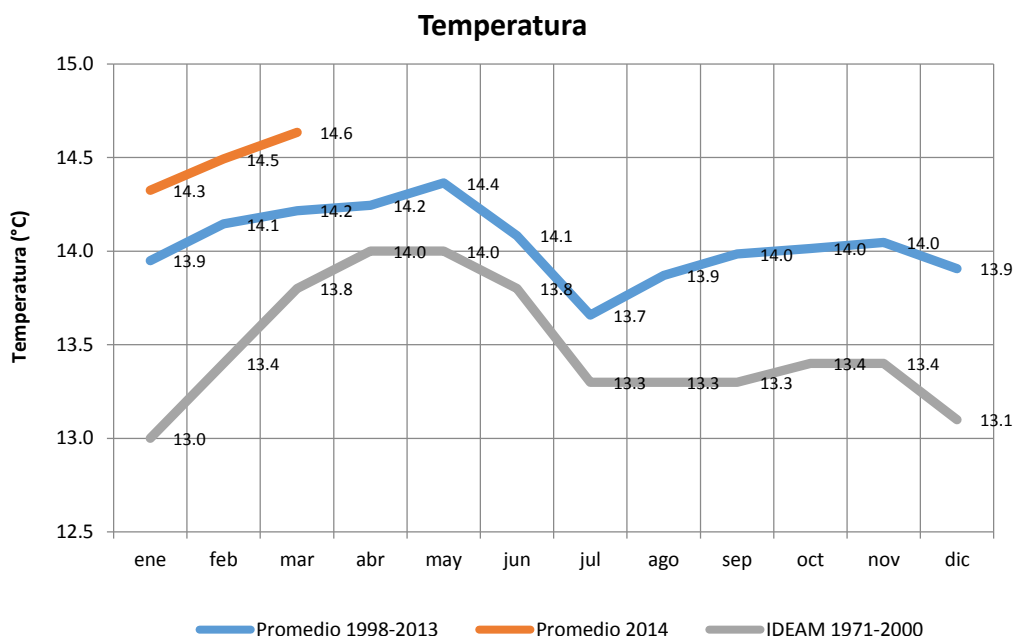


Figura 4-8. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB, IDEAM aeropuerto ElDorado 1971-2000 en el periodo 1998- 2013 y su comparación con 2014.

La Figura 4-9, muestra la evolución de la temperatura media anual en el periodo 1998-2014. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2010 alcanzando los 15,5 °C mientras que el de menor temperatura fue en 2008, con 12,8°C.

Temperatura

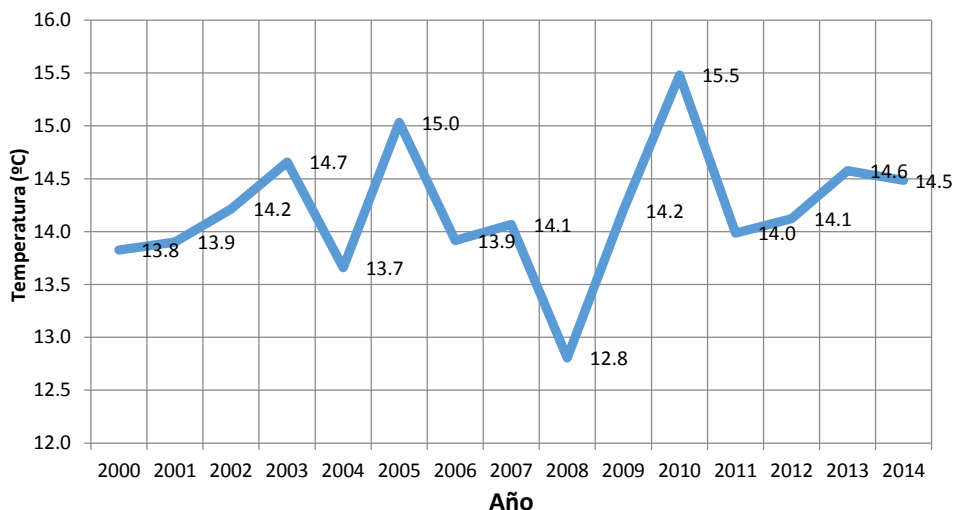


Figura 4-9. Gráfica de la temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2014.

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

Tabla 4-10. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Guaymaral 2m 1997	15.2		12.8	12.9	12.8	13.9	13.7	13.7	13.5	14.2	15.3	14.2	14.4	14.8	14.9
Usaquén 1997									10.7	14.1	16.0	14.3	14.3	15.1	15.1
Suba 1997	10.5	10.4	13.6		12.1	17.1	13.6	12.8	13.2	13.1	13.6		13.9	14.6	14.5
Las ferias 2000	16.3	15.6	16.2	16.2		15.7			12.8	13.7	15.1	13.6	13.9	14.6	14.4
Parque Simón Bolívar 2001						16.0		16.3	13.3	14.4	15.4	14.3	14.6	14.9	14.8
Fontibón 1999	13.4	13.8	14.2	14.5	14.0	14.4	14.1	14.3	13.7	14.5	15.7	13.6	13.7	14.4	14.2
Puente Aranda 1999	13.9	14.3	14.9	15.1	14.7	15.0	14.7	14.9	13.8	14.4	15.5	13.8	13.9	14.1	14.1
Kennedy 2005									13.7	14.3	15.7	14.2	14.3	15.0	14.9
Carvajal 1997							13.7	12.0	12.0	15.0	16.4	14.9	15.2	15.8	15.8
Tunal 2006							12.5			14.5		12.9	13.3	13.3	13.4
San Cristóbal 2009													13.5	13.3	13.3

Adicionalmente la Tabla 4-11 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. La estación de mayor amplitud corresponde a Suba con un promedio de 12,7°C seguido de Guaymaral con 12,4°C mientras que la estación de Fontibón se consolida como la de menor amplitud con 6,9 °C; pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie calentando la zona en horas de la madrugada y disminuyendo las temperaturas al medio día.

Tabla 4-11. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Guaymaral 2m 1997	21.9	9.5	12.4
Usaquén 1997	20.4	11.4	9.0
Suba 1997	22.1	9.4	12.7
Las ferias 2000	20.1	10.4	9.7
Parque Simón Bolívar	21.8	9.6	12.1
Fontibón 1999	15.8	8.9	6.9
Puente Aranda 1999	18.9	10.8	8.1
Kennedy 2005	18.8	11.5	7.3
Carvajal 1997	19.1	11.0	8.1
Tunal 2006	20.0	8.4	11.6
San Cristóbal 2009	18.1	9.4	8.7

El mapa de la Figura 4-10 muestra la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el I trimestre de 2014 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados, principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al Suroriente de la capital, particularmente en las localidades de Rafael Uribe, San Cristóbal y Tunjuelito. Los mayores promedios se encuentran en gran parte del Occidente, especialmente en al Sur de la localidad de Kennedy y temperaturas moderadamente altas en zonas de Usaquén

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 4-11 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente. Las zonas de mayor temperatura al medio día se ubicaron en Suba, Usaquén y Barrios Unidos, mientras que en Fontibón se encontraron los menores valores a esta hora. Por su parte, las temperaturas máximas en la madrugada se concentraron en Usaquén y Kennedy, mientras que las más frías se notaron en Fontibón, zonas de Rafael Uribe y Tunjuelito.

