



**ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**

---

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

# **Informe trimestral de calidad del aire de Bogotá**

## **Tercer trimestre de 2014**

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

**Bogotá D.C. 2014**

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





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

**Susana Muhamad**  
Secretaria Distrital de Ambiente

**Julio César Pulido Puerto**  
Subsecretario Distrital de Ambiente

**Andrea Cortés Salazar**  
Directora de Control Ambiental

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

**John Freddy Grajales**  
Coordinador RMCAB

**Helberth Santiago Morales Pinilla**  
**Nicolás Cuadros Rubio**  
**Oscar Julián Guerrero Molina**  
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

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

Secretaría Distrital de Ambiente  
– SDA –

© Diciembre 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 2014**

**2014**

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

## Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo .....	14
Introducción .....	18
1. Generalidades .....	19
1.1. Normatividad vigente .....	22
2. Indicadores de operación y desempeño .....	24
2.1. Porcentaje de captura de datos .....	24
2.2. Porcentaje de datos válidos .....	26
3. Evaluación y análisis de contaminantes .....	29
3.1. Material particulado – MP o PM ( <i>Particulate Matter</i> ) .....	29
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST .....	30
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> .....	30
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM <sub>2.5</sub> .....	41
3.1.4. Relación de concentración PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> .....	50
3.2. Gases contaminantes .....	51
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O <sub>3</sub> .....	52
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	62
3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO .....	70
3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO <sub>2</sub> .....	78
3.3. Índices de calidad del aire .....	86
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM <sub>10</sub> .....	87
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> .....	90
3.3.3. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono. ....	93
3.4. Síntesis de resultados .....	95
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas .....	106
4.1. Precipitación .....	107
4.2. Vientos .....	114
4.3. Temperatura Superficial .....	119
4.4. Radiación solar .....	124
4.5. Presión Atmosférica .....	125
4.6. Humedad Relativa .....	126

5. Meteorología y Calidad del Aire .....	128
6. Episodio de máxima concentración.....	130
Bibliografía.....	133
Glosario .....	135
Anexos .....	140

## Índice de figuras

Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2014. .	20
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Tercer trimestre de 2014.....	24
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Tercer trimestre de 2014. ....	25
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Tercer trimestre de 2014. ....	27
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Tercer trimestre de 2014. ....	27
Figura 3-1. Concentraciones promedio, número de excedencias y máximos de PM <sub>10</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m <sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.....	31
Figura 3-2. Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan los dos días de septiembre que superaron el límite normativo de 100 µg/m <sup>3</sup> . ....	33
Figura 3-3. Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	34
Figura 3-4. Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	34
Figura 3-5. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> en función de la estación de monitoreo y del día de la semana para el tercer trimestre de 2014. ....	35
Figura 3-6. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> en función de la estación de monitoreo y de los meses de julio, agosto y septiembre para el tercer trimestre de 2014.....	36
Figura 3-7. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> en el ciclo semanal para 6 estaciones de la RMCAB. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza. ....	37
Figura 3-8. Ciclo diario de PM <sub>10</sub> para 6 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. ....	38
Figura 3-9. Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> por estación de monitoreo en los terceros trimestres de los años 2010 a 2014. ....	39
Figura 3-10. Máximo, promedio y excedencias de PM <sub>2.5</sub> en base diaria para el tercer trimestre de 2014.....	41
Figura 3-11. Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.....	43
Figura 3-12. Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	44
Figura 3-13. Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	44
Figura 3-14. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.....	45
Figura 3-15. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.....	46

Figura 3-16. Comportamiento de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.....	47
Figura 3-17. Ciclos diarios de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por estación en el tercer trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.....	48
Figura 3-18. Gráfico de <i>boxplot</i> de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente para los terceros trimestres de 2010, 2012, 2013 y 2014.....	49
Figura 3-19. Concentración promedio, máximos y excedencias de la norma para O <sub>3</sub> en base horaria por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	53
Figura 3-20. Concentración máxima, promedio trimestral y excedencias de la norma para O <sub>3</sub> en base 8 horas por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	55
Figura 3-21. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.....	57
Figura 3-22. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.....	57
Figura 3-23. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.....	58
Figura 3-24. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.....	59
Figura 3-25. Gráfico de <i>boxplot</i> de O <sub>3</sub> en función de las estaciones para los terceros trimestres entre 2010 y 2014 (con base en promedios móviles de 8 horas).....	60
Figura 3-26. Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	63
Figura 3-27. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2014.....	64
Figura 3-28. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO <sub>2</sub> en función del día de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente. Tercer trimestre de 2014.....	65
Figura 3-29. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO <sub>2</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.....	66
Figura 3-30. Ciclos semanales de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.....	67
Figura 3-31. Ciclos diarios de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.....	67
Figura 3-32. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO <sub>2</sub> por estaciones en base diaria para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.....	69
Figura 3-33. Concentraciones promedio, concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el tercer trimestre de 2014.....	71
Figura 3-34. Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	72

Figura 3-35. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014. ....	73
Figura 3-36. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014. ....	74
Figura 3-37. Ciclos semanales de las concentraciones horarias de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. ....	75
Figura 3-38. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el tercer trimestre de 2014 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%. ....	75
Figura 3-39. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo para los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	76
Figura 3-40. Promedios, máximos y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación durante el tercer trimestre de 2014. ....	79
Figura 3-41. Promedios, concentraciones máximas y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente. ....	80
Figura 3-42. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO <sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014. ....	82
Figura 3-43. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO <sub>2</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre de 2014 por estación de monitoreo. ....	82
Figura 3-44. Ciclos semanales de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. ....	83
Figura 3-45. Ciclos diarios de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%. ....	84
Figura 3-46. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO <sub>2</sub> diario por estación de monitoreo en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	85
Figura 3-47. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el tercer trimestre de 2014. ....	87
Figura 3-48. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de julio, agosto y septiembre de 2014. ....	88
Figura 3-49. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el tercer trimestre de 2014. ....	89
Figura 3-50. Índice de Calidad del Aire promedio de PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2014. ....	90
Figura 3-51. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. ....	91
Figura 3-52. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> para los meses de julio, agosto y septiembre de 2014. ....	92
Figura 3-53 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana para el tercer trimestre de 2014. ....	92

Figura 3-54. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM <sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014.....	93
Figura 3-55. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O <sub>3</sub> ). Base de 8 horas.....	94
Figura 3-56. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.....	94
Figura 3-57. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Base diaria.....	94
Figura 4-1 Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto EIDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013) .....	107
Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado en el tercer trimestre de 2014 por la RMCAB. ....	108
Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación del II trimestre desde 1998 hasta 2014. ....	109
Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes). ....	109
Figura 4-5. Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).....	110
Figura 4-6. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el tercer trimestre de 2014. ....	111
Figura 4-7. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el III trimestre de 2014.....	112
Figura 4-8. Anomalía de precipitación trimestral entre 1998 – 2013 y 2014 para las estaciones de la RMCAB. ....	113
Figura 4-9. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA.....	115
Figura 4-10. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.....	116
Figura 4-11. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el tercer trimestre de 2014 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). ....	117
Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el tercer trimestre de 2014. ....	118
Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y el tercer trimestre de 2014. ....	119
Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014. ....	120
Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y el tercer trimestre de 2014. ....	121
Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2014.....	123
Figura 4-17. Acumulado de radiación de las estaciones (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). ....	124

Figura 4-18. Radiación trimestral de los últimos años.....	125
Figura 4-19. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.....	126
Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2008- 2013 y su comparación con los meses de 2014.....	127
Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 1 y 3 de septiembre de 2014, en el aeropuerto internacional El Dorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.....	130
Figura 6-2 PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 2 de septiembre de 2014.....	131
Figura 6-3. PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 2 de septiembre de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.....	132
Figura A-1. Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes.....	140
Figura C-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>10</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	142
Figura C-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>2.5</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	142
Figura C-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O <sub>3</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	143
Figura C-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO <sub>2</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	143
Figura C-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	144
Figura C-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO <sub>2</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.....	144

## Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de ellas en el tercer trimestre de 2014. ....	21
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia asociados de la EPA ( <i>Environmental Protection Agency</i> ).....	22
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. ....	23
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro. .	25
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro.....	28
Tabla 3-1. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos diarios de PM <sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014. ....	32
Tabla 3-2. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	40
Tabla 3-3. Resumen de datos diarios de PM <sub>2.5</sub> para el tercer trimestre de 2014. ....	42
Tabla 3-4. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM <sub>2.5</sub> para los terceros trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010 y 2013.....	49
Tabla 3-5. Relación de concentraciones entre PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el tercer trimestre de 2014 y que tienen cobertura temporal suficiente. ....	50
Tabla 3-6. Resumen descriptivo de datos de O <sub>3</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. Base horaria. ....	52
Tabla 3-7. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y respectivo periodo de ocurrencia de las concentraciones de O <sub>3</sub> en base 8 horas durante el tercer trimestre de 2014. ....	55
Tabla 3-8. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O <sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.....	61
Tabla 3-9. Resumen de datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. ....	62
Tabla 3-10. Resumen de datos diarios de NO <sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. ....	64
Tabla 3-11. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO <sub>2</sub> en base diaria en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	69
Tabla 3-12. Resumen de datos horarios de CO por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010. ....	70
Tabla 3-13. Resumen de datos de CO por estación en el tercer trimestre de 2014. Base de 8 horas. Los promedios son indicativos y no deben compararse con los límites establecidos por la normatividad nacional. ....	72
Tabla 3-14. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios de 8 horas para los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	77

Tabla 3-15. Resumen de datos de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios aritméticos son indicativos y no deben compararse con la normatividad nacional. ....	78
Tabla 3-16. Resumen de datos en base diaria de SO <sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente. ....	81
Tabla 3-17. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO <sub>2</sub> en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. ....	85
Tabla 3-18. 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). ....	86
Tabla 3-19. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ), tercer trimestre de 2014. ....	96
Tabla 3-20. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ), tercer trimestre de 2014. ....	97
Tabla 3-21. Consolidado de los promedios horarios de O <sub>3</sub> , tercer trimestre de 2014. ....	98
Tabla 3-22. Consolidado de los promedios móviles de O <sub>3</sub> de 8 horas, tercer trimestre de 2014. ....	99
Tabla 3-23. Consolidado de los promedios horarios de NO <sub>2</sub> , tercer trimestre de 2014. ....	100
Tabla 3-24. Consolidado de los promedios diarios de NO <sub>2</sub> , tercer trimestre de 2014. ....	101
Tabla 3-25. Consolidado de los promedios horarios de CO, tercer trimestre de 2014. ....	102
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, tercer trimestre de 2014. ....	103
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO <sub>2</sub> , tercer trimestre de 2014. ....	104
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios diarios de SO <sub>2</sub> , tercer trimestre de 2014. ....	105
Tabla 4-1 Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el tercer trimestre de 2014. ....	107
Tabla 4-2. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014 en el trimestre JAS. ....	110
Tabla 4-3 Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral. ....	114
Tabla 4-4. valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB. ....	114
Tabla 4-5. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el III trimestre de 2014. ....	119
Tabla 4-6. Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014. ....	120
Tabla 4-7. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica. Fuente RMCAB. ....	121
Tabla 4-8. Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre. ....	124
Tabla 4-9. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión. ....	125
Tabla 4-10 Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB. .	126
Tabla 4-11. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. ....	126

Tabla 5-1. Índices de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el PM10...	128
Tabla 5-2. Anomalías de velocidad del viento entre el tercer trimestre del periodo 1998-2013 y III trimestre de 2014. ....	128
Tabla 5-3. Dirección predoinante de los vientos en el tercer trimestre de 2014.....	129
Tabla B-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m <sup>3</sup> y µg/m <sup>3</sup> ) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg. ....	141

## 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 12 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.

Para el caso del contaminante  $PM_{10}$  (norma diaria de  $100 \mu g/m^3$ ) fue excedida en un 2% del total de datos registrados válidos, porcentaje equivalente a 16 valores, distribuidos en Puente Aranda (2) y Carvajal (14). En comparación al año 2013 y los dos primeros trimestres de 2014 Puente Aranda no registró excedencias, evidenciando un aumento en este sector de la ciudad. Aunque, por otro lado vale resaltar que la estación Kennedy no presentó excedencias a diferencia de otros periodos. La máxima concentración registrada por la RMCAB en este trimestre fue de  $142 \mu g/m^3$  en la estación Carvajal el 29 de julio. Sin embargo, vale mencionar que el 17 de septiembre de 2014 tres estaciones coincidieron en el registro de concentraciones máximas del trimestre: Las Ferias, Puente Aranda y Tunal con valores de  $60 \mu g/m^3$ ,  $104 \mu g/m^3$  y  $96 \mu g/m^3$ , respectivamente, sugiriendo un episodio de alta concentración a nivel ciudad. En comparación al tercer trimestre de 2013, en donde se registraron en total 30 excedencias (Guaymaral, Kennedy y Carvajal), en contraste con 16 del tercer trimestre de 2014, esta diferencia podría sugerir una mejor calidad del aire para este periodo de 2014 en términos de este contaminante  $PM_{10}$ . Sin embargo, se deben considerar la cantidad de estaciones comparadas, pues en este trimestre de 2014, se tuvieron problemas logísticos, que impidieron el correcto mantenimiento de equipos y estaciones. Las tendencias observadas indican que las localidades más afectadas por concentraciones altas de  $PM_{10}$  en el tercer trimestre de 2014 fueron las ubicadas en el suroccidente y sur de la ciudad, especialmente Kennedy, Bosa, Puente Aranda y Tunjuelito y las menos afectadas fueron las ubicadas al norte y al oriente. Es importante destacar la diferencia en la concentración máxima y en el número de excedencias entre la estación

Carvajal y las demás estaciones, lo cual se debe a la actividad que se desarrolla en este sector, causante de la emisión de material particulado por fuentes fijas industriales y fuentes móviles, especialmente vehículos de carga pesada. Vale mencionar que el domingo la medición en esta estación disminuye considerablemente, evidenciando la influencia en la actividad de la ciudad. Este resultado destaca la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación en Bogotá como un promedio global y más bien se recomienda análisis sectorizados en la ciudad. 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 el miércoles y viernes resultan los de mayor concentración. Por su parte el sábado aparece muy similar a los días entre semana, siendo incluso mayor o igual para algunas estaciones, mientras que es evidente la disminución de actividades para el domingo en la ciudad. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8 horas para descender a valores mínimos alrededor de las 11-13 horas (dependiendo la estación), estabilizándose y luego presentando otro aumento en horas de la tarde. En comparación a los últimos 5 años este tercer trimestre 2014 presentó una tendencia a la disminución, sin embargo esto no ocurre en la estación Puente Aranda, en donde se observa una mega obra de construcción muy cerca de la estación.

Con respecto al contaminante PM<sub>2.5</sub> el límite normativo diario es de 50 µg/m<sup>3</sup> y mide principalmente fuentes de combustión. El PM<sub>2.5</sub> fue monitoreado en 9 estaciones, pero en 6 se tuvo representatividad para el cálculo del promedio. Ninguna estación presentó excedencias al límite normativo diario de 50 µg/m<sup>3</sup> aunque Carvajal registró un máximo de 47 µg/m<sup>3</sup> y 3 datos por encima del 90% de la norma (45 µg/m<sup>3</sup>). Las mayores concentraciones se observan en Suba, Kennedy y Carvajal con valores de 37 µg/m<sup>3</sup>, 42 µg/m<sup>3</sup> y 47 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. El menor promedio se observó en San Cristóbal con 6 µg/m<sup>3</sup> y el mayor en Carvajal con 33 µg/m<sup>3</sup>, evidenciando que esta estación no sólo es un problema de máximos. Estas diferencias revelan la alta heterogeneidad de la ciudad en términos de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> y la dificultad de generalizar el comportamiento de la ciudad con promedios globales. En comparación al mismo trimestre de 2013, en donde tan sólo se contaba con la estación de Kennedy, el máximo de este 2014 ha disminuido, pasando de 50 en 2013 a 42 µg/m<sup>3</sup>. En todas las estaciones los lunes y los domingos presentaron las menores concentraciones, en especial el domingo en Carvajal, que desciende considerablemente en función de los otros días de la semana, mientras que las mayores concentraciones se miden los miércoles, jueves y viernes, dependiendo la estación. Los ciclos diarios evidencian la influencia de fuentes móviles en la variación de las concentraciones horarias de PM<sub>2.5</sub>, pues se observan dos “horas pico” correspondientes a la mañana y la tarde donde la primera tiene mayores magnitudes que la segunda. La magnitud de estos picos es variable dependiendo de las características específicas de cada una de las estaciones, sin embargo la zona alrededor de la estación Carvajal tiene las mayores concentraciones. Vale mencionar el comportamiento de las estaciones Suba y Carvajal, que tienen picos alrededor de las 9 – 10 pm, lo que sugiere una alta circulación de vehículos de carga pesada. Las diferencias entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para analizar comportamientos localizados.

