



**ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

Secretaría Distrital
Ambiente

Informe trimestral de calidad de aire de Bogotá

Segundo trimestre de 2013

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 –

© Octubre 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.

II Informe Trimestral 2013

2014

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

Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo	13
Introducción	17
1. Generalidades	18
1.1. Normatividad vigente	21
2. Indicadores de operación y desempeño	22
2.1. Porcentaje de captura de datos	22
2.2. Porcentaje de datos válidos	24
3. Evaluación y análisis de contaminantes.....	26
3.1. Material particulado – MP o PM (<i>Particulate Matter</i>)	26
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST.....	27
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀	33
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	45
3.2. Gases contaminantes	53
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O ₃	54
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO ₂	65
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO	71
3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO ₂	78
3.3. Índices de calidad del aire	85
3.3.1. Índice de Calidad del Aire para PM ₁₀	85
3.3.2. Índice de Calidad del Aire para PM _{2.5}	88
3.3.3. Índice de Calidad del Aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono.....	89
3.4. Síntesis de resultados	91
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas.....	101
4.1. Precipitación	105
4.2. Vientos	117
4.3. Temperatura Superficial.....	129
4.4. Radiación solar	139
4.5. Presión Atmosférica.....	143
4.6. Humedad Relativa	146
Bibliografía.....	149
Glosario	150
A. Anexo	155

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2013.	19
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Segundo trimestre de 2013.	22
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Segundo trimestre de 2013.	23
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Segundo trimestre de 2013.	24
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Segundo trimestre de 2013.	25
Figura 3-1. Concentraciones de PST (TSP) para 24 horas durante el segundo trimestre de 2013.	28
Figura 3-2. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores.	29
Figura 3-3. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST (TSP) por meses (desde base 24 horas) comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.	31
Figura 3-4. Gráfico de <i>boxplot</i> para PST diario por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores. Se muestra Carvajal únicamente ya que PST se midió solamente en esta estación durante los últimos 4 años. No se incluyen 2011 y 2012 por no cumplir el criterio de representatividad temporal.	32
Figura 3-5. Concentraciones de PM ₁₀ en base 24 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.	35
Figura 3-6. Interpolación de los promedios máximos 24 horas de PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2013. Día: 30 de mayo de 2013. Se incluyen vectores de viento a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo.	36
Figura 3-7. Interpolación de las medias de los promedios 24 horas de PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2013. Se incluyen vectores de viento a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo.	37
Figura 3-8. Concentración de PM ₁₀ durante las horas de la mañana (06:00 a.m. a 11: 00 a.m.) el día 06 de abril de 2013. Se incluyen los vectores de viento del mismo día.	38
Figura 3-9. Concentración de PM ₁₀ durante las horas de la tarde (12:00 p.m. a 05: 00 p.m.) el día 06 de abril de 2013. Se incluyen los vectores de viento del mismo día.	38
Figura 3-10. Variación de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en ciclos semanales por estación. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. Segundo trimestre de 2013.	39
Figura 3-11. Variación de las concentraciones horarias de PM ₁₀ en ciclos horarios por estación de monitoreo. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. Segundo trimestre de 2013.	39
Figura 3-12. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2013 en la estación Carvajal. Se resaltan las excedencias del límite normativo de 100 µg/m ³ (Resolución 610 de 2010).	40
Figura 3-13. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2013 en la estación Parque Simón Bolívar.	40
Figura 3-14. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ en base de 24 horas por días de la semana comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo en años anteriores.	41
Figura 3-15. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ en base de 24 horas por meses comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	42

Figura 3-16. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM_{10} 24 horas por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	43
Figura 3-17. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM_{10} en base 24 horas en el segundo trimestre de los últimos 5 años.....	44
Figura 3-18. Concentraciones de $PM_{2.5}$ 24 horas durante el segundo trimestre de 2013.	45
Figura 3-19. Ciclo semanal de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy durante el segundo trimestre de 2013.....	46
Figura 3-20. Ciclo diario de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en el segundo trimestre de 2013.....	47
Figura 3-21. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy durante el segundo trimestre de 2013.....	48
Figura 3-22. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por días de la semana (sobre base 24 horas) comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.	49
Figura 3-23. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por meses (desde base 24 horas), comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de los últimos 5 años.....	50
Figura 3-24. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por estaciones (desde base 24 horas), comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Este gráfico también corresponde a la tendencia generalizada histórica ya que solamente registra una estación (Kennedy).	51
Figura 3-25. Concentración media y máxima horaria de O_3 por estación durante el segundo trimestre de 2013.....	55
Figura 3-26. Concentración media, concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base 8 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.	56
Figura 3-27. Mapa de concentración promedio de O_3 en base de tiempo de 8 horas para el segundo trimestre de 2013.	58
Figura 3-28. Episodio de máxima concentración de ozono para el día 06 de abril de 2013 a las 18:00.....	59
Figura 3-29. Mapa de error estándar para los promedios de ozono de las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013.....	60
Figura 3-30. Gráfico de <i>boxplot</i> para O_3 24 horas por días de la semana, comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.....	61
Figura 3-31. Gráfico de <i>boxplot</i> para O_3 promedio mensual (desde base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con los mismos periodos de años anteriores.....	62
Figura 3-32. Gráfico de <i>boxplot</i> de O_3 en función de las estaciones para los segundos trimestres de los últimos 5 años (desde base diaria).....	63
Figura 3-33. Gráfico de <i>boxplot</i> de O_3 con el comportamiento histórico de los segundos trimestres de los últimos 5 años. Base de 24 horas.	64
Figura 3-34. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el segundo trimestre de 2013.	65
Figura 3-35. Excedencias, concentración máxima y concentración promedio de NO_2 en base diaria por estación para el segundo trimestre de 2013.	67
Figura 3-36. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO_2 por días de la semana (base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	68
Figura 3-37. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO_2 en base diaria por meses comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	69

Figura 3-38. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO ₂ por estaciones comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores base diaria).	70
Figura 3-39. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO ₂ 24 horas comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores (base diaria).	70
Figura 3-40. Concentraciones máximas y medias horarias de CO durante el segundo trimestre de 2013.	72
Figura 3-41. Concentración máxima y media de CO para 8 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.	73
Figura 3-42. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO 24 en base de horas por días de la semana comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	74
Figura 3-43. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO 24 horas por meses comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	75
Figura 3-44. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO 24 horas por estaciones, comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	76
Figura 3-45. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base de 24 horas para segundo trimestre de los años, desde 2009 hasta 2013.	77
Figura 3-46. Concentraciones medias, máximas y número de excedencias de SO ₂ en base de 3 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.	78
Figura 3-47. Concentraciones promedio, máximos y número de excedencias de SO ₂ en base de 24 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.	80
Figura 3-48. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ por días de la semana (base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con años anteriores.	82
Figura 3-49. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ en base de diaria, por meses, comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.	82
Figura 3-50. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ en base diaria por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo en años anteriores.	83
Figura 3-51. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ diario del segundo trimestre de 2013 comparando con el mismo periodo de años anteriores.	84
Figura 3-52. Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para PM ₁₀ para el segundo trimestre de 2013.	86
Figura 3-53. Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para PM ₁₀ para el segundo trimestre de 2013.	87
Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013.	87
Figura 3-55. PM _{2.5} . Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el segundo trimestre de 2013.	88
Figura 3-56. Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el segundo trimestre de 2013.	89
Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base diaria.	90
Figura 3-58. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.	90
Figura 3-59. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas.	90
Figura 4-1. Comportamiento promedio (1998 – 2011) de la precipitación por día. Fuente NOAA.	102
Figura 4-2. Comportamiento del Índice NINO región 3.4 en los últimos años. Fuente IRI.	103

Figura 4-3. Series de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura en °C de la superficie del mar (TSM) para las regiones del El Niño [(Niño-1+2(0°-10°S, 90°W- 103	103
Figura 4-4. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. Fuente: IDEAM 104	104
Figura 4-5 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2012 comparada con el promedio hasta junio de 2013. Fuente RMCAB 106	106
Figura 4-6. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones de la RMCAB en el II trimestre desde 1999 hasta 2013. Fuente RMCAB 108	108
Figura 4-7. Acumulado de precipitación por estación en el II trimestre desde 1999 hasta 2013. Fuente RMCAB 108	108
Figura 4-8. Días de precipitación promedio de la RMCAB 1998-2012 comparada con el promedio para el I semestre de 2013. Fuente RMCAB 108	108
Figura 4-9. Promedio de los días de precipitación de las estaciones de la RMCA para el I y II trimestre desde 1998 hasta 2013. Fuente RMCAB. 109	109
Figura 4-10. Acumulado de precipitación dese 1998 hasta 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB. 109	109
Figura 4-11. Días de precipitación de cada estación durante los trimestres de 2013. Fuente. RMCAB..... 112	112
Figura 4-12. Acumulados horarios de precipitación para el II trimestre de 2013. 112	112
Figura 4-13. Precipitación acumulada horaria promedio para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB..... 113	113
Figura 4-14.precipitación acumulada horaria para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB..... 114	114
Figura 4-15. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el II trimestre de 2013. Fuente RMCAB. 115	115
Figura 4-16. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el primer semestre de 2013. Fuente RMCAB 116	116
Figura 4-17. Frecuencias de la velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en AMJ de 2013 y su comparación con el mismo periodo en el promedio 1998 – 2012..... 121	121
Figura 4-18. Rosa de los vientos y porcentaje de frecuencias de dirección del viento durante el trimestre abril mayo junio en las estaciones de la RMCAB..... 124	124
Figura 4-19. Gráfica de la velocidad del viento para cada hora en las estaciones de la RMCAB en el I semestre de 2013. Fuente RMCAB 125	125
Figura 4-20. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre Abril Mayo Junio (AMJ) de 2013. Fuente RMCAB. 127	127
Figura 4-21. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre Abril Mayo Junio (AMJ) de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. Fuente RMCAB..... 128	128
Figura 4-22. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2012 y su comparación hasta septiembre de 2013. Fuente RMCAB. 129	129
Figura 4-23. Gráfica de la temperatura trimestral promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013. Fuente RMCAB. 130	130
Figura 4-24. Comportamiento horario promedio en las estaciones de la RMCAB de la temperatura superficial. 131	131

Figura 4-25. Gráfica de la temperatura promedio de EFM y AMJ para cada una de las estaciones de la RMCAB en 2013. Fuente RMCAB.....	133
Figura 4-26. Temperatura a 2, 8 y 20 m de la estación de Guaymaral y diferencias de temperaturas entre 8 – 2 m y 20 – 2 m. Fuente RMCAB.....	134
Figura 4-27. Gráfica de la temperatura para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el I semestre de 2013. Fuente RMCAB.....	134
Figura 4-28. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB para el II trimestre de 2013. Fuente RMCAB.	136
Figura 4-29. Temperatura promedio mensual para el I semestre de 2013.	137
Figura 4-30. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.	138
Figura 4-31. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006- 2012 y su comparación hasta junio de 2013. Fuente RMCAB.	139
Figura 4-32. Gráfica de la radiación solar global horaria de las estaciones de la RMCAB para el trimestre AMJ de 2013 y el promedio AMJ 2006-2012. Fuente RMCAB.	140
Figura 4-33. Comportamiento horario de la radiación para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.....	140
Figura 4-34. Comportamiento de la radiación en las estaciones a nivel horario. Fuente RMCAB.....	141
Figura 4-35. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, en el trimestre AMJ 2013. Fuente RMCAB.....	141
Figura 4-36. Gráfica de la radiación solar global para cada hora en el I semestre de 2013 en las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.	142
Figura 4-37. Gráfica de la Presión barométrica para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el trimestre AMJ. Fuente RMCAB.	144
Figura 4-38. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.	144
Figura 4-39. Comparación de la presión en los trimestres de 2009 a 2013 en la RMCAB. Fuente RMCAB.....	145
Figura 4-40 Gráfica de la presión para cada hora en el I semestre de 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.	145
Figura 4-41. Humedad relativa mensual media del periodo 2002-2012 y su comparación con los meses de 2013. Fuente RMCAB	146
Figura 4-42. Humedad relativa de los dos primeros trimestres en el periodo 2006-2013. Fuente RMCAB.....	147
Figura 4-43. Promedio horario de la humedad en el trimestre AMJ 2002-2012 y su comparación con el II trimestre de 2013.	147
Figura 4-44. Gráfica de la humedad relativa para cada hora en el I semestre de 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.	148
Figura A-1. Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes.	155

Índice de tablas

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>).....	18
Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en el segundo trimestre de 2013.	20
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.	21
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro. .	23
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.....	25
Tabla 3-1. Resumen de datos 24 horas de PST para segundo trimestre de 2013.	28
Tabla 3-2. Concentración promedio de PST por día de la semana en el segundo trimestre de 2013. Se considera solamente la estación Carvajal.	30
Tabla 3-3. Concentración promedio de PST por mes en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal. Los años 2011 y 2012 no cumplen con el criterio de representatividad temporal.....	30
Tabla 3-4. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PST en promedios 24 horas durante los segundos trimestres de los años 2009, 2010 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal ya que PST se monitoreó únicamente en esta estación durante los últimos años.	32
Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedio, máximo y excedencias de los datos de PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2013. Base de tiempo de 24 horas.....	34
Tabla 3-6. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM ₁₀ en promedios 24 horas durante los segundos trimestres de los últimos 5 años.	44
Tabla 3-7. Resumen de datos 24 horas de PM _{2.5} por estación para el segundo trimestre de 2013.	46
Tabla 3-8. Concentración promedio de PM _{2.5} por día de la semana en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Kennedy.....	50
Tabla 3-9. Concentración promedio de PM _{2.5} por mes en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Kennedy.	51
Tabla 3-10. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM _{2.5} en promedios 24 horas para los segundos trimestres de 2009, 2011, 2012 y 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.....	52
Tabla 3-11. Resumen descriptivo de datos de O ₃ por estación para el segundo trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con los límites establecidos en la normatividad nacional.	55
Tabla 3-12. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O ₃ en base 8 horas durante el segundo trimestre de 2013....	57
Tabla 3-13. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O ₃ en promedios horarios durante los segundos trimestres entre 2009 y 2013.	64
Tabla 3-14. Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el segundo trimestre de 2013.	66
Tabla 3-15. Resumen de datos diarios de NO ₂ por estación para el segundo trimestre de 2013.	67

Tabla 3-16. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de NO ₂ en promedios diarios para los segundos trimestres de los últimos 5 años.....	69
Tabla 3-17. Resumen de datos horarios de CO por estación para el segundo trimestre de 2013.	71
Tabla 3-18. Resumen de datos en base de 8 horas de CO por estación para el segundo trimestre de 2013.....	73
Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios para los segundos trimestres de los últimos 5 años.	77
Tabla 3-20. Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el segundo trimestre de 2013.....	79
Tabla 3-21. Resumen de datos en base 24 horas de SO ₂ por estación para el segundo trimestre de 2013.....	81
Tabla 3-22. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO ₂ en promedios diarios para los segundos trimestres de los últimos 6 años.....	84
Tabla 3-23. Puntos de corte del ICA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, MAVDT 2010.....	85
Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST). Segundo trimestre de 2013.....	92
Tabla 3-25. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM ₁₀). Segundo trimestre del año 2013.....	92
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros (PM _{2.5}). Segundo trimestre de 2013.....	93
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios horarios de O ₃ . Segundo trimestre de 2013. .	93
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O ₃ . Segundo trimestre de 2013.	94
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios horarios de NO ₂ . Segundo trimestre de 2013.	95
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios de NO ₂ . Segundo trimestre de 2013..	96
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios horarios de CO. Segundo trimestre de 2013.	97
Tabla 3-32. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Segundo trimestre de 2013.....	98
Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas para SO ₂ . Segundo trimestre de 2013.....	99
Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO ₂ diarios. Segundo trimestre de 2013.	100
Tabla 4-1. Estaciones de la RMCAB y variables meteorológicas monitoreadas en cada una de ellas. Fuente RMCAB	101
Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación trimestre abril mayo junio de 2013.	106
Tabla 4-3. Variación porcentual de la precipitación para el I semestre de 2013 comparada con el periodo 1998 - 2012	107
Tabla 4-4. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2013 comparada con el periodo 1998 – 2012.....	108
Tabla 4-5. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013 y su respectivo índice de precipitación. Fuente RMCAB.	110
Tabla 4-6. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013 Fuente RMCAB.....	111
Tabla 4-7. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013, en mm/día. Fuente RMCAB.	111

Tabla 4-8. Representatividad mensual (%) de la variable velocidad del viento 2013.....	117
Tabla 4-9.valores promedios de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.	117
Tabla 4-10.valores máximos y mínimos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.	118
Tabla 4-11.Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1-6, 7-12, 13-18 y 19-24 hrs en el III trimestre	118
Tabla 4-12. Representatividad mensual (%) de la Dirección de los vientos 2013.....	121
Tabla 4-13. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura 2013	129
Tabla 4-14. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en 2013	130
Tabla 4-15. Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013. Fuente RMCAB	130
Tabla 4-16. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio. Fuente RMCAB	131
Tabla 4-17. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio. Fuente RMCAB.....	132
Tabla 4-18: Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en AMJ de 2013.	132
Tabla 4-19. Porcentaje de representatividad de la variable radiación en el periodo AMJ de 2013	139
Tabla 4-20. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en el II trimestre de 2013.	139
Tabla 4-21. Porcentaje de representatividad en el II trimestre de 2013.....	143
Tabla 4-22. Porcentaje de representatividad de los datos en el II trimestre de 2013.....	146
Tabla 4-23. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos.....	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 Kennedy y Carvajal con 8 y 10 excedencias, respectivamente. Los promedios encontrados para estas dos estaciones fueron 65 y $73 \mu g/m^3$, 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 sólo resulta una referencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 75% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a $75 \mu g/m^3$ y menores o iguales a $100 \mu g/m^3$, se pueden evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, las cuales fueron para este trimestre Guaymaral (7 datos), Suba (1 dato), Sagrado Corazón (2 datos), Fontibón (4 datos), Puente Aranda (5 datos) y Tunal (5 datos), lo que evidencia que las zonas circundantes a estas tres estaciones están cerca de superar el límite normativo en algún momento.

El valor máximo encontrado en este trimestre fue de $121 \mu g/m^3$ para la estación Carvajal el día 30/05/2013 (otra estación también reportó su máximo ese mismo día). Las demás estaciones no reportaron excedencias de la norma diaria para este segundo trimestre y por el contrario estaciones como Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar y San Cristóbal reportaron valores promedio en el trimestre relativamente bajos con 36 , 37 , 30 , y $33 \mu g/m^3$, respectivamente. Lo anterior evidencia una alta heterogeneidad espacial en la distribución de este contaminante en el área urbana de Bogotá, pues algunas zonas presentan concentraciones elevadas, mientras que otras no tanto.

De los días entre semana, el lunes resulta el de menor concentración, debido a la presencia de festivos y a la baja influencia residual del día previo, mientras que martes, jueves y sábados los de mayor concentración.

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 entre las 6 y 8 pm. Sin embargo, vale destacar que las estaciones de Sagrado Corazón y Usaquén no obedecen este perfil ya que el pico de la concentración de la mañana decrece estacionariamente con el transcurrir de las horas de la tarde y de la noche, un hecho que puede estar asociado a diferencias en la influencia de fuentes móviles alrededor de estas zonas.

En comparación al mismo trimestre del año 2012, este trimestre presento un aumento generalizado, aunque se debe mencionar que el año 2012 resulta el más bajo de los últimos 5 años, pero con respecto al año 2011, se aprecian unas leves disminuciones. El día domingo, tiene la concentración más baja lo cual refleja el cambio en la dinámica de la ciudad al disminuir las actividades laborales y la influencia de las fuentes fijas y móviles; mientras que los días viernes son los más dispersos y tienen la mayor concentración.

Con respecto al contaminante $PM_{2.5}$ el límite normativo diario es de $50 \mu g/m^3$ y solamente la estación Kennedy monitoreó las concentraciones de este contaminante para el segundo trimestre de 2013 (a partir del 1 de octubre de 2013, 5 estaciones más entraron en operación: Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal). Vale destacar que este contaminante proviene principalmente de fuentes de combustión (vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y procesos industriales) y dado su reducido tamaño tiene mayores impactos en términos de afección en salud a la población en comparación a otros materiales de mayor tamaño. El promedio encontrado en la estación Kennedy fue de $26 \mu g/m^3$ y se presentó 1 excedencia al límite normativo nacional con $52 \mu g/m^3$. Los jueves y sábados tienen la mayor concentración de $PM_{2.5}$, en contraste con los domingos y los lunes, días en los cuales los niveles descienden de forma importante. Como es usual para el material particulado, el pico de concentración se encuentra entre las 06:00 a.m. y las 08:00 a.m., sin embargo, el domingo tiene un perfil más uniforme dada la reducción de las actividades vehiculares e industriales en la ciudad.

Con respecto al segundo trimestre de 2012, en el mismo periodo de 2013 las concentraciones promedio de O_3 aumentaron, en especial para los días sábados, que incluso fueron los días de mayor concentración de $PM_{2.5}$ de todos los días de la semana para la estación Kennedy. Se aprecia que de los tres meses, abril, mayo y junio; el primero resulta el más alto, mientras que junio resulta el más bajo, lo cual se encuentra influenciado por el receso de mitad de año y por tener una mejor ventilación por mayores velocidades de viento.

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 y para el periodo del segundo trimestre 2013 se presentaron 10 excedencias de la norma horaria de $120 \mu g/m^3$, lo que equivale a 0.06% del total de registros, en las estaciones Guaymaral, Suba, Parque Simón Bolívar y Fontibón. La concentración más alta horaria fue registrada

en la estación Guaymaral al norte de la ciudad, con un valor de $151 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (77 ppb). En el segundo trimestre de 2012 no se registraron excedencias mientras que para este mismo periodo del año 2013 se registraron 10, sin embargo, el número se redujo en comparación con el primer trimestre de 2013, que presentó 18 excedencias.

En términos de la concentración octohoraria el O_3 en el segundo trimestre de 2013 presentó 34 datos por encima de la norma nacional ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde a un 0,2% del total de datos, lo cuales estuvieron distribuidos en 13 para la estación Fontibón, 8 para las estaciones de Suba y Guaymaral y 5 para la estación Parque Simón Bolívar. El mapa de interpolación de O_3 , deja ver que las zonas con mayores niveles se encuentran al norte de la ciudad, mientras que al suroccidente se aprecian las menores, lo que contrasta con la información para PM_{10} . El análisis por día de la semana, deja ver que los días sábados y domingos son los que presentan la mayor concentración de ozono.

El dióxido de nitrógeno NO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora (106 ppb o $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ni tampoco para 24 horas (80 ppb o $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ni tampoco se superó el 75% del valor de la norma. El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de $132 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (70ppb) y para exposición a 24 horas el valor máximo fue de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 ppb) ambos en la estación de Puente Aranda.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se aprecian datos entre el 75% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de $6.1 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 1 hora (norma nacional $40 \text{mg}/\text{m}^3$) y de $4.1 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 8 horas (norma nacional $10 \text{mg}/\text{m}^3$), ambos en la estación Carvajal.

El dióxido de azufre SO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas ($750 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ni tampoco para 24 horas ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (39ppb), mientras que para 24 horas de exposición estuvo en $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (20ppb), en ambos casos en la estación Carvajal. La comparación de este trimestre con años anteriores muestra que los promedios son similares, a excepción del año 2009, que resultó más alto, 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 segundos trimestres para una exposición diaria fue de $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal en 2009.

El análisis del Índice de Calidad de Aire (ICA) para PM_{10} , nos permite observar que se tuvo una predominancia en la categoría de “Buena” para la mayoría de estaciones de la RMCAB, a excepción de las estaciones Carvajal y Kennedy con predominancia en “Moderado”. Por su parte el análisis para ICA del $\text{PM}_{2.5}$, el cual sólo se puede hacer para la estación Kennedy, muestra que tiene cerca de un 10% en la categoría de “Bueno”, 80% en la categoría de “Moderado” y 10% en la categoría de “Dañina a la salud”. Por último los gases contaminantes muestran un ICA en la categoría de “Buena” para todas las estaciones y todos los gases.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación

solar global y presión barométrica durante el segundo trimestre de 2013. Con respecto a la precipitación, durante el periodo se observaron que el mes de abril estuvo con promedios por encima del promedio histórico de la RMCAB (periodo 1998-2012), alcanzando una diferencia de 14.4mm; mientras que junio presentó un déficit importante de 29.8mm.

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 2.8, 2.5 y 2.3m/s, respectivamente. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Sagrado Corazón con 8.2 y 8.0m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0m/s y valores máximos de 4.2 y 4.4 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. 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. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 a 1.0 m/s en el Nororiente hasta los 2.7 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 segundo trimestre de 2013, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM_{10} , PST, $PM_{2.5}$), de gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO, O_3) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de cada las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el segundo trimestre de 2013. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública; en la parte final se presenta una síntesis de resultados por medio de tablas que permiten visualizar el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad. Finalmente 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.

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 1-2 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos de contaminantes y de variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones del entorno de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire.

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

Los métodos de medición utilizados por la RMCAB se encuentran descritos en el CFR (*Code of Federal Regulations*) Título 40 que están aprobados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) de Estados Unidos (*U.S. Government Printing Office*, 2014). La Tabla 1-1 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

Tabla 1-1. 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

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

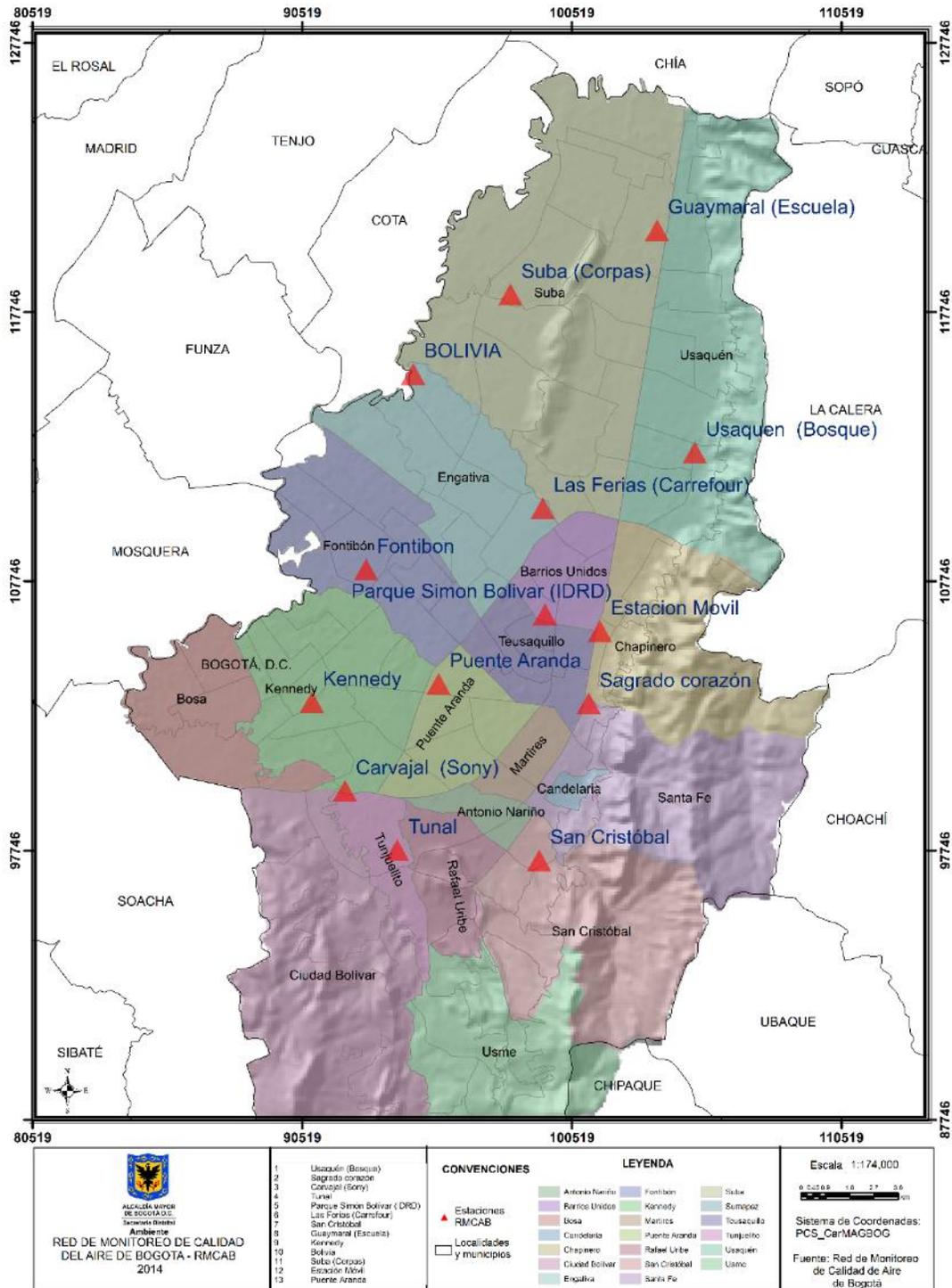


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2013.

Tabla 1-2. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y parámetros medidos en cada una de ellas en el segundo trimestre de 2013.

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

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 segundo trimestre de 2013. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados y en operación, mientras que en la segunda parte se presenta los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de datos capturados por parámetro para el segundo trimestre de 2013.

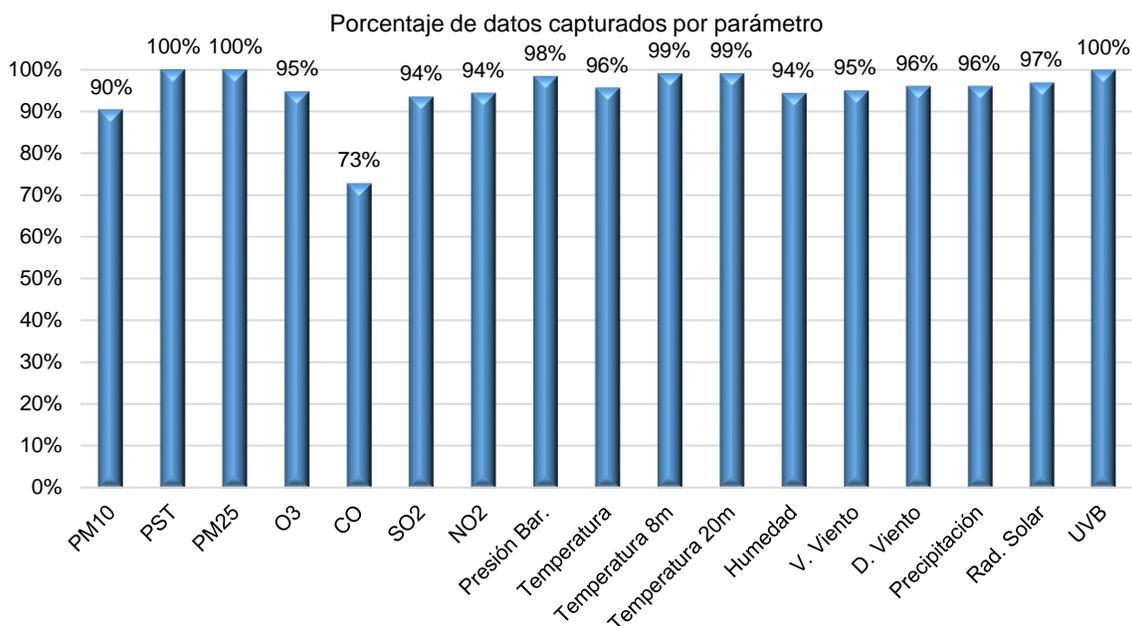


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Segundo trimestre de 2013.

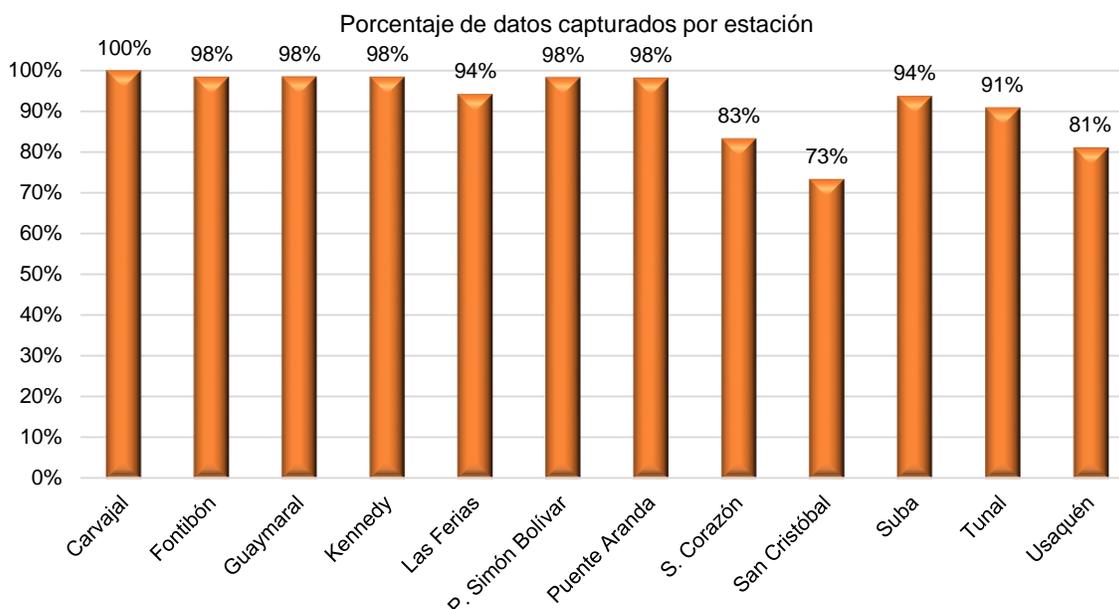


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Segundo trimestre de 2013.

De acuerdo a la Figura 2-1, durante el segundo trimestre de 2013 el monóxido de carbono (CO) presentó un porcentaje de captura relativamente inferior en comparación con los demás parámetros. Esto se debió a que durante el periodo evaluado los analizadores de las estaciones Sagrado Corazón, San Cristóbal y Usaquén se encontraban en un proceso de mantenimiento. Este efecto se refleja en el porcentaje de captura total para estas estaciones, los cuales fueron los más bajos para toda la RMCAB. En la Tabla 2-1 se encuentra un resumen a manera de matriz del número de datos capturados por estación y por parámetro. El porcentaje total de captura de datos fue de 93%. Las celdas vacías en esta tabla indican que el parámetro no es medido en la respectiva estación.

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

	PM ₁₀	PST	PM _{2.5}	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	P.B.	T	T8m	T20m	H.R.	V.V.	D.V.	P	R.S.	UVB	Total
Carvajal	100%	100%		100%	100%	100%	100%		100%				100%	100%	100%			100%
Fontibón	98%			98%	98%	98%		98%	98%				98%	98%	98%			98%
Guaymaral	99%			99%			90%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%		98%
Kennedy	100%		100%		100%	81%	100%	100%	100%				100%	100%	100%	100%		98%
Las Ferias	89%			96%	96%	96%	81%	96%	96%				96%	96%	96%	96%		94%
P. Simón Bolívar	80%			100%	100%	100%	100%		100%				100%	100%	100%	100%	100%	98%
Puente Aranda	98%			98%	98%	98%	98%		98%				98%	98%	98%			98%
S. Corazón	100%			100%	0%								100%	100%	100%			83%
San Cristóbal	79%			77%	18%	79%			79%				76%	79%	79%	79%	89%	73%
Suba	95%			87%		95%	92%		95%				95%	95%	95%			94%
Tunal	54%			95%	91%	95%	95%		95%				95%	95%	95%	95%	96%	91%
Usaquén	92%			92%	27%				92%				80%	92%	92%			81%
Total	90%	100%	100%	95%	73%	94%	94%	98%	96%	99%	99%	94%	95%	96%	96%	97%	100%	93%

2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el segundo trimestre de 2013 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. De acuerdo a la Figura 2-3 el monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃), y el dióxido de nitrógeno (NO₂) tienen un porcentaje válido inferior a 75%. El comportamiento del monóxido de carbono se debe a un porcentaje reducido en la captura de datos, como se explicó en la sección anterior. En cuanto al ozono, en la estación Las Ferias el número de datos válidos fue reducido como lo indica la

Tabla 2-2, un hecho que impactó el porcentaje recuperado total para este contaminante. El mismo caso ocurrió con el dióxido de nitrógeno, especialmente en las estaciones Carvajal, Las Ferias y Suba. De acuerdo a la Figura 2-4, San Cristóbal fue la única estación de la RMCAB que globalmente presentó un porcentaje de recuperación de datos inferior a 75%.

Tabla 2-2 es un resumen a manera de matriz del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. Se observa un porcentaje de recuperación temporal menor a 75% para CO, O₃ y NO₂ en ciertas estaciones.

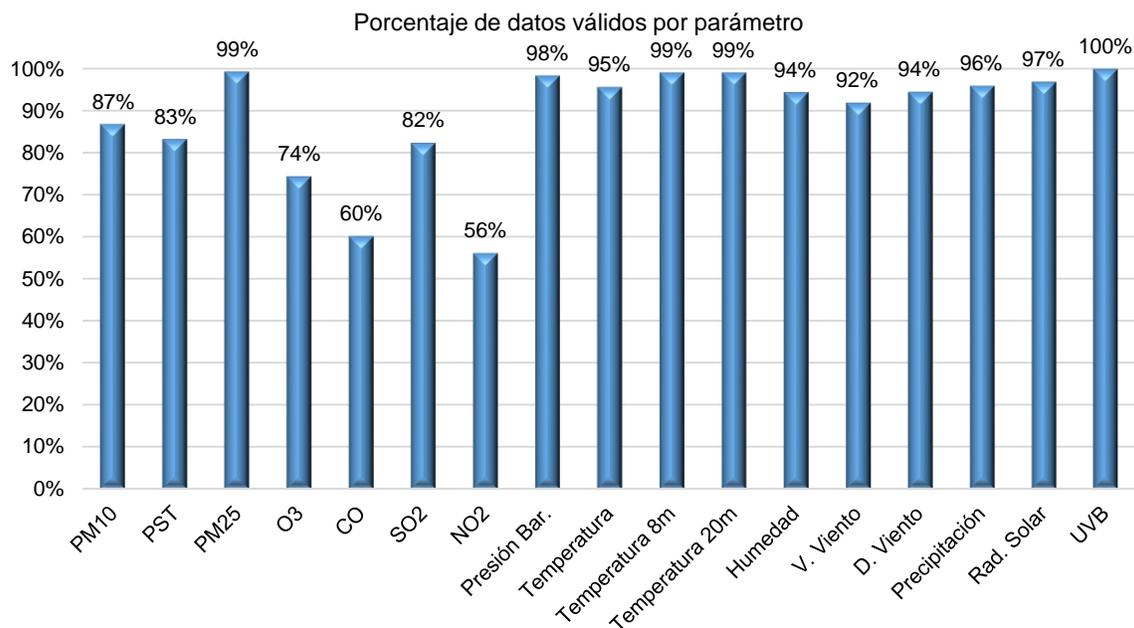


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Segundo trimestre de 2013.

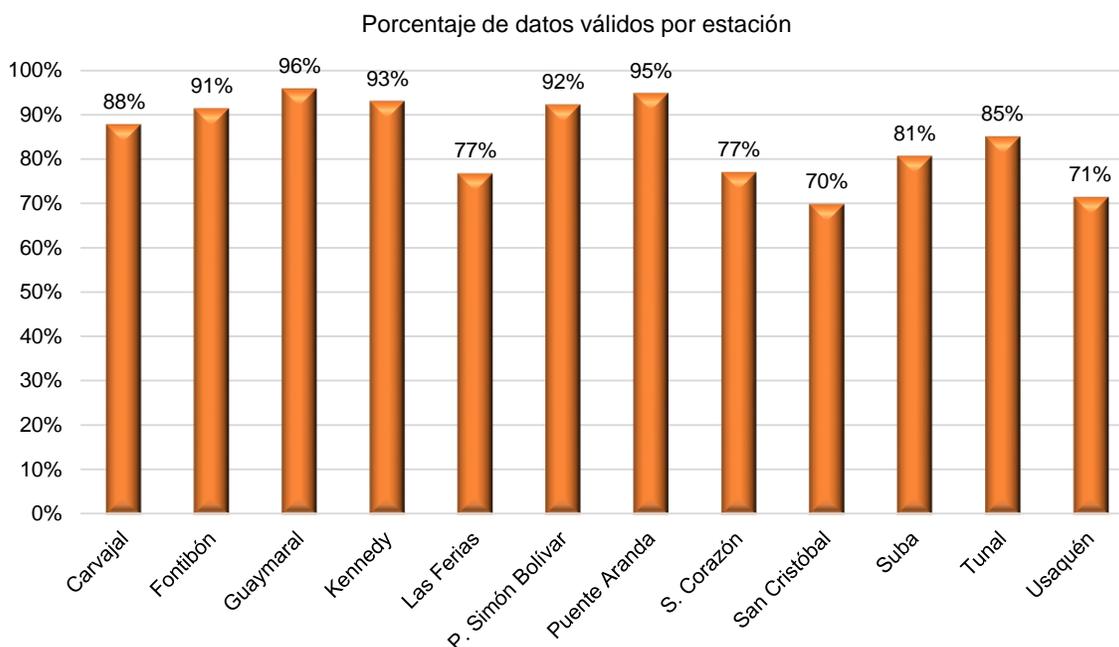


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Segundo trimestre de 2013.

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

	PM ₁₀	PST	PM _{2.5}	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	P.B.	T	T8m	T20m	H.R.	V.V.	D.V.	P	R.S.	UVB	Total.
Carvajal	99%	83%		99%	97%	99%	0%		100%				100%	100%	100%			88%
Fontibón	98%			93%	88%	83%		98%	98%				67%	98%	98%			91%
Guaymaral	97%			98%			63%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%		96%
Kennedy	94%		99%		81%	58%	85%	100%	100%				100%	100%	100%	100%	100%	93%
Las Ferias	77%			28%	75%	80%	7%	96%	96%				96%	96%	96%	96%		77%
P. Simón Bolívar	79%			60%	94%	92%	81%		100%				100%	100%	100%	100%	100%	92%
Puente Aranda	92%			77%	98%	98%	96%		98%				98%	98%	98%			95%
S. Corazón	92%			75%	0%								100%	95%	100%			77%
San Cristóbal	78%			66%	17%	57%			79%				76%	79%	79%	79%	89%	70%
Suba	91%			55%		95%	24%		95%				95%	95%	95%			81%
Tunal	53%			94%	49%	77%	92%		95%				95%	95%	95%	95%	96%	85%
Usaquén	92%			72%	0%				92%				75%	78%	91%			71%
Total	87%	83%	99%	74%	60%	82%	56%	98%	95%	99%	99%	94%	92%	94%	96%	97%	100%	85%

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, el PM_{10} , y el $PM_{2.5}$; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O_3 , NO_2 , CO y SO_2 y la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentado en la Tabla 1-2), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

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

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

Resultan de interés las partículas PM_{10} 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 PM_{10} 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 PM_{10} como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM_{10} se controla con 100 $\mu g/m^3$ y el anual con 50 $\mu g/m^3$.

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST), la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013 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 obtuvieron 66 datos diarios, y ninguno excedió la norma (300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cinco (5) concentraciones diarias superaron el valor medio de la norma, (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El máximo alcanzó un valor de 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el promedio geométrico de los datos registrados en el trimestre fue 96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta estación, el porcentaje de datos válidos fue de 73% que está cercano al criterio de representatividad temporal del 75% y, por tanto, la estación Carvajal será considerada para el cálculo de promedios. Es importante destacar que el promedio de la estación no es comparable con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente al presentarse tiempos de exposición diferentes.

En la Figura 3-1 y en la Tabla 3-1 se resume lo expuesto anteriormente. Se muestra el promedio, el número de excedencias y el valor máximo de los promedios 24 horas que fueron registrados en la estación Carvajal. Como la norma diaria es 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor no aparece en la gráfica por encontrarse muy por encima del valor máximo.

El promedio geométrico de PST durante el segundo trimestre del año 2012 en la estación Carvajal fue 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un porcentaje de representatividad de 68%. Aunque ningún dato excede la norma diaria en los últimos dos años, se observa que durante el segundo trimestre de 2013, la concentración de este contaminante se redujo en un 21%, la cual es una reducción apreciable.

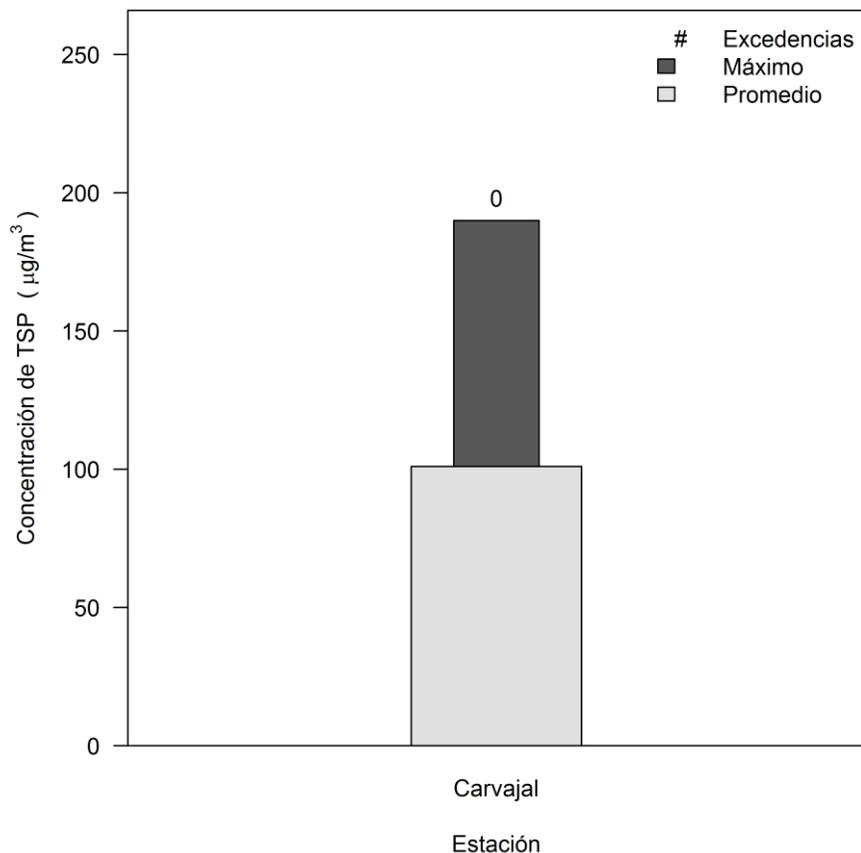


Figura 3-1. Concentraciones de PST (TSP) para 24 horas durante el segundo trimestre de 2013.

Tabla 3-1. Resumen de datos 24 horas de PST para segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Promedio geométrico [µg/m³]	Excedencias norma 300 µg/m³	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Carvajal	73%	96	0	190	12/04/2013

Comportamiento histórico de promedios de PST en base diaria.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana en el segundo trimestre de 2013 se presenta en la Figura 3-2. No se presentan los resultados para los años 2011 y 2012 porque su representatividad temporal es relativamente baja. Se observa una reducción significativa en todos los días al comparar el segundo trimestre de 2013 con los mismos periodos de los años 2009 y 2010. El día domingo presenta los menores niveles de concentración, seguido por el lunes. Es posible que el lunes esté influenciado en sus primeras horas por la capa de contaminación residual del día anterior, un caso similar al comportamiento de PM_{2.5}. La menor dispersión de datos se observa el domingo, único día que registra valores atípicos (1). Esta dispersión baja puede deberse a la reducción de actividades industriales y de tráfico pesado al tratarse de un día generalmente no laborable.

Con excepción de los días martes y sábado, los datos tienden a estar simétricos con respecto a la mediana.

Las concentraciones promedio históricas de PST durante los últimos 5 años (exceptuando los años 2011 y 2012) se muestran en la Tabla 3-2. Los promedios concuerdan con la tendencia del *boxplot* y evidencian nuevamente el descenso drástico de las concentraciones promedio de este contaminante en el segundo trimestre de 2013. Los días miércoles y viernes registran los valores más altos de concentración promedio mientras que el domingo y el lunes las más bajas. El material particulado total no representa un problema de salud pública tanto por su descenso progresivo y significativo como por la ausencia de excedencias de la normatividad. A pesar de estos hechos, los registros de PST se mantienen ya que permiten verificar la trazabilidad histórica de las mediciones de material particulado de la RMCAB. Es importante reiterar que el segundo trimestre del año 2012 presentó una representatividad del 68%, razón por la cual no es incluido en las Figuras relacionadas. El informe del segundo trimestre de 2012 sí lo incluye como una excepción con el objetivo de mostrar las tendencias generales de este contaminante.

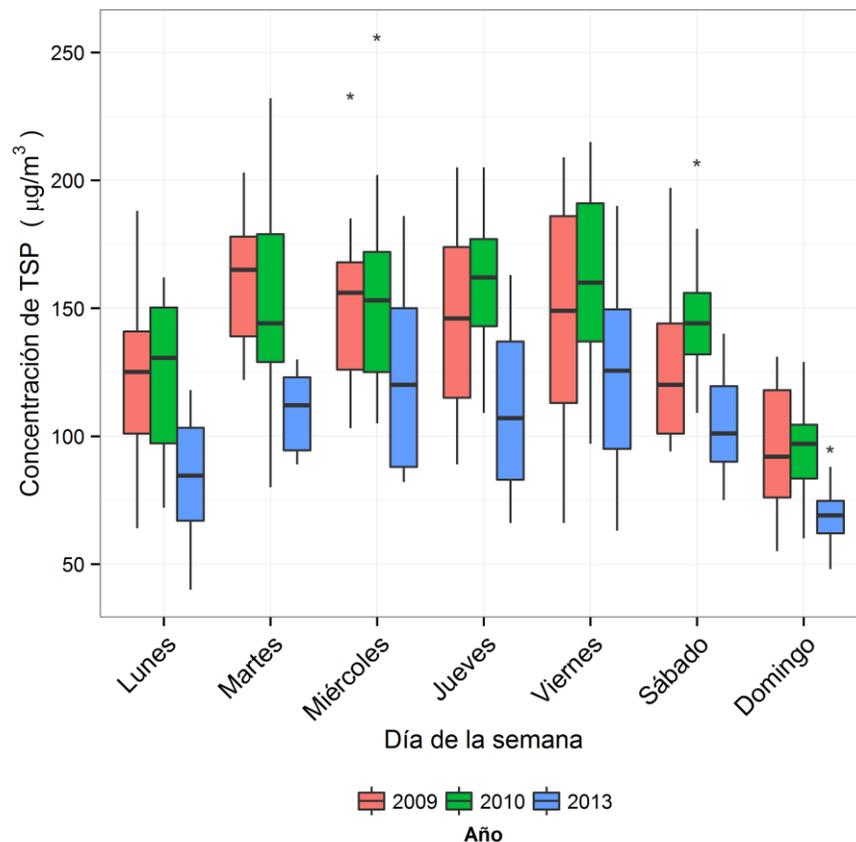


Figura 3-2. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por días de la semana (desde base diaria) comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores.