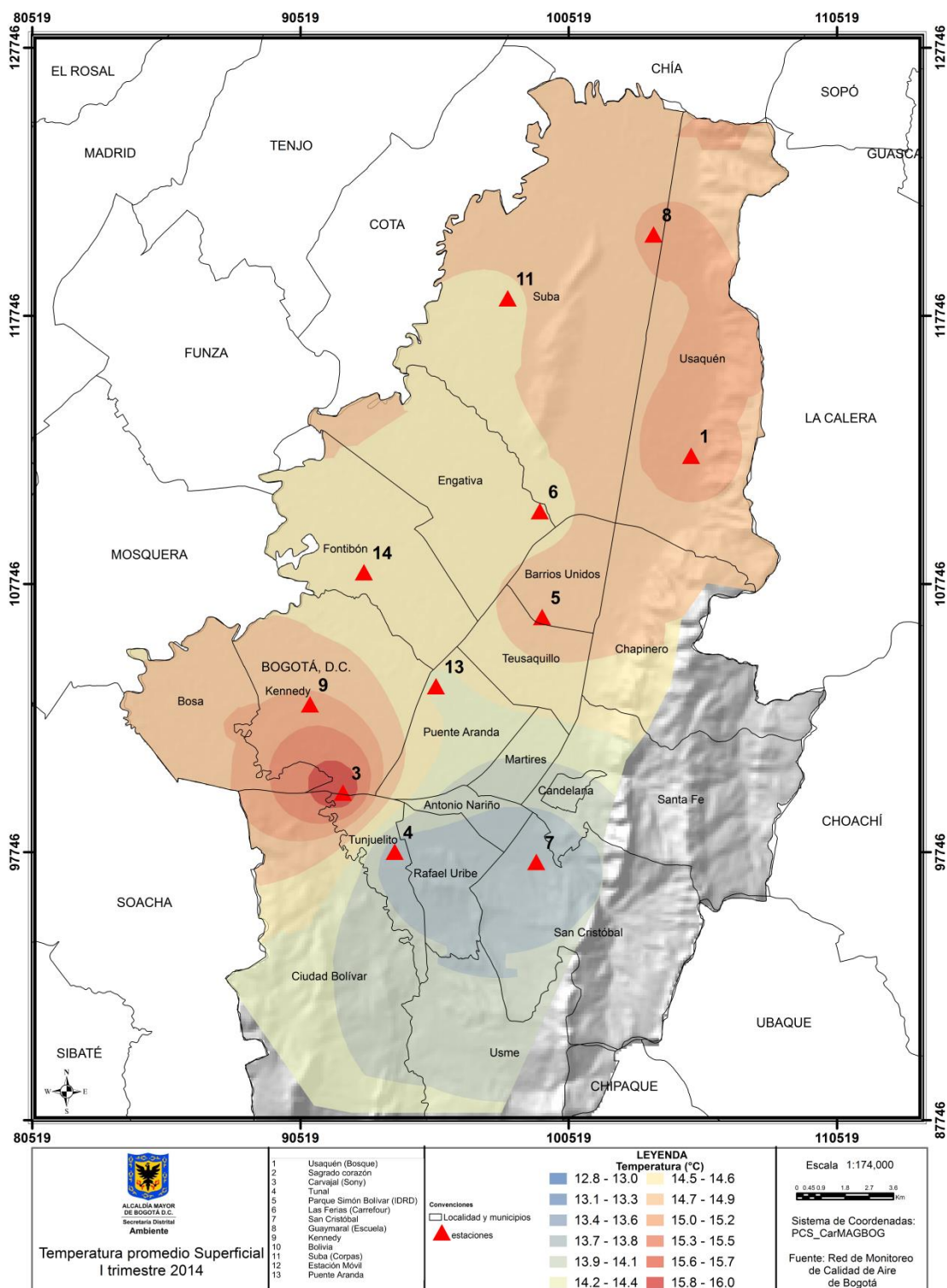
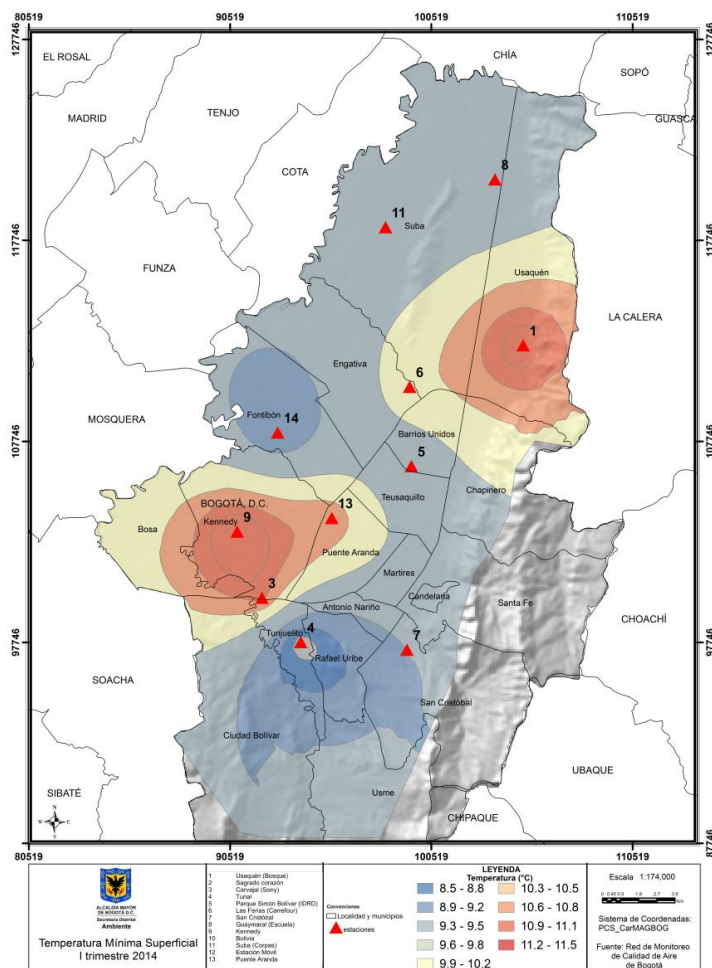
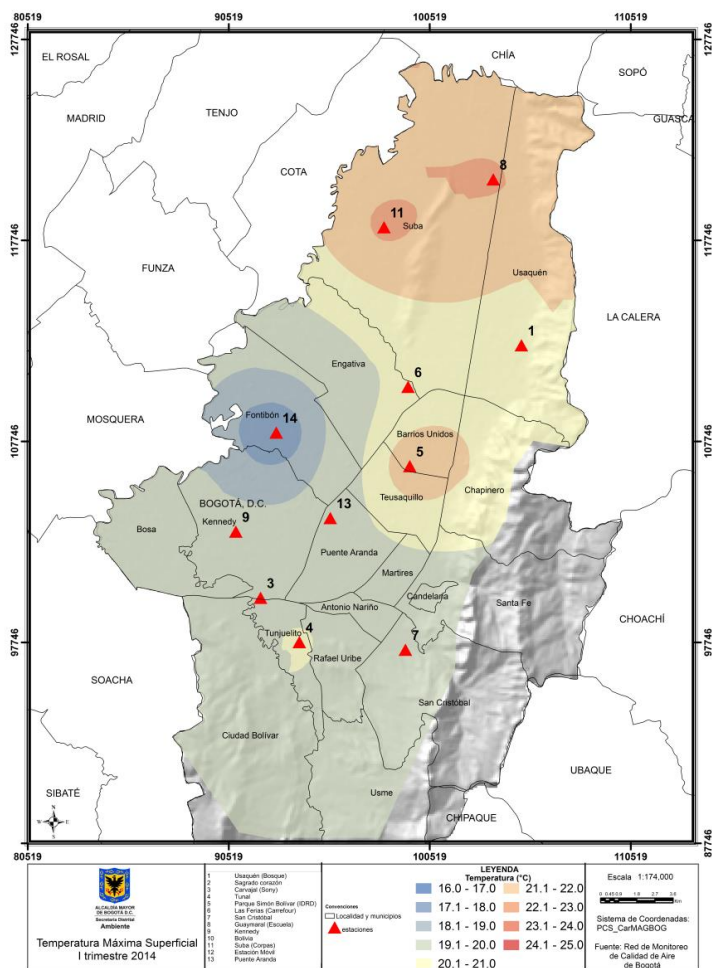


Figura 4-10. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el I trimestre de 2014.



Promedio Temperatura máxima EFM 2014

Promedio Temperatura mínima EFM 2014

Figura 4-11. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 4-12, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2013 de radiación mensual promedio para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable y su comparación con el promedio de radiación global durante el trimestre. La radiación en este periodo fue moderadamente mayor en su acumulado respecto al periodo histórico, con un tope en el mes de enero que alcanzó 4779 W/m² y una diferencia de 529 W/m²; marzo presentó una diferencia de 843 W/m². La Tabla 4-12 presenta la representatividad de los datos.

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

ESTACIÓN	ENE	FEB.	MAR.	EFM
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	96	99
Kennedy	93	99	83	91
Tunal	95	100	100	98
San Cristóbal	100	96	91	96

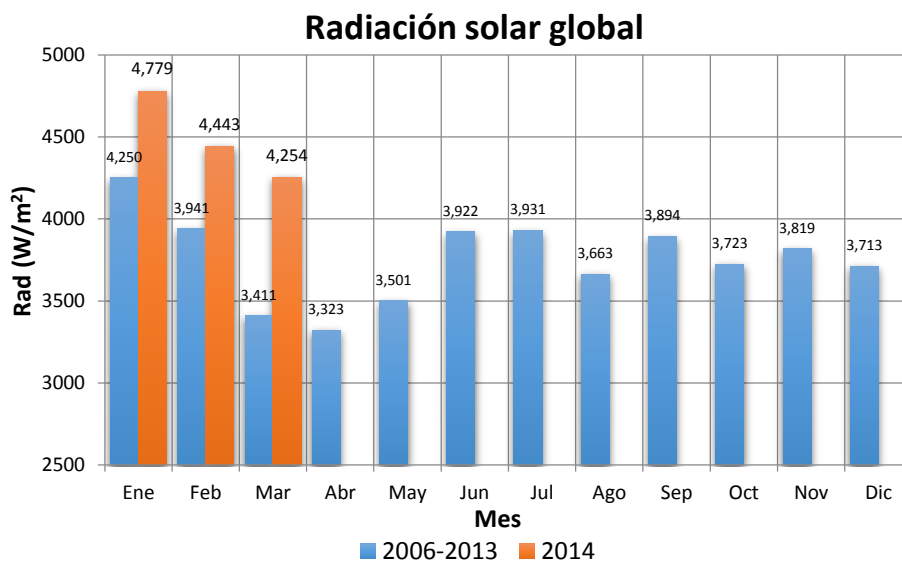


Figura 4-12. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2013 y su comparación con 2014.

La Figura 4-13 presenta el resumen para el trimestre, en donde se confirma que la estación con mayor acumulado de radiación se presentó en San Cristóbal seguido de la estación de Guaymaral.

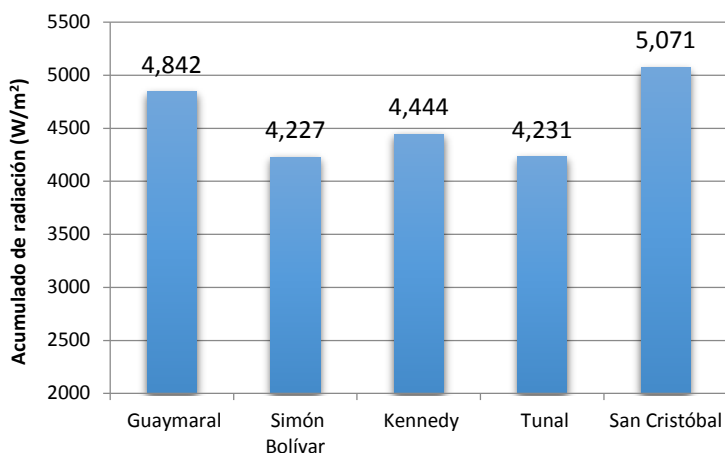


Figura 4-13. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, I trimestre de 2014.