El ozono ( $O_3$ ), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de radiación solar, presentó una excedencia al límite normativo en la norma horaria de  $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Guaymaral, que también resulta el valor más alto en resolución horaria en el trimestre, el cual se presentó el 26 de septiembre, fecha en la cual otras dos estaciones tuvieron sus máximos (Suba con  $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y CDAR  $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Además, vale mencionar que en los siguientes dos días (27 y 28 de septiembre), tres estaciones también reportaron sus máximos, lo que indica un periodo particular de altas concentraciones. En términos de la concentración octohoraria el  $O_3$  en este tercer trimestre de 2014 no se presentaron excedencias de la norma ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La máxima concentración reportada fue de  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (94% del límite normativo) el 26 de septiembre de 2014 en la estación Guaymaral, mismo día y estación de reporte de concentración máxima en base horaria. Vale mencionar que la comparación con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o  $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en la cual se considera la calidad del aire como “Buena” (U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013) muestra que en todo momento se cumplió con esta normatividad, pues la concentración máxima fue  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El mismo caso sucede para la normatividad europea (European Commission - Environment, 2014) en la cual el límite máximo es  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para los National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2012), donde la norma para un tiempo de exposición de 8 horas es 75 ppb ( $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Con respecto al ciclo semanal, se puede ver que las mayores concentraciones y niveles de dispersión se presentaron en las estaciones Ministerio de Ambiente y Centro de Alto Rendimiento ubicadas hacia la zona central de la ciudad, mientras que las menores concentraciones se encontraron en Puente Aranda y Tunal. La tendencia semanal del ozono es en general contraria a la observada para los demás contaminantes en los cuales las mayores concentraciones se presentan en los días hábiles, en el caso del ozono resultan los lunes y domingos los días de mayores concentraciones. Con respecto a la tendencia histórica del ozono, parece tener un comportamiento leve a la disminución, teniendo como consideración los valores máximos encontrados para cada tercer trimestre en los últimos 5 años.

El dióxido de nitrógeno  $NO_2$  no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora ni tampoco para 24 horas. El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de  $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Las Ferias, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de  $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Puente Aranda. El análisis del ciclo semanal para este contaminante deja ver que los días martes y miércoles presentan los mayores valores de concentración, mientras que el ciclo diario presenta un comportamiento más similar al material particulado, con picos entre las 6 y 9am, con mínimo alrededor del mediodía, para volver a aumentar las concentraciones en horas de la tarde-noche, lo cual se encuentra ligado a la fotoquímica de este contaminante. El día de menor concentración es el domingo, el cual desciende en forma considerable en todas las estaciones, mostrando la disminución en la actividad industrial y de transporte en la ciudad. La tendencia histórica del dióxido de nitrógeno, parece tener un comportamiento a la disminución, teniendo como consideración los valores máximos encontrados para cada tercer trimestre en los últimos 5 años.

El dióxido de azufre  $SO_2$  no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas ( $750 \mu g/m^3$ ), ni tampoco para 24 horas ( $250 \mu g/m^3$ ). El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de  $71 \mu g/m^3$ , mientras que para 24 horas de exposición estuvo en  $18 \mu g/m^3$ , en ambos casos en la estación Suba, estación que muestra un comportamiento muy diferente de las demás, tanto en el ciclo semanal como en el ciclo diario, mostrando gran dispersión en el conjunto de datos y sus picos, lo que permite inferir una fuerte actividad en transporte de carga en los alrededores. La tendencia histórica del dióxido de azufre, parece tener un comportamiento a la disminución, teniendo como consideración los valores máximos encontrados para cada tercer trimestre en los últimos 5 años.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se observan datos entre el 50% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de  $6,8 \text{ mg}/m^3$  para una exposición de 1 hora (norma nacional  $40 \text{ mg}/m^3$ ) y de  $4,0 \text{ mg}/m^3$  para una exposición de 8 horas (norma nacional  $10 \text{ mg}/m^3$ ).

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante el tercer trimestre de 2014. Con respecto a la precipitación, durante este trimestre se observaron acumulados inferiores en comparación al acumulado histórico mensual de la RMCAB y también con respecto al acumulado mensual del IDEAM, en especial para el mes de agosto, el cual tuvo una diferencia en el orden de los 20mm. En relación al comportamiento histórico, los acumulados de precipitación estuvieron por debajo para este tercer trimestre, con sólo 73mm y siendo en principio, uno de los trimestres más secos en la historia de la RMCAB. Durante este trimestre, las lluvias más significativas se concentraron en septiembre, en horas de las tardes particularmente en las estaciones de Guaymaral, Usaquén y CDAR. Sin embargo, es conveniente precisar que mientras los valores de precipitación fueron bajos, el número de días con lluvia ó días húmedos ( $>1\text{mm}$ ) fue cercano a lo normal y el promedio de precipitación diaria fue bajo en comparación al historico, entonces se puede deducir que el trimestre tuvo precipitaciones muy ligeras y dispersas sobre la ciudad y cielos encapotados, además vale mencionar la predominancia de vientos provenientes de los llanos orientales (este) los cuales favorecieron el bajo registro observado de las precipitaciones, al inhibir procesos de convergencia que facilitan la precipitación.

Por su parte las velocidades de los vientos estuvieron similares al promedio histórico, mientras que los valores máximos estuvieron levemente por debajo. Las estaciones del norte presentan vientos con dirección norte-este-noreste, mientras que al sur de la ciudad se observaron vientos del sur y sureste. El análisis de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), evidencia que hacia el occidente y oriente de la ciudad los vientos tienden a estar la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del norte y sur en donde hasta el 30% de los datos del trimestre se presentaron en calma, por lo cual desfavorece la dispersión de los contaminantes. Por su parte la velocidad máxima de viento se presentó en la estación Kennedy al suroccidente de la ciudad, con 5.2m/s.

## 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 2014, la RMCAB estaba conformada por 13 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub>, PST, PM<sub>2.5</sub>), de gases contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>) 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 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 2014. El tercer capítulo corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta un análisis del comportamiento de cada uno de los contaminantes durante este periodo, así como el Índice de Calidad del Aire que se asocia a temas de salud pública. Posteriormente se encuentra la sección de meteorología que contempla el análisis de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica, lo que permite establecer las condiciones meteorológicas que influyeron en la dispersión de los contaminantes. Finalmente se presenta un capítulo concerniente a la relación entre calidad del aire y comportamiento meteorológico evidenciando la relación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> con los vientos así como el episodio de máxima concentración en la ciudad.

