



**ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

Secretaría Distrital
Ambiente

Informe trimestral de calidad de aire de Bogotá

Tercer trimestre de 2013
Julio – Agosto – Septiembre

**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.

III 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 capturados 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	29
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	40
3.2. Gases contaminantes	48
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O ₃	49
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO ₂	58
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO	65
3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO ₂	72
3.3. Índices de calidad del aire	80
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM ₁₀	81
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM _{2.5}	83
3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono	86
3.4. Síntesis de resultados	88
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas	99
4.1. Precipitación	101
4.2. Vientos	107
4.3. Temperatura Superficial	109
4.4. Radiación solar	114
4.5. Presión Atmosférica	116
4.6. Humedad Relativa	118
5. Meteorología y Calidad del Aire	119
5.1. Análisis de vientos vs. Material Particulado	119
5.2. Episodio de máxima concentración	124

Bibliografía.....	128
Glosario.....	129
A. Anexo.....	134

Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2013. .	19
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Tercer trimestre de 2013.....	22
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Tercer trimestre de 2013.	23
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Tercer trimestre de 2013.	24
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Tercer trimestre de 2013.	25
Figura 3-1. Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante el tercer trimestre de 2013. Base diaria.	28
Figura 3-2. Concentraciones promedio diarias, máximos y número de excedencias de PM ₁₀ por estación durante el tercer trimestre de 2013. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m ³ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.	30
Figura 3-3. Material particulado (PM ₁₀) promedio con base en la interpolación espacial de los promedios de las estaciones por el método <i>Kriging</i> . Se presentan los vientos promedio durante el periodo de análisis.	31
Figura 3-4. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el tercer trimestre de 2013 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se muestran aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m ³	33
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el tercer trimestre de 2013 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. No se presentaron excedencias del límite normativo de 100 µg/m ³	33
Figura 3-6. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.	34
Figura 3-7. Ciclo diario de PM ₁₀ para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.	35
Figura 3-8. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ en base diaria por días de la semana para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	36
Figura 3-9. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ en base diaria por meses comparando el tercer trimestre del año 2013 con los mismos periodos de años anteriores.	37
Figura 3-10. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ diario por estaciones en el tercer trimestre de los años 2009 a 2013.	38
Figura 3-11. Gráfico de <i>boxplot</i> para PM ₁₀ en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	39
Figura 3-12. Máximo y excedencias de PM _{2.5} en base diaria para el tercer trimestre de 2013. Estación Kennedy.	40
Figura 3-13. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el tercer trimestre de 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración.	41
Figura 3-14. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.	42
Figura 3-15. Ciclo diario de la concentración de PM _{2.5} en la estación Kennedy en el tercer trimestre de 2013.	42
Figura 3-16. Discriminación de los ciclos diarios de PM _{2.5} por día de la semana en la estación Kennedy para el tercer trimestre de 2013.	43

Figura 3-17. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por días de la semana en base diaria comparando el tercer trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.	44
Figura 3-18. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por meses desde base diaria en los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013.	45
Figura 3-19. Gráfico de <i>boxplot</i> para $PM_{2.5}$ por estaciones (desde base diaria) para los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013.	46
Figura 3-20. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base horaria por estación durante el tercer trimestre de 2013.	50
Figura 3-21. Concentración máxima y excedencias de la norma para O_3 en base 8 horas por estación durante el tercer trimestre de 2013.	52
Figura 3-22. Superficie de contaminación de ozono con base en promedios de 8 horas para el tercer trimestre de 2013. Interpolación espacial realizada mediante el método <i>Kriging</i> con los promedios trimestrales de cada estación.	53
Figura 3-23. Gráfico de <i>boxplot</i> para O_3 en base diaria por días de la semana, comparando el tercer trimestre de 2013 con periodos de años anteriores.	54
Figura 3-24. Gráfico de <i>boxplot</i> para O_3 en función de los meses (desde base diaria) entre 2009 y 2013.	55
Figura 3-25. Gráfico de <i>boxplot</i> de O_3 en función de las estaciones para los terceros trimestres entre 2009 y 2013 (desde base diaria).	56
Figura 3-26. Gráfico de <i>boxplot</i> de O_3 con el comportamiento histórico en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	57
Figura 3-27. Concentración horaria de NO_2 por estación durante el tercer trimestre de 2013.	59
Figura 3-28. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO_2 en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2013.	60
Figura 3-29. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO_2 por días de la semana (base diaria) para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	61
Figura 3-30. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO_2 en base diaria por meses entre 2009 y 2013. .	62
Figura 3-31. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO_2 por estaciones en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	63
Figura 3-32. Gráfico general de <i>boxplot</i> para NO_2 en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	64
Figura 3-33. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el tercer trimestre de 2013.	66
Figura 3-34. Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación para el tercer trimestre de 2013.	67
Figura 3-35. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por días de la semana para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	68
Figura 3-36. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013. ..	69
Figura 3-37. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por estaciones para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	70
Figura 3-38. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	71
Figura 3-39. Máximos y número de excedencias de SO_2 en base de 3 horas por estación durante el tercer trimestre de 2013.	73

Figura 3-40. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO ₂ en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.....	74
Figura 3-41. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ por días de la semana (base diaria) comparando el tercer trimestre de 2013 con años anteriores.....	76
Figura 3-42. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ en base diaria, por meses, en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.....	77
Figura 3-43. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ diario por estaciones en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.....	78
Figura 3-44. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ diario en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.....	79
Figura 3-45. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el tercer trimestre de 2013.....	81
Figura 3-46. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de julio, agosto y septiembre de 2013.....	82
Figura 3-47. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana durante el tercer trimestre de 2013.....	82
Figura 3-48. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013.....	83
Figura 3-49. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por estación para el tercer trimestre de 2013.....	84
Figura 3-50. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por mes para el tercer trimestre de 2013.....	85
Figura 3-51 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM _{2.5} por día de la semana para el tercer trimestre de 2013.....	85
Figura 3-52. Índice de calidad del aire (ICA) para PM _{2.5} durante el tercer trimestre de 2013.....	86
Figura 3-53. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base diaria.....	87
Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.....	87
Figura 3-55. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas.....	87
Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del Aeropuerto El Dorado en Bogotá. (IDEAM, 2013).....	100
Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2012 comparada con el promedio hasta septiembre de 2013.....	102
Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCA en el tercer trimestre desde 1999 hasta 2013.....	102
Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones en el tercer trimestre de 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).....	103
Figura 4-5. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2013.....	105
Figura 4-6. Diferencia de acumulado de precipitación del tercer trimestre de 2013 y el promedio desde 1998 hasta 2012.....	106
Figura 4-7. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013.....	108

Figura 4-8. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013.....	110
Figura 4-9. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2012 y su comparación hasta septiembre de 2013.....	111
Figura 4-10. Gráfica de la temperatura del tercer trimestre promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013.....	111
Figura 4-11. Mapa de Temperatura superficial promedio de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2013.	113
Figura 4-12. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.....	114
Figura 4-13. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006- 2012 y su comparación hasta septiembre de 2013.....	115
Figura 4-14. Acumulado de radiación de las estaciones en el trimestre. (El eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).....	116
Figura 4-15. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs.....	116
Figura 4-16. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.	117
Figura 4-17. Comparación de la presión en los trimestres JAS.....	117
Figura 4-18. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses del tercer trimestre de 2013.....	118
Figura 5-1 . PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la madrugada.....	120
Figura 5-2. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la mañana.....	121
Figura 5-3. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la tarde.....	122
Figura 5-4. PM ₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la madrugada.....	123
Figura 5-5. Acumulado de precipitaciones en las estaciones de la RMCAB el día 04 09 2013	125
Figura 5-6. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 04 de septiembre de 2013, en el Aeropuerto Internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.....	125
Figura 5-7. PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 04 de septiembre de 2013 en horas de la mañana.	126
Figura 5-8. PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 04 de septiembre de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.....	127
Figura A-1. Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes.	134

Índice de tablas

Tabla 1-1. 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 1-2. 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 tercer 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 diarios de PST para el tercer trimestre de 2013. El promedio geométrico de este periodo no debe compararse en con la normatividad vigente por diferencias en los tiempos de exposición.	28
Tabla 3-2. Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM ₁₀ durante el tercer trimestre de 2013. Base de tiempo diaria.	32
Tabla 3-3. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM ₁₀ en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	39
Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM _{2.5} para el tercer trimestre de 2013 en la estación Kennedy.	41
Tabla 3-5. Concentración promedio de PM _{2.5} por día de la semana durante los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013. Se considera solamente la estación Kennedy. ..	45
Tabla 3-6. Concentración promedio de PM _{2.5} por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy. Estos promedios no deben ser comparados con los límites máximos permisibles por la normatividad vigente.	46
Tabla 3-7. Resumen histórico de concentraciones de PM _{2.5} para los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.	47
Tabla 3-8. Resumen descriptivo de datos de O ₃ por estación para el tercer trimestre de 2013. Base horaria.	49
Tabla 3-9. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O ₃ en base 8 horas durante el tercer trimestre de 2013.	51
Tabla 3-10. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O ₃ en promedios de 8 horas para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	57
Tabla 3-11. Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el tercer trimestre de 2013.	58
Tabla 3-12. Resumen de datos diarios de NO ₂ por estación para el tercer trimestre de 2013.	60
Tabla 3-13. Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO ₂ en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	64
Tabla 3-14. Resumen de datos horarios de CO por estación para el tercer trimestre de 2013.	65
Tabla 3-15. Resumen de datos de CO por estación en el tercer trimestre de 2013. Base de 8 horas.	67
Tabla 3-16. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.	71

Tabla 3-17. Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el tercer trimestre de 2013.....	72
Tabla 3-18. Resumen de datos en base diaria de SO ₂ por estación para el tercer trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.....	75
Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO ₂ en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.....	79
Tabla 3-20. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).	80
Tabla 3-21. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM ₁₀), tercer trimestre de 2013.	89
Tabla 3-22. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM _{2.5}), tercer trimestre de 2013.....	90
Tabla 3-23. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), tercer trimestre de 2013.....	90
Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de SO ₂ para 3 horas, tercer trimestre de 2013.	91
Tabla 3-25. Consolidado de los promedios de SO ₂ para 24 horas, tercer trimestre de 2013.	92
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios horarios de NO ₂ , tercer trimestre de 2013.....	93
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios de NO ₂ , tercer trimestre de 2013.....	94
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios horarios de CO, tercer trimestre de 2013.....	95
Tabla 3-29. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, tercer trimestre de 2013.	96
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de O ₃ , tercer trimestre de 2013.	97
Tabla 3-31. Consolidado de los promedios de O ₃ para 8 horas, tercer trimestre de 2013.....	98
Tabla 4-1. Promedios mensuales y anuales de variables meteorológicas en el periodo 1971-2000 (IDEAM, 2013)	101
Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el tercer trimestre de 2013.....	101
Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB en los terceros trimestres desde 2000 hasta 2013.	103
Tabla 4-4. Días de lluvia de las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013.....	104
Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013, en mm/día.....	104
Tabla 4-6. Representatividad mensual (%) de la variable velocidad y dirección del viento. Tercer trimestre 2013.....	107
Tabla 4-7. valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.	107
Tabla 4-8. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el tercer trimestre de 2013.....	109
Tabla 4-9. Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013.	112
Tabla 4-10. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio.	112
Tabla 4-11. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre.....	115

Tabla 4-12. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.....	116
Tabla 4-13. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el trimestre.....	118

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 Guaymaral, Kennedy y Carvajal con 2, 5 y 23 excedencias, respectivamente. Los promedios encontrados para estas tres estaciones fueron 45 , 62 y $85 \mu g/m^3$, 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 solo resulta una referencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 90% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a $90 \mu g/m^3$ y menores o iguales a $100 \mu g/m^3$, se puede evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, las cuales fueron para este trimestre Sagrado Corazón, Puente Aranda y Tunal registrando cada una 1 dato en este rango, 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 $139 \mu g/m^3$ para la estación Carvajal el día 04/09/2013 (otras dos estaciones reportaron sus máximos en el mismo día). Las demás estaciones no reportaron excedencias de la norma diaria para este tercer 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 26, 25, 26 y $24 \mu g/m^3$, 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 y viernes los de mayor concentración. Se debe destacar el comportamiento del día sábado, el cual no tiene una diferencia marcada de los demás días de la semana. Entre martes y viernes se aprecia una homogeneidad, porque las concentraciones no tienen una variación significativa, aunque se destaca en buena parte de las estaciones una disminución para el miércoles.

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 y 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. El análisis histórico por estaciones deja ver que las estaciones Carvajal, Kennedy, Suba, Fontibón y Puente Aranda, disminuyeron en este trimestre en comparación al mismo trimestre de otros años, mientras que Sagrado Corazón y Usaquén aumentaron sus concentraciones en comparación con el mismo periodo de 2012.

Con respecto a los primeros 2 trimestres del año, hubo una reducción general de las concentraciones. Este comportamiento puede estar asociado a la variabilidad meteorológica, específicamente en lo referente al comportamiento de los vientos y de las precipitaciones.

Con respecto al contaminante $PM_{2.5}$ el límite normativo diario es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y solamente la estación Kennedy monitoreó las concentraciones de este contaminante para el tercer trimestre de 2013 (a partir del 1 de octubre 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 $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y no presentaron excedencias al límite normativo nacional, sin embargo vale destacar que existen 2 datos (de los 85 del periodo) entre el 90 y 100% de la norma nacional, es decir, mayores a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y menores o iguales a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que demuestra que el $PM_{2.5}$ de este trimestre se encontró cerca de presentar excedencias. Se observa el valor máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el viernes 9 de agosto de 2013 y dos días continuos de alta concentración el 7 y 8 de septiembre. Los viernes y sábados tienen la mayor concentración de $PM_{2.5}$, en contraste con los domingos y los lunes, día en

el cual los niveles descienden de forma drástica. 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 consecuencia dada la reducción de las actividades vehiculares e industriales en la ciudad.

Con respecto al tercer trimestre de 2012, en el mismo periodo de 2013 las concentraciones promedio se redujeron los viernes y los domingos mientras que en los demás días no se observó variación o hubo aumento. Se aprecia que de los tres meses, julio resulta el más bajo y septiembre el más alto e históricamente se observa el mismo comportamiento, probablemente por el periodo de receso a mitad de año.

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, no presentó excedencias de los límites normativos en la norma horaria de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El día 2 de septiembre, 5 estaciones de la RMCAB (Guaymaral, Suba, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal) registraron sus máximas concentraciones del periodo evidenciando un episodio generalizado de alta contaminación. La concentración más alta fue registrada en Guaymaral con un valor de $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (60 ppb).

En términos de la concentración octohoraria el O_3 en el tercer trimestre de 2013 presentó 4 datos por encima de la norma ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), lo que corresponde a un 0,2% del total de datos, lo cuales estuvieron distribuidos en 2 para la estación Parque Simón Bolívar y 2 para la estación Fontibón. 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 dióxido de nitrógeno NO_2 no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora como a 24 horas. El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (84ppb) en la estación Tunal, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (37 ppb) en Puente Aranda.

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 $173 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (66ppb), mientras que para 24 horas de exposición estuvo en $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (17ppb), 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 terceros trimestres para una exposición diaria fue de $139 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Carvajal el 5 de agosto de 2009.

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 $7.1 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 1 hora (norma nacional $40 \text{mg}/\text{m}^3$) y de $3.6 \text{mg}/\text{m}^3$ para una exposición de 8 horas (norma nacional $10 \text{mg}/\text{m}^3$).

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”. Los días de la semana que tienen mejor ICA son domingo y lunes, con una predominancia en la categoría de “Bueno” con 96% y 82%, respectivamente; mientras que los peores son viernes y martes con porcentajes en la categoría de “Bueno” de 70 y 72%, siendo su complemento la categoría de “Moderado”. Por su parte el análisis para ICA del $PM_{2.5}$, el cual sólo se puede hacer para la estación Kennedy, muestra que tiene cerca de un 18% en la categoría de “Bueno”, 77% en la categoría de “Moderado” y 5% en la categoría de “Dañina a la salud”. Los días que muestran peor ICA en el caso de $PM_{2.5}$ son viernes y jueves, con cerca de un 18% 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 2013. Con respecto a la precipitación, durante el periodo se observaron que el mes de agosto estuvo con promedios por encima del promedio histórico de la RMCAB (periodo 1998-2012), alcanzando una diferencia de 11.5mm; mientras que el déficit más importante fue de 10.1mm para septiembre. Especialmente, el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en zonas del sur de la localidad de Kennedy, Norte de Tunjuelito y Occidente de Puente Aranda, mientras que los mayores acumulados se encuentran en el centro-oriente al igual que al norte, en la localidad de Suba donde se aprecian valores significativos de precipitación.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio a lo largo del periodo, seguido de la estación de Carvajal con 3.1, 2.6 y 2.5m/s, respectivamente. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Puente Aranda con 9.6 y 8.1m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.1m/s y valores máximos de 4.9 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 además de algunos sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. 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 3.2 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 tercer 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 tercer 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. Posteriormente se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. Finalmente se presenta un capítulo concerniente a la relación entre calidad del aire y comportamiento meteorológico evidenciando la relación de las concentraciones de PM_{10} con los vientos así como el episodio de máxima concentración en la ciudad.

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

1. Generalidades

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

La Tabla 1-2 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 a la fecha de realización del presente informe 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>

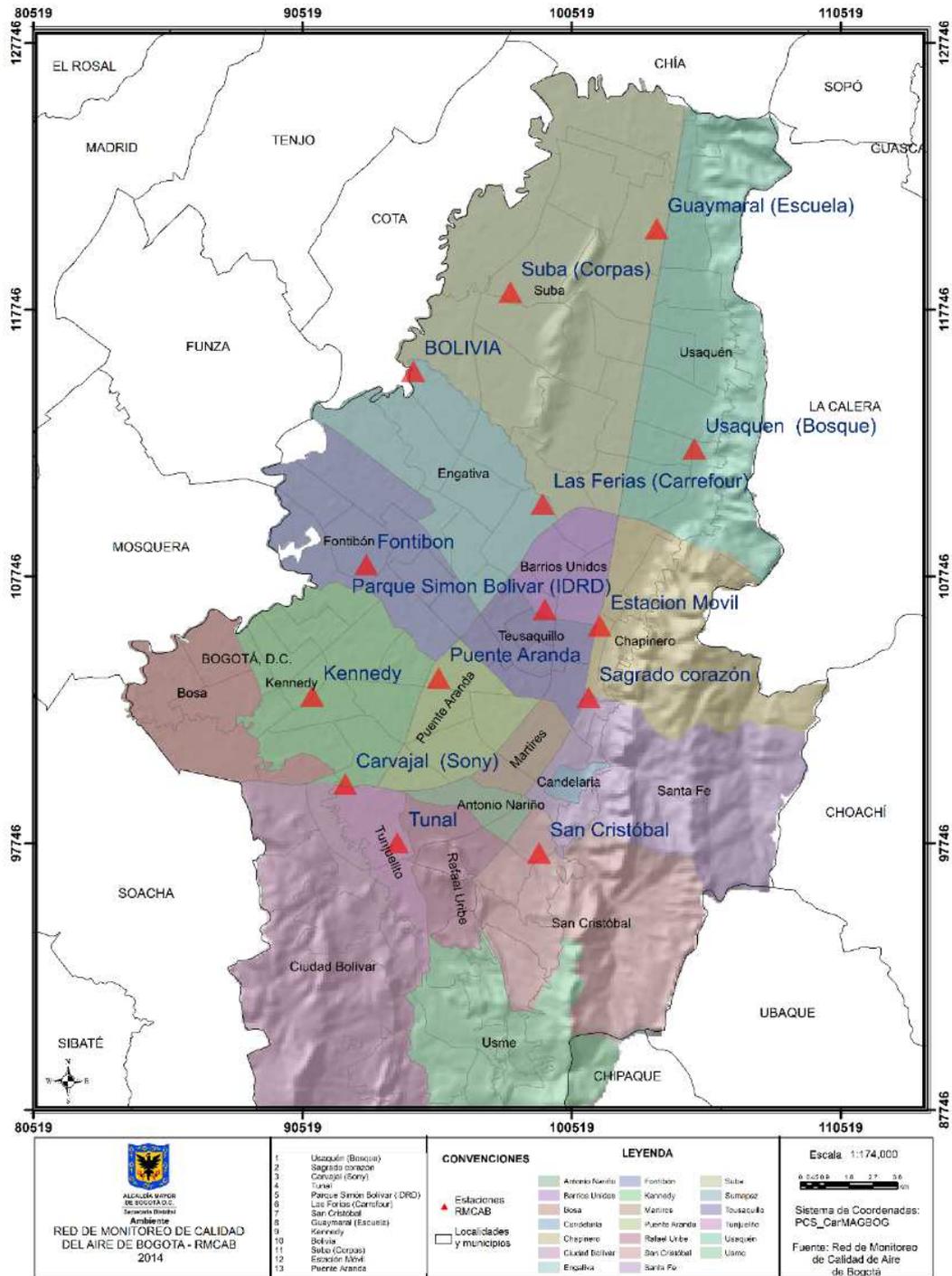


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2013.

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 tercer 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
	CO					X	X		X	X	X	X	X		X
SO ₂			X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Temperatura	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	R. Solar	X					X				X		X	X	X
	H. Relativa	X				X	X				X		X	X	X
Presión Atm.	X				X			X		X				X	

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 tercer 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

El porcentaje de captura de datos se define como la cantidad de datos máximos posibles a obtener en cada equipo durante el tiempo de análisis. Estas cantidades pueden agruparse por parámetro o por estación de monitoreo. Por ejemplo, para PM₁₀ se tienen 12 monitores instalados y operando, para lo cual se tendría una capacidad de captura horaria en este trimestre de: 12 (monitores) * 92 (días) * 24 (horas) = 26496 datos. La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos para cada parámetro en el tercer trimestre de 2013. Se observa que todos los parámetros tienen un porcentaje de captura de datos superior a 75% con excepción del monóxido de carbono. De acuerdo a la Tabla 2-1, este contaminante presentó una baja captura en Tunal y no fue monitoreado en San Cristóbal y en Usaquén. Estos hechos se atribuyen a fallas técnicas en las fuentes de infrarrojo (IR) de los respectivos analizadores. No se capturaron datos de dióxido de nitrógeno (NO₂) en Fontibón porque el equipo requiere cambio en la tarjeta electrónica.

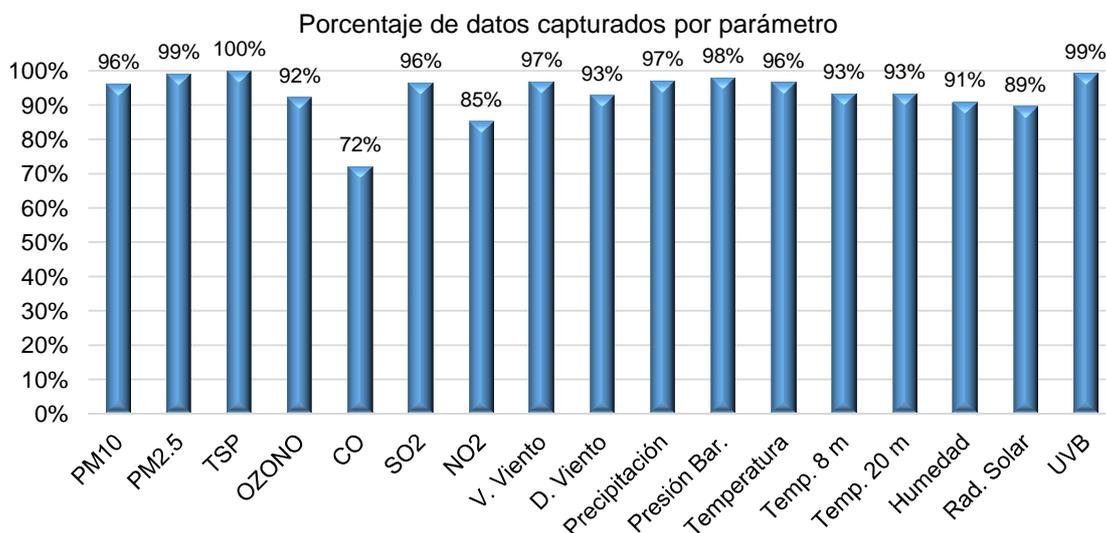


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Tercer trimestre de 2013.

El porcentaje de captura en función de las estaciones se presenta la Figura 2-2, en la cual las estaciones de Bolivia, San Cristóbal y Usaquén presentaron un porcentaje de captura de datos relativamente bajo, lo cual es explicado de acuerdo a la Tabla 2-1, que para el

caso de Bolivia se debió a fallas encontradas en el anemómetro. Los porcentajes relativamente bajos de captura en San Cristóbal de humedad relativa y radiación solar se deben a operaciones de mantenimiento del *data logger*. El porcentaje total de captura de datos para el tercer trimestre de 2013 fue 93%. Las celdas vacías en la Tabla 2-1 indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

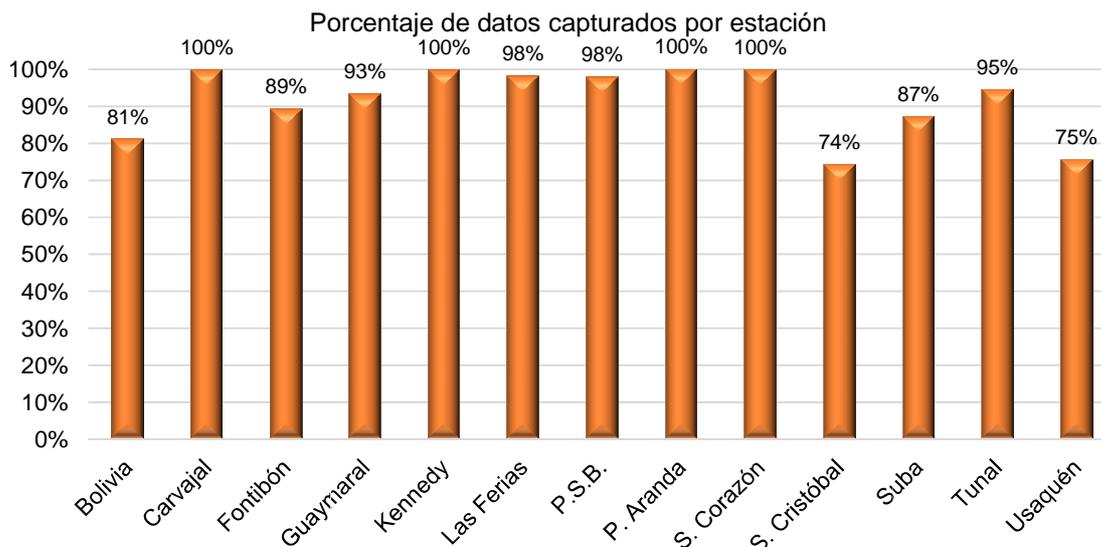


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Tercer trimestre de 2013.

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

	PM ₁₀	PM _{2.5}	TSP	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	V.V.	D.V.	P.	P.B.	T.	T. 8m	T. 20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								98%	47%	98%								81%
Carvajal	100%		100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%			100%					100%
Fontibón	100%			92%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%						89%
Guaymaral	93%			93%			94%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	93%	94%		93%
Kennedy	100%	99%			100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		100%
Las Ferias	98%			98%	98%	94%	100%	98%	98%	98%	98%	98%			98%			98%
P.S.B.	98%			99%	99%	86%	99%	99%	97%	99%			99%		99%	99%	99%	98%
P. Aranda	100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%					100%
S. Corazon	100%			100%				100%	100%	100%								100%
S. Cristobal	97%			54%	0%	97%		97%	97%	97%			97%		54%	54%		74%
Suba	86%			88%		92%	88%	86%	86%	86%			86%					87%
Tunal	91%			100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%			100%		100%	100%		95%
Usaquen	89%			89%	0%			86%	89%	89%			89%					75%
Total	96%	99%	100%	92%	72%	96%	85%	97%	93%	97%	98%	96%	93%	93%	91%	89%	99%	93%

2.2. Porcentaje de datos capturados válidos.

En el tercer trimestre de 2013 se obtuvo un porcentaje de datos capturados válidos en la RMCAB correspondiente a 86%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)².

De acuerdo a la Figura 2-3, el material particulado total (PST o TSP), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Según la Tabla 2-2, para el monóxido de carbono, las razones se atribuyen principalmente a la baja captura de datos específicamente en las estaciones San Cristóbal, Tunal y Usaquén, tal como se mencionó previamente. Respecto al dióxido de nitrógeno no se capturaron datos en Fontibón y algunas series de datos fueron depuradas durante el proceso de validación por representar tendencias incongruentes que se atribuyen al funcionamiento de los equipos. El comportamiento en cuanto al material particulado total también se debe a esta última causa.

De acuerdo a la Figura 2-4, las estaciones que presentaron un bajo porcentaje de datos válidos fueron Bolivia, San Cristóbal y Usaquén como consecuencia de situaciones que afectaron la captura de datos por mantenimiento de los respectivos equipos de medición. Se descartaron varios datos de dirección del viento de la estación Bolivia por fallas en el respectivo anemómetro. Por el contrario, Kennedy, Carvajal y Puente Aranda presentan un buen desempeño al presentar un porcentaje de datos válidos de 97%, 96% y 94%. La Tabla 2-2 es un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.

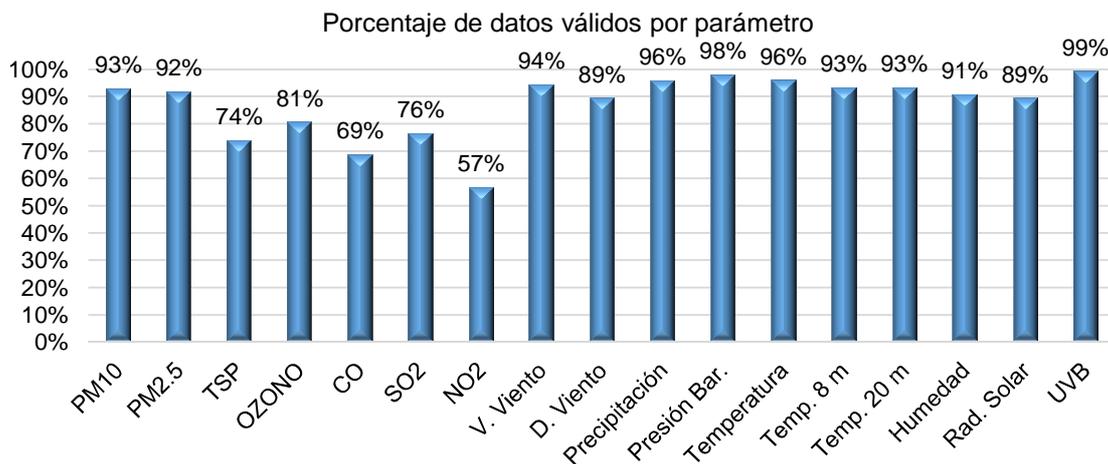


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Tercer trimestre de 2013.

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

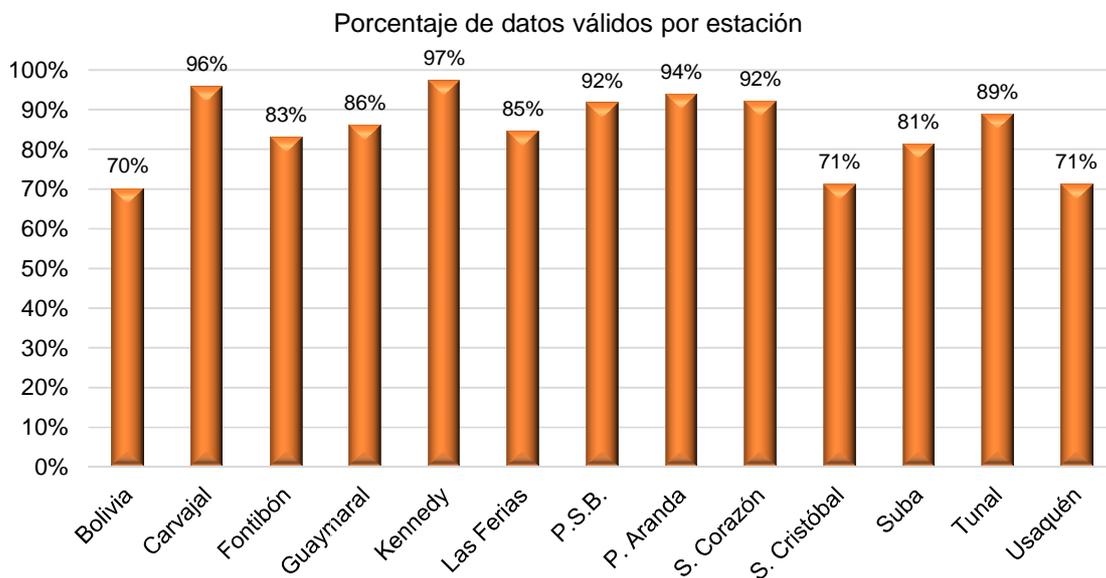


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Tercer trimestre de 2013.

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

	PM ₁₀	PM _{2.5}	TSP	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂	V.V.	D.V.	P.	P.B.	T.	T. 8m	T. 20m	H.R.	R.S.	UVB	Total
Bolivia								98%	14%	98%								93%
Carvajal	99%		74%	98%	93%	99%		100%	100%	100%		100%						92%
Fontibón	100%			72%	98%	61%	0%	100%	100%	100%	100%	100%						74%
Guaymaral	93%			92%			17%	93%	93%	85%	93%	93%	93%	93%	93%	94%		81%
Kennedy	98%	92%			100%	79%	99%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%		69%
Las Ferias	96%			92%	95%	58%	0%	98%	98%	98%	98%	98%			98%			76%
P.S.B.	87%			86%	95%	49%	92%	99%	97%	99%		99%			99%	99%	99%	57%
P. Aranda	95%			62%	97%	100%	92%	100%	100%	100%		100%						94%
S. Corazón	99%			63%				100%	99%	100%								89%
S. Cristóbal	94%			54%	0%	91%		91%	91%	91%		91%			54%	54%		96%
Suba	81%			81%		82%	66%	85%	85%	85%		85%						98%
Tunal	83%			98%	40%	70%	87%	100%	100%	100%		100%			100%	100%		96%
Usaquén	88%			88%	0%			61%	85%	88%		88%						93%
Total	70%	96%	83%	86%	97%	85%	92%	94%	92%	71%	81%	89%	71%	86%	70%	96%	83%	86%

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, el PM_{10} , y el $PM_{2.5}$; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son SO_2 , NO_2 , CO y O_3 y la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes de acuerdo a la información presentada 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, servir de vehículo para el transporte de bacterias y virus y para el caso de las partículas más pequeñas (material ultrafino) puede incluso llegar al torrente sanguíneo y afectar diversas células del cuerpo.

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 tercer 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:

$$\bar{G} = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \log(x_i)}$$

Donde \bar{G} es el promedio geométrico y $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(x_i)$ es el promedio de los logaritmos para los valores de concentración del contaminante .

Comportamiento diario de la concentración de PST

En la estación Carvajal se registraron 57 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de recuperación de 62% el cual es inferior a 75%, valor límite establecido según el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de operación de Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Ningún promedio diario excedió la norma ($300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010). El valor máximo fue de $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 3 de septiembre de 2013, día en el cual se registró una concentración alta de PM_{10} con un valor de $134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la misma estación, lo que demuestra congruencia en la tendencia y relación entre estos dos contaminantes. En la Figura 3-1 y en la Tabla 3-1 se resume lo expuesto anteriormente.

El día 4 de septiembre de 2013 se registró la concentración máxima de PM_{10} del trimestre. Sin embargo, por asuntos relacionados con la operatividad no pudo obtenerse un promedio representativo de PST para el mismo día, el cual, de acuerdo a los pocos datos horarios disponibles tendía a ser alto.

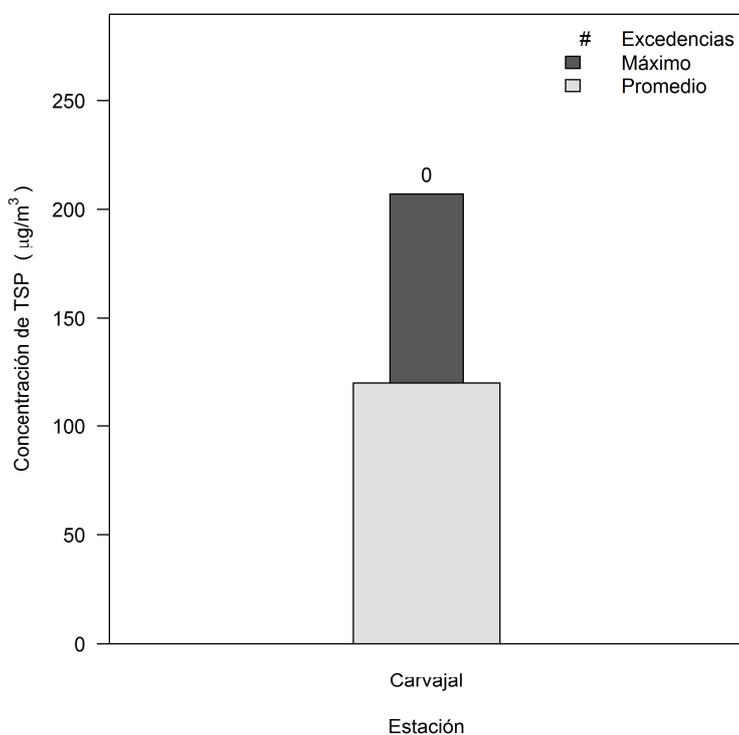


Figura 3-1. Concentración máxima y número de excedencias de PST (TSP) durante el tercer trimestre de 2013. Base diaria.

Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el tercer trimestre de 2013. El promedio geométrico de este periodo no debe compararse en con la normatividad vigente por diferencias en los tiempos de exposición.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Promedio geométrico (µg/m³)	Excedencias norma 300 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma ³
Carvajal	57	62%	115	0	207	03/09/2013	0

Comportamiento histórico de promedios de PST en base diaria.

Teniendo en cuenta que la cobertura temporal de las concentraciones diarias de PST en los años 2012 y 2013 es inferior a 75% (sus respectivos porcentajes de datos válidos fueron 70% y 62%), solamente se presentaría el comportamiento de las concentraciones entre los años 2009 y 2011. Esta información puede ser consultada en el tercer informe trimestral de 2011.

³ Mayor a 270 µg/m³ y menor o igual a 300 µg/m³

3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

Para el seguimiento de este contaminante la RMCAB contó en el tercer 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.

En el tercer trimestre de 2013, como se observa en la Tabla 3-2, columna “% de datos válidos”, se reportó una representatividad temporal para el periodo mayor a 75% en las 12 estaciones que miden este contaminante. Del total de datos registrados el 3% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 30 valores: Carvajal (23), Kennedy (5) y Guaymaral (2). Las concentraciones promedio, los valores máximos y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-2. Es importante aclarar que el nivel normativo presentado en esta figura corresponde al nivel máximo permisible en un tiempo de exposición diario y, por tanto, los promedios presentados no son comparables con este límite al corresponder a un tiempo de exposición trimestral, el cual no tiene regulación correspondiente. La Tabla 3-2 resume los datos de PM₁₀ en base diaria para cada una de las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013.

De acuerdo con la Figura 3-2 las localidades más afectadas por PM₁₀ en el tercer trimestre de 2013 fueron las ubicadas en el suroccidente de la ciudad, especialmente Kennedy y Bosa, y las menos afectadas las que se ubican al oriente de la ciudad. En el mismo periodo de 2012 se registraron en total 2 excedencias, en contraste con 30 del tercer trimestre de 2013 demostrando un aumento de la contaminación por PM₁₀.

Por otro lado, se destaca la última columna de la Tabla 3-2 que muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, es decir, mayores a 90 µg/m³ y menores o iguales a 100 µg/m³. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Como se puede observar, las estaciones de Sagrado Corazón, Puente Aranda y Tunal registran cada una 1 dato en este rango, lo que evidencia que las zonas circundantes a estas tres estaciones están cerca de superar el límite normativo en algún momento.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-3 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM₁₀ (basado en promedios diarios) en las 12 estaciones durante el tercer trimestre de 2013. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que

estuvieron más afectadas por altos niveles de PM_{10} fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad.

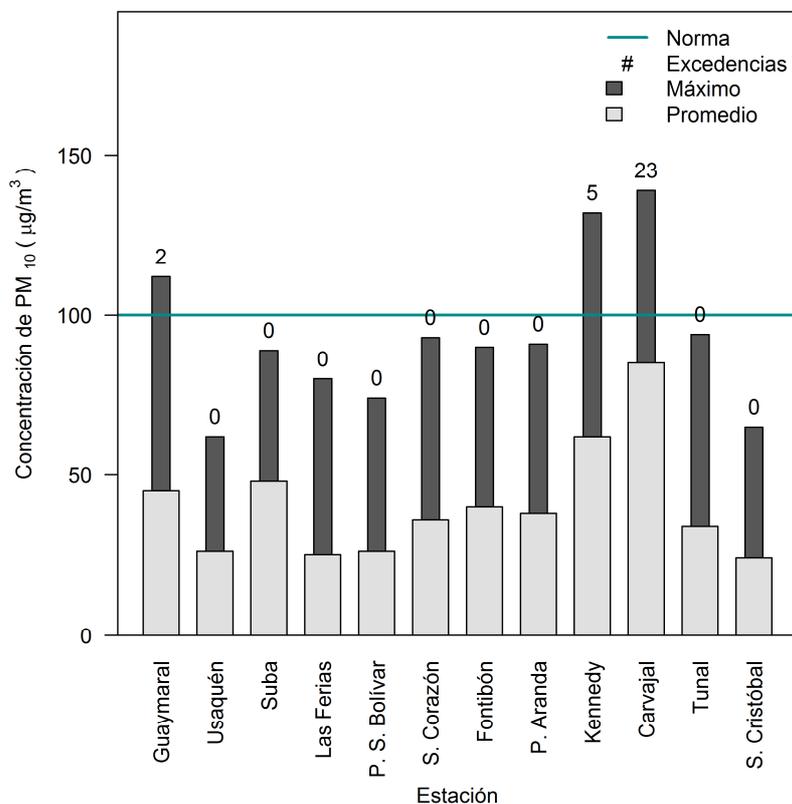


Figura 3-2. Concentraciones promedio diarias, máximos y número de excedencias de PM_{10} por estación durante el tercer trimestre de 2013. El nivel máximo permisible diario es $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

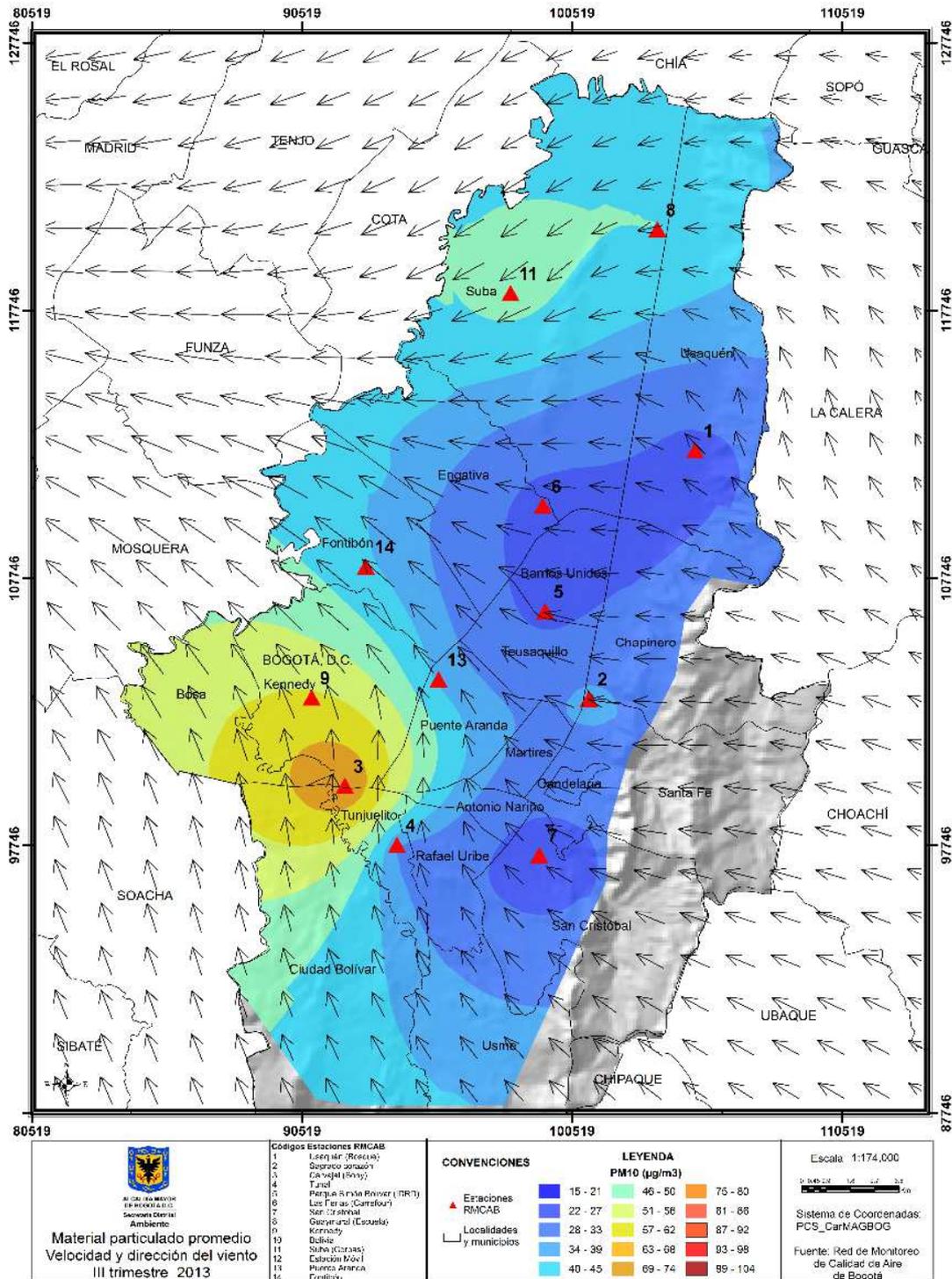


Figura 3-3. Material particulado (PM₁₀) promedio con base en la interpolación espacial de los promedios de las estaciones por el método *Kriging*. Se presentan los vientos promedio durante el periodo de análisis.

Tabla 3-2. Representatividad temporal, máximo y excedencias de los datos de PM₁₀ durante el tercer trimestre de 2013. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio aritmético (µg/m ³) ⁴	Excedencias de la norma 100 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁵
Guaymaral	86	93%	45	2	2%	112	13/09/2013	0
Usaquén	80	87%	26	0	0%	62	03/09/2013	0
Suba	71	77%	48	0	0%	89	13/09/2013	0
Las Ferias	90	98%	25	0	0%	80	04/07/2013	0
Parque Simón Bolívar	73	79%	26	0	0%	74	09/08/2013	0
Sagrado Corazón	91	99%	36	0	0%	93	09/08/2013	1
Fontibón	92	100%	40	0	0%	90	09/08/2013	0
Puente Aranda	87	95%	38	0	0%	91	04/09/2013	1
Kennedy	90	98%	62	5	6%	132	03/09/2013	5
Carvajal	92	100%	85	23	25%	139	04/09/2013	15
Tunal	74	80%	34	0	0%	94	04/09/2013	1
San Cristóbal	83	90%	24	0	0%	65	09/08/2013	0

Calendario de contaminación por PM₁₀ durante 2013

La Figura 3-4 y la Figura 3-5 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal y San Cristóbal, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre las estaciones con los niveles más altos y más bajos. Se evidencian las 23 excedencias de la norma diaria de 100 µg/m³ en Carvajal (resaltado) que contrastan con ninguna excedencia en San Cristóbal. La primera semana de septiembre presentó un episodio particular de alta concentración el cual fue observado también en gran parte de las otras estaciones, lo cual es un fenómeno generalizado de alta contaminación a nivel ciudad.

⁴ Estos promedios no deben compararse con los límites normativos de la Resolución 610 de 2010 al estar en base trimestral.

⁵ Mayor a 90 µg/m³ y menor o igual a 100 µg/m³.

Carvajal 2013 Tercer Trimestre

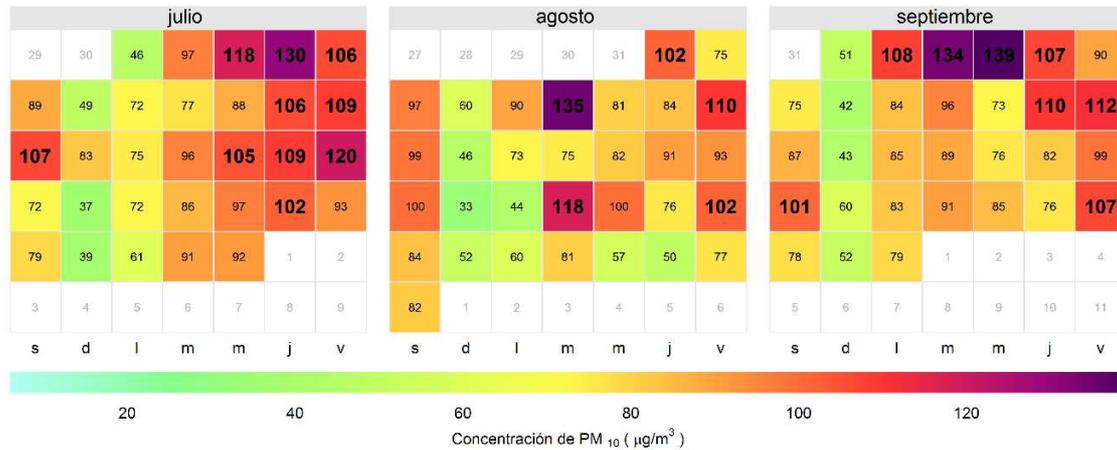


Figura 3-4. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el tercer trimestre de 2013 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. En negrilla se muestran aquellos días que superan el límite normativo de 100 µg/m³.

S. Cristóbal 2013 Tercer Trimestre

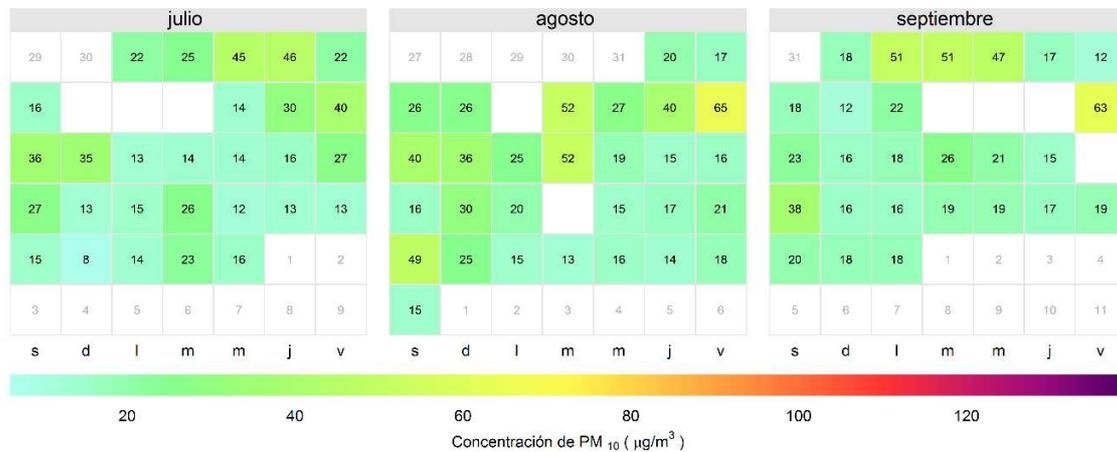


Figura 3-5. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el tercer trimestre de 2013 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. No se presentaron excedencias del límite normativo de 100 µg/m³.

Análisis promedio de PM₁₀ por día de la semana

La Figura 3-6 presenta el ciclo semanal de PM₁₀ por estación para el tercer trimestre de 2013. Como es usual, los días domingos reportan las menores concentraciones de este contaminante en todas las estaciones analizadas los cuales son seguidos por los lunes que reflejan la dinámica de ciudad del día anterior. El periodo comprendido entre los días martes y viernes es homogéneo porque las concentraciones no tienen una variación significativa. Con una diferencia notable, Carvajal registra la mayor concentración en la RMCAB con 85 µg/m³, la cual es seguida por Kennedy con 62 µg/m³. Las 10 estaciones restantes presentaron concentraciones entre 24 µg/m³ y 45 µg/m³ siendo Usaquén, San Cristóbal y Las Ferias las que registran los menores niveles así como perfiles más homogéneos. Se debe destacar la actividad del sábado en la ciudad, pues en las 12 estaciones no hay grandes diferencias en comparación con los días entre semana.

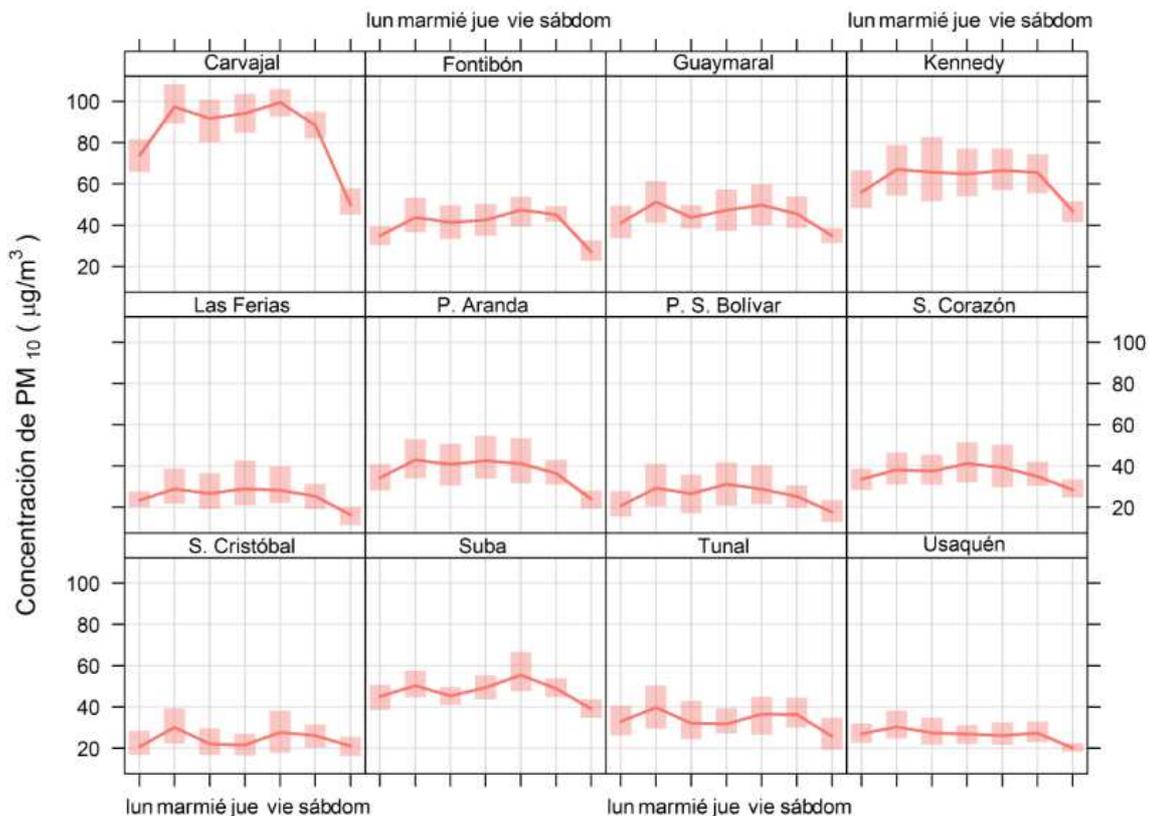


Figura 3-6. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Tendencia horaria de PM₁₀

Aunque no existe normatividad de PM₁₀ para tiempos de exposición de una hora, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron este parámetro. La Figura 3-7 presenta los ciclos diarios por estación, en donde se puede ver que los picos de concentración ocurren

generalmente entre las 06:00 a.m. y 08:00 a.m. con incrementos más notables en Carvajal y Kennedy lo cual evidencia la actividad en el transporte en la ciudad. Posterior la actividad tiende a estabilizarse alrededor de las 10:00 a.m. y hasta las 4:00 p.m.-5:00 p.m., para empezar nuevamente un leve aumento entre 06:00 p.m. y 08:00 p.m. que coincide con la denominada “hora pico” durante la cual aumenta el flujo vehicular. Las estaciones 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.

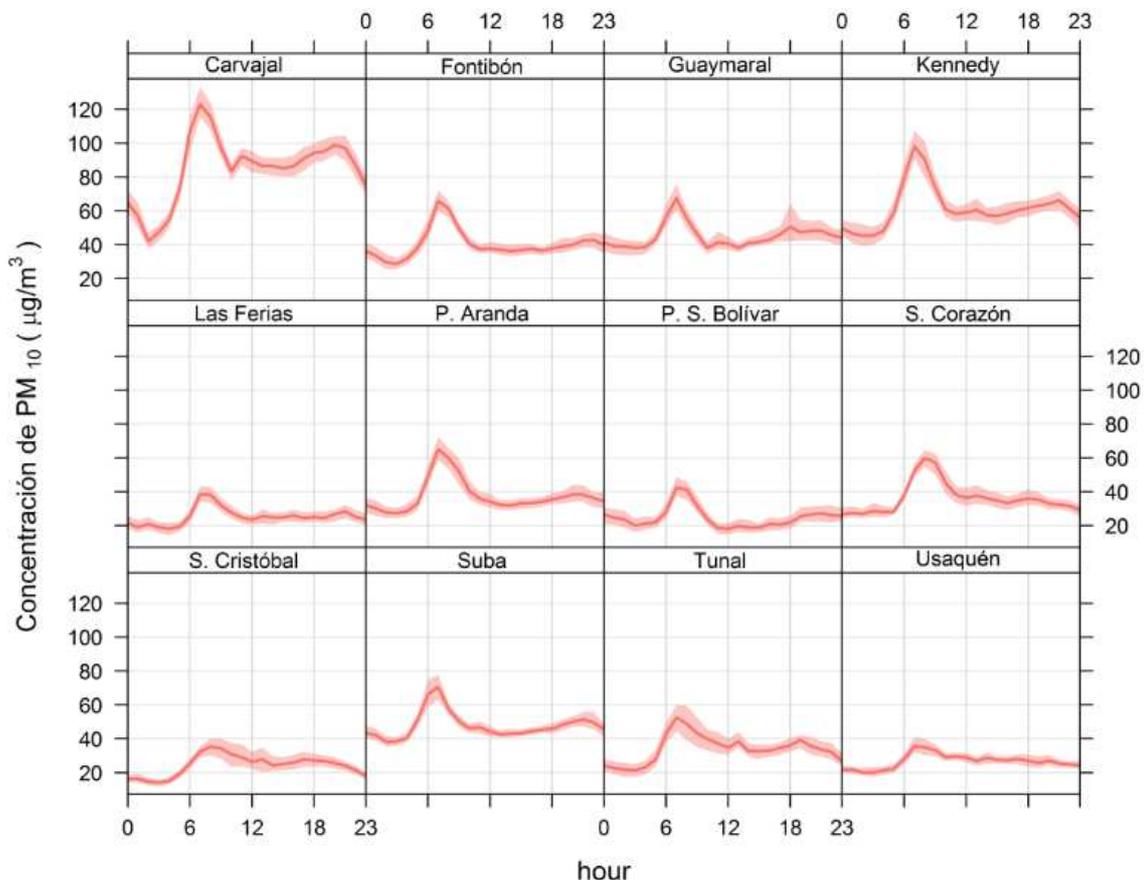


Figura 3-7. Ciclo diario de PM₁₀ para 12 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios de PM₁₀

La Figura 3-8 es un gráfico de *boxplot* con la distribución de las concentraciones diarias de PM₁₀ para cada uno de los días de la semana para los terceros trimestres entre los años 2009 y 2013. En comparación con el tercer trimestre de 2012, las concentraciones de todos los días de la semana aumentaron notablemente, especialmente los días sábado y domingo. El tercer trimestre de 2010 es el más disperso y tiene valores de

concentración más altos entre los 5 periodos analizados, lo cual contrasta con el 2012 que presenta una distribución de datos más homogénea y niveles más bajos.

Los días domingo tienen una 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. Contrariamente, los viernes son los más dispersos. En términos de bajas concentraciones, los domingos son seguidos por los lunes cuyo comportamiento puede atribuirse a la presencia de días festivos y a la influencia de la capa residual del día anterior.

En la Figura 3-9 se observa el comportamiento histórico de PM_{10} en función de los meses de julio, agosto y septiembre. Aunque los niveles de concentración son más bajos que los correspondientes al periodo 2009 – 2011, son considerablemente más altos que los registrados en 2012. El año 2010 registró las mayores concentraciones de los 5 periodos considerados quizás por influencia de la variabilidad climática interanual. En el tercer trimestre de 2013, los meses no tienen una diferencia mutua considerable ya que son similares en dispersión y en cantidad de datos atípicos. Con respecto a los primeros 2 trimestres del año, hubo una reducción general de las concentraciones. Este comportamiento puede estar asociado a la variabilidad meteorológica, específicamente en lo referente al comportamiento de los vientos y de las precipitaciones.

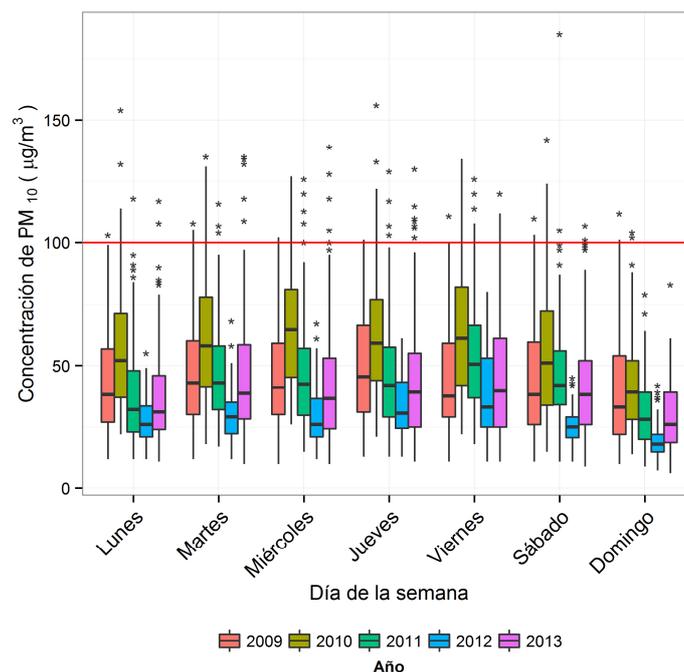


Figura 3-8. Gráfico de *boxplot* para PM_{10} en base diaria por días de la semana para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

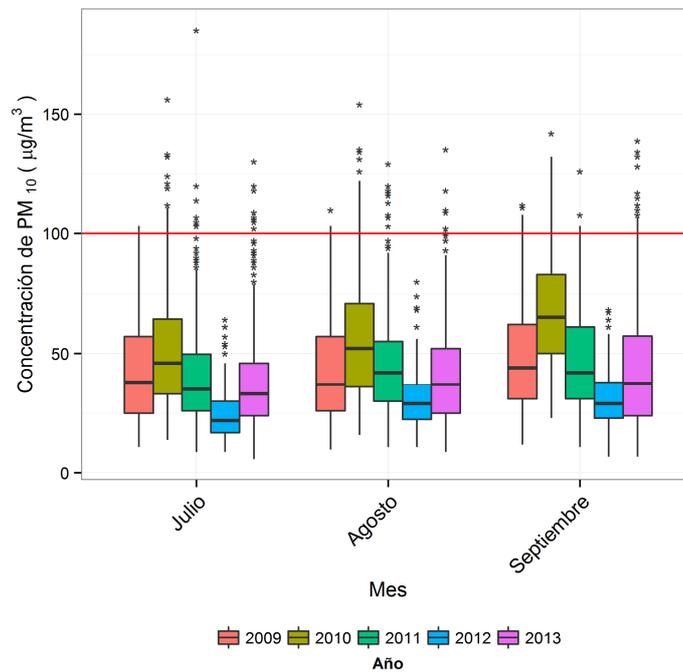


Figura 3-9. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ en base diaria por meses comparando el tercer trimestre del año 2013 con los mismos periodos de años anteriores.

El análisis histórico por estaciones se presenta en la Figura 3-10 en la cual se puede observar que las mayores concentraciones se encuentran en las estaciones de Carvajal, Kennedy, Suba, Fontibón y Puente Aranda, aunque estas dos últimas con importantes disminuciones en el tercer trimestre de 2013. Es posible que el comportamiento de Carvajal y Kennedy 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. El tercer trimestre de 2010 registra los mayores niveles como fue mencionado previamente lo cual puede estar relacionado con fenómenos de variabilidad climática. Sagrado Corazón y Usaquén aumentaron sus concentraciones en comparación con el mismo periodo de 2012.

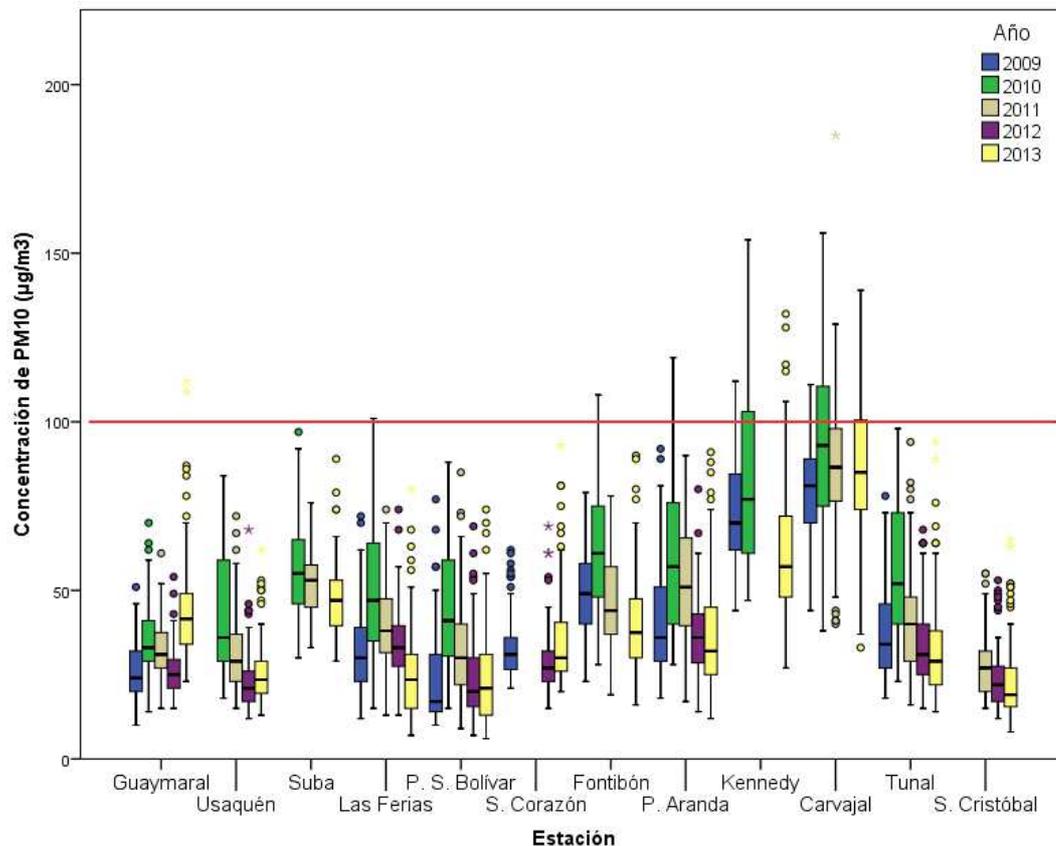


Figura 3-10. Gráfico de *boxplot* para PM₁₀ diario por estaciones en el tercer trimestre de los años 2009 a 2013.

En lo referente al comportamiento general en los terceros trimestres de los últimos 5 años, la Figura 3-11 presenta una aproximación del consolidado el cual no debe interpretarse como el comportamiento promedio de PM₁₀ en la ciudad, pues debe considerarse la alta variabilidad espacial de sus concentraciones, como se evidencia en la Figura 3-3. Se observa que el tercer trimestre de 2013 es similar en dispersión, niveles de concentración y datos atípicos a su correspondiente del 2011. Por el contrario, el mismo periodo de 2012 tiene menores concentraciones y dispersión lo cual se refleja en más detalle en las figuras mostradas previamente. Además, el tercer trimestre de 2010 registra los valores más altos de concentración.

La Tabla 3-3 contiene un resumen de máximos y mínimos entre los periodos de los años 2009 a 2013. El valor máximo de todos los registros diarios de la RMCAB en el tercer trimestre de 2013 fue 139 µg/m³ el 18 de agosto en la estación Carvajal que es menor en comparación con los periodos de 2010 y 2011 y mayor que los correspondientes a 2009 y 2012.

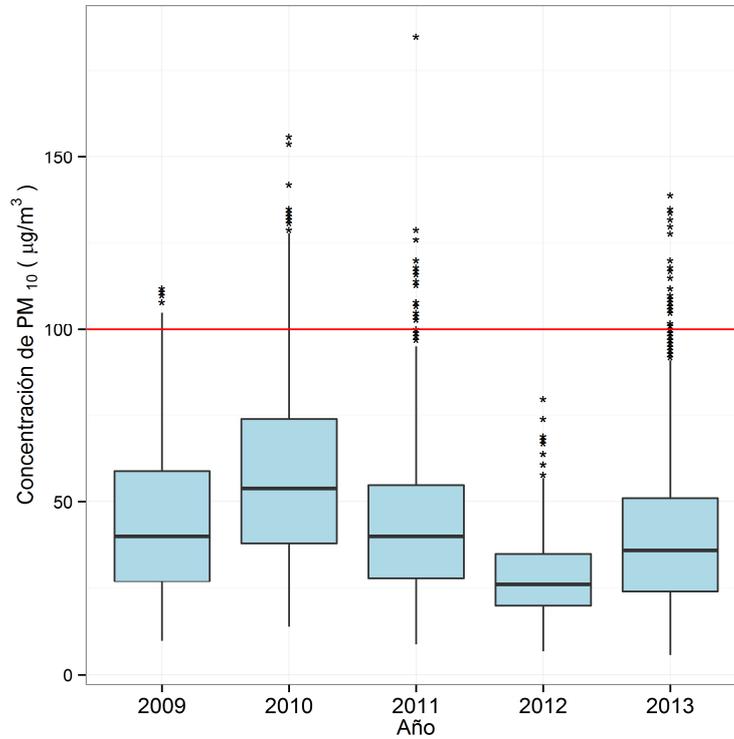


Figura 3-11. Gráfico de *boxplot* para PM_{10} en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Tabla 3-3. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PM_{10} en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Concentración de PM_{10} en $\mu g/m^3$	
	Máximo	Mínimo
2009	116	10
2010	156	14
2011	185	9
2012	108	7
2013	139	6

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 tercer 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 3-12 contiene un resumen de la concentración máxima y del número de excedencias de la norma diaria de PM_{2.5} para el tercer trimestre de 2013.

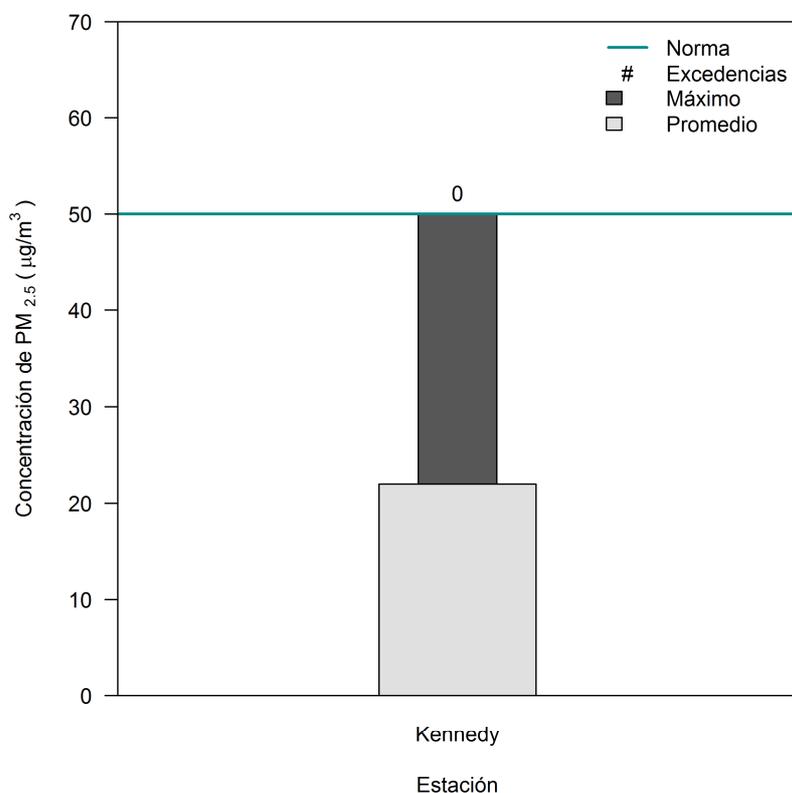


Figura 3-12. Máximo y excedencias de PM_{2.5} en base diaria para el tercer trimestre de 2013. Estación Kennedy.

La Tabla 3-4 contiene un resumen estadístico y de excedencias en la cual se observa un total de 85 datos capturados válidos, lo cual corresponde a un 92% de representatividad temporal. No se presentaron excedencias del límite normativo de 50 µg/m³ pero sí dos datos entre el 90% y el 100% de la norma, es decir, mayores a 45 µg/m³ y menores o iguales a 50 µg/m³, lo que demuestra que el PM_{2.5} de este trimestre se encontró cerca de presentar excedencias. El máximo registrado en el periodo fue precisamente 50 µg/m³ el

09 de agosto de 2013 cuando se presentó un episodio generalizado de alta concentración de PM₁₀ según se puede observar en la Tabla 3-2.

Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM_{2.5} para el tercer trimestre de 2013 en la estación Kennedy.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio (µg/m ³)	Excedencias norma 50 µg/m ³	Máximo [µg/m ³]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma ⁶
Kennedy	85	92%	22	0	50	09/08/2013	2

En el tercer trimestre de 2012, la representatividad temporal fue 77%, sin excedencias, con un promedio de 22 µg/m³ y con un máximo de 44 µg/m³ el 14 de septiembre de 2012. Estas observaciones muestran que durante el tercer trimestre de 2013 el PM_{2.5} presentó un comportamiento similar aunque con un máximo de mayor magnitud.

La Figura 3-13 corresponde a un diagrama calendario de las concentraciones diarias de PM_{2.5} durante el tercer trimestre de 2013. Se observa el valor máximo de 50 µg/m³ el viernes 09 de agosto de 2013 y dos días continuos de alta concentración el 07 y 08 de septiembre. No hay una diferencia considerable entre los meses en términos de niveles de concentración.