4.5. Presión Atmosférica

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

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

Estaciones	ENE	FEB	MAR	EFM
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100
Las Ferias (Carrefour)	98	100	100	99
Fontibón	49	93	99	80
Kennedy	93	100	100	97

La Figura 4-14 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y en lo corrido del trimestre la presión estuvo por debajo del promedio histórico particularmente en el primer mes. Como se observa en la Figura 4-15, los valores trimestrales en los últimos años han sido bastante similares.

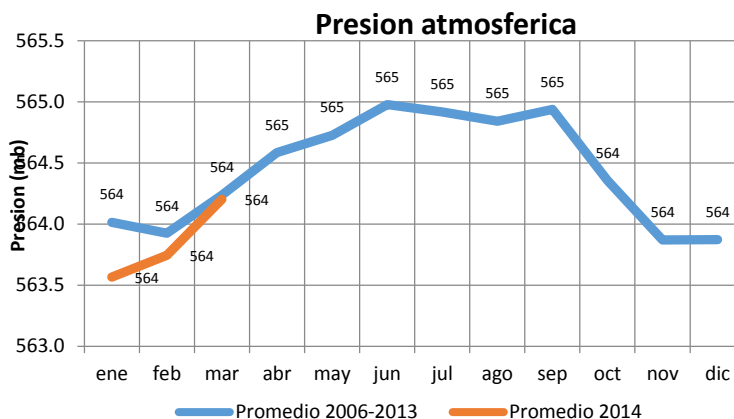


Figura 4-14. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

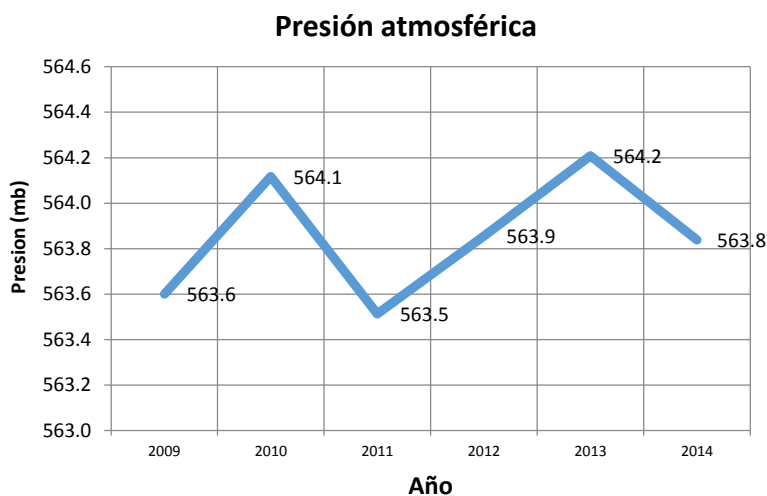


Figura 4-15. Comparación de la presión en los últimos años.

4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describe en la Tabla 4-14 la cual presenta la representatividad de los datos tomados. La Figura 4-16 muestra que la humedad relativa en el trimestre estuvo por debajo del promedio 2002-2013, en especial el mes de enero en donde la diferencia alcanzó 2,2%.

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

Estación	ENE	FEB.	MAR	EFM
Guaymaral (Escuela)	100	100	100	100
Las Ferias (Carrefour)	98	100	100	99
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	100	96	99
Kennedy	93	100	100	97
Tunal	95	100	100	98
San Cristóbal	100	97	90	96

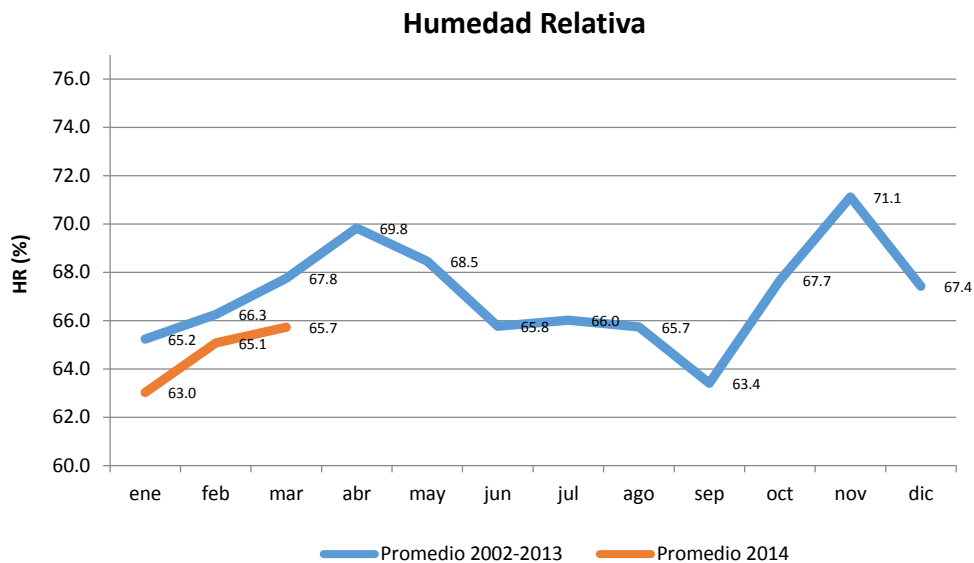


Figura 4-16. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2013 y su comparación con los meses de 2014.

5. Meteorología y Calidad del Aire

5.1. Análisis de vientos vs. material particulado

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM_{10} y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el trimestre. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Las Figura 5-1, Figura 5-2, Figura 5-3 y Figura 5-4 representan el promedio de la concentración de PM_{10} con los vectores de viento (mapas del costado izquierdo) así como la interpolación el coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el PM_{10} nuevamente con los vectores de viento (mapas de la derecha).

Examinando los resultados de los mapas, se encuentra que en horas de la madrugada (Figura 5-1), cuando los vientos predominan del sureste y noreste y los cuales confluyen al occidente de la ciudad con valores no mayores a los 2 m/s, se presentan concentraciones altas de PM_{10} , particularmente en la localidad de Kennedy en donde se presentan vientos del suroeste. Al revisar la correlación en esta área, se presenta de modo inverso, a saber; a mayor velocidad del viento menor concentración de material particulado, aunque en la estación de Tunal, en donde se apreciaron valores altos de concentración se observaron correlaciones de menor valor; de esta forma se concluye que la velocidad del viento, que no es alta, contribuye a dispersar el material particulado en sectores del Norte, Centro y Occidente de la ciudad y es indiferente en zonas del Sur y Suroriente en horas de la madrugada.

Durante las horas de la mañana, considerando el inicio de la actividad antropogénica, se presenta un aumento considerable en la concentración de material particulado que a su vez es fortalecido por las condiciones estables de la atmósfera producto del descenso de temperatura de la madrugada. La Figura 5-2 muestra que el Occidente de la ciudad presenta valores significativos en PM_{10} , con vientos que, según el coeficiente de correlación de la zona y con velocidades que están entre los 2 y 3 m/s provenientes del sureste, son indiferentes o favorecen la dispersión del contaminante. En el resto de la ciudad se mantiene esta tendencia, a mayor velocidad del viento, el PM_{10} tiende a disminuir; a esta altura del día los vientos ya han alcanzado valores de hasta 3m/s con dirección del Suroriente al Sur de la Ciudad y del Norte - Nororiente al Norte del área.

En el caso de la tarde, (Figura 5-3) se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y aumento de la velocidad del viento, lo que favorece la dispersión de los contaminantes y por tanto menores concentraciones. Así mismo, se observa que fue en este grupo horario en el que se presentaron los mayores acumulados de lluvia, lo que ratifica la inestabilidad en el área

además del probable lavado atmosférico. No obstante, el viento participó en algunos casos con tendencia negativa según los registros de las estaciones como muestra el mapa de correlaciones, en donde el PM_{10} aumentó cuando el viento elevaba su velocidad, manifestándose especialmente en la zona Suroccidental de la capital, mientras que en la zona Nororiental el viento favoreció a la disminución de la concentración del material particulado. Los vientos alcanzaron velocidades de hasta 5m/s los cuales fueron predominantes del Este – Sureste con tendencia a confluir en los municipios de la sabana Occidente de Bogotá.

Por la noche según la Figura 5-4 las condiciones fueron similares a las de la madrugada en términos de la concentración del PM_{10} y de la correlación con la velocidad del viento aunque en este grupo horario aún se aprecian vientos con velocidades cercanas a los 3 m/s y de dirección predominante del Este –Sureste al Sur de la Ciudad y del Noreste al Norte.