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

## 1. Generalidades

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

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

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

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

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

---

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

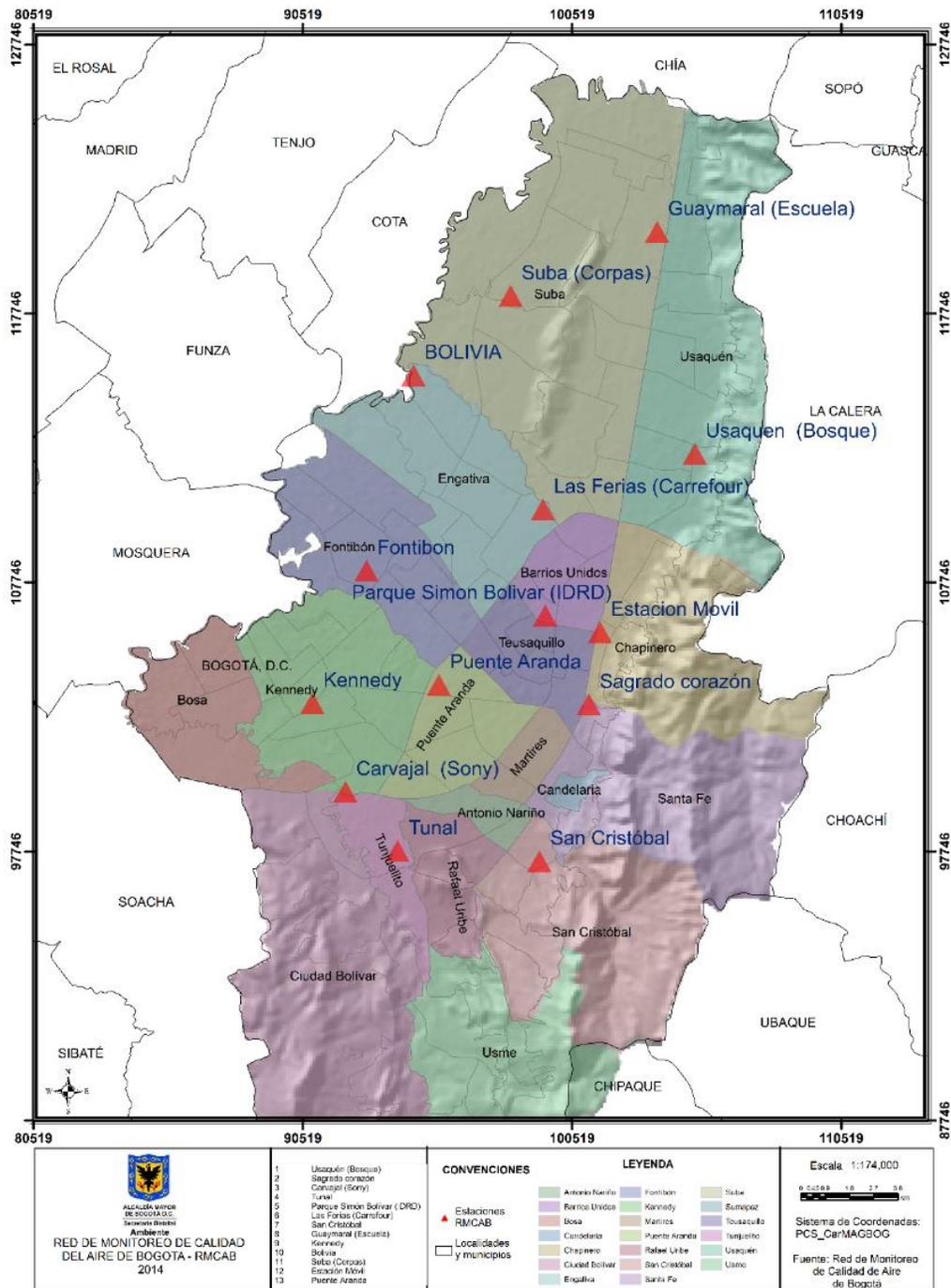


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2014.

<sup>2</sup> Parque Simón Bolívar (IDRD) será referida como Centro de Alto Rendimiento y Sagrado Corazón como Min. Ambiente.

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

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

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

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

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

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

### 1.1. Normatividad vigente

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

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

Contaminante	Nivel máximo permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>10</sub>	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>2.5</sub>	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO <sub>2</sub>	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 <sub>2</sub>	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 <sub>3</sub>	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

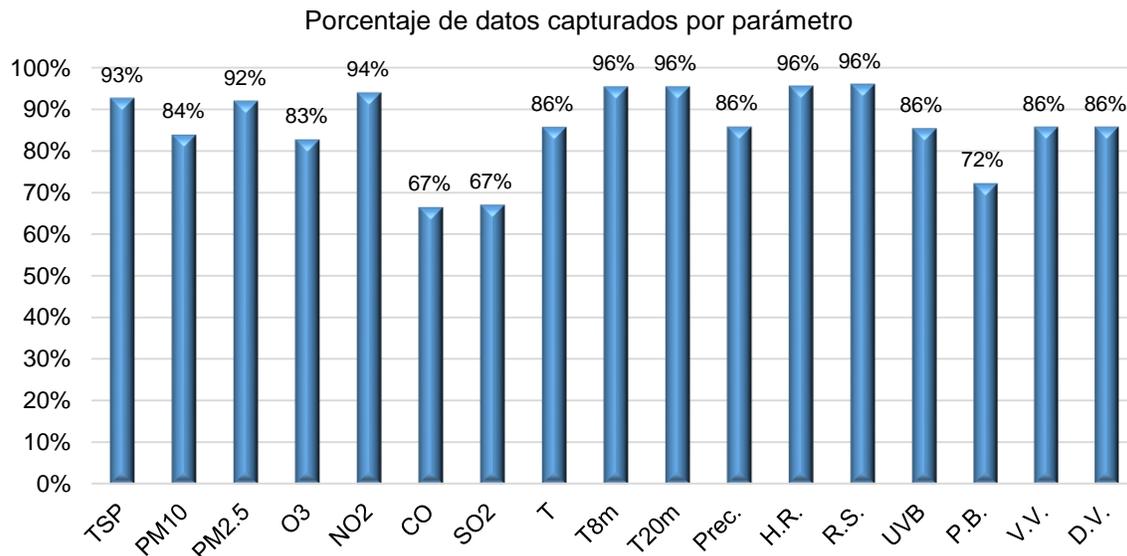
## 2. Indicadores de operación y desempeño

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 2014. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados, mientras que en la segunda parte se presentan los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

La estación Fontibón reportó un porcentaje de captura considerablemente reducido debido a que los respectivos equipos salieron de operación a comienzos del mes de julio por motivos logísticos relacionados con el suministro de energía eléctrica.

### 2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el tercer trimestre de 2014<sup>3</sup>. Todas las variables monitoreadas tienen un porcentaje de captura superior a 75%, con excepción de los gases monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con 67% cada uno, y presión barométrica con 72%. El analizador de CO de Kennedy presentó fallas en la fuente de infrarrojo y en Centro de Alto Rendimiento se evidenciaron inconvenientes en el detector. En cuanto al SO<sub>2</sub>, el analizador de Carvajal no funciona desde el 1 de abril de 2014 por falla en la tarjeta del CPU y la bomba de flujo en Kennedy presentó fallas en su funcionamiento, la cual fue reparada en el mes de septiembre. La disminución de la captura de datos en la variable presión barométrica se debe a la salida de operación de la estación Fontibón.



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

<sup>3</sup> T: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radiación solar; RDR: radiación solar directa; RDF: radiación solar difusa; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

De acuerdo a la Figura 2-2, todas las estaciones presentaron un porcentaje de captura superior a 75% con excepción de Bolivia, Fontibón y Centro de Alto Rendimiento. En Bolivia, la pérdida de datos se atribuye a fallas en el funcionamiento del equipo *datalogger*. En Centro de Alto Rendimiento la captura reducida se debe a que, aparte de la situación con el monóxido de carbono, se tienen en cuenta los equipos de radiación solar difusa y radiación solar directa, los cuales no registraron datos en el periodo, como se observa en la Tabla 2-1. El analizador de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de esta estación presentó fallas en la bomba de flujo y se instaló una bomba nueva en septiembre.

El porcentaje total de captura de datos para el tercer trimestre de 2014 fue 83%. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

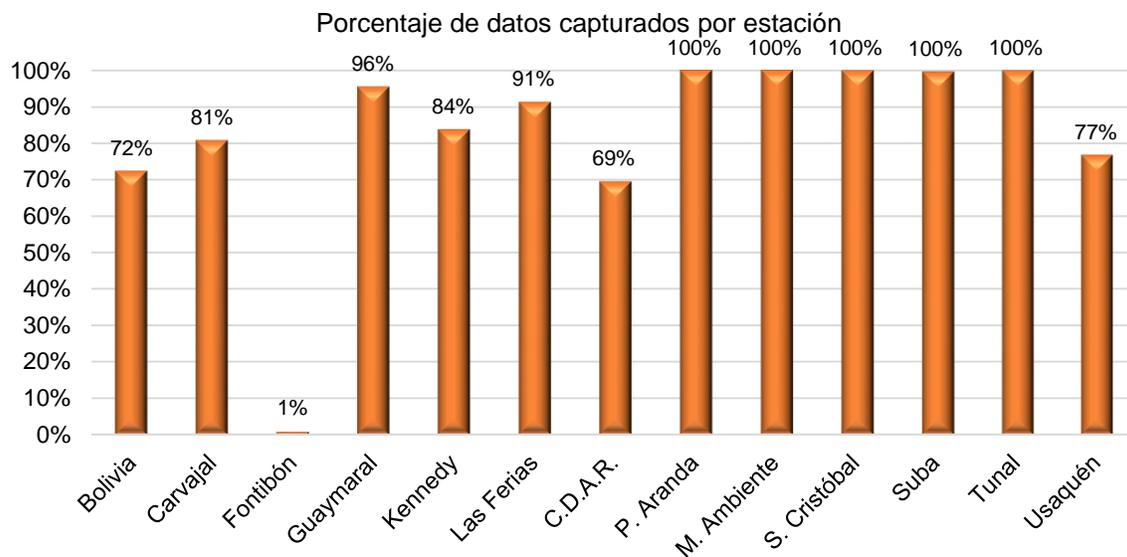


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Tercer trimestre de 2014.