Tabla 3-2. Concentración promedio de PST por día de la semana en el segundo trimestre de 2013. Se considera solamente la estación Carvajal.

Promedio geométrico del contaminante PST por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Día	2009	2010	2013
Lunes	117	119	78
Martes	160	148	N.R.
Miércoles	151	151	N.R.
Jueves	140	160	N.R.
Viernes	138	153	N.R.
Sábado	126	147	103
Domingo	92	91	68

N.R.: No Representativo.

En la Figura 3-3 se puede apreciar el comportamiento de la concentración de PST en función del mes. Se observa una reducción drástica de los niveles de concentración en abril, mayo y junio de 2013 en comparación con los años 2010 y 2011. Abril y mayo reducen su dispersión en comparación con los años 2009 y 2010. No se observan valores atípicos para ninguno de los meses del presente trimestre. Junio es el único mes que presenta simetría con respecto a la mediana mientras que los otros dos meses son menos dispersos en valores inferiores a la mediana.

La Tabla 3-3 corresponde a un resumen de promedios geométricos de concentraciones de PST durante los años 2009, 2010 y 2013 en función de los meses del año con base en promedios de 24 horas. El mes de mayo de 2013 no se muestra porque singularmente no cumple con el criterio de representatividad temporal de 75% para el cálculo de promedios. Abril y junio de 2013 reducen de forma drástica sus valores de concentración en comparación con periodos anteriores. Para $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} se registran las menores concentraciones en el mes de junio, en concordancia con el PST. Sin embargo, es importante tener en cuenta que para el presente contaminante solamente se consideró la estación de Carvajal.

Tabla 3-3. Concentración promedio de PST por mes en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal. Los años 2011 y 2012 no cumplen con el criterio de representatividad temporal.

Mes	Promedio geométrico del contaminante PST por mes del trimestre en $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	2009	2010	2013
Abril	135	144	106
Mayo	134	128	N.R.
Junio	123	140	96

N.R.: No Representativo.

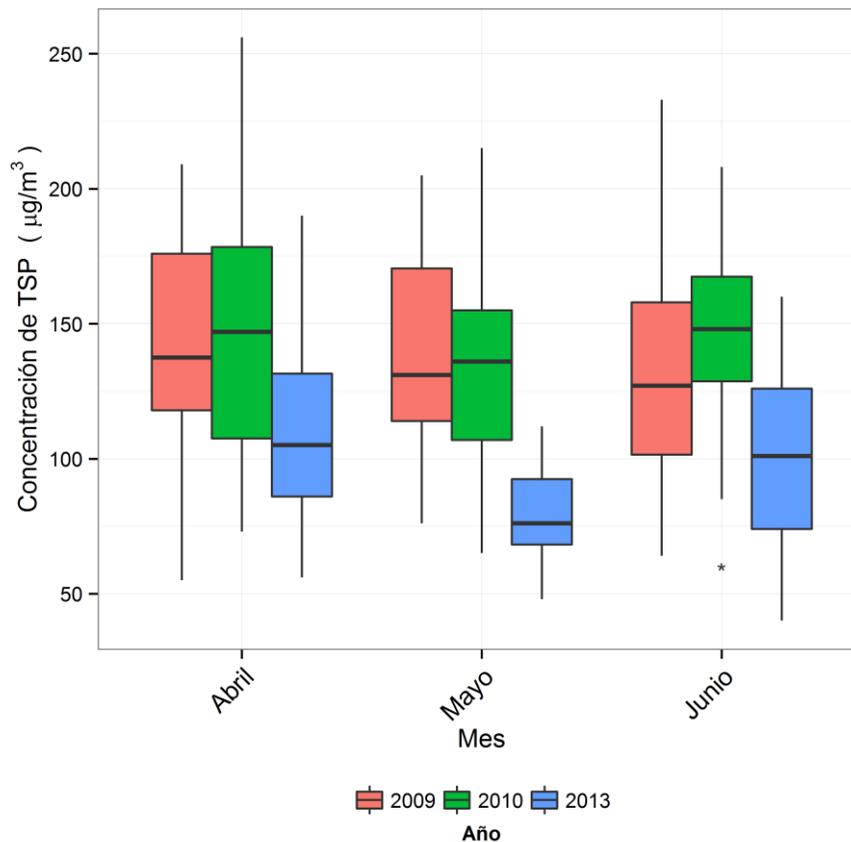


Figura 3-3. Gráfico de *boxplot* para PST (TSP) por meses (desde base 24 horas) comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores. Los datos corresponden únicamente a la estación Carvajal.

En la Figura 3-4 se muestra el comportamiento histórico generalizado de la concentración de PST durante los años 2009, 2010 y 2013. De nuevo, en el segundo trimestre de 2013 se observa el descenso drástico de los niveles de este contaminante y una reducción notable en la dispersión de los datos. El año 2010 presenta la mayor variabilidad de los datos y una longitud superior del bigote superior y del inferior. Es importante destacar que esta Figura corresponde únicamente a la estación Carvajal y por este motivo no se presenta una gráfica por estaciones. El segundo trimestre de 2013 es el único que registra una distribución simétrica de los datos.

La Tabla 3-4 contiene un resumen de los promedios de PST de los segundos trimestres de los años 2009, 2010 y 2013. El mayor promedio fue encontrado en el segundo trimestre del año 2010 con una concentración promedio de $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que en el año 2013 se registró una concentración de $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

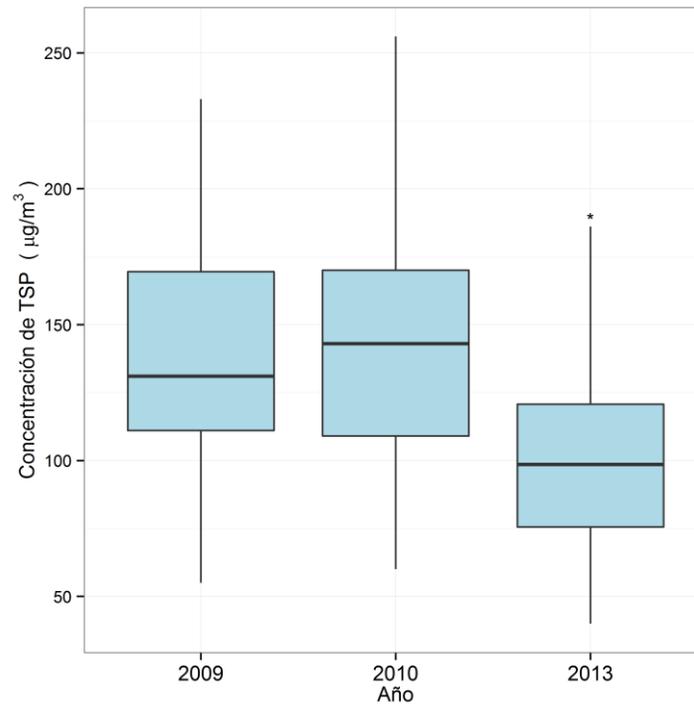


Figura 3-4. Gráfico de *boxplot* para PST diario por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con años anteriores. Se muestra Carvajal únicamente ya que PST se midió solamente en esta estación durante los últimos 4 años. No se incluyen 2011 y 2012 por no cumplir el criterio de representatividad temporal.

Tabla 3-4. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PST en promedios 24 horas durante los segundos trimestres de los años 2009, 2010 y 2013. Solamente se considera la estación de Carvajal ya que PST se monitoreó únicamente en esta estación durante los últimos años.

Año	Concentración media de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2009	130
2010	137
2013	96

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

Para el seguimiento de este contaminante la RMCAB contó en el segundo trimestre de 2013 con 12 monitores, los cuales se describen en la Tabla 1-2 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.

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.

El comportamiento de la concentración de PM₁₀ en la ciudad se establece mediante la recolección de datos horarios, los cuáles se promedian a periodos diarios (24 horas). Durante el segundo trimestre de 2013 se reportó una representatividad temporal² para el periodo mayor o igual al 75% en 9 de las 12 estaciones analizadas, y en 11 de estas se alcanzó un porcentaje de datos igual o superior al 70%. Las estaciones Las Ferias y San Cristóbal tienen un porcentaje de representatividad temporal de 73% y serán incluidas en el presente informe por estar numéricamente cerca del criterio en mención. La estación Tunal, con 52% de representatividad temporal no será incluida en el cálculo de promedios. Las mayores concentraciones promedio trimestrales se presentaron en las estaciones Carvajal y Kennedy con 73 µg/m³ y 65 µg/m³, respectivamente.

Del total de datos registrados en las estaciones, el 2% superó el valor de la norma para 24 horas establecida en 100 µg/m³, porcentaje equivalente a 18 datos que corresponden a las Estaciones de Carvajal (10) y Kennedy (8).

Las concentraciones medias, las concentraciones máximas y el número de excedencias (cantidad de datos que superaron la norma) se presentan en la Figura 3-5. La Tabla 3-5 resume los datos de PM₁₀ en base de 24 horas para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013. En varios días del mes de abril se registró la mayoría de las máximas concentraciones de este contaminante.

Las máximas concentraciones diarias del trimestre se registraron los días 29 y 30 de mayo de 2013 en Kennedy con 112 µg/m³ y Carvajal con 121 µg/m³, niveles que excedieron la norma diaria. Se observa que la mayoría de los máximos se producen en los días en mención y el 3 de abril de 2013.

De acuerdo con la Tabla 3-5, las localidades más afectadas por PM₁₀ en el segundo trimestre del 2013 fueron las ubicadas en el suroccidente de la ciudad, especialmente Kennedy y Bosa, y las menos afectadas Usaquén, Teusaquillo, Tunjuelito y Suba oriental.

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

Se registró un aumento notable en Guaymaral (de 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en concentración promedio trimestral) y aumentos más leves en Usaqué, Parque Simón Bolívar, Kennedy y San Cristóbal. En el segundo trimestre de 2012 se registraron en total 18 excedencias, mismo número en comparación con el periodo evaluado.

Tabla 3-5. Representatividad temporal, promedio, máximo y excedencias de los datos de PM_{10} durante el segundo trimestre de 2013. Base de tiempo de 24 horas.

Estación	% datos válidos	Promedio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Excedencias de la norma 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽³⁾	Máximo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fecha de ocurrencia del máximo	Excedencias sobre 75% de la norma	Excedencias sobre 50 de la norma%
Guaymaral (Escuela)	97%	51	0	87	12/04/2013	7	32
Usaquén (Bosque)	91%	36	0	71	22/04/2013	0	18
Suba (Corpas)	88%	51	0	78	04/04/2013	1	34
Las Ferias (Carrefour)	73%	37	0	64	06/04/2013	0	14
Parque Simón Bolívar (IDRD)	78%	30	0	62	11/04/2013	0	6
Sagrado Corazón (MAVDT)	91%	43	0	80	23/04/2013	2	22
Fontibón	98%	47	0	85	30/05/2013	4	30
Puente Aranda	91%	45	0	89	29/05/2013	5	23
Kennedy	91%	65	8	112	29/05/2013	12	45
Carvajal (Sony)	99%	73	10	121	30/05/2013	28	38
Tunal	52%		0	84	03/04/2013	5	19
San Cristóbal	73%	33	0	69	03/04/2013	0	11

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-6 y en la Figura 3-7. En la Figura 3-6 se muestra un mapa resultado de la interpolación del episodio de mayor concentración de PM_{10} (basado en promedios diarios), presente en la ciudad durante el segundo trimestre de 2013, específicamente el día 30 de mayo. En el episodio de máxima concentración, los mayores niveles fueron registrados en las estaciones Kennedy y Carvajal, con concentraciones que exceden la norma para 24 horas siendo éstas 121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Con base en la información del día de máxima concentración, las localidades de Kennedy y Bosa tienen la mayor afectación por contaminación atmosférica en contraste con el norte de la ciudad, especialmente las localidades de Suba, Usaqué y Chapinero.

En cuanto al mapa de concentraciones medias, en la Figura 3-7 se observa que las localidades más afectadas por material particulado son las del sur occidente de la ciudad y las menos afectadas Usaqué, Teusaquillo, Chapinero, el sur de Suba y San Cristóbal. Los vectores de viento indican que este tiende a provenir predominantemente del oriente, especialmente en la sección sur de Bogotá. Es posible que la contaminación sea arrastrada de oriente a occidente y, por tanto, se registren mayores concentraciones de PM_{10} en el

³ Promedio diario según la Resolución 610 de 2010.

lado occidental en comparación con la sección oriental. Sin embargo, estas tendencias requieren ser confirmadas mediante la implementación de campañas de medición y el uso de modelos de dispersión atmosférica acoplados a inventarios de emisión.

La Figura 3-8 y la Figura 3-9 son representaciones geográficas de la concentración de PM₁₀ desagregadas entre las horas de la mañana (06:00 a.m. y las 11:00 a.m.) y las horas de la tarde (12:00 p.m. a 05:00 p.m.). Existe un contraste amplio entre el comportamiento entre la mañana y la tarde, con la mañana registrando las mayores concentraciones, especialmente en el suroccidente de Bogotá. Aunque los vientos tienen el mismo comportamiento en estos dos periodos de tiempo, es posible que la diferencia de concentraciones se deba a calmas en los vientos, inversiones térmicas (que reducen la altura de la capa de mezcla) y a la influencia de las horas pico de la mañana, que son más marcadas que las correspondientes a la tarde.

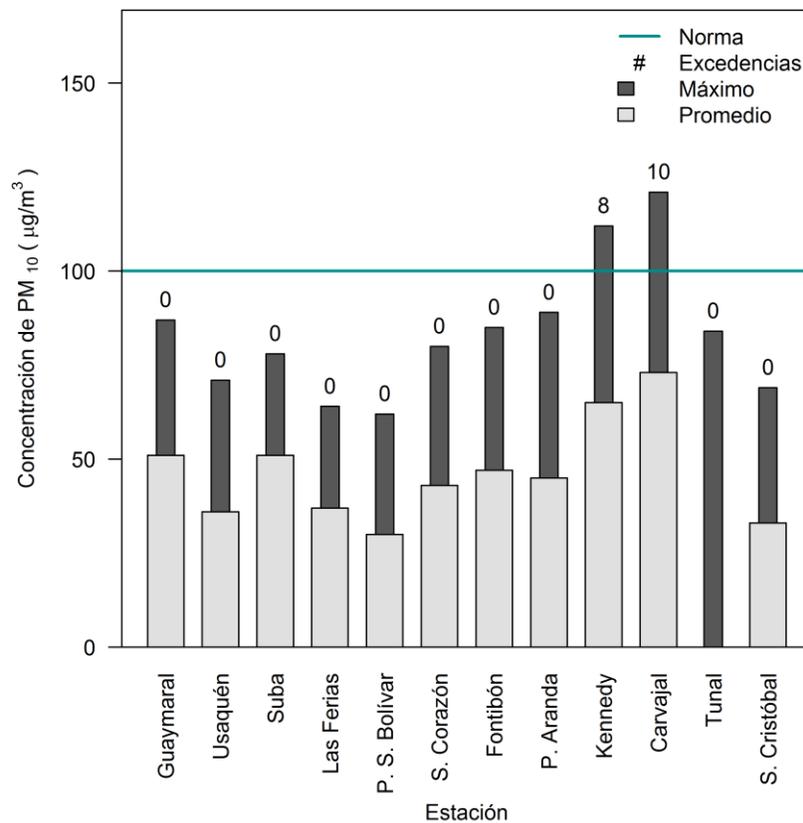


Figura 3-5. Concentraciones de PM₁₀ en base 24 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.

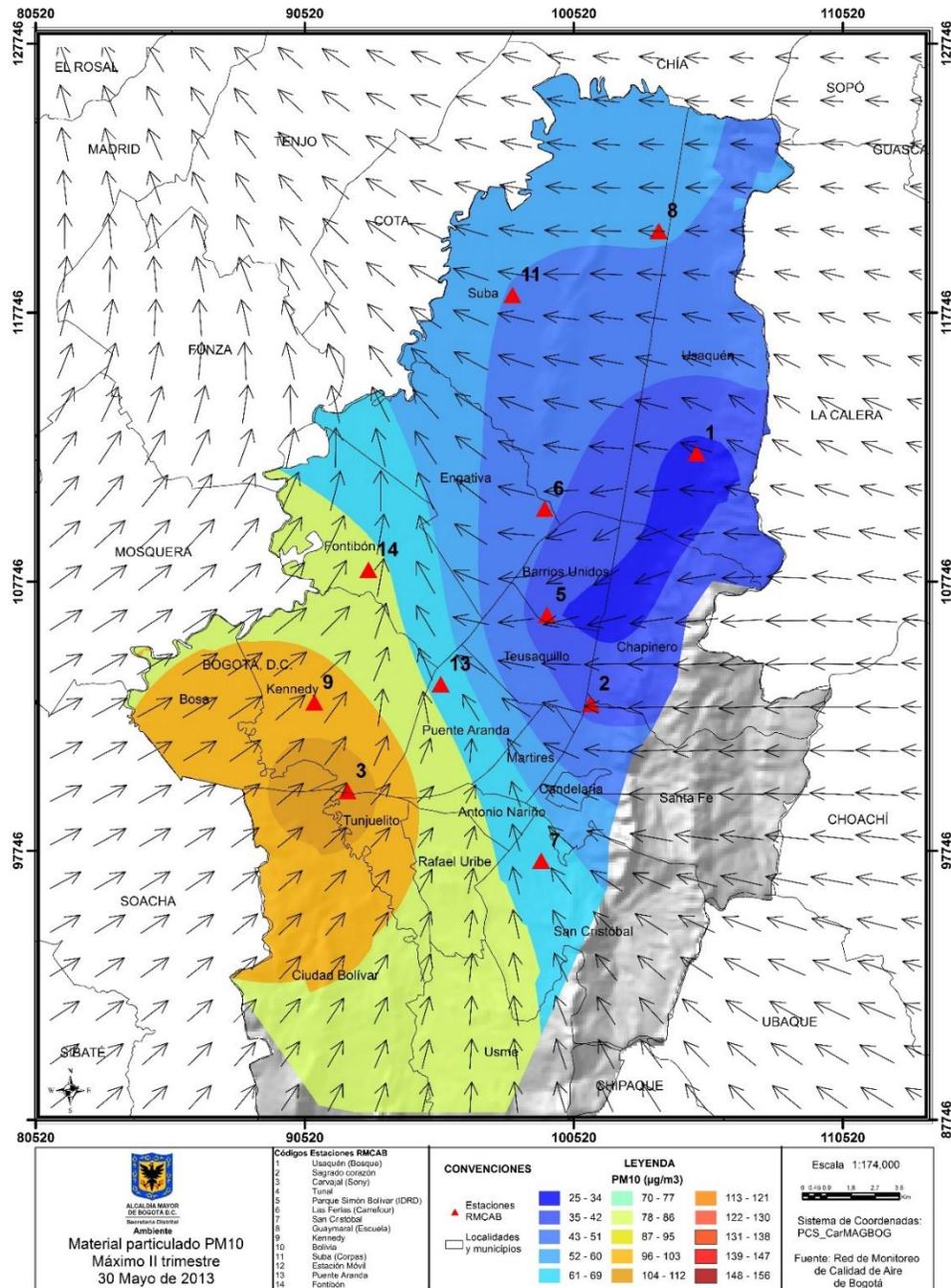


Figura 3-6. Interpolación de los promedios máximos 24 horas de PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2013. Día: 30 de mayo de 2013. Se incluyen vectores de viento a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo.

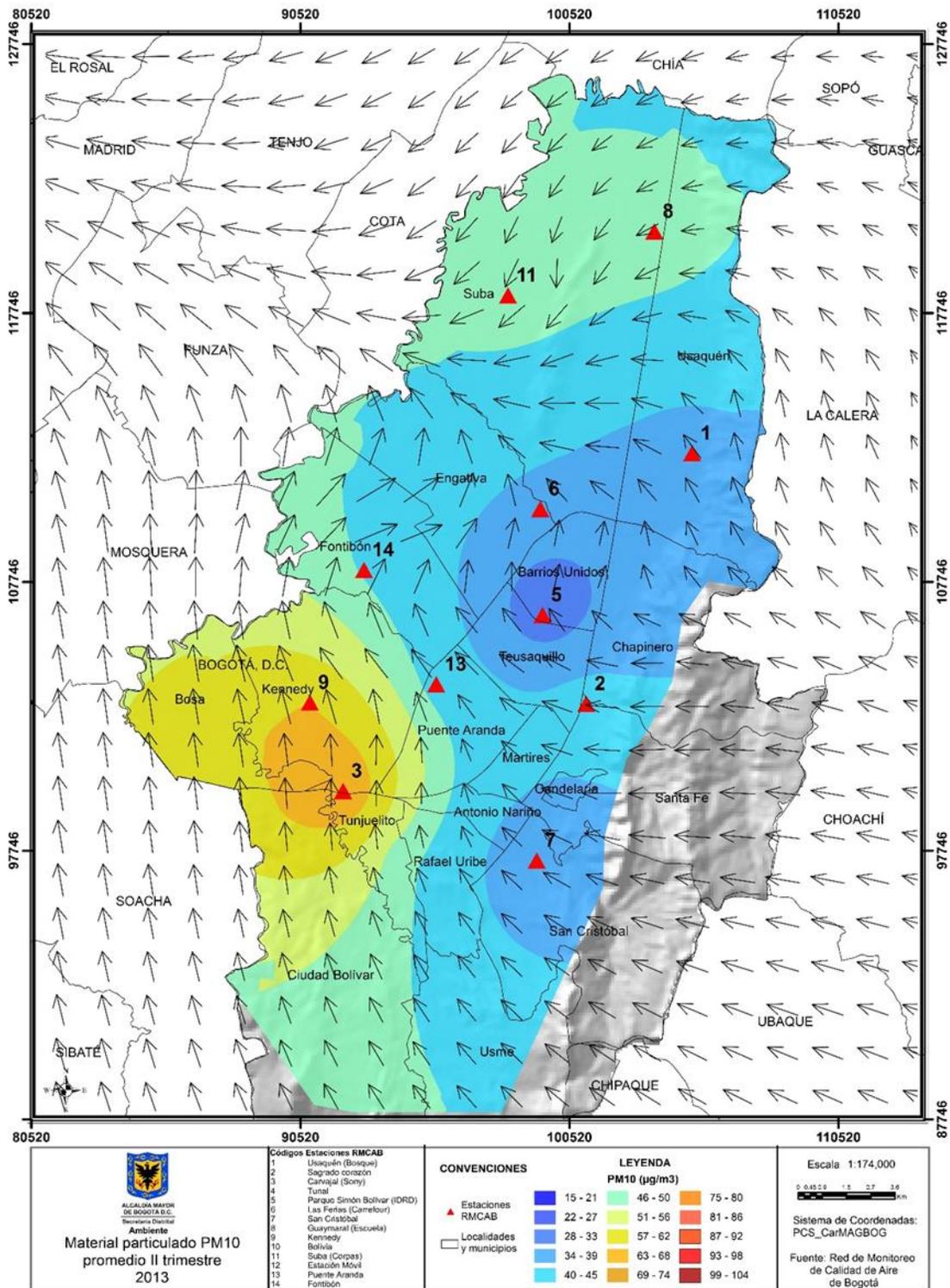


Figura 3-7. Interpolación de las medias de los promedios 24 horas de PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2013. Se incluyen vectores de viento a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo.

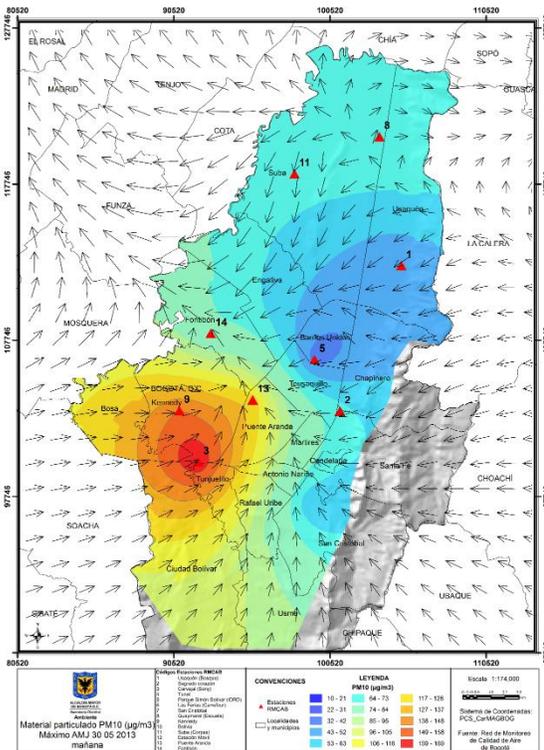


Figura 3-8. Concentración de PM₁₀ durante las horas de la mañana (06:00 a.m. a 11:00 a.m.) el día 06 de abril de 2013. Se incluyen los vectores de viento del mismo día.

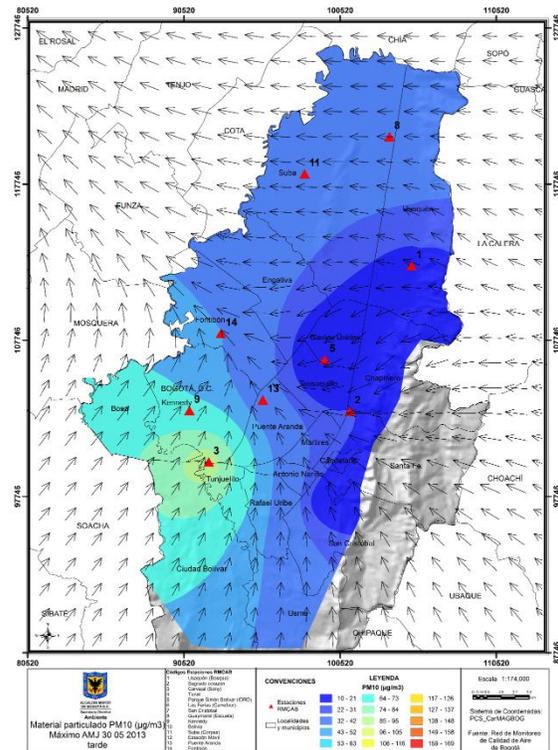


Figura 3-9. Concentración de PM₁₀ durante las horas de la tarde (12:00 p.m. a 05:00 p.m.) el día 06 de abril de 2013. Se incluyen los vectores de viento del mismo día.

Variación temporal de las concentraciones horarias y diarias de PM₁₀

La Figura 3-10 presenta los ciclos semanales de las concentraciones diarias de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB con una representatividad temporal superior a 70%⁴. En general, los ciclos siguen una tendencia similar siendo los lunes y los domingos los días con las menores concentraciones, lo cual está asociado al cambio en la dinámica de la ciudad por la variación de las emisiones provenientes de fuentes fijas y de fuentes móviles. Los ciclos con mayor variación son los correspondientes a las estaciones Kennedy y Carvajal donde las concentraciones son relativamente más altas.

Los ciclos diarios de la Figura 3-11 evidencian que en general todas las estaciones presentan un pico de concentración entre las 7:00 a.m. y las 09:00 a.m., lo cual se asocia al aumento del tráfico vehicular en la denominada “hora pico” de la mañana. Carvajal, Kennedy, Puente Aranda y Sagrado Corazón presentan un pico más pronunciado en comparación con las restantes horas del día, posiblemente por su cercanía a vías de alto tráfico vehicular. Se presenta otro pico en horas de la tarde aunque de menor magnitud.

⁴ Aunque el límite normativo de cobertura temporal es 75%, se suaviza el criterio para incluir a las estaciones Las Ferias y San Cristóbal.

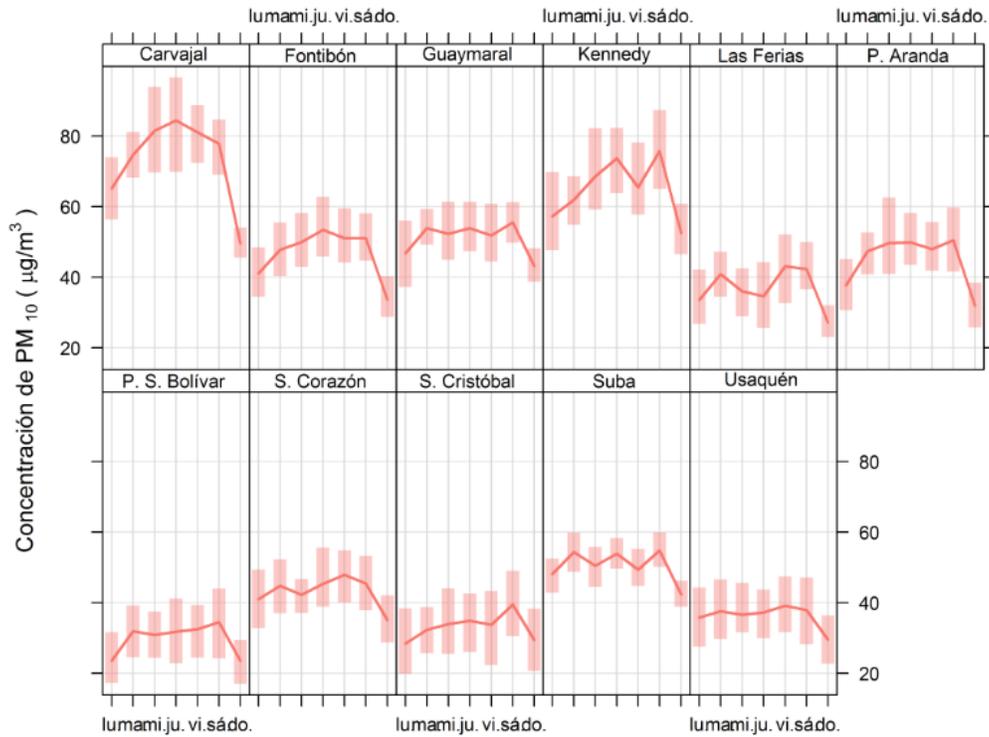


Figura 3-10. Variación de las concentraciones diarias de PM_{10} en ciclos semanales por estación. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. Segundo trimestre de 2013.

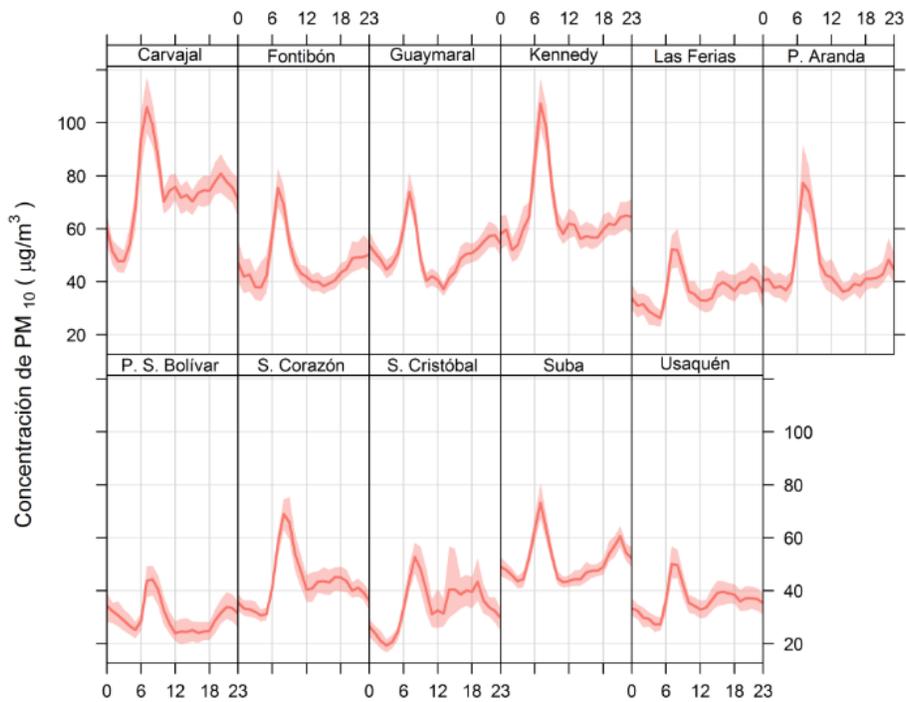


Figura 3-11. Variación de las concentraciones horarias de PM_{10} en ciclos horarios por estación de monitoreo. Se indica además el intervalo de confianza de 95%. Segundo trimestre de 2013.

La Figura 3-12 y la Figura 3-13 presentan los diagramas calendario de los meses de abril, mayo y junio de 2013 para las estaciones Carvajal y Parque Simón Bolívar, respectivamente. Estas estaciones presentan un contraste mutuo al tener las concentraciones más altas y más bajas del periodo analizado. En Carvajal se resaltan las excedencias del límite normativo de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se observa que el 30 de mayo fue el día con la concentración más alta con un valor diario de $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las diferencias en los dos diagramas calendario presentados evidencian el alto contraste espacial en la distribución de los contaminantes en Bogotá. Por tanto, en el momento de analizar la situación de la calidad del aire en la ciudad es importante tener en cuenta su variabilidad espacial.

Carvajal 2013 Segundo Trimestre

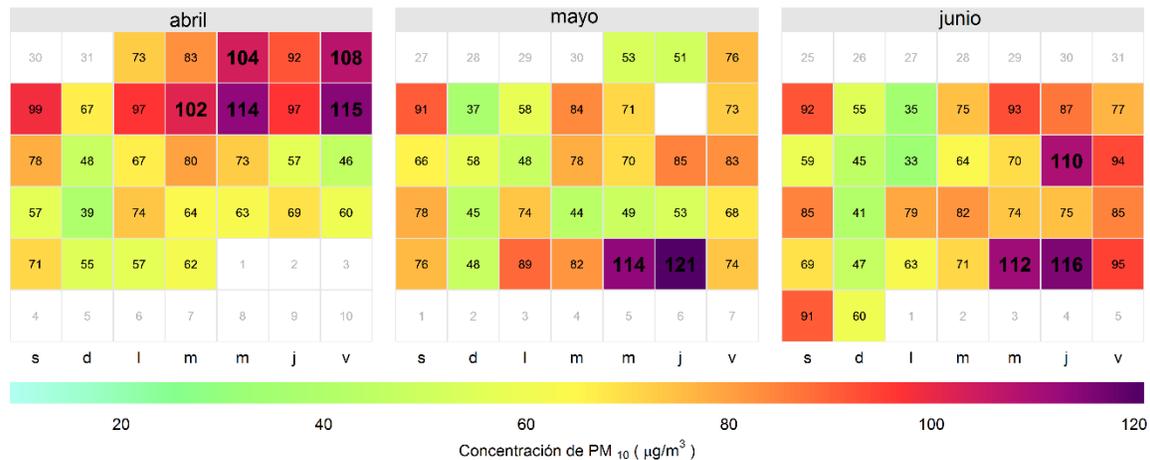


Figura 3-12. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM_{10} durante el segundo trimestre de 2013 en la estación Carvajal. Se resaltan las excedencias del límite normativo de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Resolución 610 de 2010).

P. S. Bolívar 2013 Segundo Trimestre

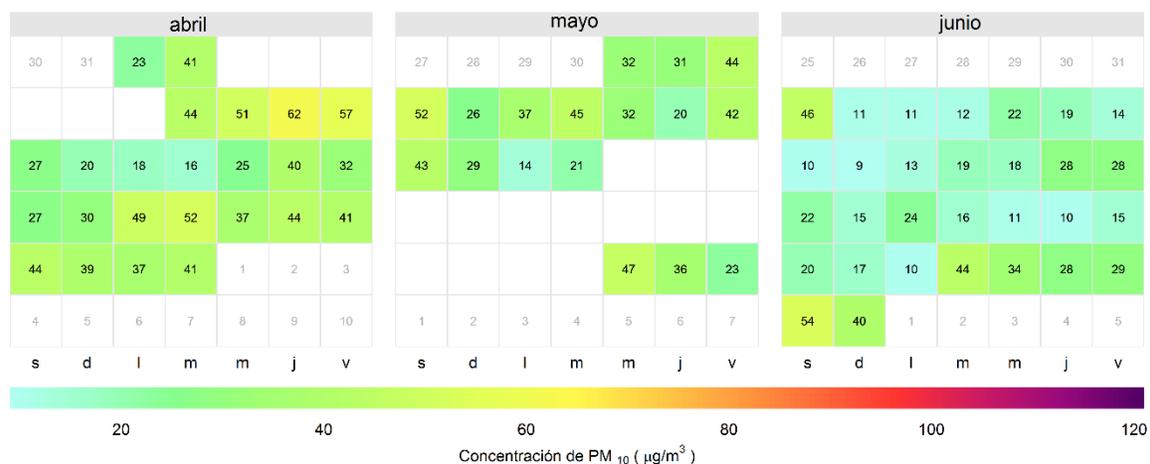


Figura 3-13. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM_{10} durante el segundo trimestre de 2013 en la estación Parque Simón Bolívar.

Comportamiento histórico de promedios de PM₁₀

La Figura 3-14 es un gráfico de *boxplot* con las tendencias históricas de la concentración de PM₁₀ en función de los días de la semana para los segundos trimestres de los últimos 5 años. De esta Figura se observa que el comportamiento para el contaminante PM₁₀ en el ciclo semanal del segundo trimestre de 2013 presenta unas variaciones leves en comparación con los años anteriores. En los días sábados y domingos se ha aumentado la concentración de forma notable y el día viernes es el único que ha mostrado una tendencia clara a la reducción. Se observa también una disminución en la dispersión de datos para todos los días. Como es usual, las menores concentraciones de PM₁₀ se observan los días domingos. Esta tendencia se explica al tener en cuenta que el día domingo, a diferencia de los demás, por lo general no es laborable y el tráfico vehicular al interior de la ciudad es relativamente menor. Además, la dispersión de datos para el domingo es la más baja durante todos los años considerados, lo cual se debe a la reducción de actividades. El día que presenta mayor amplitud en su caja es el martes. Es importante destacar que la diferencia entre las amplitudes (distancias intercuartílicas) no es considerable.

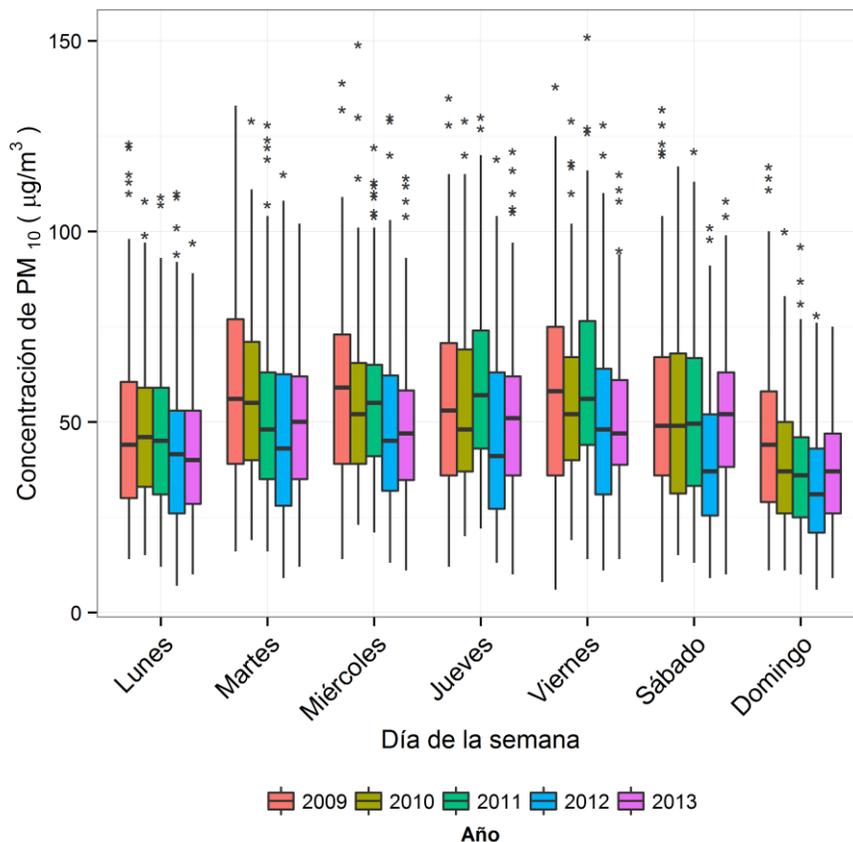


Figura 3-14. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ en base de 24 horas por días de la semana comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo en años anteriores.

En la Figura 3-15 se puede apreciar el comportamiento histórico de PM₁₀ en el transcurso del segundo trimestre del año 2013, en función de los meses de dicho periodo. Los tres

meses del trimestre aumentaron su concentración respecto al segundo trimestre del año 2012. La dispersión de datos se redujo en los meses de abril y mayo. El mes con mayor amplitud en su caja (distancia entre el cuartil superior y el cuartil inferior) es junio y el de menor es mayo. De los tres meses del presente periodo, en abril se registran las mayores concentraciones mientras que junio las menores. La cantidad de datos atípicos no varió significativamente. Si se compara con los segundos trimestre de los años 2009, 2010 y 2011, se observa que la concentración sí se ha reducido, en los meses de mayo y junio.

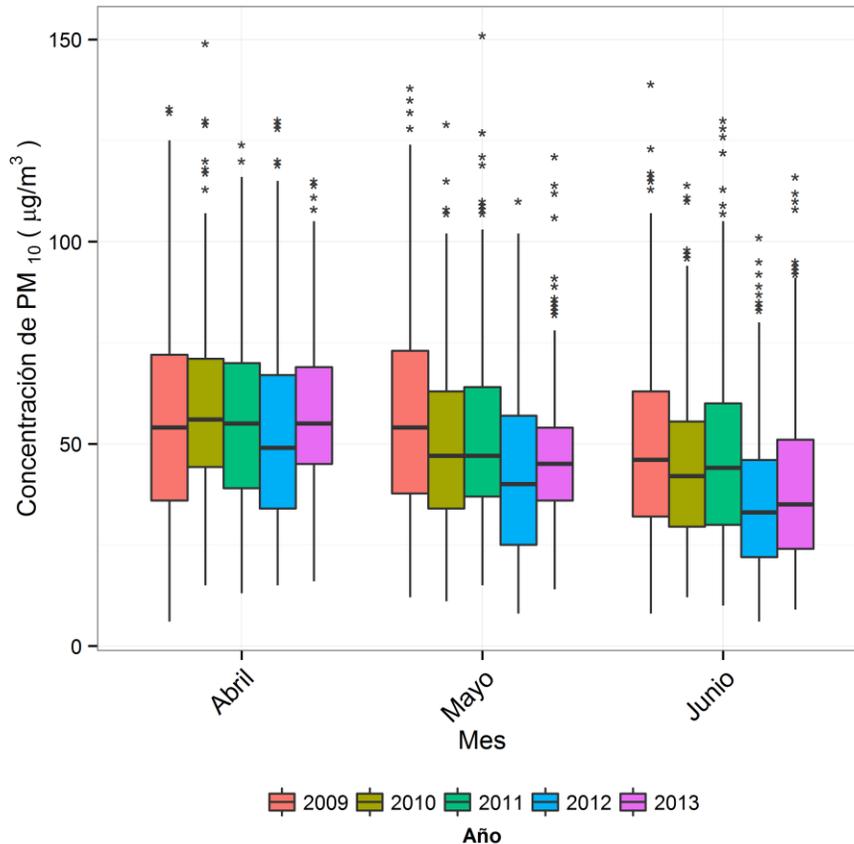


Figura 3-15. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ en base de 24 horas por meses comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

Respecto al comportamiento del contaminante en las distintas estaciones, se observa en la Figura 6 que en el segundo trimestre de 2013 las estaciones que registran menores concentraciones son Parque Simón Bolívar, San Cristóbal y Usaquén con concentraciones de 30 µg/m³, 33 µg/m³ y 36 µg/m³, respectivamente. Las estaciones con mayor concentración media son Carvajal y Kennedy, con 73 µg/m³ y 65 µg/m³. Les siguen Guaymaral y Suba, ambas con 51 µg/m³. En comparación con los meses de enero, febrero y marzo de 2013, las concentraciones medias son considerablemente menores.

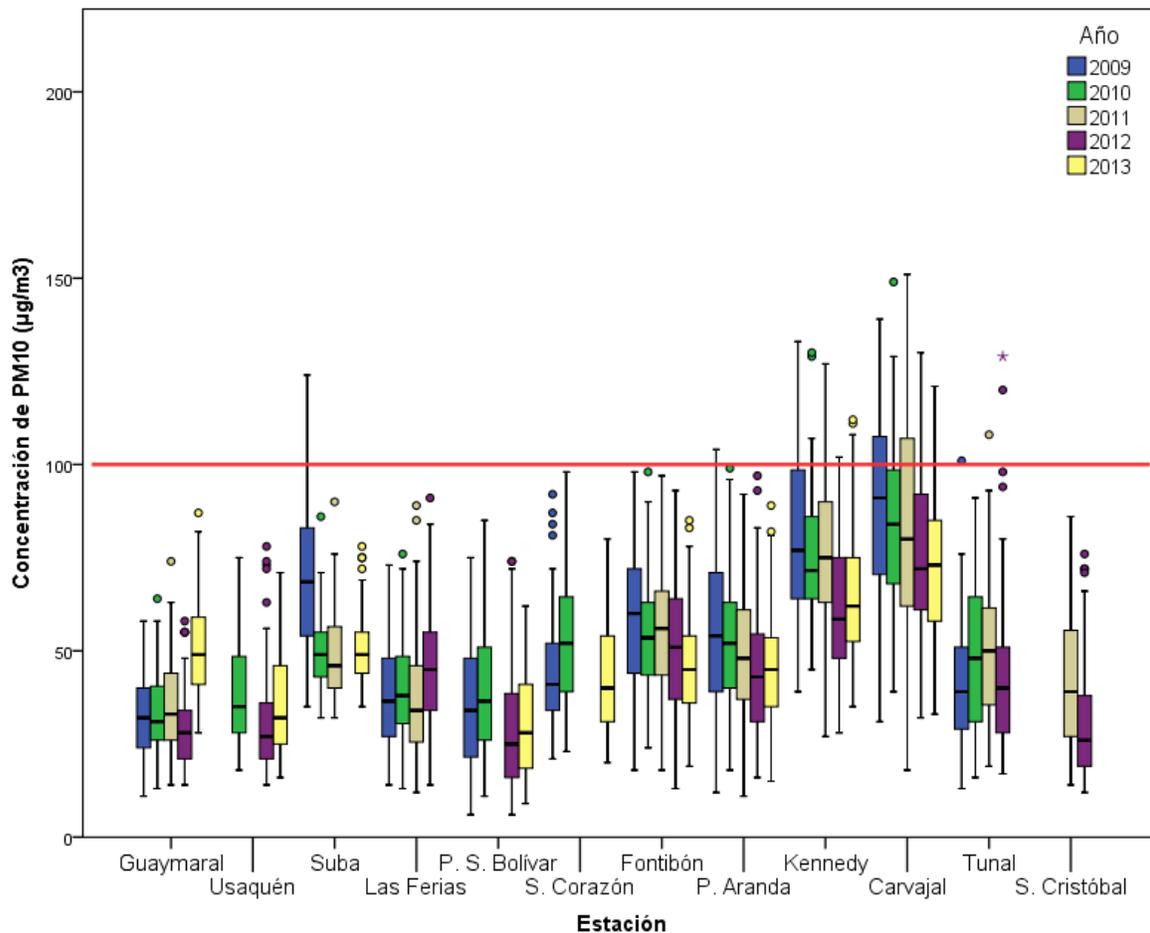


Figura 3-16. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ 24 horas por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

Las estaciones de Kennedy y Carvajal históricamente han registrado los mayores valores de concentración media durante los últimos 5 años. Es posible que este comportamiento esté asociado a la actividad industrial relativamente elevada, a una alta densidad urbana y a un considerable tráfico de vehículos pesados, en comparación con otras zonas de la ciudad. La estación de Suba se ubica en una zona suburbana (en los límites entre la parte urbana y rural de su localidad homónima) pero su alta concentración media puede deberse a actividades asociadas a la resuspensión de material particulado en vía. Con respecto al segundo trimestre del año 2012, se observa que los valores de concentración aumentaron significativamente en la estación Guaymaral mientras que hubo un descenso notable en Las Ferias. Con excepción de 2012, Guaymaral ha aumentado progresivamente sus valores de concentración. Una tendencia similar se observó para el comportamiento histórico de los primeros trimestres de los últimos 5 años. El aumento se debe posiblemente al incremento continuo del tráfico vehicular y la urbanización de las zonas aledañas.

Las estaciones Parque Simón Bolívar, Carvajal y San Cristóbal presentan las cajas más grandes (distancia intercuartílica), mientras que Guaymaral, Suba y Las Ferias presentan

cajas con menor amplitud y por tanto menor variabilidad de los datos. El número de valores atípicos en el segundo trimestre de 2013 se mantuvo constante respecto a trimestres anteriores.

En lo referente al comportamiento global del contaminante en los últimos 5 años, la Figura 3-17 es un resumen de las gráficas anteriores. El año 2012 registra los menores niveles de concentración de PM₁₀, seguido por el año 2013. La dispersión de los datos se redujo levemente en el segundo trimestre de 2013 con respecto al año 2012. La cantidad de valores atípicos aumentó. Sin embargo, en términos de niveles de concentración, los valores tienden a ser menores. La Tabla 3-6 contiene un resumen de máximos y mínimos de los segundos trimestres desde el año 2009 hasta el año 2013.

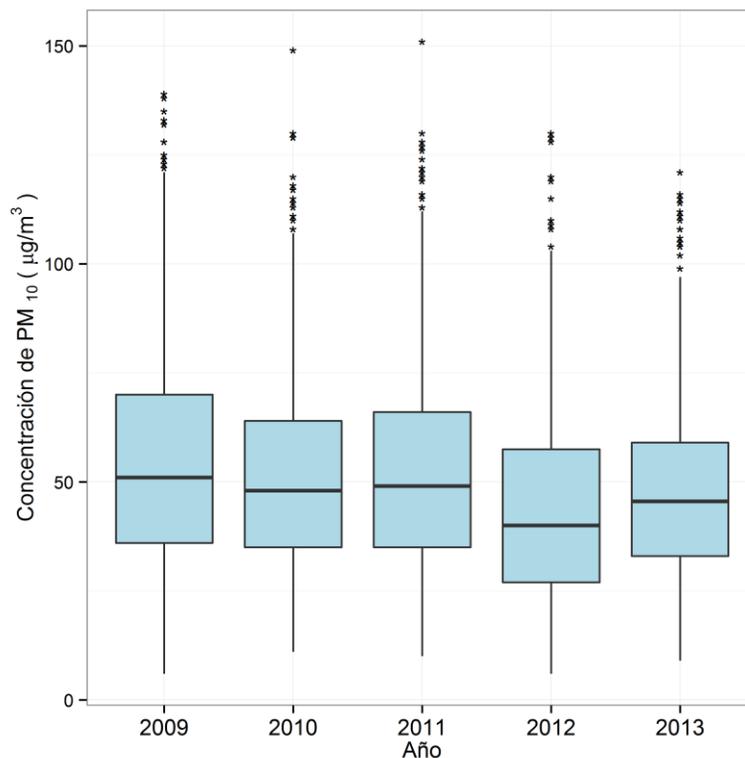


Figura 3-17. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ en base 24 horas en el segundo trimestre de los últimos 5 años.