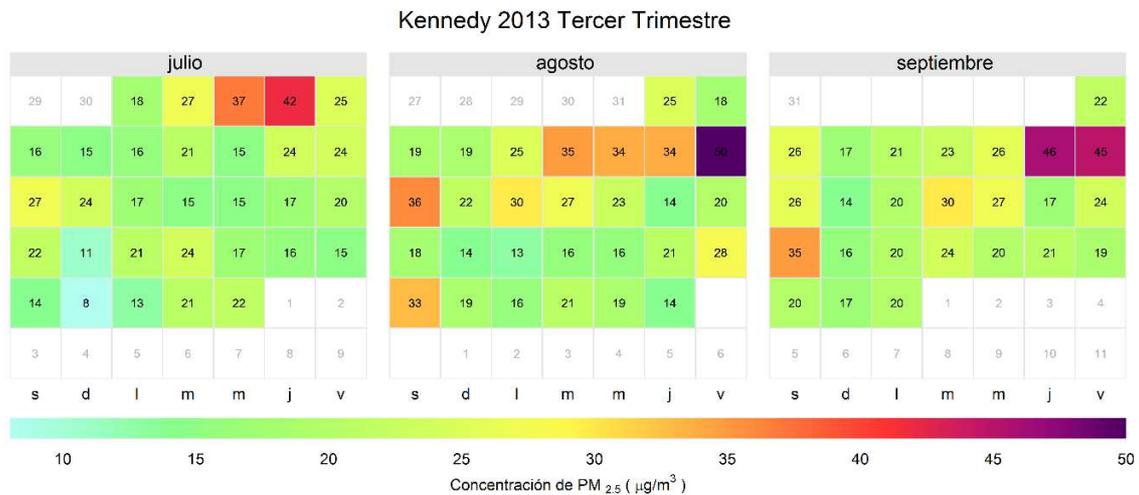


Figura 3-13. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el tercer trimestre de 2013 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

El perfil semanal de la Figura 3-14 presenta la alta variabilidad de los promedios diarios evidenciando la contribución de diferentes fuentes de emisión. Los viernes y sábados por lo general tienen la mayor concentración de PM_{2.5}, en contraste con los domingos y los lunes, día en el cual los niveles descienden de forma drástica. La Figura 3-15 muestra el ciclo diario general en esta estación mientras que la Figura 3-16 presenta este ciclo por día de la semana. Como es usual para el material particulado, el pico de concentración se

⁶ Mayor a 45 µg/m³ y menor o igual a 50 µg/m³

encuentra entre las 06:00 a.m. y las 08:00 a.m. para todos los días. Sin embargo, el domingo tiene un perfil más uniforme consecuencia de la reducción de las actividades vehiculares e industriales al ser un día generalmente no laborable.

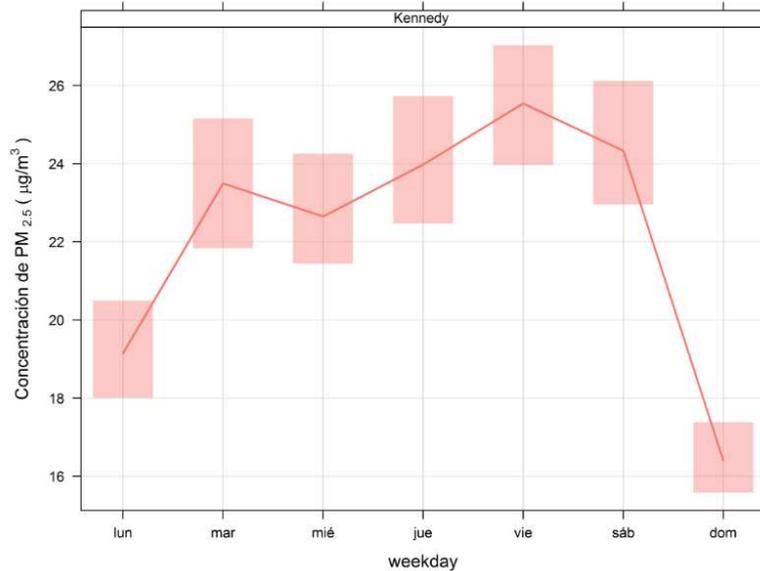


Figura 3-14. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

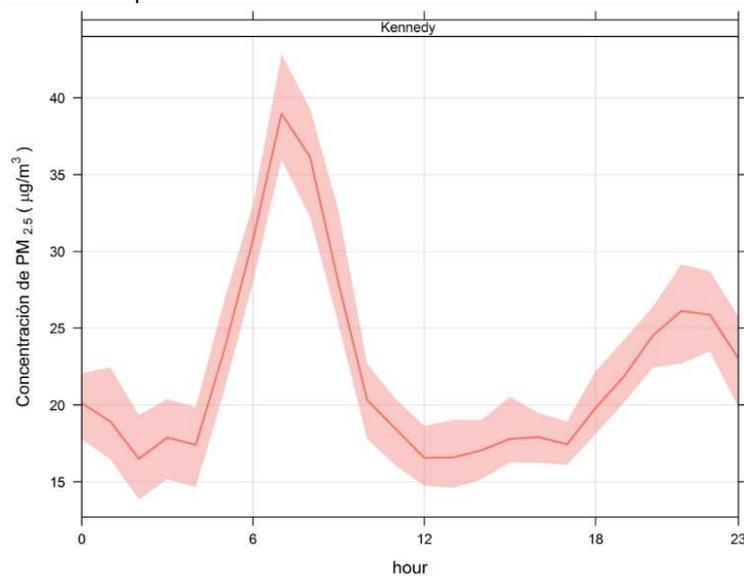


Figura 3-15. Ciclo diario de la concentración de PM_{2.5} en la estación Kennedy en el tercer trimestre de 2013.

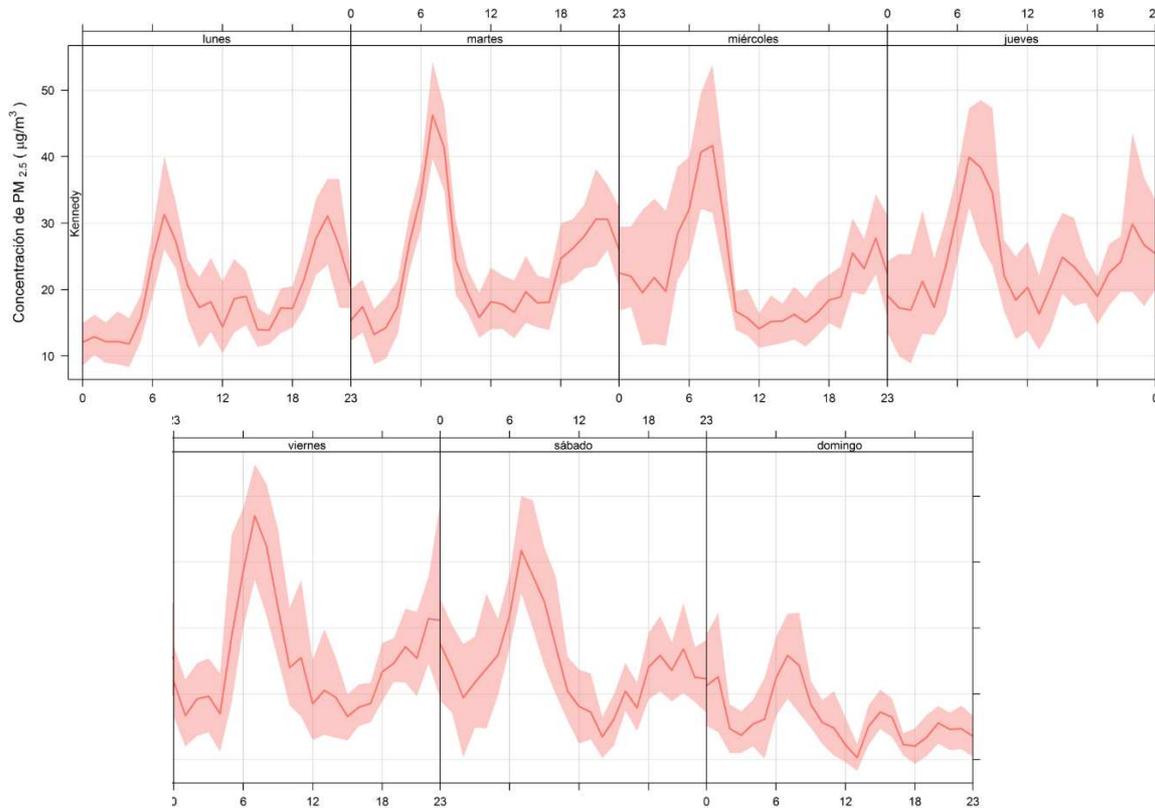


Figura 3-16. Discriminación de los ciclos diarios de $PM_{2.5}$ por día de la semana en la estación Kennedy para el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

El comportamiento histórico de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los terceros trimestres entre 2009 y 2013 se describe en función de los días de la semana y los meses del año. Como se mencionó previamente, la estación Kennedy es la única que ha monitoreado este contaminante en el periodo de interés. Del presente análisis se excluye el año 2011 porque su representatividad temporal es 43%. El comportamiento en función de los días de la semana se ilustra en la Figura 3-17 y los valores de los respectivos promedios en la Tabla 3-5. Históricamente, los días domingo y lunes registran las menores concentraciones promedio mientras que los viernes las mayores. No se observan diferencias apreciables en cuanto a la dispersión de los datos entre los días de la semana.

Con respecto al tercer trimestre de 2012, en el mismo periodo de 2013 las concentraciones promedio se redujeron los viernes y los domingos mientras que en los demás días no se observó variación o hubo aumento.

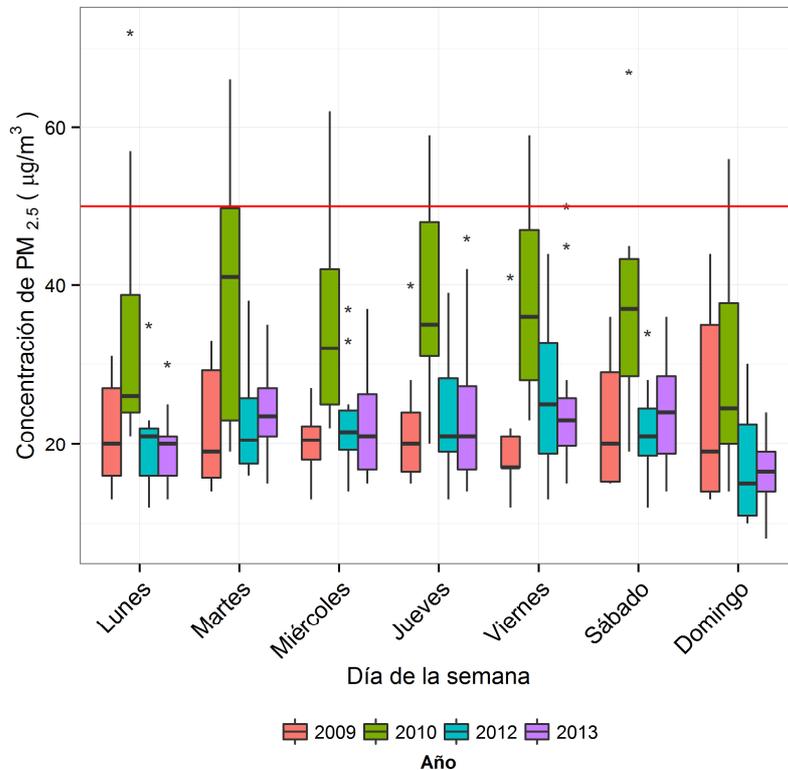


Figura 3-17. Gráfico de *boxplot* para $PM_{2.5}$ por días de la semana en base diaria comparando el tercer trimestre de 2013 con el mismo periodo de años anteriores. Se considera únicamente la estación Kennedy.

Las principales fuentes de $PM_{2.5}$ incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014). Respecto a los demás días de la semana, el día domingo no muestra un descenso tan pronunciado en su concentración de $PM_{2.5}$, 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 menor contaminación remanente del día domingo, razón por lo que sus niveles de concentración son menores en comparación con otros días hábiles.

La Figura 3-18 es un gráfico de *boxplot* histórico en función de los meses de julio, agosto y septiembre y la Tabla 3-6 relaciona los respectivos promedios. Como se mencionó previamente, el 2010 registra con diferencia los mayores niveles de concentración y de dispersión, en comparación con los otros años. Julio ha sido históricamente el mes que ha reportado menores concentraciones mientras que septiembre las mayores, hechos que se atribuyen a la variabilidad meteorológica de la Región Andina y por tanto de Bogotá, en la cual, para el caso de los vientos aumenta la velocidad (y, por tanto, de la dispersión de contaminantes), en la mitad del año. El mismo comportamiento se puede esperar para

PM₁₀ y para TSP. Septiembre fue el único mes en el cual la concentración tuvo un descenso notable en comparación con el mismo mes de 2012.

Tabla 3-5. Concentración promedio de PM_{2.5} por día de la semana durante los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013. Se considera solamente la estación Kennedy.

Promedio del contaminante PM _{2.5} por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
Día	2009	2010	2012	2013
Lunes	21	34	20	19
Martes	22	39	22	24
Miércoles	20	36	23	23
Jueves	22	38	23	24
Viernes	20	39	26	26
Sábado	22	37	22	24
Domingo	24	30	17	16

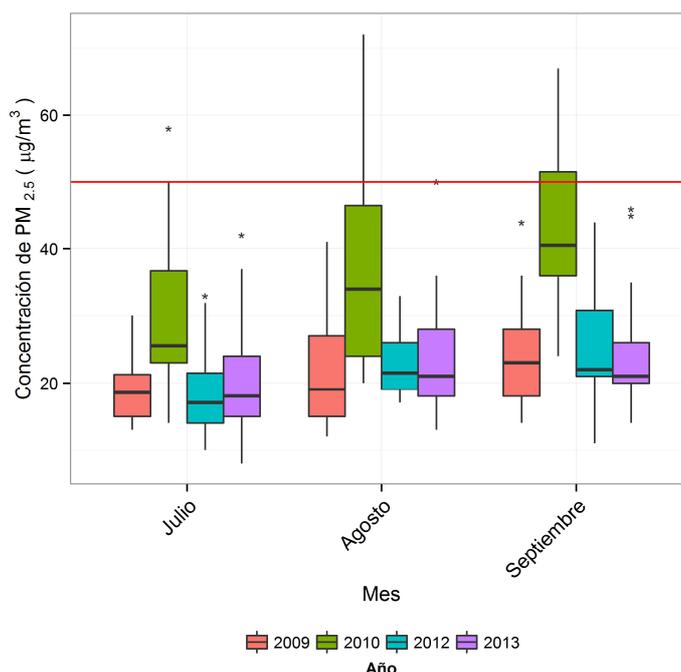


Figura 3-18. Gráfico de *boxplot* para PM_{2.5} por meses desde base diaria en los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013.

La Figura 3-19 corresponde a un gráfico de *boxplot* generalizado con el comportamiento histórico de la concentración media de PM_{2.5} en los terceros trimestres entre 2010 y 2013 para la estación Kennedy. El tercer trimestre de 2011 se descarta por representatividad temporal. Se observa que el tercer trimestre de 2010 presenta las concentraciones más altas y la mayor dispersión en un alto contraste con los otros periodos analizados. El dato

máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que fue registrado en la Tabla 3-4, aparece como atípico en esta figura. Es importante resaltar que, de acuerdo a la Tabla 3-7 y con excepción de 2010, durante los meses de julio, agosto y septiembre, todos los años registraron una concentración de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los promedios de la Tabla 3-7 en ningún momento deben ser comparados con la normatividad vigente ya que no se cuenta con un límite máximo permisible para un tiempo de exposición de tres meses.

Tabla 3-6. Concentración promedio de $\text{PM}_{2.5}$ por mes entre 2010 y 2013. Datos para estación Kennedy. Estos promedios no deben ser comparados con los límites máximos permisibles por la normatividad vigente.

Mes	Promedio del contaminante $\text{PM}_{2.5}$ por mes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2009	2010	2012	2013
Julio	19	30	18	20
Agosto	22	37	NR	23
Septiembre	24	43	25	24

NR: no representativo de acuerdo al criterio de 75% de representatividad temporal.

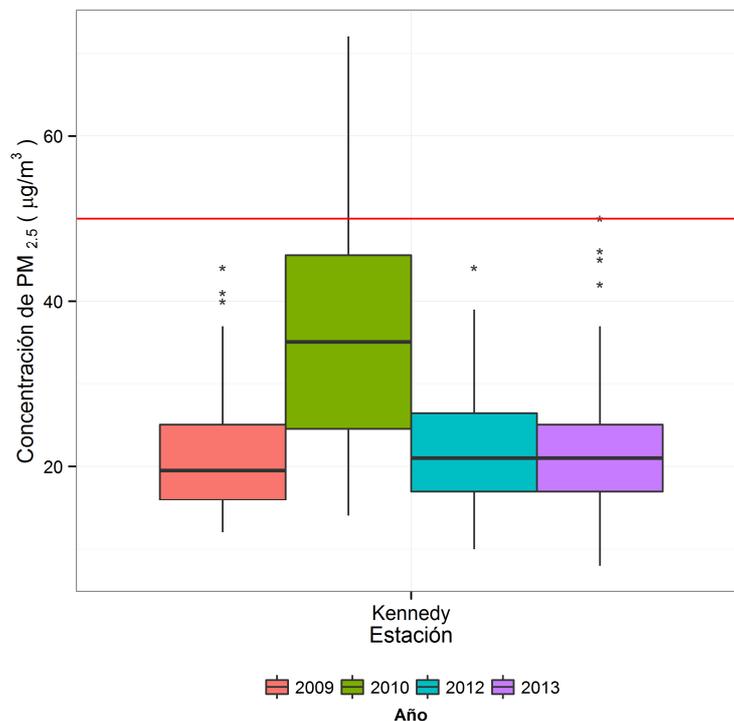


Figura 3-19. Gráfico de *boxplot* para $\text{PM}_{2.5}$ por estaciones (desde base diaria) para los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013.

Tabla 3-7. Resumen histórico de concentraciones de PM_{2.5} para los terceros trimestres de 2009, 2010, 2012 y 2013. Solamente se considera la estación de Kennedy.

Año	Concentración media de PM _{2.5} en µg/m ³
2009	22
2010	36
2012	22
2013	22

3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes primarios y 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 (ácido sulfúrico) 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 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 doce (12) equipos para monitorear ozono durante el tercer trimestre de 2013, ubicados según se reporta en la Tabla 1-2.

Comportamiento horario de O₃

Durante el tercer trimestre de 2013 se obtuvieron 19529 (diecinueve mil quinientos veintinueve) promedios horarios de O₃, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 80%. El porcentaje de recuperación, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora por estación se presentan en la Tabla 3-8. No se registraron excedencias del límite normativo en ninguna oportunidad. El día 2 de septiembre entre 11:00 a.m. y 04:00 p.m. 5 estaciones de la RMCAB (Guaymaral, Suba, Parque Simón Bolívar, Carvajal y Tunal) registraron sus máximas concentraciones del periodo evidenciando un episodio generalizado de alta contaminación lo cual se atribuye a niveles relativamente altos de radiación solar y para la estación Usaquéen ocurrió el día siguiente el 3 de septiembre, mientras que para las estaciones Las Ferias y Fontibón ocurrió el 13 de septiembre, evidenciando que en este mes de septiembre se registraron la la mayor parte de los máximos. La concentración más alta fue registrada en Guaymaral con un valor de 117 µg/m³ (60 ppb).

Tabla 3-8. Resumen descriptivo de datos de O₃ por estación para el tercer trimestre de 2013. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m ³	Máximo [µg/m ³]	Máximo [ppb]	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	93%	0	117	60	02/09/2013 16:00
Usaquéen	88%	0	84	43	03/09/2013 14:00
Suba	80%	0	97	50	02/09/2013 16:00
Las Ferias	91%	0	102	52	13/09/2013 14:00
Parque Simón Bolívar	86%	0	94	48	02/09/2013 12:00
Sagrado Corazón	62%	0	63	32	06/08/2013 04:00
Fontibón	72%	0	106	54	13/09/2013 14:00
Puente Aranda	62%	0	68	35	12/09/2013 14:00
Carvajal	99%	0	79	40	02/09/2013 11:00
Tunal	98%	0	78	40	02/09/2013 12:00
San Cristóbal	53%	0	63	32	10/08/2013 16:00

En base horaria, 4 estaciones no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% (Sagrado Corazón, Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal). Sin embargo, se reportan los valores de concentración máxima y de excedencias al corresponder estos a eventos singulares, como se muestra en la Figura 3-20. La baja representatividad de San

Cristóbal (53%) se atribuye a que el equipo respectivo se encontraba fuera de operación en varios días de agosto y en todo el mes de septiembre.

En el tercer trimestre de 2012 se presentó un porcentaje de recuperación de 89%, no se registraron excedencias de la norma horaria y todas las estaciones cumplieron con el criterio de representatividad temporal para el cálculo de promedios. Aunque los promedios de la Figura 3-20 no son susceptibles de comparación con la normatividad (al corresponder a diferentes tiempos de exposición), se observa que las estaciones ubicadas en el norte de la ciudad (especialmente Usaquén) tienen los promedios más altos de O₃.

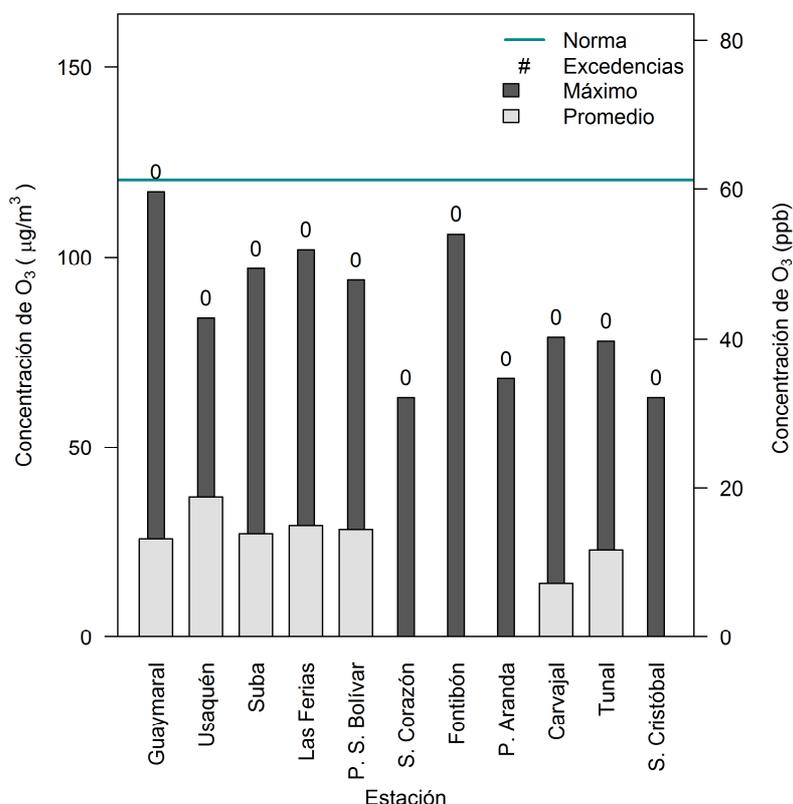


Figura 3-20. Concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base horaria por estación durante el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O₃

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 19412 (diecinueve mil cuatrocientos doce) promedios que representan el 80% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el tercer trimestre de 2013. Cuatro datos excedieron la norma (80 µg/m³, Resolución 610 de 2010) en Parque Simón Bolívar y Fontibón correspondiendo a 0,02% del total de promedios calculados. Los niveles máximos por estación, el número de excedencias y la fecha en que ocurrieron los máximos por estación se presentan en la Tabla 3-9. En la Figura 3-21 se muestran las

concentraciones máximas y las excedencias para cada una de las estaciones. Al igual que la Figura 3-20, los promedios son indicativos y no deben ser comparados con los límites normativos vigentes al tener tiempos de exposición diferentes.

Nuevamente Sagrado Corazón, Fontibón, Puente Aranda y San Cristóbal no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Valores más altos de promedios y de concentraciones máximas se observan en estaciones ubicadas en la zona norte, noroccidental y central. En estas zonas y para el tiempo de exposición considerado la estación Usaquén presenta los niveles más elevados. Con el tiempo de exposición de 8 horas, 6 estaciones (Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Fontibón, Puente Aranda y Tunal) coinciden en el reporte de sus concentraciones máximas el 20 de septiembre representando un evento de alta concentración a nivel ciudad. Este episodio se asemeja en comportamiento al reportado el 2 de septiembre para el tiempo de exposición de 1 hora.

En el tercer trimestre de 2012 se presentaron 19 excedencias totales lo que evidencia una reducción en el mismo periodo de 2013 y consecuentemente una mejora en la calidad del aire.

Tabla 3-9. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y periodo de ocurrencia de las concentraciones de O₃ en base 8 horas durante el tercer trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8h) 80 µg/m ³	Porcentaje de excedencias	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	92%	0	0,0%	38	74	02/09/2013 16:00
Usaquén	88%	0	0,0%	39	77	20/09/2013 18:00
Suba	80%	0	0,0%	36	71	02/09/2013 17:00
Las Ferias	90%	0	0,0%	39	76	20/09/2013 17:00
Parque Simón Bolívar	85%	2	0,1%	42	82	20/09/2013 16:00
Sagrado Corazón	60%	0	0,0%	22	44	06/08/2013 06:00
Fontibón	72%	2	0,1%	43	84	20/09/2013 17:00
Puente Aranda	62%	0	0,0%	26	50	20/09/2013 17:00
Carvajal	99%	0	0,0%	24	48	02/09/2013 17:00
Tunal	99%	0	0,0%	35	69	20/09/2013 18:00
San Cristóbal	54%	0	0,0%	25	50	04/07/2013 17:00

Al comparar con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb en un tiempo de exposición de 8 horas, en el cual no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera “Buena” (U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013), no se observan excedencias por parte de estos promedios durante el tercer trimestre de 2013. Según los *National Ambient Air Quality*

Standards (NAAQS) de Estados Unidos, la norma anual es 75 ppb y consecuentemente tampoco hay excedencias de este límite.

Las horas de concentración máxima sugieren que los niveles de O₃ en base de 8 horas ocurren predominantemente entre las 04:00 p.m. y las 06:00 p.m., lo cual y a pesar de no ser concordante con la realidad teniendo en cuenta que una mayor concentración de ozono está asociada a alta radiación solar, es importante tener en cuenta que los valores de dichas horas son el resultado de promediar las 8 horas pasadas, cuando la radiación solar es considerable, donde están incluidas horas cercanas al medio día que registran los niveles más altos de esta variable.

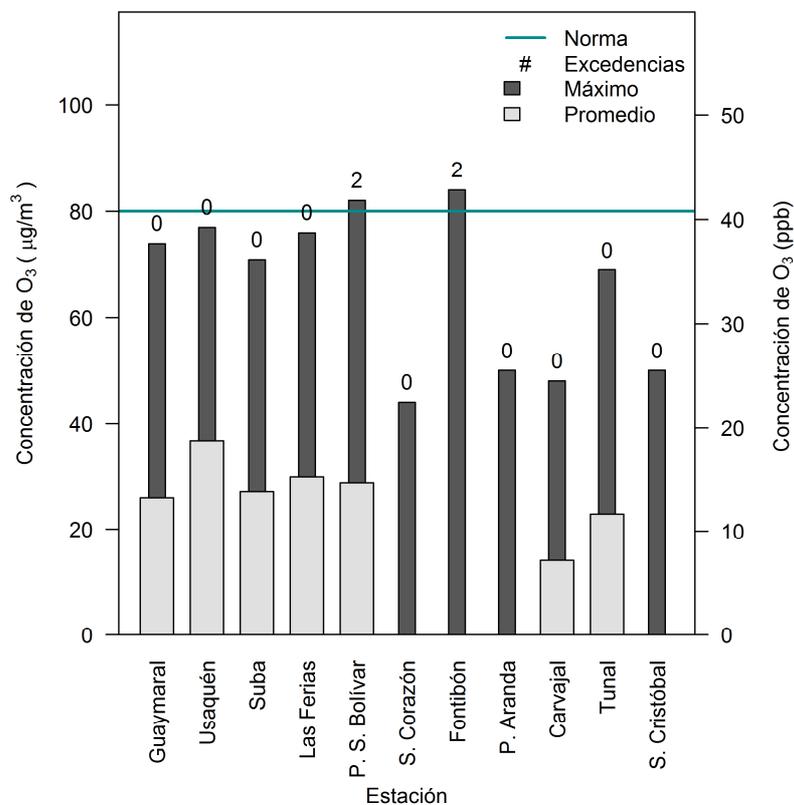


Figura 3-21. Concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base 8 horas por estación durante el tercer trimestre de 2013.

La Figura 3-22 presenta el mapa con la superficie de contaminación de ozono en base de 8 horas para el tercer trimestre de 2013. La interpolación espacial fue realizada mediante el método *Kriging* con base en los promedios de 8 horas de las estaciones con representatividad temporal superior a 75%. Como se mencionó previamente, el norte de la ciudad tiene las mayores concentraciones en contraste con el suroccidente. En esta última zona las concentraciones de los demás contaminantes son notablemente más altas.

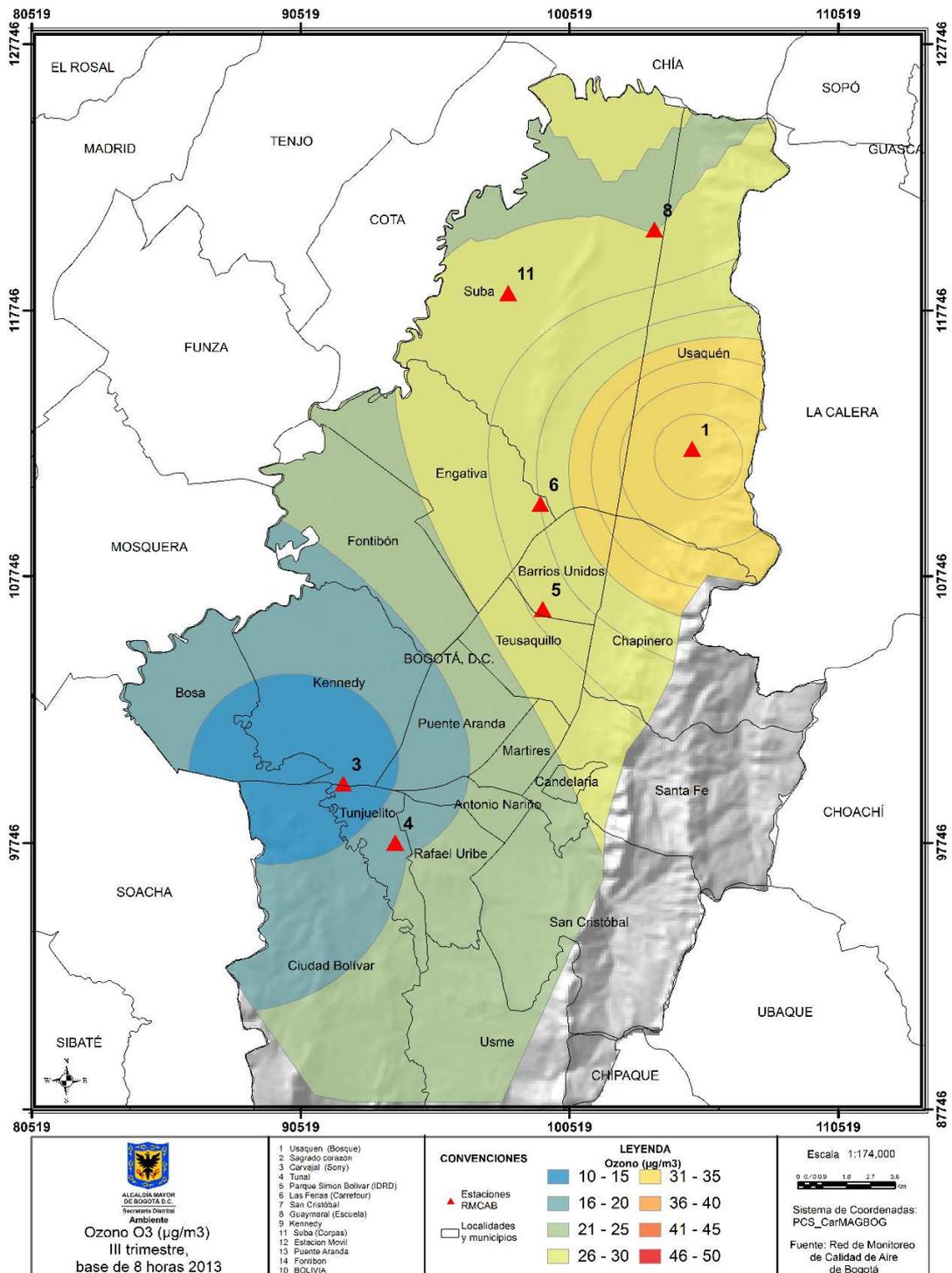


Figura 3-22. Superficie de contaminación de ozono con base en promedios de 8 horas para el tercer trimestre de 2013. Interpolación espacial realizada mediante el método *Kriging* con los promedios trimestrales de cada estación.

Comportamiento histórico del O₃

La Figura 3-23 contiene la tendencia histórica de la concentración de ozono (base de 24 horas) en función de los días de la semana para los terceros trimestres entre 2009 y 2013. Se puede observar que los diagramas de caja de esta figura entre lunes y sábado se caracterizan por una dispersión similar, mientras que el domingo registra niveles levemente mayores lo cual representa una tendencia contraria a los otros seis contaminantes medidos por la RMCAB (PM₁₀, PM_{2.5}, PST, SO₂, NO₂ y CO) en los cuales se reportan las menores concentraciones este día. La mayoría de máximos históricos se observan en los periodos de los años 2009 y 2010, lo que evidencia una mejora de la calidad del aire para los tres siguientes trimestres. Se registró un máximo diario de 163 µg/m³ el 22 de agosto de 2010 en Usaquén. Con respecto al tercer trimestre de 2012, los días jueves, viernes y sábado del mismo periodo de 2013 aumentaron sus niveles de concentración.

La Figura 3-24 muestra el comportamiento de los promedios diarios de concentración de ozono en función de los meses de julio, agosto y septiembre entre 2009 y 2013. Históricamente septiembre registra las más altas concentraciones en comparación con julio y agosto lo cual puede atribuirse a la variabilidad meteorológica de estos años. El año 2011 registró las menores concentraciones en los tres meses en contraste con el 2009. En comparación con el tercer trimestre de 2012, julio de 2013 fue el único mes en aumentar sus niveles de concentración.

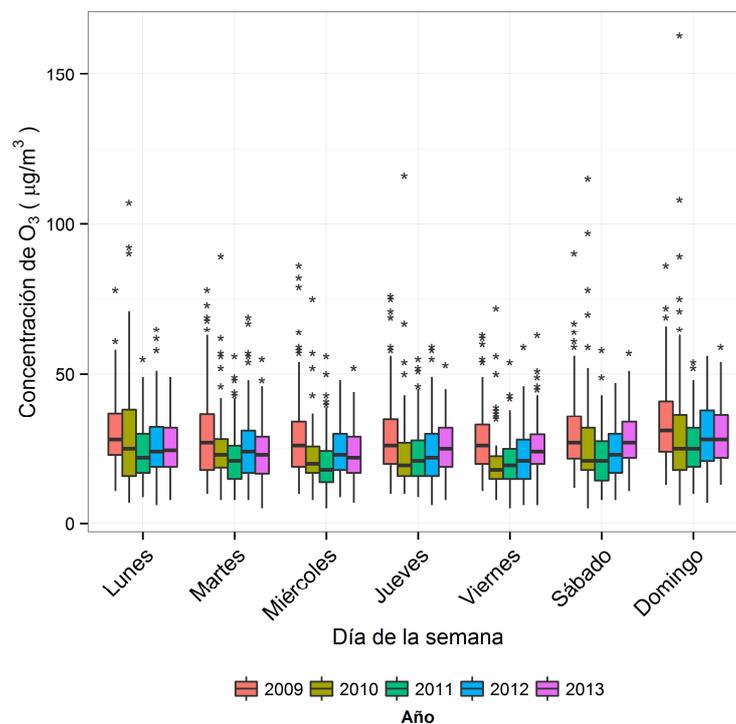


Figura 3-23. Gráfico de *boxplot* para O₃ en base diaria por días de la semana, comparando el tercer trimestre de 2013 con periodos de años anteriores.

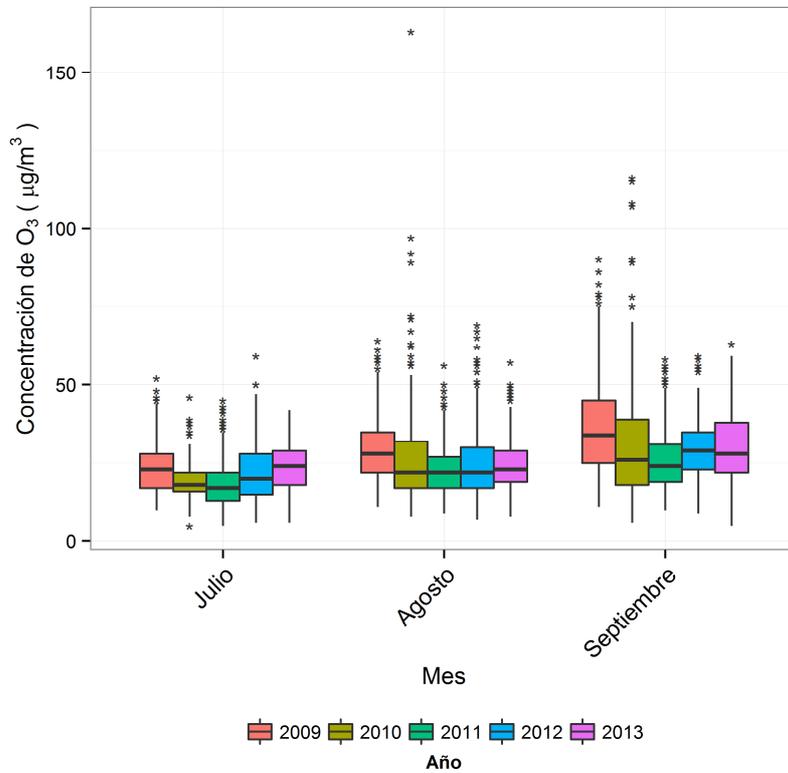


Figura 3-24. Gráfico de *boxplot* para O₃ en función de los meses (desde base diaria) entre 2009 y 2013.