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

	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											72%							72%	72%	72%
Carvajal	93%	78%	93%	69%	93%	93%	0%	93%			93%							93%	93%	81%
Fontibón		1%		1%		1%	1%	1%			1%						1%	1%	1%	1%
Guaymaral		95%		95%	96%			96%	96%	96%	96%	96%	96%				96%	96%	96%	96%
Kennedy		100%	82%		100%	0%	26%	100%			100%	100%	100%				100%	100%	100%	84%
Las Ferias		71%	93%	93%	93%	93%	93%	93%			93%	93%					93%	93%	93%	91%
C.D.A.R.		86%	85%	78%	72%	37%	86%	86%			86%	86%	86%	0%	0%	86%		86%	86%	69%
P. Aranda		100%		100%	100%	100%	100%	100%			100%							100%	100%	100%
M. Ambiente		100%	100%	100%							100%							100%	100%	100%
S. Cristóbal		100%	100%	100%		99%	100%	100%			100%	100%	100%					100%	100%	100%
Suba		100%	100%	100%	100%		100%	100%			100%							100%	100%	100%
Tunal		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%			100%	100%	100%					100%	100%	100%
Usaquén		77%	76%	75%		76%		77%			77%							77%	77%	77%
<b>Total</b>	<b>93%</b>	<b>84%</b>	<b>92%</b>	<b>83%</b>	<b>94%</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>	<b>86%</b>	<b>96%</b>	<b>96%</b>	<b>86%</b>	<b>96%</b>	<b>96%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>86%</b>	<b>72%</b>	<b>86%</b>	<b>86%</b>	<b>83%</b>

## 2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el tercer trimestre de 2014 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 73%. Este valor es inferior 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)<sup>4</sup>. Las causas de este bajo porcentaje se explican a continuación.

De acuerdo a la Figura 2-3, el material particulado total (TSP) presentó un porcentaje nulo de datos válidos (0%), lo cual se debe a fallas en el funcionamiento del equipo en Carvajal que dio lugar a la invalidación de la totalidad de la serie trimestral. El material particulado PM<sub>10</sub>, los gases dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y la presión barométrica presentaron porcentajes de datos válidos capturados inferiores a 75%.

La Tabla 2-2 corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. Con respecto al PM<sub>10</sub>, los monitores de Las Ferias y San Cristóbal presentaron inconvenientes en el funcionamiento de las respectivas bombas de flujo, razón por la cual parte de los datos fueron invalidados. En Centro de Alto Rendimiento la invalidación fue atribuida a fallas en el sensor externo de temperatura que impidió una correcta medición del material particulado.

Una proporción apreciable de los datos de dióxido de nitrógeno en Carvajal, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento fue invalidada. Los analizadores de Carvajal y Las Ferias requieren de una revisión en los convertidores catalíticos y en los tubos fotomultiplicadores. Además, Carvajal presentó fallas en el flujo de la respectiva bomba. En Centro de Alto Rendimiento igualmente se presentaron fallas en la bomba de flujo, la cual fue reemplazada en el mes de septiembre. Para el monóxido de carbono y el dióxido de azufre, las causas se deben principalmente a la captura de datos, cuyos detalles se proporcionaron en la sección anterior.

La Figura 2-4 muestra que Bolivia, Carvajal, Fontibón, Kennedy, Centro de Alto Rendimiento y Usaquén presentaron porcentajes de datos capturados válidos inferiores a 75%. Las causas de estos descensos fueron explicadas previamente con excepción de Usaquén, donde el equipo de medición de monóxido de carbono presentó inconvenientes en el proceso de calibración y por esta razón una proporción alta de los respectivos datos fue invalidada. Las estaciones con los porcentajes más altos de datos válidos fueron Guaymaral, Ministerio de Ambiente, Suba y Tunal con valores por encima de 95%.

<sup>4</sup> El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.

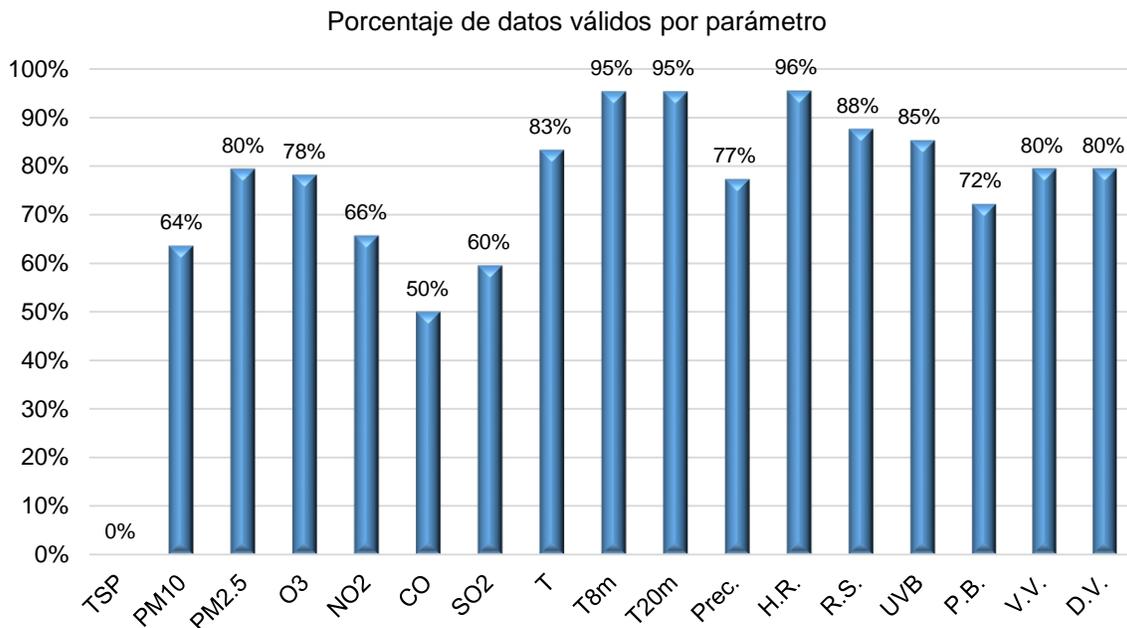


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Tercer trimestre de 2014.

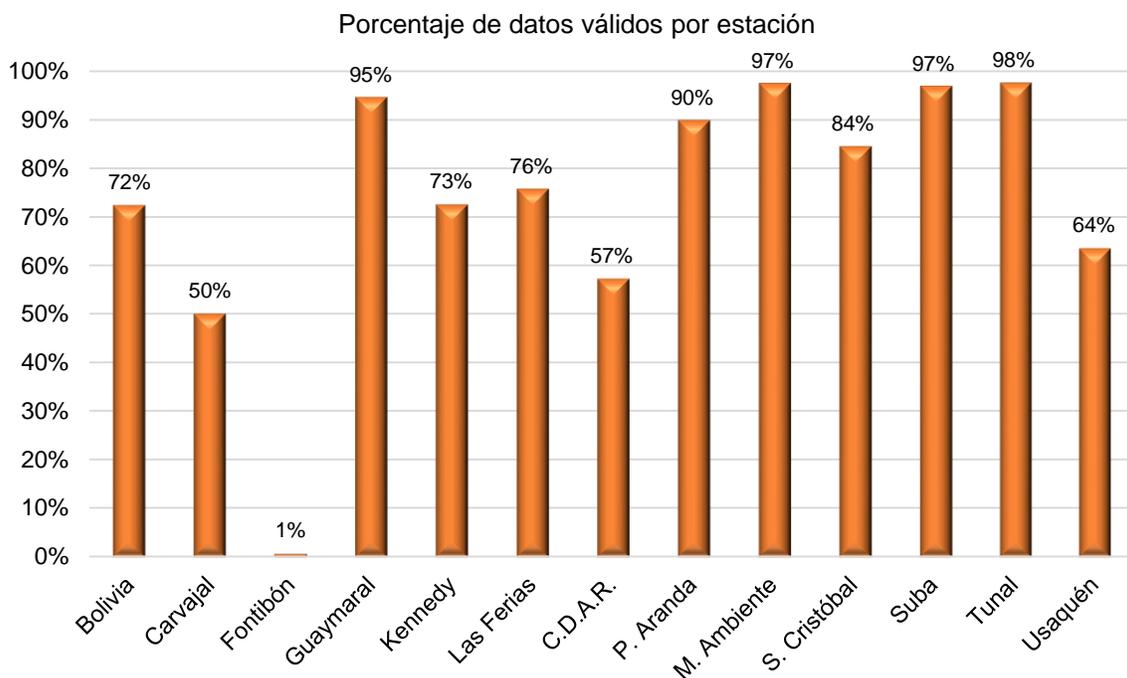


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Tercer trimestre de 2014.