Tabla 3-6. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM₁₀ en promedios 24 horas durante los segundos trimestres de los últimos 5 años.

Año	Concentración en µg/m ³	
	Máximo	Mínimo
2009	139	6
2010	149	11
2011	151	7
2012	130	6
2013	121	9

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 segundo trimestre de 2013 solamente la estación Kennedy monitoreó las concentraciones de este contaminante como se describe en detalle a continuación. Es importante destacar que el sector suroccidental de Bogotá, donde se ubica la estación, tiende a presentar concentraciones relativamente altas de material particulado por lo que su comportamiento no es representativo de las demás zonas de la ciudad.

Comportamiento diario de PM_{2.5} (24h)

La Figura 3-18 contiene un resumen estadístico de las concentraciones promedio de PM_{2.5} a partir de una base de 24 horas. Como se mencionó anteriormente, solamente se considerará la estación Kennedy.

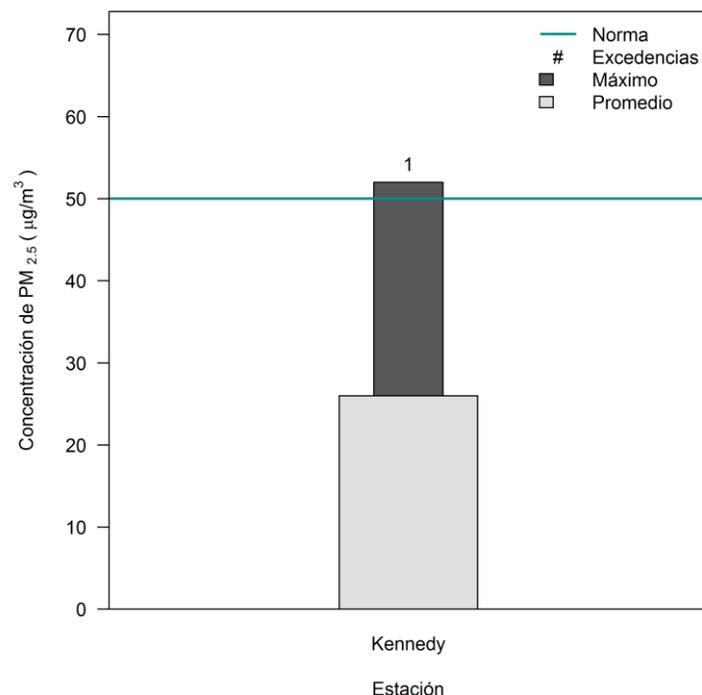


Figura 3-18. Concentraciones de PM_{2.5} 24 horas durante el segundo trimestre de 2013.

A partir de los registros de la estación que monitorea este contaminante, se obtuvieron 91 promedios de concentración 24 horas para el trimestre, lo que corresponde a un 100% de representatividad temporal. Es importante destacar que la representatividad temporal es menor a 100% cuando se tienen en cuenta promedios horarios. De los promedios hallados, uno superó el valor establecido por la Resolución 610 de 2010 (50 µg/m³), que corresponde a 52 µg/m³ y fue medido el día 11 de abril de 2013, día en que se registró la concentración máxima de PM₁₀ en la estación Parque Simón Bolívar. La Tabla 6 contiene un resumen estadístico y de excedencias de la concentración de PM_{2.5} en la estación Kennedy.

Tabla 3-7. Resumen de datos 24 horas de PM_{2.5} por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Promedio [µg/m ³]	Excedencias norma 50 µg/m ³	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Kennedy	100%	26	1	52	11/04/2013

En el segundo trimestre de 2012 se registró un máximo de 55 µg/m³ valor más alto que el registrado en el presente trimestre.

Variación temporal de las concentraciones diarias y horarias de PM_{2.5}

La Figura 3-19 presenta el ciclo semanal de las concentraciones de PM_{2.5} en la estación Kennedy, única con mediciones válidas durante el segundo trimestre de 2013. Los lunes y los domingos son los días con las menores concentraciones debido al cambio en la dinámica de la ciudad para los domingos y a la influencia de la capa residual del día anterior y la presencia de feriados en el caso de los lunes. Los miércoles y viernes por el contrario reportan las mayores concentraciones.

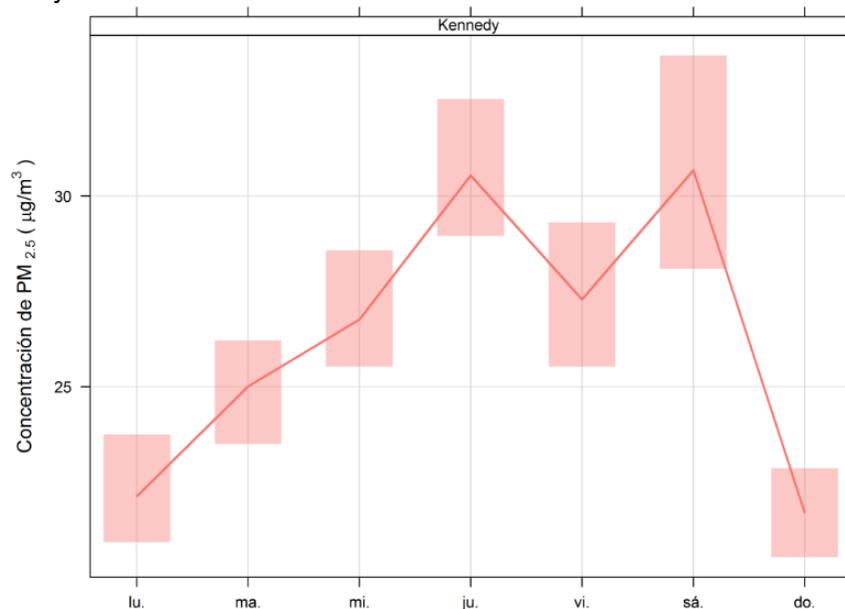


Figura 3-19. Ciclo semanal de las concentraciones de PM_{2.5} en la estación Kennedy durante el segundo trimestre de 2013.

Los ciclos diarios por día de la semana de la Figura 3-20 muestran que entre lunes y sábado las mayores concentraciones se presentan entre las 07:00 a.m. y las 09:00 a.m. durante la denominada “hora pico” de la mañana debido al aumento del tráfico vehicular durante dichas horas. En la tarde se presenta un aumento de concentración aunque considerablemente menor en comparación con la mañana. Los domingos presentan una tendencia distinta que se asocia al cambio de actividades en la ciudad; las concentraciones son menores y los picos de concentración menos pronunciados.

La Figura 3-21 presenta un diagrama calendario de las concentraciones diarias de $PM_{2.5}$ durante el segundo trimestre de 2013. Abril fue el mes con mayores concentraciones de este contaminante, especialmente durante su primera mitad. La única excedencia del trimestre ocurrió el 11 de abril con una concentración de $52 \mu g/m^3$. Los días 29 y 30 de mayo y 29 de junio se caracterizaron igualmente por concentraciones elevadas. Junio fue el mes con los menores niveles de $PM_{2.5}$ en el periodo de análisis.

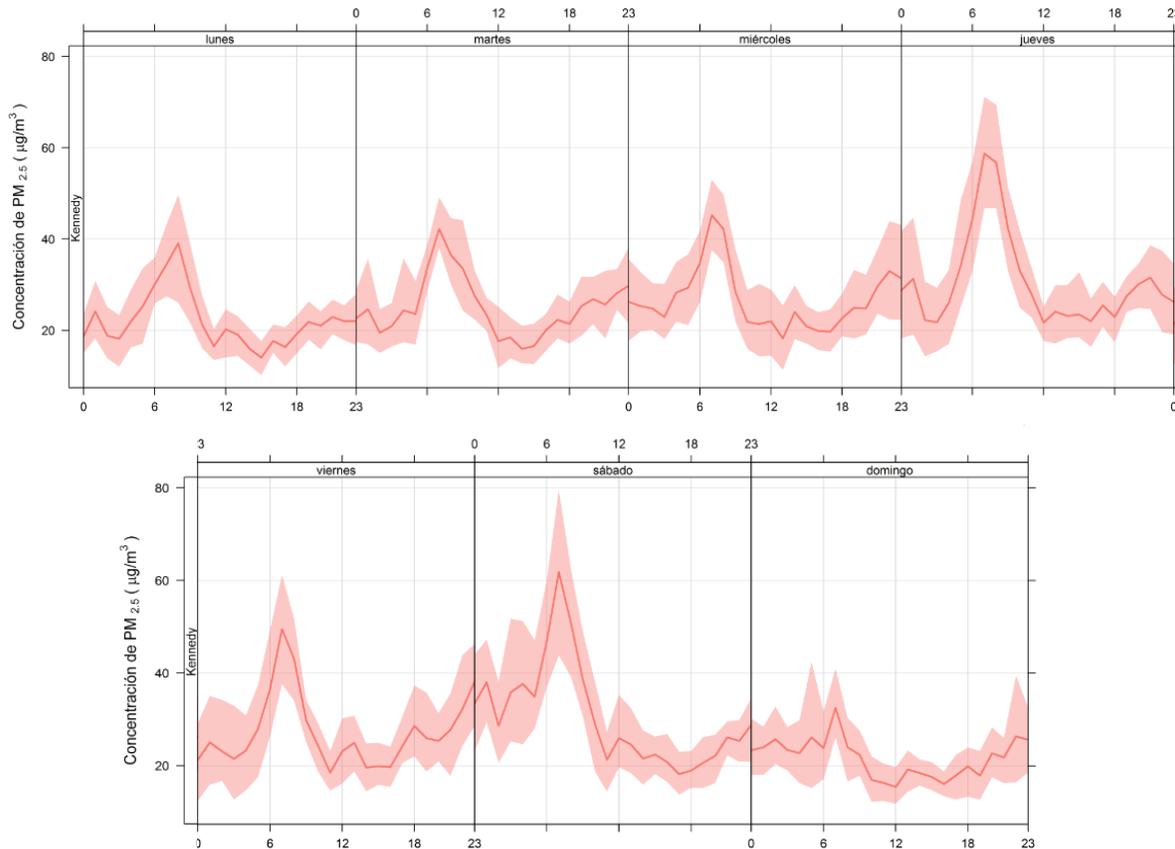


Figura 3-20. Ciclo diario de las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en la estación Kennedy en el segundo trimestre de 2013.

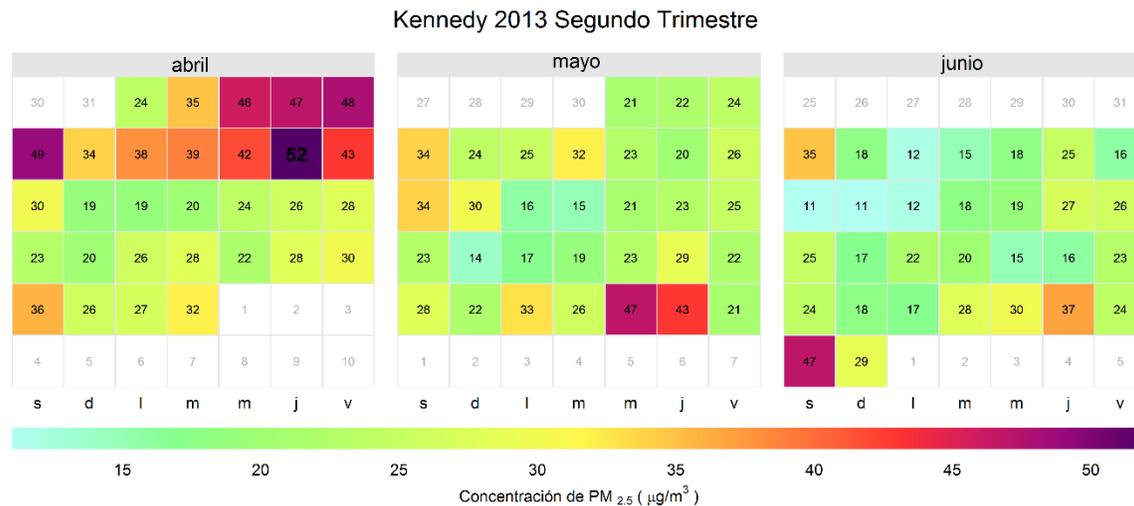


Figura 3-21. Diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en la estación Kennedy durante el segundo trimestre de 2013.

Comportamiento histórico de promedios de PM_{2.5}

El análisis gráfico que se presenta a continuación hace referencia principalmente a los *boxplot* que describen la distribución de los datos de las concentraciones medias de PM_{2.5} registradas en la estación de monitoreo Kennedy. Se muestran tendencias históricas en función de los últimos 5 años. El año 2010 se excluye del presente análisis porque no cumple con el criterio de representatividad temporal del 75% (tiene cobertura temporal de 36%).

El comportamiento del contaminante en el transcurso de los días de la semana se muestra en la Figura 3-22. Se considera únicamente la estación Kennedy en el análisis histórico para aumentar la confiabilidad de las intercomparaciones, lo que se diferencia del informe del segundo trimestre del año anterior, que incluyó también el análisis de Parque Simón Bolívar. En comparación con el segundo trimestre de 2012, los valores de concentración aumentaron en todos los días de la semana. Se observan aumentos notables los martes, jueves y sábados. La dispersión de los datos se redujo todos los días, excepto el jueves, sábado y domingo. Miércoles y viernes registran 4 datos atípicos en total. Se observa también que para el presente trimestre, los días martes y jueves presentan la mayor dispersión de los datos. La simetría de los *boxplot* varía dependiendo de los días de la semana.

La Tabla 3-8 contiene la concentración media de PM_{2.5} en la estación Kennedy por día de la semana para los segundos trimestres de los últimos 5 años. En comparación con el segundo trimestre de 2012, en el presente trimestre la concentración promedio es menor para los días lunes y viernes, y mayor para los demás días. El promedio trimestral del presente periodo fue 26 µg/m³ valor que aumentó en comparación con el mismo periodo del año 2012 (24 µg/m³). Aun así, la concentración continua siendo menor en comparación con los años 2010 y 2011.

Para el segundo trimestre de 2013, los días domingo y lunes registran las menores concentraciones promedio con $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambos días mientras que durante el primer trimestre de 2013 el menor valor promedio se registró el día domingo con $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los demás días de la semana tienden a mantener una concentración que oscila entre $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto a los demás días de la semana, el día domingo no muestra un descenso tan pronunciado en su concentración de $\text{PM}_{2.5}$, en comparación con el descenso observado para PM_{10} . Sin embargo, aún se evidencia la reducción en las actividades relacionadas con el tráfico vehicular. Es posible que el lunes, al menos durante las primeras horas, esté afectado por la contaminación remanente del día domingo, razón por la que sus niveles de $\text{PM}_{2.5}$ son menores en comparación con otros días hábiles. También es importante considerar la influencia de los días feriados.

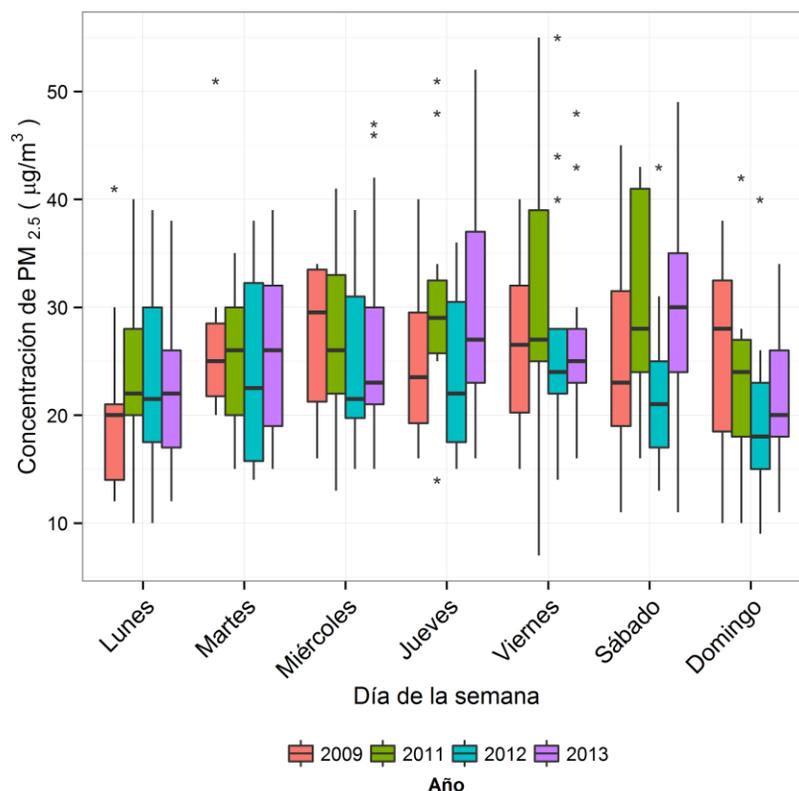


Figura 3-22. Gráfico de *boxplot* para $\text{PM}_{2.5}$ por días de la semana (sobre base 24 horas) comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.

La Figura 3-23 es un gráfico de *boxplot* histórico en función de los meses de abril, mayo y junio. Al igual que la Figura 3-22 solamente se incluirá el análisis de la estación Kennedy. Se observa, de forma similar al comportamiento de PM_{10} , que las mayores concentraciones medias se registraron en abril y las menores en mayo y junio. En el segundo trimestre de 2013 todos los meses aumentaron sus niveles de concentración en comparación con el mismo periodo del año 2012. La dispersión de datos también aumentó, especialmente para el mes de abril. En total se registraron 3 datos atípicos en los meses de mayo y junio. Con excepción de abril, las concentraciones disminuyeron en comparación con el segundo trimestre de 2011.

El resumen de concentraciones medias para los meses de abril, mayo y junio de los últimos 5 años se muestra en la Tabla 3-9. En comparación con el segundo trimestre de 2012, todos los meses aumentaron su concentración media. Específicamente en $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para abril y junio y en $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para mayo. Esta tendencia es coincidente con lo observado en el *boxplot* correspondiente. Junio registra la menor concentración promedio con $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que abril la mayor con $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con excepción de este mes, los valores promedio son más bajos en comparación con el segundo trimestre del año 2011.

Tabla 3-8. Concentración promedio de $\text{PM}_{2.5}$ por día de la semana en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Kennedy.

Promedio del contaminante $\text{PM}_{2.5}$ por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Día	2009	2011	2012	2013
Lunes	21	23	24	22
Martes	28	25	24	25
Miércoles	27	27	25	27
Jueves	25	31	24	30
Viernes	27	31	28	27
Sábado	25	30	22	31
Domingo	25	23	20	22

En comparación con el primer trimestre de 2013, la concentración media es menor para los meses de mayo y junio.

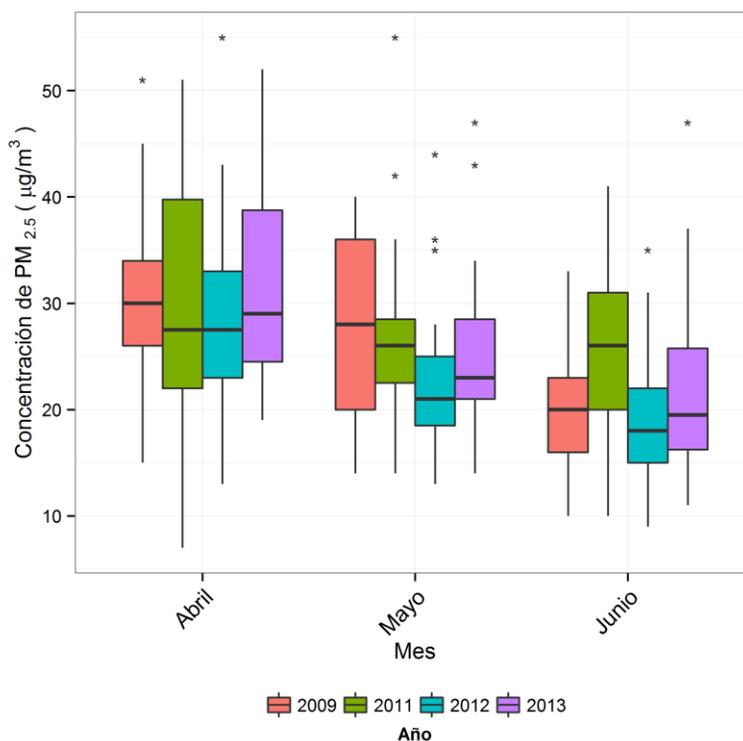


Figura 3-23. Gráfico de *boxplot* para $\text{PM}_{2.5}$ por meses (desde base 24 horas), comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de los últimos 5 años.

Tabla 3-9. Concentración promedio de PM_{2.5} por mes en el segundo trimestre de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Kennedy.

Mes	Promedio del contaminante PM _{2.5} por mes del trimestre en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2009	2011	2012	2013
Abril		29	29	32
Mayo		26	23	25
Junio	20	25	19	22

La Figura 3-24 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de la concentración media de PM_{2.5} en función de la estación de monitoreo. Debido a que solamente se tuvo en cuenta un receptor (Kennedy), estos promedios corresponden a la evolución histórica general de este contaminante para la RMCAB. La mediana tiende a estar hacia los valores más bajos lo que indica que los datos por encima de esta tienden a tener mayor dispersión. Los años 2012 y 2013 tienden a presentar mayor variabilidad en sus valores. El número de datos atípicos aumentó respecto al mismo periodo del año 2012. La Tabla 3-10 muestra el promedio global de PM_{2.5} por años. Se excluye el 2010 por no cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%. Los menores valores de concentración promedio se registraron en los años 2009 y 2012 mientras que el máximo valor se encuentra en el 2011. Es importante destacar que las diferencias de valores entre los años son leves.

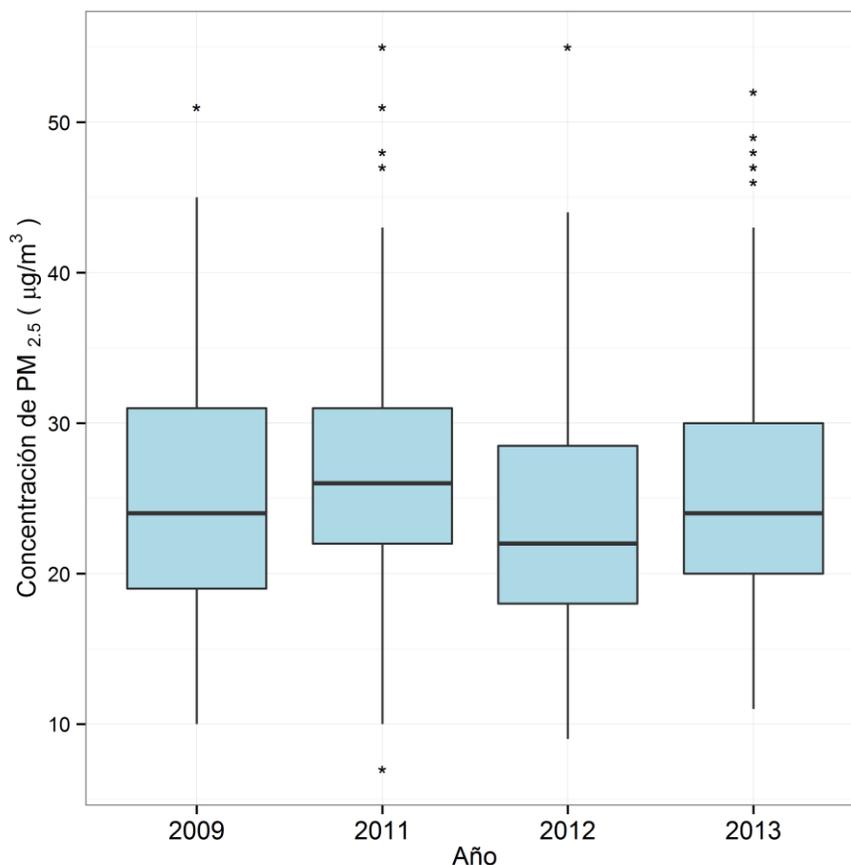


Figura 3-24. Gráfico de *boxplot* para PM_{2.5} por estaciones (desde base 24 horas), comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Este gráfico también corresponde a la tendencia generalizada histórica ya que solamente registra una estación (Kennedy).

Tabla 3-10. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM_{2.5} en promedios 24 horas para los segundos trimestres de 2009, 2011, 2012 y 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.

Año	Concentración media de PM _{2.5} en µg/m ³
2009	25
2011	27
2012	24
2013	26

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El SO₂, contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

El NO₂ es un gas de color pardo rojizo cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a los procesos de combustión a altas temperaturas en vehículos (fuentes móviles) e industrias (fuentes fijas). El NO₂ participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono (O₃) y material particulado secundario, afectando pulmones y vías respiratorias.

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 O₃ es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmósfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la luz solar.

3.2.1. Comportamiento de la concentración de O₃

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear el ozono durante el segundo trimestre de 2013, ubicados según se reporta en la Tabla 1-2. En 2008 se instalaron siete (7) nuevos equipos en las estaciones Usaquén, Carvajal, Parque Simón Bolívar, Guaymaral, Chico Lago, Puente Aranda y Fontibón. En estas estaciones no se medían concentraciones de este contaminante antes del proceso de modernización.

Comportamiento de los promedios de O₃ en base horaria

Durante el segundo trimestre de 2013 se calcularon 17683 (diecisiete mil seiscientos ochenta y tres) promedios horarios de O₃, lo que representa un porcentaje de recuperación de los datos del 74%. Las medias y promedios máximos obtenidos en cada una de las estaciones se presentan en la Tabla 3-11, junto con el día y hora en que ocurrieron. Las estaciones que presentaron excedencias de la norma horaria (61 ppb o 120 µg/m³) fueron Guaymaral, Suba, Parque Simón Bolívar y Fontibón. El total de promedios que exceden la norma corresponden al 0,06% del total calculado, es decir 10 registros horarios.

En la Tabla 3-11 se observa que en abril se presentan las máximas concentraciones de ozono en la ciudad, especialmente el día 06 del mes, entre la 01:00 p.m. y las 03:00 p.m. Al igual que el primer trimestre del presente año, Guaymaral reporta el máximo valor de la RMCAB con un valor de 77 ppb o 151 µg/m³. Este comportamiento puede atribuirse a que la estación se ubica en un terreno suburbano, permitiendo mayor ingreso de radiación, como se evidencia en la sección meteorológica, un hecho que cataliza las reacciones fotoquímicas. Adicionalmente, el mes de abril registra una radiación más alta que mayo pero menor a junio.

El día 04 de abril dos estaciones coinciden en su reporte de máxima concentración siendo Suba y Guaymaral a las 04:00 p.m. y 05:00 p.m., respectivamente. Estas estaciones se ubican en el norte de la ciudad. Registrar valores pico de ozono en dichas horas es inusual ya que las concentraciones máximas de este contaminante se registran en horas cercanas al mediodía, cuando la radiación solar es máxima.

El valor promedio más alto se registra en Guaymaral con 10 ppb o 21 µg/m³. Para este trimestre 6 estaciones fueron descartadas en el cálculo de promedios por no cumplir con el criterio de representatividad temporal del 75% del total de datos posibles a registrar. Las Ferias presentó un porcentaje de 27%, inusualmente bajo si se compara con el primer trimestre del mismo año. Al igual que en el primer trimestre de 2013, Puente Aranda registra la concentración promedio más baja con 6 ppb o 13 µg/m³. La concentración media horaria y el número de promedios que excedieron la norma en cada estación se presenta gráficamente en la Figura 3-25.

En el segundo trimestre de 2012 no se registraron excedencias mientras que en el mismo periodo del año 2013 se registraron 10, sin embargo, el número se redujo en comparación con el primer trimestre de 2013, que presentó 18 excedencias.

Tabla 3-11. Resumen descriptivo de datos de O₃ por estación para el segundo trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con los límites establecidos en la normatividad nacional.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 61 ppb o 120 µg/m ³	Promedio Máximo [ppb]	Promedio Máximo [µg/m ³]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	99%	4	77	151	04/04/2013 17:00
Usaquén	72%	0	36	71	29/06/2013 17:00
Suba	55%	1	63	123	04/04/2013 16:00
Las Ferias	27%	0	45	88	02/04/2013 14:00
Parque Simón Bolívar	58%	3	77	152	06/04/2013 14:00
Sagrado Corazón	71%	0	49	97	06/04/2013 14:00
Fontibón	92%	2	74	144	06/04/2013 14:00
Puente Aranda	76%	0	39	76	29/06/2013 15:00
Carvajal	100%	0	50	98	06/04/2013 13:00
Tunal	94%	0	53	103	06/04/2013 13:00
San Cristóbal	65%	0	46	90	06/04/2013 15:00

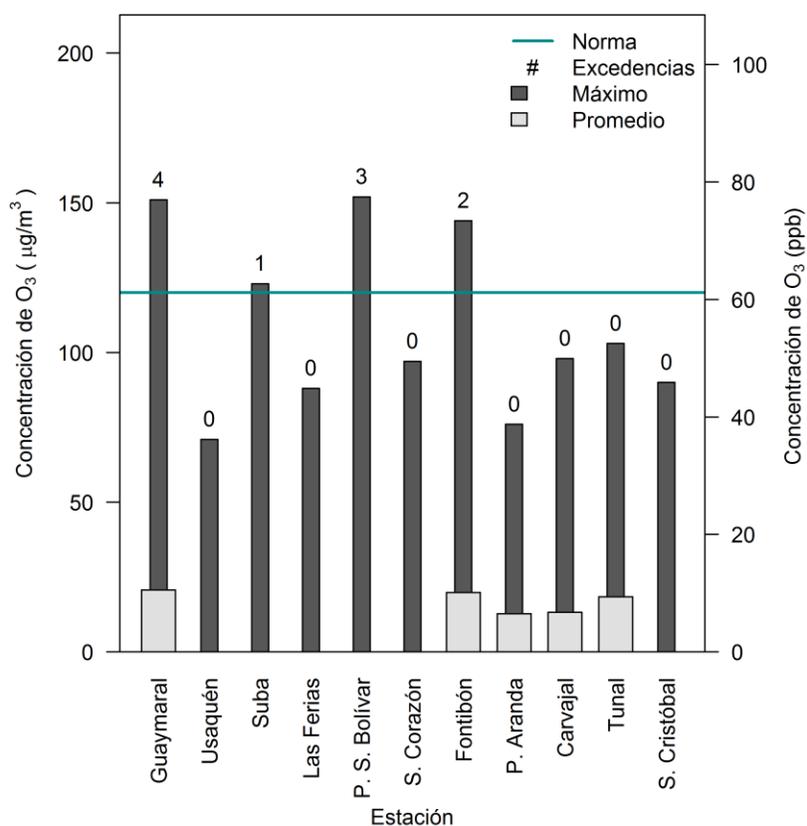


Figura 3-25. Concentración media y máxima horaria de O₃ por estación durante el segundo trimestre de 2013.

Comportamiento de los promedios de O₃ en promedios móviles de 8 horas

Para reportar la concentración de O₃ en un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 17196 (diecisiete mil ciento noventa y seis) promedios que representan el 72% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante durante el trimestre del año. Se obtuvo el 0,2% de los datos por encima de la norma (80 µg/m³ o 41 ppb). Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrió el máximo se presentan en la Tabla 3-12. En la Figura 3-26 se muestran las concentraciones máximas y medias en base de 8 horas de O₃, para cada una de las estaciones.

Como se aprecia a partir de la Figura 3-26, el mayor número de excedencias se concentran en el sector norte, occidental y central. En la estación Fontibón se registró el mayor número de excedencias con 13, seguida por Guaymaral y Suba con 8 cada una, y por Parque Simón Bolívar con 5. En total, en el trimestre se presentaron 34 excedencias, la mitad de las presentadas en el primer trimestre de 2013.

Al comparar con el nivel recomendado por la EPA (59 ppb o 116 µg/m³, nivel en el que no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena”) no se observan excedencias por parte de los promedios en base de 8 horas durante el presente trimestre.

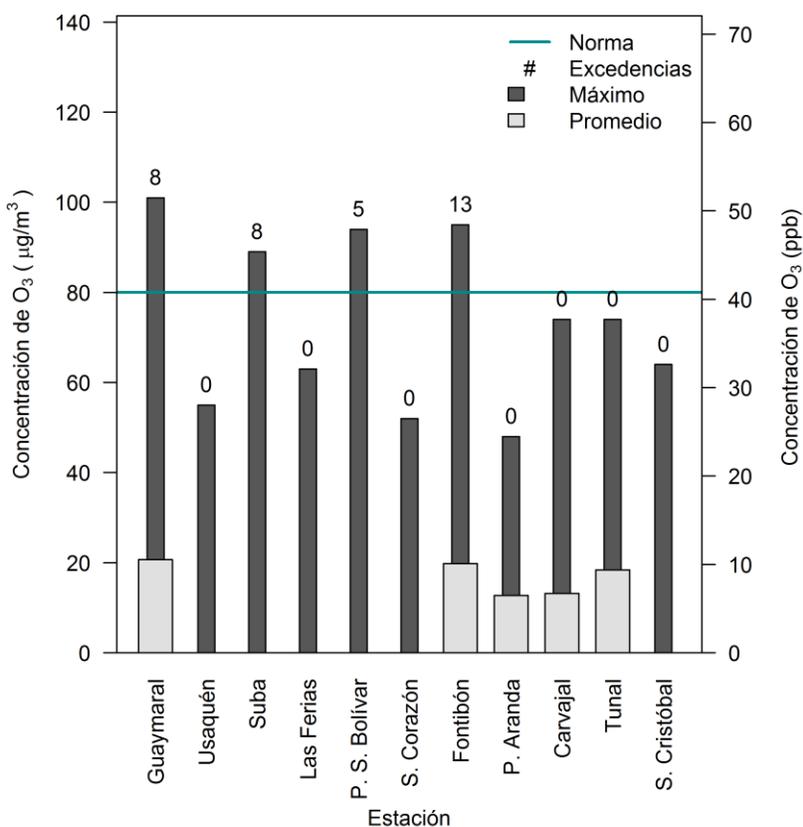


Figura 3-26. Concentración media, concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base 8 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.

Las horas de concentración máxima sugieren que los máximos niveles de O₃ en base de 8 horas ocurren entre las 05:00 p.m. y las 07:00 p.m., lo cual no es concordante con la realidad teniendo en cuenta que una mayor concentración de ozono está asociada a alta radiación solar (ver sección de meteorología). 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 está incluido el medio día que registra los niveles más altos de esta variable.

Tabla 3-12. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de los promedios máximos de O₃ en base 8 horas durante el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (octo horaria) 41 ppb	Excedencias norma EPA (octohoraria) 59 ppb	Máximo [ppb]	Máximo [µg/m ³]	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	99	8	0	51	101	04/04/2013 18:00
Usaquén	72	0	0	28	55	29/06/2013 19:00
Suba	55	8	0	46	89	04/04/2013 19:00
Las Ferias	23	0	0	32	63	30/06/2013 18:00
Parque Simón Bolívar	53	5	0	48	94	06/04/2013 18:00
Sagrado Corazón	63	0	0	27	52	27/04/2013 18:00
Fontibón	92	13	0	48	95	06/04/2013 18:00
Puente Aranda	76	0	0	24	48	27/04/2013 17:00
Carvajal	100	0	0	38	74	06/04/2013 17:00
Tunal	94	0	0	38	74	06/04/2013 17:00
San Cristóbal	60	0	0	33	64	06/04/2013 18:00

La Figura 3-27 es un mapa de Bogotá con la concentración promedio de O₃ durante el segundo trimestre de 2013 donde los datos fueron extendidos mediante interpolación. Se incluye la estación Usaquén para aumentar la cobertura espacial del mapa y teniendo en cuenta que su representatividad temporal es de 72%, valor cercano al criterio de 75%. A pesar de incluir la estación Usaquén, el número de puntos de interpolación es comparativamente bajo. Por este motivo, en la Figura 3-29 se incluye un mapa del error estándar de la interpolación que es una medida de la incertidumbre asociada al método. Como es de esperar, se observa menor incertidumbre en las inmediaciones de las estaciones. Los resultados del método tienen menor confiabilidad en el borde occidental de la ciudad así como en secciones de las localidades de Ciudad Bolívar, Usme y San Cristóbal. Sin embargo, los resultados del centro de la ciudad tienen mayor confiabilidad.

De la Figura 3-27 se observa que las menores concentraciones de ozono están en el sur y en el centro de Bogotá. La estación Guaymaral tiene la concentración promedio más alta, un hecho que concuerda con una mayor radiación solar. En la Figura 3-28, el día de máxima concentración correspondiente al 06 de abril de 2013 a las 06:00 p.m., se observa que la zona occidental de la ciudad fue la más crítica para ese día en términos de concentración, en contraste con el borde oriental donde se encuentra el centro histórico y la zona financiera.

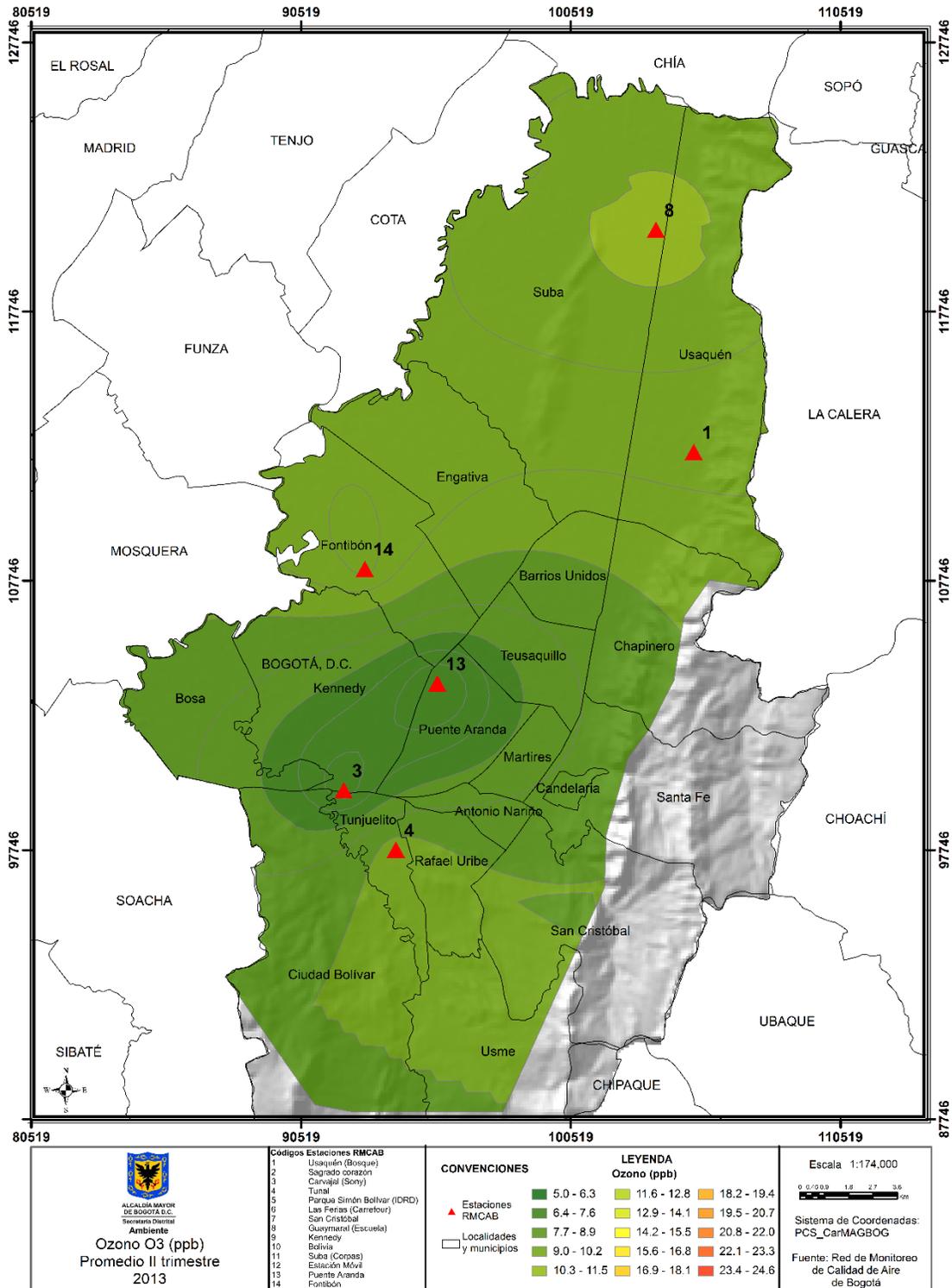


Figura 3-27. Mapa de concentración promedio de O₃ en base de tiempo de 8 horas para el segundo trimestre de 2013.

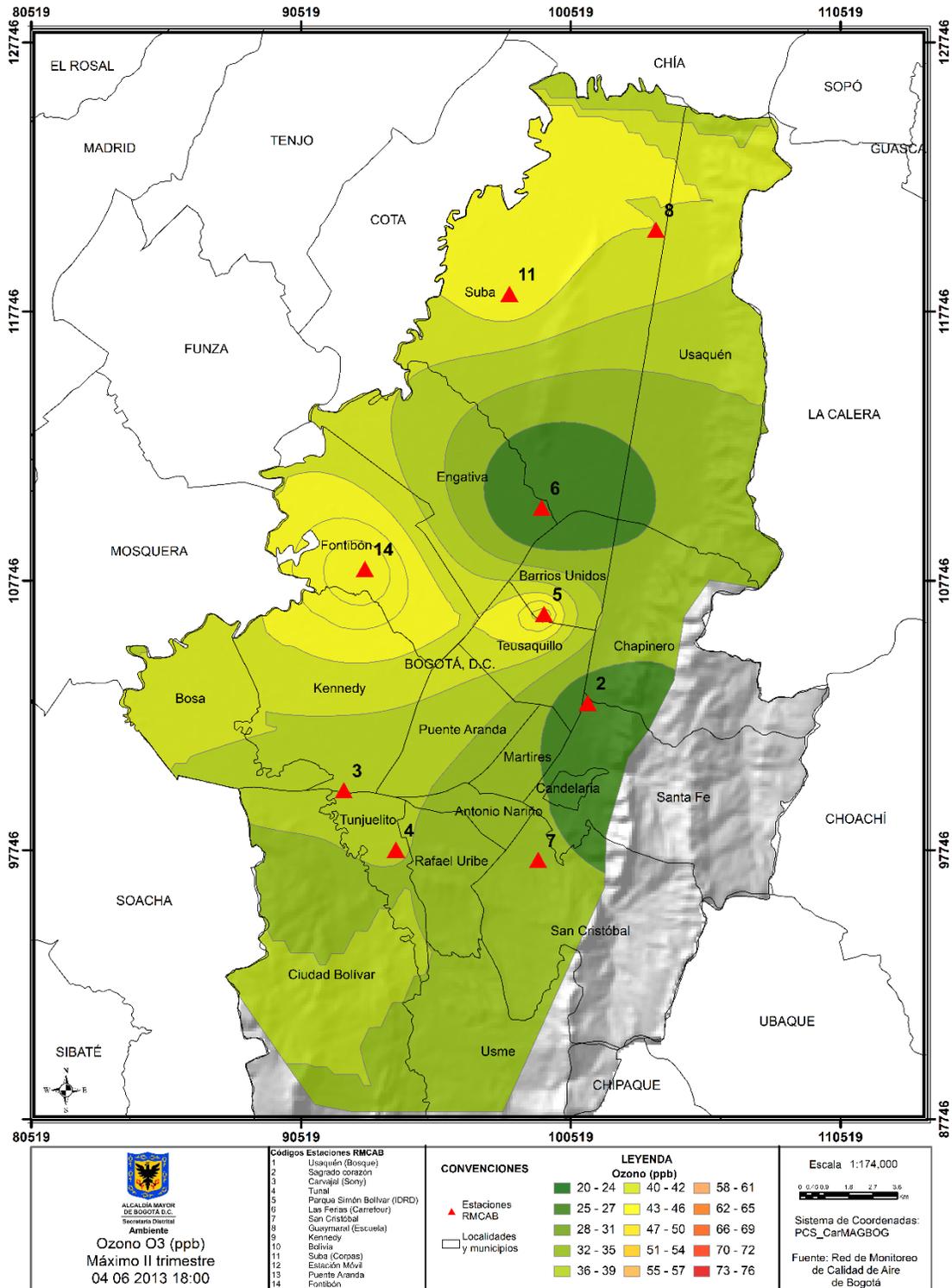


Figura 3-28. Episodio de máxima concentración de ozono para el día 06 de abril de 2013 a las 18:00.

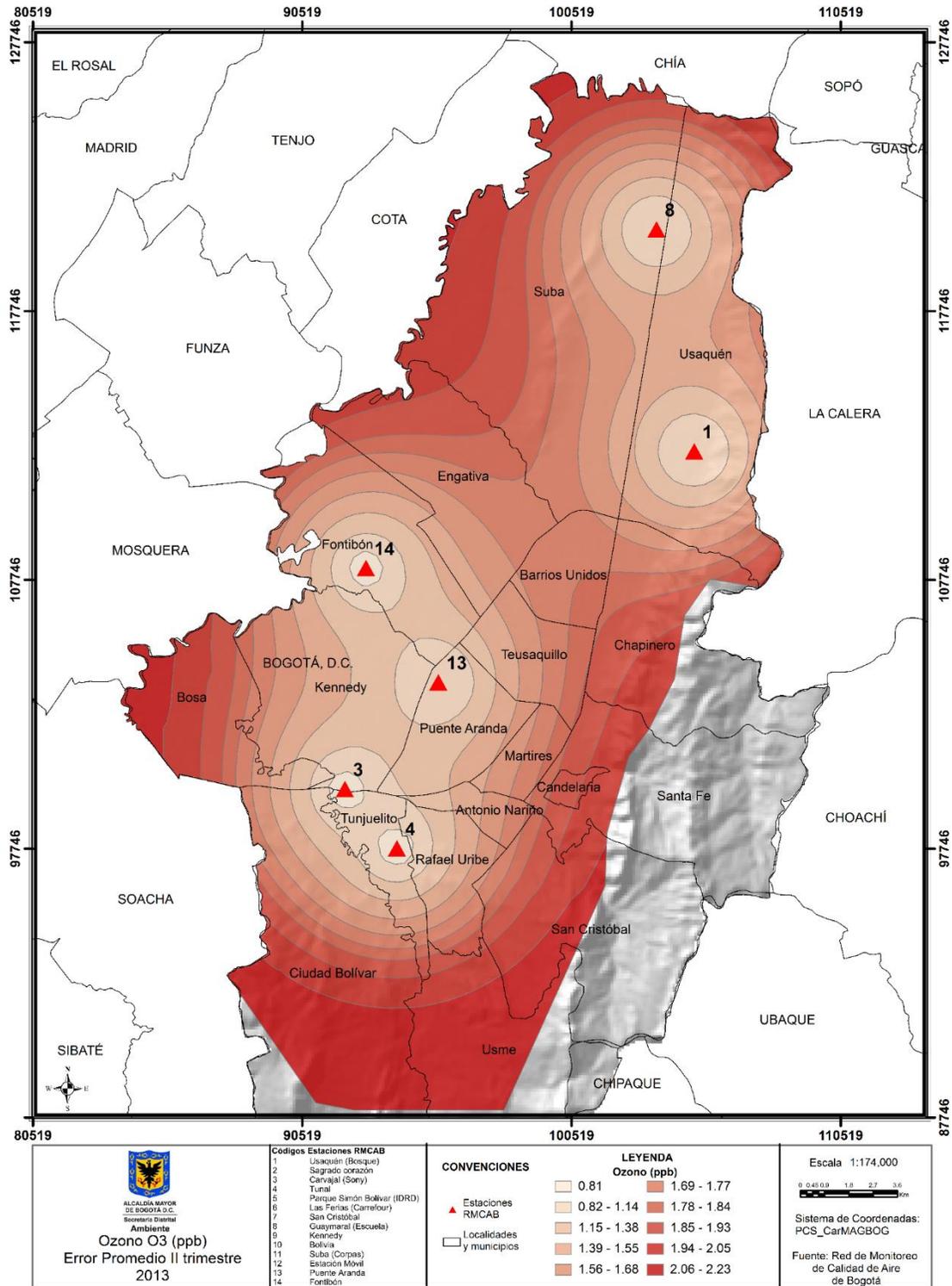


Figura 3-29. Mapa de error estándar para los promedios de ozono de las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013.

Comportamiento histórico del O₃

La Figura 3-30 contiene la tendencia histórica de la concentración de ozono (base de 24 horas) en función de los días de la semana en los segundos trimestres de los años 2009 a 2013. Para el día lunes se observa que los datos tienen la menor dispersión, en contraposición a los demás días y a los días lunes de los años previos. Por el contrario, el jueves presenta la mayor dispersión de datos. Al realizar la comparación con el segundo trimestre del 2012, se observa que la concentración disminuyó los días martes, miércoles y viernes. La cantidad de datos atípicos tiende a mantenerse constante. El año 2009 registra los mayores niveles de concentración lo cual se asocia posiblemente al cambio de equipos de medición de ozono, en el marco del proceso de modernización de la RMCAB. El año 2010 registra datos atípicos inusualmente altos.