La Figura 3-25 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de las estaciones de monitoreo. Se observa que las mediciones en la estación Usaquén son las principales causantes de los altos niveles en los terceros trimestres de 2009 y 2010, como se observa en la Figura 3-23 y la Figura 3-24. Tal como se ha discutido previamente, las mayores concentraciones de ozono se observan en aquellas estaciones localizadas al norte, centro y occidente de la ciudad. Con respecto al tercer trimestre de 2012, las concentraciones han aumentado en Guaymaral y Usaquén, las cuales se caracterizan por sus altos niveles. Aunque no se tiene representatividad del tercer trimestre de 2013, Fontibón ha reducido progresivamente los niveles de este gas contaminante. Se destacan los bajos niveles observados en Carvajal, estación que se caracteriza por presentar las mayores concentraciones de material particulado.

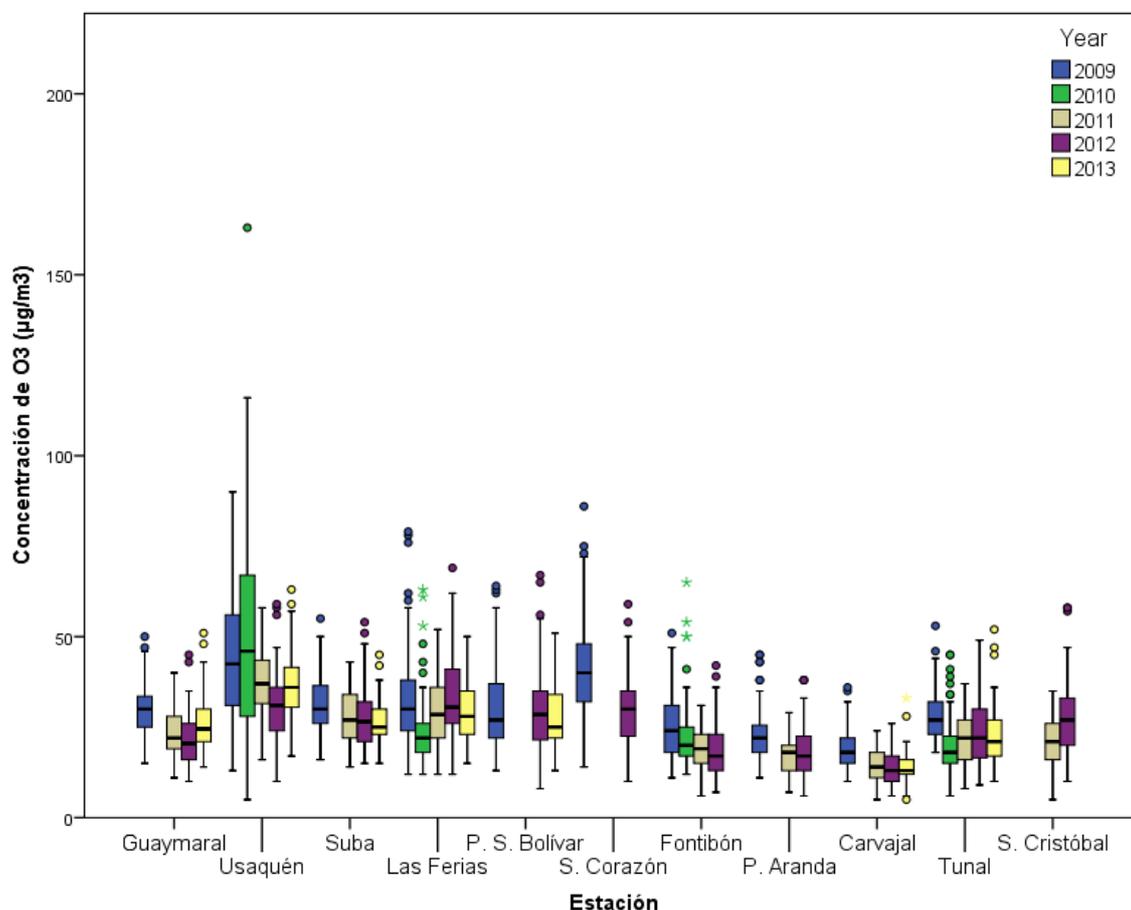


Figura 3-25. Gráfico de *boxplot* de O₃ en función de las estaciones para los terceros trimestres entre 2009 y 2013 (desde base diaria).

El resumen general del comportamiento de ozono entre 2009 y 2013 se presenta en la Figura 3-26. El tercer trimestre de 2010 presenta una cantidad mayor de datos atípicos los cuales además tienen altos valores. Sin embargo, en términos de datos no atípicos, el tercer trimestre de 2009 presentó las mayores concentraciones históricas, caso contrario al mismo periodo de 2011. No se observan diferencias considerables entre los periodos de los años 2012 y 2013. La Tabla 3-10 es un resumen histórico de las concentraciones de ozono en base de 8 horas, en donde se puede ver que la magnitud del valor máximo fue menor en 2013. No se presentan resultados en base diaria para esta tabla al no existir normatividad correspondiente.

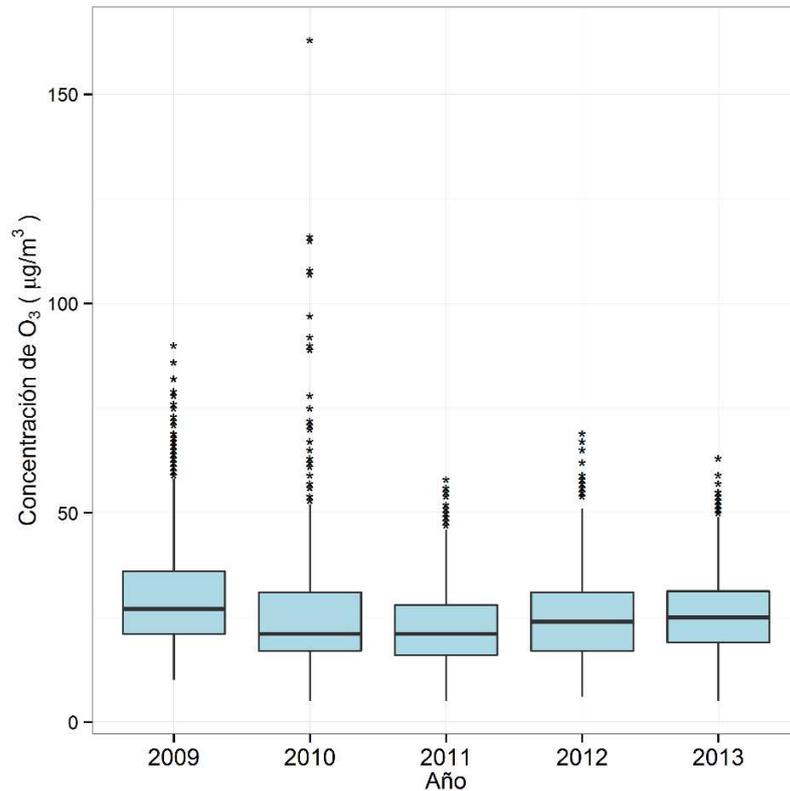


Figura 3-26. Gráfico de *boxplot* de O_3 con el comportamiento histórico en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Tabla 3-10. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O_3 en promedios de 8 horas para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Máximo		Mínimo	
	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2009	56	111	1	2
2010	104	204	0	0
2011	45	89	0	1
2012	49	95	0	1
2013	43	84	0	0

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO₂

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO₂ para el tercer trimestre de 2013 a partir de los datos obtenidos en 6 estaciones que se presentan en la Tabla 1-2. No se incluye la estación Carvajal ya que el analizador correspondiente requiere de estudios de intercomparabilidad de datos. Las estaciones Guaymaral y Suba no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% y, por tanto, no son susceptibles del cálculo de promedios trimestrales. La estación Las Ferias no reportó mediciones durante el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento horario de la concentración de NO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 9867 (nueve mil ochocientos sesenta y siete) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 75%. La Figura 3-27 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO₂, en base de tiempo horaria en unidades de µg/m³ y partes por billón en volumen (ppb). Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m³, Resolución 610 de 2010) pero sí del 50% de la misma (100 µg/m³) en Puente Aranda y Tunal con 9 excedencias en cada estación.

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 3-11. Los días 2, 3 y 4 de septiembre cuatro estaciones de la RMCAB (Suba, Puente Aranda, Kennedy y Tunal) reportaron sus valores máximos de concentración indicando un episodio generalizado de contaminación en Bogotá por NO₂. Es importante destacar que Puente Aranda y Kennedy registraron simultáneamente máximos el 3 de septiembre a las 9:00 a.m. La máxima concentración se reporta el 2 de septiembre de 2013 a las 10:00 a.m. en la estación Tunal con 157 µg/m³. Aunque los promedios de la Figura 3-27 son indicativos y no comparables con la normatividad nacional, se observa que Puente Aranda registra el mayor promedio lo cual puede deberse a la alta actividad de fuentes de emisión en la zona.

Tabla 3-11. Resumen de datos horarios de NO₂ por estación para el tercer trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	17%	31	58	04/07/2013 21:00
Suba	64%	49	92	04/09/2013 16:00
Parque Simón Bolívar	91%	32	59	09/08/2013 11:00
Puente Aranda	91%	77	145	03/09/2013 09:00
Kennedy	99%	46	86	03/09/2013 09:00
Tunal	85%	84	157	02/09/2013 10:00

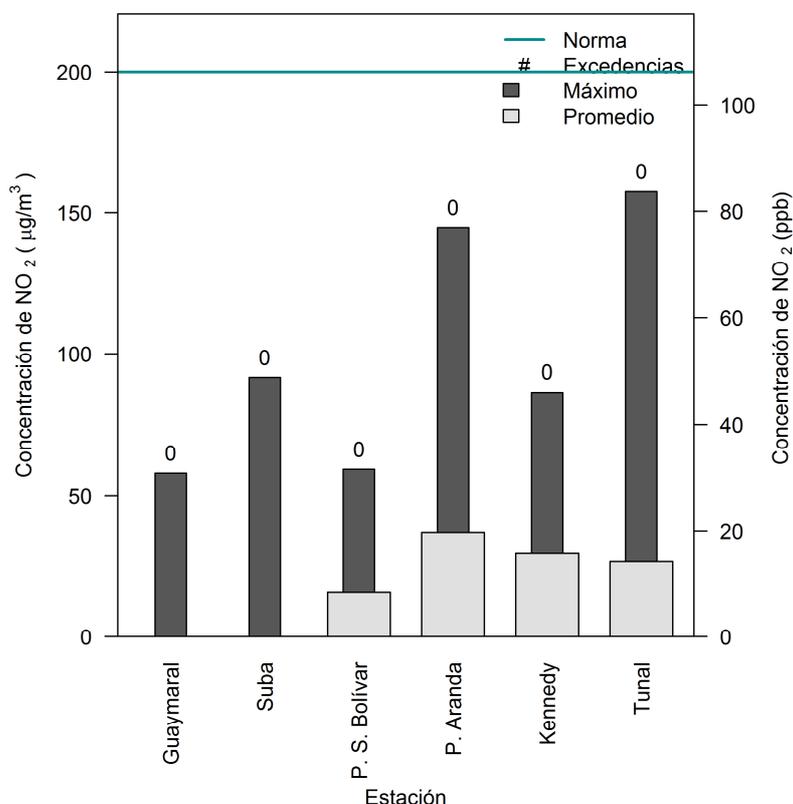


Figura 3-27. Concentración horaria de NO₂ por estación durante el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento diario de la concentración de NO₂

Se calcularon 407 (cuatrocientos siete) promedios diarios de NO₂, cuya representatividad temporal corresponde al 74% del total de datos posibles. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO₂ para 24 horas (150 µg/m³) como se observa en la Figura 3-28. Tampoco se registraron excedencias del 50% de la norma (75 µg/m³). En la Tabla 3-12 se reportan los porcentajes de datos válidos, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. La máxima concentración diaria fue 70 µg/m³ (37 ppb) en Puente Aranda el 4 de septiembre de 2013. Parque Simón Bolívar registró su máxima concentración el mismo día pero con una magnitud menor correspondiente a 31 µg/m³ (16 ppb).

Tabla 3-12. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el tercer trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Promedio (µg/m ³)	Promedio (ppb)	Máximo (ppb)	Máximo (µg/m ³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	16%	18	9	14	27	05/07/2013
Suba	62%	26	14	24	45	19/07/2013
Parque Simón Bolívar	88%	16	8	16	31	04/09/2013
Puente Aranda	95%	37	20	37	70	04/09/2013
Kennedy	100%	29	16	23	43	21/09/2013
Tunal	82%	27	14	30	56	02/09/2013

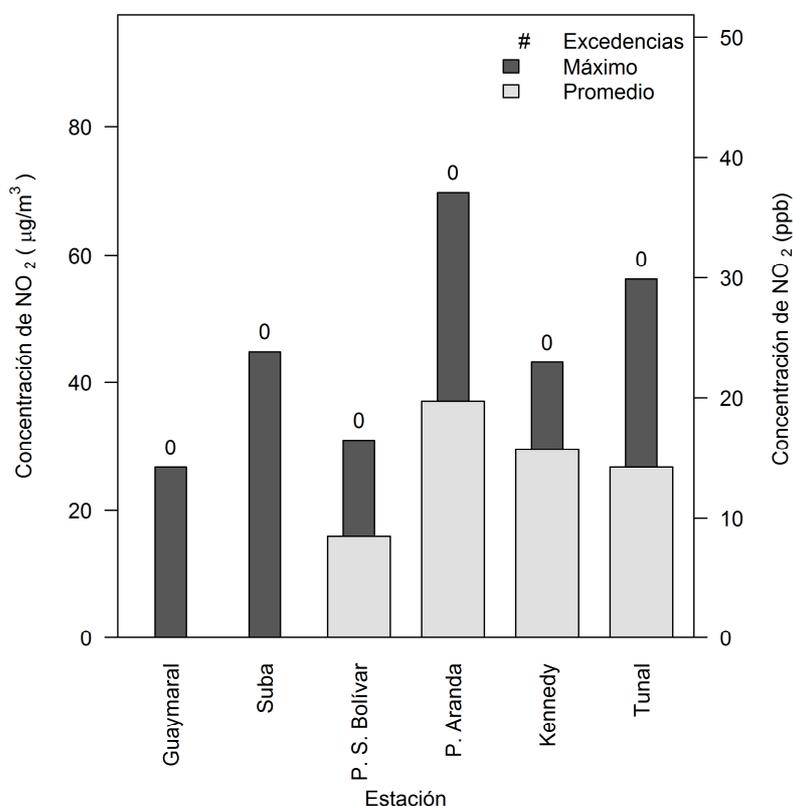


Figura 3-28. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO₂ en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento histórico de promedios de NO₂. Base de tiempo diaria.

La interpretación del análisis del comportamiento histórico de este contaminante debe considerar el hecho de que este contaminante no es medido con la misma intensidad en todas las estaciones ni entre los diferentes años, debido a asuntos relacionados con la operatividad de la RMCAB y por eventos fortuitos que motivan el traslado o suspensión de un equipo o estación en particular. Para el tercer trimestre de 2013 se cuenta con información representativa de 4 estaciones. La Figura 3-29 muestra la distribución de las

concentraciones por día de la semana para el periodo de análisis. Como es usual, las menores concentraciones se encuentran los domingos lo cual se atribuye a la disminución de actividades en la ciudad y sus alrededores. Los demás días mantienen magnitudes y dispersiones similares. El tercer trimestre de 2013 presentó un comportamiento similar a su equivalente del 2012 y concentraciones mayores que el 2011. Estos tres periodos contrastan con los terceros trimestres de 2009 y 2010 los cuales tienen concentraciones significativamente más altas. Se destaca el periodo de 2010 como el más disperso, posiblemente debido a mayor variabilidad de las condiciones meteorológicas.

El máximo histórico reportado por las estaciones de la RMCAB durante los 5 periodos considerados fue $89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Puente Aranda el miércoles 29 de septiembre de 2010 el cual inusualmente no es un dato atípico dentro del respectivo diagrama de caja. Sin embargo, este valor máximo no superó el límite normativo de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

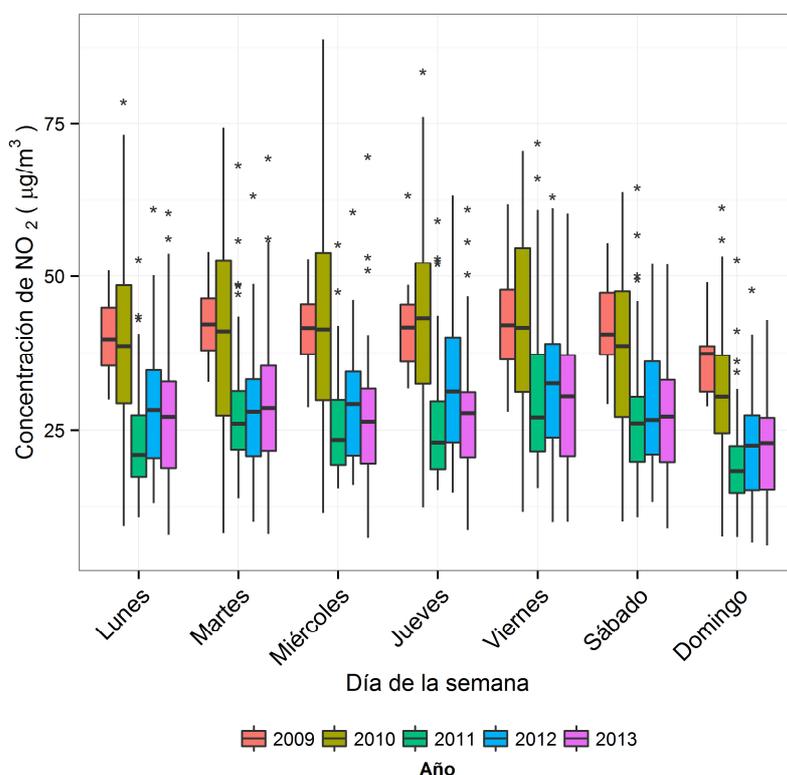


Figura 3-29. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por días de la semana (base diaria) para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-30 se presenta la distribución de los datos en función de los meses de julio, agosto y septiembre entre 2009 y 2013. Aunque con leves diferencias, en el mes de julio se presentan las menores concentraciones del periodo y septiembre las mayores. Estos cambios se deben a la disminución de la velocidad del viento y, consecuentemente, de la dispersión de los contaminantes a medida que se acerca el final del año, un fenómeno atribuible a la variabilidad meteorológica estacional. Como se mencionó previamente, en

esta gráfica también es posible observar que los periodos de los años 2009 y 2010 marcan una diferencia considerable en términos de niveles de contaminación en comparación con 2012 y 2013. Este hecho evidencia una mejora progresiva de la calidad del aire de la ciudad. En comparación con el tercer trimestre de 2012, el mismo periodo de 2013 no presentó variaciones significativas en los niveles de concentración en los meses estudiados.

La Figura 3-31. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013. presenta la distribución de las concentraciones de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los años. Por tanto, se muestra un total de 4 estaciones para el tercer trimestre de 2013. Parque Simón Bolívar y Kennedy redujeron su concentración en comparación con el mismo periodo de 2012 y son las únicas estaciones que reportan datos representativos en ambos periodos. A diferencia de las demás estaciones del tercer trimestre de 2010, Suba reportó una concentración notablemente más reducida la cual es incluso menor que las observadas para los periodos de los años 2011 y 2012. Los mayores niveles de dispersión se observan para Las Ferias y Puente Aranda.

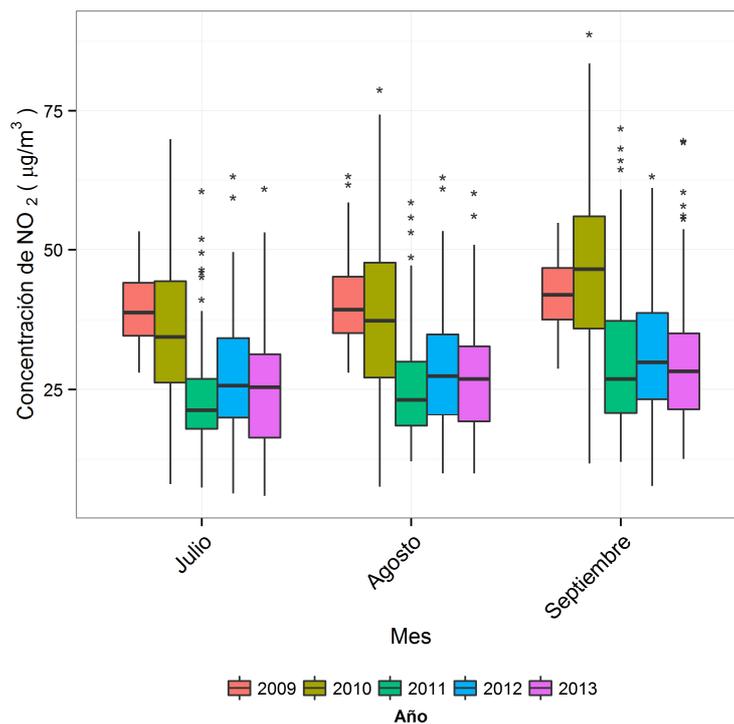


Figura 3-30. Gráfico de *boxplot* para NO₂ en base diaria por meses entre 2009 y 2013.

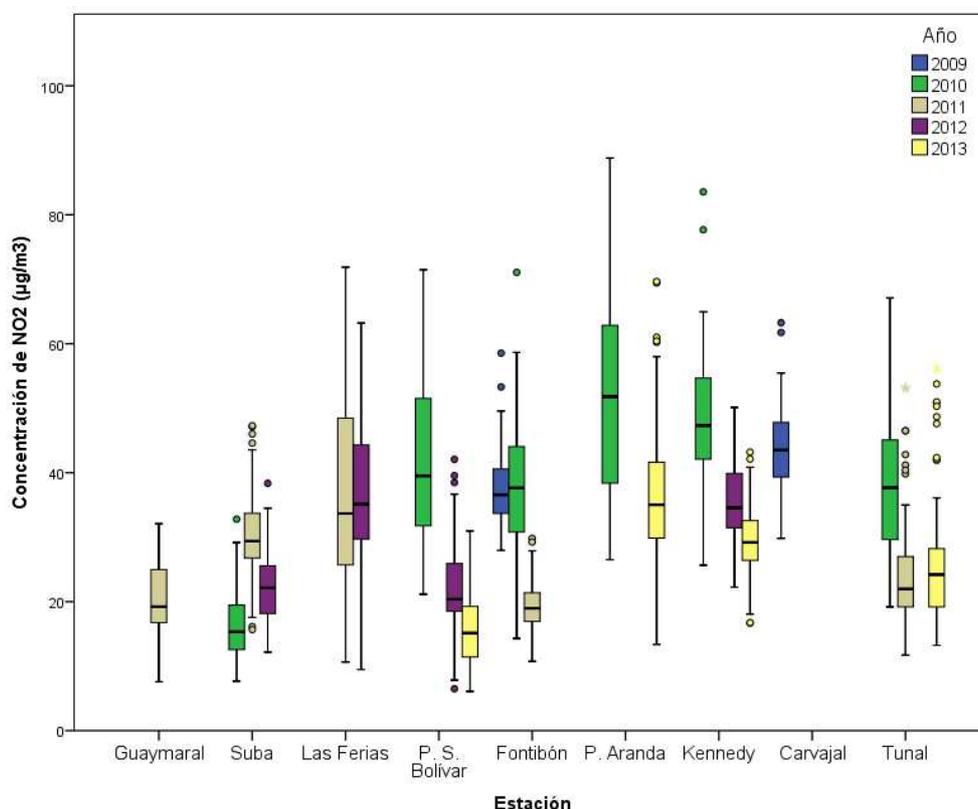


Figura 3-31. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

En la Figura 3-32 se encuentra un gráfico *boxplot* con la distribución general de los datos en los terceros trimestres entre 2009 y 2013, figura en la cual se han tenido en cuenta las estaciones presentadas en la Figura 3-31 para obtener cada promedio. El tercer trimestre de 2013 registra niveles de concentración levemente menores con respecto al mismo periodo de 2012 aunque sus datos atípicos tienden a ser más altos. La mejor calidad del aire fue observada en el tercer trimestre de 2011 ya que las concentraciones y dispersión, en su conjunto, fueron más bajas.

La Tabla 3-13 es un resumen histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ entre 2009 y 2013. Los terceros trimestres de 2012 y 2013 redujeron levemente las magnitudes de sus valores máximos. Como se mencionó previamente, el periodo de 2010 registra la más alta concentración de los periodos analizados con 89 µg/m³ en la estación Puente Aranda el miércoles 29 de septiembre de 2010.

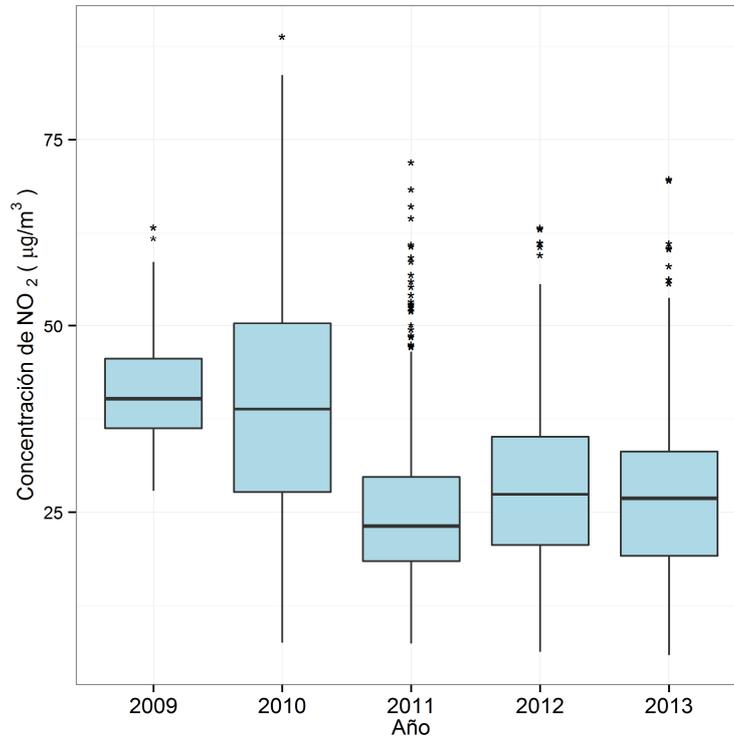


Figura 3-32. Gráfico general de *boxplot* para NO₂ en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Tabla 3-13. Resumen estadístico histórico de máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ en base diaria en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m ³	ppb	µg/m ³
2009	40	76	3	6
2010	47	89	4	8
2011	38	72	4	8
2012	34	63	3	6
2013	37	70	3	6

3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el tercer trimestre de 2013 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) en base de 1 hora y de 8 horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-2. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 88% en base horaria respecto al máximo posible de información a obtener. La estación Tunal no cumple con el criterio de representatividad temporal de 75% y fue descartada para el cálculo de promedios indicativos. No se registraron mediciones en las estaciones de Usaquén y San Cristóbal por falla del detector infrarrojo.

Comportamiento horario de CO

Se obtuvieron 13565 (trece mil quinientos sesenta y cinco) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2013. Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m³, Resolución 610 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma (20 mg/m³). En la Tabla 3-14 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el valor máximo horario (en ppm y en mg/m³) y el día y hora en que ocurrieron. El máximo valor se registró en la estación Tunal el 4 de septiembre de 2013 a las 08:00 a.m. con 7,1 mg/m³ (6,4 ppm).

Aunque los promedios mostrados en la Figura 3-33 son indicativos únicamente y no comparables con la normatividad nacional, se observa que las estaciones localizadas en la zona suroccidental de la ciudad registran las mayores concentraciones promedio lo cual se atribuye principalmente a las emisiones de fuentes móviles. Tunal no registra promedio porque tiene un porcentaje de representatividad menor a 75%. Fontibón tiene la concentración más baja así como un valor máximo más reducido.

Tabla 3-14. Resumen de datos horarios de CO por estación para el tercer trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m ³)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	95%	2,9	3,4	0	03/09/2013 23:00
Parque Simón Bolívar	94%	4,3	4,9	0	03/09/2013 22:00
Fontibón	98%	2,4	2,8	0	03/09/2013 07:00
Puente Aranda	97%	4,3	4,9	0	03/09/2013 22:00
Kennedy	100%	4,7	5,4	0	03/09/2013 07:00
Carvajal	92%	4,4	5,1	0	10/08/2013 02:00
Tunal	39%	6,2	7,1	0	04/09/2013 08:00

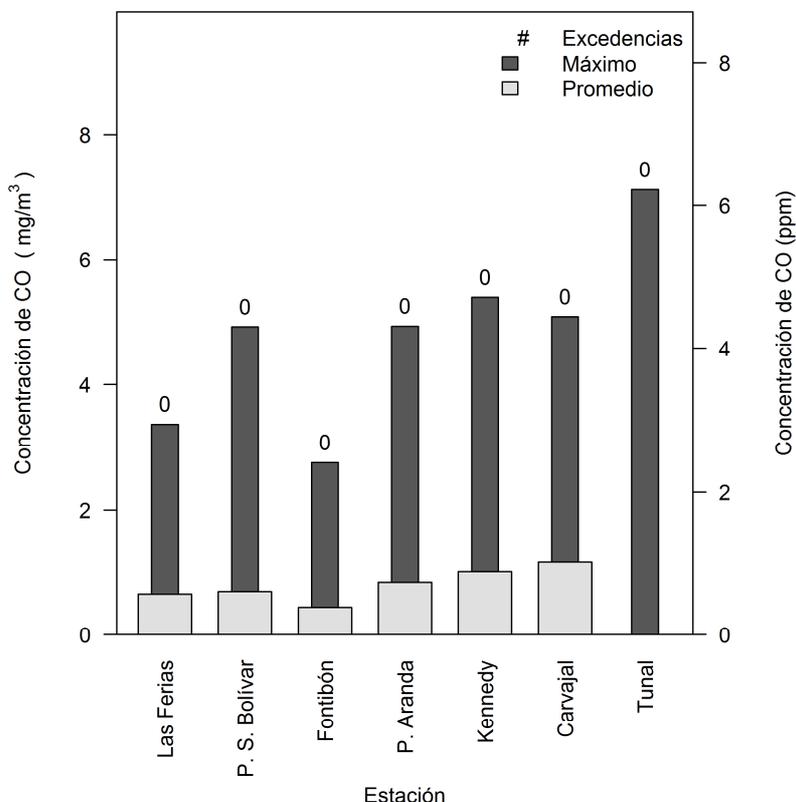


Figura 3-33. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

Para el tercer trimestre de 2013 se calcularon 13379 (trece mil trescientos setenta y nueve) promedios de 8 horas de CO, equivalentes al 87% de los datos posibles en el periodo. Como se evidencia en la Figura 3-34 y en la Tabla 3-15, la máxima concentración en base de ocho horas del trimestre se registró en la estación Carvajal con $3,6 \text{ mg/m}^3$ (3,1 ppm) el 10 de agosto de 2013 a las 05:00 a.m. lo que demuestra que no se superó el límite normativo de 10 mg/m^3 (Resolución 610 de 2010) durante el periodo en ninguna oportunidad. Carvajal es una estación cercana a la Autopista Sur la cual es una vía con alto flujo vehicular donde transitan tanto vehículos particulares como de carga pesada, los cuales usan principalmente diésel como combustible. El 4 de septiembre hubo un evento generalizado en 5 de las 7 estaciones que midieron sus valores máximos para este contaminante en el periodo. El CO es un contaminante emitido principalmente por fuentes móviles.

Tabla 3-15. Resumen de datos de CO por estación en el tercer trimestre de 2013. Base de 8 horas.

Estación	% de datos válidos	Máximo (ppm)	Máximo (mg/m ³)	Número de excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	95%	2,2	2,6	0	04/09/2013 03:00
Parque Simón Bolívar	93%	2,9	3,3	0	04/09/2013 03:00
Fontibón	97%	1,1	1,3	0	04/09/2013 01:00
Puente Aranda	97%	2,9	3,3	0	04/09/2013 02:00
Kennedy	100%	2,0	2,2	0	03/09/2013 10:00
Carvajal	89%	3,1	3,6	0	10/08/2013 05:00
Tunal	35%	3,1	3,5	0	04/09/2013 13:00

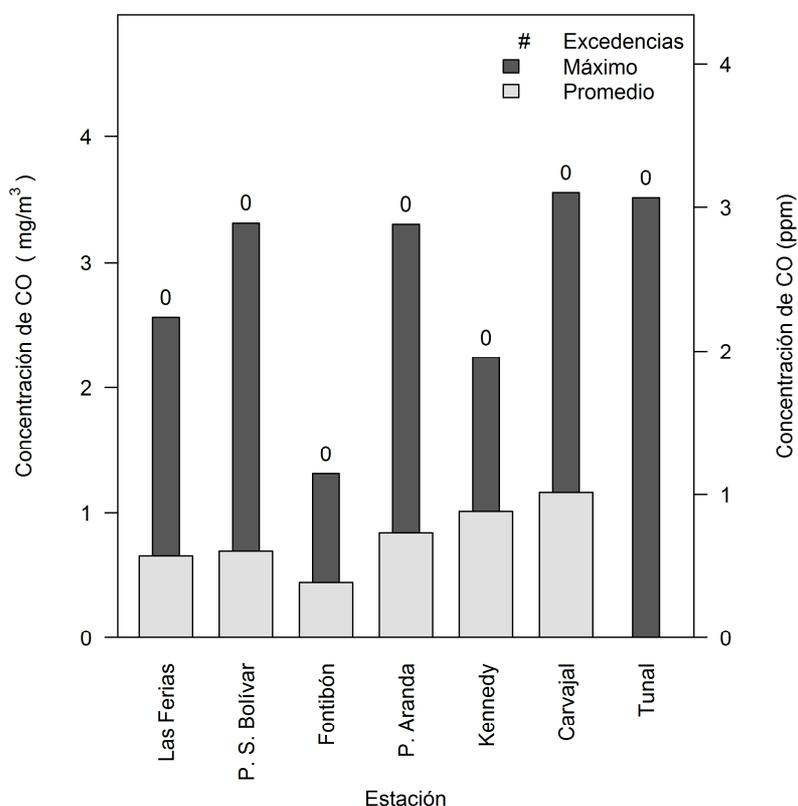


Figura 3-34. Concentración máxima de CO y número de excedencias para 8 horas por estación para el tercer trimestre de 2013.

Análisis de tendencias históricas

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

La Figura 3-35 muestra las tendencias históricas de la concentración de monóxido de carbono en los terceros trimestres entre 2009 y 2013 en función de los días de la semana. Aunque no hay diferencias significativas entre todos los días de la semana, se observa que el domingo registra generalmente los menores niveles de concentración y de dispersión de datos lo cual se atribuye a un cambio sustancial de actividad en comparación con los demás días de la semana. Este día es seguido por el lunes, el cual posiblemente está influenciado por la capa residual del día anterior. El tercer trimestre de 2009 tiene mayor dispersión de datos y el mismo periodo de 2010 las mayores concentraciones. En comparación con el tercer trimestre de 2012, todos los días de la semana del mismo periodo de 2013 redujeron sus concentraciones evidenciando una mejora de la calidad del aire de la ciudad. La cantidad de datos atípicos es similar entre lunes y sábado. El domingo registra una cantidad considerablemente menor. A pesar de que este día registra las concentraciones más bajas, la diferencia con los demás no es tan alta si se tienen en cuenta los límites normativos (40 mg/m^3 horario y 10 mg/m^3 en ocho horas de acuerdo a la Resolución 610 de 2010).

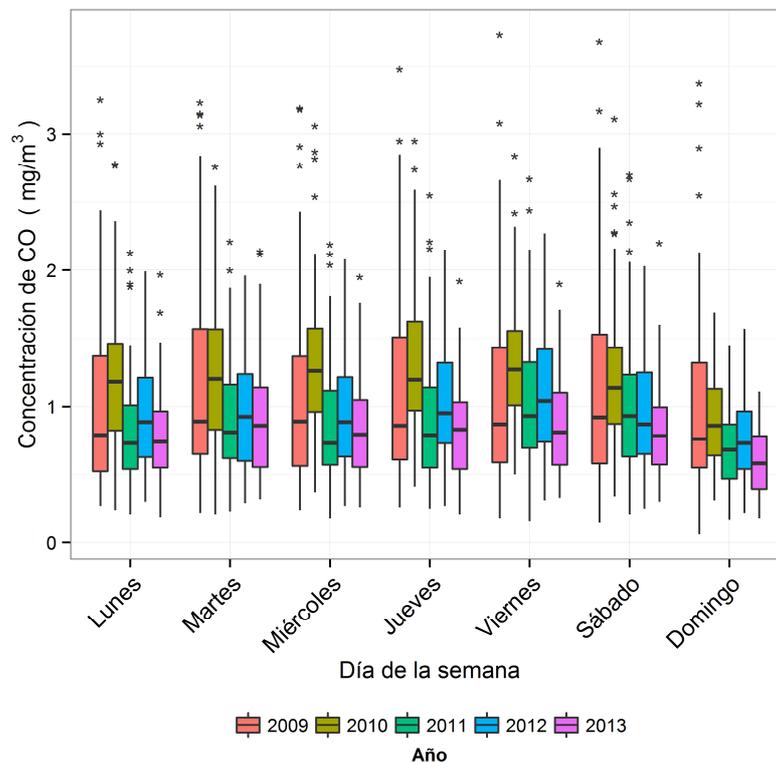


Figura 3-35. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por días de la semana para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

La Figura 3-36 representa la tendencia de la concentración de CO en función de los meses de julio, agosto y septiembre entre 2009 y 2013 en base diaria. La diferencia entre los meses no es notable a pesar de que se conoce que hay mayores velocidades del viento en julio. En función de los años y de forma concordante con la Figura 3-35, los terceros trimestres de los años 2009 y 2010 registran las mayores concentraciones. Con respecto al tercer trimestre de 2012, en el mismo periodo de 2013 se presentó una

reducción de las concentraciones de este contaminante. El 21 de agosto de 2009 en la estación Kennedy se presentó la concentración más alta de este contaminante con 3,7 mg/m³ (3,2 ppm).