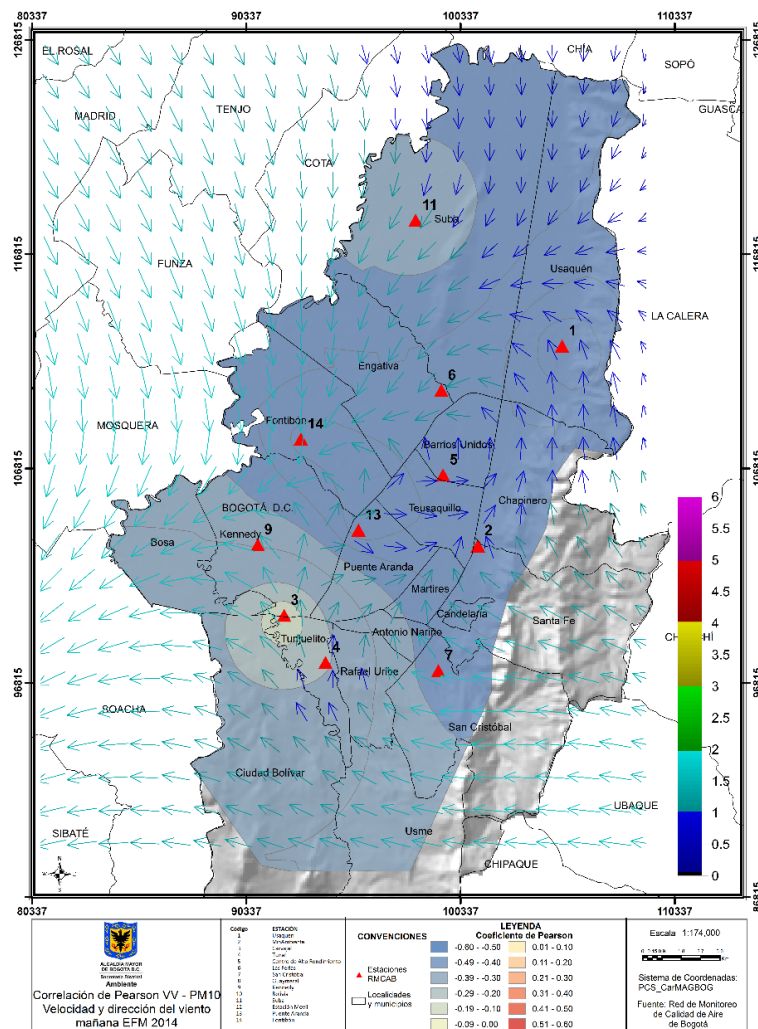
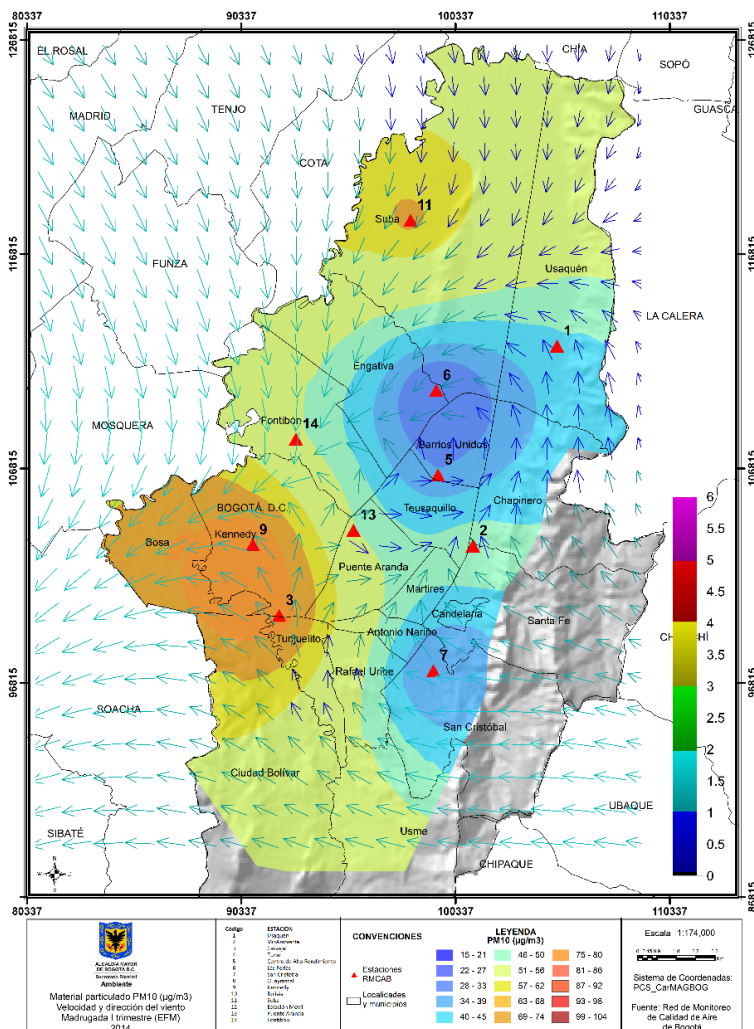


Figura 5-1 . PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del primer trimestre de 2014.

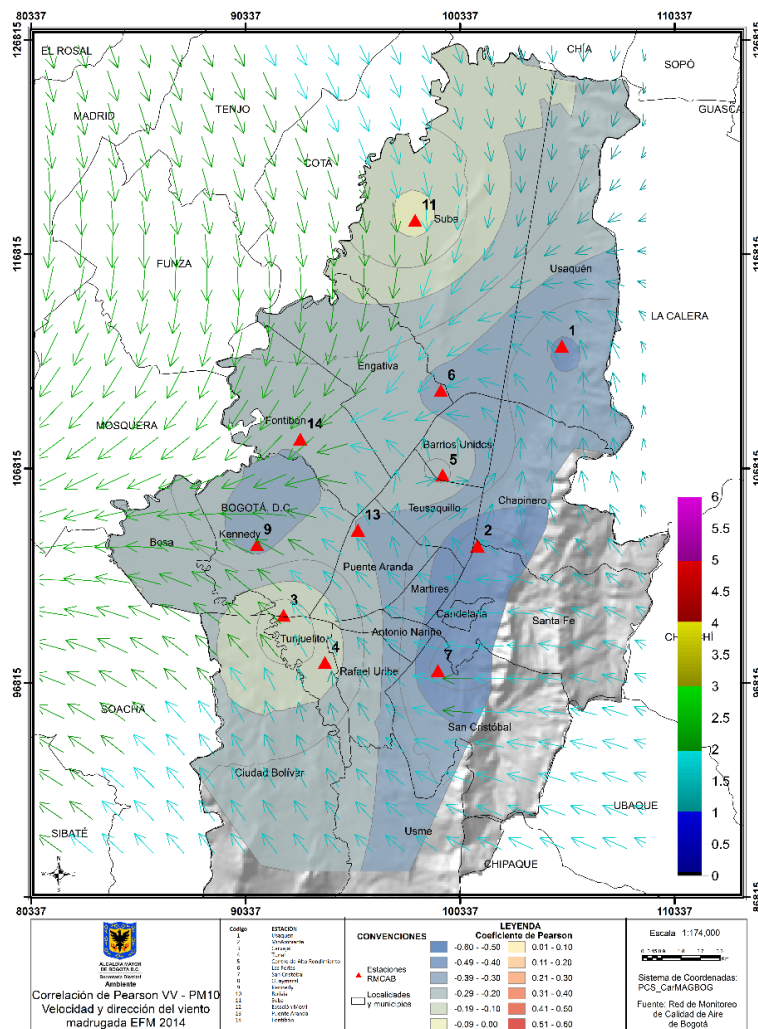
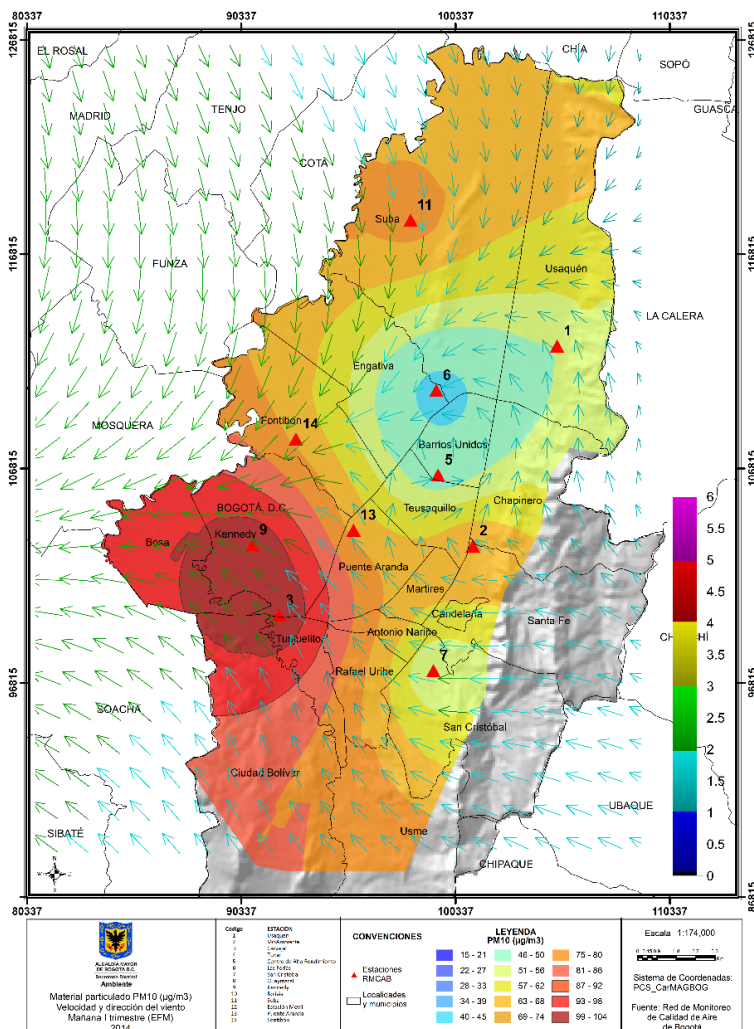


Figura 5-2 . PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana del primer trimestre de 2014.