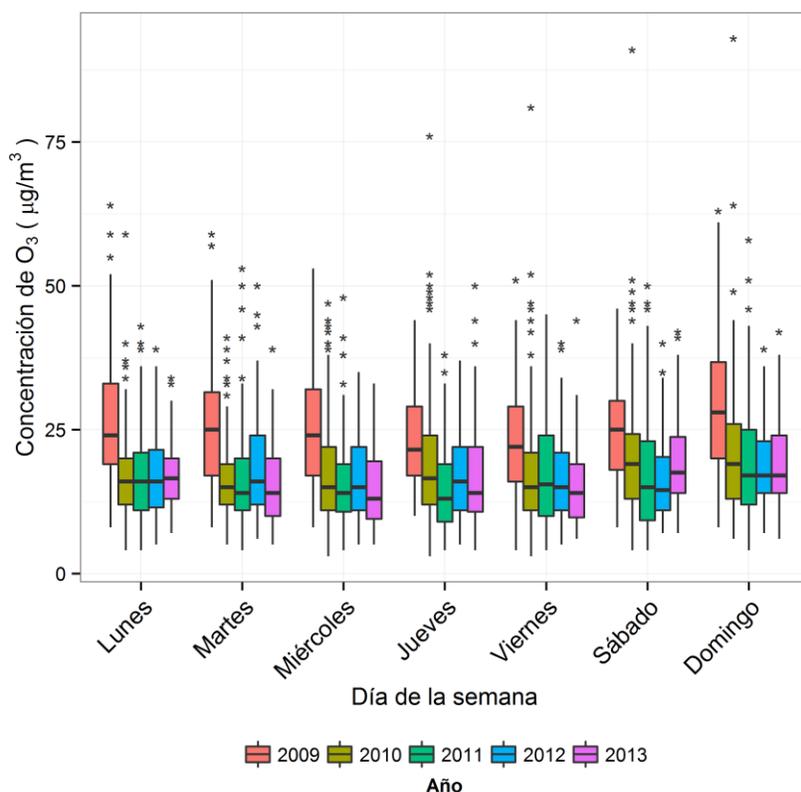


Figura 3-30. Gráfico de *boxplot* para O₃ 24 horas por días de la semana, comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

La Figura 3-31 muestra el comportamiento de los promedios diarios de concentración de ozono en función de los meses de abril, mayo y junio para los últimos 5 años. En el segundo trimestre de 2013, el mes de abril registra la dispersión más alta, en comparación a los otros dos meses, en los cuales ésta se ha reducido con respecto al mismo periodo del año 2012. De nuevo el año 2009 registra las concentraciones más altas con una tendencia menos marcada en junio. Los datos atípicos más altos e inusuales encuentran en abril de 2010. Se observa en general una simetría con respecto a la mediana.

Abril es el único mes que registra un aumento de sus niveles de concentración en comparación con el mismo periodo del año 2012. Por esta razón, los niveles de ozono se redujeron en un nivel menos notable, en términos generales.

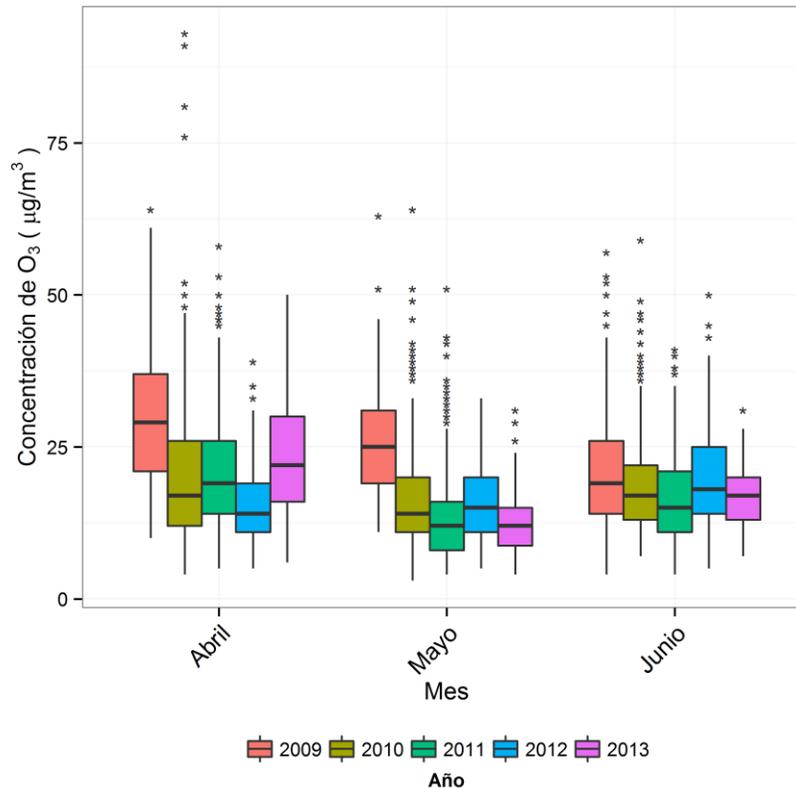


Figura 3-31. Gráfico de *boxplot* para O₃ promedio mensual (desde base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con los mismos periodos de años anteriores.

La Figura 3-32 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones promedio de ozono (en base de 24 horas) en función de las estaciones de monitoreo. Usaquén y Suba históricamente han registrado las mayores concentraciones de ozono. Entre el segundo trimestre de 2010 y el segundo trimestre de 2013, Guaymaral ha aumentado su concentración de forma progresiva.

Los menores niveles de ozono se encuentran en Carvajal y Tunal. Sin embargo, esta última estación presentó un aumento drástico en el año 2013. Carvajal se caracteriza por presentar las mayores concentraciones de material particulado, un hecho que contrasta con las tendencias para el ozono. Con excepción de Puente Aranda, todas las estaciones aumentaron su concentración con respecto al segundo trimestre de 2012. Es importante destacar que solamente se incluyen aquellas que cumplen con el criterio de representatividad temporal. Guaymaral registra la mayor concentración promedio del segundo trimestre de 2013. En general, las estaciones registran valores promedio más bajos respecto al mismo trimestre de 2009. La dispersión de datos para este periodo es mayor que la correspondiente a 2012 y comparable con 2011.

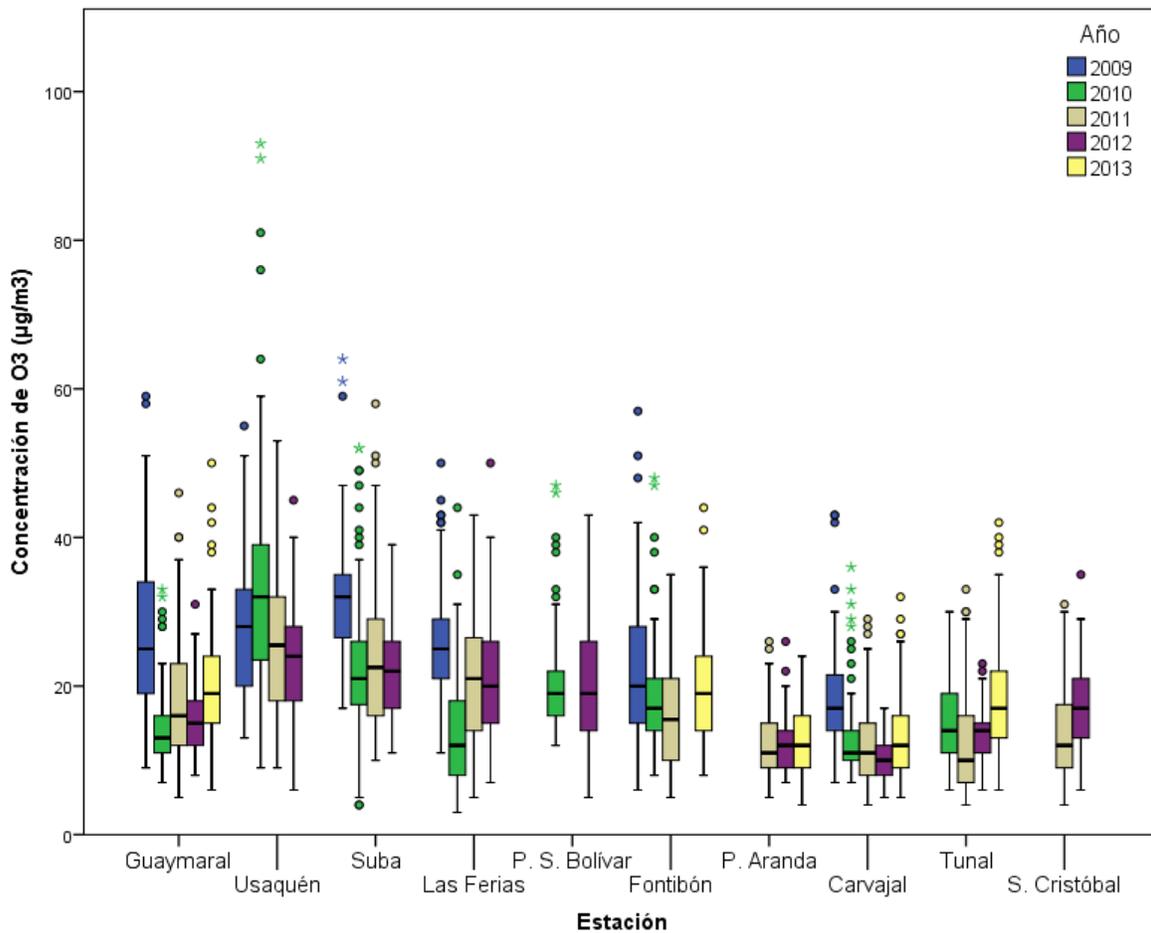


Figura 3-32. Gráfico de *boxplot* de O₃ en función de las estaciones para los segundos trimestres de los últimos 5 años (desde base diaria).

El resumen general del comportamiento de ozono de los segundos trimestres desde 2009 hasta 2013 se presenta en la Figura 3-33. La dispersión de datos, los niveles de concentración y la cantidad de datos atípicos del segundo trimestre de 2013 es comparable con las características asociadas al mismo periodo de 2012. Se observa que, a partir del año 2010 el ozono ha tendido a mantenerse constante en los meses de abril, mayo y junio. De forma concordante a las gráficas previas, el año 2009 registra notablemente mayores concentraciones, como se ha mencionado reiteradamente.

La Tabla 3-13 es un resumen estadístico descriptivo de las concentraciones de ozono en los segundos trimestres de los últimos 5 años, en base horaria. No se presentan resultados en base diaria al no existir normatividad correspondiente.

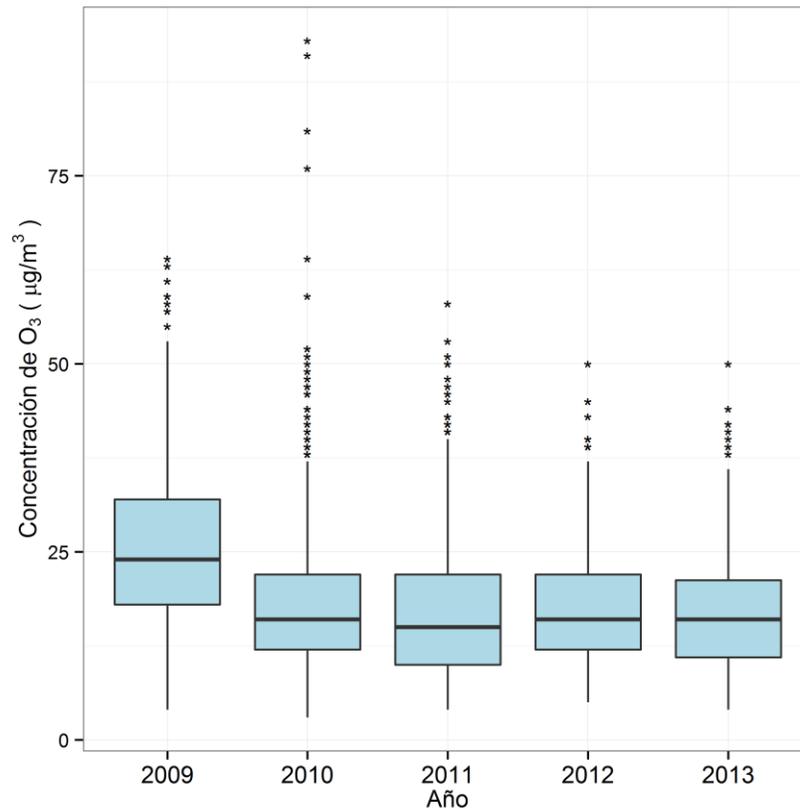


Figura 3-33. Gráfico de *boxplot* de O₃ con el comportamiento histórico de los segundos trimestres de los últimos 5 años. Base de 24 horas.

Tabla 3-13. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O₃ en promedios horarios durante los segundos trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de O ₃			
	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Mínimo (ppb)	Mínimo (µg/m ³)
2009	107	210	0	0
2010	105	206	0	0
2011	77	152	0	0
2012	56	110	0	0
2013	77	152	0	0

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO₂

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO₂ para el segundo trimestre de 2013 a partir de los datos obtenidos en las 7 estaciones que se presentan en la Tabla 1-2. Durante el año 2008 se adquirieron cinco analizadores nuevos instalados en las estaciones Carvajal, Tunal, Guaymaral, Puente Aranda y Fontibón. En el año 2009 se instalaron equipos marca THERMO en las estaciones Suba y Parque Simón Bolívar. En marzo de 2010 se inicia registro en la estación Kennedy.

Comportamiento de los promedios de NO₂ en base horaria

Durante el periodo analizado se obtuvieron 9697 (nueve mil seiscientos noventa y siete) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal del 63%. No se incluye la estación Carvajal ya que el analizador correspondiente requiere de estudios de intercomparabilidad de datos. Las estaciones Guaymaral, Suba y Las Ferias se descartan para el cálculo de promedios al presentar un porcentaje de representatividad temporal menor a 75%. La Figura 3-34 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO₂, en base de tiempo de una hora. Como se puede observar, no se registraron promedios horarios superiores a la norma (106 ppb o 200 µg/m³). Los máximos para cada estación tampoco superaron el límite normativo. Igualmente, no se superó el valor del 75% de la norma, pero sí del 50% (53 ppb o 100 µg/m³) en las estaciones Puente Aranda (7 excedencias) y Tunal (6 excedencias).

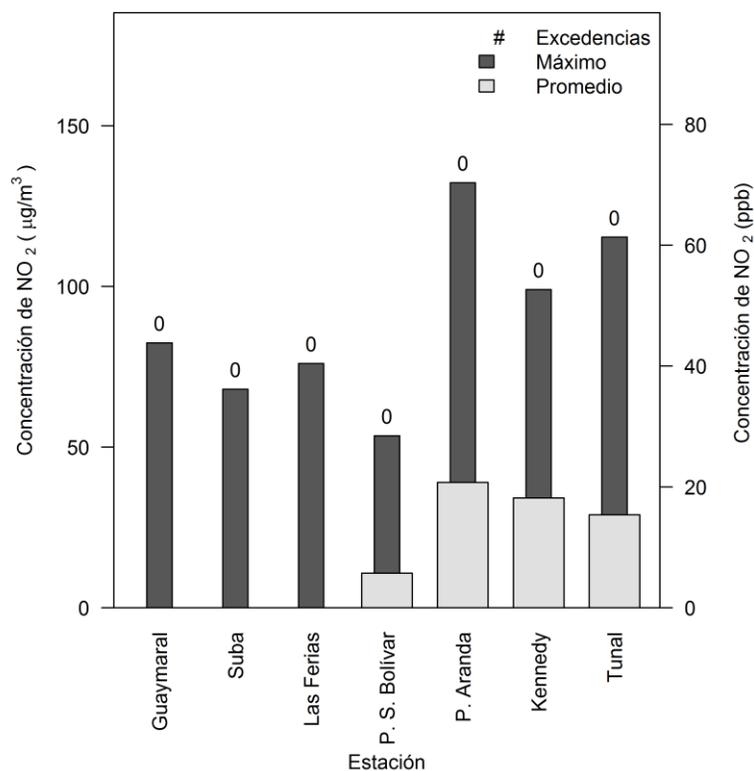


Figura 3-34. Concentración horaria de NO₂ por estación durante el segundo trimestre de 2013.

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 3-14.

Se alcanza la máxima concentración en la estación Puente Aranda con 70 ppb o 132 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 29 de mayo de 2013 a las 11:00 a.m. La mayoría de los máximos se presentan en el mes de abril. Como dato adicional, en el segundo trimestre del año 2012 se alcanzó un máximo de 66 ppb o 124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Las Ferias.

Tabla 3-14. Resumen de datos horarios de NO_2 por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppb]	Máximo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	62%	44	82	26/04/2013 19:00
Suba	23%	36	68	19/04/2013 15:00
Las Ferias	7%	40	76	04/04/2013 20:00
Parque Simón Bolívar	79%	28	54	01/06/2013 10:00
Puente Aranda	96%	70	132	29/05/2013 11:00
Kennedy	85%	53	99	27/04/2013 09:00
Tunal	92%	61	115	27/04/2013 09:00

Comportamiento de los promedios diarios de NO_2

En lo referente al segundo trimestre de 2013, se calcularon 387 (trescientos ochenta y siete) promedios diarios de NO_2 , cuya representatividad temporal corresponde al 61% del total de datos posibles. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para 24 horas (80 ppb o 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) como se observa en la Figura 3-35. Tampoco hubo excedencias de los valores correspondientes al 50% y al 75% de la norma.

Teniendo en cuenta el criterio de representatividad temporal, se descartan para el cálculo de promedios trimestrales Guaymaral (54%), Suba (19%), Las Ferias (5%) y Parque Simón Bolívar (74%). En la Tabla 3-15 se reportan porcentajes de datos válidos, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. El evento de máxima concentración se reportó en Puente Aranda con 35 ppb o 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 19 de abril de 2013 en Puente Aranda. Para ese día otras tres estaciones registraron sus eventos de concentración máxima (Parque Simón Bolívar, Kennedy y Suba). Dada la distancia espacial entre estas estaciones, se puede afirmar que el 19 de abril se destacó por ser un episodio generalizado de altas concentraciones en la ciudad de Bogotá. Con excepción de Tunal, todas las concentraciones máximas ocurrieron en abril.

En comparación con lo registrado en el segundo trimestre de 2012, se encuentra que los promedios diarios presentes en el mismo periodo del 2013 son superiores en las estaciones Kennedy y Tunal.

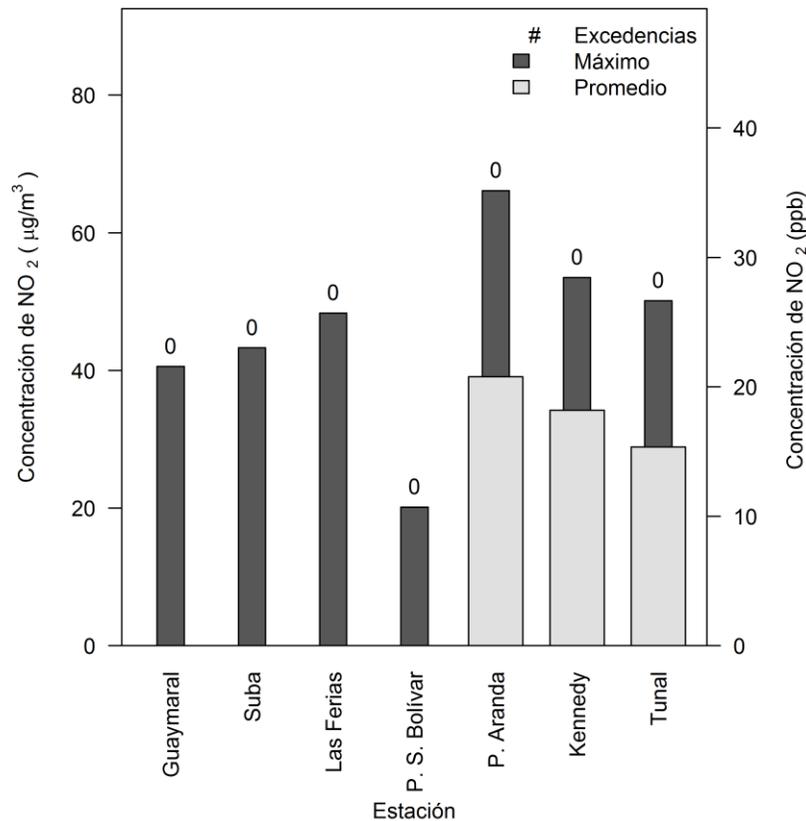


Figura 3-35. Excedencias, concentración máxima y concentración promedio de NO₂ en base diaria por estación para el segundo trimestre de 2013.

Tabla 3-15. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppb]	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	54%	22	41	10/04/2013
Suba	19%	23	43	19/04/2013
Las Ferias	5%	26	48	05/04/2013
Parque Simón Bolívar	74%	11	20	19/04/2013
Puente Aranda	98%	35	66	19/04/2013
Kennedy	86%	28	54	19/04/2013
Tunal	90%	27	50	01/06/2013

Comportamiento histórico de promedios de NO₂. Base de tiempo de 24 horas.

La Figura 3-36 muestra el comportamiento de la concentración de NO₂ en función de los días de la semana para los segundos trimestres de los últimos 5 años. En comparación con el segundo trimestre de 2012, en el presente periodo se observa una disminución de la variabilidad de los datos en todos los días así como un aumento generalizado de los niveles de concentración. Además, no se registran datos atípicos. El comportamiento anterior puede atribuirse a que durante este trimestre solamente fueron consideradas 3 de las 7 estaciones, teniendo en cuenta el criterio de operatividad, y que sus respectivas

concentraciones tienden a ser elevadas en comparación con otras. Como es usual, el día domingo registra los menores niveles de NO₂ así como el día lunes. Los demás días son similares mutuamente.

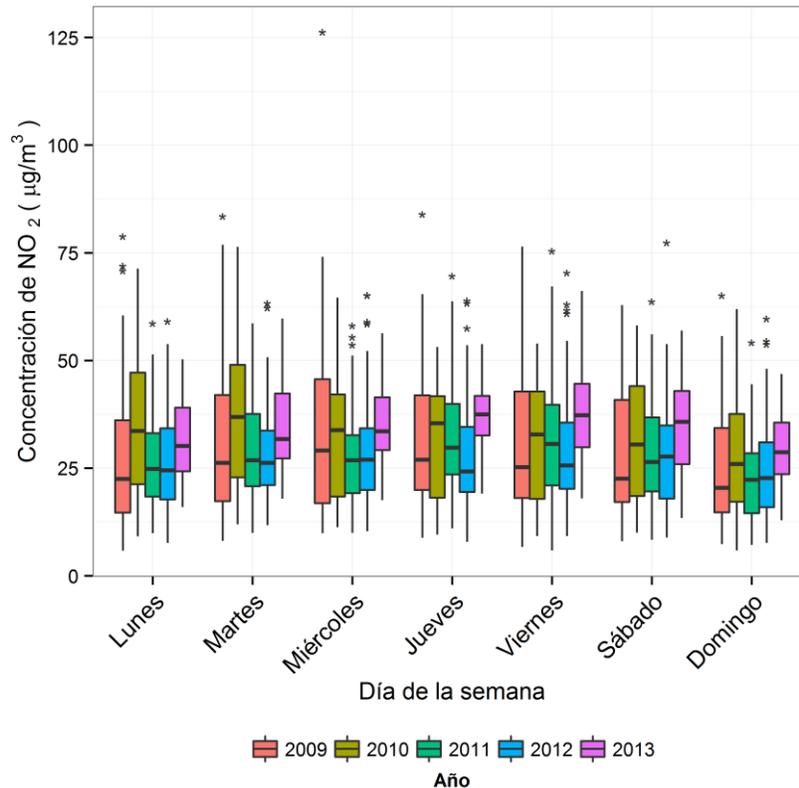


Figura 3-36. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por días de la semana (base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

En la Figura 3-37 se presenta la distribución de los datos función de los meses de abril, mayo y junio entre 2009 y 2013. De forma similar al comportamiento en función de los días de la semana, en el presente periodo se observa una menor dispersión de datos y niveles de concentración más elevados, en comparación con el segundo trimestre de 2012. La cantidad de datos atípicos tiende a mantenerse constante. En abril se registran los valores más altos de concentración y en junio los menores.

La Figura 3-38 presenta la distribución de las concentraciones de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Se muestran únicamente aquellas estaciones que se encuentran actualmente en operación y que tienen representatividad temporal. En los segundos trimestres de los años 2011, 2012 y 2013 se observa un aumento progresivo de los niveles de concentración de este contaminante para las estaciones Kennedy y Tunal. Puente Aranda mantiene niveles altos de concentración pero menores a los correspondientes al año 2010. La dispersión de los datos es comparable en los diferentes periodos de cada estación, es decir, no hay aumentos o disminuciones.

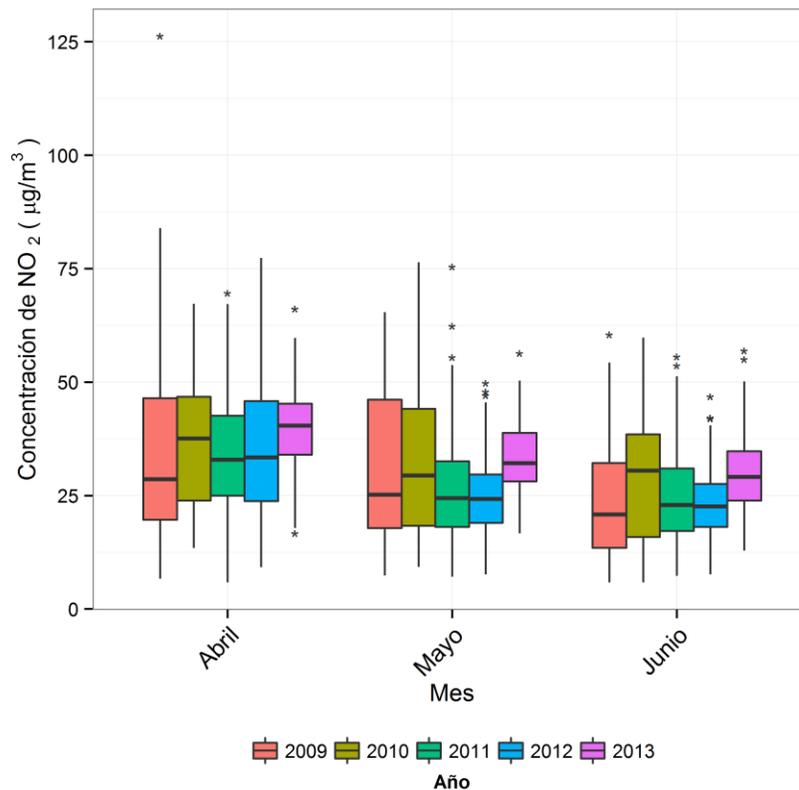


Figura 3-37. Gráfico de *boxplot* para NO₂ en base diaria por meses comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

En la Figura 3-39 se encuentra un gráfico *boxplot* con la distribución general de los datos de los segundos trimestres de los últimos 5 años. En comparación con el segundo trimestre de 2012, la variabilidad disminuyó levemente pero los niveles de concentración tuvieron un aumento significativo. La cantidad de datos atípicos se redujo. Como se mencionó previamente, los niveles de concentración son similares al mismo periodo del año 2010. No hay una simetría clara con respecto a la mediana en los periodos considerados.

La Tabla 3-16 es un resumen de máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ en los segundos trimestres.

Tabla 3-16. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de NO₂ en promedios diarios para los segundos trimestres de los últimos 5 años.

Año	Concentración de NO ₂			
	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Mínimo (ppb)	Mínimo (µg/m ³)
2009	67	126	3	6
2010	41	76	3	6
2011	44	82	3	6
2012	66	124	1	1
2013	35	66	1	3

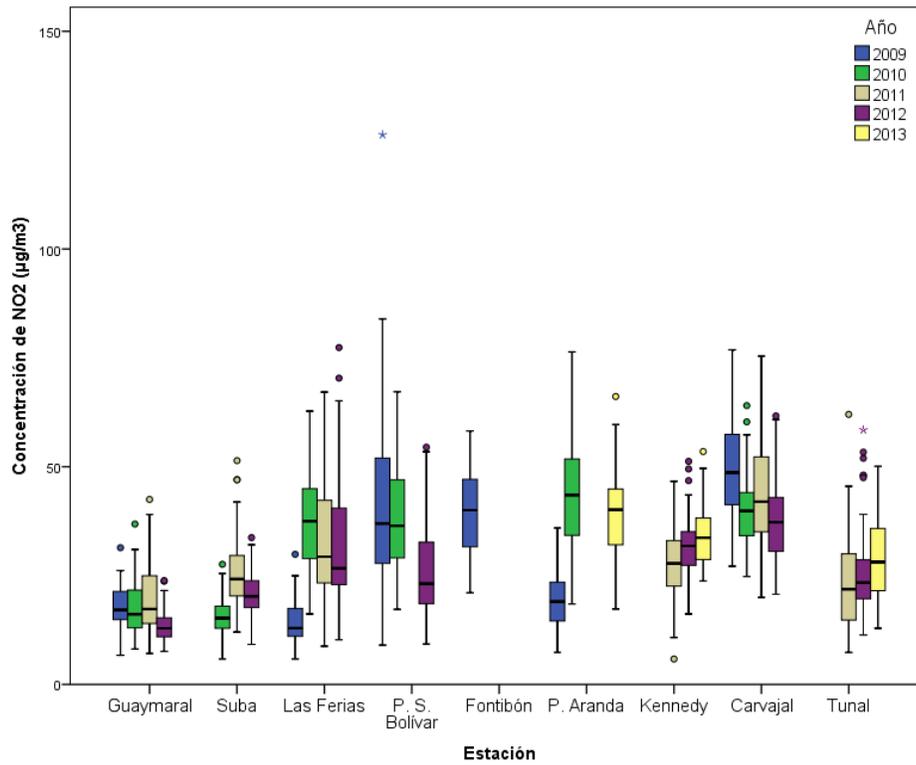


Figura 3-38. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores base diaria).

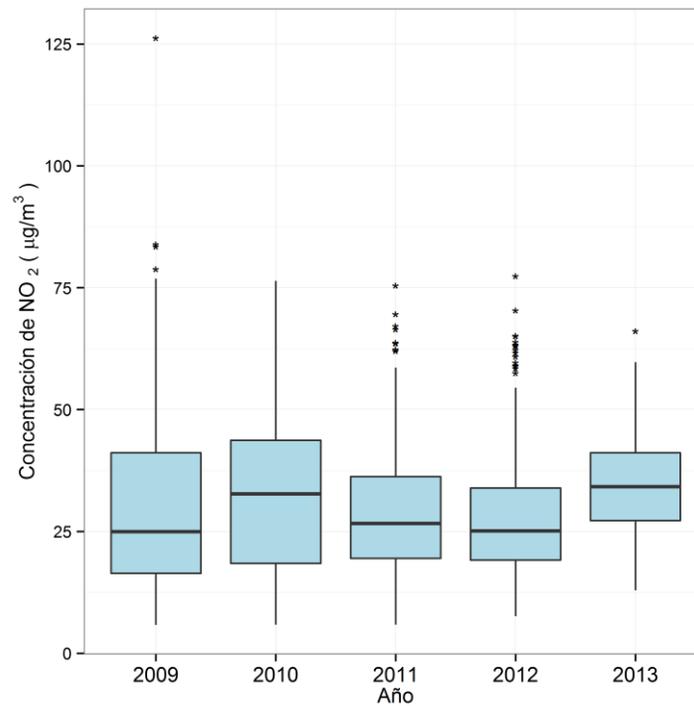


Figura 3-39. Gráfico de *boxplot* para NO₂ 24 horas comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores (base diaria).

3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el segundo trimestre de 2013 se contó con promedios de CO horarios y de ocho horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-2. El índice de captura de datos para este contaminante fue del 75% respecto a lo que se podría obtener si no se presentaran fallas en el proceso de recolección de la información.

Comportamiento de los promedios horarios de monóxido de carbono (CO)

Se obtuvieron 13063 (trece mil sesenta y tres) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre del año 2013. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (35 ppm o 40 mg/m³), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma. En la Tabla 3-17 se presenta, por estación, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Las estaciones Carvajal y Kennedy reportan los promedios más altos en el trimestre, seguido por Puente Aranda, Las Ferias y Parque Simón Bolívar. Las estaciones de Kennedy y Tunal coinciden en presentar el valor máximo de concentración el 06 de abril de 2013 entre las 07:00 a.m. y las 08:00 a.m. Durante ese mismo día se presentó el episodio más crítico de ozono, como se observará en la respectiva sección.

En la Figura 3-40, se observa que en ninguna estación se superó la norma horaria y que, además, la estación Carvajal registró el episodio horario de máxima concentración con 5 ppm o 6 mg/m³ el 08 de mayo a las 01:00. Tunal y San Cristóbal no registran promedio en la Figura 28 porque no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%.

Tabla 3-17. Resumen de datos horarios de CO por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppm]	Máximo [mg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	75%	3,4	3,8	07/05/2013 09:00
Parque Simón Bolívar	95%	4,8	5,5	03/05/2013 20:00
Fontibón	87%	2,7	3,1	14/06/2013 07:00
Puente Aranda	98%	3,7	4,2	04/04/2013 08:00
Kennedy	81%	4,0	4,6	06/04/2013 07:00
Carvajal	97%	5,4	6,1	08/05/2013 01:00
Tunal	49%	2,9	3,3	06/04/2013 08:00
San Cristóbal	17%	4,8	5,5	03/04/2013 09:00

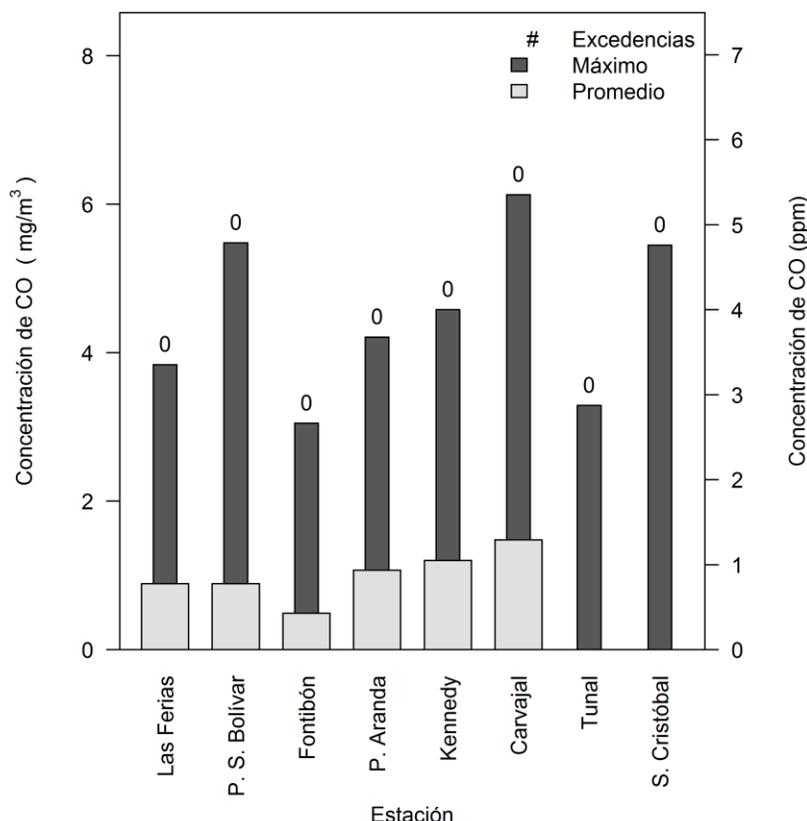


Figura 3-40. Concentraciones máximas y medias horarias de CO durante el segundo trimestre de 2013.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas de CO

Para el segundo trimestre de 2013 se calcularon 12954 (doce mil novecientos cincuenta y cuatro) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 74% de los datos posibles en el periodo. La estación Carvajal registró el máximo episodio de concentración promediada de 8 horas, con 3,6 ppm o 4,1 mg/m³ el 08 de mayo a las 07:00 a.m., seguida por Puente Aranda con 3,0 ppm o 3,5 mg/m³ el 03 de mayo a las 11:00 p.m. (Ver Figura 3-41).

Como sucedió al analizar los promedios horarios de este contaminante, Tunal y San Cristóbal no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%, razón por la que fueron descartadas en el cálculo de promedios. Durante el periodo analizado no se presentaron excedencias a la norma (8,8 ppm o 10 mg/m³).

La Tabla 3-18 presenta un resumen de los datos de CO en función de los promedios móviles en base de 8 horas. Se incluye el porcentaje de datos válidos y la máxima concentración con respectiva fecha y hora de ocurrencia.

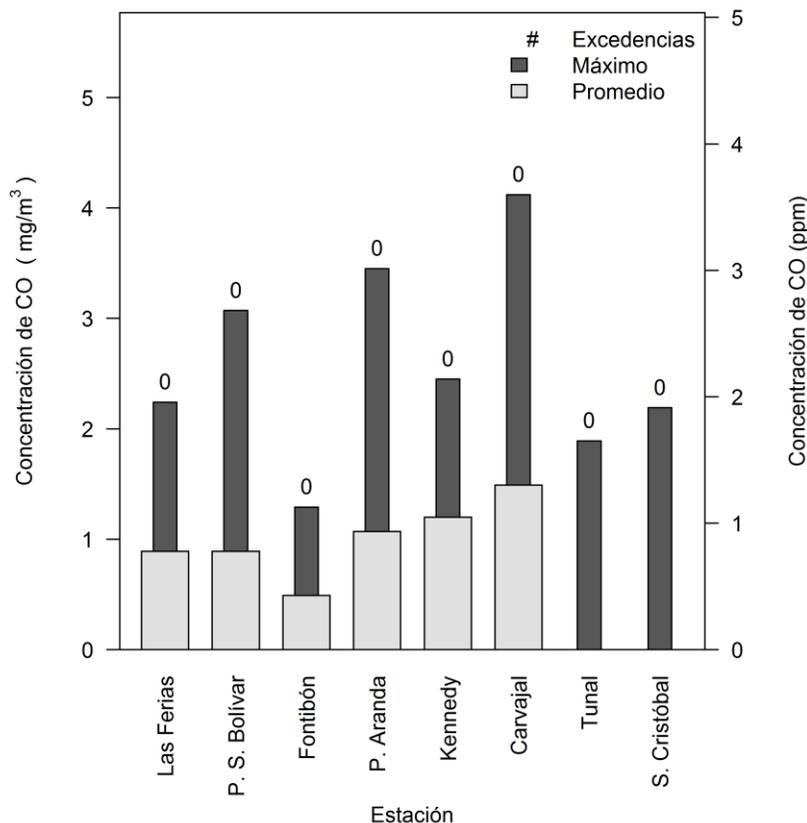


Figura 3-41. Concentración máxima y media de CO para 8 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.

Tabla 3-18. Resumen de datos en base de 8 horas de CO por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppm]	Máximo [mg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	75%	2,0	2,2	07/05/2013 12:00
Parque Simón Bolívar	93%	2,7	3,1	04/05/2013 00:00
Fontibón	86%	1,1	1,3	12/04/2013 09:00
Puente Aranda	98%	3,0	3,5	03/05/2013 23:00
Kennedy	81%	2,1	2,5	06/04/2013 11:00
Carvajal	96%	3,6	4,1	08/05/2013 07:00
Tunal	48%	1,7	1,9	03/05/2013 22:00
San Cristóbal	17%	1,9	2,2	03/04/2013 11:00

Comportamiento histórico de promedios de CO. Base de tiempo de 24 horas.

Para los *boxplot* de tendencias históricas que se presentan a continuación se consideraron promedios de 24 horas. Si bien no existe una norma diaria para este contaminante, los cálculos se desarrollan con el objetivo de visualizar el comportamiento de una forma más clara mediante la suavización de las tendencias y la reducción de datos atípicos.

La Figura 3-42 muestra las tendencias históricas de la concentración de monóxido de carbono en los segundos trimestres de los últimos 5 años en función de los días de la semana. Como es de esperar, el domingo registra los menores niveles de concentración y de dispersión de datos mientras que los días viernes y sábado tienden a mantener concentraciones más altas. Con excepción de la reducción de datos atípicos, los niveles de CO han tendido a permanecer constantes durante los últimos años. A pesar de que el domingo registra las concentraciones más bajas, la diferencia con los demás días no es tan alta si se tienen en cuenta los límites normativos (40 mg/m^3 horario y 10 mg/m^3 en base de ocho horas). Con excepción del sábado y el jueves, todos los días registraron una disminución en su variabilidad de datos.

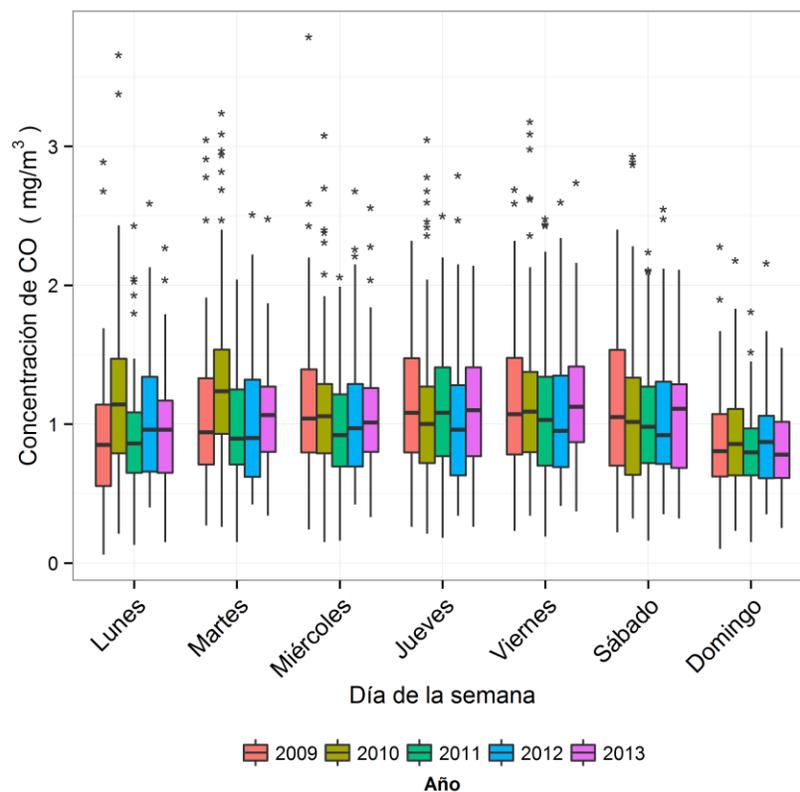


Figura 3-42. Gráfico de *boxplot* para CO 24 en base de horas por días de la semana comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

La Figura 3-43 representa la tendencia de la concentración de CO en función de los meses de abril, mayo y junio con base en promedios de 24 horas. En comparación con el segundo trimestre de 2012, los meses de mayo y junio aumentaron levemente sus niveles de concentración mientras que hubo una disminución en abril. Mayo se destaca por un aumento no despreciable de la dispersión. En general hubo una reducción de la cantidad de datos atípicos.

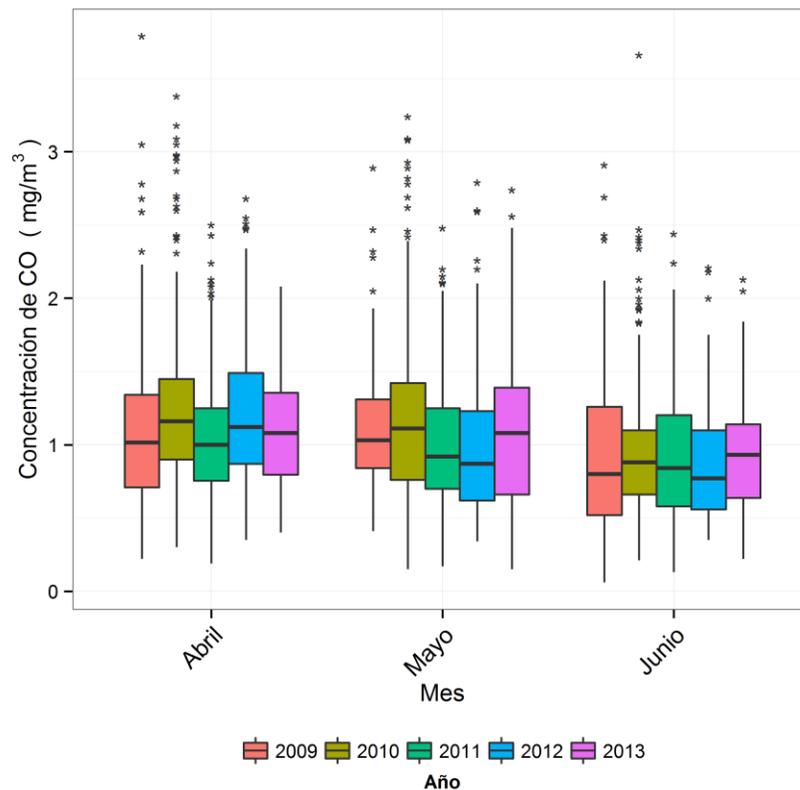


Figura 3-43. Gráfico de *boxplot* para CO 24 horas por meses comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

En la Figura 3-44 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO durante los segundos trimestres de los últimos 5 años y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Por este motivo, Tunal y San Cristóbal no registran diagramas de caja para el segundo trimestre de 2013. La base de tiempo es 24 horas al igual que las dos figuras anteriores. En comparación con el segundo trimestre de 2012 se observan reducciones de los niveles de concentración en Fontibón y Carvajal. Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Puente Aranda y Kennedy aumentaron sus niveles de concentración. Concordantemente con las tendencias observadas previamente, la cantidad de datos atípicos se redujo. Durante los últimos 5 años, Kennedy ha mostrado una tendencia al aumento progresivo de los valores de concentración. Los niveles de concentración de la estación Carvajal son comparativamente altos a pesar de su reducción en el presente trimestre. La variabilidad de los datos no mostró una tendencia definida ya que se observaron tanto aumentos como reducciones de la misma.

La Figura 3-45 muestra el comportamiento generalizado histórico de la concentración media de monóxido de carbono durante los segundos trimestres de los últimos 5 años, con base en promedios de 24 horas. En comparación con el mismo periodo del año 2012, en el segundo trimestre de 2013 se redujo la variabilidad de los datos pero los niveles de concentración aumentaron en comparación con los años 2011 y 2012. La cantidad de datos

atípicos es comparable con la correspondiente a los periodos previos. Las concentraciones de este contaminante son levemente menores si se hace la comparación con el segundo trimestre del año 2010. La dispersión de datos en el segundo trimestre de 2013 es comparable con la correspondiente al año 2011.

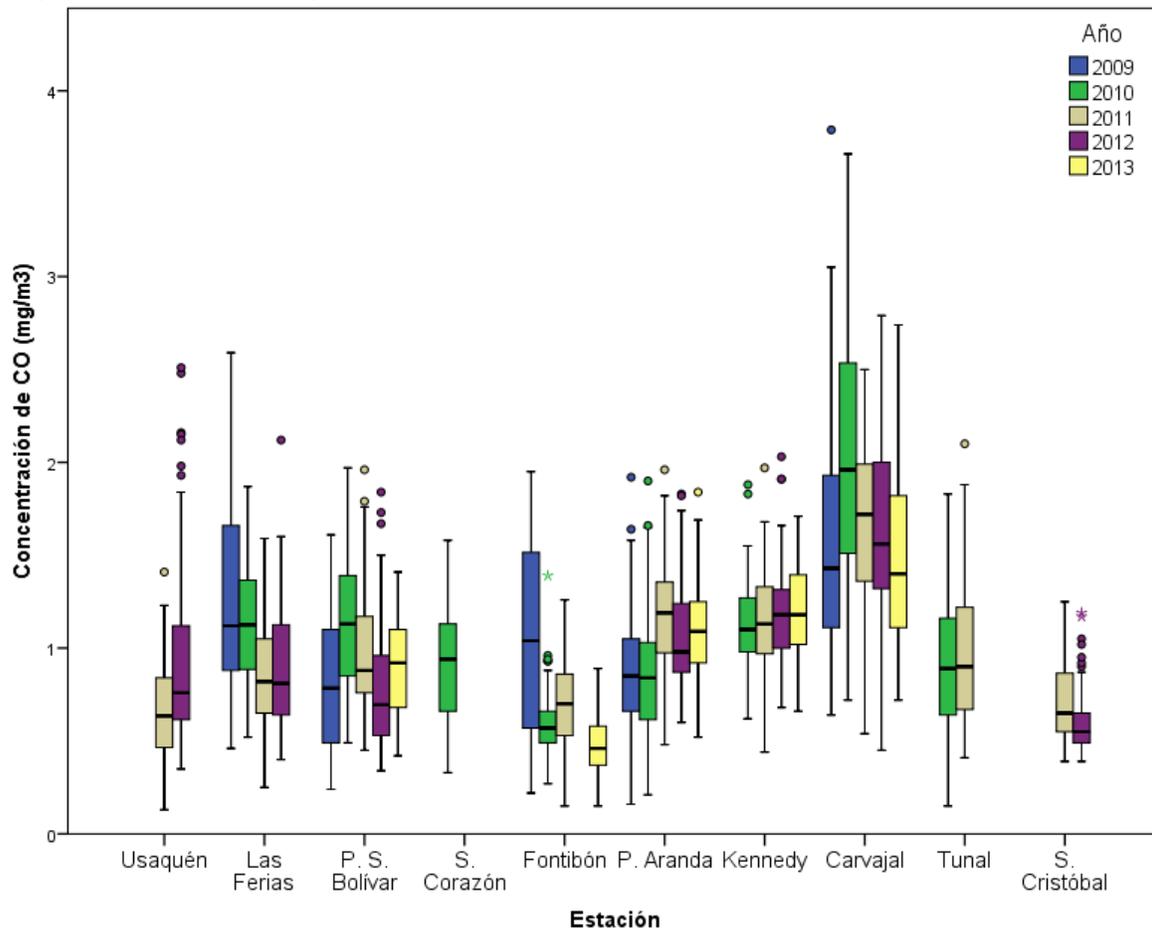


Figura 3-44. Gráfico de *boxplot* para CO 24 horas por estaciones, comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

En resumen, el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM₁₀ y el O₃. Sus concentraciones promedio no exceden en ningún caso la normatividad. Un resumen estadístico general de las tendencias de este contaminante en los últimos cinco años se encuentra en la Tabla 3-19.

Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios para los segundos trimestres de los últimos 5 años.

Año	Concentración de CO			
	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m ³)	Mínimo (ppm)	Mínimo (mg/m ³)
2009	12,0	13,7	0,0	0,0
2010	8,7	10,0	0,0	0,0
2011	5,0	5,8	0,0	0,0
2012	6,1	7,0	0,0	0,0
2013	5,4	6,1	0,0	0,0

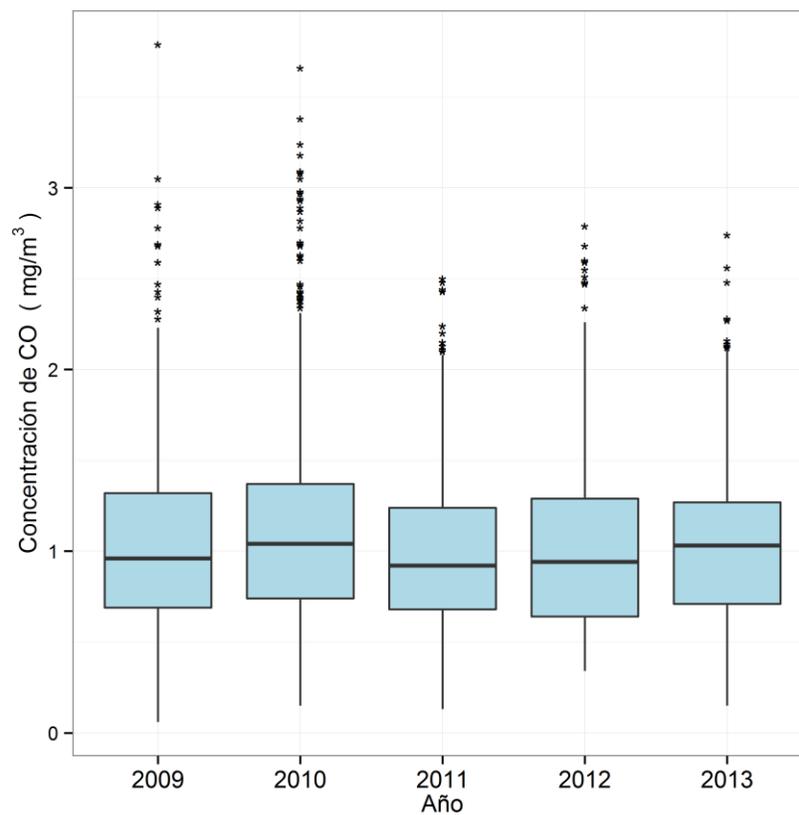


Figura 3-45. Gráfico de *boxplot* para CO en base de 24 horas para segundo trimestre de los años, desde 2009 hasta 2013.