En la Figura 3-37 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO en los terceros trimestres entre 2009 y 2013 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. La base de tiempo es 24 horas al igual que las dos figuras anteriores. Los mayores niveles de concentración se observan en Carvajal en todos los años estudiados, un hecho que es concordante con las características de los alrededores de la estación (zona industrial y en las inmediaciones de la Autopista Sur y La Avenida Boyacá). Desde el año 2010 esta estación ha reducido sus concentraciones promedio de forma progresiva. San Cristóbal, Fontibón y Usaquén registran las menores concentraciones del periodo. Con excepción de Parque Simón Bolívar, que mantuvo su concentración constante, todas las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante durante el periodo de análisis redujeron sus niveles de concentración en relación al tercer trimestre de 2012.

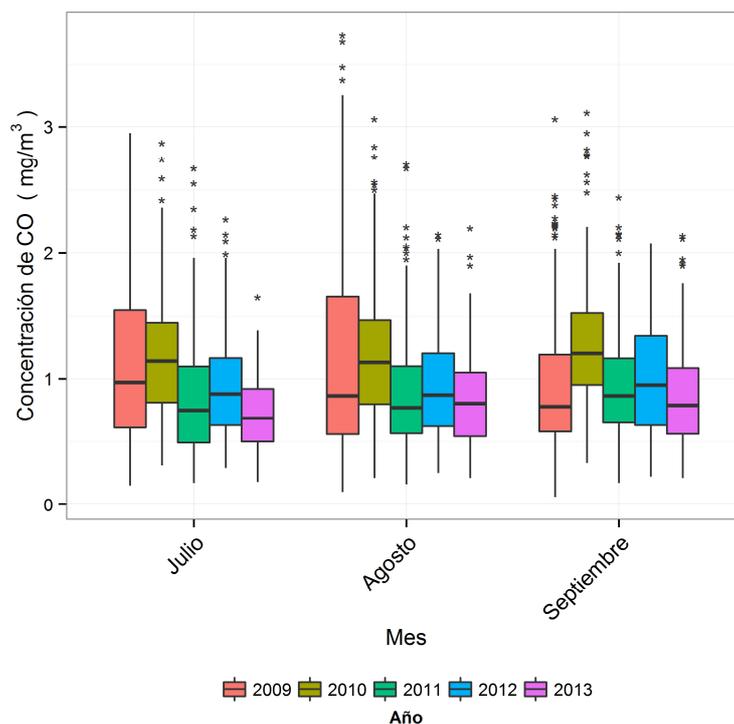


Figura 3-36. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por meses entre 2009 y 2013.

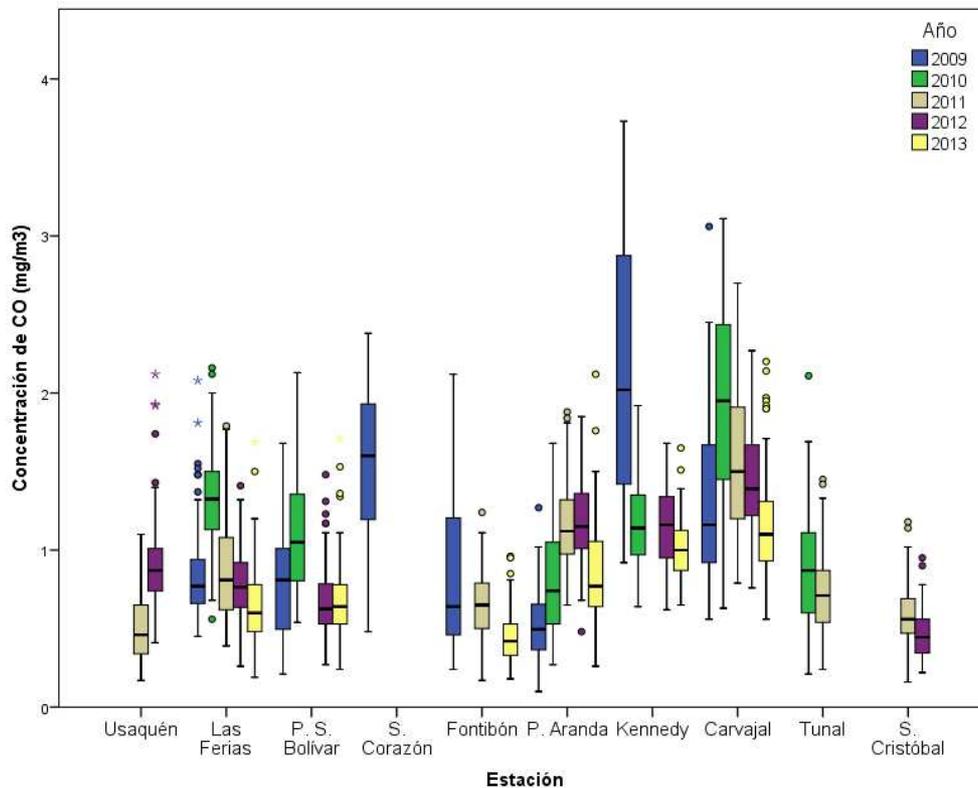


Figura 3-37. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por estaciones para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

En cuanto a variabilidad se destaca el tercer trimestre de 2009 en Kennedy cuyos datos presentaron una dispersión elevada así como altas concentraciones. Este diagrama de caja contrasta en un alto grado con los correspondientes a los siguientes trimestres de la misma estación.

La Figura 3-38 muestra el comportamiento generalizado histórico de las concentraciones de monóxido de carbono en los trimestres entre 2009 y 2013 en base diaria. Se observa la alta dispersión del tercer trimestre de 2009 y la similitud entre los niveles de concentración en los periodos de los años 2011 – 2013. Con respecto al tercer trimestre de 2012, el mismo periodo de 2013 redujo levemente sus niveles de concentración. Es importante destacar que el valor de las concentraciones máximas estuvo reduciéndose de forma progresiva a través de los periodos entre 2009 y 2012, como lo evidencia la Tabla 3-16. En resumen, el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM_{10} y el O_3 . Sus concentraciones promedio no exceden en ningún caso ni siquiera la mitad de la normatividad vigente en Colombia.

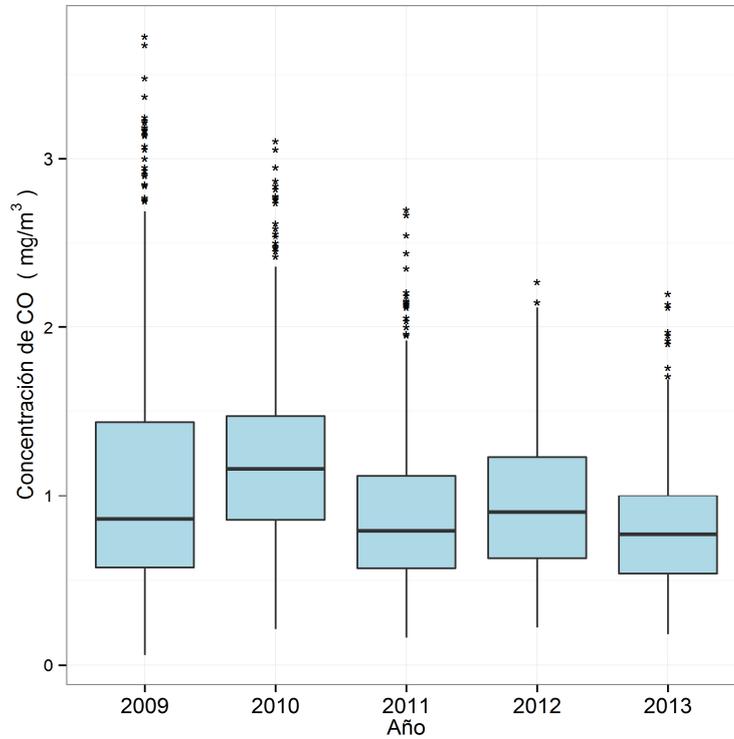


Figura 3-38. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Tabla 3-16. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios horarios para los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Máximo		Mínimo	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
2009	7,3	8,3	0,0	0,0
2010	7,1	8,1	0,0	0,0
2011	5,2	5,9	0,0	0,0
2012	4,8	5,5	0,0	0,1
2013	6,2	7,1	0,0	0,0

3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO₂.

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

Comportamiento de SO₂. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 14709 (catorce mil setecientos nueve) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 74% de los posibles en el tercer trimestre de 2013. En la Tabla 3-17 se muestra un resumen estadístico de los datos por estación, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-39 se visualizan las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma. También se puede observar los promedios cuyo propósito únicamente es indicativo para comparación mutua de las estaciones.

El valor límite permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m³) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. De acuerdo a la Tabla 3-17 la concentración más alta de SO₂ en el tercer trimestre de 2013 fue 173 µg/m³ en la estación Carvajal el 8 de agosto de 2013. La estación Suba, sigue a Carvajal con un máximo de 92 µg/m³ el mismo día.

El día jueves 8 de agosto de 2013, entre 07:00 a.m. y 11:00 a.m., la concentración de SO₂ a nivel ciudad fue relativamente alta. Este momento es seguido por el 29 de septiembre de 2013 entre las 07:00 p.m. y 09:00 p.m., día en que se registra la concentración máxima de la estación Carvajal.

Tabla 3-17. Resumen de datos de SO₂ en base de 3 horas por estación para el tercer trimestre de 2013.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m ³]	Máximo [ppb]	Excedencias	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	80%	92	35	0	08/08/2013 09:00
Las Ferias	52%	16	6	0	08/08/2013 10:00
Parque Simón Bolívar	49%	20	7	0	03/07/2013 01:00
Fontibón	59%	17	7	0	07/09/2013 03:00
Puente Aranda	100%	37	14	0	19/07/2013 20:00
Kennedy	78%	55	21	0	08/08/2013 09:00
Carvajal	98%	173	66	0	29/09/2013 21:00
Tunal	64%	19	7	0	14/07/2013 07:00
San Cristóbal	88%	13	5	0	08/08/2013 11:00

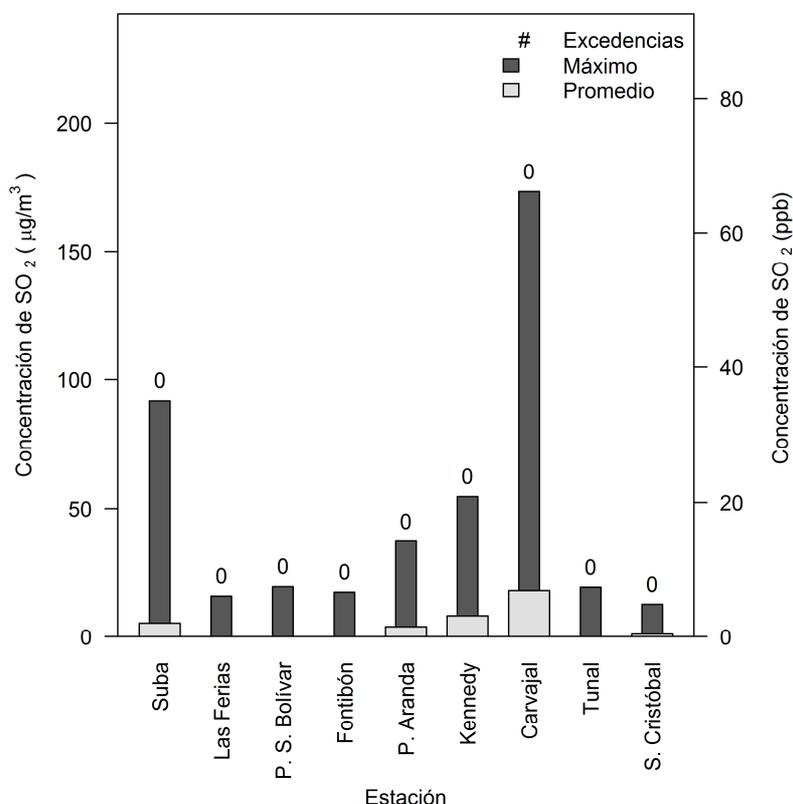


Figura 3-39. Máximos y número de excedencias de SO₂ en base de 3 horas por estación durante el tercer trimestre de 2013.

Comportamiento diario de la concentración de SO₂

Se analizaron 598 valores diarios cuya representatividad temporal es del 72%. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m³) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m³). 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 PM₁₀ y ozono.

En la Figura 3-40 y la Tabla 3-18 se muestra un resumen de las concentraciones máximas de SO₂ en base diaria. Carvajal registró la concentración diaria más alta del periodo con 43 µg/m³ o 17 ppb. De forma similar al caso de análisis de promedios móviles de 3 horas, el 8 de agosto de 2014 se presentó un episodio generalizado de alta concentración de SO₂ en el cual Suba, Las Ferias, Kennedy y San Cristóbal registraron sus concentraciones máximas del trimestre.

Aunque es posible el análisis de episodios de alta concentración en todas las estaciones de la RMCAB que midieron este contaminante, es importante mencionar que cuatro de

ellas presentaron un porcentaje de representatividad inferior a 75% y, por tanto, no es posible el cálculo de promedios en el periodo para Las Ferias, Parque Simón Bolívar, Fontibón y Tunal. Los valores promedio y máximo de Carvajal son notablemente mayores que sus equivalentes registrados en las demás estaciones. La zona donde se ubica Carvajal se caracteriza por su fuerte actividad industrial y circulación de vehículos de tráfico pesado. Por este motivo, los niveles son comparativamente más altos.

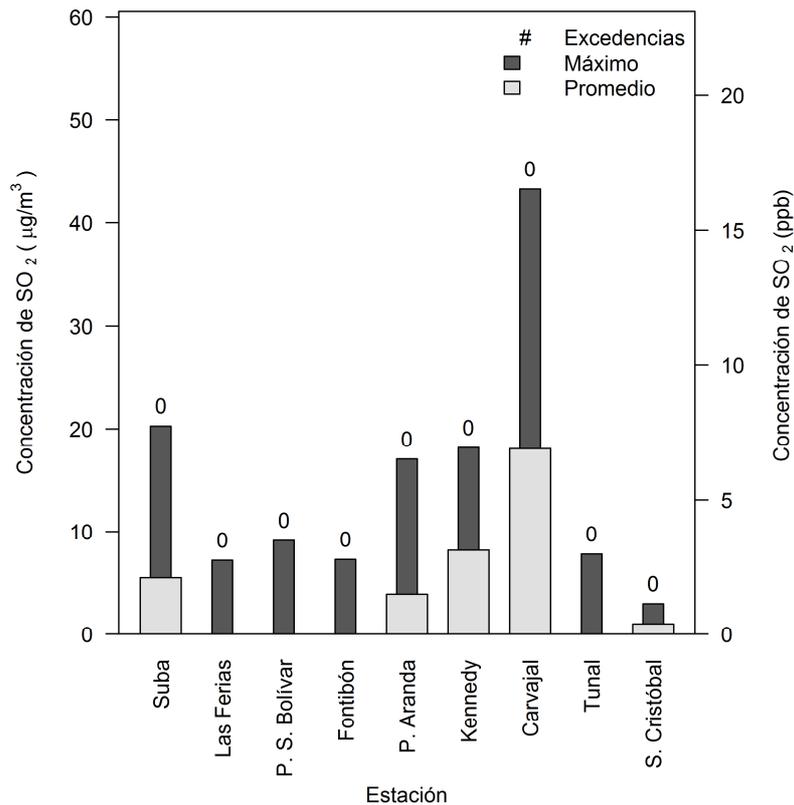


Figura 3-40. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO₂ en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Tabla 3-18. Resumen de datos en base diaria de SO₂ por estación para el tercer trimestre de 2013. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m ³]	Máximo [ppb]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Promedio (µg/m ³)	Promedio (ppb)
Suba	76%	20	8	08/08/2013	6	2,1
Las Ferias	45%	7	3	08/08/2013	3	N.R.
Parque Simón Bolívar	49%	9	3	02/07/2013	5	N.R.
Fontibón	55%	7	3	29/09/2013	4	N.R.
Puente Aranda	100%	17	7	19/07/2013	4	1,5
Kennedy	78%	18	7	08/08/2013	8	3,1
Carvajal	100%	43	17	18/07/2013	18	6,9
Tunal	62%	8	3	24/08/2013	3	N.R.
San Cristóbal	85%	3	1	08/08/2013	1	0,4

N.R.: no representativo.

Comportamiento histórico de promedios de SO₂. Base de tiempo diaria.

La Figura 3-41 es un gráfico *boxplot* que muestra las tendencias históricas de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana. Dada la presencia de datos atípicos, especialmente en el tercer trimestre de 2009, no es clara la diferenciación entre los diferentes periodos porque este trimestre no solo registra concentraciones altas sino que su dispersión es relativamente mayor. En comparación con el año 2012, la distribución de datos en el mismo periodo de 2013 cubre un rango más amplio sugiriendo cambios en términos meteorológicos o en actividades desarrolladas dentro de Bogotá o sus alrededores. Teniendo en cuenta que el límite normativo de este contaminante es 250 µg/m³, se observa que este contaminante no representa un riesgo para la afectación de la salud pública.

El año 2009 registra, con una diferencia notable, los mayores niveles de concentración y dispersión en comparación con los 4 periodos siguientes, lo cual puede ser atribuible a la mejora en la calidad del combustible diésel en relación a su contenido de azufre (ver sitio del Observatorio Ambiental de Bogotá <http://www.oab.ambientebogota.gov.co>).

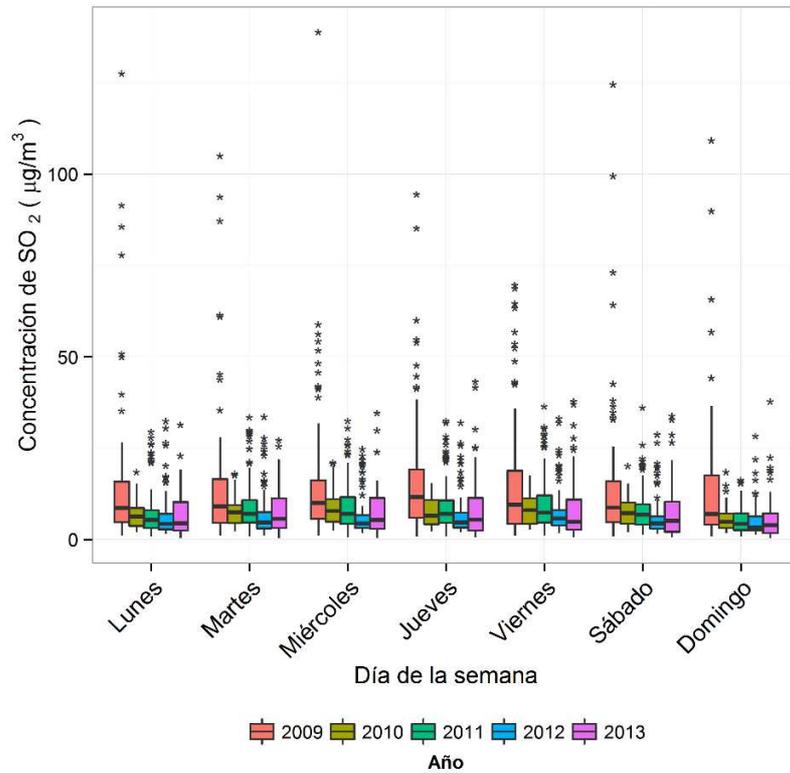


Figura 3-41. Gráfico de *boxplot* para SO₂ por días de la semana (base diaria) comparando el tercer trimestre de 2013 con años anteriores.

El comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los meses del año se observa en la Figura 3-42. Agosto de 2009 registró la mayor cantidad de datos atípicos del periodo. Los meses de los trimestres de los años 2011 y 2012 son similares en dispersión y magnitud. Nuevamente se observa que el periodo de 2013 aumentó su dispersión.

La diferencia entre los tres meses estudiados en su conjunto no es notoria ya que no se observan cambios en cuanto a la magnitud o dispersión. Sin embargo, cuando se realiza la comparación con otros meses del año se observa que tanto el primer trimestre como el cuarto tienen valores más elevados de este contaminante lo que se asocia al comportamiento meteorológico de la ciudad durante el año. La máxima concentración registrada durante los 5 trimestres analizados fue 139 µg/m³ en Carvajal el 5 de agosto de 2009.

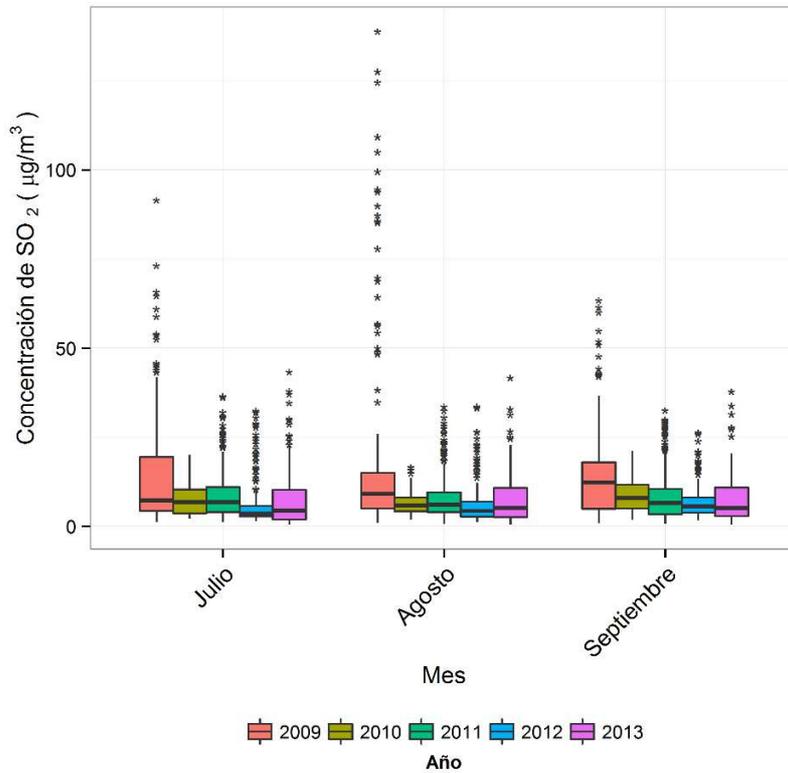


Figura 3-42. Gráfico de *boxplot* para SO₂ en base diaria, por meses, en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

La Figura 3-43 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO₂ en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente y que cumplen el criterio de representatividad temporal anual de 75%. Notablemente la estación Carvajal registró las mayores concentraciones de SO₂ en el tercer trimestre de 2009 así como la mayor dispersión. El comportamiento de esta estación en dicho periodo es la razón por la que se observan diferencias en la Figura 3-41 y en la Figura 3-42. Los trimestres de los años 2011, 2012 y 2013 evidencian un descenso abrupto de sus niveles de contaminación. Descensos progresivos se observan en Las Ferias, Fontibón, Puente Aranda y Tunal lo cual puede asociarse a la reducción del contenido de azufre en el combustible diésel.

La Figura 3-44 es un gráfico *boxplot* que describe la tendencia histórica general de las concentraciones diarias de SO₂ en los terceros trimestres entre 2009 y 2013 y la Tabla 3-19 es el resumen estadístico descriptivo correspondiente de máximos y mínimos. Entre los periodos de 2009 y 2012 los niveles de concentración se redujeron progresivamente. Sin embargo, se presentó un aumento leve en el trimestre de 2013 así como de la dispersión de los datos. La cantidad de datos atípicos tiende a mantenerse constante con respecto a 2012. La diferencia notable de 2009 se observa nuevamente así como su gran cantidad de valores atípicos.

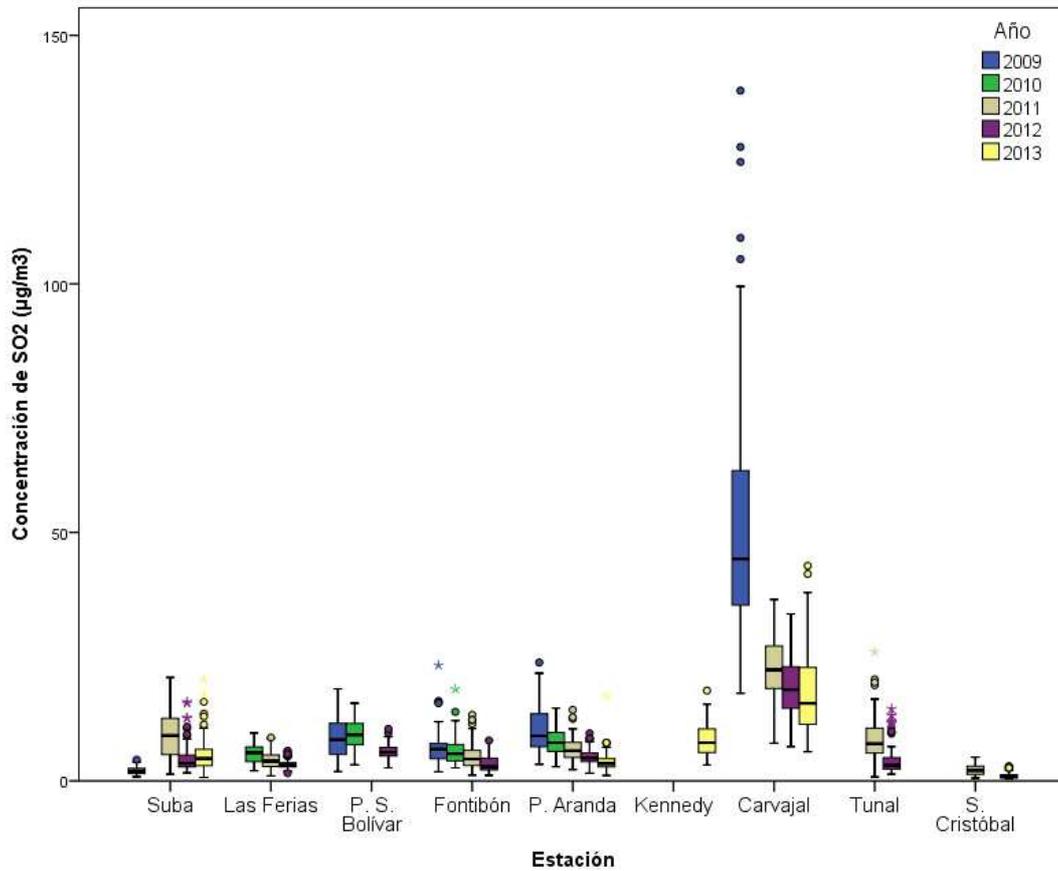


Figura 3-43. Gráfico de *boxplot* para SO₂ diario por estaciones en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

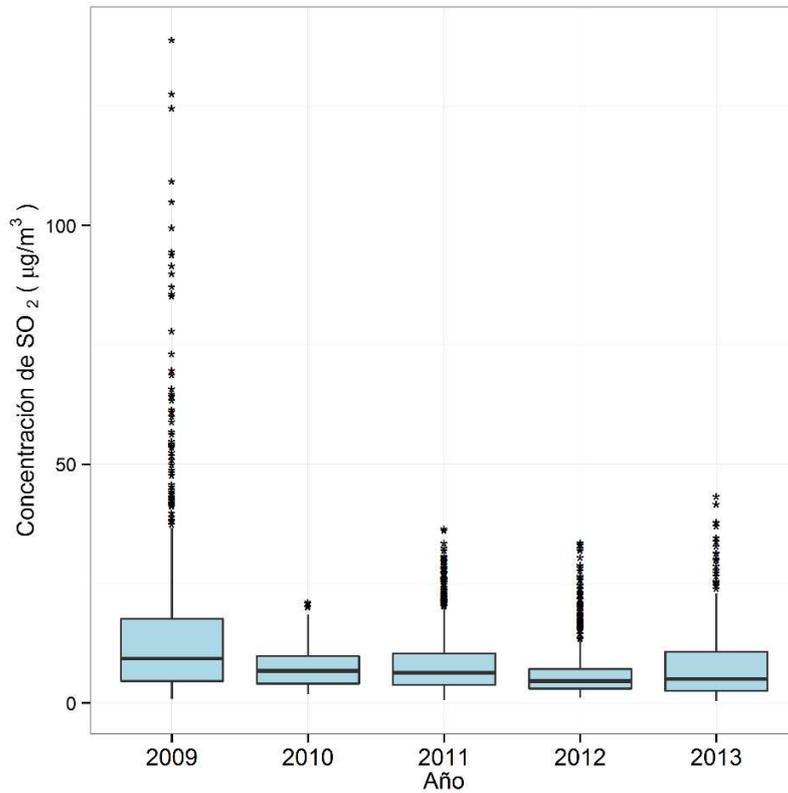


Figura 3-44. Gráfico de *boxplot* para SO₂ diario en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Tabla 3-19. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO₂ en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2009 y 2013.

Año	Máximo		Mínimo	
	ppb	µg/m ³	ppb	µg/m ³
2009	53	139	0	1
2010	18	47	1	2
2011	14	36	0	1
2012	13	34	0	1
2013	17	43	0	0

3.3. Índices de calidad del aire

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

La metodología de cálculo se basa en la definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (*U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013*), donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-20.

Tabla 3-20. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

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

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

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

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

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

3.3.1. Índice de calidad del aire para PM₁₀.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM₁₀ puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-45 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM₁₀ en función de la estación de monitoreo. La categoría “Buena” tiende a predominar para la mayoría de las estaciones, especialmente para Usaquén, Las Ferias, Parque Simón Bolívar y San Cristóbal. 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.

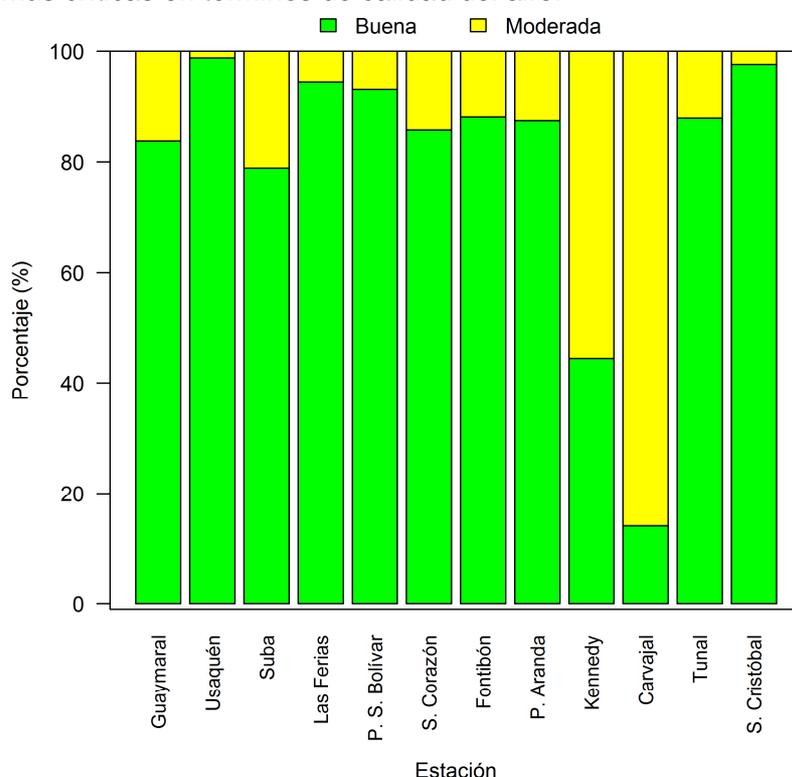


Figura 3-45. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el tercer trimestre de 2013.

La Figura 3-46 muestra una discriminación del ICA en función de los meses de julio, agosto y septiembre. Se observa un descenso progresivo de la calidad del aire con el transcurrir del trimestre al aumentar la participación de la categoría “moderada”. Este comportamiento está posiblemente asociado a las tendencias de las velocidades del viento ya que se conoce que históricamente aumentan a mitad de año dando lugar a una mayor ventilación y consecuentemente a una reducción de los niveles de concentración.

La Figura 3-47 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Todos los días registran las categorías de “Buena” y “Moderada”. Sin embargo, los días domingo y lunes tienen una mejor calidad del aire en lo referente a este contaminante. Este

comportamiento está asociado a la reducción de actividades en los domingos y la influencia de la capa residual del día anterior en los días lunes.

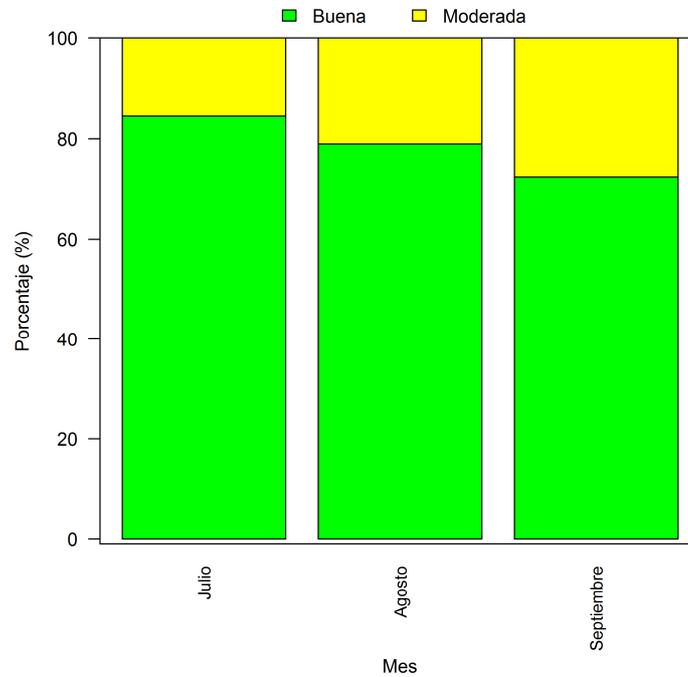


Figura 3-46. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de julio, agosto y septiembre de 2013.

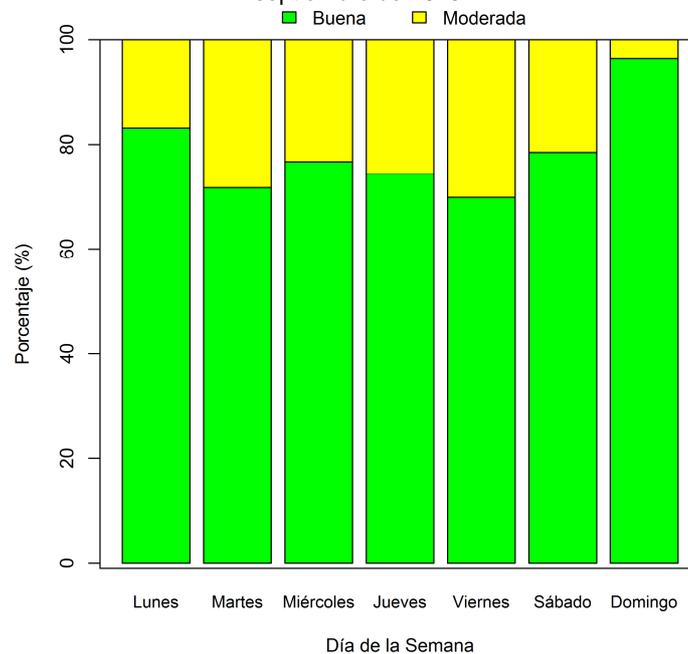


Figura 3-47. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana durante el tercer trimestre de 2013.

La Figura 3-48 clasifica las estaciones de acuerdo al valor del Índice de Calidad del Aire de este contaminante. Concordante con la discusión anterior, Kennedy y Carvajal (ubicadas en el suroccidente) registran los valores más altos y son las únicas estaciones que son clasificadas en la categoría “Moderada”: Estas estaciones son seguidas en valor por Suba, Guaymaral y Fontibón.

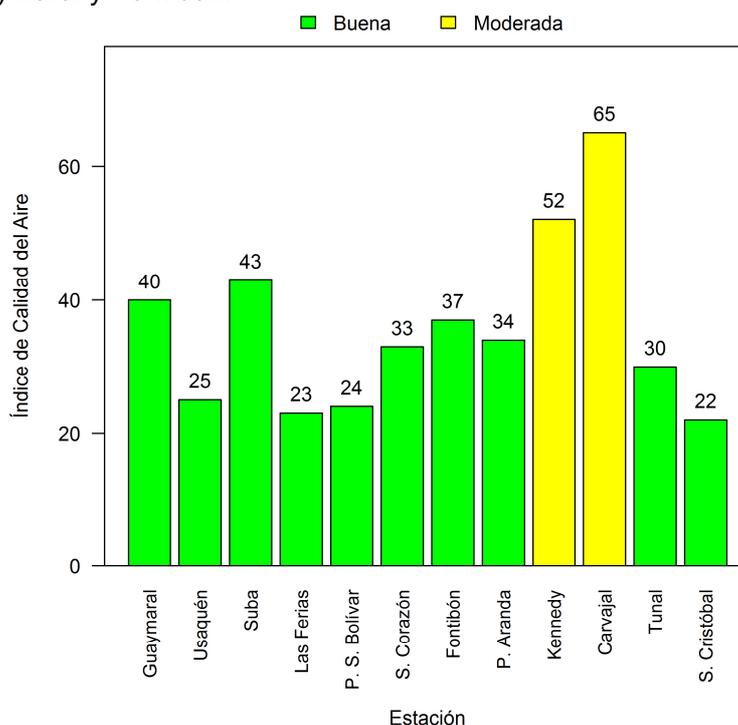


Figura 3-48. Índice de Calidad del Aire promedio de PM_{10} para las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013.