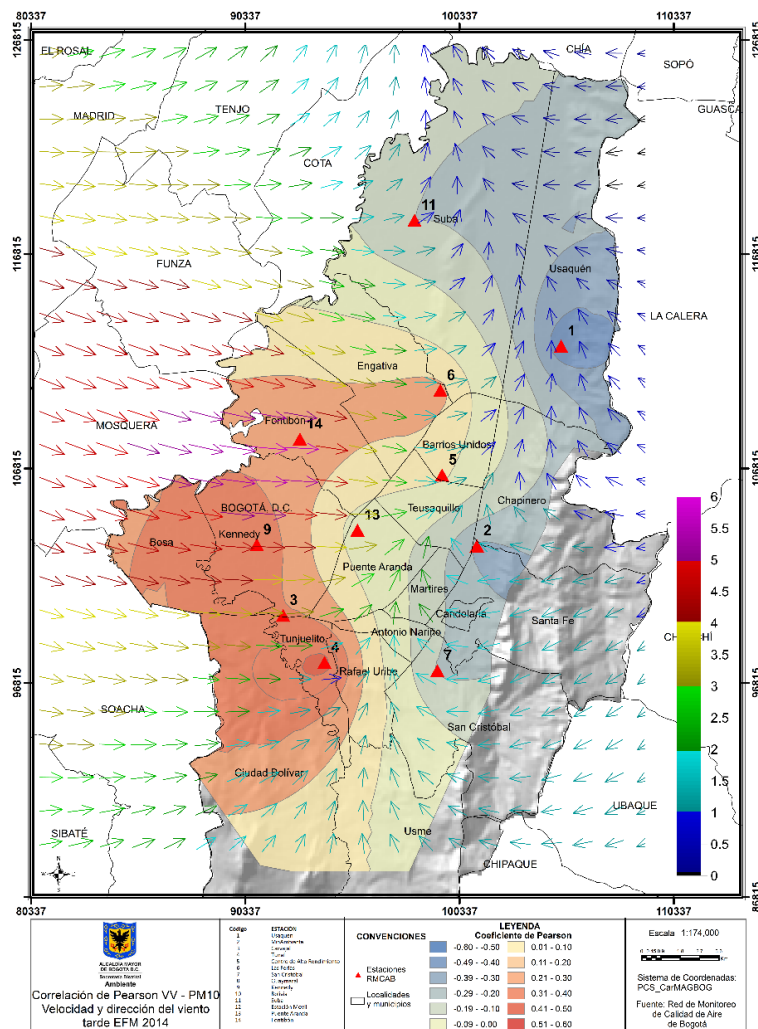
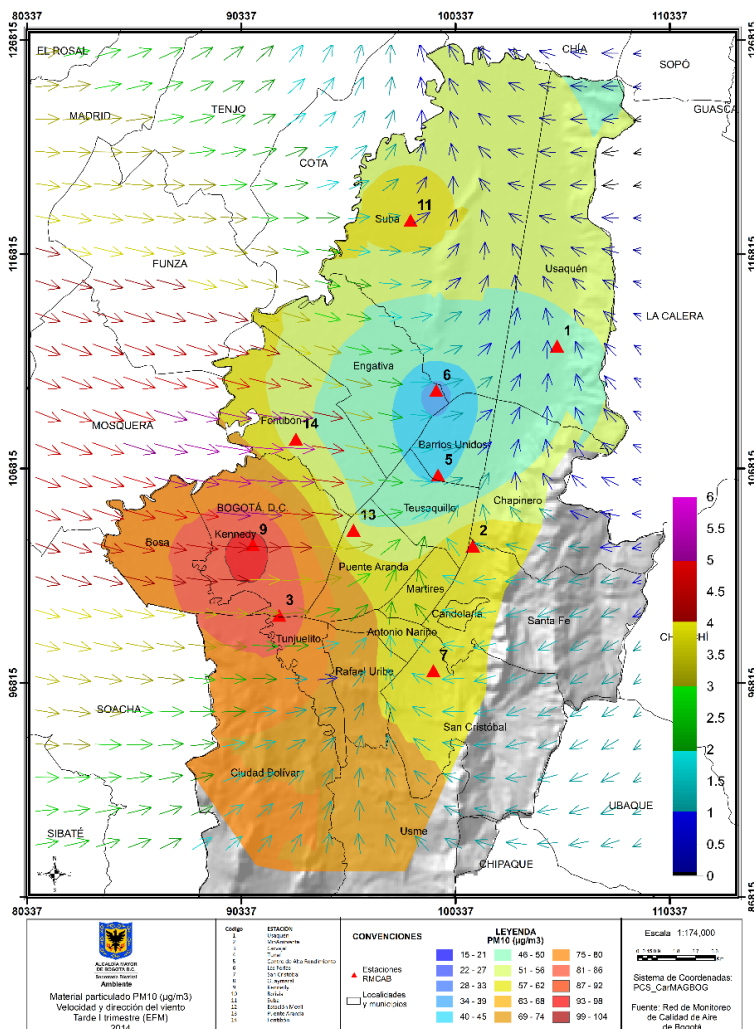


Figura 5-3 . PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde del primer trimestre de 2014.

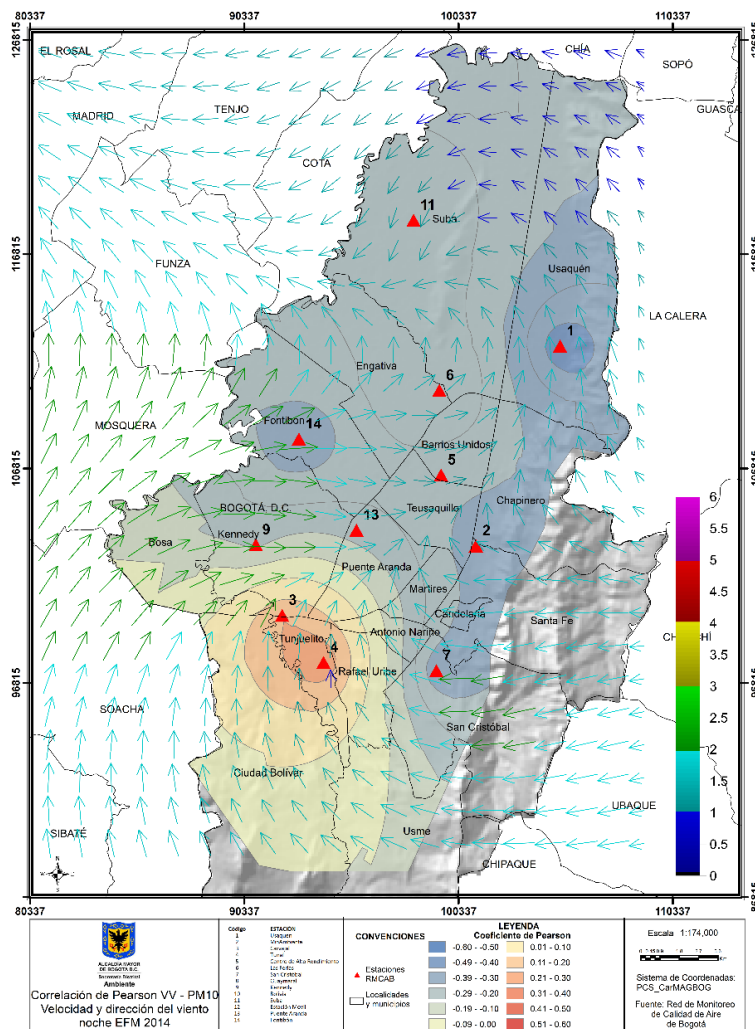
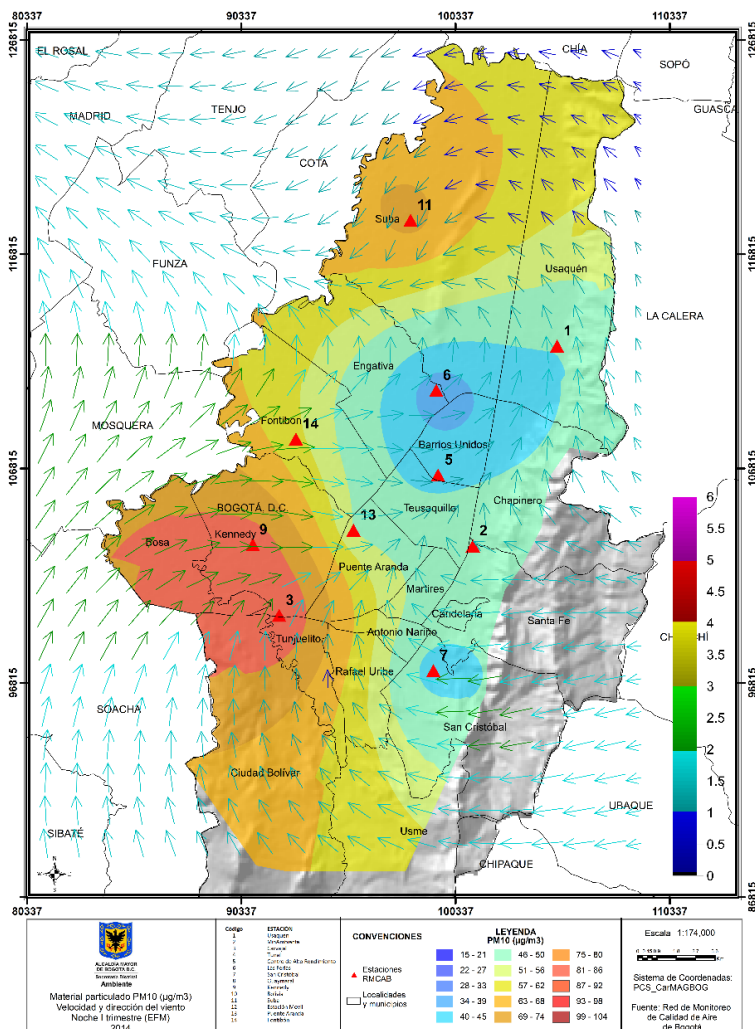


Figura 5-4 . PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche del primer trimestre de 2014.