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

	TSPPM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total	
<b>Bolivia</b>										72%							72%	72%	72%	
<b>Carvajal</b>	0%	70%	91%	59%	5%	60%	0%	67%		67%							67%	67%	50%	
<b>Fontibón</b>		1%		1%		1%	1%			1%						1%	1%	1%	1%	
<b>Guaymaral</b>		88%		95%	95%			95%	95%	95%	95%	93%				95%	95%	95%	95%	
<b>Kennedy</b>		79%	68%		99%	0%	0%	100%		32%	100%	99%				100%	97%	97%	73%	
<b>Las Ferias</b>		33%	78%	62%	25%	93%	74%	93%		79%	93%					93%	93%	93%	76%	
<b>C.D.A.R.</b>		21%	61%	77%	20%	0%	84%	85%		85%	85%	85%	0%	0%	85%		85%	85%	57%	
<b>P. Aranda</b>		75%		100%	99%	99%	100%	100%		100%							68%	68%	90%	
<b>M. Ambiente</b>		96%	89%	99%						100%							100%	100%	97%	
<b>S. Cristóbal</b>		52%	99%	97%		78%	84%	100%		100%	100%	61%					79%	79%	84%	
<b>Suba</b>		90%	89%	99%	99%		96%	100%		100%							100%	100%	97%	
<b>Tunal</b>		99%	93%	98%	83%	99%	98%	100%		100%	100%	100%					100%	100%	98%	
<b>Usaquén</b>		60%	48%	75%		21%		76%		74%							76%	76%	64%	
<b>Total</b>	0%	64%	80%	78%	66%	50%	60%	83%	95%	95%	77%	96%	88%	0%	0%	85%	72%	80%	80%	73%

### 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 PM<sub>10</sub>, el PM<sub>2.5</sub> y TSP; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub> y la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el tercer trimestre de 2014 contó con 12 estaciones que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentado en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

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

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

Resultan de interés las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub>, 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<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM<sub>10</sub> se controla con 100 µg/m<sup>3</sup> y el anual con 50 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

De acuerdo a lo presentado en el capítulo de operatividad, durante el tercer trimestre de 2014 la RMCAB no contó con datos válidos de concentración de partículas suspendidas totales (PST) en la estación Carvajal. La información relacionada con las tendencias de los periodos y años anteriores puede ser consultada en informes publicados previamente.

### 3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM<sub>10</sub>.

Para el monitoreo de este contaminante, la RMCAB contó en el tercer trimestre de 2014 con 11 equipos, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1. Como se ha mencionado previamente, no se considera en los presentes análisis el monitor de la estación móvil ni de la estación Fontibón. Este último sitio de medición suspendió su operación desde principios del mes de julio debido a asuntos relacionados con el suministro eléctrico.

#### Comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> (24 h)

El comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m<sup>3</sup> 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.

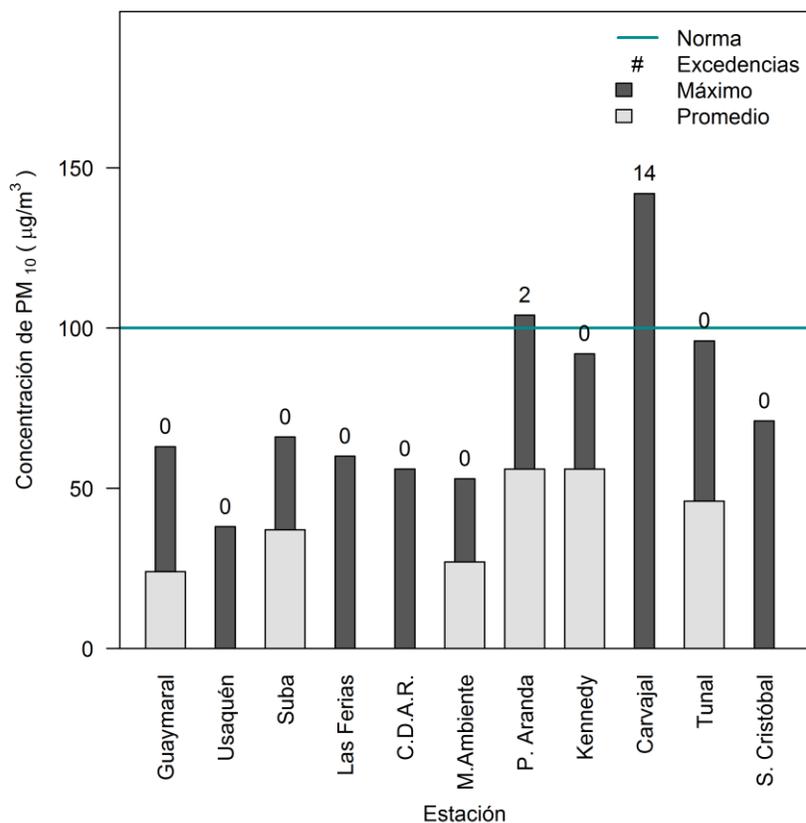
Las concentraciones máximas, el promedio trimestral y el número de excedencias se presentan en la Figura 3-1. Es importante aclarar que los promedios mostrados en esta Figura son meramente indicativos y no deben compararse con ningún límite normativo ya que no existe regulación para un tiempo de exposición de tres meses. La Tabla 3-1 resume los datos diarios de PM<sub>10</sub> para cada una de las estaciones de la RMCAB. De las 11 estaciones consideradas, 5 no cumplieron el criterio de cobertura temporal igual o superior a 75% y estas fueron Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Carvajal y San Cristóbal. Por esta razón, solamente se tendrán en cuenta los eventos diarios de estas estaciones y no sus concentraciones promedio trimestrales.

Del total de datos registrados el 2% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 16 valores en Puente Aranda (2) y Carvajal (14). En el año 2013 y los dos primeros trimestres de 2014 Puente Aranda no registró excedencias, evidenciando que en el tercer trimestre de 2014 ocurrió un caso infrecuente en términos de seguimiento de la historia de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en la RMCAB. Igualmente es atípico el caso de Kennedy que no registró excedencias a diferencia de periodos anteriores.

La mayoría de concentraciones máximas fueron reportadas en el mes de septiembre y las demás en julio. El 17 de septiembre de 2014 tres estaciones coincidieron en el registro de concentraciones máximas del trimestre. Estas fueron Las Ferias, Puente Aranda y Tunal con valores de 60 µg/m<sup>3</sup>, 104 µg/m<sup>3</sup> y 96 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente. La distancia existente entre estas tres estaciones sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel ciudad. Otros dos días de coincidencia de registros máximos fueron el 3 de julio y el 2

de septiembre con registros en las estaciones Usaquén y Suba y Kennedy y San Cristóbal, respectivamente, revelando episodios de alta concentración en el norte y el sur de la ciudad. La máxima concentración registrada por la RMCAB en el trimestre fue  $142 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 29 de julio de 2014 en Carvajal.

En el tercer trimestre de 2013 se registraron en total 30 excedencias en Guaymaral, Kennedy y Carvajal, en contraste con 16 del tercer trimestre de 2014. Esta diferencia podría sugerir una mejor calidad del aire en el periodo de 2014 en términos de este contaminante. Sin embargo, es importante considerar que la representatividad temporal de 5 estaciones es inferior a 75% y que Fontibón no estuvo en operación atendiendo a razones logísticas.



**Figura 3-1.** Concentraciones promedio, número de excedencias y máximos de  $\text{PM}_{10}$  por estación durante el tercer trimestre de 2014. 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.

**Tabla 3-1.** Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos diarios de PM<sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio aritmético (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>	Excedencias de la norma 100 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma <sup>6</sup>	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	79	86%	24	0	0	0	63	30/09/2014
Usaquén	54	59%	N.R.	0	0	0	38	03/07/2014
Suba	83	90%	37	0	0	0	66	03/07/2014 y 21/08/2014
Las Ferias	30	33%	N.R.	0	0	0	60	17/09/2014
Centro de Alto Rendimiento	18	20%	N.R.	0	0	0	56	26/09/2014
MinAmbiente	88	96%	27	0	0	0	53	19/09/2014
Puente Aranda	70	76%	56	2	3	0	104	17/09/2014
Kennedy	71	77%	56	0	0	1	92	02/09/2014
Carvajal	64	70%	N.R.	14	22	9	142	29/07/2014
Tunal	91	99%	46	0	0	1	96	17/09/2014
San Cristóbal	46	50%	N.R.	0	0	0	71	02/09/2014

N.R.: no representativo.