3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO₂.

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre, SO₂, ubicados según configuración mostrada en la Tabla 1-2. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio 24 horas y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de los promedios móviles de 3 horas para SO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 15644 (quince mil seiscientos cuarenta y cuatro) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 80% de los posibles en el segundo trimestre de 2013. En la Tabla 3-20 se muestra un resumen estadístico de los datos por estación, así como los días en los cuales se presentaron los máximos. En la Figura 3-46 se visualizan las concentraciones máximas y medias para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma. Las estaciones que no registran promedios en esta Figura son aquellas que no cumplen con el criterio de representatividad temporal ya mencionado.

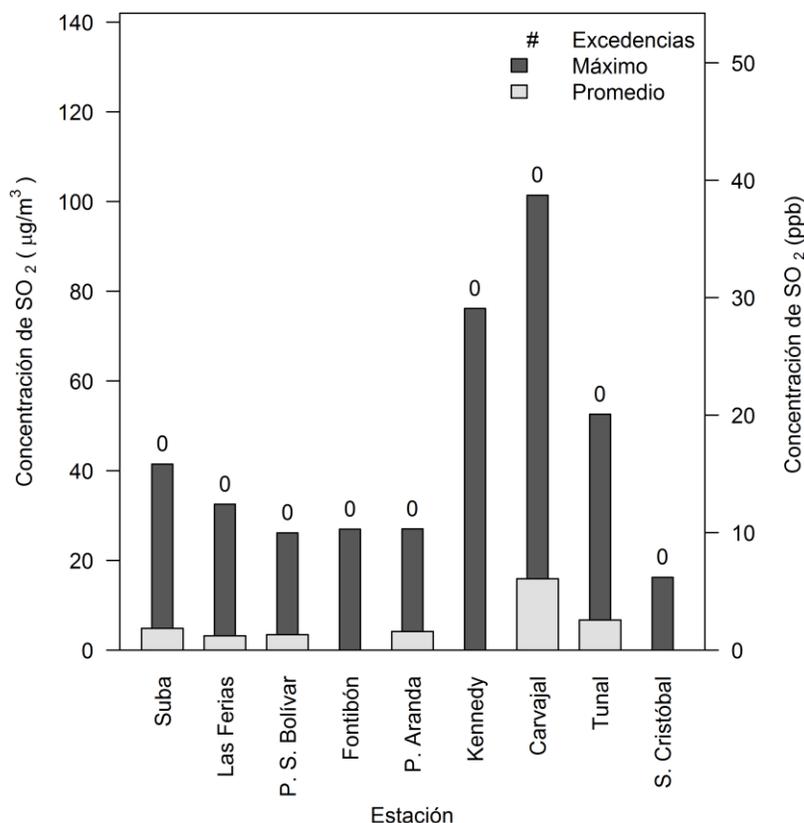


Figura 3-46. Concentraciones medias, máximas y número de excedencias de SO₂ en base de 3 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.

El valor límite permisible en la Resolución 610 de 2010 ($750 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. El evento con la concentración máxima durante el presente periodo se registró en Carvajal con 39 ppb o $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 13 de junio de 2013 a las 07:00 p.m. Las estaciones descartadas según el criterio de representatividad temporal fueron Fontibón (73%), Kennedy (55%) y San Cristóbal (56%).

Tabla 3-20. Resumen de datos de SO_2 en base de 3 horas por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppb]	Máximo [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	94%	16	41	29/06/2013 10:00
Las Ferias	76%	12	33	21/04/2013 17:00
Parque Simón Bolívar	90%	10	26	21/04/2013 17:00
Fontibón	73%	10	27	04/05/2013 00:00
Puente Aranda	98%	10	27	11/04/2013 10:00
Kennedy	55%	29	76	01/06/2013 09:00
Carvajal	98%	39	101	13/06/2013 19:00
Tunal	76%	20	53	21/04/2013 17:00
San Cristóbal	56%	6	16	01/06/2013 11:00

El día 21 de abril de 2013 a las 05:00 p.m. Las Ferias, Parque Simón Bolívar y Tunal registraron sus concentraciones máximas del periodo. Este hecho demuestra un evento generalizado de alta concentración de SO_2 en la ciudad. Sin embargo, requiere de mayor investigación al tratarse de un domingo, día con reducida actividad proveniente de fuentes móviles. Se observa que la mayoría de las máximas concentraciones ocurrieron en los meses de abril y junio.

Comportamiento de los promedios diarios de SO_2 .

Para el estudio de la concentración diaria de SO_2 , se analizaron 644 (seiscientos cuarenta y cuatro) promedios cuya representatividad temporal es del 79%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 ($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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.

En la Figura 3-47 se muestra un resumen de las concentraciones máximas y medias de SO_2 , y el número de excedencias a la norma para cada una de las estaciones en base diaria. De acuerdo al criterio de representatividad temporal, para el cálculo de promedios se descartan las estaciones Las Ferias, Fontibón, Kennedy y San Cristóbal, con porcentajes de recuperación de 71%, 71%, 54% y 54%, respectivamente.

Las concentraciones máximas con su respectiva fecha en cada una de las estaciones se encuentran en la Tabla 3-21. El evento con la concentración máxima ocurrió en Carvajal con un valor de 20 ppb o $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 13 de junio de 2013. El promedio y el valor máximo de esta estación son notablemente mayores que sus equivalentes registrados los demás puntos de monitoreo. Su zona aledaña se caracteriza por su fuerte actividad industrial y circulación de tráfico pesado.

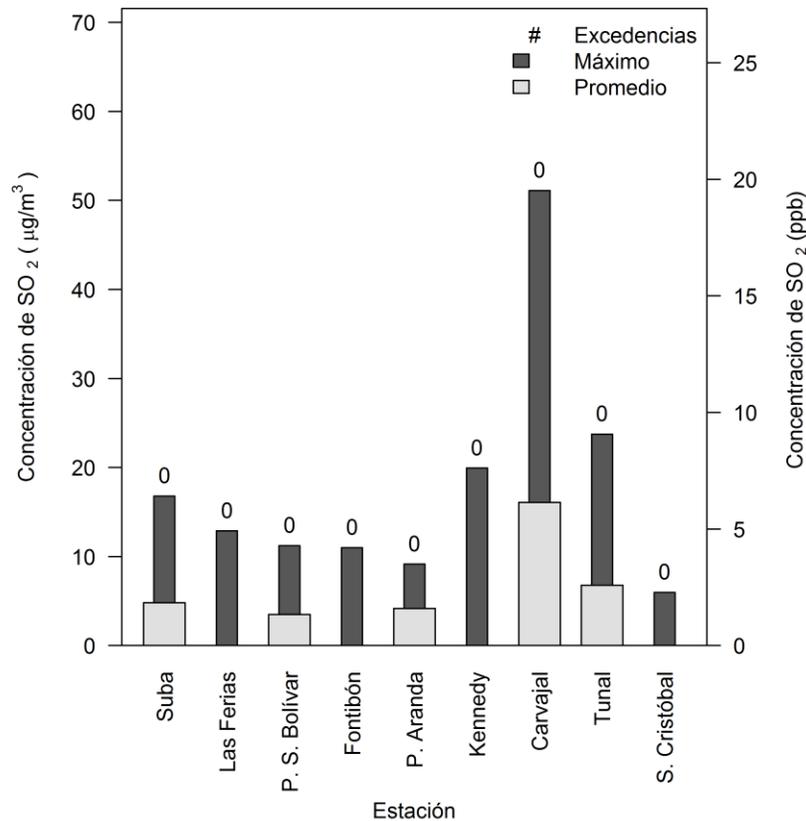


Figura 3-47. Concentraciones promedio, máximos y número de excedencias de SO_2 en base de 24 horas por estación durante el segundo trimestre de 2013.

La segunda mitad del mes de abril se caracteriza por registrar varios episodios de máxima concentración en 5 de las 9 estaciones. El día 23 de abril de 2013 las estaciones Las Ferias y Parque Simón Bolívar registraron simultáneamente estos eventos. La estación San Cristóbal registra su concentración máxima el día 5 de mayo, único máximo en dicho mes.

Tabla 3-21. Resumen de datos en base 24 horas de SO₂ por estación para el segundo trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [ppb]	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	93%	6	17	19/04/2013
Las Ferias	71%	5	13	23/04/2013
Parque Simón Bolívar	91%	4	11	23/04/2013
Fontibón	71%	4	11	28/04/2013
Puente Aranda	98%	3	9	11/04/2013
Kennedy	54%	8	20	01/06/2013
Carvajal	100%	20	51	13/06/2013
Tunal	75%	9	24	22/04/2013
San Cristóbal	54%	2	6	05/05/2013

Comportamiento histórico de promedios de SO₂. Base de tiempo de 24 horas.

La Figura 3-48 es un gráfico *boxplot* que muestra las tendencias históricas de los promedios diarios de SO₂ en función de los días de la semana. Los segundos trimestres de los años 2008 y 2009 registran niveles de concentración significativamente elevados en comparación con los 4 años posteriores. Además, un número reducido de estaciones en esos dos años cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. El domingo muestra los niveles de concentración levemente menores. Este día es seguido por el lunes, quizás por la influencia de la capa residual del día anterior.

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ para el segundo trimestre de 2013 es similar al mismo periodo del año 2012. La variabilidad tiende a mantenerse constante aunque se observa una disminución en la cantidad de valores atípicos.

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los meses de abril, mayo y junio se observa en la Figura 3-49. De nuevo, 2008 y 2009 marcan una diferencia notable en sus niveles de concentración respecto a los demás años. En comparación con el segundo trimestre de 2012, los niveles de concentración para el presente periodo tienden a ser similares. La variabilidad aumenta para mayo y junio y, en general, la cantidad de datos atípicos se reduce.

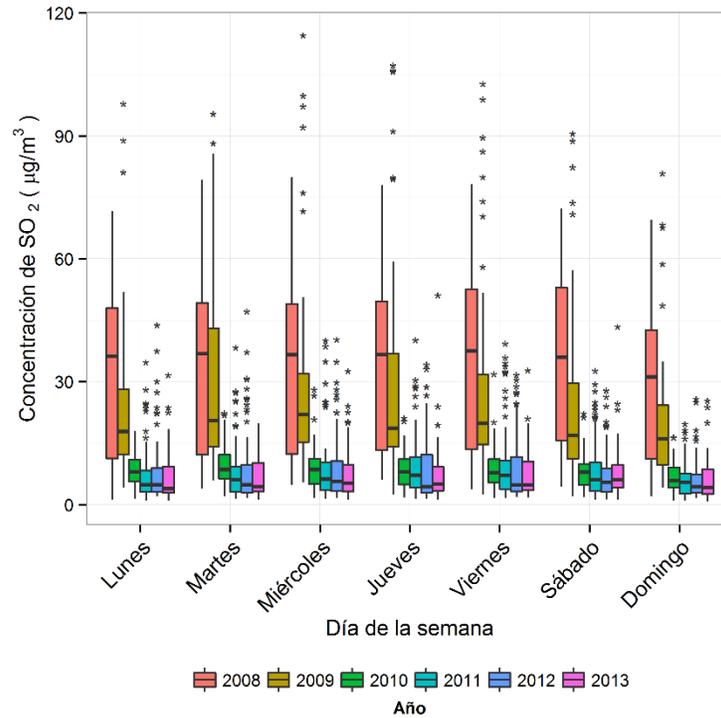


Figura 3-48. Gráfico de *boxplot* para SO₂ por días de la semana (base diaria) comparando el segundo trimestre de 2013 con años anteriores.

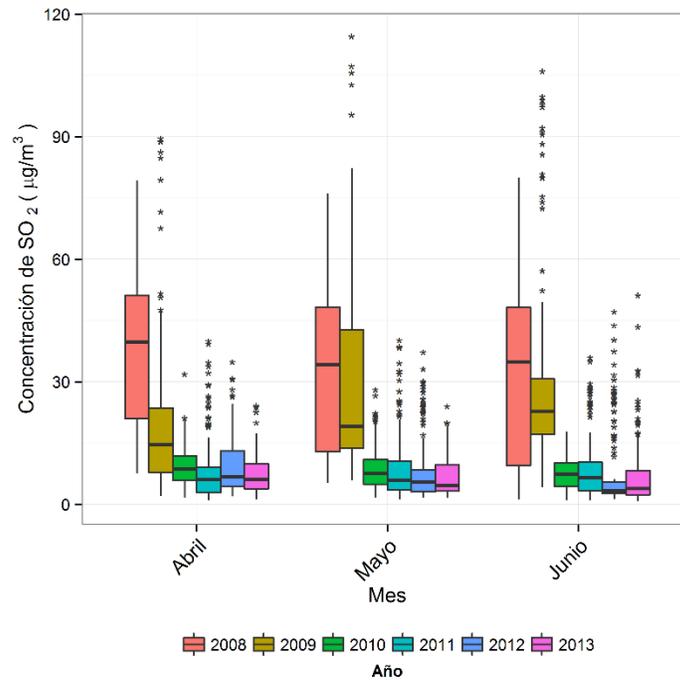


Figura 3-49. Gráfico de *boxplot* para SO₂ en base de diaria, por meses, comparando el segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores.

La Figura 3-50 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO₂ en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente. De los años 2008 y 2009 se registran datos válidos solamente para Kennedy, Tunal, Parque Simón Bolívar, Fontibón y Carvajal. Esta última estación ha registrado históricamente los niveles de concentración más altos, especialmente durante el 2009. Las demás estaciones tienen rangos similares de concentración. Puente Aranda ha reducido de forma progresiva sus niveles durante los últimos años. La estación San Cristóbal presenta poca dispersión en sus datos ya que su desviación estándar es comparativamente baja, resultado de que los valores estén muy cercanos a la media.

La Figura 3-51 es un gráfico *boxplot* que describe la tendencia histórica general de las concentraciones diarias de SO₂ entre 2008 y 2013. Nuevamente y de forma concordante a los análisis previos, los dos primeros años registran los niveles más altos de concentración con una diferencia significativa en comparación con los demás periodos. El segundo trimestre de 2010 sigue al mismo periodo de 2009 en el registro de valores altos de concentración, pero con valores significativamente más bajos. La distribución de datos así como la cantidad de datos atípicos es similar entre los años 2011 y 2013.

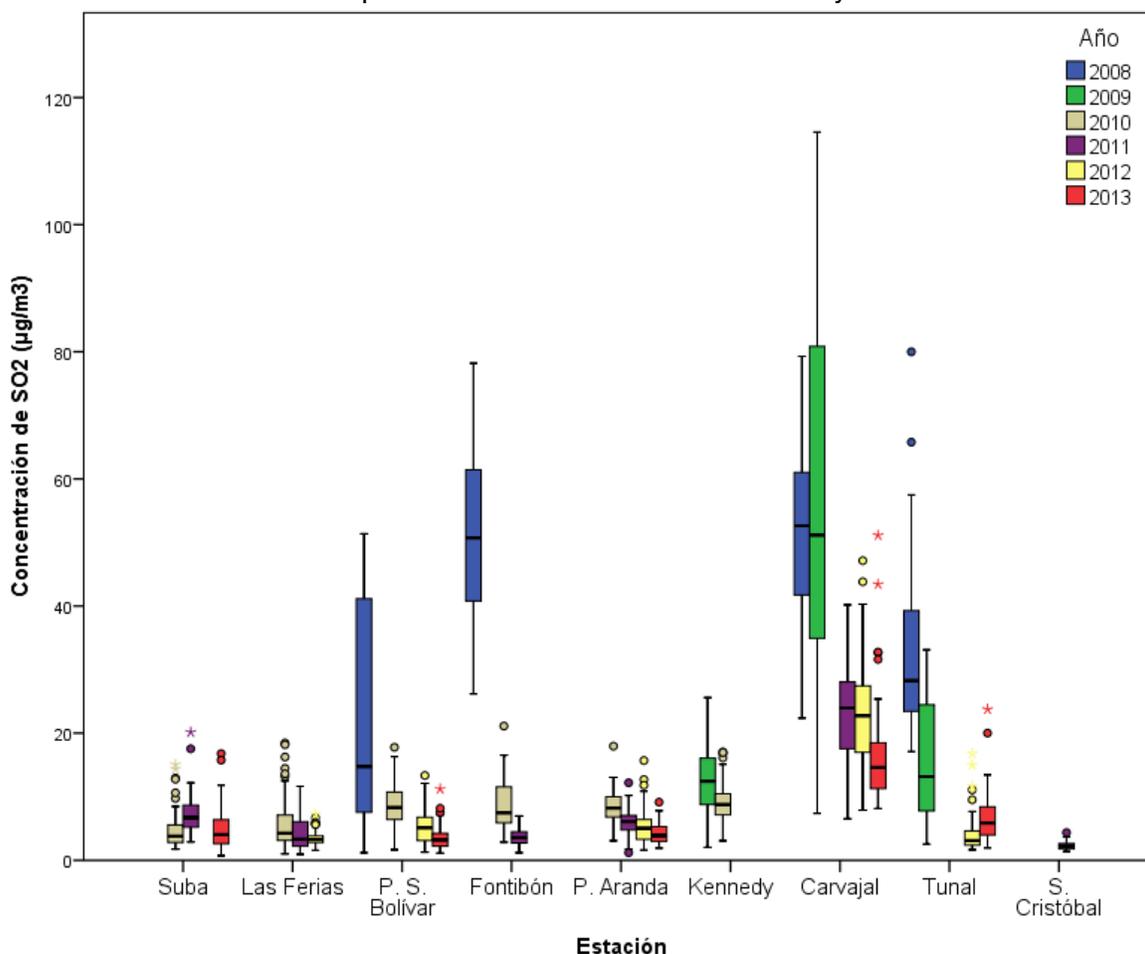


Figura 3-50. Gráfico de *boxplot* para SO₂ en base diaria por estaciones comparando segundo trimestre de 2013 con el mismo periodo en años anteriores.

La Tabla 3-22 contiene un resumen de máximos y mínimos de las concentraciones diarias de SO₂ en los segundos trimestres entre los años 2008 y 2013.

Tabla 3-22. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO₂ en promedios diarios para los segundos trimestres de los últimos 6 años.

Año	Concentración de SO ₂			
	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Mínimo (ppb)	Mínimo (µg/m ³)
2008	31	80	0	1
2009	44	115	0	1
2010	18	48	0	1
2011	15	40	0	1
2012	18	47	0	1
2013	20	51	0	1

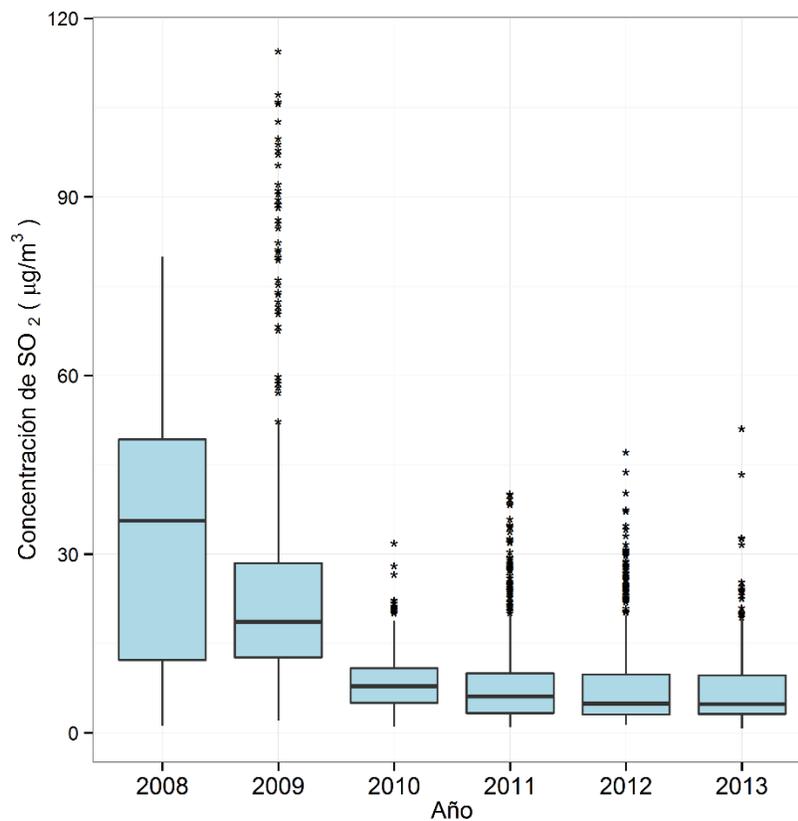


Figura 3-51. Gráfico de *boxplot* para SO₂ diario del segundo trimestre de 2013 comparando con el mismo periodo de años anteriores.

3.3. Índices de calidad del aire

Esta sección presenta el Índice de Calidad del Aire ICA para los contaminantes que son 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 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, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para Grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-23.

Tabla 3-23. Puntos de corte del ICA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, MAVDT 2010.

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

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

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

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

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

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

3.3.1. Índice de Calidad del Aire para PM_{10}

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM_{10} puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La Figura 3-52 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM_{10} en función de la estación de monitoreo. La categoría “Buena” tiende a predominar para la mayoría de las estaciones, especialmente para Parque Simón Bolívar. Contrariamente, las estaciones Kennedy y Carvajal tienen una predominancia de la categoría “Moderada” la cual representa un riesgo a la salud especialmente para personas con enfermedades respiratorias. No se registran categorías superiores o más críticas en términos de calidad del aire.

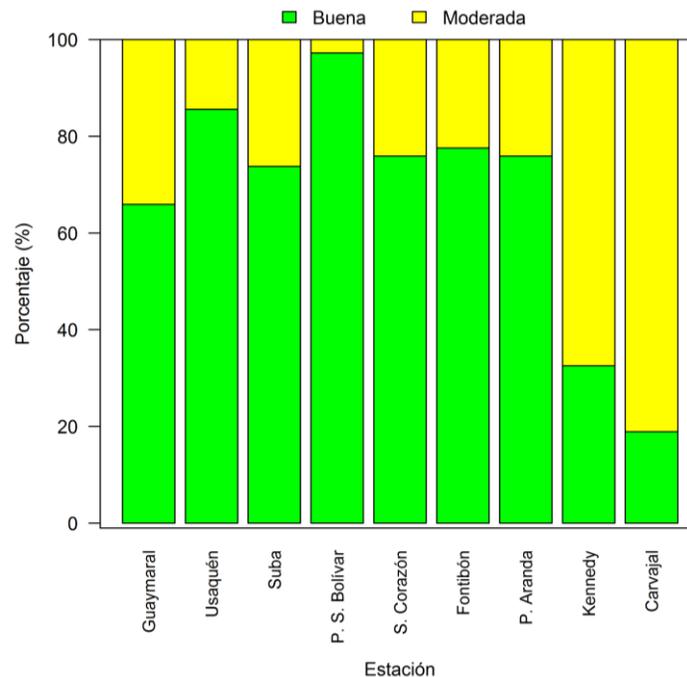


Figura 3-52. Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para PM_{10} para el segundo trimestre de 2013.

La Figura 3-53 muestra una discriminación del ICA en función de los meses del Segundo Trimestre de 2013. Abril registra una mayor afectación de la calidad del aire en comparación con los meses de mayo y junio. Una descripción más detallada de este comportamiento puede encontrarse en el capítulo 3 donde se analizan las tendencias de las concentraciones de PM_{10} , las cuales están directamente asociadas al ICA.

La Figura 3-54 clasifica las estaciones de acuerdo al valor del Índice de Calidad del Aire de este contaminante. Concordante con la discusión anterior, Carvajal y Kennedy registran los valores más altos y son las únicas estaciones que globalmente son clasificadas en la categoría “Moderada”: Estas estaciones son seguidas en valor por Suba, Guaymaral y Fontibón.

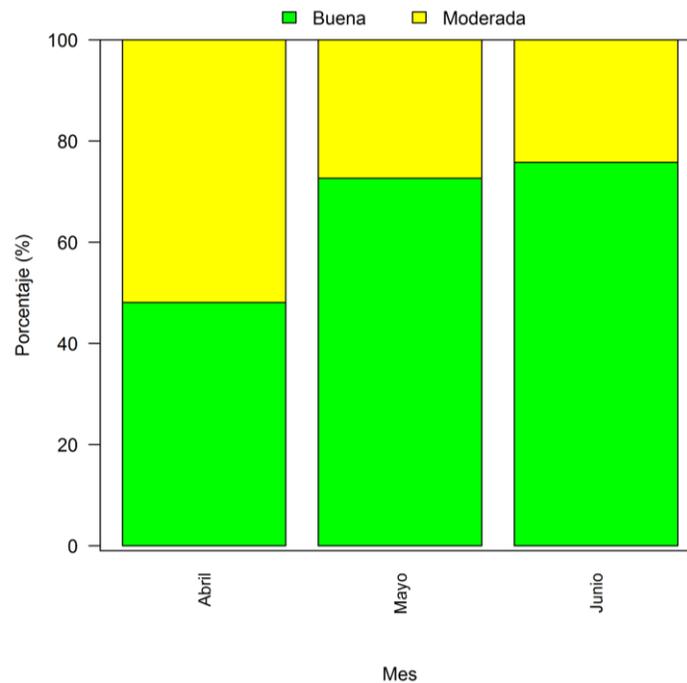


Figura 3-53. Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para PM₁₀ para el segundo trimestre de 2013.

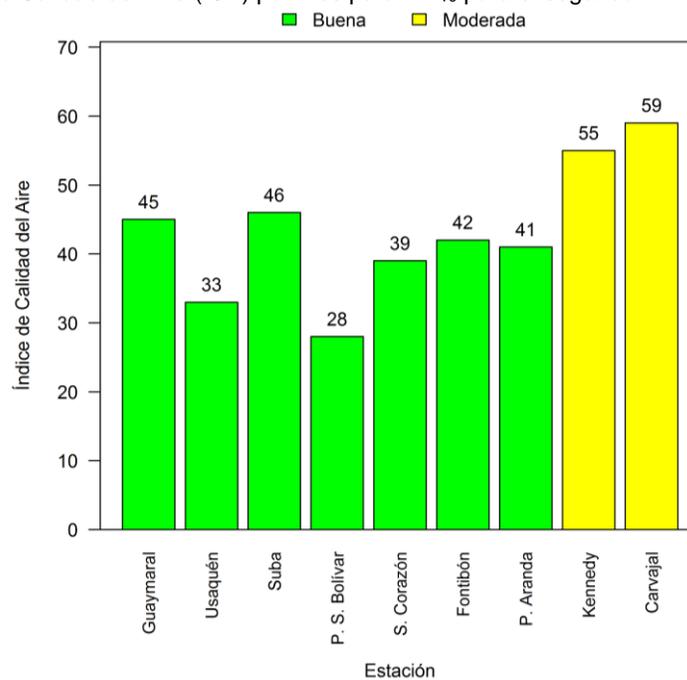


Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2013.

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 3-55 muestra el Índice de Calidad del Aire para este contaminante en la estación Kennedy con base en promedios diarios. Se observa la predominancia de la categoría “Moderada” y participación más reducida de las categorías “Buena” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. El PM_{2.5} es el único contaminante criterio del segundo trimestre de 2013 que registra esta última categoría la cual se refiere específicamente a afectaciones en personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, adultos mayores y niños. Es importante considerar que Kennedy es una estación que, junto con Carvajal, presenta los niveles más altos de PM₁₀. Entonces, es posible que otros sectores de la ciudad registren niveles comparativamente menores. En términos numéricos, la estación registra un índice de **72**, que se enmarca en la categoría “Moderada”.

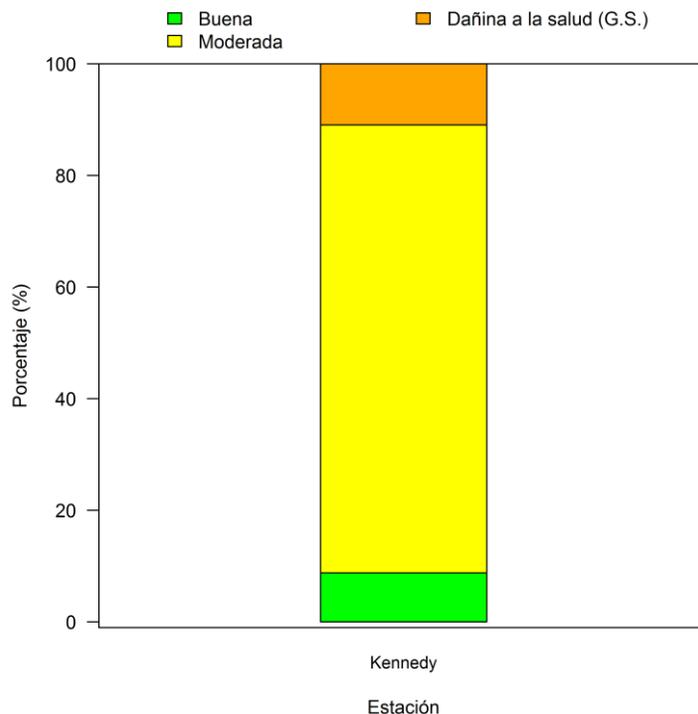


Figura 3-55. PM_{2.5}. Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el segundo trimestre de 2013.

La Figura 3-56 corresponde a una disgregación del Índice de Calidad del Aire en función de los meses del segundo trimestre de 2013. Se observa que el mes más crítico fue abril, en el cual ningún promedio tiene la categoría “Buena”. Mayo y junio muestran una mejora progresiva de la calidad del aire en términos de la concentración de este contaminante.

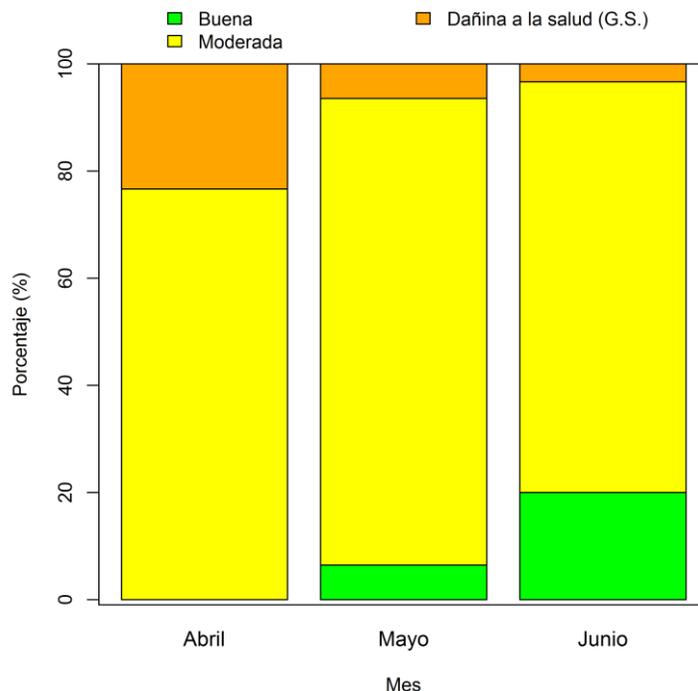


Figura 3-56. Índice de Calidad del Aire (ICA) por mes para el segundo trimestre de 2013.

3.3.3. Índice de Calidad del Aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono.

Todas las mediciones de estos contaminantes en sus respectivas bases temporales registran una categoría “Buena”. El máximo valor del índice fue 15 y corresponde a monóxido de carbono en la estación Carvajal. Teniendo en cuenta que el corte entre la categoría “Buena” y “Moderada” es 50 y que ningún dato individual registra una categoría diferente a “Buena”, se puede afirmar que los niveles de concentración de estos contaminantes representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

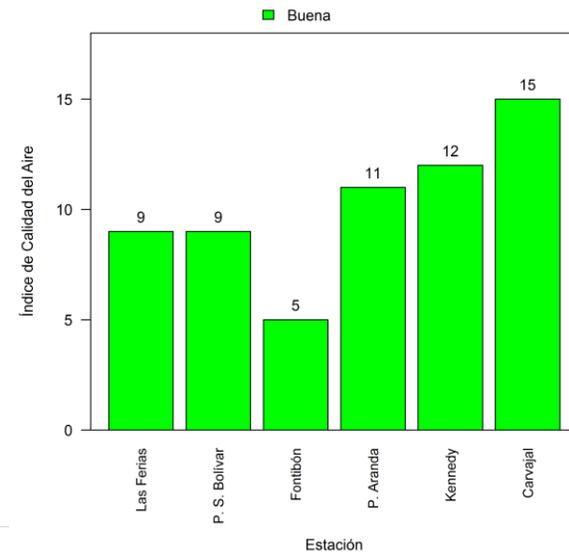
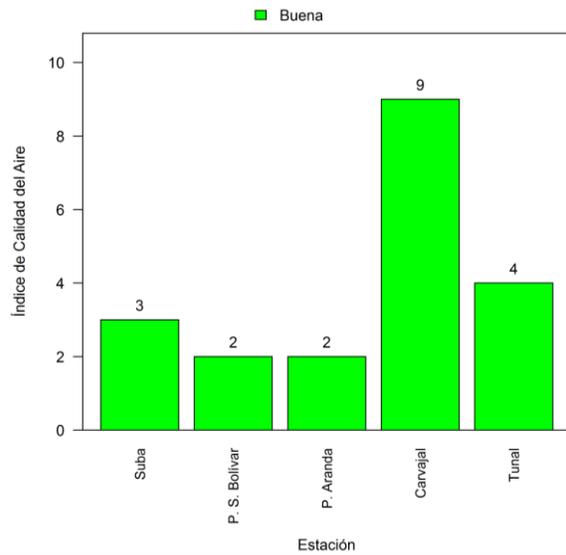


Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base diaria.

Figura 3-58. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

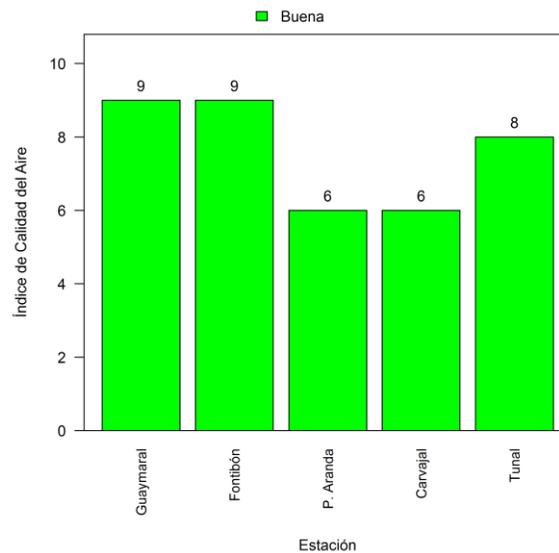


Figura 3-59. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O₃). Base de 8 horas.

3.4. Síntesis de resultados

Se presenta una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. De la Tabla 3-24 a la Tabla 3-28 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 cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la afección a la norma.

Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de 24 horas de partículas suspendidas totales (PST). Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de PST [Norma: 300 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max// Norma
Suroccidente	Carvajal	66	73%	0	0%	5	0	190	0,6

Tabla 3-25. Consolidado de los promedios de 24 horas para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀). Segundo trimestre del año 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM ₁₀ [Norma: 100 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/ Norma
Norte	Guaymaral	88	97%	0	0%	32	7	87	0,9
	Usaquén	83	91%	0	0%	18	0	71	0,7
	Subtotal	171	95%	0	0%	50	7	87	0,9
Noroccidente	Suba	80	88%	0	0%	34	1	78	0,8
	Las Ferias	66	73%	0	0%	14	0	64	0,6
	Subtotal	146	81%	0	0%	48	1	78	0,8
Centro	Parque Simón Bolívar	71	78%	0	0%	6	0	62	0,6
	Sagrado Corazón	83	91%	0	0%	22	2	80	0,8
	Subtotal	154	86%	0	0%	28	2	80	0,8
Suroccidente	Fontibón	89	98%	0	0%	30	4	85	0,9
	Puente Aranda	83	91%	0	0%	23	5	89	0,9
	Kennedy	83	91%	8	10%	45	12	112	1,1
	Carvajal	90	99%	10	11%	38	28	121	1,2
	Subtotal	345	96%	18	5%	136	49	121	1,2
Sur	Tunal	47	52%	0	0%	19	5	84	0,8
	San Cristóbal	66	73%	0	0%	11	0	69	0,7
	Subtotal	113	63%	0	0%	30	5	84	0,8

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros (PM_{2.5}). Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM _{2.5} [Norma: 50 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Suroccidente	Kennedy	91	100%	1	1%	29	11	52	1,0

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios horarios de O₃. Segundo trimestre de 2013.

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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2156	99%	4	0,2%	91	8	151	1,3
	Usaquén	1575	72%	0	0,0%	8	0	71	0,6
	Subtotal	3731	85%	4	0,1%	99	8	151	1,3
Noroccidente	Suba	1202	55%	1	0,1%	41	10	123	1,0
	Las Ferias	593	27%	0	0,0%	26	0	88	0,7
	Subtotal	1795	41%	1	0,1%	67	10	123	1,0
Centro	Parque Simón Bolívar	1272	58%	3	0,2%	80	6	152	1,3
	Sagrado Corazón	1556	71%	0	0,0%	4	1	97	0,8
	Subtotal	2828	65%	3	0,1%	84	7	152	1,3
Suroccidente	Fontibón	2017	92%	2	0,1%	76	17	144	1,2
	Puente Aranda	1666	76%	0	0,0%	3	0	76	0,6
	Carvajal	2178	100%	0	0,0%	18	2	98	0,8
	Subtotal	5861	89%	2	0,0%	97	19	144	1,2
Sur	Tunal	2058	94%	0	0,0%	41	2	103	0,9
	San Cristóbal	1410	65%	0	0,0%	31	1	90	0,8
	Subtotal	3468	79%	0	0,0%	72	3	103	0,9

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O₃. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios móviles de 8 horas 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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2160	99%	8	0,4%	186	40	101	1,3
	Usaquén	1570	72%	0	0,0%	101	0	55	0,7
	Subtotal	3730	85%	8	0,2%	287	40	101	1,3
Noroccidente	Suba	1195	55%	8	0,7%	123	20	89	1,1
	Las Ferias	502	23%	0	0,0%	112	1	63	0,8
	Subtotal	1697	39%	8	0,5%	235	21	89	1,1
Centro	Parque Simón Bolívar	1165	53%	5	0,4%	173	36	94	1,2
	Sagrado Corazón	1370	63%	0	0,0%	68	0	52	0,7
	Subtotal	2535	58%	5	0,2%	241	36	94	1,2
Suroccidente	Fontibón	2007	92%	13	0,6%	150	30	95	1,2
	Puente Aranda	1666	76%	0	0,0%	10	0	48	0,6
	Carvajal	2184	100%	0	0,0%	45	8	74	0,9
	Subtotal	5857	89%	13	0,2%	205	38	95	1,2
Sur	Tunal	2058	94%	0	0,0%	118	14	74	0,9
	San Cristóbal	1319	60%	0	0,0%	132	10	64	0,8
	Subtotal	3377	77%	0	0,0%	250	24	74	0,9

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios horarios de NO₂. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios horarios de NO ₂ [Norma: 200 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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	1362	62%	0	0,0%	0	0	82	0,4
	Subtotal	1362	62%	0	0,0%	0	0	82	0,4
Noroccidente	Suba	506	23%	0	0,0%	0	0	68	0,3
	Las Ferias	157	7%	0	0,0%	0	0	76	0,4
	Subtotal	663	15%	0	0,0%	0	0	76	0,4
Centro	Parque Simón Bolívar	1734	79%	0	0,0%	0	0	54	0,3
	Subtotal	1734	79%	0	0,0%	0	0	54	0,3
Suroccidente	Puente Aranda	2089	96%	0	0,0%	7	0	132	0,7
	Kennedy	1846	85%	0	0,0%	0	0	99	0,5
	Subtotal	3935	90%	0	0,0%	7	0	132	0,7
Sur	Tunal	2003	92%	0	0,0%	6	0	115	0,6
	Subtotal	2003	92%	0	0,0%	6	0	115	0,6

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios de NO₂. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de NO ₂ [Norma: 150 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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	49	54%	0	0,0%	0	0	41	0,3
	Subtotal	49	54%	0	0,0%	0	0	41	0,3
Noroccidente	Suba	17	19%	0	0,0%	0	0	43	0,3
	Las Ferias	5	5%	0	0,0%	0	0	48	0,3
	Subtotal	22	12%	0	0,0%	0	0	48	0,3
Centro	Parque Simón Bolívar	67	74%	0	0,0%	0	0	20	0,1
	Subtotal	67	74%	0	0,0%	0	0	20	0,1
Suroccidente	Puente Aranda	89	98%	0	0,0%	0	0	66	0,4
	Kennedy	78	86%	0	0,0%	0	0	54	0,4
	Subtotal	167	92%	0	0,0%	0	0	66	0,4
Sur	Tunal	82	90%	0	0,0%	0	0	50	0,3
	Subtotal	82	90%	0	0,0%	0	0	50	0,3

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios horarios de CO. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios horarios de CO [Norma: 40 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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	1641	75%	0	0,0%	0	0	3,8	0,1
	Subtotal	1641	75%	0	0,0%	0	0	3,8	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	2066	95%	0	0,0%	0	0	5,5	0,1
	Subtotal	2066	95%	0	0,0%	0	0	5,5	0,1
Suroccidente	Fontibón	1907	87%	0	0,0%	0	0	3,1	0,1
	Puente Aranda	2140	98%	0	0,0%	0	0	4,2	0,1
	Kennedy	1771	81%	0	0,0%	0	0	4,6	0,1
	Carvajal	2109	97%	0	0,0%	0	0	6,1	0,2
	Subtotal	7927	91%	0	0,0%	0	0	6,1	0,2
Sur	Tunal	1060	49%	0	0,0%	0	0	3,3	0,1
	San Cristóbal	369	17%	0	0,0%	0	0	5,5	0,1
	Subtotal	1429	33%	0	0,0%	0	0	5,5	0,1

Tabla 3-32. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios móviles de 8 horas 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. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	1634	75%	0	0,0%	0	0	2,2	0,2
	Subtotal	1634	75%	0	0,0%	0	0	2,2	0,2
Centro	Parque Simón Bolívar	2039	93%	0	0,0%	0	0	3,1	0,3
	Subtotal	2039	93%	0	0,0%	0	0	3,1	0,3
Suroccidente	Fontibón	1876	86%	0	0,0%	0	0	1,3	0,1
	Puente Aranda	2140	98%	0	0,0%	0	0	3,5	0,3
	Kennedy	1767	81%	0	0,0%	0	0	2,5	0,3
	Carvajal	2087	96%	0	0,0%	0	0	4,1	0,4
	Subtotal	7870	90%	0	0,0%	0	0	4,1	0,4
Sur	Tunal	1048	48%	0	0,0%	0	0	1,9	0,2
	San Cristóbal	363	17%	0	0,0%	0	0	2,2	0,2
	Subtotal	1411	32%	0	0,0%	0	0	2,2	0,2

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas para SO₂. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios móviles de 3 horas de SO ₂ [Norma: 750 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Promedio Máximo [µg/m ³]	Max/ Norma
Noroccidente	Suba	2062	94%	0	0,0%	0	0	41	0,1
	Las Ferias	1664	76%	0	0,0%	0	0	33	0,0
	Subtotal	3726	85%	0	0,0%	0	0	41	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	1961	90%	0	0,0%	0	0	26	0,0
	Subtotal	1961	90%	0	0,0%	0	0	26	0,0
Suroccidente	Fontibón	1586	73%	0	0,0%	0	0	27	0,0
	Puente Aranda	2132	98%	0	0,0%	0	0	27	0,0
	Kennedy	1207	55%	0	0,0%	0	0	76	0,1
	Carvajal	2149	98%	0	0,0%	0	0	101	0,1
	Subtotal	7074	81%	0	0,0%	0	0	101	0,1
Sur	Tunal	1652	76%	0	0,0%	0	0	53	0,1
	San Cristóbal	1231	56%	0	0,0%	0	0	16	0,0
	Subtotal	2883	66%	0	0,0%	0	0	53	0,1

Tabla 3-34. Consolidado de los promedios de SO₂ diarios. Segundo trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de SO ₂ [Norma: 250 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos sobre el 50% y bajo el 75% de la norma	No. datos entre sobre el 75% y bajo el 100% de la norma	Promedio Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	85	93%	0	0,0%	0	0	17	0,1
	Las Ferias	65	71%	0	0,0%	0	0	13	0,1
	Subtotal	150	82%	0	0,0%	0	0	17	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	83	91%	0	0,0%	0	0	11	0,0
	Subtotal	83	91%	0	0,0%	0	0	11	0,0
Suroccidente	Fontibón	65	71%	0	0,0%	0	0	11	0,0
	Puente Aranda	89	98%	0	0,0%	0	0	9	0,0
	Kennedy	49	54%	0	0,0%	0	0	20	0,1
	Carvajal	91	100%	0	0,0%	0	0	51	0,2
	Subtotal	294	81%	0	0,0%	0	0	51	0,2
Sur	Tunal	68	75%	0	0,0%	0	0	24	0,1
	San Cristóbal	49	54%	0	0,0%	0	0	6	0,0
	Subtotal	117	64%	0	0,0%	0	0	24	0,1

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 trimestre abril mayo junio (AMJ) del año 2013. En algunos casos se presentará el resumen del semestre, según las gráficas que sean descritas. Tal y como aparece registrado en la Tabla 4-1, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

Tabla 4-1. Estaciones de la RMCAB y variables meteorológicas monitoreadas en cada una de ellas. Fuente RMCAB

ESTACION	VARIABLES METEOROLÓGICAS					
	PRECIPITACIÓN	VEL. Y DIR. DEL VIENTO	TEMPERATURA	RADIACION	HUMEDAD RELATIVA	PRESION
No. 1 Usaquén	X	X	X			
No. 3 Carvajal	X	X	X			
No. 2 Sagrado Corazón	X	X				
No. 4 Tunal	X	X	X	X	X	
No. 5 Parque Simón Bolívar	X	X	X	X	X	
No. 6 Las Ferias	X	X	X		X	X
No. 7 San Cristóbal	X	X	X			
No. 8 Guaymaral	X	X	X	X	X	X
No. 9 Kennedy	X	X	X	X	X	X
No. 11 Suba	X	X	X			
No. 13 Puente Aranda	X	X	X			
No. 14 Fontibón	X	X	X			X

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo:

Climatológicamente, las condiciones de precipitación en el periodo están asociadas inicialmente a la zona de convergencia intertropical (ZCIT) la cual se observa en colores verdes y amarillos en la Figura 4-1, en donde se describe el en cada uno de los meses del trimestre.

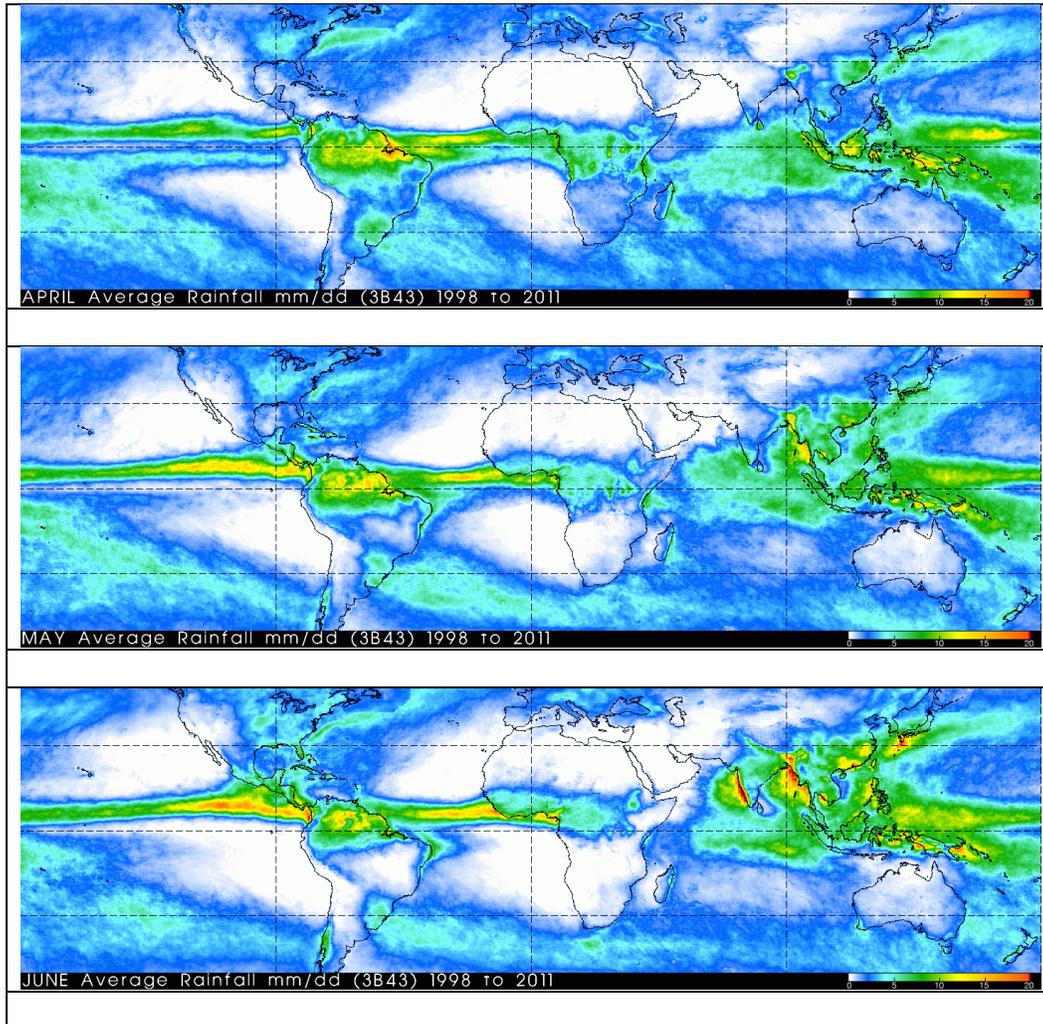


Figura 4-1. Comportamiento promedio (1998 – 2011) de la precipitación por día. Fuente NOAA.