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

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. El índice de calidad del aire para este contaminante se presentará para la estación Kennedy al ser la única que lo monitoreó en el tercer trimestre de 2013.

La Figura 3-49 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante en la estación Kennedy con base en promedios diarios. El $PM_{2.5}$ es el único contaminante criterio de la RMCAB cuyas concentraciones en ciertas ocasiones contemplan la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” para este periodo representando efectos adversos en la salud para personas con afecciones cardiacas o respiratorias, adultos mayores y niños. Es importante considerar que el comportamiento de esta estación no puede generalizarse como el de la ciudad ya que el suroccidente es una zona especialmente afectada por altas concentraciones de material particulado, como lo evidencia el análisis de PM_{10} .

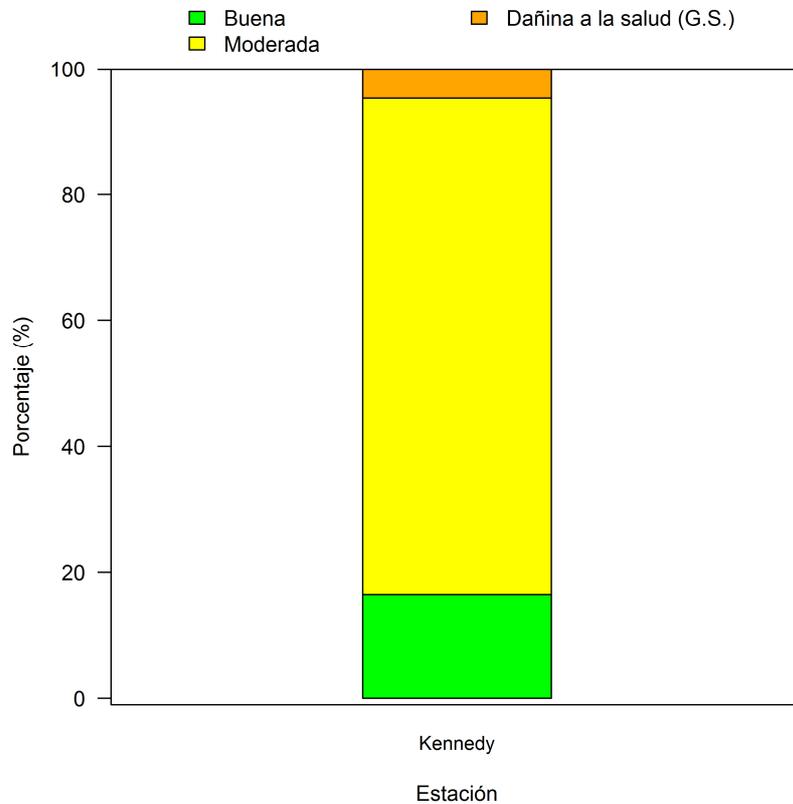


Figura 3-49. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por estación para el tercer trimestre de 2013.

La Figura 3-50 corresponde a la disagregación del Índice de Calidad del Aire en función de los meses. Como se evidenció para el PM₁₀, la calidad del aire es mejor en julio y esta se afecta con el transcurrir del trimestre posiblemente por influencia de la meteorología. Todos los tres meses registran las categorías “Buena”, “Moderada” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-50 muestra que con diferencia la mejor calidad del aire se observa los domingos mientras que la categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” únicamente aparece los jueves y los viernes.

En términos numéricos, la estación registra un índice de 64, que se enmarca en la categoría “Moderada” como lo muestra la Figura 3-52.

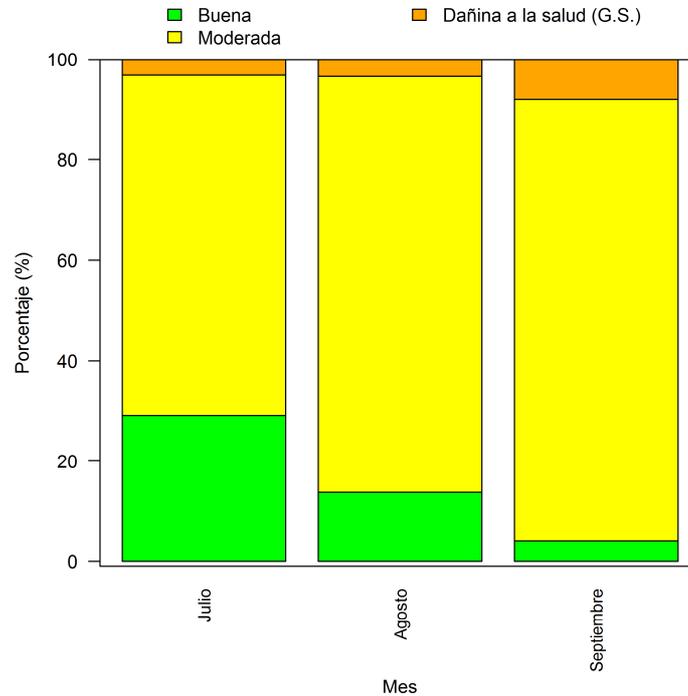


Figura 3-50. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por mes para el tercer trimestre de 2013.

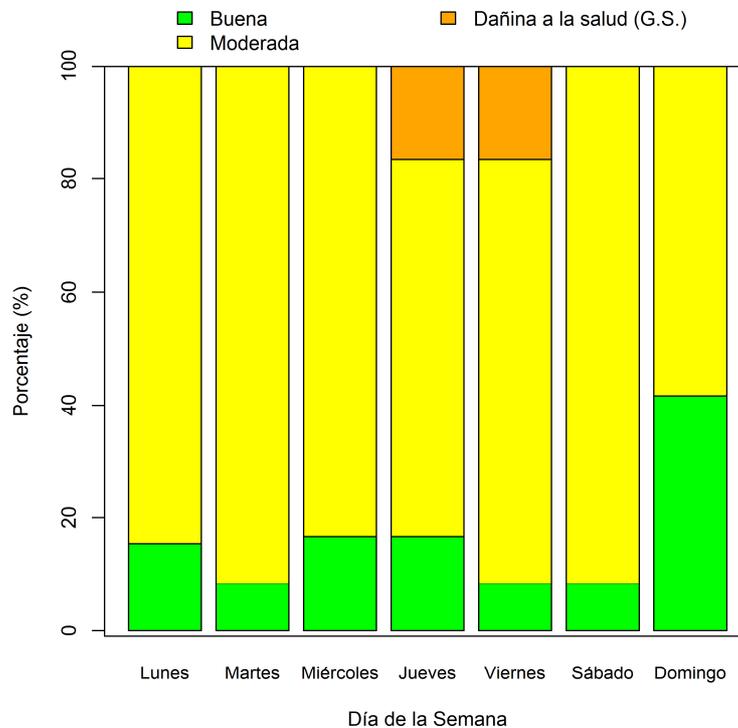


Figura 3-51 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{2.5} por día de la semana para el tercer trimestre de 2013.

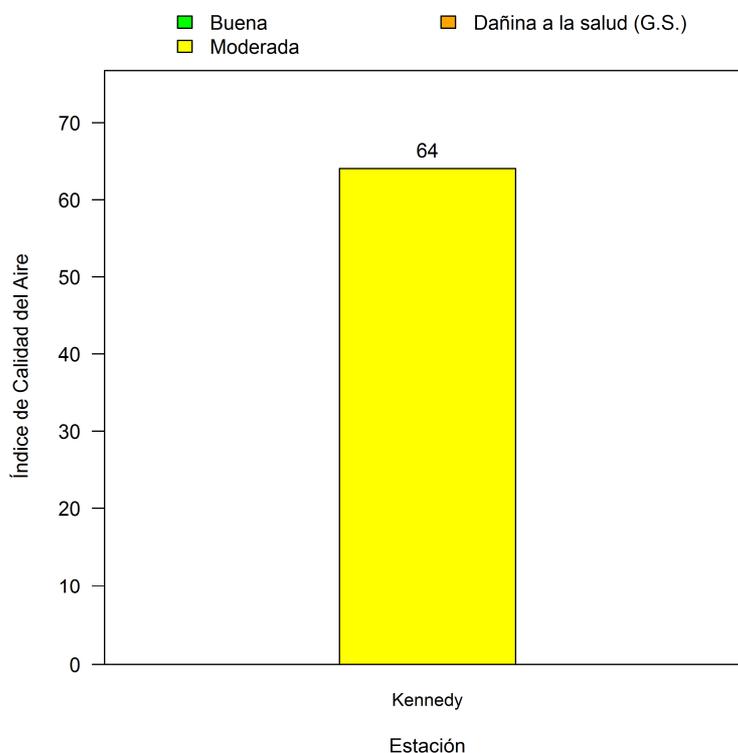


Figura 3-52. Índice de calidad del aire (ICA) para $PM_{2.5}$ durante el tercer trimestre de 2013.

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 promedio del índice fue 16 y corresponde a ozono en la estación Usaquén. 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 $PM_{2.5}$.

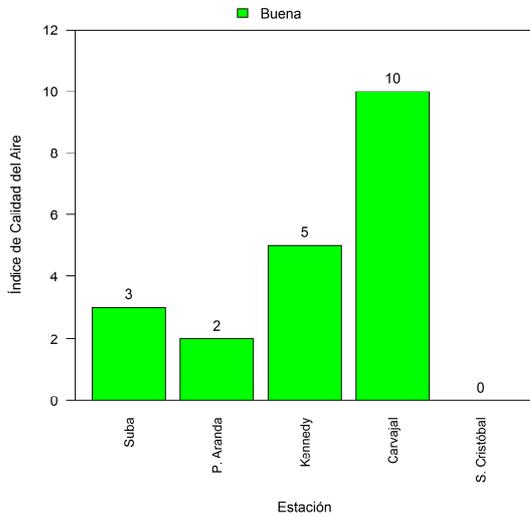


Figura 3-53. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base diaria.

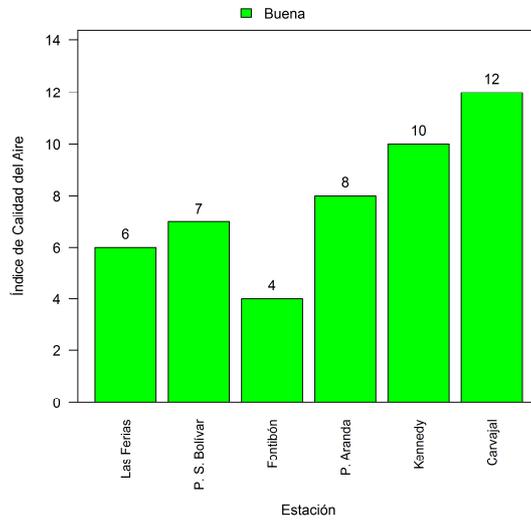


Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

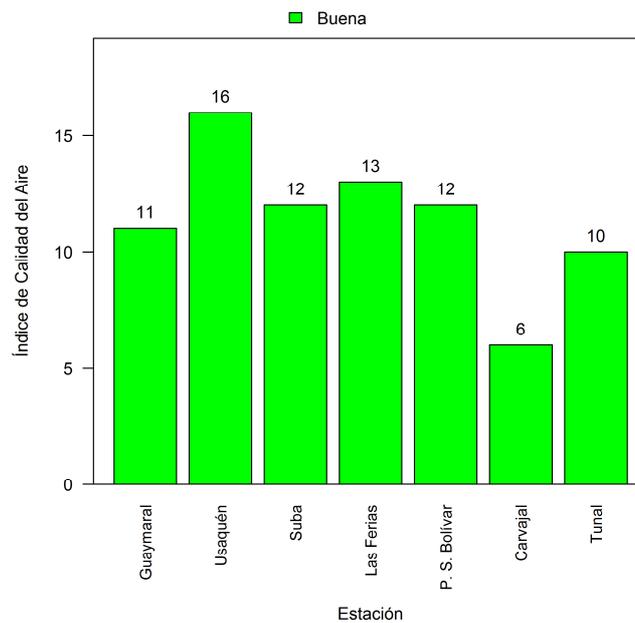


Figura 3-55. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O₃). Base de 8 horas.

3.4. Síntesis de resultados

Se presenta una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para el caso de PM_{10} se presenta en la Tabla 3-21 el comportamiento de los promedios de 24 horas para el tercer trimestre de 2013, en donde se puede ver 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.

Una síntesis similar a la descrita anteriormente, se realiza para los promedios diarios de $PM_{2.5}$ en la Tabla 3-22 y para PST en la Tabla 3-23. La síntesis de resultados para los gases contaminantes SO_2 , NO_2 , CO y O_3 se presenta de la Tabla 3-24 a la Tabla 3-31.

Tabla 3-21. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀), tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM ₁₀ [Norma: 100 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	86	93%	2	2%	13	4	112	1,1
	Usaquén	80	87%	0	0%	4	0	62	0,6
	Subtotal	166	90%	2	1%	17	4	112	1,1
Noroccidente	Suba	71	77%	0	0%	24	2	89	0,9
	Las Ferias	90	98%	0	0%	5	1	80	0,8
	Subtotal	161	88%	0	0%	29	3	89	0,9
Centro	Parque Simón Bolívar	73	79%	0	0%	7	0	74	0,7
	Sagrado Corazón	91	99%	0	0%	11	3	93	0,9
	Subtotal	164	89%	0	0%	18	3	93	0,9
Suroccidente	Fontibón	92	100%	0	0%	15	4	90	0,9
	Puente Aranda	87	95%	0	0%	10	5	91	0,9
	Kennedy	90	98%	5	6%	40	14	132	1,3
	Carvajal	92	100%	23	25%	17	42	139	1,4
	Subtotal	361	98%	28	8%	82	65	139	1,4
Sur	Tunal	74	80%	0	0%	6	3	94	0,9
	San Cristóbal	83	90%	0	0%	6	0	65	0,7
	Subtotal	157	85%	0	0%	12	3	94	0,9

Tabla 3-22. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}), tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PM _{2.5} [Norma diaria: 50 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Suroccidente	Kennedy	85	92%	0	0%	17	4	50	1,0

Tabla 3-23. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/ Norma
Suroccidente	Carvajal	57	62%	0	0%	10	0	207	0,7

Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de SO₂ para 3 horas, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO ₂ [Norma: 750 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Promedio Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	1770	80	0	0%	0	0	92	0,1
	Las Ferias	1141	52	0	0%	0	0	16	0,0
	Subtotal	2911	66%	0	0%	0	0	92	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	1074	49	0	0%	0	0	20	0,0
	Subtotal	1074	49%	0	0%	0	0	20	0,0
Suroccidente	Fontibón	1302	59	0	0%	0	0	17	0,0
	Puente Aranda	2204	100	0	0%	0	0	37	0,1
	Kennedy	1717	78	0	0%	0	0	55	0,1
	Carvajal	2153	98	0	0%	0	0	173	0,2
	Subtotal	7376	84%	0	0%	0	0	173	0,2
Sur	Tunal	1415	64	0	0%	0	0	19	0,0
	San Cristóbal	1933	88	0	0%	0	0	13	0,0
	Subtotal	3348	76%	0	0%	0	0	19	0,0

Tabla 3-25. Consolidado de los promedios de SO₂ para 24 horas, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de SO ₂ [Norma diaria: 250 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	70	76%	0	0%	0	0	20	0,1
	Las Ferias	41	45%	0	0%	0	0	7	0,0
	Subtotal	111	60%	0	0%	0	0	20	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	45	49%	0	0%	0	0	9	0,0
	Subtotal	45	49%	0	0%	0	0	9	0,0
Suroccidente	Fontibón	51	55%	0	0%	0	0	7	0,0
	Puente Aranda	92	100%	0	0%	0	0	17	0,1
	Kennedy	72	78%	0	0%	0	0	18	0,1
	Carvajal	92	100%	0	0%	0	0	43	0,2
	Subtotal	307	83%	0	0%	0	0	43	0,2
Sur	Tunal	57	62%	0	0%	0	0	8	0,0
	San Cristóbal	78	85%	0	0%	0	0	3	0,0
	Subtotal	135	73%	0	0%	0	0	8	0,0

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios horarios de NO₂, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de NO ₂ [Norma: 200 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	376	17%	0	0%	0	0	58	0,3
	Subtotal	376	17%	0	0%	0	0	58	0,3
Noroccidente	Suba	1410	64%	0	0%	0	0	92	0,5
	Subtotal	1410	64%	0	0%	0	0	92	0,5
Centro	Parque Simón Bolívar	2006	91%	0	0%	0	0	59	0,3
	Subtotal	2006	91%	0	0%	0	0	59	0,3
Suroccidente	Puente Aranda	2016	91%	0	0%	9	0	145	0,7
	Kennedy	2184	99%	0	0%	0	0	86	0,4
	Subtotal	4200	95%	0	0%	9	0	145	0,7
Sur	Tunal	1875	85%	0	0%	9	1	157	0,8
	Subtotal	1875	85%	0	0%	9	1	157	0,8

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios de NO₂, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios diarios de concentración de NO ₂ [Norma: 150 µg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	15	16%	0	0%	0	0	27	0,2
	Subtotal	15	16%	0	0%	0	0	27	0,2
Noroccidente	Suba	57	62%	0	0%	0	0	45	0,3
	Subtotal	57	62%	0	0%	0	0	45	0,3
Centro	Parque Simón Bolívar	81	88%	0	0%	0	0	31	0,2
	Subtotal	81	88%	0	0%	0	0	31	0,2
Suroccidente	Puente Aranda	87	95%	0	0%	0	0	70	0,5
	Kennedy	92	100%	0	0%	0	0	43	0,3
	Subtotal	179	97%	0	0%	0	0	70	0,5
Sur	Tunal	75	82%	0	0%	0	0	56	0,4
	Subtotal	75	82%	0	0%	0	0	56	0,4

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios horarios de CO, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m ³ ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	2103	95%	0	0%	0	0	3,4	0,1
	Subtotal	2103	95%	0	0%	0	0	3,4	0,1
Centro	Parque Simón Bolívar	2078	94%	0	0%	0	0	4,9	0,1
	Subtotal	2078	94%	0	0%	0	0	4,9	0,1
Suroccidente	Fontibón	2157	98%	0	0%	0	0	2,8	0,1
	Puente Aranda	2140	97%	0	0%	0	0	4,9	0,1
	Kennedy	2204	100%	0	0%	0	0	5,4	0,1
	Carvajal	2027	92%	0	0%	0	0	5,1	0,1
	Subtotal	8528	97%	0	0%	0	0	5,4	0,1
Sur	Tunal	856	39%	0	0%	0	0	7,1	0,2
	Subtotal	856	39%	0	0%	0	0	7,1	0,2

Tabla 3-29. Consolidado de los promedios de CO para 8 horas, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m ³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	2107	95%	0	0%	0	0	2,6	0,3
	Subtotal	2107	95%	0	0%	0	0	2,6	0,3
Centro	Parque Simón Bolívar	2060	93%	0	0%	0	0	3,3	0,3
	Subtotal	2060	93%	0	0%	0	0	3,3	0,3
Suroccidente	Fontibón	2147	97%	0	0%	0	0	1,3	0,1
	Puente Aranda	2139	97%	0	0%	0	0	3,3	0,3
	Kennedy	2207	100%	0	0%	0	0	2,2	0,2
	Carvajal	1956	89%	0	0%	0	0	3,6	0,4
	Subtotal	8449	96%	0	0%	0	0	3,6	0,4
Sur	Tunal	763	35%	0	0%	0	0	3,5	0,4
	Subtotal	763	35%	0	0%	0	0	3,5	0,4

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de O₃, tercer 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. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2048	93%	0	0%	39	5	117	1,0
	Usaquén	1943	88%	0	0%	92	0	84	0,7
	Subtotal	3991	90%	0	0%	131	5	117	1,0
Noroccidente	Suba	1774	80%	0	0%	51	1	97	0,8
	Las Ferias	2015	91%	0	0%	98	1	102	0,9
	Subtotal	3789	86%	0	0%	149	2	102	0,9
Centro	Parque Simón Bolívar	1899	86%	0	0%	84	3	94	0,8
	Sagrado Corazón	1360	62%	0	0%	1	0	63	0,5
	Subtotal	3259	74%	0	0%	85	3	94	0,8
Suroccidente	Fontibón	1579	72%	0	0%	93	10	106	0,9
	Puente Aranda	1369	62%	0	0%	3	0	68	0,6
	Carvajal	2195	99%	0	0%	5	0	79	0,7
	Subtotal	5143	78%	0	0%	101	10	106	0,9
Sur	Tunal	2169	98%	0	0%	21	0	78	0,7
	San Cristóbal	1178	53%	0	0%	1	0	63	0,5
	Subtotal	3347	76%	0	0%	22	0	78	0,7

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios de O₃ para 8 horas, tercer trimestre de 2013.

Información de los promedios de 8 horas de concentración de O ₃ [Norma: 80 µg/m ³]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios anuales	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m ³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2040	92%	0	0,0%	283	17	74	0,9
	Usaquén	1936	88%	0	0,0%	680	41	77	1,0
	Subtotal	3976	90%	0	0,0%	963	58	77	1,0
Noroccidente	Suba	1755	80%	0	0,0%	277	15	71	0,9
	Las Ferias	1977	90%	0	0,0%	354	29	76	1,0
	Subtotal	3732	85%	0	0,0%	631	44	76	1,0
Centro	Parque Simón Bolívar	1875	85%	2	0,1%	362	26	82	1,0
	Sagrado Corazón	1328	60%	0	0,0%	9	0	44	0,6
	Subtotal	3203	73%	2	0,1%	371	26	82	1,0
Suroccidente	Fontibón	1583	72%	2	0,1%	225	44	84	1,1
	Puente Aranda	1364	62%	0	0,0%	20	0	50	0,6
	Carvajal	2194	99%	0	0,0%	11	0	48	0,6
	Subtotal	5141	78%	2	0,0%	256	44	84	1,1
Sur	Tunal	2175	99%	0	0,0%	128	8	69	0,9
	San Cristóbal	1185	54%	0	0,0%	41	0	50	0,6
	Subtotal	3360	76%	0	0,0%	169	8	69	0,9

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 tercer trimestre de 2013. La RMCAB a través de los sensores localizados en las estaciones presentadas en la Tabla 1-2, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, presión, radiación solar y humedad relativa.

Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo:

Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur). Durante el tercer trimestre 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 mínimo de -0,6 en JAS (julio agosto septiembre). Esto significa que durante el tercer trimestre de 2013 la lluvia y otras variables meteorológicas respondieron a la climatología y eventos de escala menor, con tendencia a valores promedio.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del Noreste y Sudeste, los cuales confluyen en la región tropical formando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, 2000). La Figura 4-1 presenta la precipitación horaria para cada uno de los 12 meses del año de la estación del aeropuerto EIDorado, en donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre – noviembre, donde además se observa que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde.

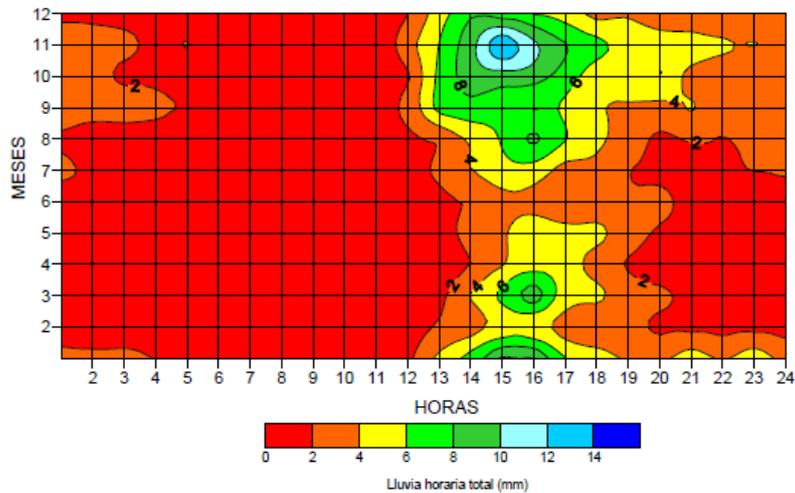


Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del Aeropuerto El Dorado en Bogotá. (IDEAM, 2013)

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

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

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

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

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el trimestre para la variable precipitación se presentan en la Tabla 4-2, en donde se observa el porcentaje de representatividad de datos capturados válidos durante los meses del trimestre.

Tabla 4-2. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el tercer trimestre de 2013.

FECHA & HORA	JUL	AGO	SEP	JAS
Guaymaral (Escuela)	0	57	98	51
Usaquén (Bosque)	100	73	92	88
Suba (Corpas)	95	82	79	85
Las Ferias (Carrefour)	100	95	100	98
Parque Simón Bolívar (IDRD)	100	97	100	99
Sagrado Corazón (MAVDT)	100	100	100	100
Fontibón	100	100	100	100
Puente Aranda	100	100	100	100
Kennedy	100	100	100	100
Carvajal (Sony)	99	100	100	100
Tunal	100	100	99	100
San Cristóbal	100	88	82	90
Bolivia	95	100	100	98

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual de cada uno de los meses históricos y lo corrido de 2013. Durante el trimestre se observó que agosto estuvo por encima del promedio 11,5 mm, mientras que septiembre registró 10,1 mm menos de lo promediado en los últimos años. Es importante resaltar que los promedios aquí presentados no representan una climatología de Bogotá; se hace a modo de comparación con lo presentado en los últimos años. La Figura 4-3 muestra que el acumulado de precipitación durante el trimestre presentó un valor de 103,5 mm tomado como promedio de las estaciones de la red, similar a varios años de la última década (durante algunos de estos años no se contaba con la cobertura actual de estaciones, de manera que se esquematiza a modo de análisis de tendencias y comportamientos). La Figura 4-4 presenta en el eje de las abscisas la hora, en el eje de las ordenadas el mes y los colores

corresponden al acumulado de lluvia horaria; se observa que los valores horarios no presentaron un acumulado significativo comparado con el primer trimestre.

Acumulado de precipitación

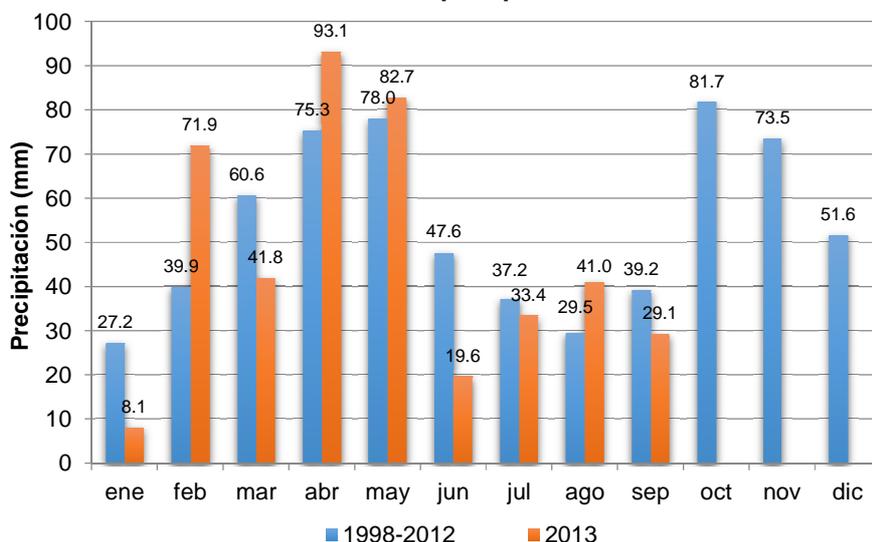


Figura 4-2. Acumulado promedio de precipitación de las estaciones activas de la RMCAB del periodo 1998-2012 comparada con el promedio hasta septiembre de 2013.

Acumulado de precipitación trimestral JAS

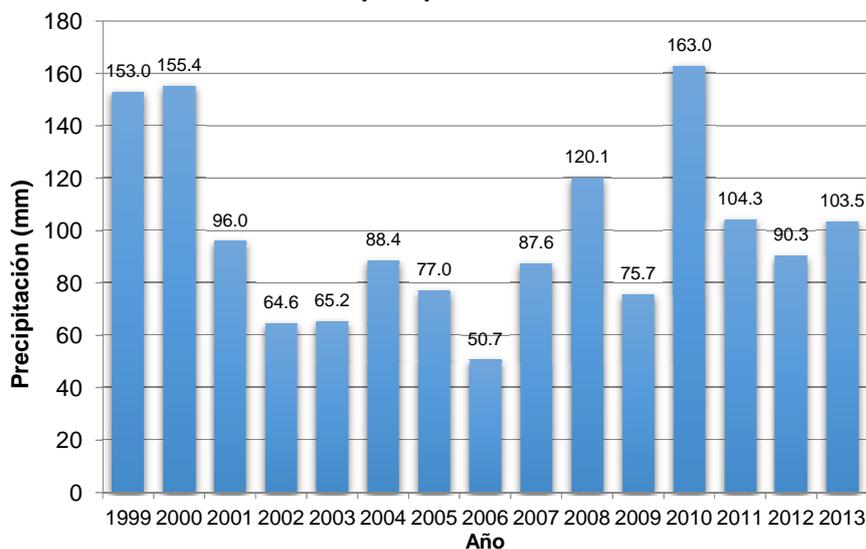


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCA en el tercer trimestre desde 1999 hasta 2013.

Los datos presentados en la Tabla 4-3 representan los acumulados (en mm) del tercer trimestre de cada estación de la red, hasta 2013.

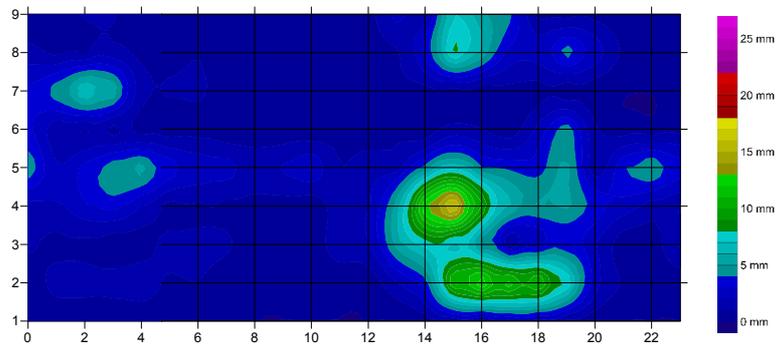


Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio de las estaciones en el tercer trimestre de 2013 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

Tabla 4-3. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB en los terceros trimestres desde 2000 hasta 2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral	107,8	119,7	35,9	96,2	59,8	58	54,6	64,8	104,9	50,0	187,3	153,9	148,6	
Usaquén					70	81,7		41,8	151,0	74,1	182,8	121,3	103,2	93,4
Suba	164,3	114,4	71,8		107	48,2	32,5	66,3	123,0	77,6	183,7	113,3	102,4	146,3
Las ferías	162,4	119	69,7		132,6	101	13,7	78,8	91,7	74,3	230,5	155,3	95,3	130,6
Simón Bolívar					115,1	115,1	51,6	102,4	110,4	72,6	235,4	140,7	69,5	100,1
Sagrado Corazón										75,1			119,7	109,5
Fontibón	170,8	80,8	27,6		95,2	22,4		104		43,9	84,3	61,2	29,6	53,8
Puente Aranda	133,2	88,8			71,6	105,8	41,0	71,8		47,0	117,6	89,6	77,0	65,2
Kennedy							38,9	92,8	92,5	35,1	88,5	2,2		97,4
Carvajal	145,2	78,4	7,5	63,0	72,1	37,5	32,6	84,7		88,4	146,9	77,9	85,4	102,5
Tunal							73,3	108,4	70,6	73,2	165,6	99,1	65,0	126,9
San Cristóbal										33,4		116,4	119,6	108,9

Dadas las condiciones particulares de las localidades de Bogotá tales como ubicación geográfica, características de los vientos entre otros, existen variaciones no solo en el acumulado de precipitaciones sino en el número de días en que llueve. La Tabla 4-4 presenta el número de días con lluvia para el trimestre JAS, el cual se define como valores superiores a 1,0 mm por día. Se observa que en la estación San Cristóbal llovió 38 días, seguido de Parque Simón Bolívar, ubicada en la localidad de Barrios Unidos con 33 días. Por otra parte, Usaquén registro 22 días, marcando una importante diferencia entre el número de días con lluvia entre el Norte y Sur de la ciudad. El promedio de precipitación por día se presenta en la Tabla 4-5, para el trimestre JAS.

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

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral	44	37	41	49	43	39	37	44	58	45	51	67	52	
Usaquén					34	34		31	53	34	43	38	43	21
Suba	57	45	38		41	25	29	38	52	37	50	35	40	24
Las ferias	55	36	34		46	43	17	42	47	27	56	42	43	24
Simón Bolívar					40	45	39	33	52	44	58	53	29	33
Sagrado Corazón										37			49	32
Fontibón	46	31	22		33	17		37		31	50	41	32	26
Puente Aranda	38	36			50	61	41	44		26	54	46	53	30
Kennedy							22	36	50	20	46	10		27
Carvajal	54	35	43	28	38	22	26	34		37	46	41	48	27
Tunal							37	37	36	43	45	40	43	30
San Cristóbal										31		50	54	38

Tabla 4-5. Promedio de lluvia diaria en las estaciones de la RMCAB desde 1998 hasta 2013, en mm/día.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral	2.5	3.2	0.9	2.0	1.4	1.5	1.5	1.5	1.8	1.1	3.7	2.3	2.9	
Usaquén					2.1	2.4		1.3	2.8	2.2	4.3	3.2	2.4	4.4
Suba	2.9	2.5	1.9		2.6	1.9	1.1	1.7	2.4	2.1	3.7	3.2	2.6	6.1
Las ferias	3.0	3.3	2.1		2.9	2.3	0.8	1.9	2.0	2.8	4.1	3.7	2.2	5.4
Simón Bolívar					2.9	2.6	1.3	3.1	2.1	1.7	4.1	2.7	2.4	3.0
Sagrado Corazón										2.0			2.4	3.4
Fontibón														
Puente Aranda	2.9	2.9			2.2	6.2		1.9		1.5	2.4	2.2	2.4	2.5
Kennedy							0.9	2.1		1.4	1.6	0.0		3.2
Carvajal							1.5	2.4		4.4	3.2	7.8		3.8
Tunal							2.8	3.2		2.0	3.6	2.4	1.4	4.7
San Cristóbal										0.8		2.9	2.8	3.6

Las precipitaciones más intensas en promedio, se presentaron en Suba seguido de las Ferias; las de menor intensidad se registraron en la localidad de Puente Aranda.

El mapa de la Figura 4-5 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación total para el tercer trimestre de 2013 sobre esta superficie. Los sectores sombreados, principalmente al Oriente y Sur corresponden a terrenos que por su condición orográfica y climática no son aptos para ser representados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*. En dicha figura se puede observar que el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en la estación de Fontibón y Puente Aranda que abarca buena parte del Occidente de la ciudad. Los mayores acumulados se encuentran en el costado Nororiental del área, sombreado gran parte de la localidad de Suba.

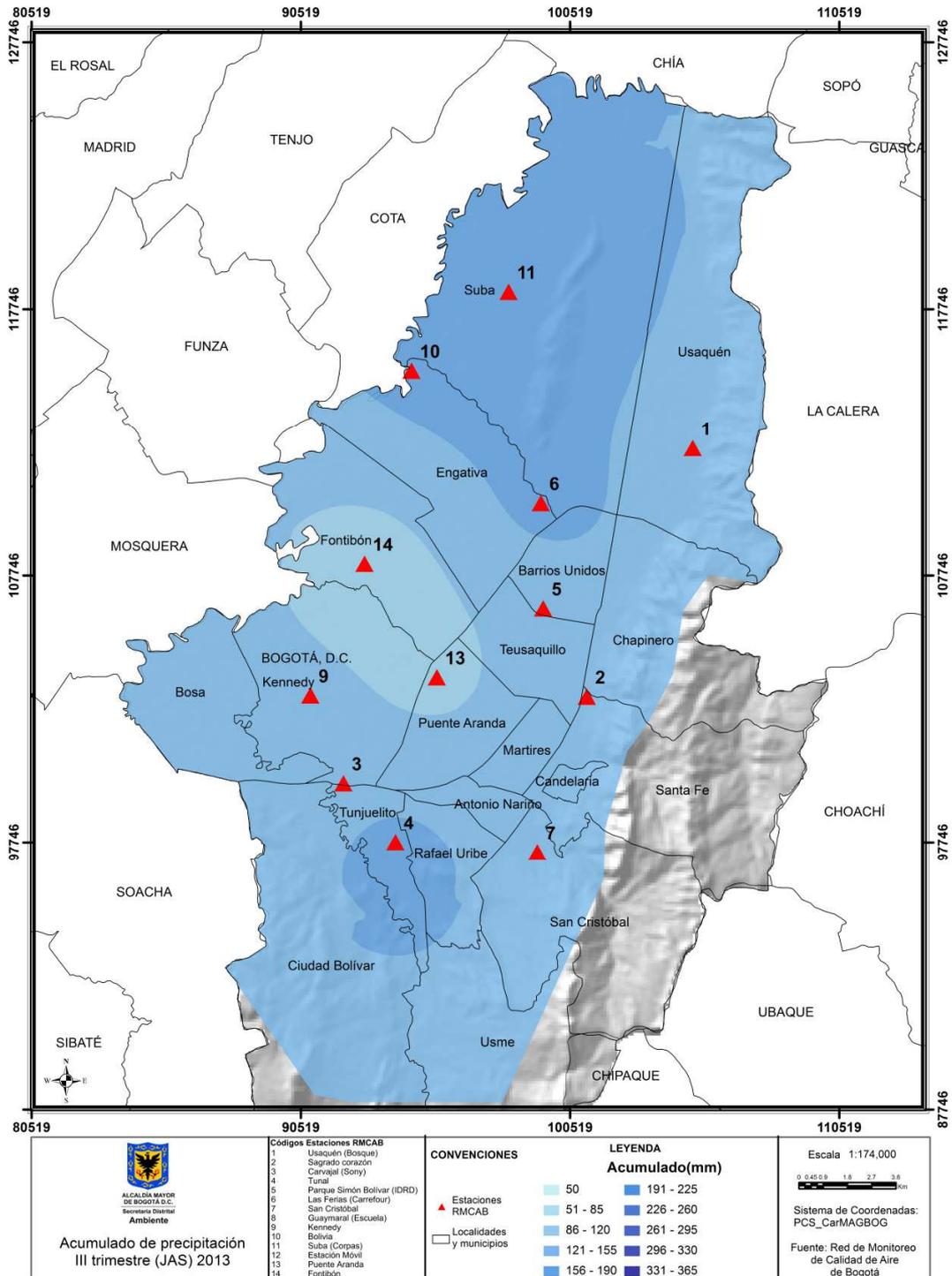


Figura 4-5. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2013.