Las tendencias observadas indican que las localidades más afectadas por concentraciones altas de PM<sub>10</sub> en el tercer trimestre de 2014 fueron las ubicadas en el suroccidente y sur de la ciudad, especialmente Kennedy, Bosa, Puente Aranda y Tunjuelito y las menos afectadas fueron las ubicadas al norte y al oriente. Es importante destacar las diferencias considerables en concentración máxima y número de excedencias entre la estación Carvajal y el conjunto formado por los demás receptores. Esto se debe al número de actividades que se desarrollan en este sector causantes de la emisión de material particulado por fuentes fijas industriales y fuentes móviles, especialmente vehículos de carga pesada. Este resultado destaca la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios globales. Es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis.

Se destaca la última columna de la Tabla 3-1 que muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, es decir, mayores a 90 µg/m<sup>3</sup> y menores o iguales a 100 µg/m<sup>3</sup>. 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. Es importante destacar que Puente Aranda no registra valores en este rango a pesar de tener dos concentraciones superiores a 100 µg/m<sup>3</sup>. Kennedy y Tunal superaron el 90% de la normatividad, cada una con un valor dentro de este rango, demostrando su potencial a presentar excedencias.

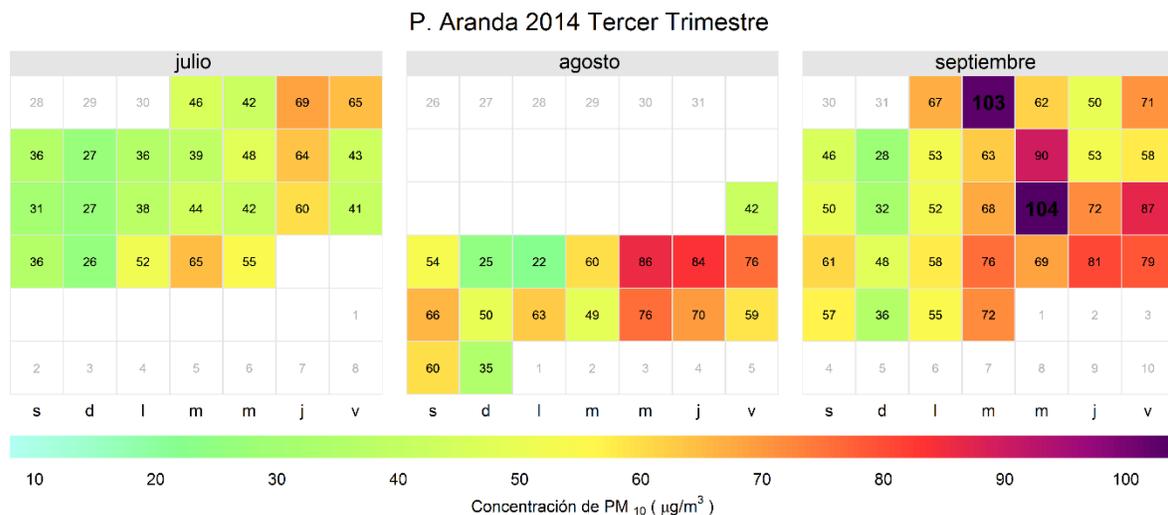
<sup>5</sup> Estos promedios no deben compararse con los límites normativos de la Resolución 610 de 2010 al estar en base trimestral.

<sup>6</sup> Mayor a 90 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 100 µg/m<sup>3</sup>.

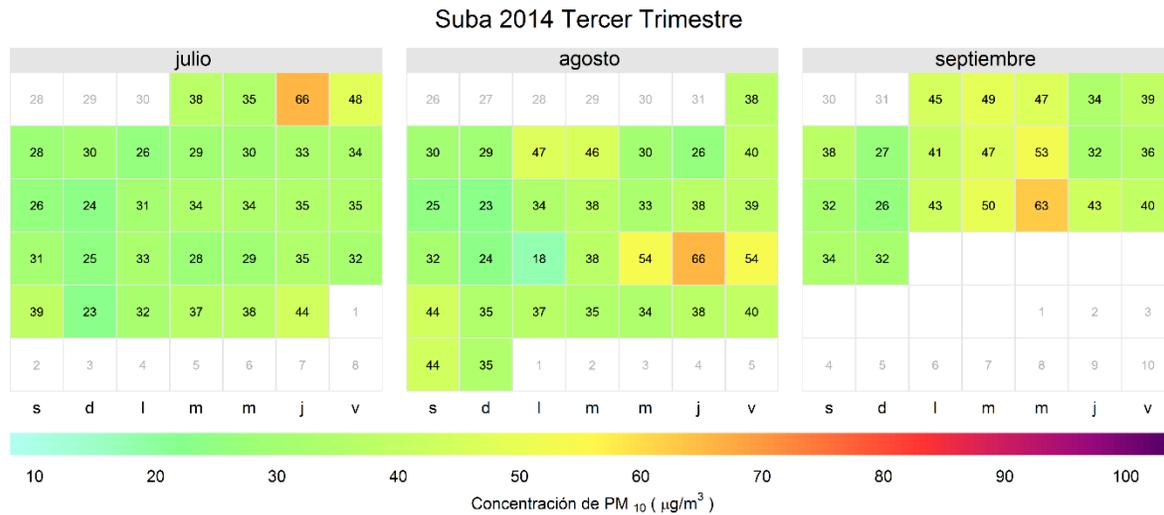
### Calendario de contaminación por PM<sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014

La Figura 3-2, la Figura 3-3 y la Figura 3-4 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Puente Aranda, Suba y Guaymaral, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. Se observa que el mes de septiembre para Puente Aranda fue el único que presentó excedencias con 103  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 104  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el 2 y el 17 de septiembre, respectivamente. El mes de julio muestra una mejor calidad del aire con concentraciones menores. No se tiene información de los primeros 14 días de agosto y por esta razón no es posible generalizar las tendencias de PM<sub>10</sub> en dicho mes.

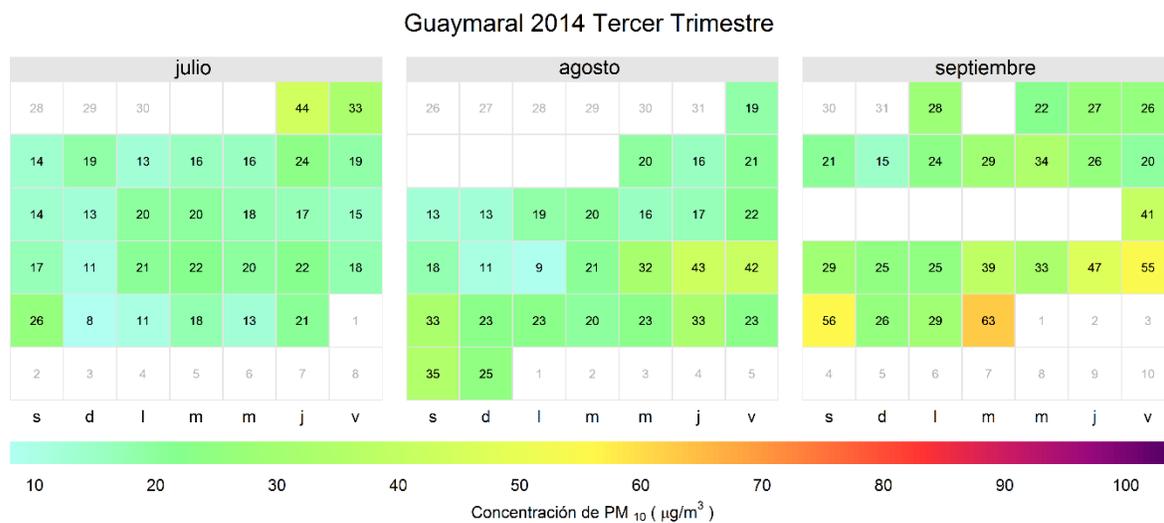
En Suba, el máximo valor fue 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual fue registrado en dos oportunidades en julio y agosto. En Guaymaral las concentraciones estuvieron en valores relativamente bajos con excepción del 30 de septiembre, fecha en la que se presentó un máximo de 63  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se observa que las menores concentraciones son observadas en el mes de julio.