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENSO (El Niño Oscilación Del Sur), el cual consiste en un sistema acoplado océano – atmosférico de anomalías en variables tales como la temperatura superficial del mar (TSM) y la presión atmosférica, entre otros. Dentro de este fenómeno de variabilidad climática se presentan tres comportamientos asociados a la TSM, correspondientes a El Niño, La Niña y condiciones neutras los cuales representan calentamiento, enfriamiento y condiciones normales de las aguas del Pacífico según un promedio histórico respectivamente. Durante el primer semestre de 2013 se presentó una fase neutral según informes de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric*

Administration), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un máximo de -0.2°C en el promedio del trimestre MAM y AMJ (Marzo abril mayo y abril mayo junio) y un mínimo de -0.6 en EFM (enero febrero marzo). La Figura 4-2 representa las condiciones históricas de este fenómeno; según datos de *The International Research Institute for Climate and Society* (IRI) 2, así como la información descrita por la Figura 4-3 tomada de la CPC (*Climate prediction center*) de la NOAA.

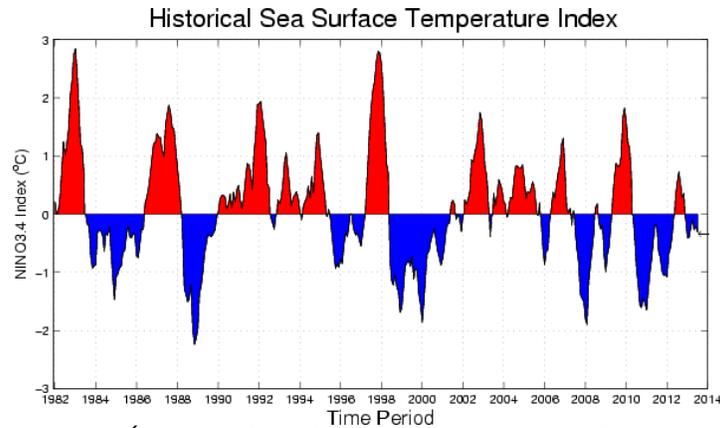


Figura 4-2. Comportamiento del Índice NINO región 3.4 en los últimos años. Fuente IRI.

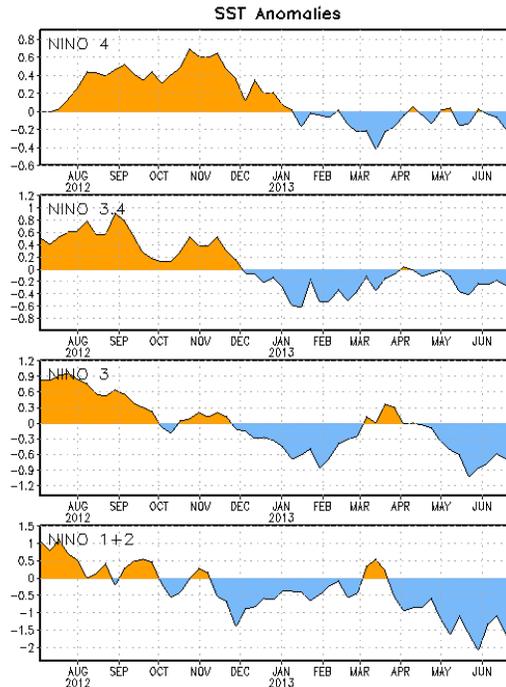


Figura 4-3. Series de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ de la superficie del mar (TSM) para las regiones del El Niño [(Niño-1+2(0° - 10°S , 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S , 150°W - 90°W), Niño-3.4 (5°N - 5°S , 170°W - 120°W), Niño-4 (150°W - 160°E 5°N - 5°S). Las anomalías de TSM son variaciones de los promedios semanales del periodo base de 1971-2000 Tomado de: CENTRO DE PREDICIONES CLIMATICAS/NCEP/NWS.

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 una zona de baja presión (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 país¹. 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, tal es el caso del fenómeno del Niño. Otro aspecto que influye, depende de las condiciones orográficas; las diferencias horizontales de temperatura en una montaña producen alteraciones locales del viento que genéricamente se llaman brisas. La brisa terrestre, llamada circulación valle-montaña, montaña-valle, se debe a diferencias de temperatura entre las montañas y el aire libre que las rodea, en la mañana se presenta un brisa soplando junto al suelo desde los valles y llanuras hacia las laderas que están recibiendo el Sol (solana), remontándolas. De noche descende una brisa desde las montañas a los valles y llanuras.

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 y sus lluvias son generadas especialmente por un tipo de circulación Valle – montaña que se caracteriza por vientos ascendentes durante el día y descendentes durante la noche. 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 prolongadas⁵. Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá desde el punto de vista horario y mensual se resumen en la Figura 4-4, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde y primeras horas de la noche.

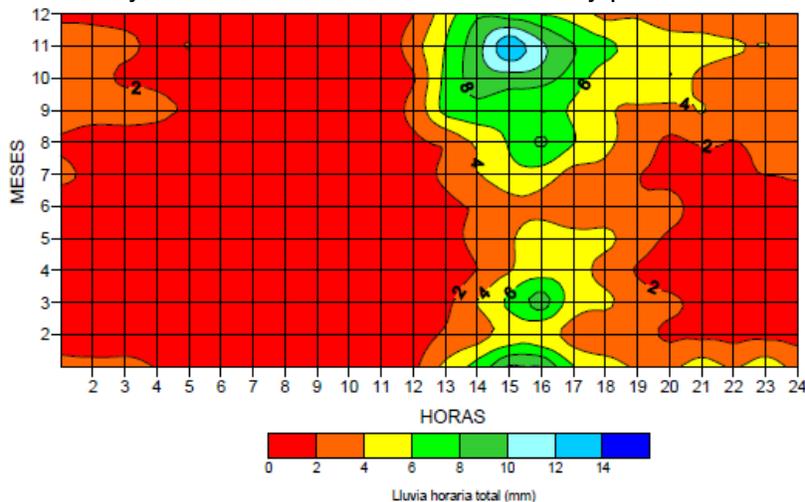


Figura 4-4. Esquematación hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto El Dorado en Bogotá.
Fuente: IDEAM

⁵ La precipitación en Colombia. Hurtado 1998

En la ciudad de 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 lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad. 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 incluso 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.

4.1. Precipitación

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro, conformado de partículas acuosas de forma sólida o líquida que caen de las nubes y llegan al suelo. Existen varios tipos de precipitación dependiendo de la cantidad o forma en que caen las partículas, el diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm, (1 mm de precipitación es la lámina que alcanzaría un litro de agua sobre una superficie de un metro cuadrado, sin que se evapore o percole), y caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. Dependiendo del tamaño de las gotas que lleguen al suelo y de cómo caigan existen distintos tipos de precipitación líquida: llovizna (gotas pequeñas que caen uniformemente), chubasco (gotas de mayor tamaño y que caen de forma violenta e intensa), etc.

Se observa un marzo húmedo al igual que finalizando abril y en el mes de mayo, como es esperado. En la Figura 4-5 se presentan estas cifras en mm discriminados mensualmente y su comparación con los acumulados medidos por la RMCAB en el trimestre.

Todos los datos han sido sometidos a un proceso de calidad post-validación para eliminar los *outliers* y datos atípicos en resolución horaria, esto consistió en generar intervalos de confianza según un número determinado de desviaciones estándar considerando la variabilidad horaria de cada serie (para mayor información del post procesamiento de la información, se recomienda ver “*Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*” de JOSE EDGAR MONTEALEGRE BOCANEGRA). El año mostrado junto a cada estación corresponde al año en la que empezó a operar.

La Tabla 4-2 muestra la representatividad de los datos recolectados mensualmente para el trimestre.

Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación trimestre abril mayo junio de 2013.

ESTACIÓN	ABR	MAY	JUN	AMJ
Guaymaral	99	100	98	99
Usaquén	90	99	85	91
Suba	85	100	100	95
Las Ferias	93	100	96	96
Parque Simón Bolívar	100	100	100	100
Sagrado Corazón	100	100	100	100
Fontibón	99	100	96	98
Puente Aranda	94	100	100	98
Kennedy	100	100	100	100
Carvajal	100	100	100	100
Tunal	98	95	91	95
San Cristóbal	44	92	99	78

La Figura 4-5 presenta el acumulado promedio mensual de cada uno de los meses históricos y de 2013. Este gráfico representa un resumen del comportamiento de las estaciones; no obstante se recomienda observar cada estación independientemente ya que los valores anuales pueden variar según la operación de la red. Como se mencionó con anterioridad, resalta el acumulado medido en el mes de febrero durante el I trimestre, y el aumento moderado de lluvias durante abril, mayo mientras en junio se presentó una diferencia significativa entre el promedio y lo observado. La Tabla 4-3 muestra el porcentaje de variación de los registros.

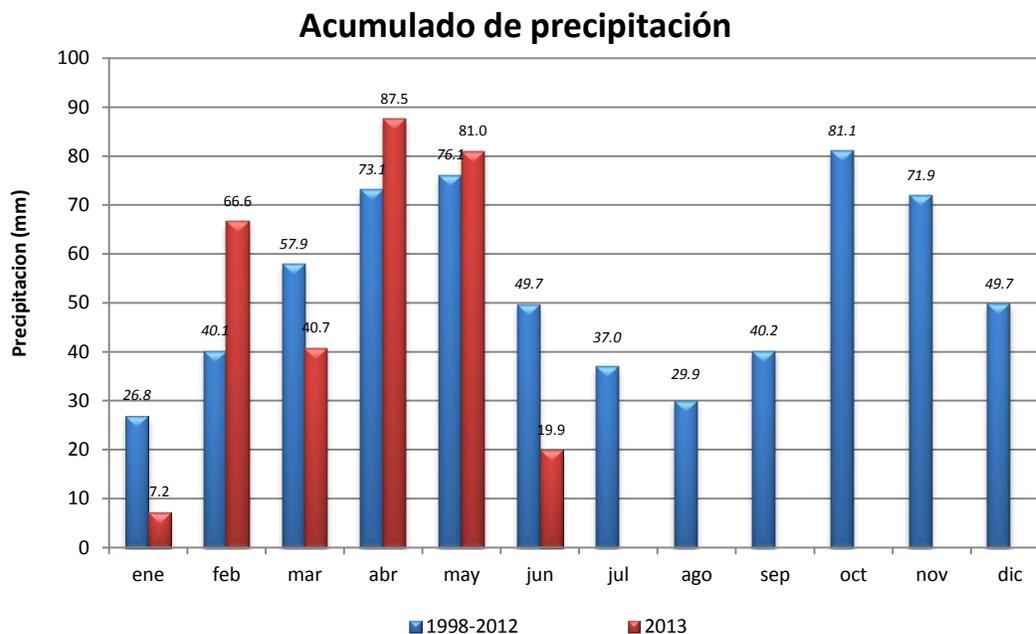


Figura 4-5 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2012 comparada con el promedio hasta junio de 2013. Fuente RMCAB

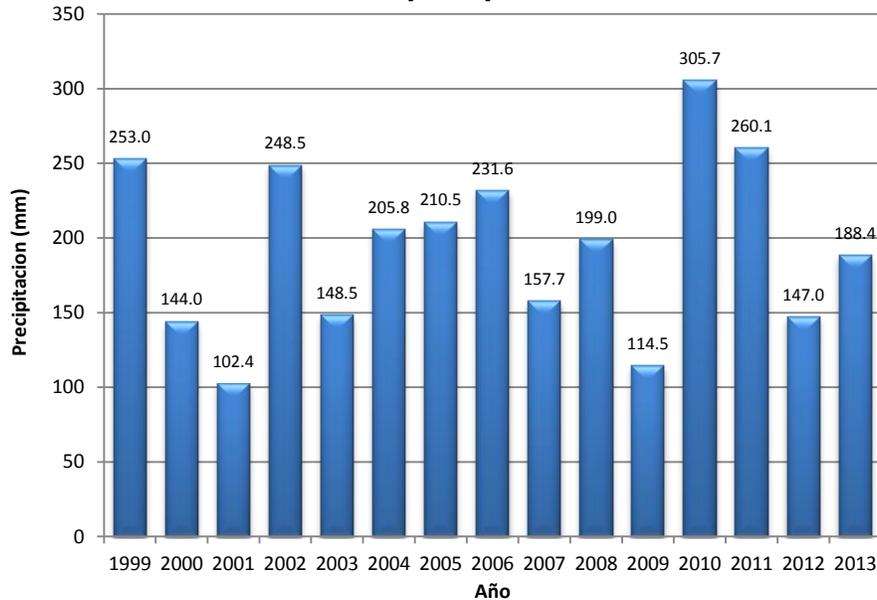
Los promedios aquí presentados no representan una climatología de Bogotá; se hace una comparación con lo registrado en los últimos años.

Tabla 4-3. Variación porcentual de la precipitación para el I semestre de 2013 comparada con el periodo 1998 - 2012

ABR	MAY	JUN
20%	6%	-60%

La Figura 4-6 muestra que el acumulado de precipitación durante el trimestre presentó condiciones normales con un acumulado promedio de 188.4 mm promedio de las estaciones de la ciudad, similar a varios años de la última década (durante algunos de estos años no se contaba con la cobertura actual de estaciones como se observa en la Figura 4-7, de manera que se esquematiza a modo de análisis de tendencias y comportamientos).

Acumulado de precipitación trimestral AMJ



Con respecto a los valores promedio de días de precipitación tomados en el periodo 1998-2012, se observa que el número de días de lluvia durante el trimestre fue similar a lo registrado en promedio en años anteriores, salvo en febrero y mayo, en donde se aumentaron los días de lluvia y junio donde se registró una disminución importante. Es así como la Figura 4-8 presenta el número total de días de precipitación para cada uno de los meses del año (El número de días es contabilizado si se ha registrado en alguna estación, un valor igual o superior a 0.1 mm). La Tabla 4-4 presenta el porcentaje de variación de los días de precipitación durante el I semestre de 2013.

Figura 4-6. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones de la RMCAB en el II trimestre desde 1999 hasta 2013. Fuente RMCAB

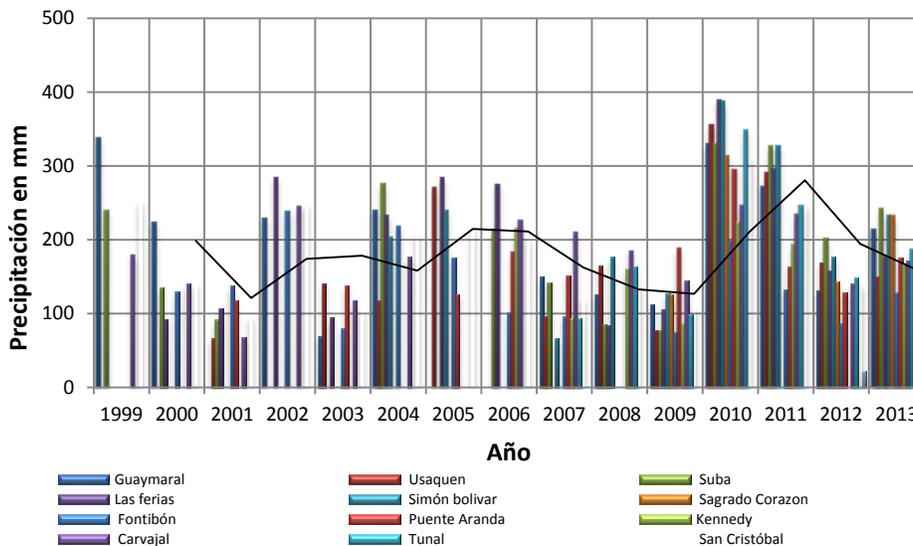


Figura 4-7. Acumulado de precipitación por estación en el II trimestre desde 1999 hasta 2013. Fuente RMCAB

Tabla 4-4. Variación porcentual de los días de precipitación para el 2013 comparada con el periodo 1998 – 2012

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
6%	17%	-8%	-7%	8%	-20%

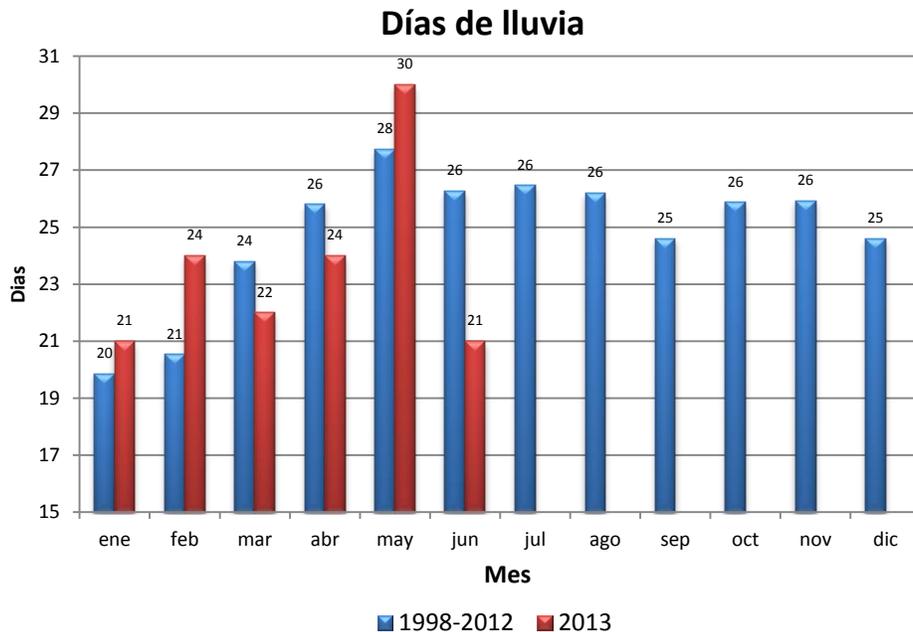


Figura 4-8. Días de precipitación promedio de la RMCAB 1998-2012 comparada con el promedio para el I semestre de 2013. Fuente RMCAB

Comparado con los años anteriores, se observa que el trimestre AMJ de 2013 estuvo ligeramente por debajo de los promedios con respecto a los días de precipitación en Bogotá históricos, como se puede apreciar en la Figura 4-9.

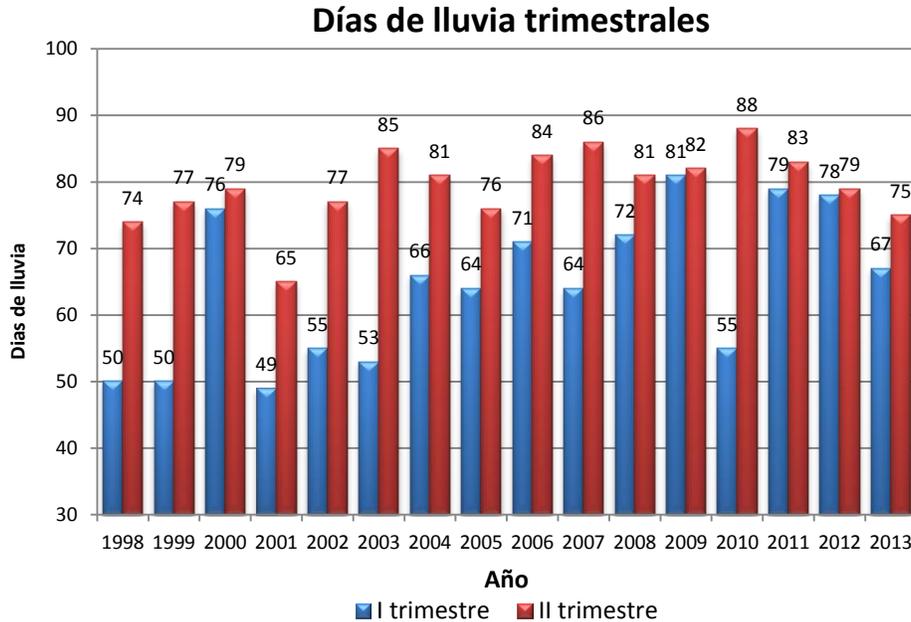


Figura 4-9. Promedio de los días de precipitación de las estaciones de la RMCA para el I y II trimestre desde 1998 hasta 2013. Fuente RMCAB.

En la Figura 4-10 se observan los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el II trimestre en el periodo 1998-2013. Junto con la Tabla 4-5, se puede apreciar que en el trimestre se midieron entre lluvias entre normales a ligeramente por encima de lo normal para el periodo, según los índices de precipitación.

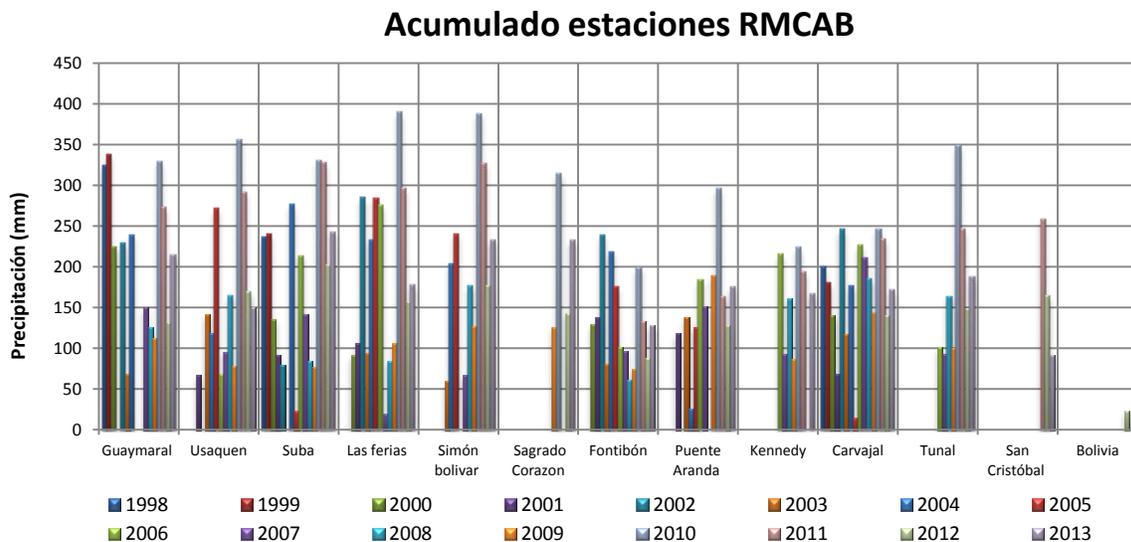


Figura 4-10. Acumulado de precipitación dese 1998 hasta 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

Tabla 4-5. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2013 y su respectivo índice de precipitación. Fuente RMCAB.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	IP
Guaymaral	224.4		229.4	68.7	239.8			150.1	125.3	112.3	329.8	273.1	131.4	214.3	101.0%
Usaquén		66.7		141.2	117.7	271.5		95.5	165	77.5	356.6	291.9	169.3	150.1	85.6%
Suba	135	91.5			276.2		213.9	142.2	84.7	76.8	330.8	327.8	202.4	242.9	123.6%
Las ferias	91.6	106.2	285	94.5	233.2	284.7	275.6		84.1	105.7	390.4	296.3	157.4	178.2	88.9%
Simón Bolívar					203.9	240.5		67	176.7	126.7	388.1	327.6	176.4	232.9	109.2%
Sagrado Corazón										125.3	314.7		142.7	232.9	119.9%
Fontibón	129	137.6	239.6	80.6	218.8	175.2	101.6	96.4		74.2	198.1	133.2	87.3	127.6	91.6%
Puente Aranda		117.8		137.2		125.8	183.6	151.6		188.8	295.9	163.6	127.6	175.7	106.0%
Kennedy							215.6	93	160.6	86.3	224.5	193.9		167.5	103.2%
Carvajal	140	67.9	246	117.6	176.8		227.1	210.6	185.6	144.2	246.8	234.6	139.9	171.7	95.5%
Tunal								93	163.9	99.3	348.8	246.2	148.4	187.5	102.3%
San Cristóbal												259.2	164.6	91.8	43.3%
Bolívia													22.6		

** El índice de precipitación se interpreta de la siguiente manera:

0-30 %	lluvias muy por debajo de lo normal (periodo extremadamente seco)
31-60 %	lluvias moderadamente por debajo de lo normal (periodo muy seco)
61-90 %	lluvias ligeramente por debajo de lo normal (periodo seco)
91-110 %	lluvias normales para el periodo
111-140 %	lluvias ligeramente por encima de lo normal (periodo lluvioso)
141-170 %	lluvias moderadamente por encima de lo normal (periodo muy lluvioso)
Mayor de 170 %	lluvias muy por encima de lo normal (periodo extremadamente lluvioso)

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 4-6 muestra que en la estación de Guaymaral llovió 63 días, Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos, detectó lluvias en 59 oportunidades similar a las estaciones de Carvajal con 50 y Tunal con 41, mientras que en Usaquén y Suba se observaron 44 y 51 días. El promedio de precipitación por día se presenta en la Tabla 4-7.

Tabla 4-6. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013 Fuente RMCAB.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral	57		65	41	62				55	47	72	71	37	63
Usaquén		36		50	39	57		58	34	36	67	56	51	44
Suba	56	38			56		42	50	34	32	72	62	52	51
Las ferias		36	48	33	54	55	55		34	37	67	58	48	46
Simón Bolívar					68	54			55	50	72	68	52	59
Sagrado Corazón											60		47	48
Fontibón		44	52	39	51	49	23	37		32	61	52	41	47
Puente Aranda		40		69		56	68	61		47	71	63	51	49
Kennedy							46	37	39	37	61	59		
Carvajal	60	37	53	46	54		62	57	51	45	61	54	52	50
Tunal								36	57	37	71	57	49	41
San Cristóbal													61	36
Bolivia													35	

Tabla 4-7. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013, en mm/día. Fuente RMCAB.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral	3.9		3.5	1.7	3.9				2.3	2.4	4.6	3.8	3.6	3.4
Usaquén		1.9		2.8	3.0	4.8		1.6	4.9	2.2	5.3	5.2	3.3	3.4
Suba	2.4	2.4			4.9		5.1	2.8	2.5	2.4	4.6	5.3	3.9	4.8
Las ferias		3.0	5.9	2.9	4.3	5.2	5.0		2.5	2.9	5.8	5.1	3.3	3.9
Simón Bolívar					3.0	4.5			3.2	2.5	5.4	4.8	3.4	3.9
Sagrado Corazón											5.2		3.0	4.9
Fontibón		3.1	4.6	2.1	4.3	3.6	4.4	2.6		2.3	3.2	2.6	2.1	2.7
Puente Aranda		2.9		2.0		2.2	2.7	2.5		4.0	4.2	2.6	2.5	3.6
Kennedy							4.7	2.5	4.1	2.3	3.7	3.3		
Carvajal	2.3	1.8	4.6	2.6	3.3		3.7	3.7	3.6	3.2	4.0	4.3	2.7	3.4
Tunal								2.6	2.9	2.7	4.9	4.3	3.0	4.6
San Cristóbal													2.7	2.6
Bolivia													0.6	

Las precipitaciones más intensas, en promedio, se presentaron en la estación de Sagrado Corazón, Suba y Tunal; las de menor intensidad en Fontibón con 2.7 mm/día. La estación que presentó mayor número de días de precipitación fue Guaymaral en el segundo trimestre seguida por parque Simón Bolívar con 59 días, como se observa en la Figura 4-11.

Días ppt trimestrales 2013

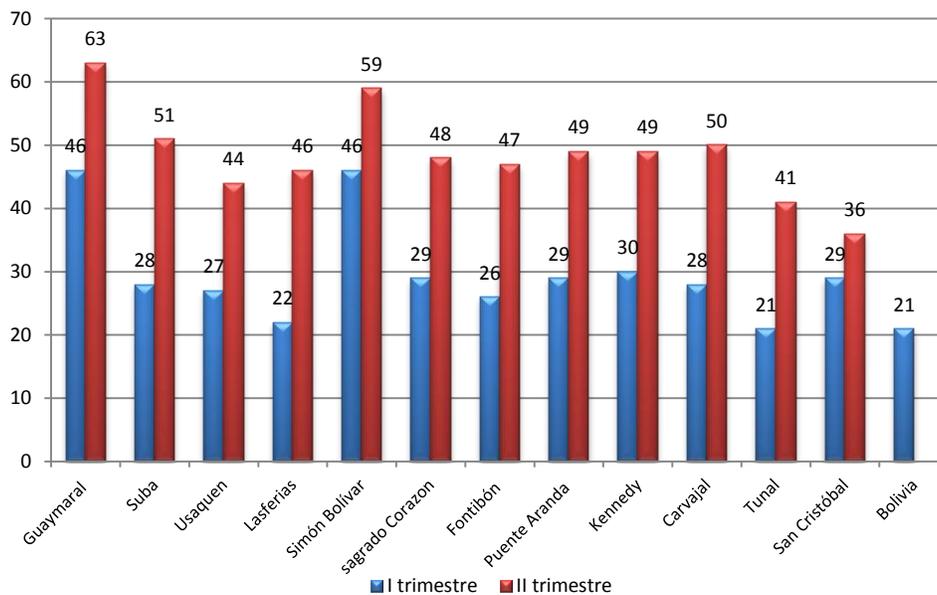


Figura 4-11. Días de precipitación de cada estación durante los trimestres de 2013. Fuente. RMCAB

La Figura 4-12 presenta los acumulados horarios de precipitación para el segundo trimestre de 2013 en las estaciones de la RMCAB. Como es común en horas de la mañana, de las 9:00 a las 11:00, fue relativamente inusual la presencia de precipitación en la ciudad, mientras que en horas de la tarde, las precipitaciones presentaron acumulados altos, asociados a la presencia de actividad convectiva producto del calentamiento diurno.

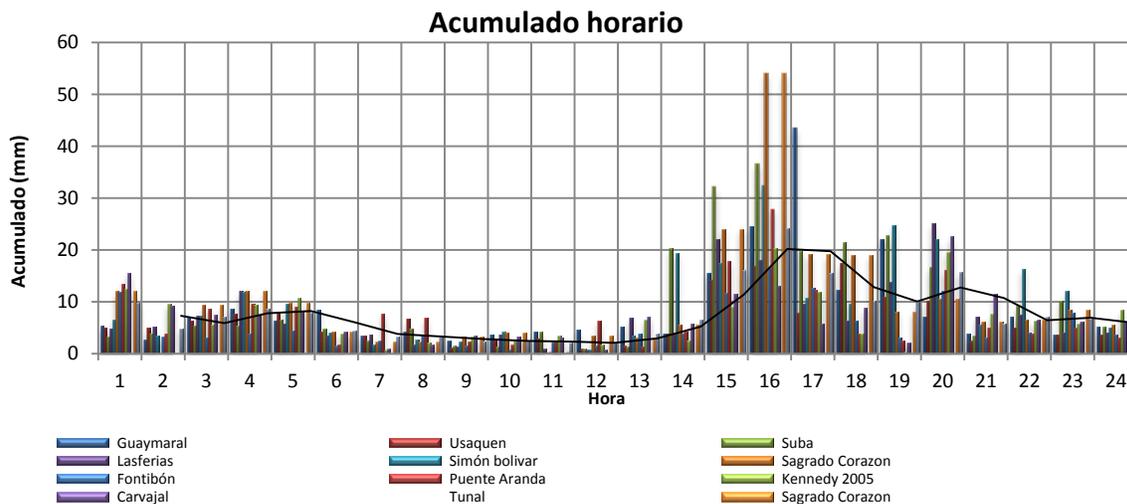


Figura 4-12. Acumulados horarios de precipitación para el II trimestre de 2013.

La Figura 4-13 esquematiza el acumulado horario para el promedio de las estaciones de la RMCAB de manera que el eje de las abscisas muestra las horas del día mientras que las ordenadas los meses. Los colores muestran la cantidad de precipitación que se acumuló en una hora específica para determinado mes. En promedio se observa que la mayor

cantidad de agua se precipitó entre las 15:00 y 16:00 horas en el mes de marzo y que las lluvias en horas de la madrugada se activaron en el segundo trimestre del año.

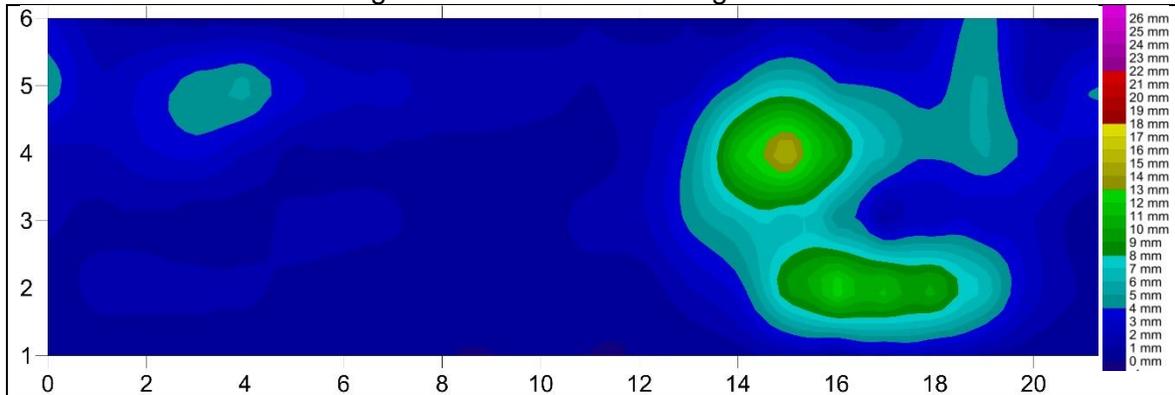
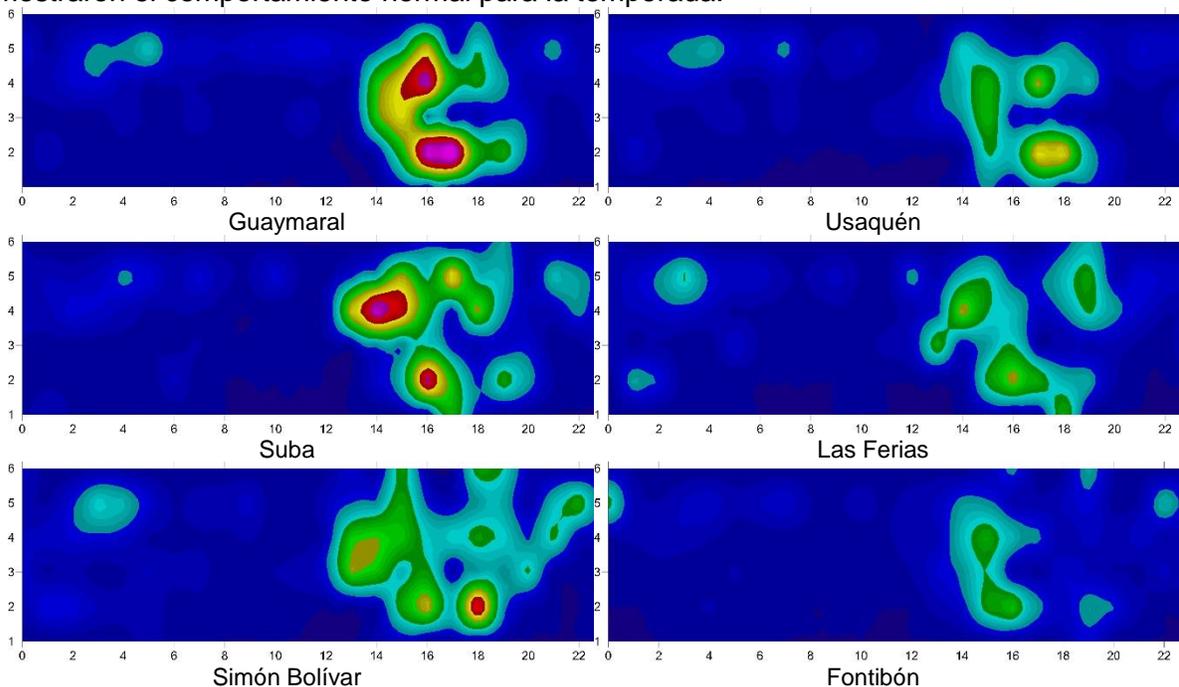


Figura 4-13. Precipitación acumulada horaria promedio para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB

Por su parte, la Figura 4-14 resume las condiciones de manera análoga a la Figura 4-13 considerando cada estación en particular. La estación de Guaymaral muestra lluvias considerables luego de las dos de la tarde siendo las más importantes en enero y marzo, comportamiento similar para la estación de Suba. Usaquén registró valores importantes en marzo, abril y mayo después del mediodía, mientras que Parque Simón Bolívar arrojó acumulados relevantes en horas de la noche, entre enero y febrero. El resto de estaciones mostraron el comportamiento normal para la temporada.



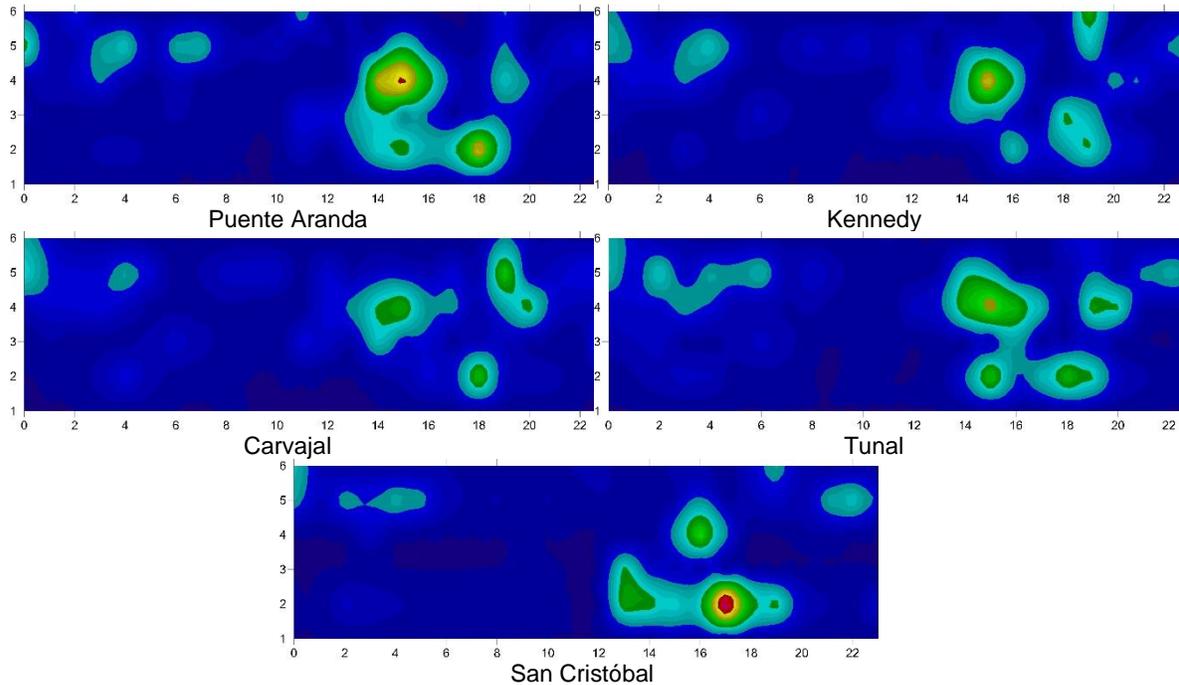


Figura 4-14.precipitación acumulada horaria para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

El mapa de la Figura 4-15 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 2013 sobre esta superficie. 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 sin datos *In Situ*. Se puede observar el sector con menos precipitación de la capital, registrado en la estación de Fontibón que abarca la localidad de su mismo nombre. Los mayores acumulados se encuentran en el Suba y en sectores de Barrios Unidos y Teusaquillo. La Figura 4-16 esquematiza los acumulados mensuales.

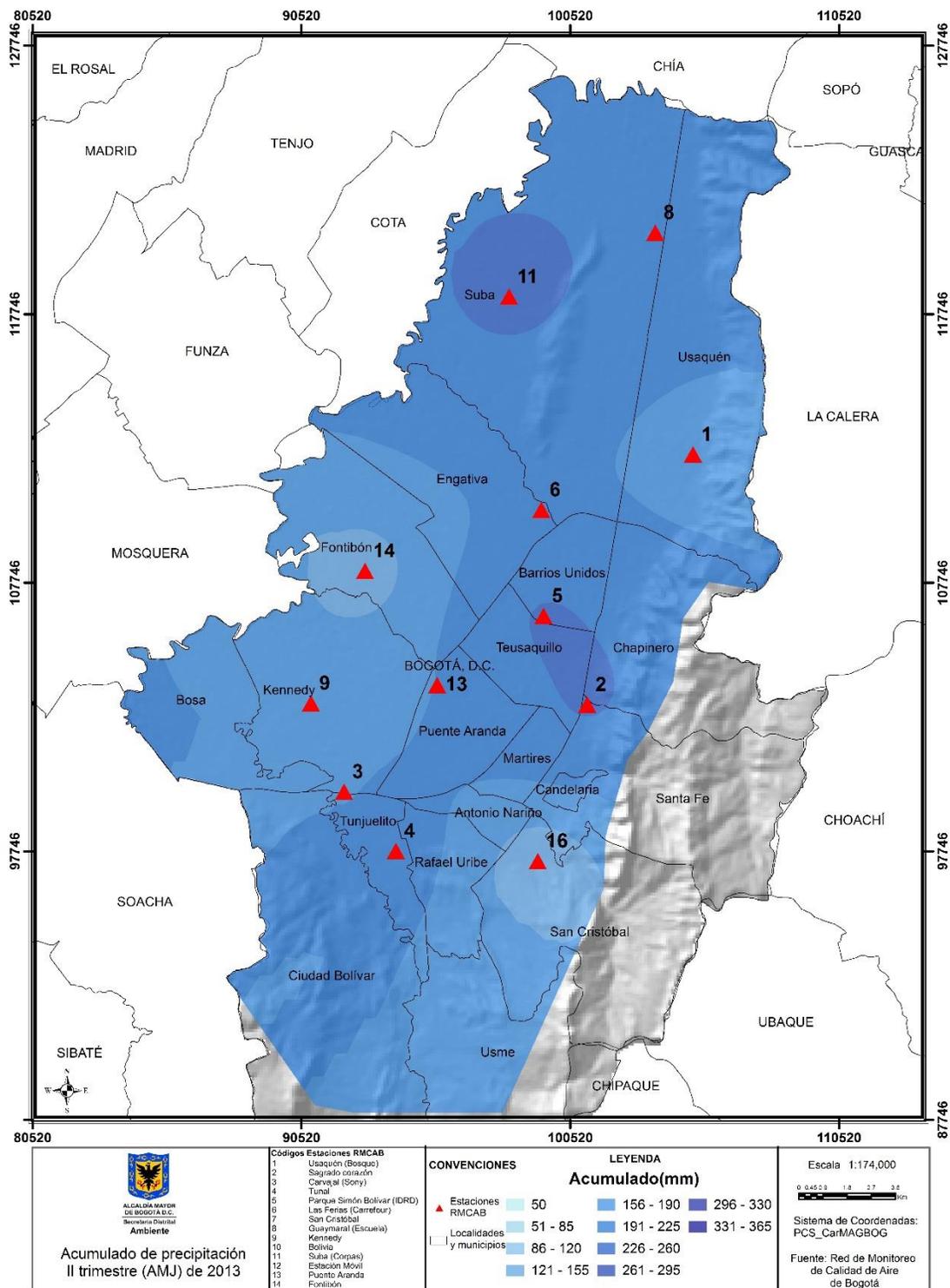


Figura 4-15. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el II trimestre de 2013. Fuente RMCAB.

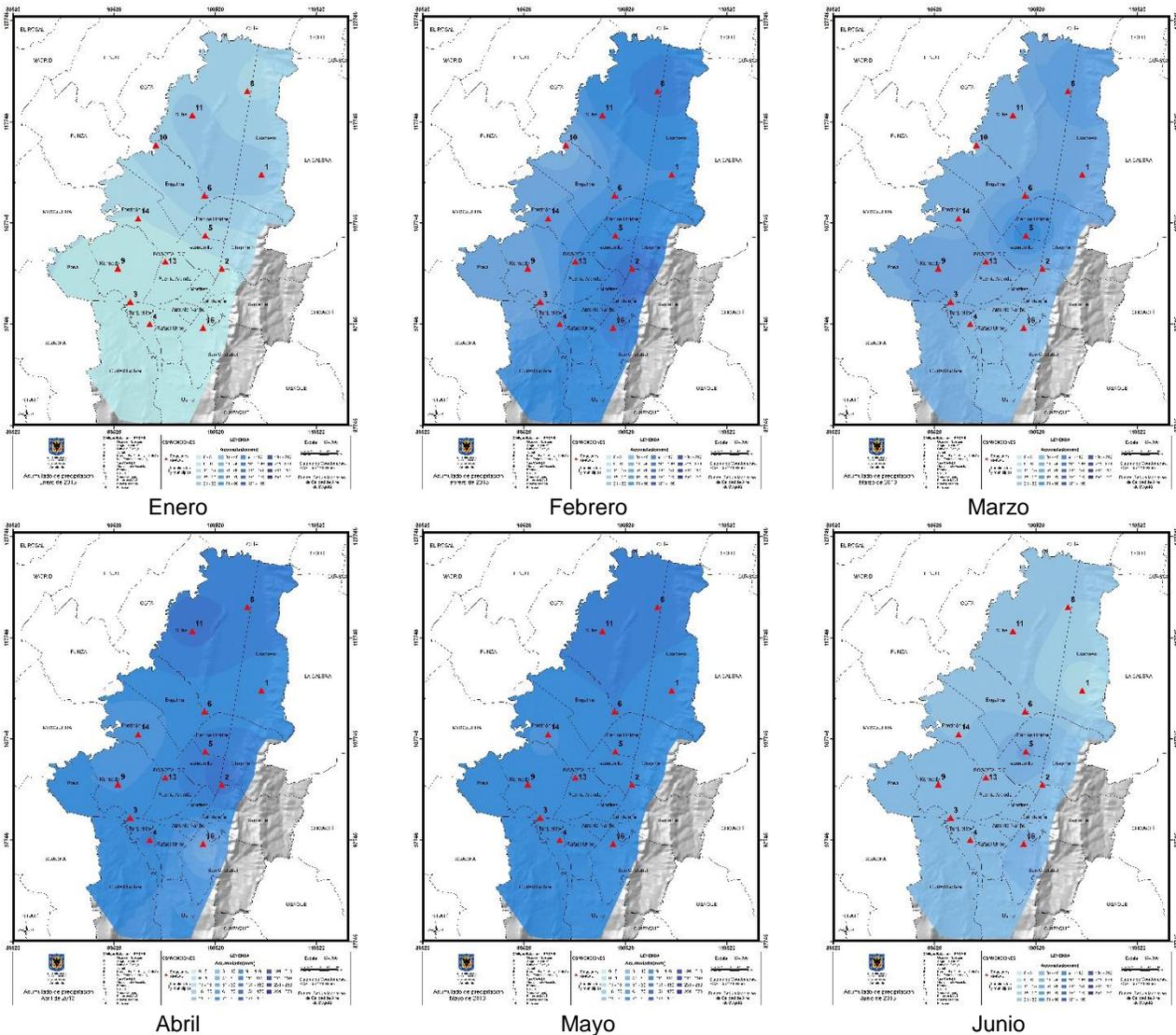


Figura 4-16. Mapas de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el primer semestre de 2013. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 4-16 presentan la precipitación sobre la ciudad de Bogotá en cada mes del primer semestre de 2013 en los cuales se observa la evolución de la precipitación. En abril y mayo se concentraron los mayores acumulados de precipitación, principalmente hacia los cerros orientales, mientras que al Occidente de la ciudad se presentaron los menores acumulados de lluvia.

4.2. Vientos

Los vientos Bogotanos se caracterizan por ser de velocidades bajas en las madrugadas y mañanas y de mayor intensidad en las tardes; esta tendencia se puede observar durante el semestre de estudio en donde la dirección y velocidad del viento se registró en once estaciones de la RMCAB, según se reporta en la Tabla 4-1. La Tabla 4-8 presenta la representatividad de los datos recolectados en el II trimestre de 2013, la Tabla 4-9 esquematiza los valores promedio de las estaciones, la Tabla 4-10 los promedios y los valores de velocidad máxima y mínima en el trimestre y la Tabla 4-11 resume el comportamiento de la velocidad del viento para 4 grupos de horas distintas. Fontibón y Puente Aranda son las estaciones en que se registraron los mayores valores de velocidad de viento seguido de Kennedy; Guaymaral y Tunal son las estaciones con menor velocidad del viento reportada en promedio para el trimestre.

Tabla 4-8. Representatividad mensual (%) de la variable velocidad del viento 2013.