En la Figura 4-6 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2013 y su similar en el periodo 1998-2012 (note que cada estación tiene una historia distinta, según la fecha de inicio de operación). Se observa una importante diferencia entre lo sucedido en Guaymaral, donde la diferencia resulta significativa a favor del tercer trimestre de 2013 mientras que en el resto de la ciudad se observa un déficit comparado con los históricos de cada estación.

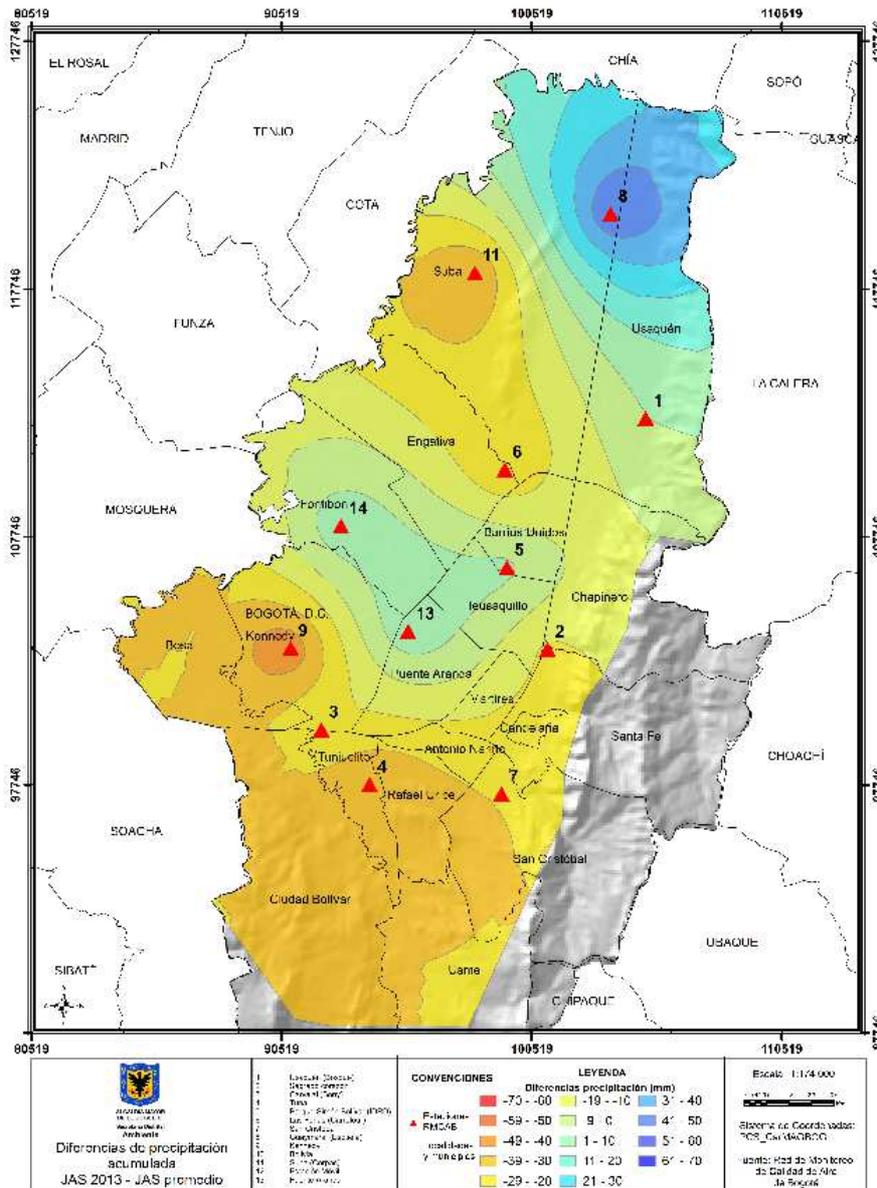


Figura 4-6. Diferencia de acumulado de precipitación del tercer trimestre de 2013 y el promedio dese 1998 hasta 2012.

4.2. Vientos

Durante el tercer trimestre de 2013 la dirección y velocidad del viento se registró en doce estaciones de la RMCAB, según se reporta en la Tabla 4-6, donde se presenta la representatividad de los datos recolectados en el trimestre. La Tabla 4-7 presenta los valores promedio de las estaciones y los valores de velocidad máxima en el trimestre. Fontibón y Kennedy son las estaciones en que se observaron los mayores valores de velocidad de viento seguido de Carvajal; en velocidades máximas relativas se observó a Fontibón y Sagrado Corazón con promedios de hasta 9,6 y 8,2 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1,1 m/s con valores máximos de 4,9 y 4,4 m/s.

Tabla 4-6. Representatividad mensual (%) de la variable velocidad y dirección del viento. Tercer trimestre 2013

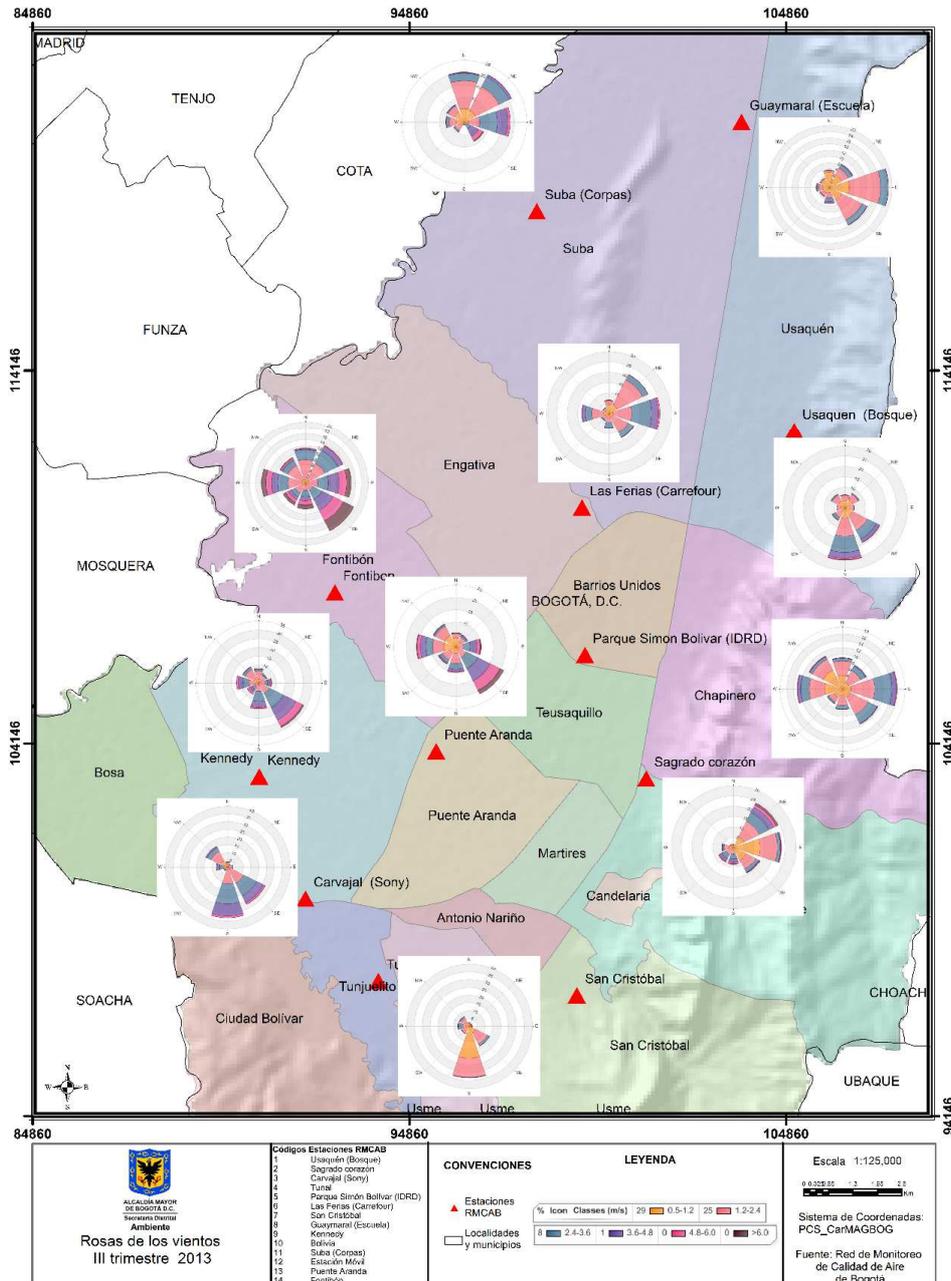
ESTACIÓN	Velocidad del viento (%)				Dirección del viento (%)			
	JUL	AGO	SEP	JAS	JUL	AGO	SEP	JAS
Guaymaral	91	99	100	96	91	99	100	96
Usaquén	91	93	100	95	91	93	100	95
Suba	99	100	99	99	99	100	99	99
Las Ferias	99	39	100	81	99	39	100	81
Parque Simón Bolívar	99	99	99	99	99	99	99	99
Sagrado Corazón	92	88	100	93	92	88	100	93
Fontibón	75	99	88	87	75	99	88	87
Puente Aranda	99	100	94	98	99	100	94	98
Kennedy	99	100	100	100	99	100	100	100
San Cristóbal	88	99	55	80	88	99	55	80
Carvajal	99	100	99	99	99	100	99	99
Tunal	98	99	76	91	98	99	76	91

Tabla 4-7. valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB.

Estación	Promedios de velocidad del viento (m/s)				Valores máximos de velocidad del viento (m/s)			
	JUL	AUG	SEP	JAS	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral	1,2	1,3	1,2	1,1	4,9	4,7	4,7	4,9
Usaquén	2,4	1,7	1,9	1,8	5,1	6,4	7,0	7,0
Suba	2,5	2,3	2,2	2,1	6,7	6,0	6,6	6,7
Las ferias	2,1	2,0	2,0	1,9	4,9	5,3	6,1	6,1
Simón bolívar	1,6	1,6	1,5	1,4	4,7	4,4	4,2	4,9
sagrado corazón	2,1	1,9	1,9	1,8	6,9	6,5	6,0	8,2
Fontibón	3,5	3,4	3,3	3,1	9,6	8,6	7,7	9,6
Puente Aranda	2,7	2,5	2,4	2,2	8,1	6,8	6,5	8,1
Kennedy	3,1	2,9	2,8	2,6	7,7	7,0	7,0	7,7
Carvajal	2,8	2,7	2,7	2,5	5,8	5,7	5,6	5,8
Tunal	1,1	1,2	1,1	1,1	3,9	3,3	3,7	4,4
San Cristóbal	2,2	2,3	2,4	2,3	6,1	6,3	6,0	6,3

La Figura 4-7 esquematiza las rosas de vientos en la RMCAB durante el trimestre. Varias estaciones, ubicadas en sectores del Sur y Occidente de la ciudad registraron vientos predominantes del Sur y Sureste como es el caso de Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y en menor intensidad Carvajal, donde fueron predominantes del Sur al igual que en Tunal.

Al Norte y Oriente del área capitalina, se observaron vientos del Norte y Este como lo fue en Suba y Guaymaral a diferencia de Usaquén en donde se presentaron del Sur. En Parque Simón Bolívar se registró una importante variabilidad de la dirección de los vientos con predominancia del Este, similar a Sagrado Corazón donde también predominaron del Noreste.



El mapa de la Figura 4-8 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para el tercer trimestre de 2013 sobre esta superficie. Asimismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos. Note que el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al Nororiente de la ciudad y sectores del Sur. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Funza. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron a lo largo del Occidente particularmente en la localidad de Fontibón, alcanzando velocidades de hasta 3,2 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0,5 m/s en el Nororiente hasta los 3,2 m/s en el Occidente de la ciudad, condición que es normal en la ciudad.

4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas para la variable temperatura se presentan en la Tabla 4-8, donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos recolectados durante el periodo. El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el trimestre se caracterizó por valores ligeramente por debajo de los promedios (periodo 1998-2012, donde las estaciones han variado de locación) con diferencias que no superaron los 0,3 °C. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 4-9 la cual muestra la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente y su comparación con el promedio de temperatura a lo que va corrido el año.

Tabla 4-8. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el tercer trimestre de 2013

Estación	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral	100	80	98	93
Usaquén	100	72	92	88
Suba	95	81	79	86
Las Ferias	100	95	100	98
Parque Simón Bolívar	100	97	100	99
Fontibón	100	100	100	100
Puente Aranda	100	100	100	100
Kennedy	100	100	100	100
Carvajal	99	100	100	100
Tunal	100	100	100	100
San Cristóbal	100	89	82	90
Bolivia	95	100	100	98

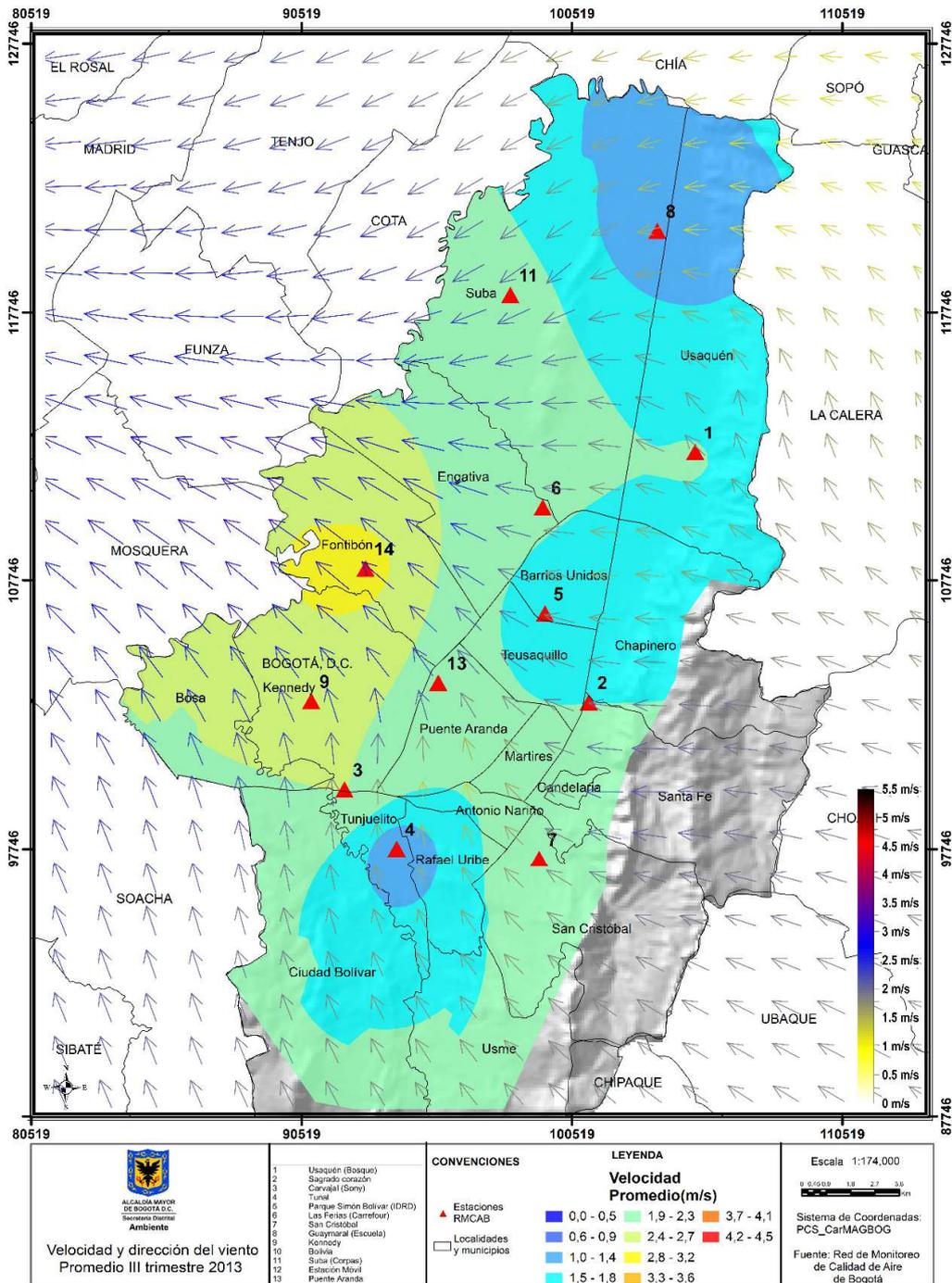


Figura 4-8. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013.

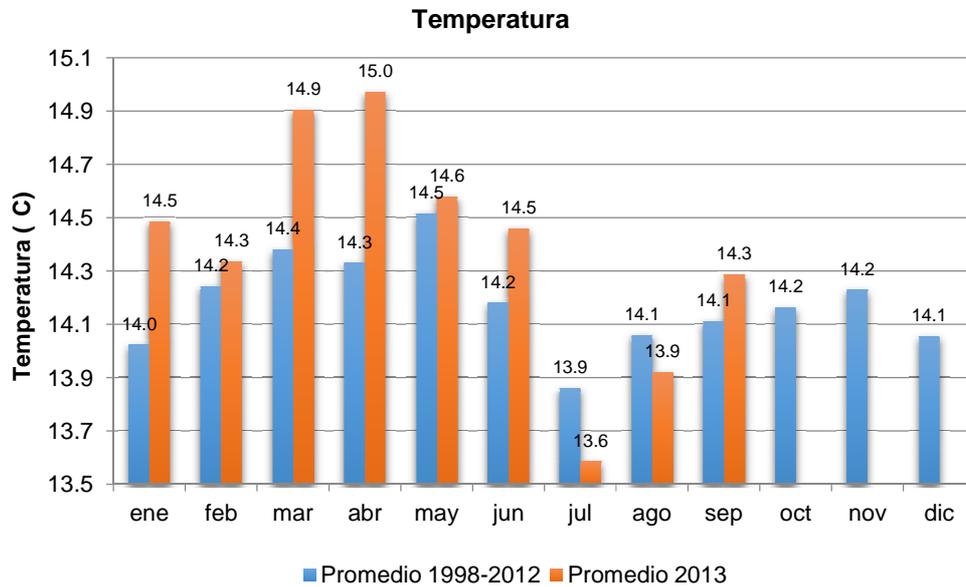


Figura 4-9. Gráfica de la temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2012 y su comparación hasta septiembre de 2013.

La Figura 4-10, muestra la evolución de la temperatura promedio trimestral en el periodo 1998-2013. Como se observa, los trimestres de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2009 y 2010 mientras que los de menor temperatura fueron 1999 y 2000. El trimestre en cuestión se acercó a valores normales si se observa la serie desde 2002. La tendencia positiva de la serie puede explicarse por la diferencia de estaciones considerada en el promedio, como se ve en la Tabla 4-9.

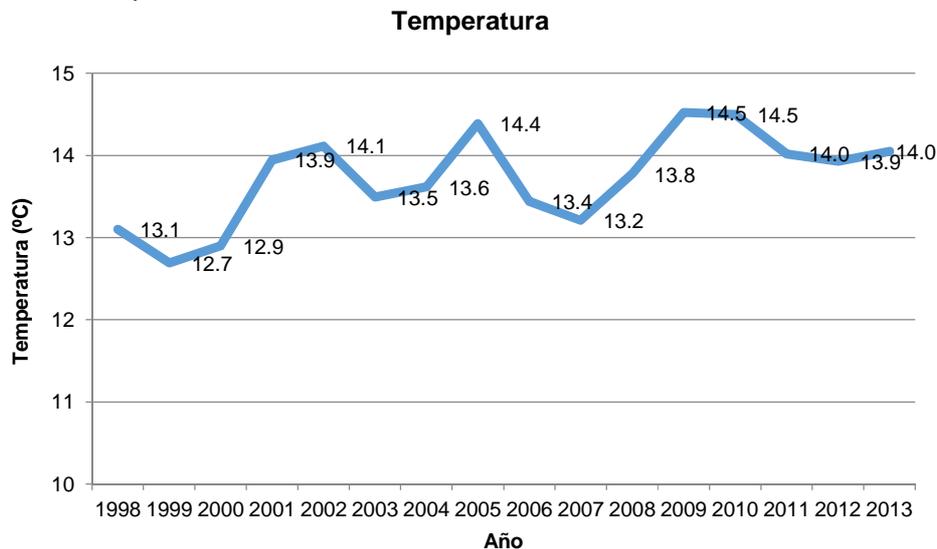


Figura 4-10. Gráfica de la temperatura del tercer trimestre promedio de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013.

La Tabla 4-9 muestra esta evolución distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-9. Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2013.

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Guaymaral 2m 1997	11,2	11,8	12,2	12,3	12,0	13,2	13,2	13,2	13,4	14,4	14,3	14,0	13,9	14,3
Usaquén 1997								12,8	11,8	14,9	14,5	14,2	14,0	14,2
Suba 1997	10,3	13,2			11,8	14,6	12,1	13,3	13,5	12,2	13,1		13,7	14,0
Las ferias 2000	15,2	15,5	15,8		15,3	15,2		15,0	13,4	14,1	13,6	13,7	13,6	13,9
Parque Simón Bolívar 2001						15,7			14,3	14,9	14,2	14,5	14,3	14,7
Fontibón 1999	13,3	13,6	14,0	13,9	13,6	13,9	14,1	13,6	14,2	14,7	13,7	13,6	13,5	13,8
Puente Aranda 1999	13,8	14,1	14,4	14,3	14,1	14,4	14,5	14,3	14,0	14,5	14,0	13,8	13,4	13,2
Kennedy 2005									14,2	15,0	14,2		14,4	14,6
Carvajal 1997						12,6	14,3	10,9	14,6	15,4	15,0	14,9	14,8	15,1
Tunal 2006							12,3		14,1	14,5	17,5	13,1	13,6	12,7
San Cristóbal 2009										13,4	13,0	13,6	12,3	12,7

Adicionalmente la Tabla 4-10 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación así como la amplitud térmica para cada uno de los meses del trimestre JAS. La estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11,1°C seguido de Suba con 10,9°C mientras que la estación de Puente Aranda presenta 6,9 °C; 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 4-10. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el trimestre y su promedio.

ESTACIÓN	JUL	AUG	SEP	PROM	JUL	AUG	SEP	PROM	JUL	AUG	SEP	PROM
Guaymaral 2m 1997	19.5	16.5	16.8	17.6	9.1	10.0	7.6	8.9	10.5	9.8	13.2	11.1
Usaquén 1997	18.0	14.4	15.2	15.9	10.8	11.2	9.5	10.5	7.1	7.5	9.9	8.2
Suba 1997	19.3	17.4	17.1	17.9	9.1	9.9	7.6	8.9	10.1	10.1	12.6	10.9
Las ferias 2000	18.1	18.1	15.3	17.2	10.1	10.6	9.2	9.9	8.0	8.1	10.1	8.8
Parque Simón Bolívar	19.5	19.9	17.0	18.8	9.7	10.4	7.9	9.3	9.7	9.6	13.1	10.8
Fontibón 1999	17.2	17.7	14.5	16.4	10.2	10.5	8.9	9.9	6.9	7.2	9.6	7.9
Puente Aranda 1999	16.1	16.5	13.8	15.5	10.1	10.2	9.1	9.8	6.1	6.3	8.4	6.9
Kennedy 2005	18.2	18.3	14.2	16.9	11.3	11.6	9.7	10.9	6.8	6.7	9.3	7.6
Carvajal 1997	18.8	19.4	15.7	18.0	11.3	11.7	10.0	11.0	7.5	7.7	10.3	8.5
Tunal 2006	18.1	18.5	14.7	17.1	8.2	8.8	6.4	7.8	9.9	9.7	13.1	10.9
San Cristóbal 2009	15.9	16.0	13.6	15.2	9.3	9.8	8.3	9.1	6.6	6.8	8.9	7.4
TEMPERATURA MÁXIMA (°C)				TEMPERATURA MÍNIMA (°C)				AMPLITUD TÉRMICA (°C)				

Los mapas de las Figura 4-11 muestran a la ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura para el trimestre sobre esta superficie. Cada isoterma está separada según se esquematiza en la barra de colores. Los sectores sombreados corresponden a terrenos que por su condición orográfica y climática, 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 y en menor magnitud al Norte de la ciudad.

De igual manera se presentan los mapas de temperatura máxima y mínima promedio de las estaciones de la RMCAB. La Figura 4-12 muestra estas temperaturas las cuales se registran en horas de la tarde y en horas de la madrugada respectivamente. Las temperaturas máximas fueron relativamente homogéneas en la ciudad, a diferencia de las mínimas en donde se presentaron valores máximos, cercanos a 12,5°C en el Occidente del área capitalina y muy cerca en la estación de Tunal, valores de hasta 8,5°C.

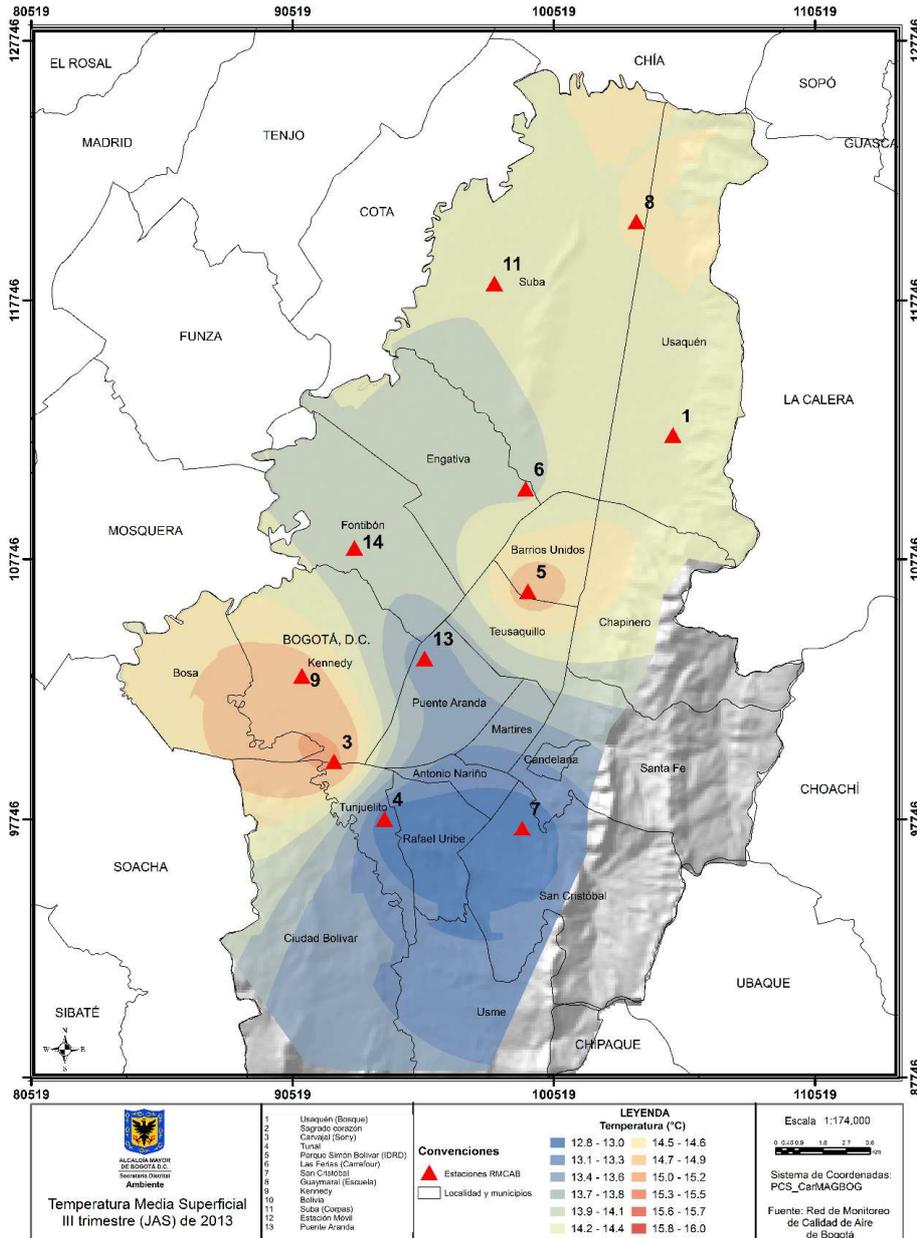
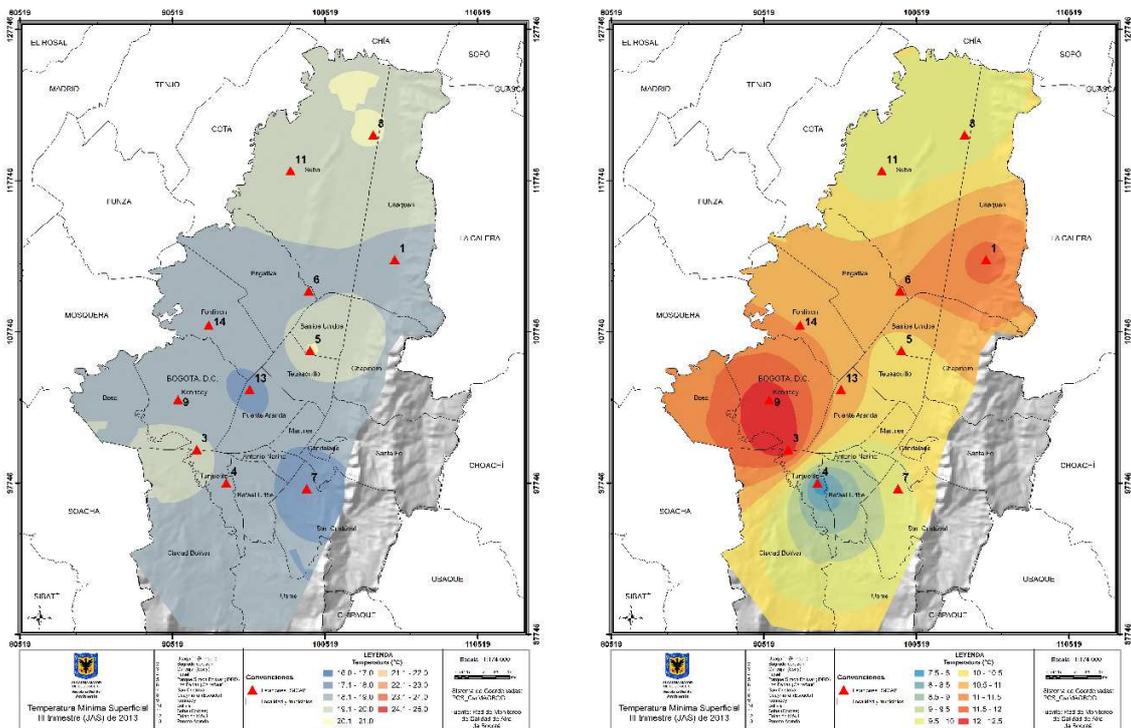


Figura 4-11. Mapa de Temperatura superficial promedio de las estaciones de la RMCAB para el tercer trimestre de 2013.



Promedio Temperatura máxima JAS 2013

Promedio Temperatura mínima JAS 2013

Figura 4-12. Temperatura máxima y mínima de las estaciones de la RMCAB.

4.4. Radiación solar

El comportamiento trimestral de la radiación solar global se puede apreciar en la Figura 4-13, la cual muestra los valores promedio de 2006 - 2012 en todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable y su comparación con el promedio de radiación global en el trimestre. Se puede observar que a lo largo del periodo la radiación fue moderadamente mayor en su acumulado respecto al periodo histórico de referencia, con un tope en el mes de julio que alcanzó 4471 W/m² y una diferencia con el periodo de referencia de 939 W/m². Salvo los meses de febrero y marzo, hasta la fecha el año 2013 ha mostrado un acumulado significativamente mayor a lo observado en años anteriores. La Tabla 4-11 presenta la representatividad de los datos recolectados en el trimestre.

Tabla 4-11. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre.

Estaciones	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral	100	83	99	94
Parque Simón Bolívar	100	98	100	99
Kennedy	100	100	100	100
Tunal	100	100	100	100
San Cristóbal	100	60	0	54

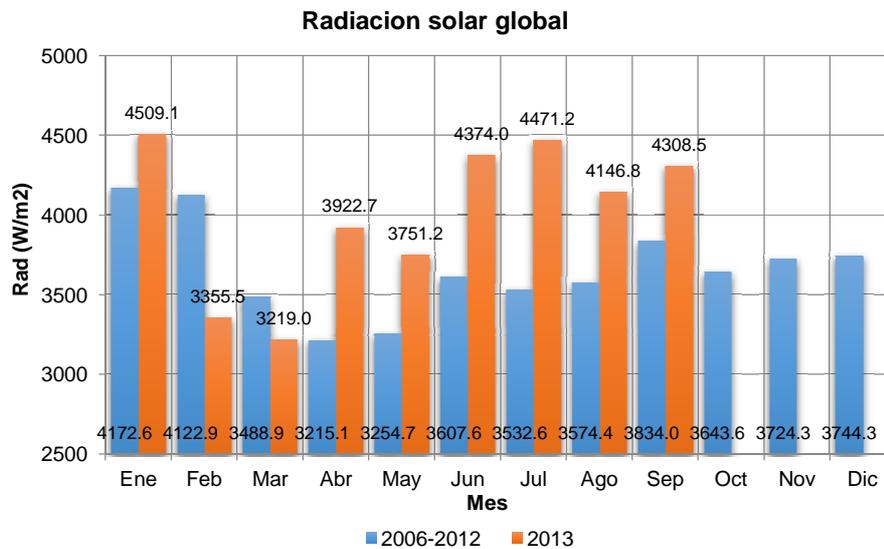


Figura 4-13. Gráfica de la radiación solar global mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2006-2012 y su comparación hasta septiembre de 2013.

La Figura 4-14 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora entre las 6 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación solar global. Se observa que las estaciones con mayor acumulado fueron Tunal y Guaymaral; en Tunal se presentó los mayores valores hacia la 1 pm, durante el mes de julio y agosto, Guaymaral los registró en el mes de agosto y septiembre cerca de las 11 am; por su parte Kennedy presenta el menor registro con un acumulado no mayor a los 600 W/m² al medio día; en la estación de Parque Simón Bolívar se presentó un acumulado similar desde las 11 am hasta pasadas las 2 de la tarde.

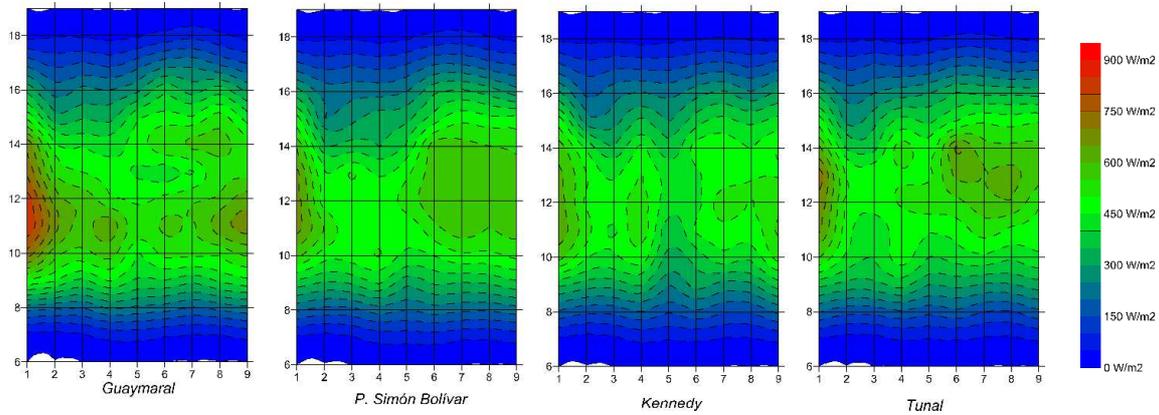


Figura 4-14. Acumulado de radiación de las estaciones en el trimestre. (El eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

La Figura 4-15 presenta el resumen para el trimestre, en donde se confirma que la estación con mayor acumulado de radiación se presentó en Guaymaral seguido de la estación Tunal.

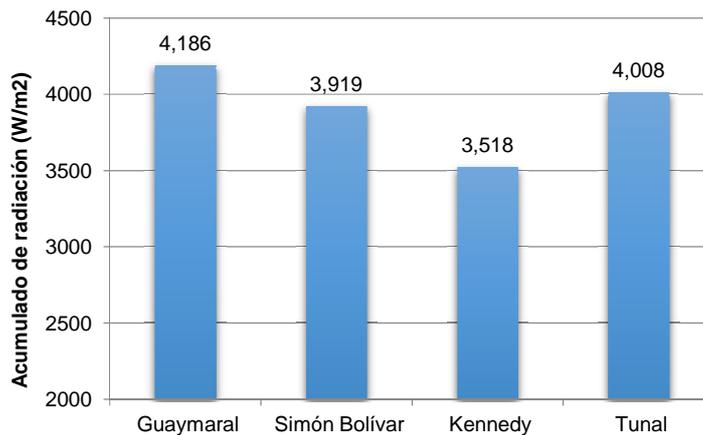


Figura 4-15. Acumulado de radiación desde las 6 hasta las 18 hrs.