5.2. Episodio de máxima concentración

El 17 de enero de 2014 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 5-5 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional El Dorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 6.24, CAPE = 0.0) las condiciones eran estables con baja probabilidad de lluvia en horas de la mañana, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo en las primeras capas lo que produjo precipitaciones de carácter ligero. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas medias, la más significativa y con un alto gradiente de temperatura en los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de PM₁₀ durante varias horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM₁₀ en horas de la tarde, como se observa en los mapas de la Figura 5-7. La concentración fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, sector cuyos vientos fueron predominantes del Oeste, tendencia que se mantuvo a lo largo del día como se observa en el mapa de la Figura 5-6. En la madrugada, la concentración no fue significativa y en horas de la noche se observaron valores que muestran que no hubo una dispersión regular de manera que el promedio del día se acercó a los 121 µg/m³ en esta zona.

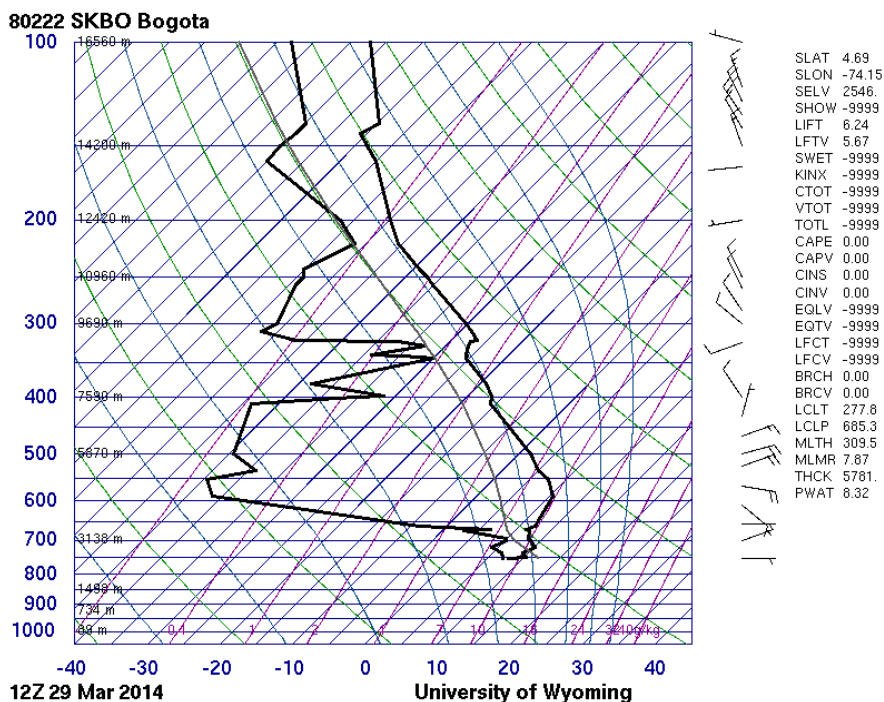


Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 29 de marzo de 2014, en el aeropuerto internacional El Dorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

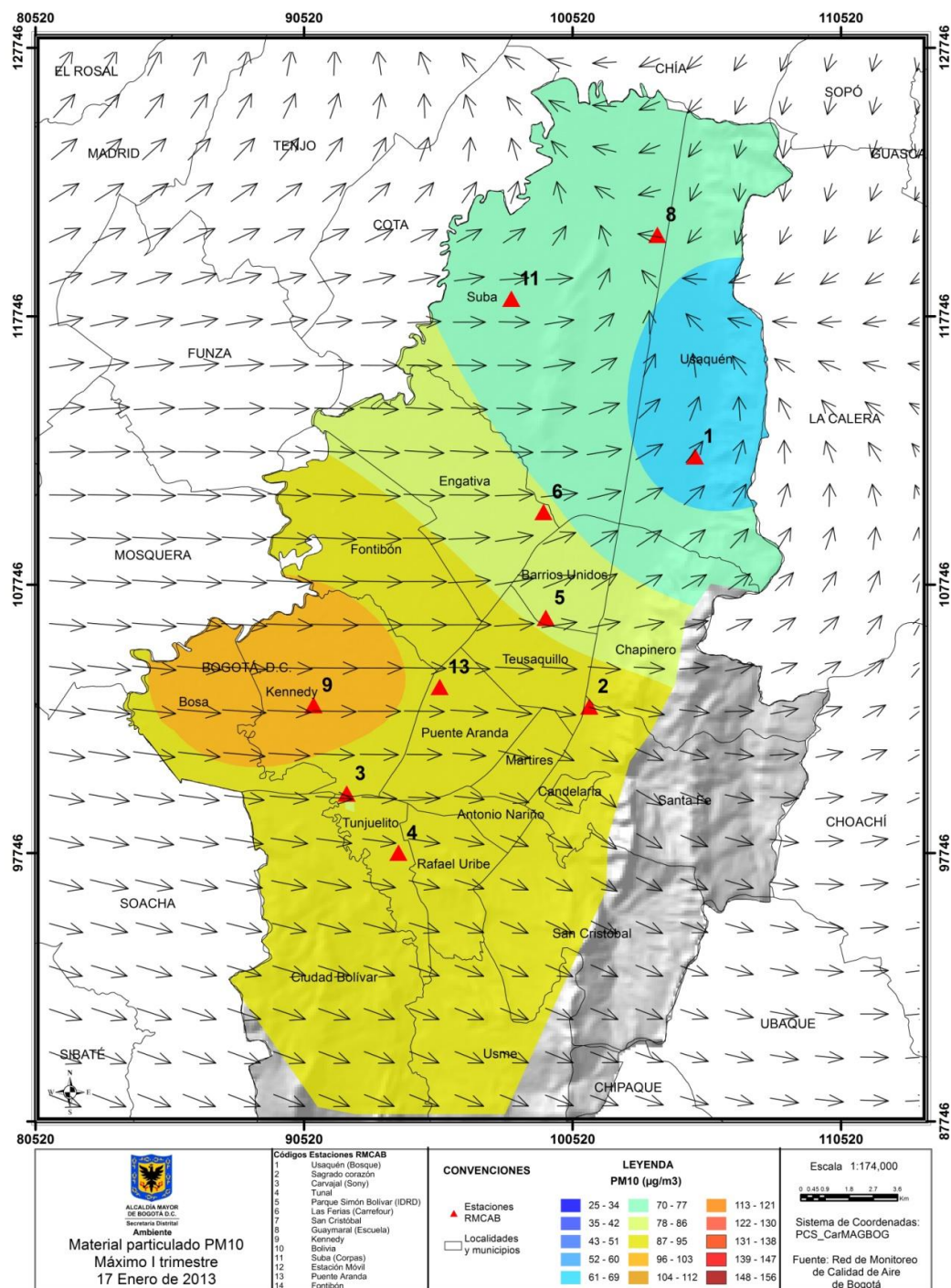


Figura 5-6. PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013. Fuente RMCAB.

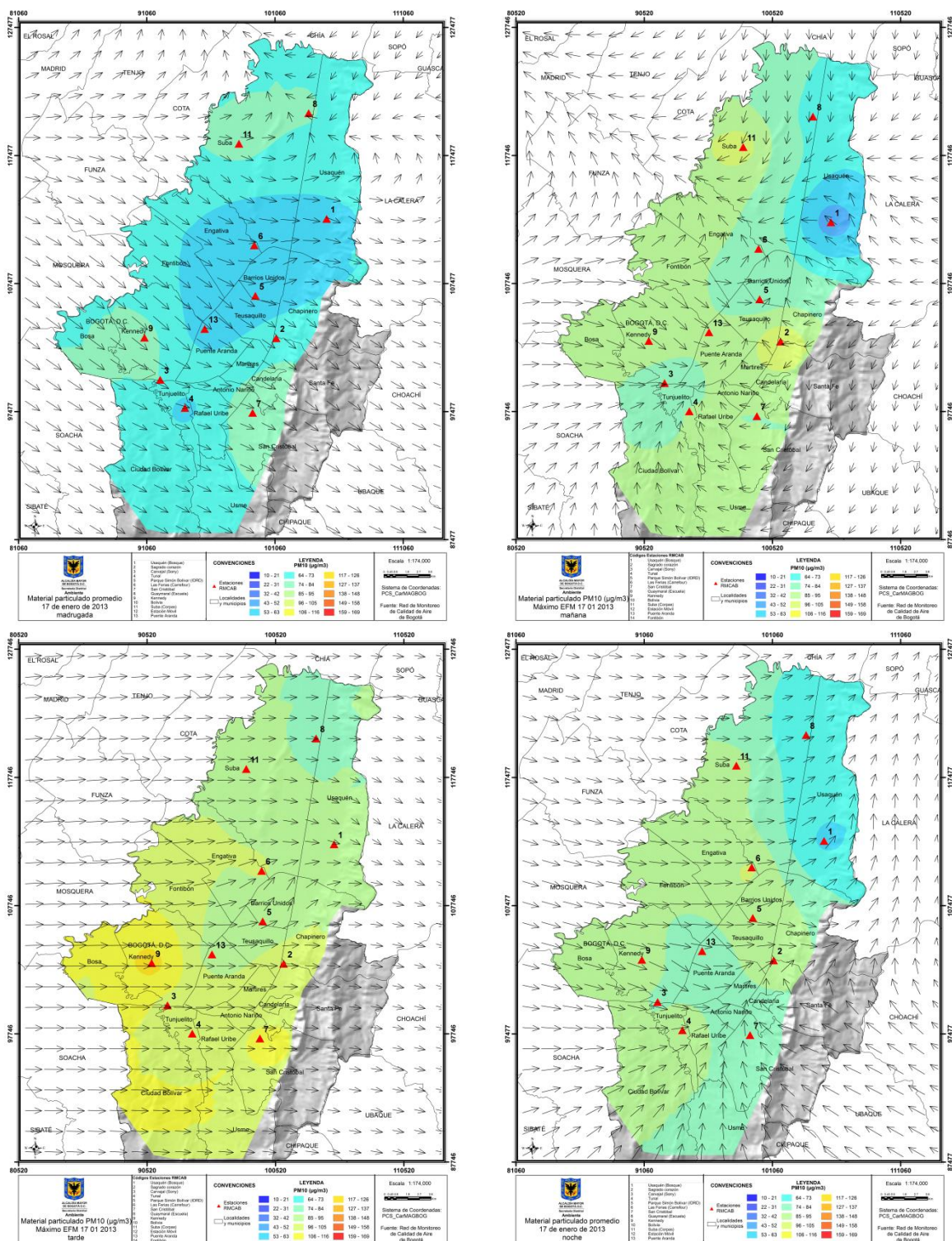


Figura 5-7. PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 17 de enero de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

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/ensostuff/ensoyears.shtml
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en Colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en Colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.
- NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 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.
- 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

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

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

Unidades: Las unidades más utilizadas son:

mg/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*.