Estación	Abril	Mayo	junio	AMJ
Guaymaral	98	99	98	99
Usaquén	91	88	46	75
Suba	85	100	100	95
Las Ferias	93	100	96	96
Parque Simón Bolívar	100	100	100	100
Sagrado Corazón	100	99	100	100
Fontibón	41	100	59	67
Puente Aranda	94	100	100	98
Kennedy	100	100	100	100
Carvajal	100	100	99	100
Tunal	98	94	91	95
San Cristóbal	44	91	99	78

Tabla 4-9. valores promedios de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

Hora	0-23			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	0.9	0.9	1.2	1.0
Usaquén	1.6	1.7	2.2	1.7
Suba	1.7	1.7	2.3	1.9
Las ferias	1.7	1.8	2.2	1.9
Simón bolívar	1.3	1.3	1.5	1.4
sagrado corazón	1.5	1.5	2.0	1.7
Fontibón	2.7	2.7	3.1	2.8
Puente Aranda	1.9	1.7	2.3	2.0
Kennedy	2.5	2.2	2.7	2.5
Carvajal	2.3	2.0	2.6	2.3
Tunal	1.1	1.0	1.0	1.0
San Cristóbal	2.4	2.1	2.3	1.8

Tabla 4-10. valores máximos y mínimos absolutos de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

Hora	0-23			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	3.6	3.4	4.2	4.2
Usaquén	5.7	5.0	5.5	6.2
Suba	4.9	5.1	5.5	5.8
Las Ferias	5.4	4.8	5.2	5.4
Simón Bolívar	4.7	4.2	4.5	4.9
Sagrado Corazón	8.2	5.8	7.0	8.2
Fontibón	7.7	7.7	8.0	8.2
Puente Aranda	5.9	6.0	6.3	7.0
Kennedy	6.2	5.8	6.3	6.6
Carvajal	5.2	5.1	5.0	5.2
Tunal	4.3	3.9	3.6	4.4
San Cristóbal	6.1	4.3	5.8	6.1

a) Max

b) Min

Tabla 4-11. Velocidades de viento mensuales promedio entre las 1-6, 7-12, 13-18 y 19-24 hrs en el IIr trimestre

Hora	1-6			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	0.5	0.4	0.5	0.5
Usaquén	1.1	1.4	2.0	1.2
Suba	1.2	1.1	1.3	1.2
Las ferias	1.2	1.3	1.6	1.3
Simón bolívar	0.7	0.7	0.8	0.7
sagrado corazón	0.7	0.7	1.0	0.8
Fontibón	1.8	1.9	1.8	1.8
Puente Aranda	0.9	0.9	1.0	0.9
Kennedy	1.5	1.3	1.7	1.5
Carvajal	1.6	1.2	1.8	1.6
Tunal	0.6	0.6	0.5	0.5
San Cristóbal	2.2	1.9	2.0	2.0

a)

b)

Hora	7-12			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	0.9	0.8	1.1	0.9
Usaquén	1.6	1.4	2.1	1.4
Suba	1.9	1.8	2.4	2.0
Las ferias	1.8	1.6	2.2	1.8
Simón bolívar	1.2	1.2	1.5	1.2
sagrado corazón	1.4	1.4	1.8	1.5
Fontibón	1.9	2.3	2.7	2.3
Puente Aranda	1.4	1.3	2.0	1.5
Kennedy	2.1	1.7	2.4	2.0
Carvajal	2.1	1.7	2.4	2.0
Tunal	0.9	0.8	0.9	0.9
San Cristóbal	2.1	1.6	2.0	1.8

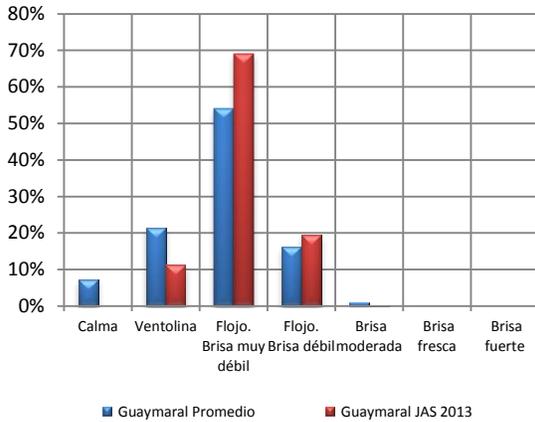
c)

d)

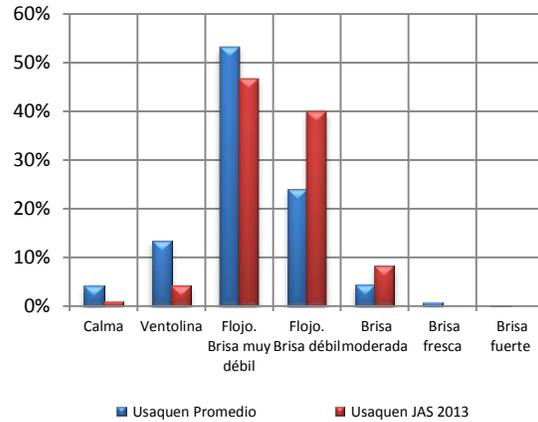
Hora	13-18			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	1.6	1.7	2.1	1.8
Usaquén	2.2	2.2	2.5	2.2
Suba	2.4	2.6	3.6	2.9
Las ferias	2.5	2.5	2.7	2.6
Simón bolívar	2.2	2.1	2.4	2.3
sagrado corazón	2.5	2.6	3.2	2.8
Fontibón	4.6	4.1	5.0	4.5
Puente Aranda	3.4	3.1	4.1	3.6
Kennedy	4.0	3.6	4.1	3.9
Carvajal	3.4	3.2	3.7	3.4
Tunal	1.9	1.7	1.6	1.8
San Cristóbal	3.1	2.7	3.0	2.8

Hora	19-24			
Año	2013			
Valores	4	5	6	JAS
Guaymaral	0.7	0.7	0.9	0.8
Usaquén	1.5	1.9	2.1	1.8
Suba	1.4	1.4	1.9	1.6
Las ferias	1.5	1.7	2.2	1.8
Simón bolívar	1.0	1.1	1.4	1.2
sagrado corazón	1.5	1.4	1.9	1.7
Fontibón	2.6	2.5	3.0	2.7
Puente Aranda	1.8	1.6	2.3	1.9
Kennedy	2.5	2.2	2.8	2.5
Carvajal	2.2	1.9	2.7	2.3
Tunal	0.9	0.9	0.8	0.9
San Cristóbal	1.8	1.9	1.9	1.9

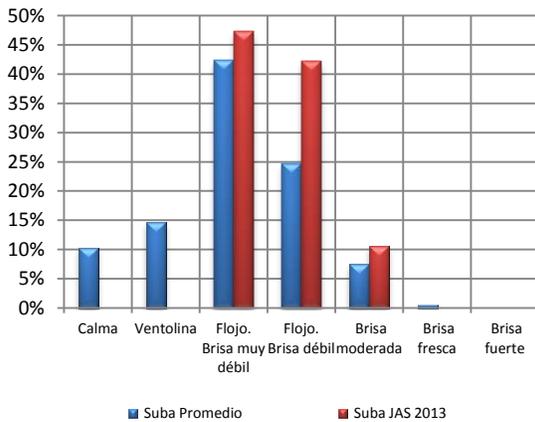
La velocidad de los vientos es agrupada según la frecuencia en la escala de *Beaufort*, como se presenta en la Figura 4-17, la cual esquematiza el porcentaje histórico del trimestre y el porcentaje de frecuencias en el trimestre AMJ 2013 para cada estación. Así mismo la predominancia de los vientos en general varía según la estación como se observa en la Figura 4-18, la cual presenta la rosa de los vientos horaria y el porcentaje de frecuencias de la dirección de los vientos comparada con los históricos, según la fecha de inicio de cada estación.



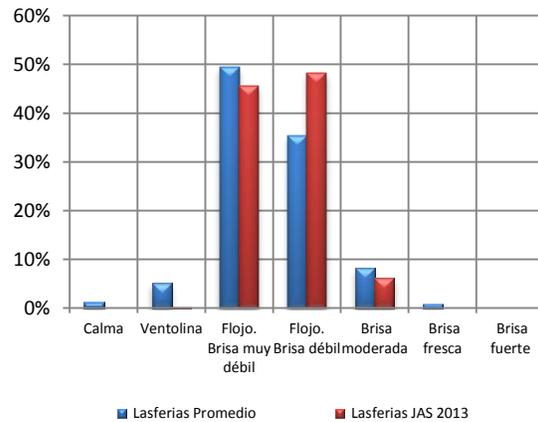
a)



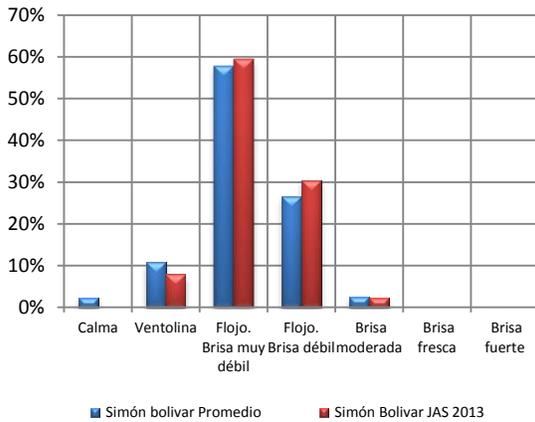
b)



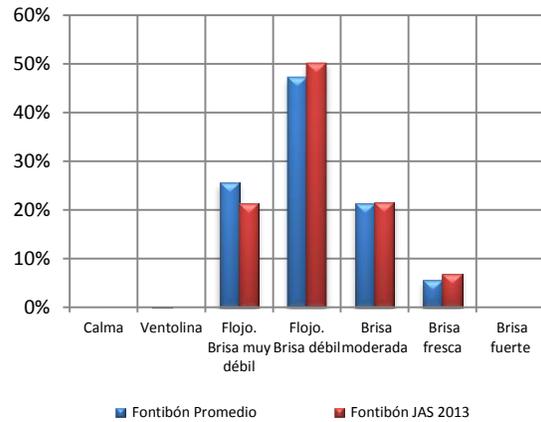
c)



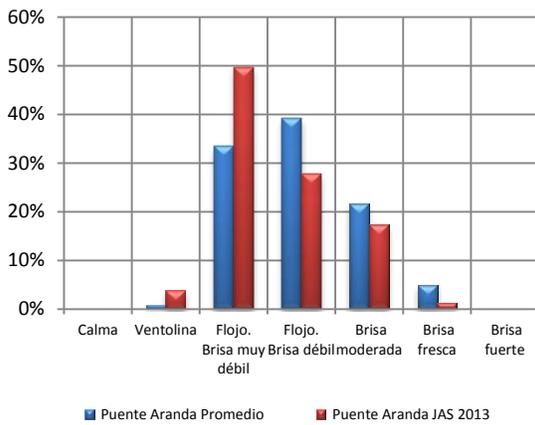
d)



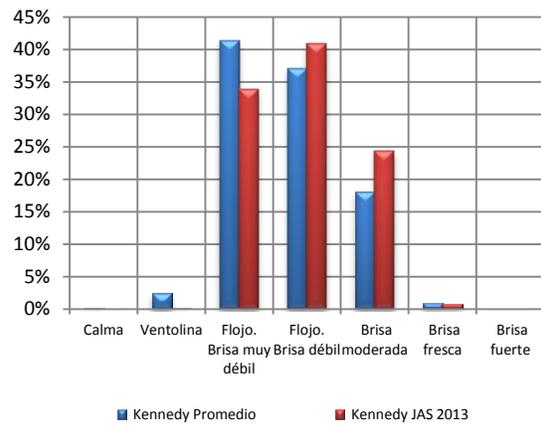
e)



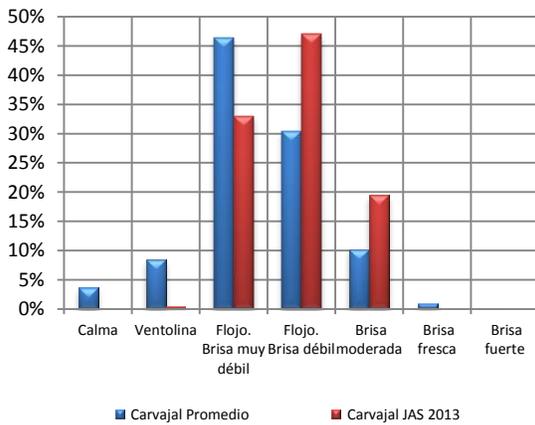
f)



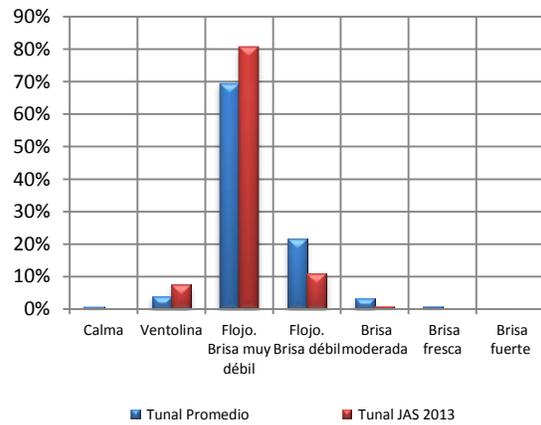
g)



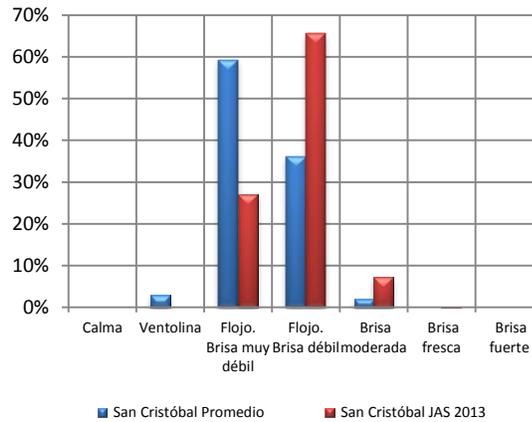
h)



i)



j)



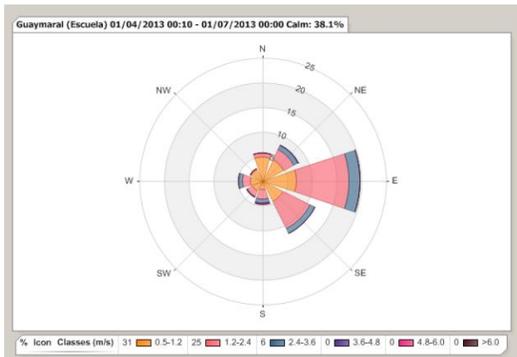
k)

Figura 4-17. Frecuencias de la velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en AMJ de 2013 y su comparación con el mismo periodo en el promedio 1998 – 2012.

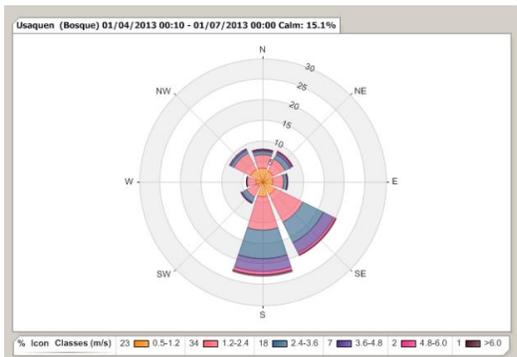
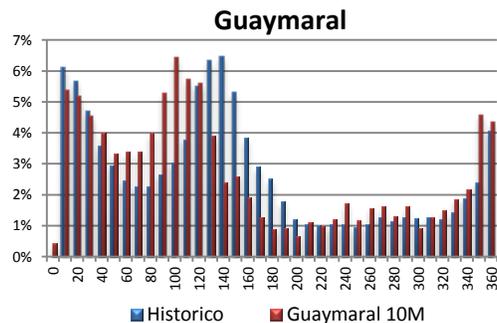
La Tabla 4-12 muestra el porcentaje de representatividad de los datos en el trimestre.

Tabla 4-12. Representatividad mensual (%) de la Dirección de los vientos 2013.

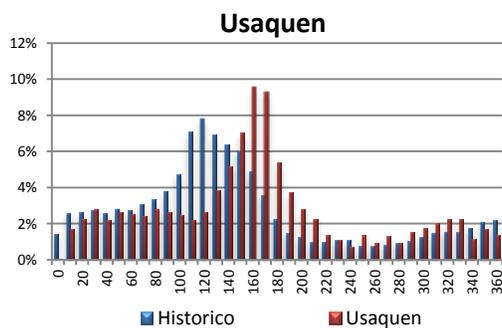
ESTACIÓN	ABR	MAY	JUN	AMJ
Guaymaral	98	100	98	99
Usaquén	89	96	46	77
Suba	85	100	100	95
Las Ferias	93	100	96	96
Parque Simón Bolívar	100	100	100	100
Sagrado Corazón	92	100	100	97
Fontibón	99	100	96	98
Puente Aranda	94	100	100	98
Kennedy	100	100	100	100
San Cristóbal	44	91	99	78
Carvajal	100	100	99	100
Tunal	98	95	91	95



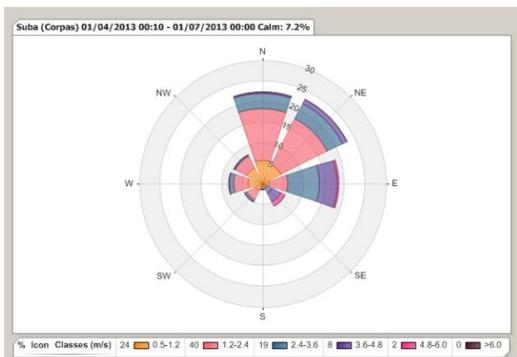
Guaymaral



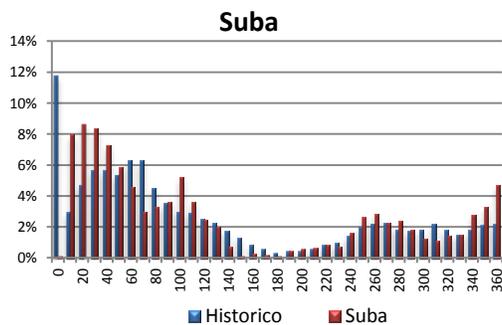
Usaquen



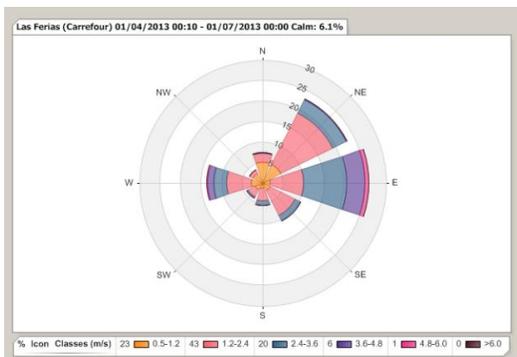
Usaquén



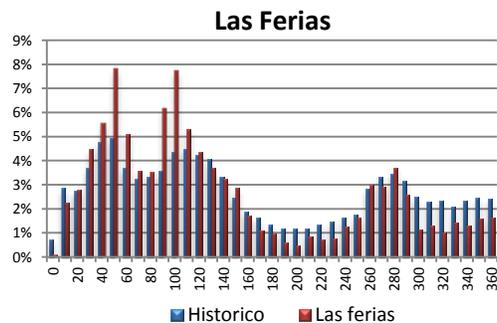
Suba

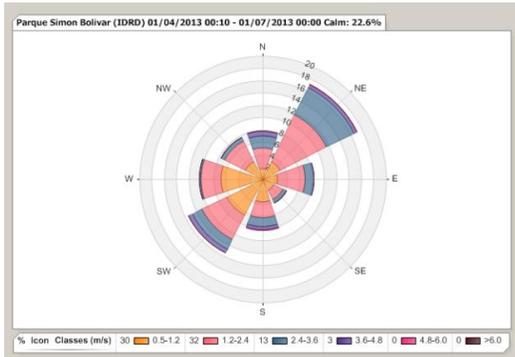


Suba

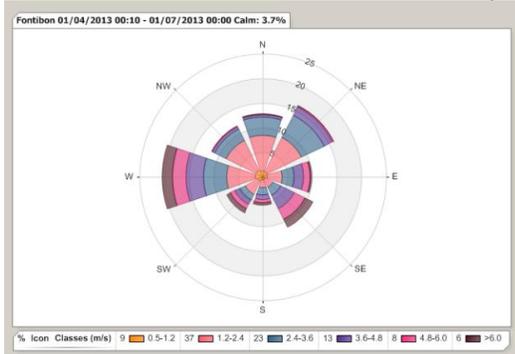
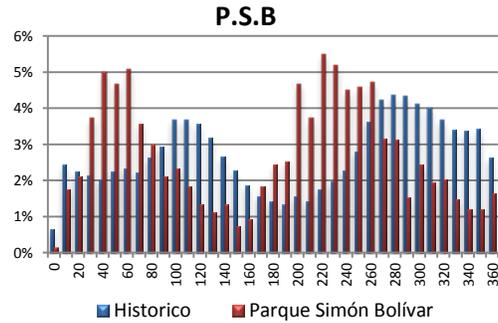


Las Ferias

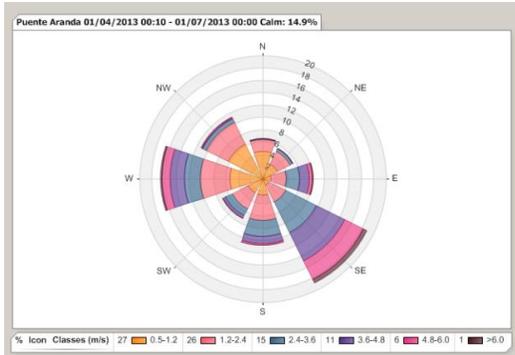
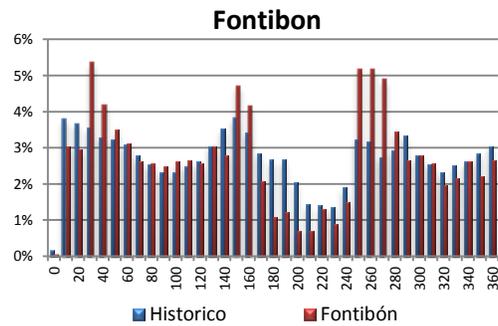




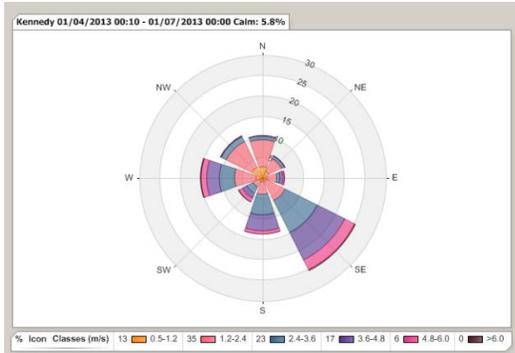
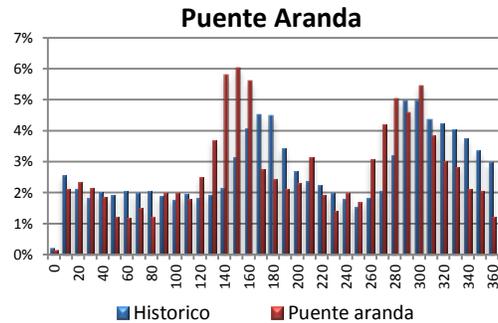
Parque Simón Bolívar



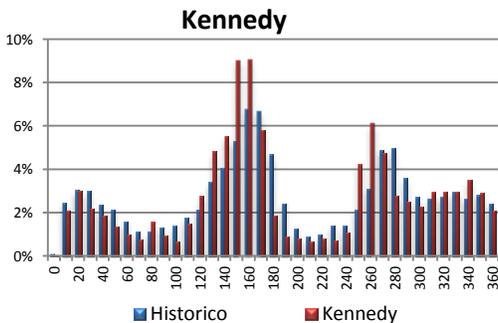
Fontibón

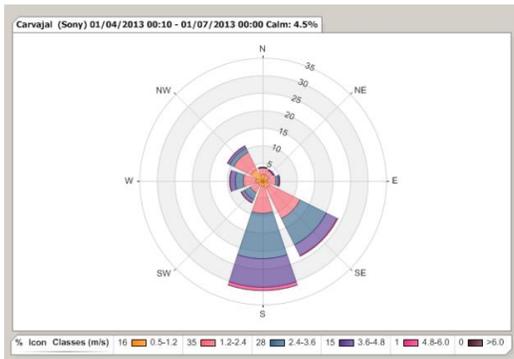


Puente Aranda

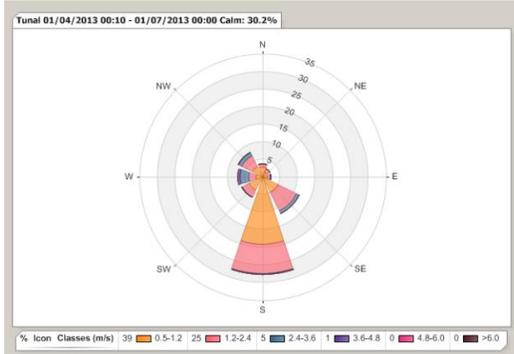
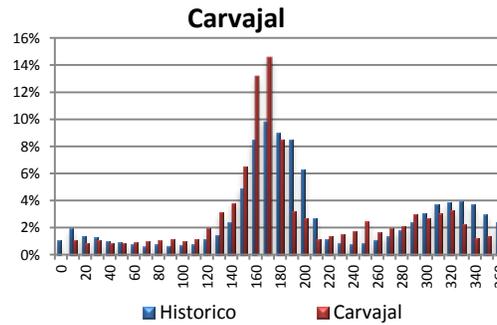


Kennedy

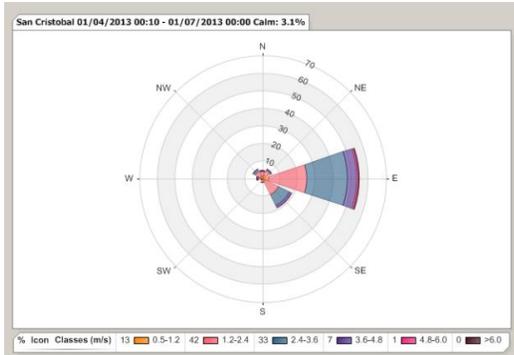
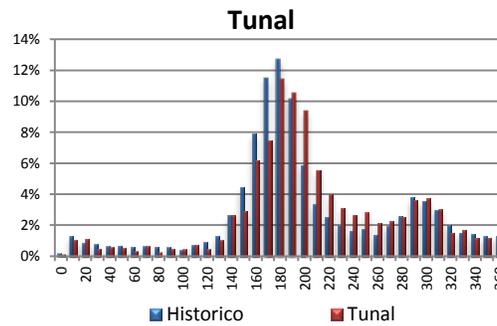




Carvajal (Sony)



Tunal



San Cristóbal

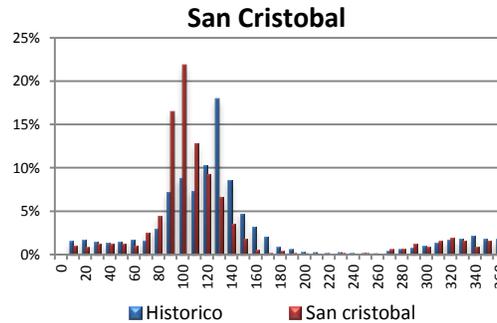


Figura 4-18. Rosa de los vientos y porcentaje de frecuencias de dirección del viento durante el trimestre abril mayo junio en las estaciones de la RMCAB.

La Figura 4-19 muestra gráficas de las velocidades del viento en escala horaria para cada uno de los meses del I semestre de 2013, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la velocidad del viento. Todas las estaciones muestran el comportamiento típico de la velocidad del viento en (m/s); en horas de la madrugada se observan velocidades muy bajas o incluso cero y las velocidades máximas se presentan cerca de las 2 p.m.

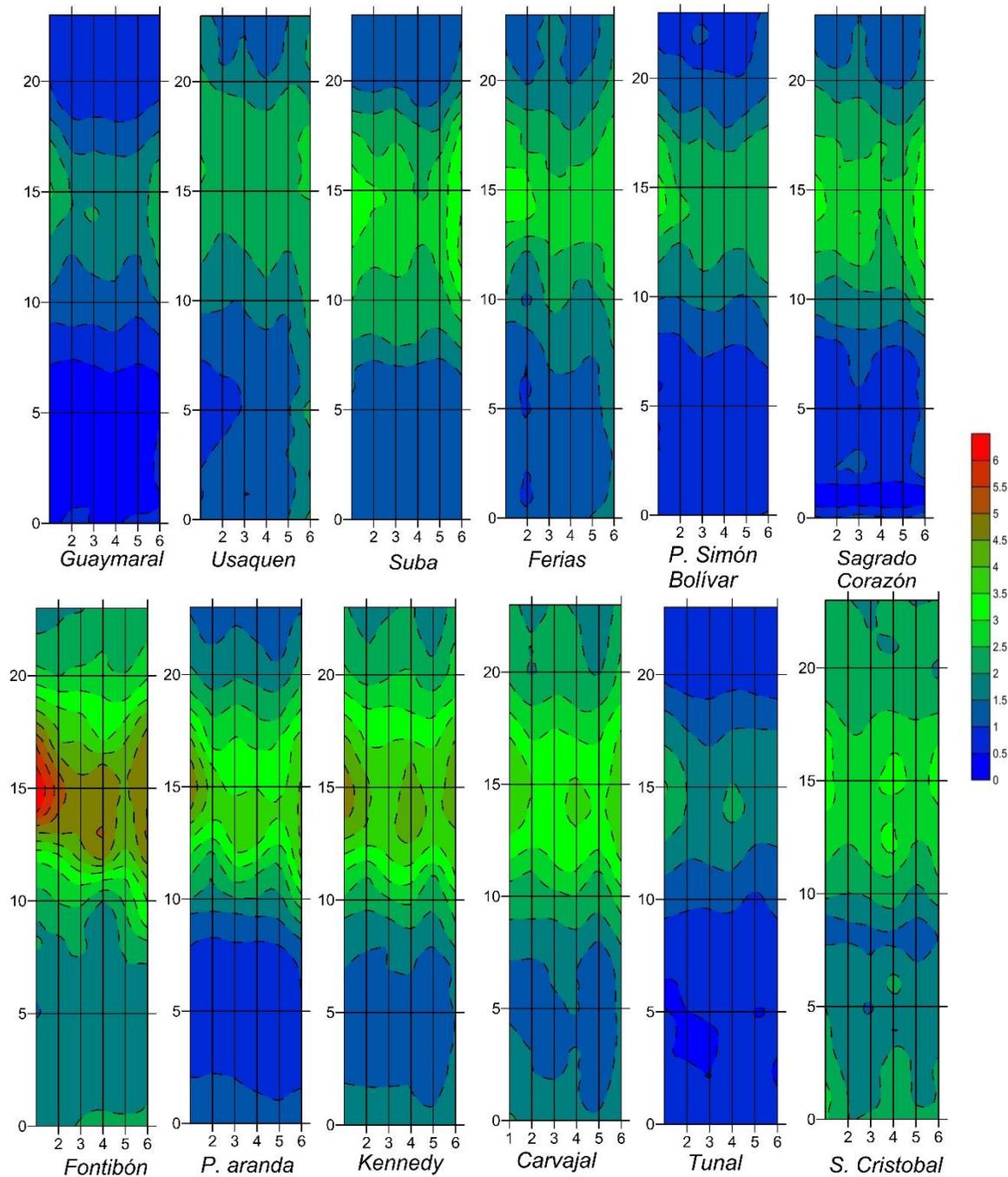


Figura 4-19. Gráfica de la velocidad del viento para cada hora en las estaciones de la RMCAB en el I semestre de 2013. Fuente RMCAB

El mapa de la Figura 4-20 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para el II trimestre de 2013 sobre esta superficie. Así mismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones de los vientos. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento, al Norte de la ciudad. Predominan vientos del Noreste y del Sureste

en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron a lo largo del Occidente del perímetro urbano, alcanzando velocidades de hasta 2,7 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 1,0 m/s en el Norte hasta los 2,7 m/s en el Occidente de la ciudad.

En la Figura 4-21 se encuentran los mapas de la ciudad en 4 diferentes escalas horarias para el trimestre AMJ de 2013; es evidente que la velocidad en horas de la tarde alcanza su máximo valor, por encima de los 4,2 m/s. En horas de la madrugada se presenta una confluencia de vientos al Occidente de la capital, por la mañana dicha confluencia se desplazó ligeramente al Sur mientras que por la tarde y noche se observa una uniformidad de los vientos, principalmente del Este - Sureste.

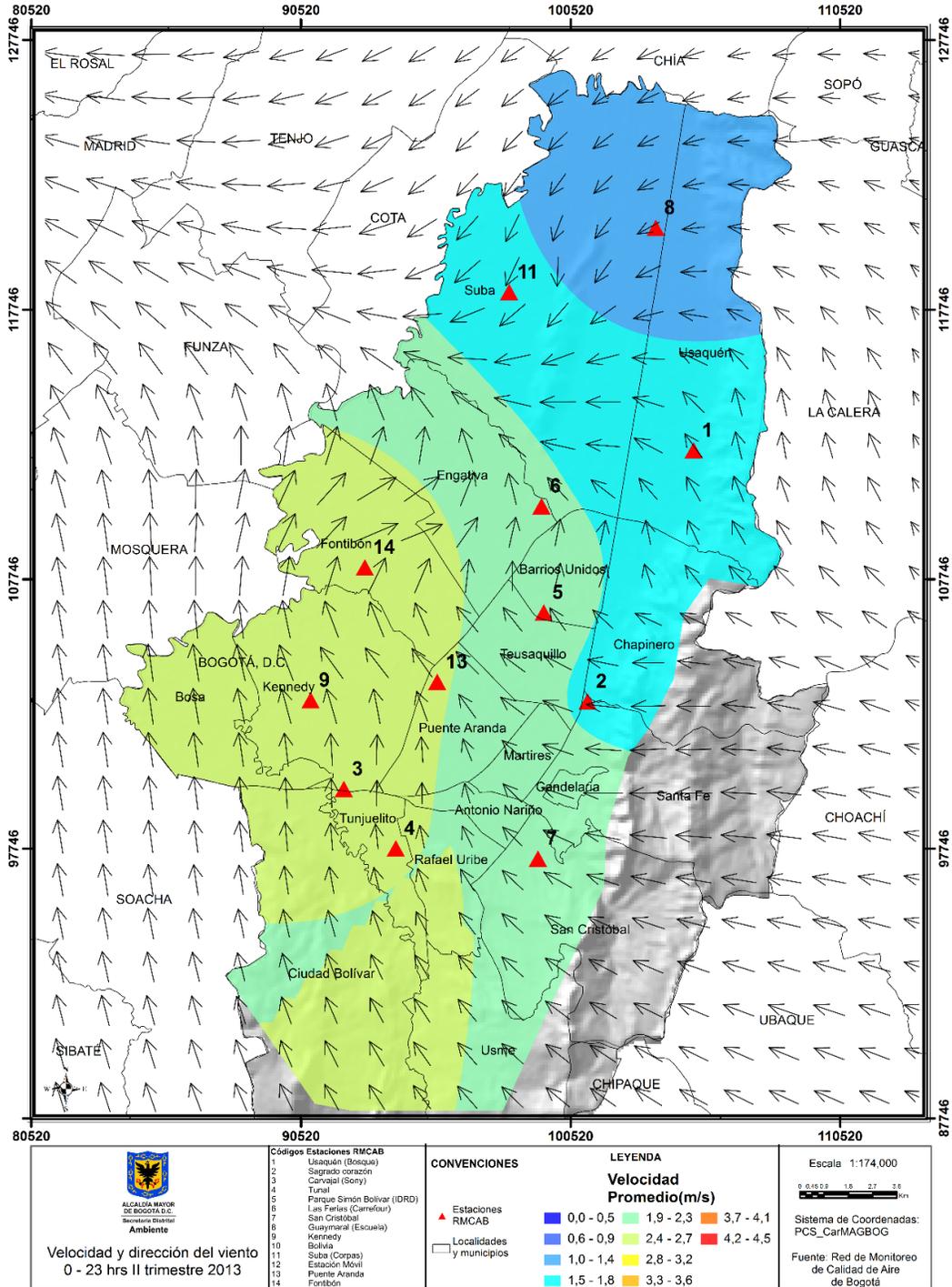


Figura 4-20. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre Abril Mayo Junio (AMJ) de 2013. Fuente RMCAB.

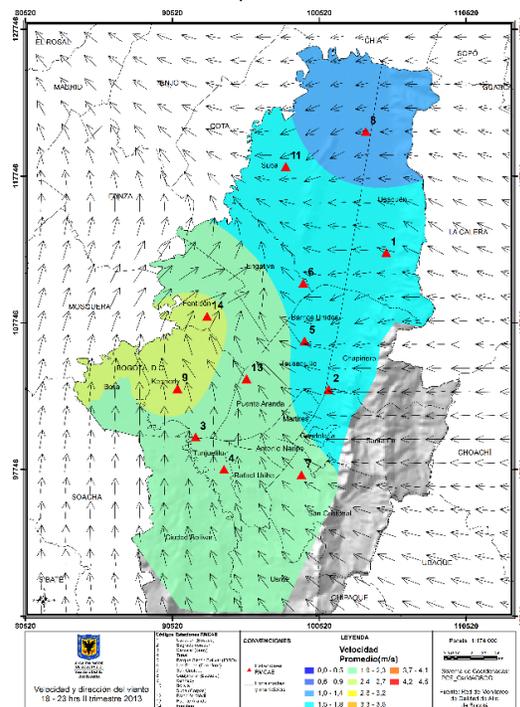
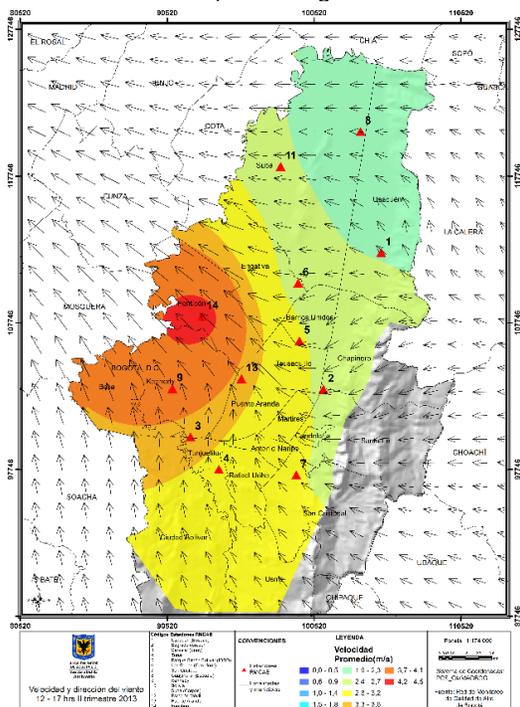
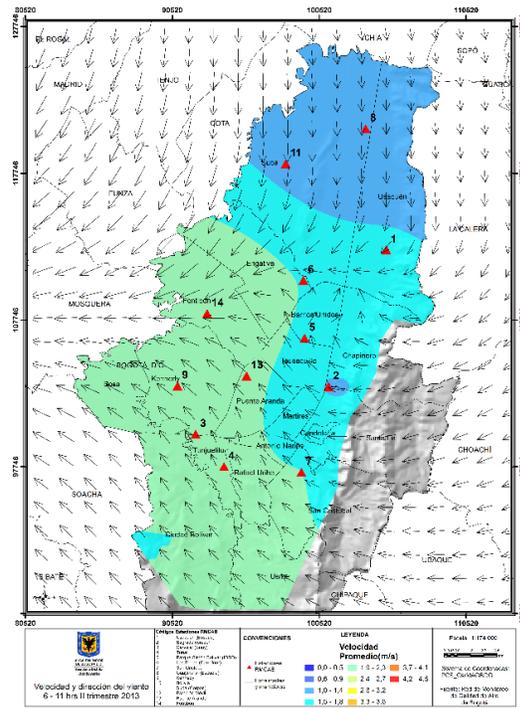
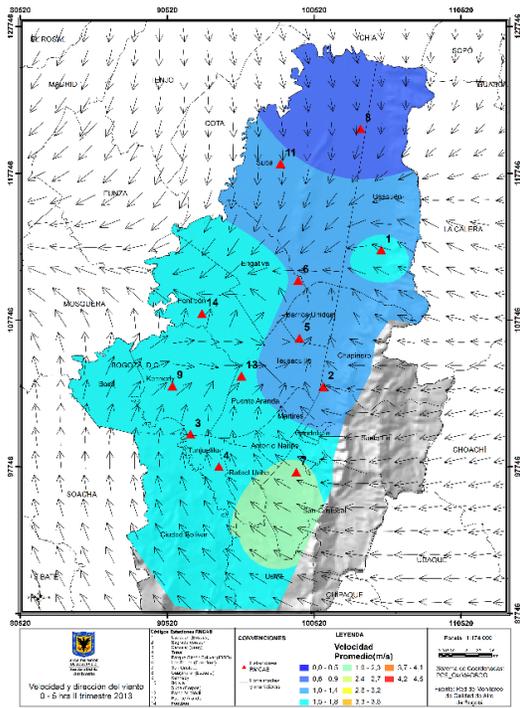


Figura 4-21. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre Abril Mayo Junio (AMJ) de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. Fuente RMCAB.

4.3. Temperatura Superficial

Bogotá contó con once estaciones de la RMCAB dotadas con sensores de temperatura durante el trimestre AMJ de 2013, según se reporta en la Tabla 4-1. Para analizar el comportamiento de la temperatura superficial registrada por las estaciones de la RMCAB se presentan mapas y gráficas según la variación ya sea horaria o mensual en comparación con los promedios registrados desde la puesta en funcionamiento de los sensores. La Tabla 4-13 presenta el porcentaje de datos recibidos en el periodo.

Tabla 4-13. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura 2013

Estación	ABR.	MAY.	JUN.	JAS
Guaymaral	98	100	98	99
Usaquén	91	99	84	92
Suba	85	99	100	95
Las Ferias	93	100	96	96
Parque Simón Bolívar	100	100	100	100
Fontibón	99	100	96	98
Puente Aranda	94	100	100	98
Kennedy	100	100	100	100
Carvajal	100	100	99	100
Tunal	98	95	91	95
San Cristóbal	43	91	99	78

El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el trimestre se caracterizó por valores ligeramente por encima de lo normal (periodo 1998-2012, donde las estaciones han variado de locación) con diferencias que alcanzaron los 0.7 °C (abril). Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 4-22 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 I semestre.

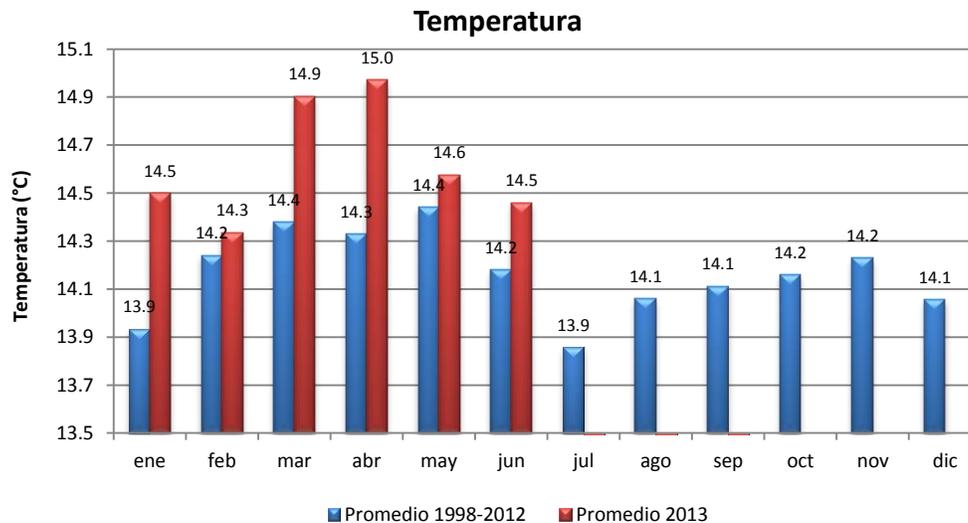


Figura 4-22. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 y su comparación hasta septiembre de 2013. Fuente RMCAB.

La Tabla 4-14 muestra la variación porcentual en el trimestre con respecto a los promedios de los últimos años. La Figura 4-23, muestra la evolución de la temperatura promedio trimestral en el periodo 1998-2012, en la que se observa que los trimestres de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2010 y 2005 mientras que los de menor temperatura fueron 2006 y 1999.

Tabla 4-14. Variación porcentual de la temperatura mensual promedio de Bogotá en 2013

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
4.1%	0.7%	3.6%	4.5%	0.9%	2.0%

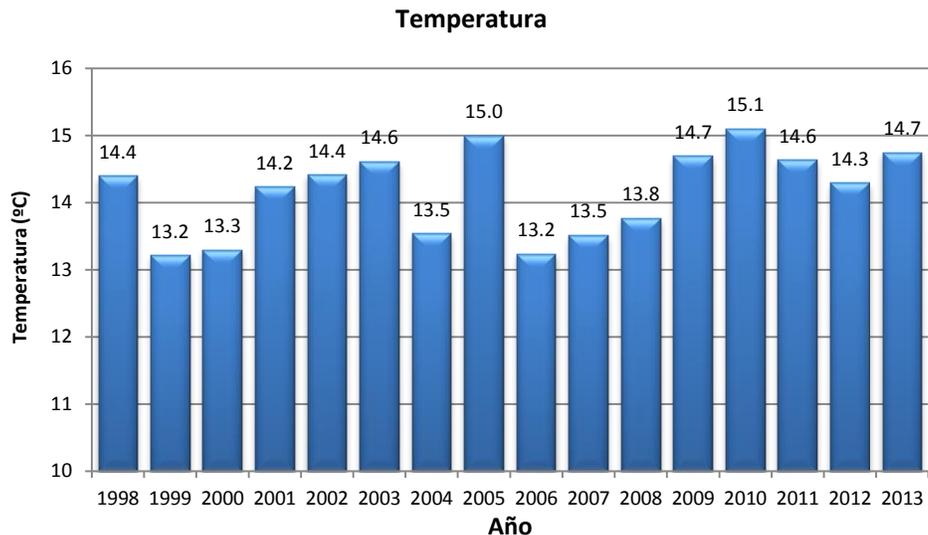


Figura 4-23. Gráfica de la temperatura trimestral promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2013. Fuente RMCAB.

La Tabla 4-15 muestra esta evolución distribuida para cada estación de la RMCAB.

Tabla 4-15. Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013. Fuente RMCAB

Valores (°C)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral 2m 1997	11.8	12.6	12.8	12.1	12.7	13.8	13.5	13.9	14.1	14.5	15.4	14.9	14.4	15.0
Usaquén 1997									10.8	13.9	15.5	14.8	14.5	15.1
Suba 1997	11.0	13.5			12.3		12.4	13.5	13.9	13.5	13.5		14.1	14.7
Las ferias 2000	16.0	16.3	16.2	16.3	15.2	15.6			13.6	14.1	14.6	14.1	13.9	14.4
Parque Simón Bolívar 2001						16.5			14.4	14.9	15.4	15.0	14.7	15.2
Fontibón 1999	14.0	14.1	14.1	14.4	14.0	14.6	14.0	14.1	14.4	14.9	15.0	14.0	13.8	14.4
Puente Aranda 1999	14.6	14.6	14.6	14.7	14.5	15.1	14.6	14.7	14.1	14.8	14.9	14.4	14.0	14.1
Kennedy 2005									12.9	14.9	15.2	14.8	14.6	15.2
Carvajal 1997						13.0	11.5	11.5	14.9	15.6	15.9	15.4	15.2	15.9
Tunal 2006							12.2		14.3	14.8		13.6	13.6	13.4
San Cristóbal 2009											13.7	14.1	12.9	13.4

El comportamiento horario de la temperatura varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la capa nubosa presente en la atmósfera entre otros, observándose los datos de temperatura máximos en las primeras horas de la tarde y los valores mínimos en horas de

la madrugada. Como se puede apreciar en la Figura 4-24, la temperatura promedio de las estaciones estuvo por encima del promedio casi a lo largo del día salvo en las madrugadas, en donde las temperaturas fueron similares.

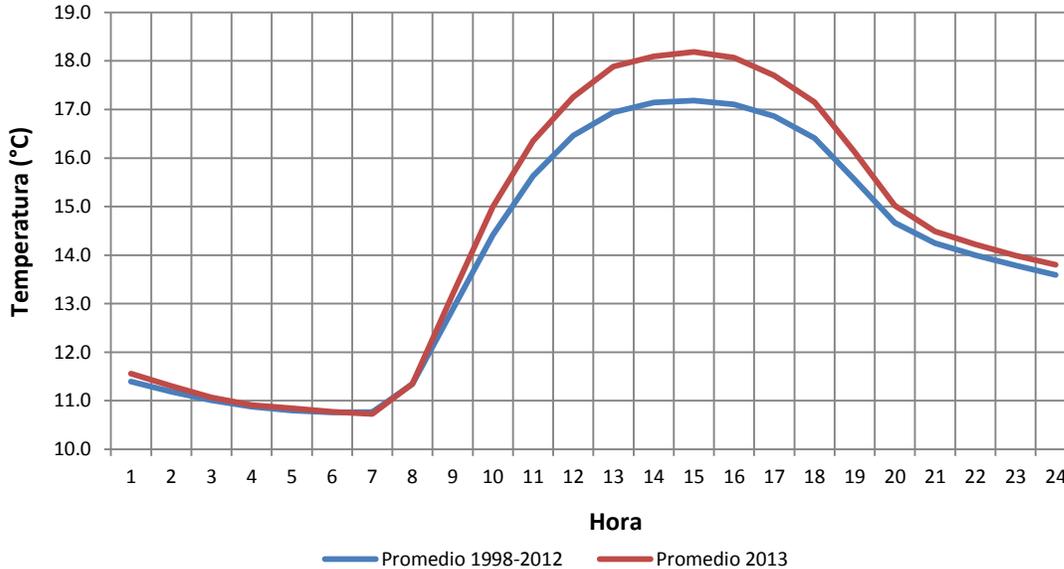


Figura 4-24. Comportamiento horario promedio en las estaciones de la RMCAB de la temperatura superficial.

Adicionalmente la Tabla 4-16 y Tabla 4-17 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación para el trimestre.

Tabla 4-16. Temperaturas máximas registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio. Fuente RMCAB

ESTACIÓN	MES			
	Abril	Mayo	Junio	Total general
Guaymaral 2m 1997	21.95	20.66	20.84	21.14
Usaquén 1997	19.06	19.75	16.97	18.60
Suba 1997	20.39	21.28	20.86	20.85
Las ferias 2000	19.73	18.99	18.96	19.22
Parque Simón Bolívar	21.76	20.85	20.67	21.09
Fontibón 1999	19.33	18.50	18.38	18.73
Puente Aranda 1999	18.12	17.80	17.64	17.85
Kennedy 2005	19.27	18.45	19.14	18.95
Carvajal 1997	21.34	20.25	20.46	20.68
Tunal 2006	20.19	18.48	18.47	19.04
San Cristóbal 2009	10.35	17.11	17.18	14.91

Tabla 4-17. Temperaturas mínimas registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio. Fuente RMCAB

ESTACIÓN	MES			
	Abril	Mayo	Junio	Total general
Guaymaral 2m 1997	10.36	10.94	9.45	10.26
Usaquén 1997	11.43	11.94	10.08	11.16
Suba 1997	9.90	10.77	9.39	10.03
Las ferias 2000	11.27	11.10	10.86	11.08
Parque Simón Bolívar	10.81	11.06	9.98	10.62
Fontibón 1999	11.35	11.25	10.76	11.12
Puente Aranda 1999	10.99	11.06	10.87	10.97
Kennedy 2005	12.35	12.25	11.84	12.15
Carvajal 1997	12.48	12.39	12.03	12.30
Tunal 2006	9.13	9.15	8.47	8.92
San Cristóbal 2009	5.99	10.08	9.78	8.63

La Tabla 4-18 presenta la amplitud térmica para cada uno de los meses del trimestre AMJ. La estación que mayor amplitud corresponde a Suba con 11,5°C seguido de Guaymaral con un promedio de 11,4°C mientras que la estación de Puente Aranda presenta 6,8 °C consolidándose como la de menor amplitud térmica; pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. La historia de este tipo de análisis muestra que la amplitud térmica en Bogotá no supera los 12°C.

Tabla 4-18: Amplitud térmica de las estaciones de la RMCAB en AMJ de 2013.