4.5. Presión Atmosférica

Las estaciones y la representatividad de los datos de presión atmosférica adquiridos en el trimestre se presentan en la Tabla 4-12. El comportamiento registrado fue regular según su ubicación, (la mayor presión es observada en las estaciones ubicadas al Occidente de la Ciudad).

Tabla 4-12. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.

ESTACIÓN	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral	100	81	98	93
Las Ferias	100	95	100	98

Fontibón	100	100	100	100
Kennedy	100	100	100	100

Figura 4-16 muestra la presión atmosférica discriminada mensualmente, se observa la monomodalidad característica para la ciudad de Bogotá y que en general en lo corrido del trimestre la presión estuvo por debajo del promedio histórico, salvo en el mes de julio. Como se observa en la Figura 4-17, los valores trimestrales en los últimos años han sido bastante similares.

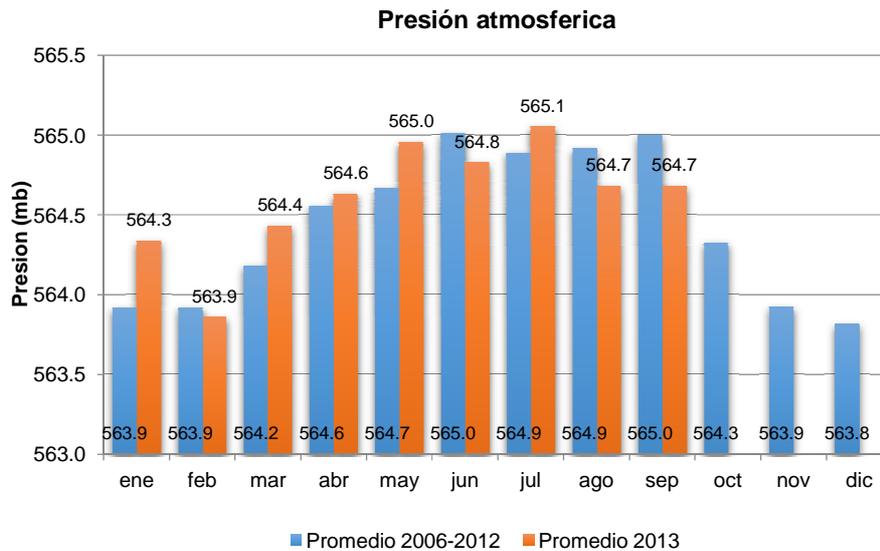


Figura 4-16. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

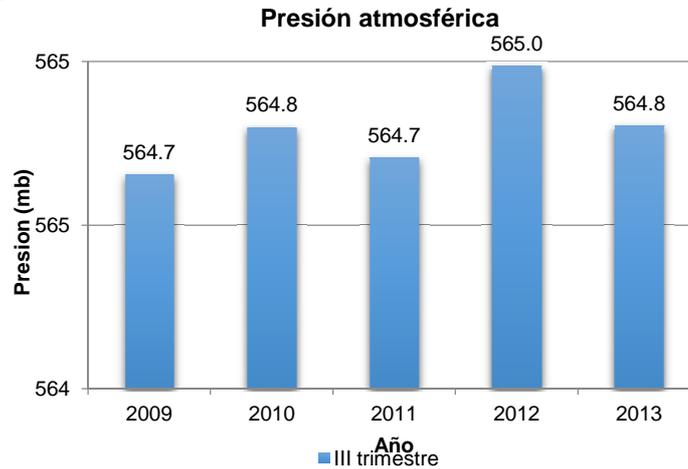


Figura 4-17. Comparación de la presión en los trimestres JAS.

4.6. Humedad Relativa

La representatividad de la humedad relativa que fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB está descrita en la Tabla 4-13. La Figura 4-18 muestra que la humedad relativa en el trimestre estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2012, en especial el mes de julio en donde la diferencia alcanzó los 6,8 puntos.

Tabla 4-13. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el trimestre.

Estación	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral	100	81	98	93
Las Ferias	100	95	100	98
Parque Simón Bolívar	100	97	100	99
Kennedy	100	100	100	100
Tunal	100	100	100	100
San Cristóbal	100	60	0	54

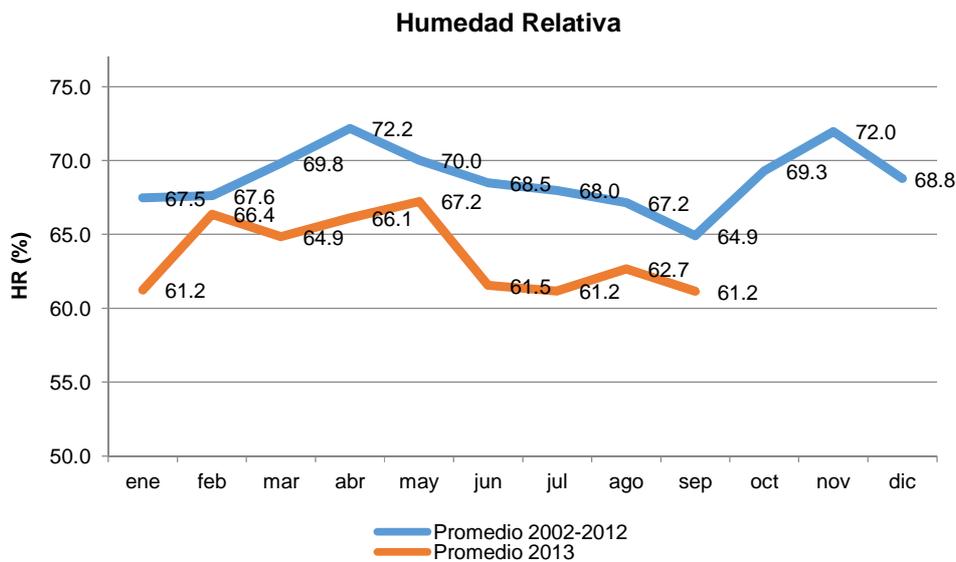


Figura 4-18. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2012 y su comparación con los meses del tercer trimestre de 2013.

5. Meteorología y Calidad del Aire

5.1. Análisis de vientos vs. Material Particulado.

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM_{10} y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el trimestre. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada, mañana, tarde y noche con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.).

La Figura 5-1, Figura 5-2, Figura 5-3 y Figura 5-4 representan el promedio de la concentración de PM_{10} con los vectores de viento (mapas del costado izquierdo) así como la interpolación el coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el PM_{10} nuevamente con los vectores de viento (mapas de la derecha). Examinando los resultados de los mapas, se encuentra que en horas de la madrugada (Figura 5-1), cuando los vientos predominan del Sureste y Noreste y los cuales confluyen al Occidente de la ciudad, se presentan valores moderadamente altos de la concentración de PM_{10} , particularmente en la localidad de Kennedy en donde normalmente se presentan los vientos de mayor rapidez. Al revisar la correlación en esta área, se presenta de modo inverso, a saber; a mayor velocidad del viento menor concentración de material particulado, por lo que se puede concluir que en este caso la velocidad del viento, que no es alta, contribuye a dispersar el material particulado en sectores del Norte, centro y Occidente de la ciudad y es indiferente en zonas del Sur y Suroriente.

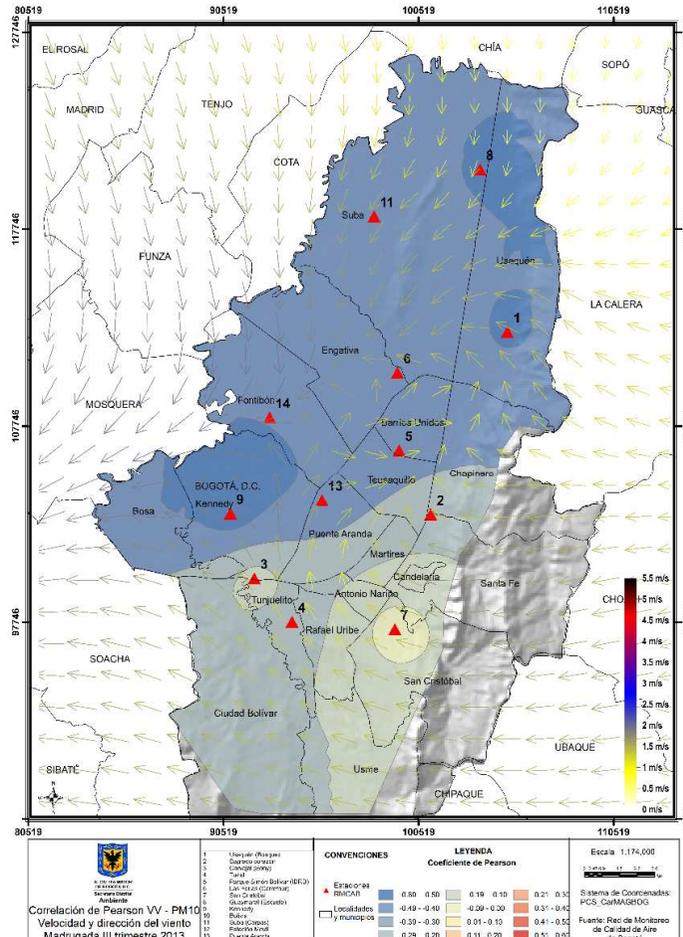
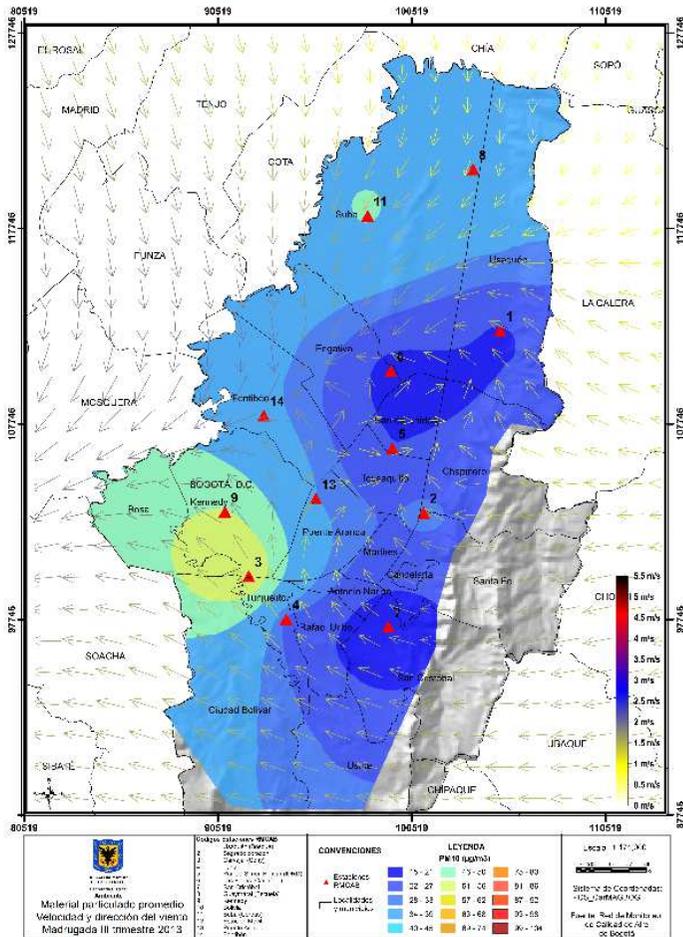


Figura 5-1 . PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la madrugada.

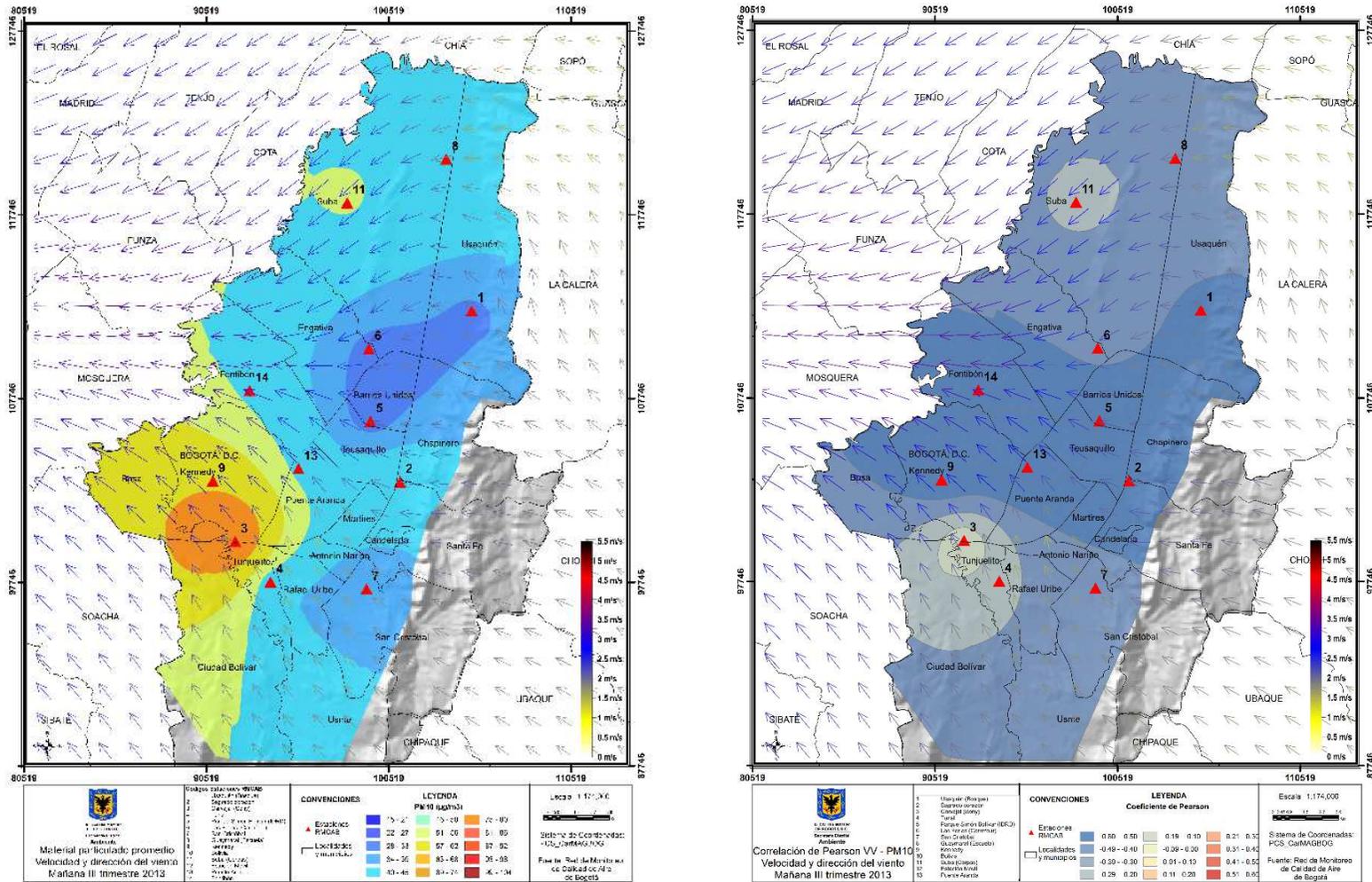


Figura 5-2. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la mañana.

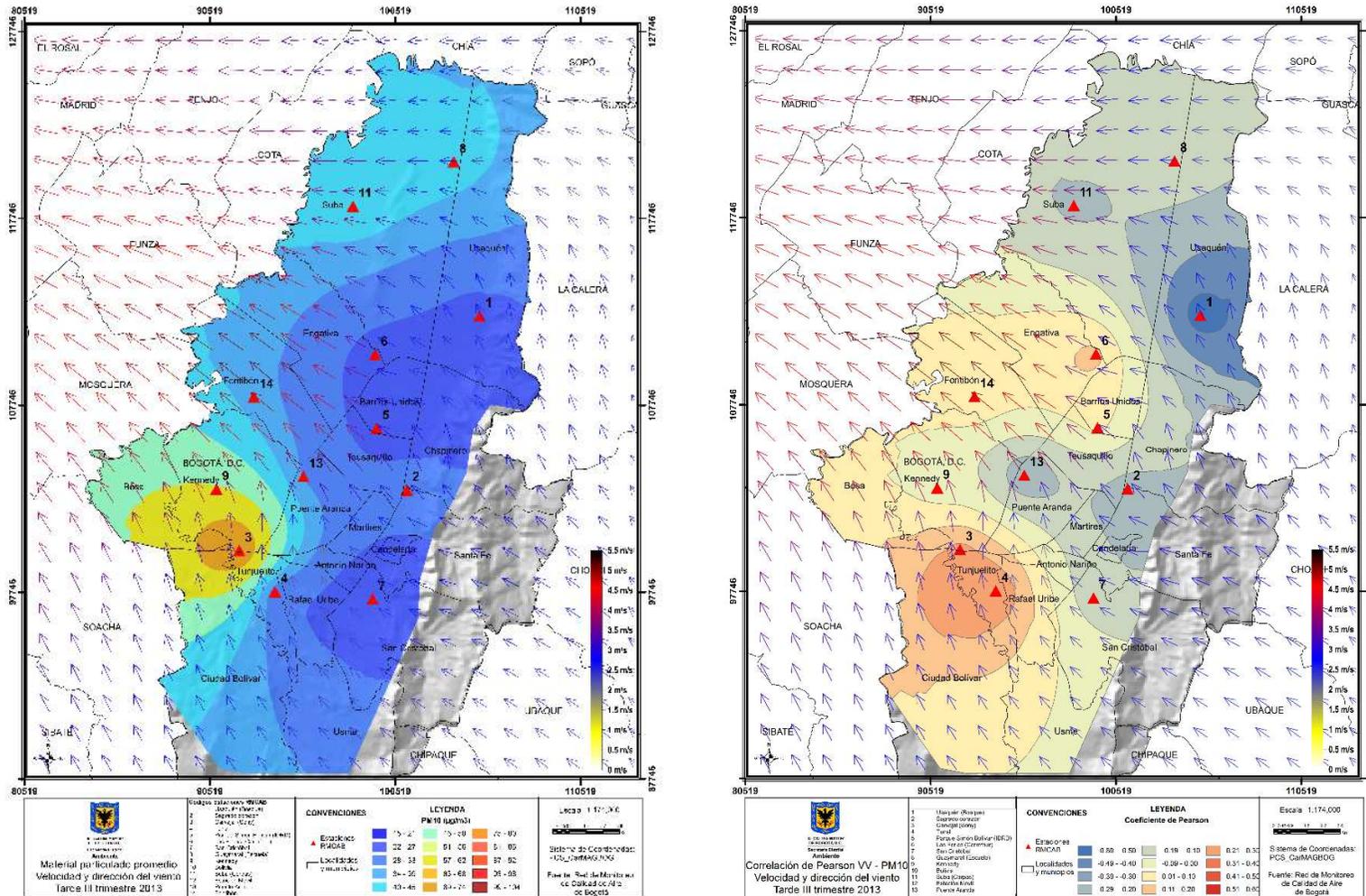
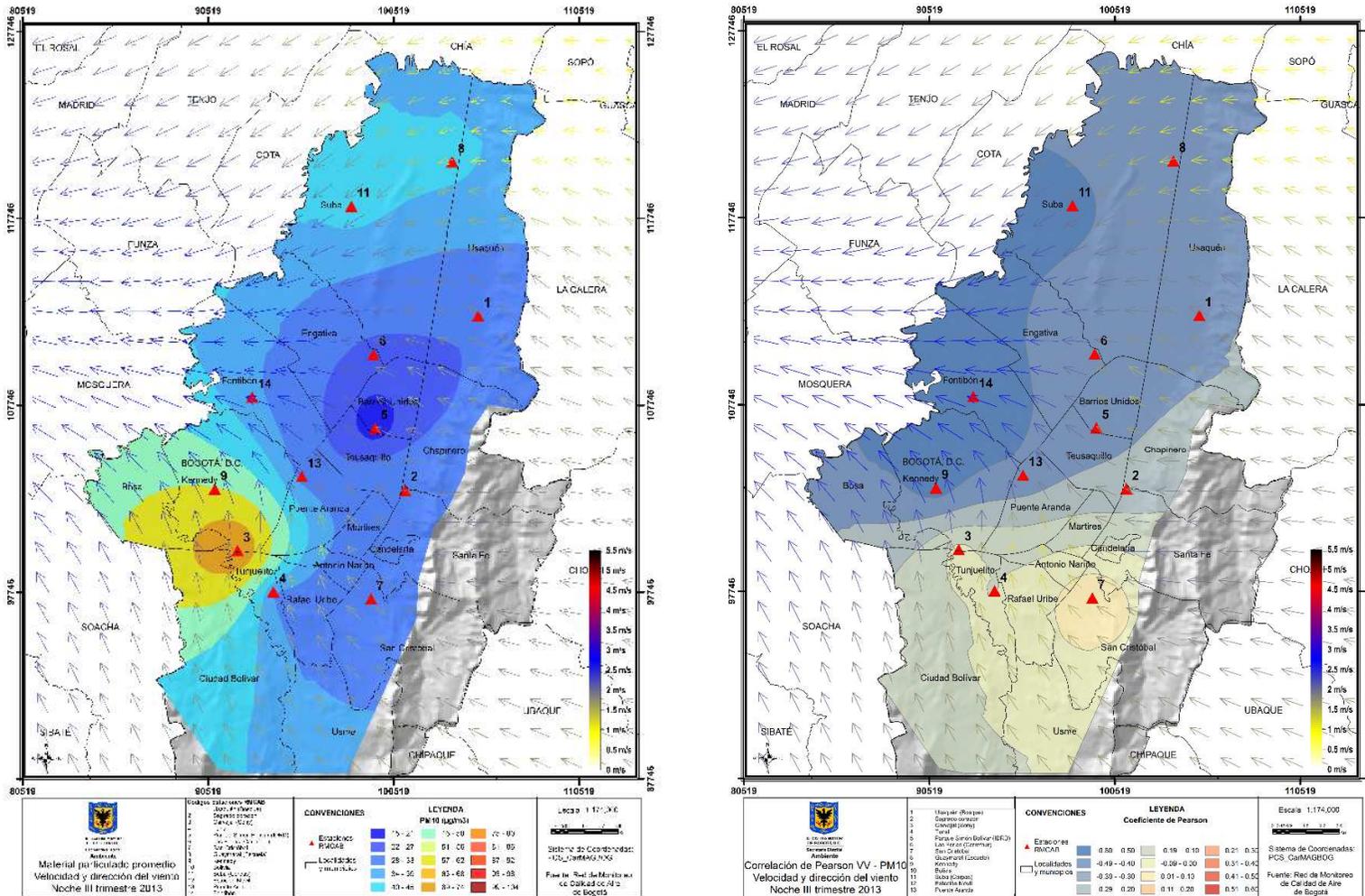


Figura 5-3. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el trimestre julio agosto septiembre (JAS) de 2013 en horas de la tarde.



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

En el caso de la tarde, (Figura 5-3) se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y aumento de la velocidad del viento. Así mismo, se observa que fue en este grupo horario en el que se presentaron los mayores acumulados de lluvia, lo que ratifica la inestabilidad en el área además del probable lavado atmosférico. No obstante, el viento participó de manera negativa según los registros de las estaciones como muestra el mapa de correlaciones, la tendencia a que el PM_{10} aumentara cuando el viento elevaba su velocidad fue evidente, manifestándose especialmente en la zona Occidental de la capital, mientras que en la zona Nororiental el viento favoreció a la disminución de la concentración del material particulado. Los vientos alcanzaron velocidades de hasta 5 m/s los cuales fueron predominantes del Este – Sureste con tendencia a confluir en los municipios de la sabana Occidente de Bogotá.

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

5.2. Episodio de máxima concentración.

El 4 de septiembre de 2013 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado y en este aparte se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 5-6 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 04 de septiembre de 2013, en el Aeropuerto Internacional El Dorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama ($Lifted = 1.73$, $CAPE = 0.0$) las condiciones eran estables con baja probabilidad de lluvia en horas de la mañana, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo lo que produjo precipitaciones en horas de la tarde (Figura 5-5). A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas las cuales favorecen el aumento de concentración de PM_{10} , como se observa en horas de la mañana según los mapas de la Figura 5-8. La concentración fue significativamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en las localidades de ciudad Bolívar y Tunjuelito, sector cuyos vientos fueron predominantes del Sur, tendencia que se mantuvo a lo largo del día. En la madrugada, aunque la concentración fue menor, los valores presentaron concentraciones altas en esta área de la ciudad por lo que el promedio del día se acercó a los $130 \mu g/m^3$. Considerando las precipitaciones presentadas durante la tarde, asociadas a una

atmósfera inestable y al probable lavado atmosférico, en horas de la tarde y de la noche del día se presentaron valores de concentración significativamente menores.

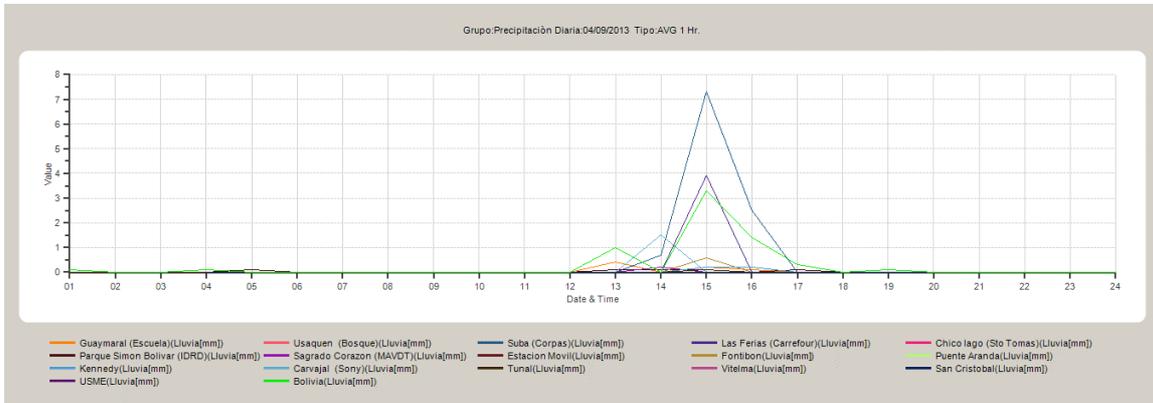


Figura 5-5. Acumulado de precipitaciones en las estaciones de la RMCAB el día 04 09 2013

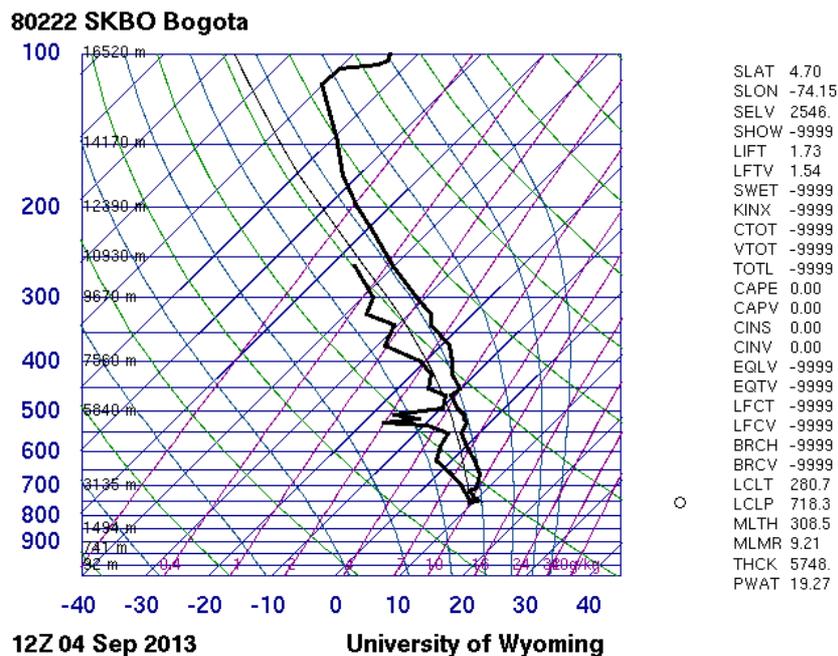


Figura 5-6. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 04 de septiembre de 2013, en el Aeropuerto Internacional El Dorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

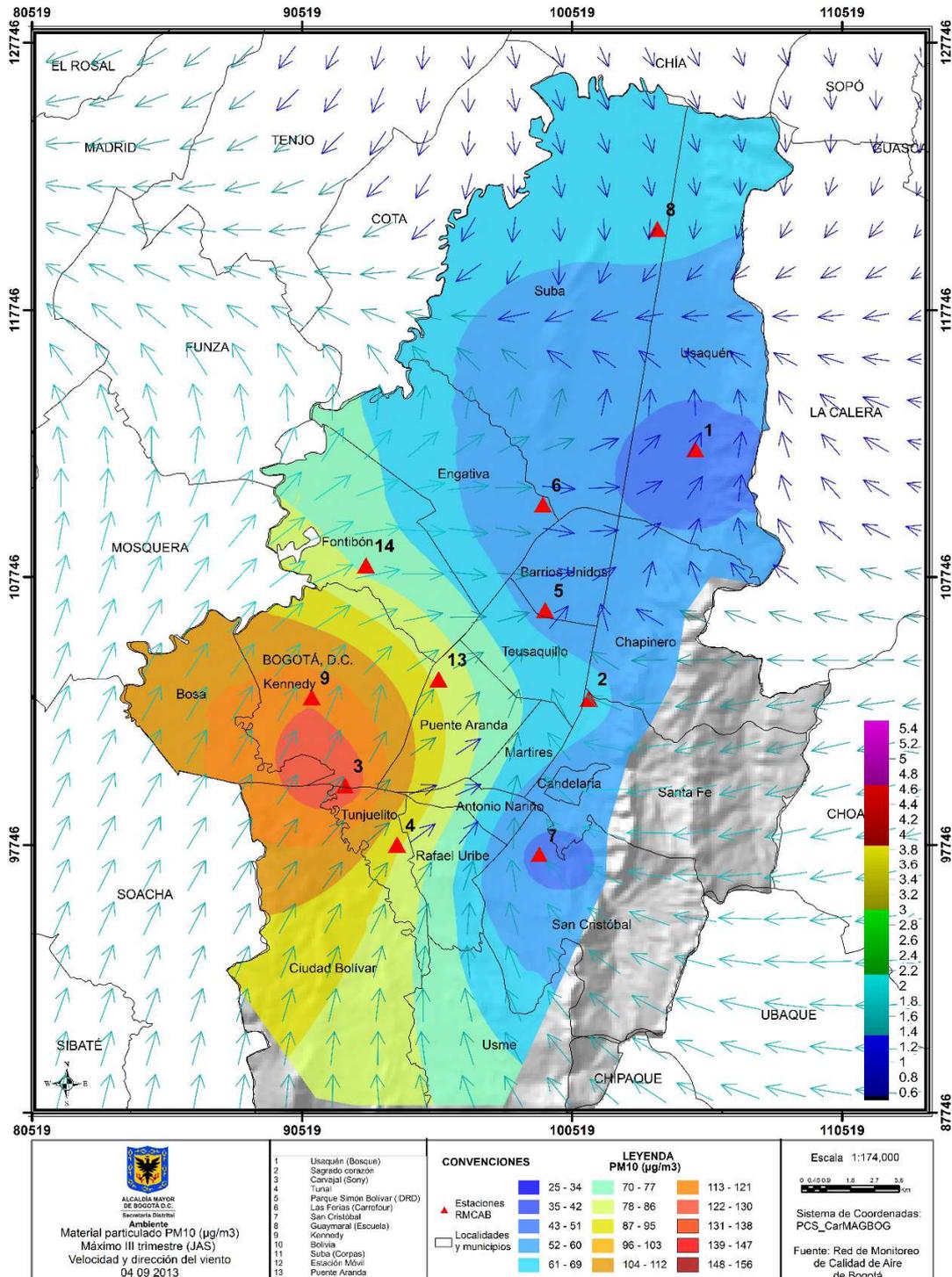


Figura 5-7. PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 04 de septiembre de 2013 en horas de la mañana.

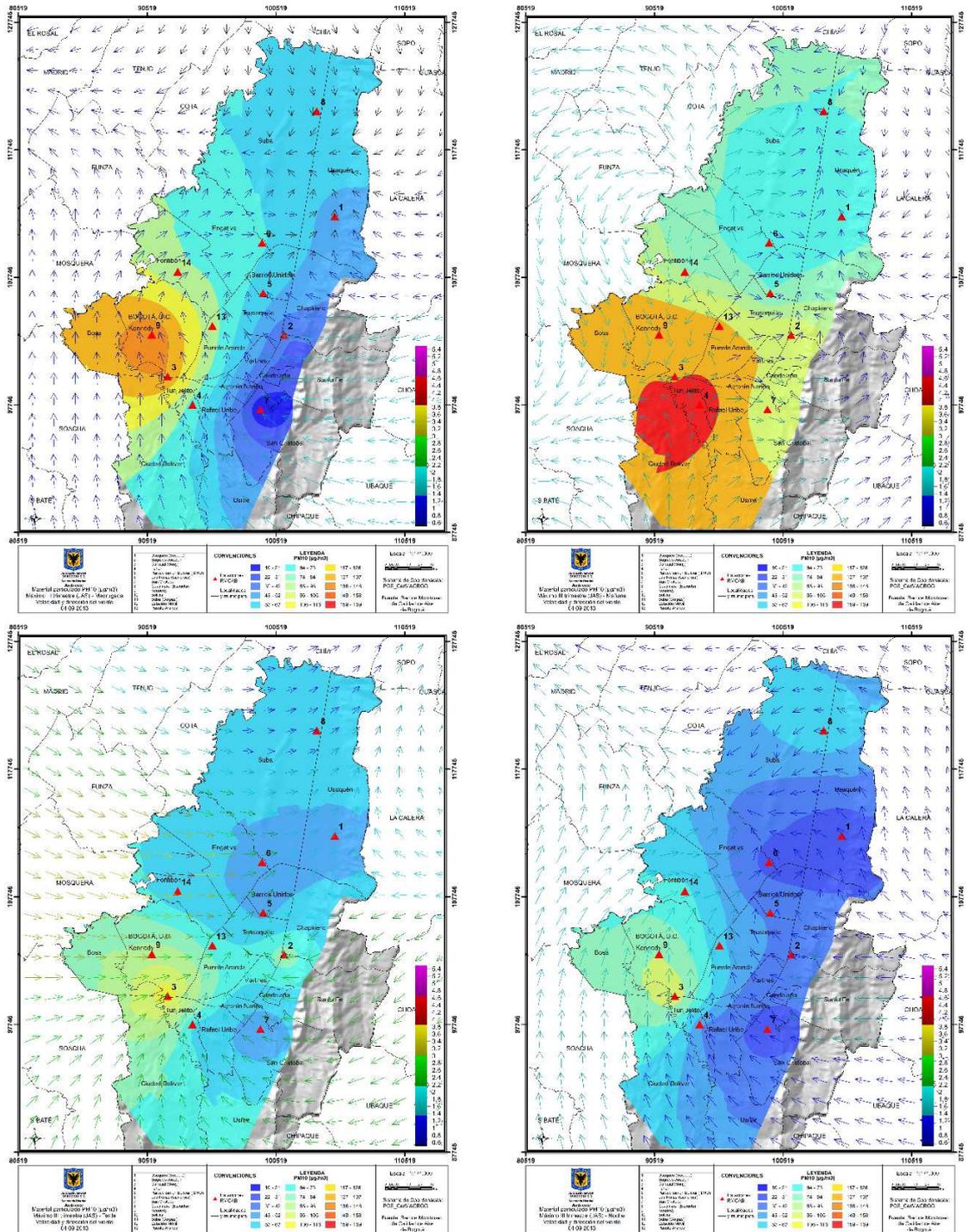


Figura 5-8. PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 04 de septiembre de 2013 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

Bibliografía

- Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- 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*.
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Obtenido de <http://www.R-project.org/>
- SDA. (2011). *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). *AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5)*.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment*.

Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Datalogger. Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

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

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

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

— = Concentración dada en peso de un contaminante por unidad de volumen de aire en microgramos por metro cúbico.

= Concentración por unidad de volumen de aire en partes por millón.

= 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:

Donde:

_____ : Promedio geométrico de concentración
_____ : Suma de los logaritmos de los valores de concentración del contaminante .

_____ : Antilogaritmo del promedio de los logaritmos para los “n” valores de concentración del contaminante .

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*.

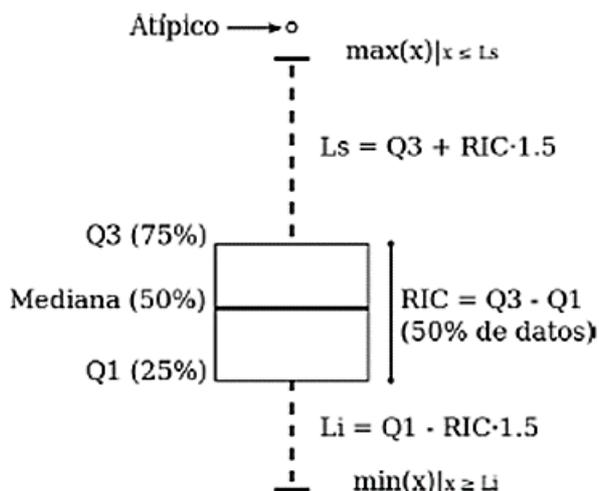


Figura A-1. Gráfico de *boxplot* con una descripción de sus componentes.

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**.