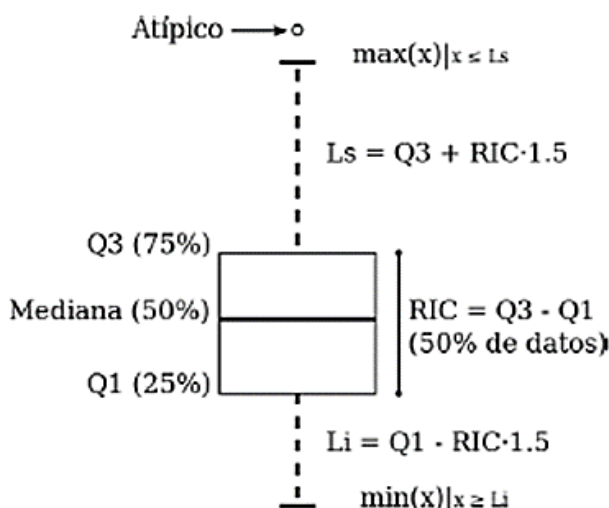


Figura 0-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

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 $Q1 - (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q3 - Q1$). **Ls**, límite superior, corresponde a $Q3 + (RIC \times 1.5)$, donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ($Q3 - Q1$). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m^3 y $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m^3 y $\mu\text{g}/\text{m}^3$) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir
CO	1,1449	ppm a mg/m^3
SO ₂	2,6186	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	1,8804	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	1,9620	ppb a $\mu\text{g}/\text{m}^3$

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

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

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

Donde:

M: masa molar del gas contaminante $[\text{g}/\text{mol}]$

P: presión atmosférica $[\text{Pa}]$

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

T: temperatura absoluta $[\text{K}]$

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

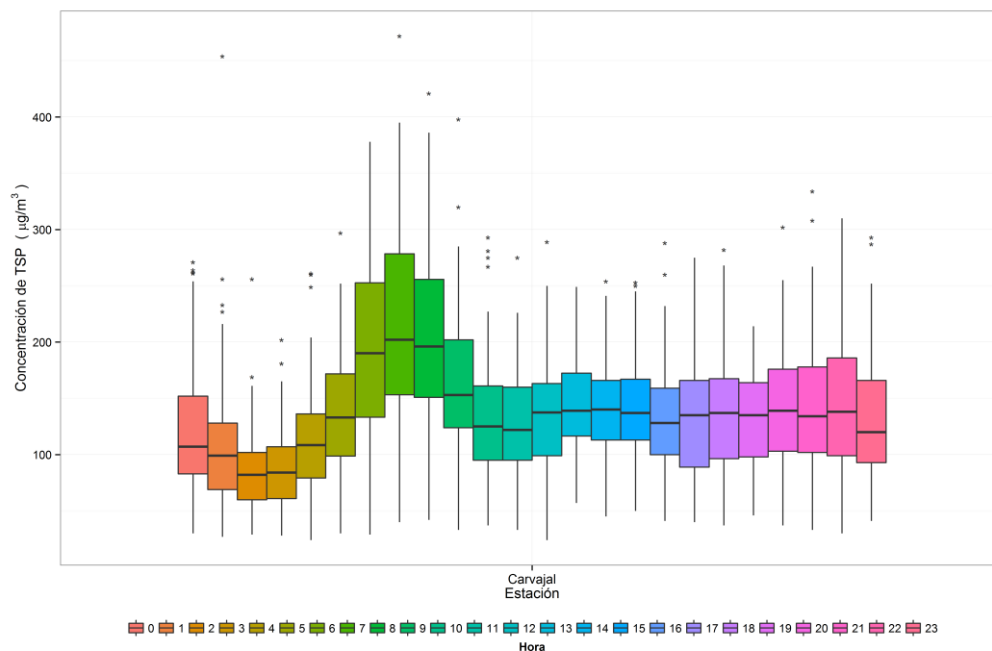


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de TSP en la estación Carvajal durante el primer trimestre de 2014.

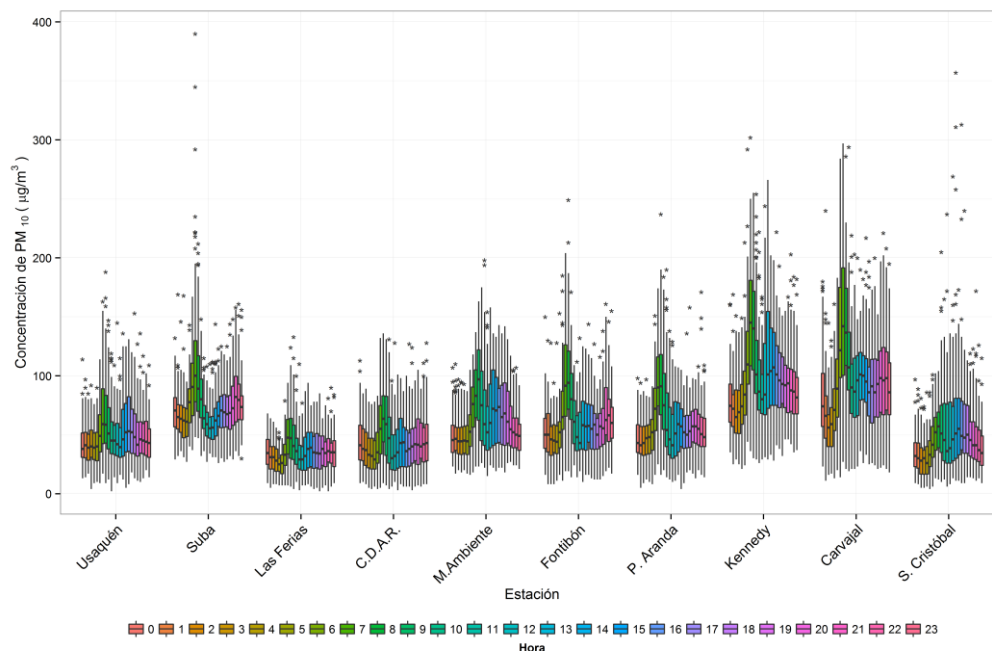


Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM₁₀ por estación durante el primer trimestre de 2014.

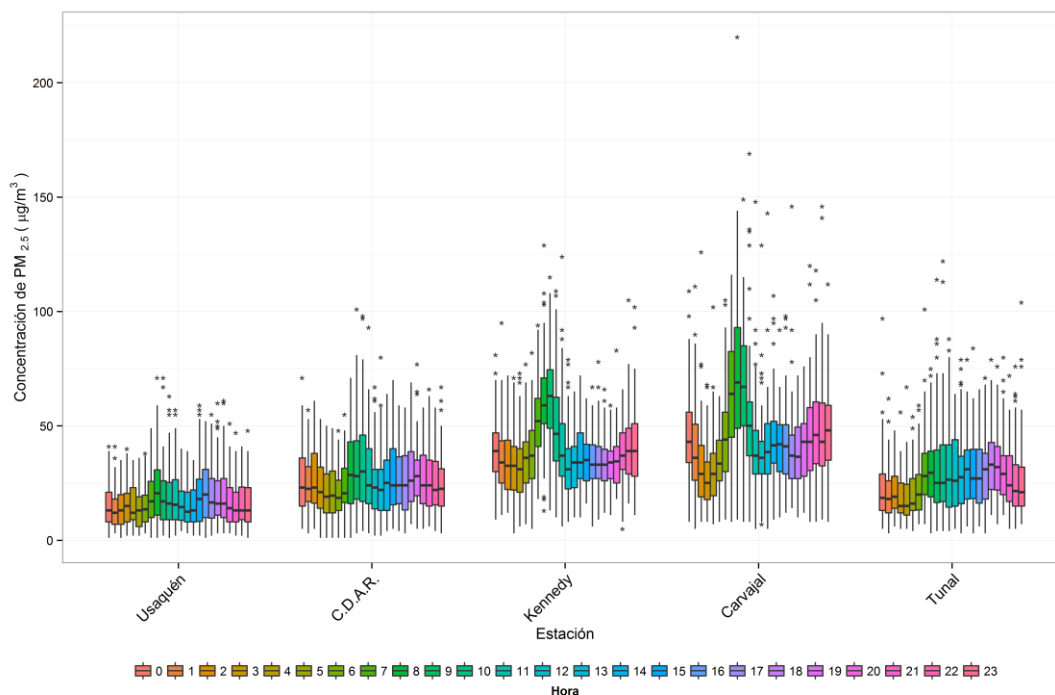


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de $PM_{2.5}$ por estación durante el primer trimestre de 2014.