ESTACIÓN	AMPLITUD TÉRMICA		
	Abril	Mayo	Junio
Guaymaral 2m 1997	11.59	9.72	11.39
Usaquén 1997	7.63	7.81	6.89
Suba 1997	10.49	10.51	11.47
Las ferias 2000	8.47	7.89	8.10
Parque Simón Bolívar	10.95	9.78	10.69
Fontibón 1999	7.99	7.24	7.61
Puente Aranda 1999	7.13	6.74	6.78
Kennedy 2005	6.92	6.21	7.30
Carvajal 1997	8.86	7.86	8.43
Tunal 2006	11.06	9.34	9.99
San Cristóbal 2009	4.36	7.04	7.40

A continuación se presentan los valores de temperatura para los dos trimestres que van corrido del año. Se observa que en todos los casos la temperatura fue mas alta en el segundo trimestre salvo en la estación de Las Ferias y San Cristóbal.

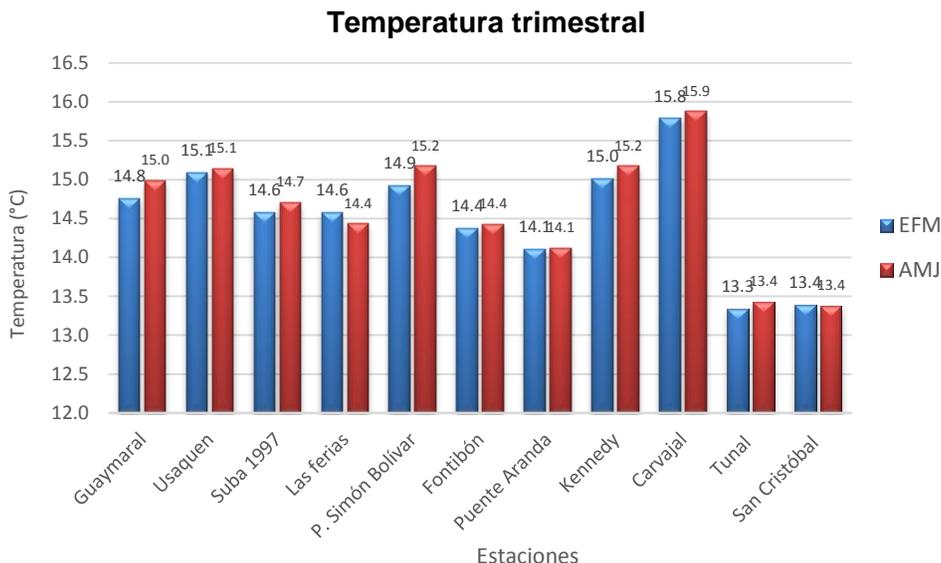


Figura 4-25. Gráfica de la temperatura promedio de EFM y AMJ para cada una de las estaciones de la RMCAB en 2013. Fuente RMCAB.

La Figura 4-26 y Figura 4-27 muestran gráficas de las temperaturas superficiales en escala horaria para cada uno de los meses del primer semestre de 2013, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, las ordenadas las horas y la escala de colores representa la magnitud de la temperatura promedio de la hora en °C. Al igual que en la Figura 4-24, se observa un período de disminución leve de la temperatura entre las 2 y las 5 de la mañana, un posterior aumento significativo entre las 6:00 y las 12:00, hora en la cual se alcanzan los máximos valores hasta las 14:00. A continuación desciende levemente hasta alcanzar temperaturas similares a las registradas en las primeras horas del día. En la Figura 4-26, se presenta el caso particular de la estación de Guaymaral con sus sensores ubicados a 2, 8 y 20 metros así como la diferencia de temperaturas entre 20m - 2m y 8m - 2m. La estación de Guaymaral alcanzó las temperaturas más altas iniciando el año a los 2m; como es de esperar, estas temperaturas tienden a disminuir con la altura aunque se mantiene la variabilidad en los tres niveles observados; cabe resaltar en el inicio del periodo las temperaturas promedio de los 20 m fueron mayores que las de los 8m. Por su parte, las inversiones térmicas observadas entre los 8 y 2m fueron más notorias en febrero; las inversiones 20 - 8 m presentaron diferencias significativas en el primer trimestre del año. El resto de estaciones son similares a lo acotado anteriormente; nótese las bajas temperaturas en la estación de San Cristóbal y Tunal en horas de la madrugada a lo largo de los últimos meses lo que denota baja nubosidad en horas de la madrugada.

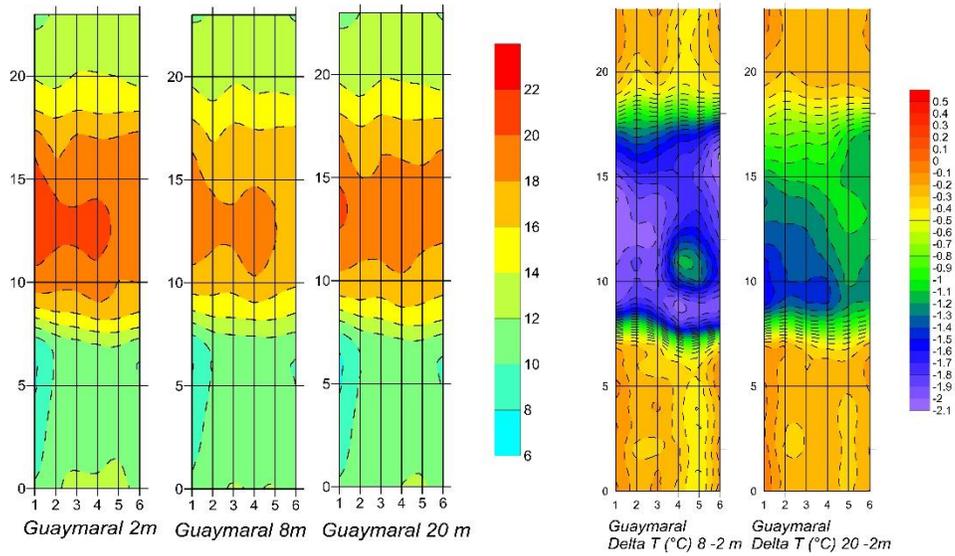


Figura 4-26. Temperatura a 2, 8 y 20 m de la estación de Guaymaral y diferencias de temperaturas entre 8 – 2 m y 20 – 2 m. Fuente RMCAB.

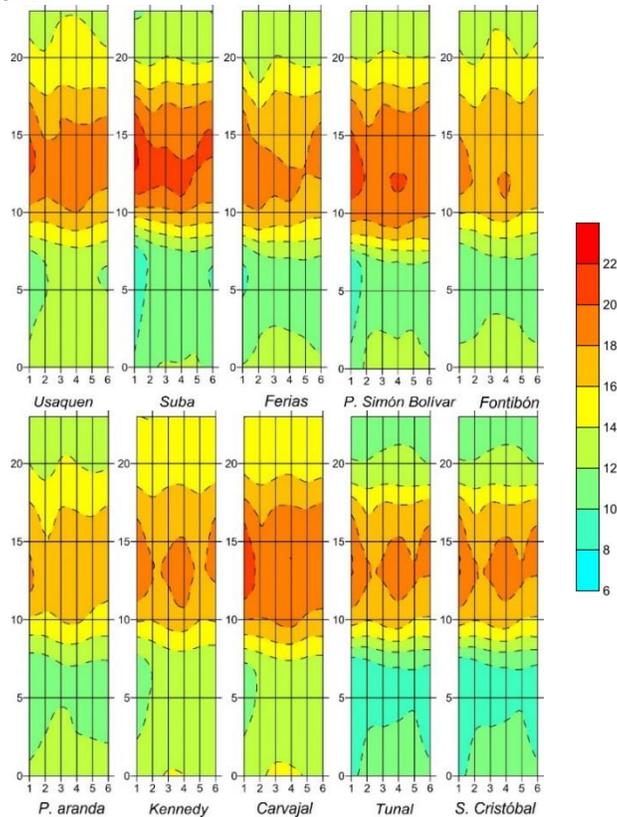


Figura 4-27. Gráfica de la temperatura para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el I semestre de 2013. Fuente RMCAB

Los mapas de la Figura 4-28 y la Figura 4-29 muestran a la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el trimestre AMJ de 2013 sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados principalmente al Oriente y Sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En estos mapas se puede observar que la menor temperatura se encuentra al Suroriente de la capital. Los mayores promedios se encuentran en gran parte del Occidente de la ciudad, a la altura de Kennedy y Tunal.

Los mapas de la Figura 4-29 presentan la temperatura mensual sobre la ciudad de Bogotá en los cuales se observa la evolución en las distintas localidades de Bogotá. Como se puede notar, marzo y abril han sido los meses de mayor temperatura con altos valores en el Occidente; se observa claramente que en febrero se presentaron las menores temperaturas, principalmente hacia el Suroriente de la ciudad.

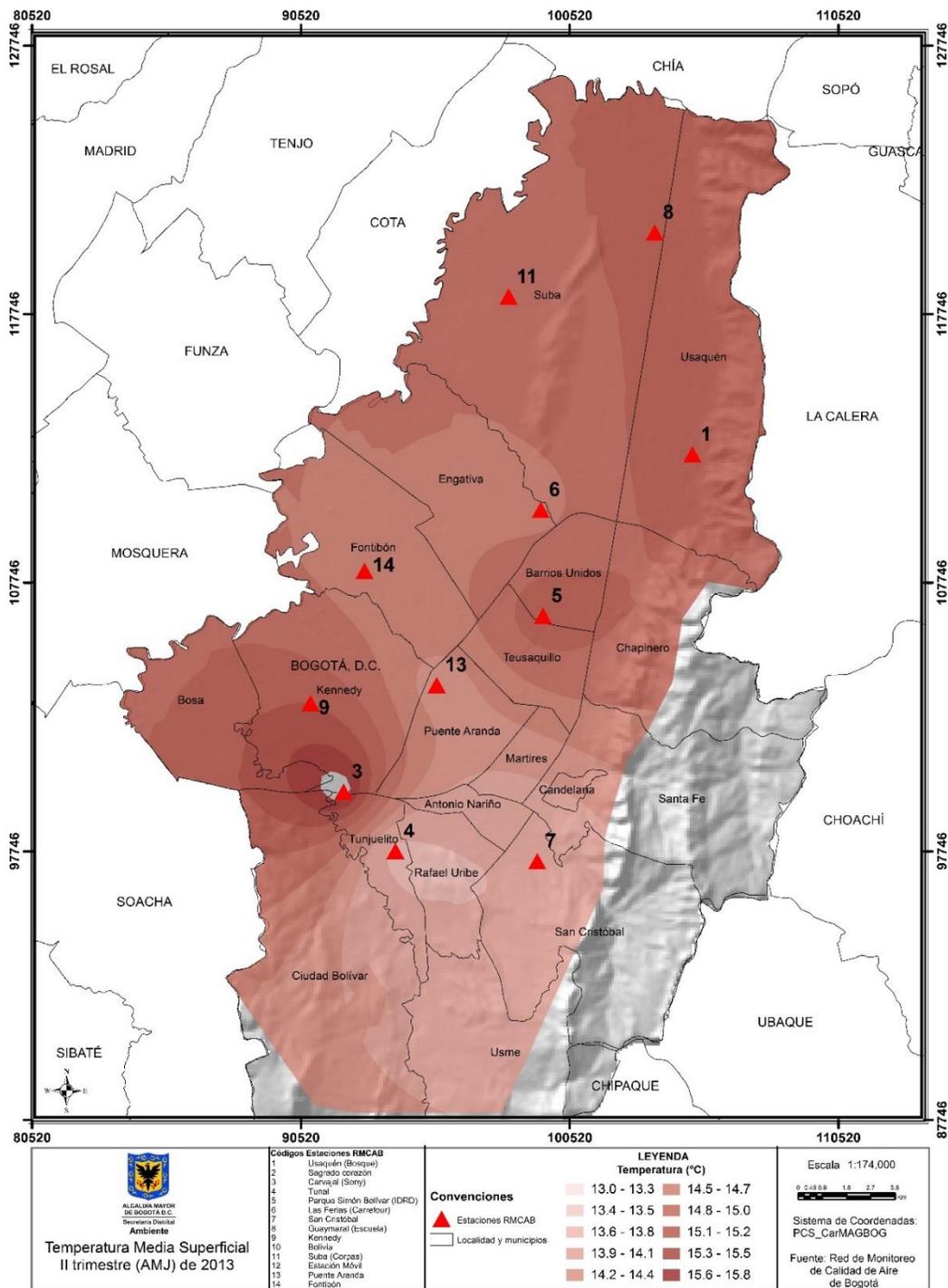


Figura 4-28. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB para el II trimestre de 2013. Fuente RMCAB.

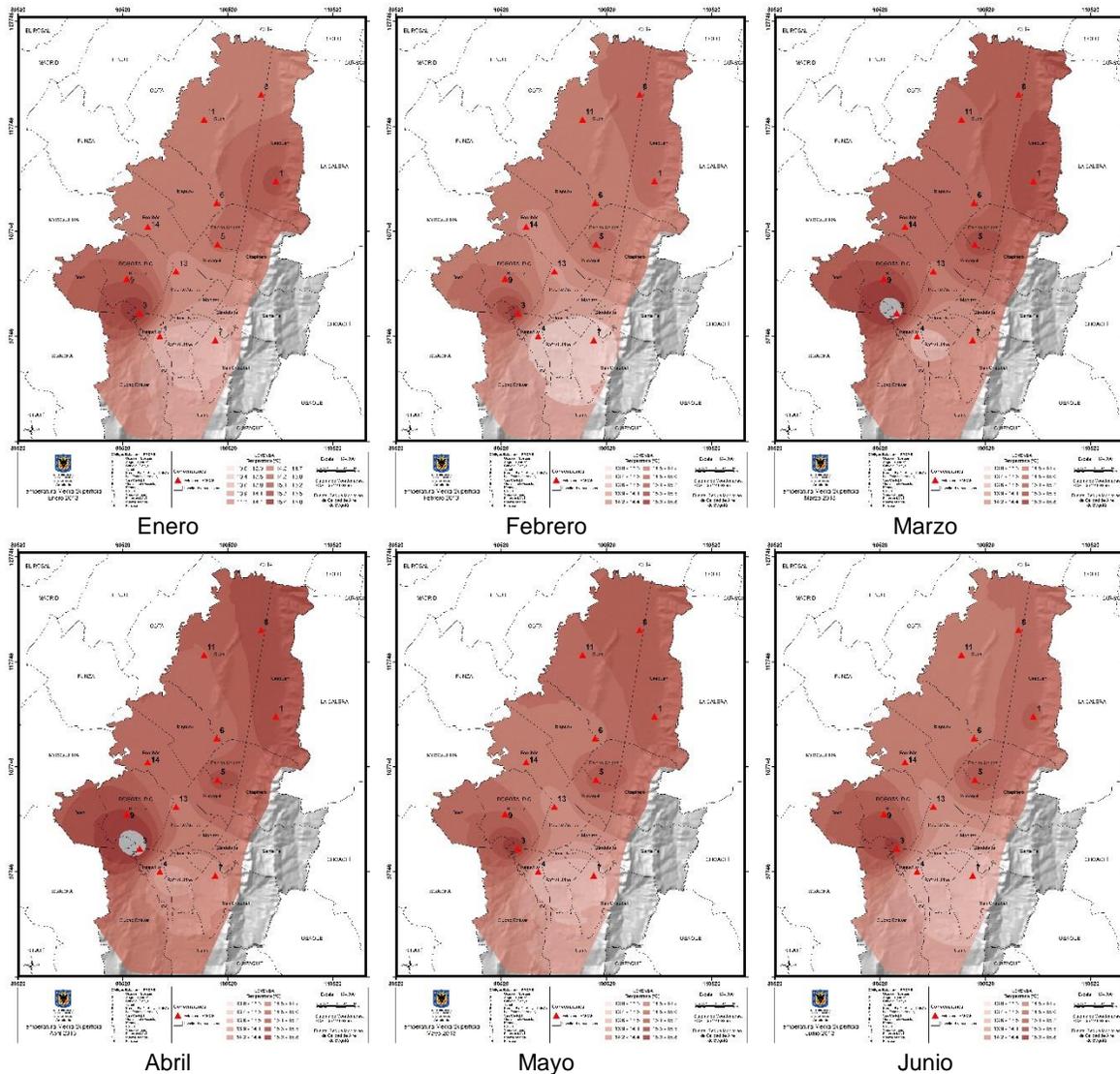


Figura 4-29. Temperatura promedio mensual para el I semestre de 2013.

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 4-30 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente y su seguimiento permite detectar zonas con susceptibilidad de heladas y/o alto consumo de energía, entre otros.

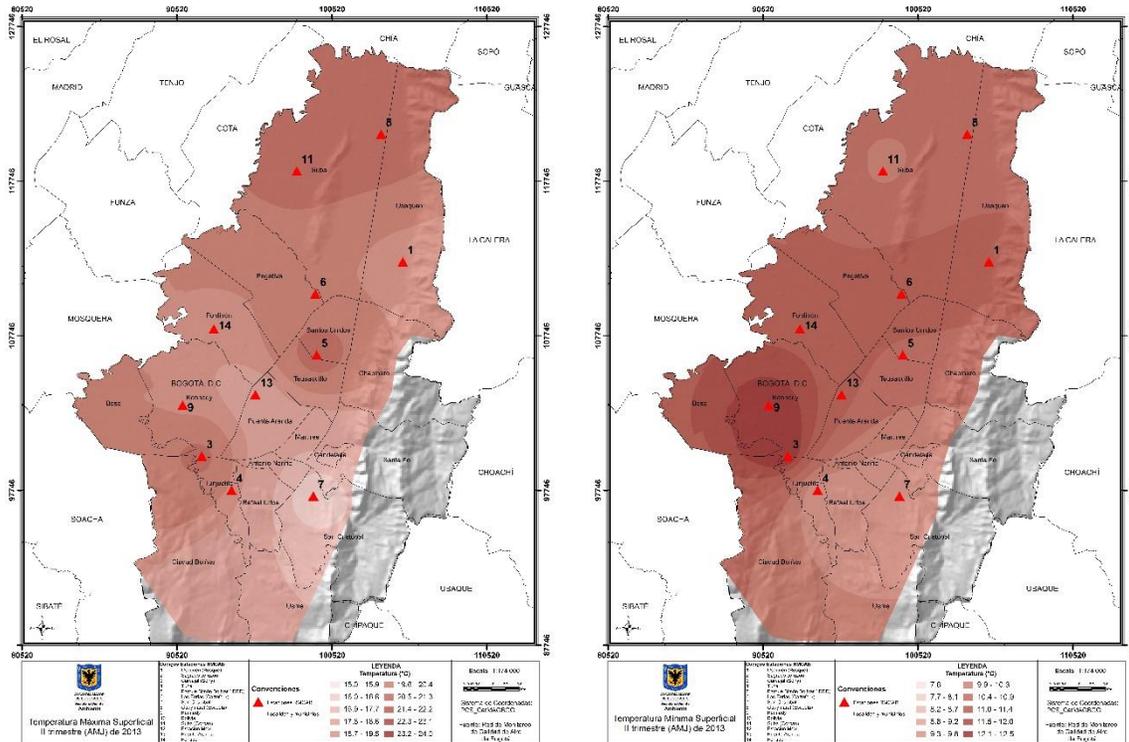


Figura 4-30. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

La Figura 4-30 muestra que los valores mas altos de temperaturas máximas se observaron en el sector Norte de la ciudad, las mínimas más bajas hacia el Occidente de la capital.

4.4. Radiación solar

El resumen del comportamiento de la radiación solar global para el periodo se puede apreciar en la Figura 4-31, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2012 de radiación mensual para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 4-1) y su comparación con el promedio de radiación global en el trimestre. La Tabla 4-19 presenta el porcentaje de representatividad de los datos recibidos en el periodo.

Tabla 4-19. Porcentaje de representatividad de la variable radiación en el periodo AMJ de 2013

Estaciones	ABR	MAY	JUN	AMJ
Guaymaral (Escuela)	99%	100%	99%	99%
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100%	100%	100%	100%
Kennedy	100%	100%	100%	100%
Tunal	98%	95%	94%	96%
San Cristóbal	68%	46%	0%	38%

Se puede observar en la Figura 4-31 que la radiación en el trimestre fue mayor en su acumulado respecto al periodo histórico de referencia, especialmente en el mes de abril en donde la diferencia alcanzó los 707,6 W/m², lo que representa un 24,4%. La Tabla 4-20 muestra la variación porcentual de la radiación con respecto al periodo histórico.

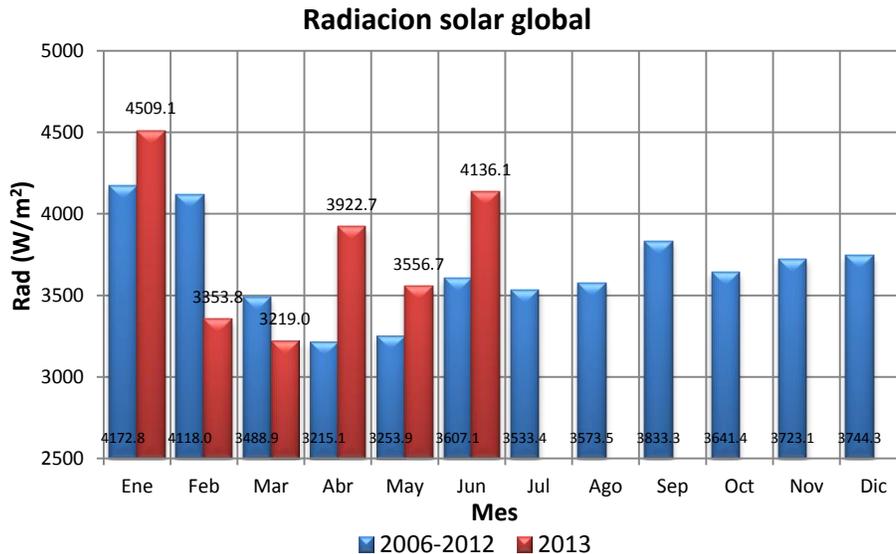


Figura 4-31. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2012 y su comparación hasta junio de 2013. Fuente RMCAB.

Tabla 4-20. Variación Porcentual de la radiación solar global mensual promedio de Bogotá en el II trimestre de 2013.

ABR	MAY	JUN
24.4%	10.7%	16.3%

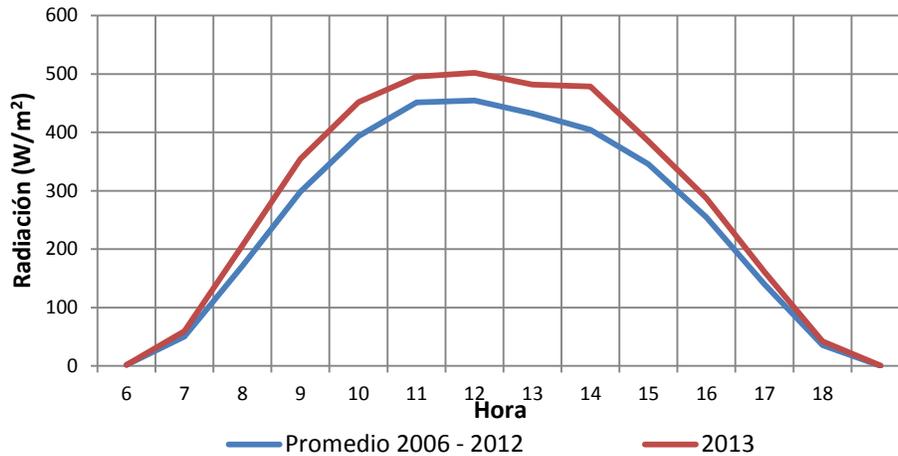


Figura 4-32. Gráfica de la radiación solar global horaria de las estaciones de la RMCAB para el trimestre AMJ de 2013 y el promedio AMJ 2006-2012. Fuente RMCAB.

La Figura 4-32 muestra el comportamiento entre la radiación solar global horaria para el trimestre y el promedio en el periodo 2006-2012. El comportamiento fue moderadamente mayor con hincapié en las horas de la mañana e iniciando la tarde.

La Figura 4-33 y la Figura 4-34 esquematizan el comportamiento horario en cada una de las estaciones donde se mide esta variable.

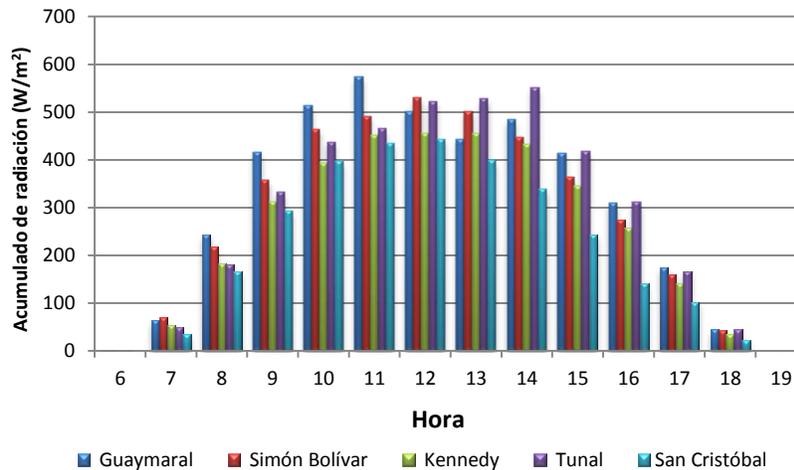


Figura 4-33. Comportamiento horario de la radiación para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

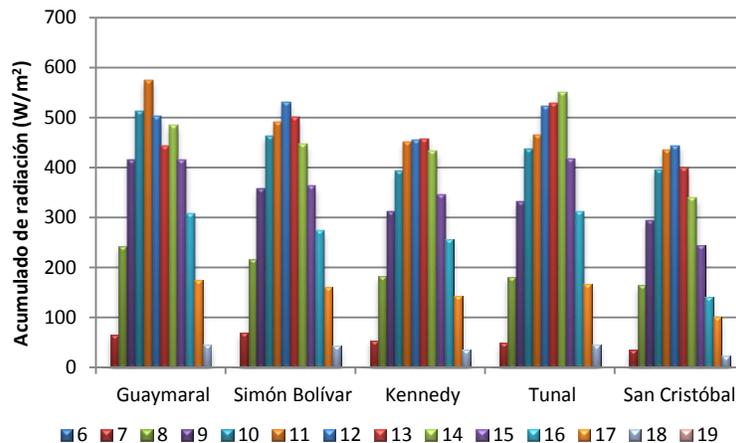


Figura 4-34. Comportamiento de la radiación en las estaciones a nivel horario. Fuente RMCAB

Similar a la figura anterior, la Figura 4-34 presenta estas condiciones discriminadas por estación. La Figura 4-35 presenta el resumen del acumulado horario para el trimestre, en donde se aprecia que la estación con mayor acumulado de radiación se presentó en Guaymaral seguido de Tunal.

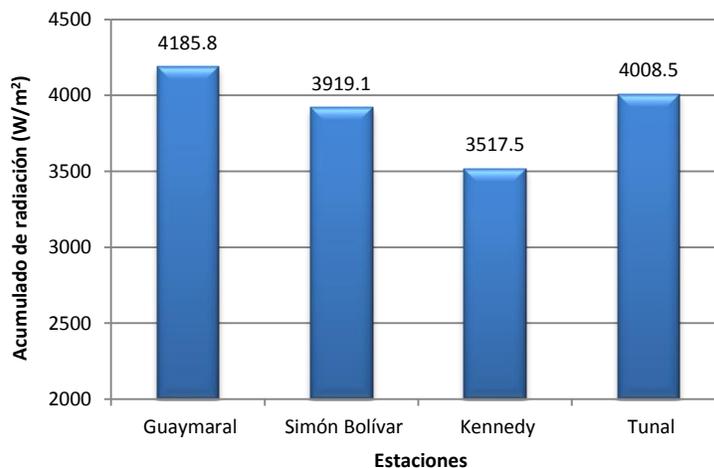


Figura 4-35. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs, en el trimestre AMJ 2013. Fuente RMCAB

Las radiaciones globales registradas por cada una de las estaciones de la RMCAB que miden esta variable (Tabla 4-1) mostraron un comportamiento similar. Esto se observa en la Figura 4-36, la cual muestra gráficas de radiación en escala horaria para cada uno de los meses del I semestre de 2013, de tal manera que el eje de las abscisas corresponde a los meses, las ordenadas a las horas y la escala de colores representa la magnitud de la radiación. Se puede observar que la mayor radiación solar global fue percibida en el mes de enero con mayor intensidad en Guaymaral y Tunal, luego disminuyó en el mes de marzo con tendencia a incrementar desde el mes de abril (caso Guaymaral) y presentando valores importantes nuevamente en junio.

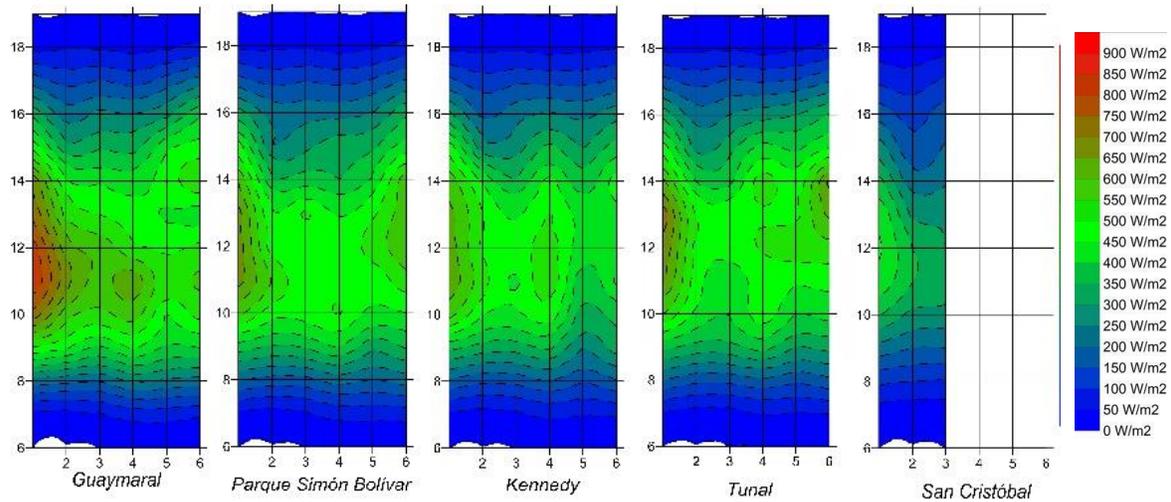


Figura 4-36. Gráfica de la radiación solar global para cada hora en el I semestre de 2013 en las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

4.5. Presión Atmosférica

El peso del aire de la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la tierra. Esta presión es conocida como presión atmosférica. Generalmente, cuanto más aire hay sobre una zona más alta es la presión, esto significa que la presión atmosférica cambia con la altitud a razón, en las capas atmosféricas más bajas, de un (1) mm Hg cada 10 metros (ó un (1) mb ó hPa cada ocho (8) metros). Para compensar esta diferencia y facilitar la comparación entre localizaciones con diferentes altitudes, la presión atmosférica es normalmente ajustada a la equivalente al nivel del mar. Este ajuste es conocido como presión barométrica, es decir, la presión barométrica es la presión atmosférica local más una corrección por la altitud geopotencial local. La presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables como la situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas. Debido a la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar, ésta es una variable fundamental que varía significativamente en latitudes medias y altas. En los trópicos la variación es menos notoria, dependiendo más de la altitud.

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 4-1. La ciudad de Bogotá está situada en la sabana del mismo nombre, sobre el altiplano Cundiboyacense (Cordillera Oriental de los Andes) y presenta mayor altitud en su parte oriental junto a los cerros, cuyo clima está influenciado por la convección producto del ascenso forzado de masas de aire, entre otros. Aunque el tiempo actúa de manera considerable en los valores de presión, en general se observan variaciones entre las estaciones debidas a la diferencia que hay entre la altitud y el fenómeno de marea barométrica que produce dos crestas y dos valles en el comportamiento diario. La Tabla 4-21 presenta el porcentaje de representatividad de los datos recibidos para esta variable durante el trimestre. Se observa que las estaciones que miden la variable de presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación, tal como se observa en la Figura 4-37

Tabla 4-21. Porcentaje de representatividad en el II trimestre de 2013.

Estación	ABR.	MAY.	JUN.	AMJ
Guaymaral (Escuela)	98	100	98	99
Las Ferias (Carrefour)	93	100	96	96
Fontibón	99	100	96	98
Kennedy	100	100	100	100

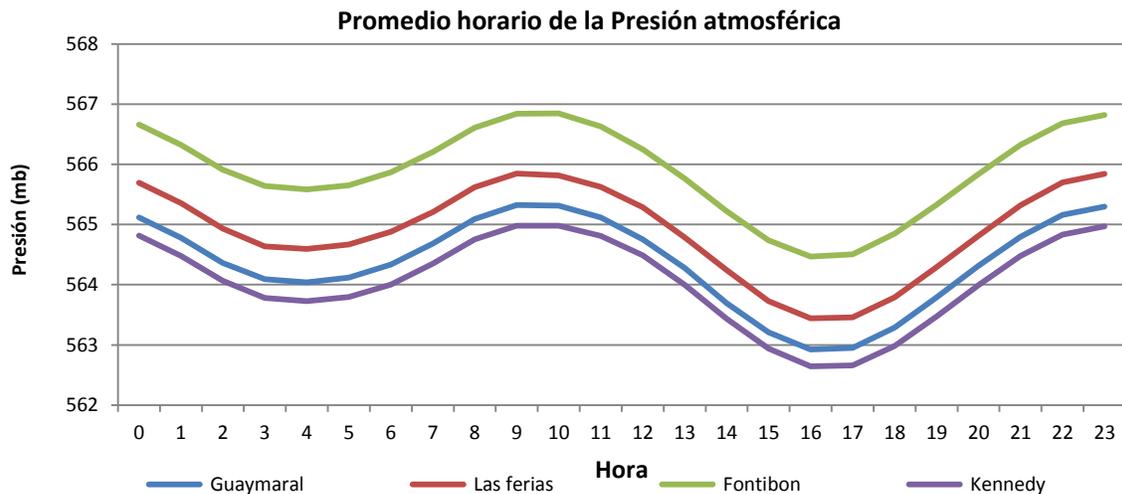


Figura 4-37. Gráfica de la Presión barométrica para cada hora en las estaciones de la RMCAB para el trimestre AMJ. Fuente RMCAB.

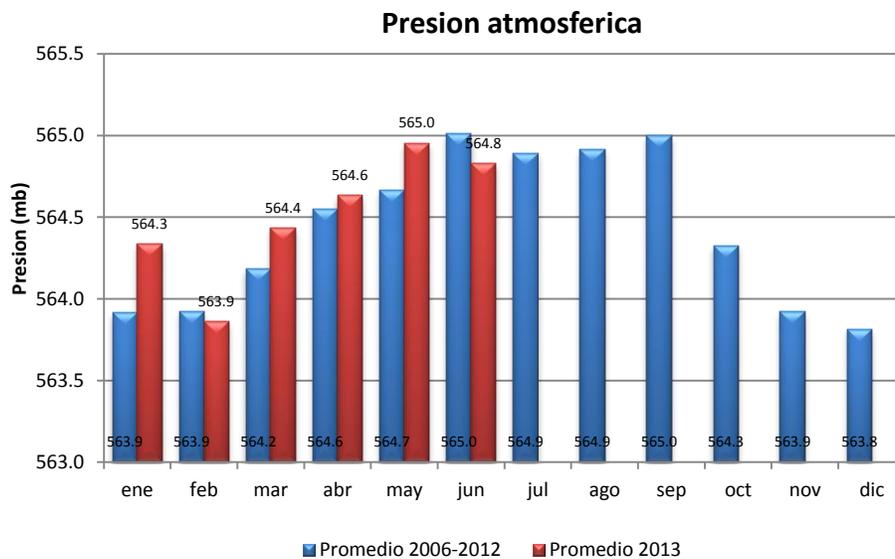


Figura 4-38. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

La Figura 4-38 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente; se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general en lo corrido del año la presión ha estado por encima del promedio histórico, salvo en febrero (mes anómalamente lluvioso) y junio. Como se observa en la Figura 4-39 el segundo trimestre ha sido el mayor reportado lo cual es característico de los trimestres AMJ.

Presión atmosférica

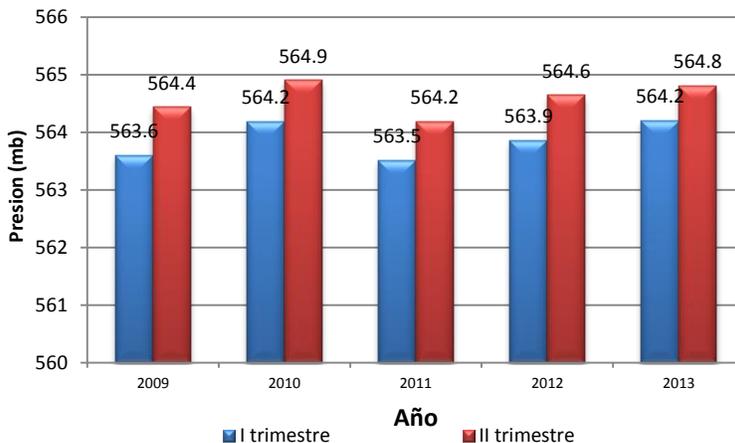


Figura 4-39. Comparación de la presión en los trimestres de 2009 a 2013 en la RMCAB. Fuente RMCAB

La Figura 4-40 muestra gráficas de la presión en escala horaria para cada uno de los meses del primer semestre de 2013, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, el eje de las ordenadas las horas y la escala de colores representan la magnitud de la presión. Como se mencionó anteriormente, la estación de Fontibón presenta la mayor presión a lo largo del día con crestas a la media noche y a las 10 de la mañana; la estación de Kennedy mostró los menores valores.

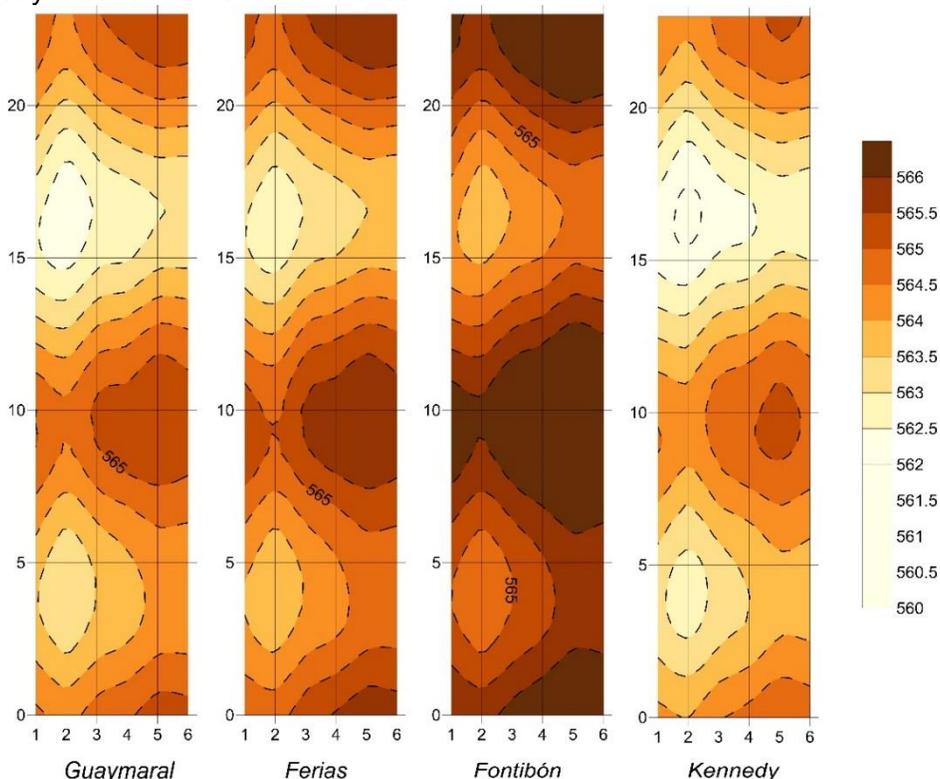


Figura 4-40 Gráfica de la presión para cada hora en el I semestre de 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como fue descrito en la Tabla 4-1. La Tabla 4-22 presenta el porcentaje de representatividad de los datos en el trimestre. La Figura 4-41 muestra que la humedad relativa en el trimestre estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2011.

Tabla 4-22. Porcentaje de representatividad de los datos en el II trimestre de 2013

Estación	ABR	MAY.	JUN.	AMJ
Guaymaral	98	100	98	99
Las Ferias	93	100	96	96
Parque Simón Bolívar	100	100	100	100
Kennedy	100	100	100	100
Tunal	98	95	91	95
San Cristóbal	34	0	0	11

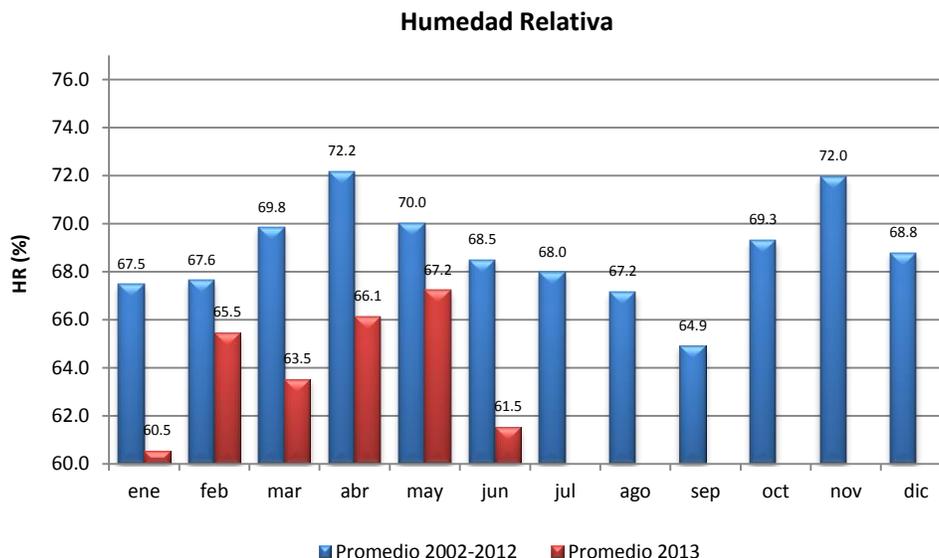


Figura 4-41. Humedad relativa mensual media del periodo 2002-2012 y su comparación con los meses de 2013. Fuente RMCAB

La disminución de humedad relativa del año 2013 con respecto al promedio en el periodo 2002-2012 se observa en la Figura 4-41, donde se nota que mayo fue el mes más húmedo siendo junio el más seco. La Tabla 4-23 presenta el porcentaje de variación de cada uno de los meses del primer semestre del año. En los últimos años se observa un decrecimiento de la humedad en la ciudad hasta 2010 momento en el que se presentan valores más constantes hasta la fecha, tal como se observa en la Figura 4-42.

Tabla 4-23. Porcentaje de variación de la humedad relativa con respecto a los promedios de los meses históricos

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
-10%	-3%	-9%	-8%	-4%	-10%

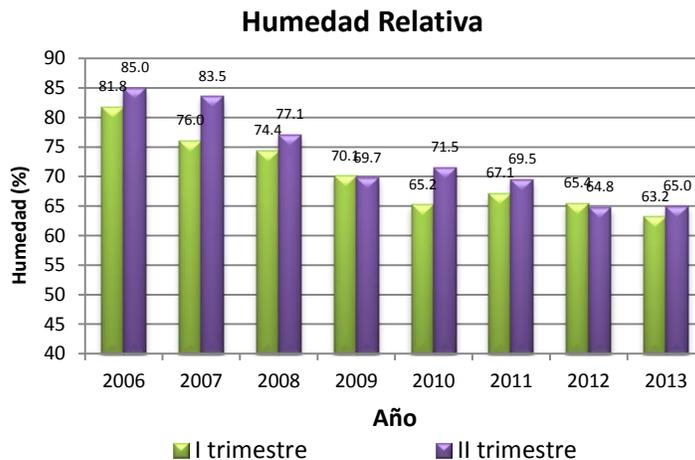


Figura 4-42. Humedad relativa de los dos primeros trimestres en el periodo 2006-2013. Fuente RMCAB

El comportamiento horario de la humedad relativa varía de acuerdo a la incidencia de la radiación solar y de la temperatura entre otros, evidenciándose los datos máximos en horas de la madrugada cuando se observa la mayor estabilidad atmosférica y los valores mínimos en horas de la tarde, cuando la temperatura es máxima. Esto se observa en la Figura 4-43, en donde se nota que la humedad horaria se mantuvo siempre por debajo del promedio histórico reportado en los últimos años.

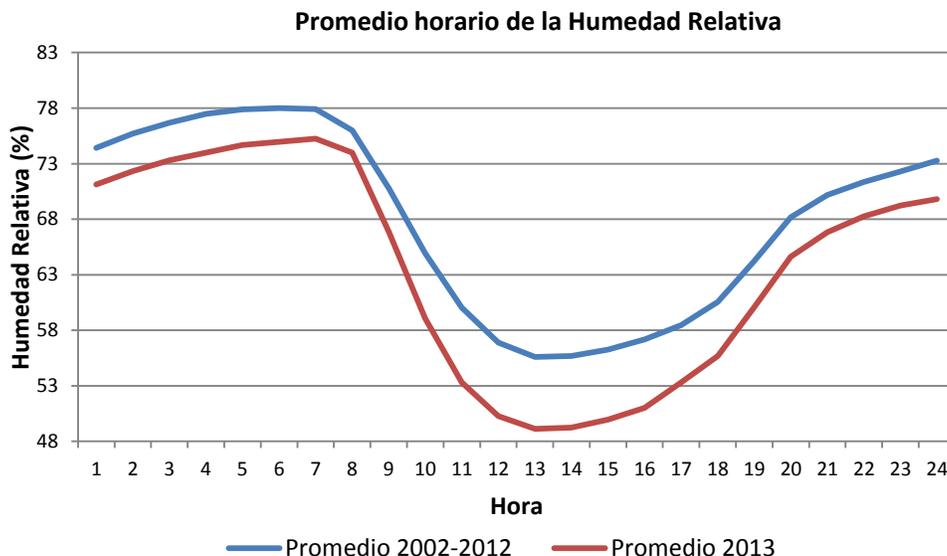


Figura 4-43. Promedio horario de la humedad en el trimestre AMJ 2002-2012 y su comparación con el II trimestre de 2013.

La Figura 4-44 muestra gráficas de la humedad relativa en escala horaria para cada uno de los meses del I semestre de 2013, de tal manera que el eje de las abscisas muestra los meses, el eje de las ordenadas las horas y la escala de colores representan la magnitud de la humedad. Se observa un período de disminución de la humedad entre las 7 y las 18 horas, luego aumentan hasta alcanzar la humedad similar a la registrada en las primeras

horas del día. La diferencia entre la humedad es mayor en horas de la madrugada y se disminuye en horas de la tarde. La estación de parque Simón Bolívar presentó los porcentajes mayores de humedad seguido de la estación de Guaymaral, la estación que presentó menor humedad fue la estación Kennedy.

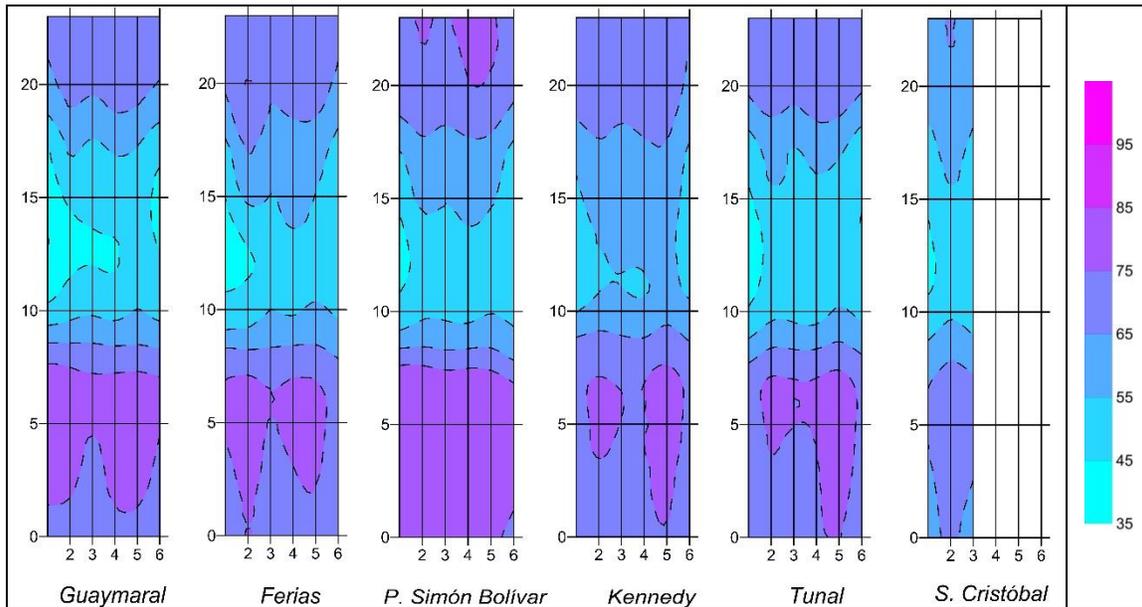


Figura 4-44. Gráfica de la humedad relativa para cada hora en el I semestre de 2013 para las estaciones de la RMCAB. Fuente RMCAB.

Bibliografía

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

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

El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/

Hurtado, G. (2000). *La precipitación en Colombia*. Bogotá.

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

Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Datalogger: Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

Rango crítico: véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

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

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

Unidades: Las unidades más utilizadas son:

mg/m³: miligramos por metro cúbico.

µg/m³: microgramos por metro cúbico.

ppm: partes por millón.

ppb: partes por billón.

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

A. Anexo

A.1. Lectura de Gráficos de *boxplot*

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

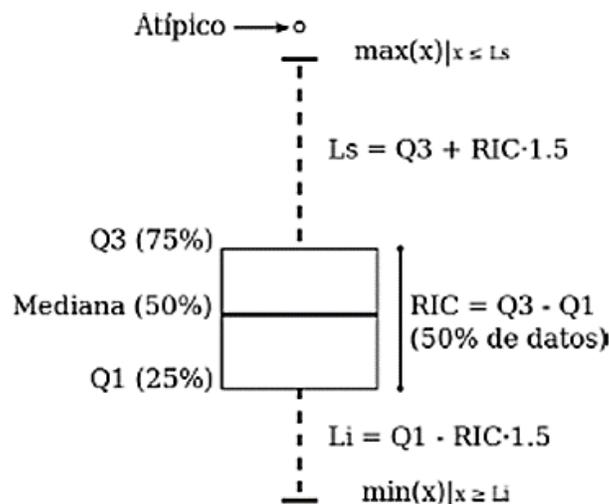


Figura A-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. 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**.