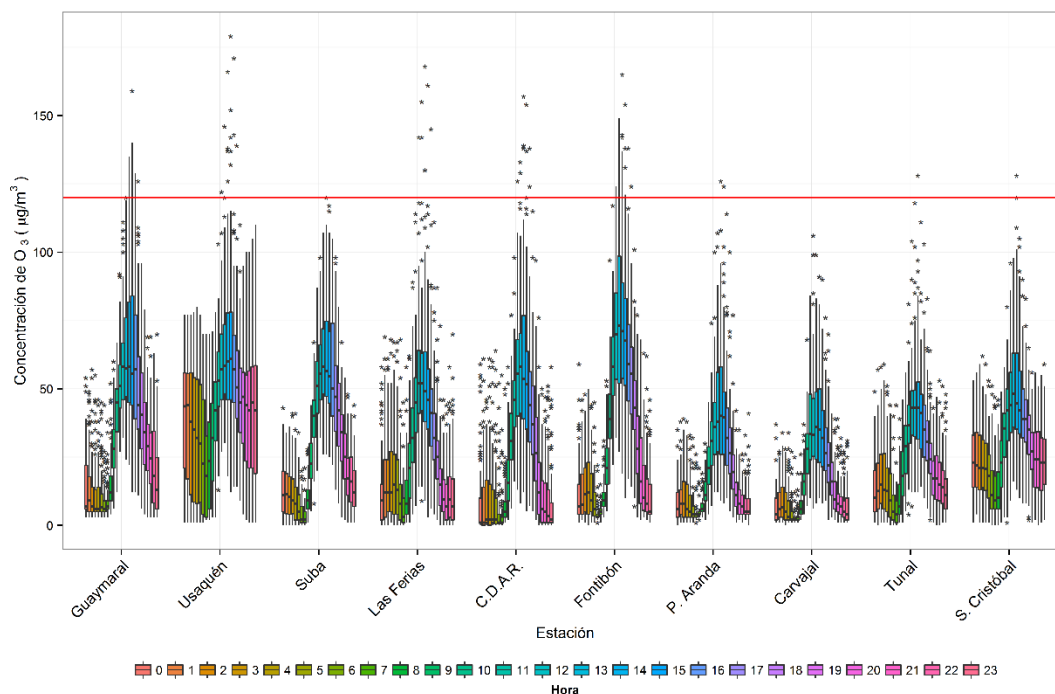


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O_3 por estación durante el primer trimestre de 2014.

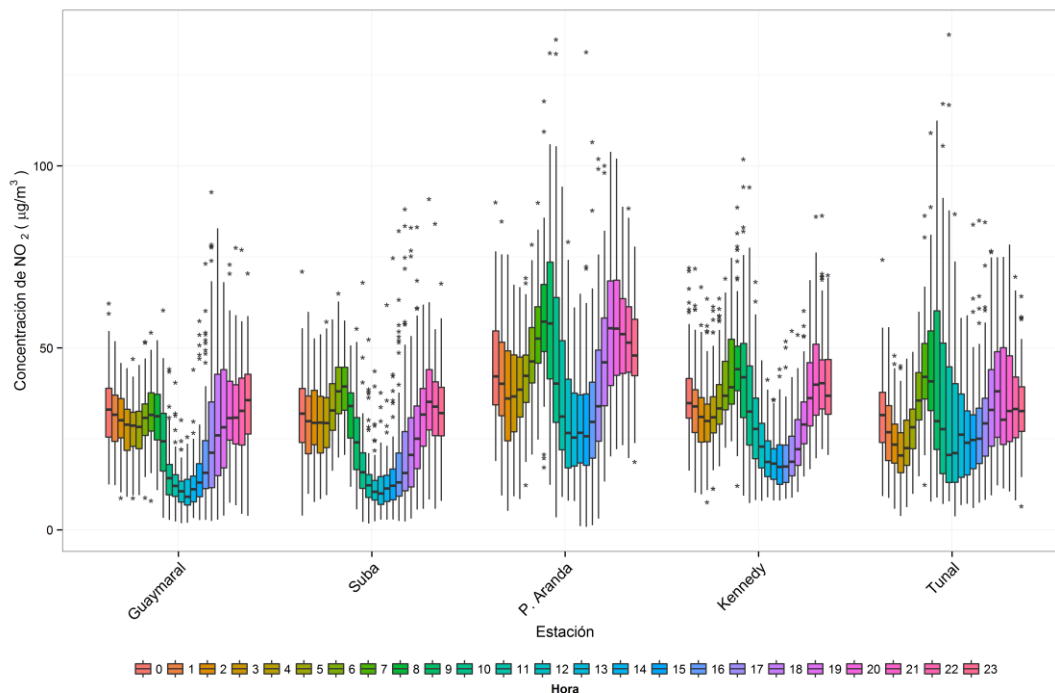


Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO_2 por estación durante el primer trimestre de 2014.

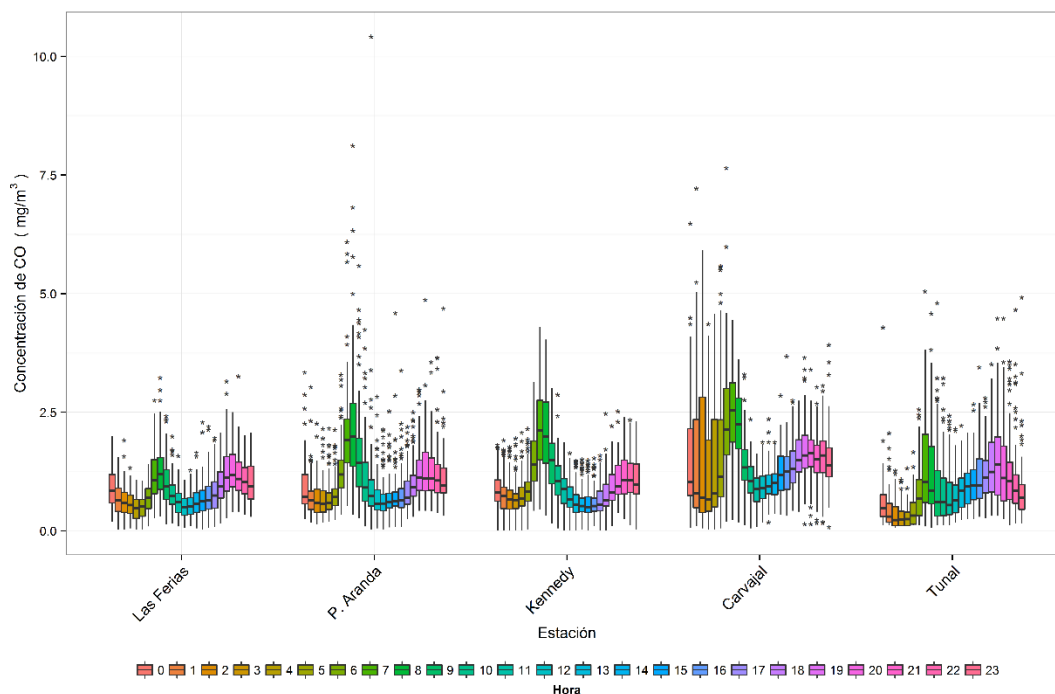


Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el primer trimestre de 2014.

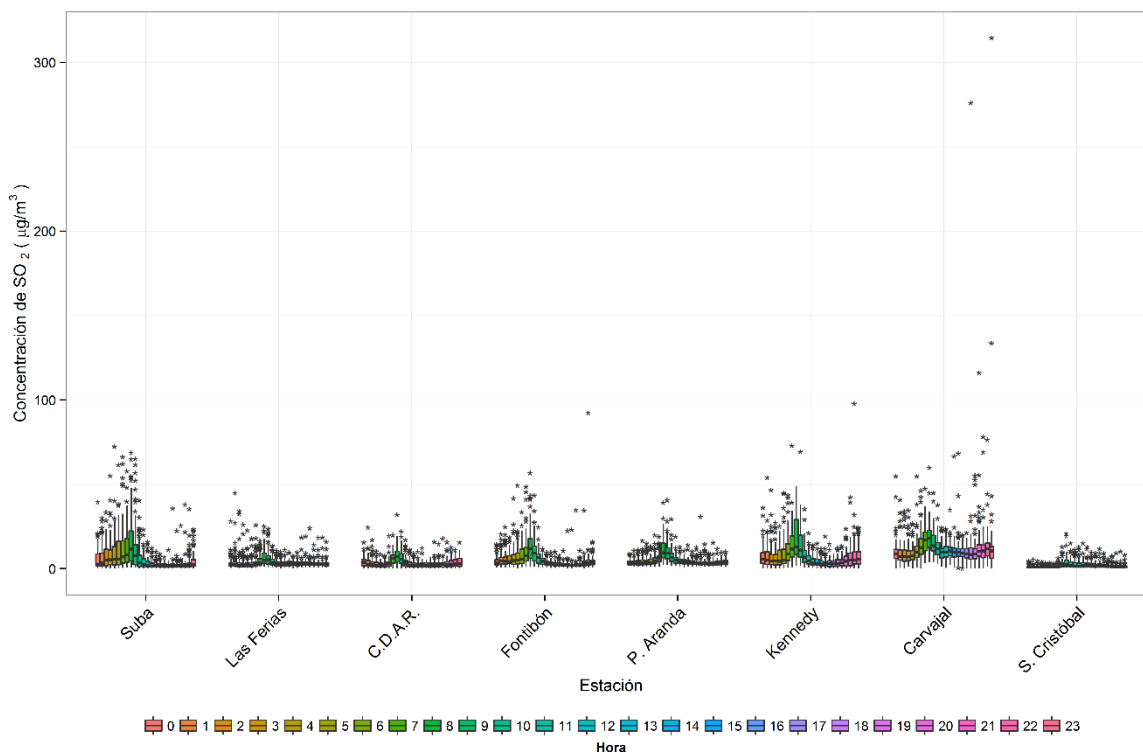


Figura 0-8. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO_2 por estación durante el primer trimestre de 2014.