**Figura 3-2.** Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Puente Aranda. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan los dos días de septiembre que superaron el límite normativo de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 3-3.** Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.



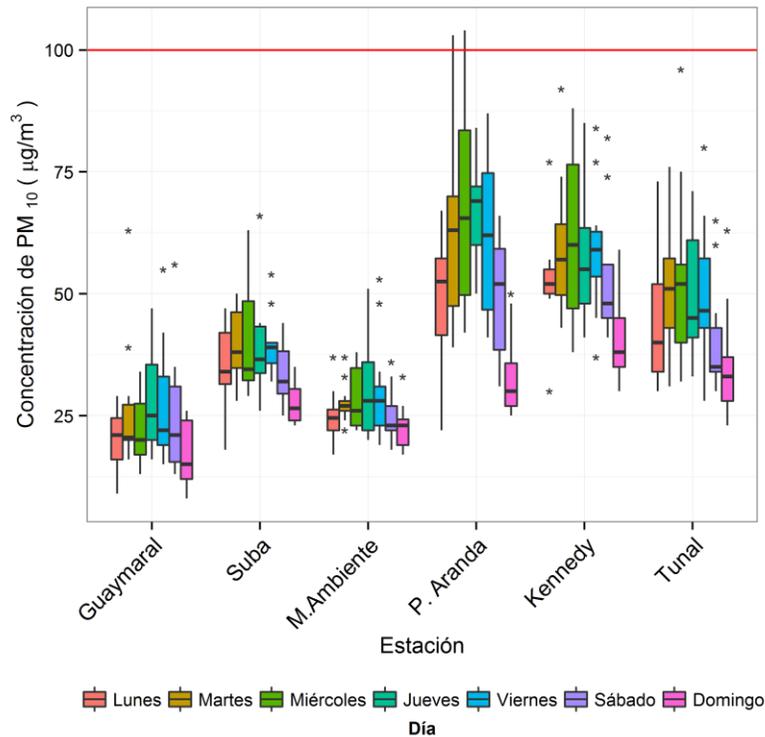
**Figura 3-4.** Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

### Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub>

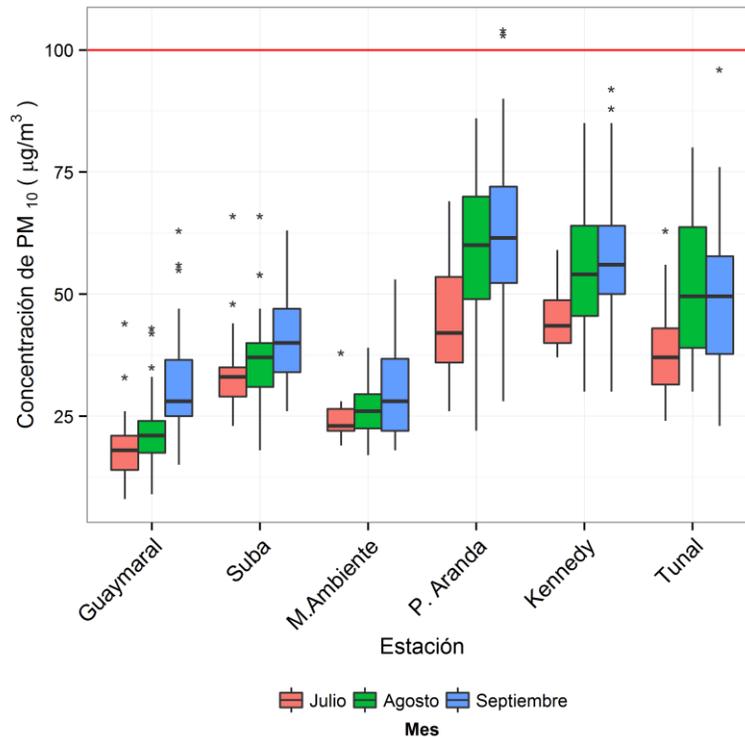
La Figura 3-5 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en función de los días de la semana. En las seis estaciones analizadas se observa que los lunes y los domingos son los días con las menores concentraciones, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad vehicular e industrial. Dos concentraciones en el trimestre superaron el límite normativo establecido en 100 µg/m<sup>3</sup> como se observa en Puente Aranda. Estos datos no se consideran atípicos en los diagramas de caja al encontrarse dentro de 1,5 veces el rango

intercuartílico. Los mayores niveles de dispersión se observan en Puente Aranda y Kennedy, caracterizadas por alta actividad en sus alrededores.

La distribución de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-6. En general las concentraciones son menores en el mes de julio y mayores en septiembre. Esta diferencia se atribuye principalmente al comportamiento de la velocidad de los vientos durante el trimestre con mayor ventilación a mediados de año y, por tanto, menores concentraciones. Julio es el mes con menor dispersión en sus datos diarios (rango intercuartílico menor).



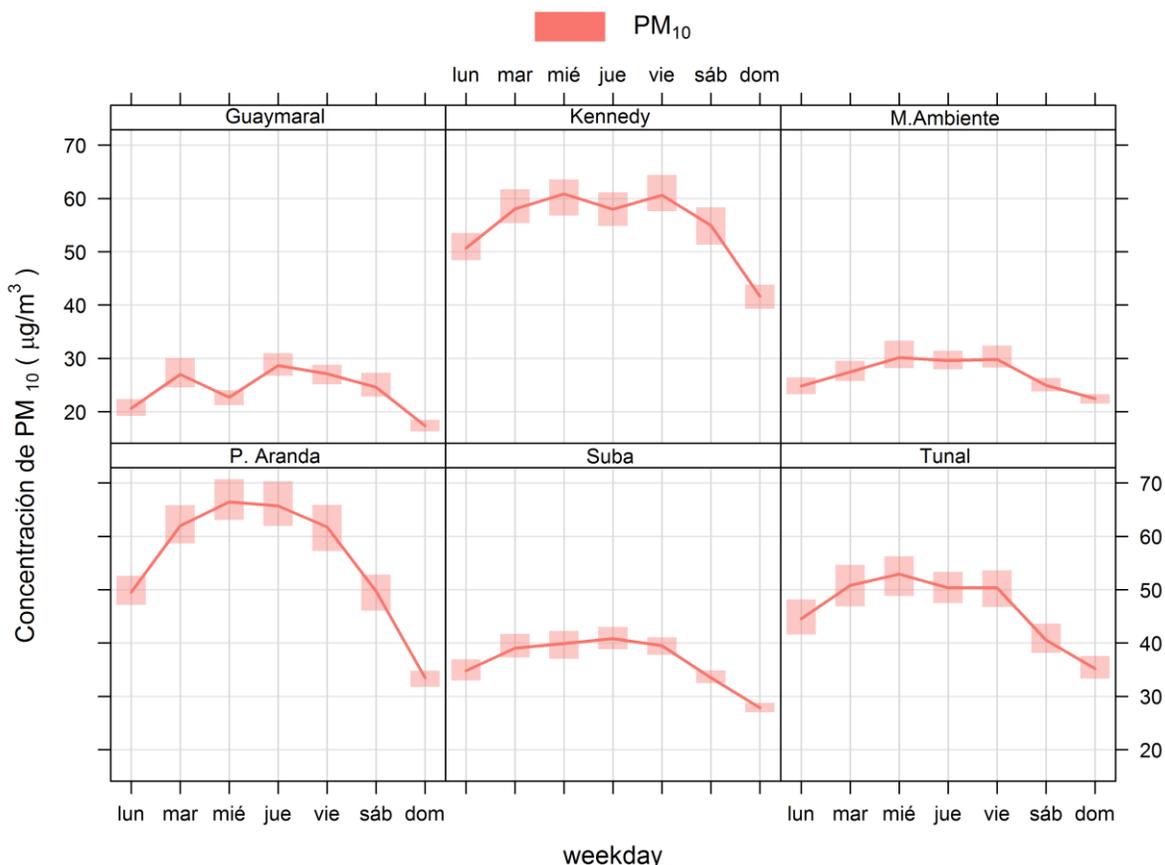
**Figura 3-5.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en función de la estación de monitoreo y del día de la semana para el tercer trimestre de 2014.



**Figura 3-6.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en función de la estación de monitoreo y de los meses de julio, agosto y septiembre para el tercer trimestre de 2014.

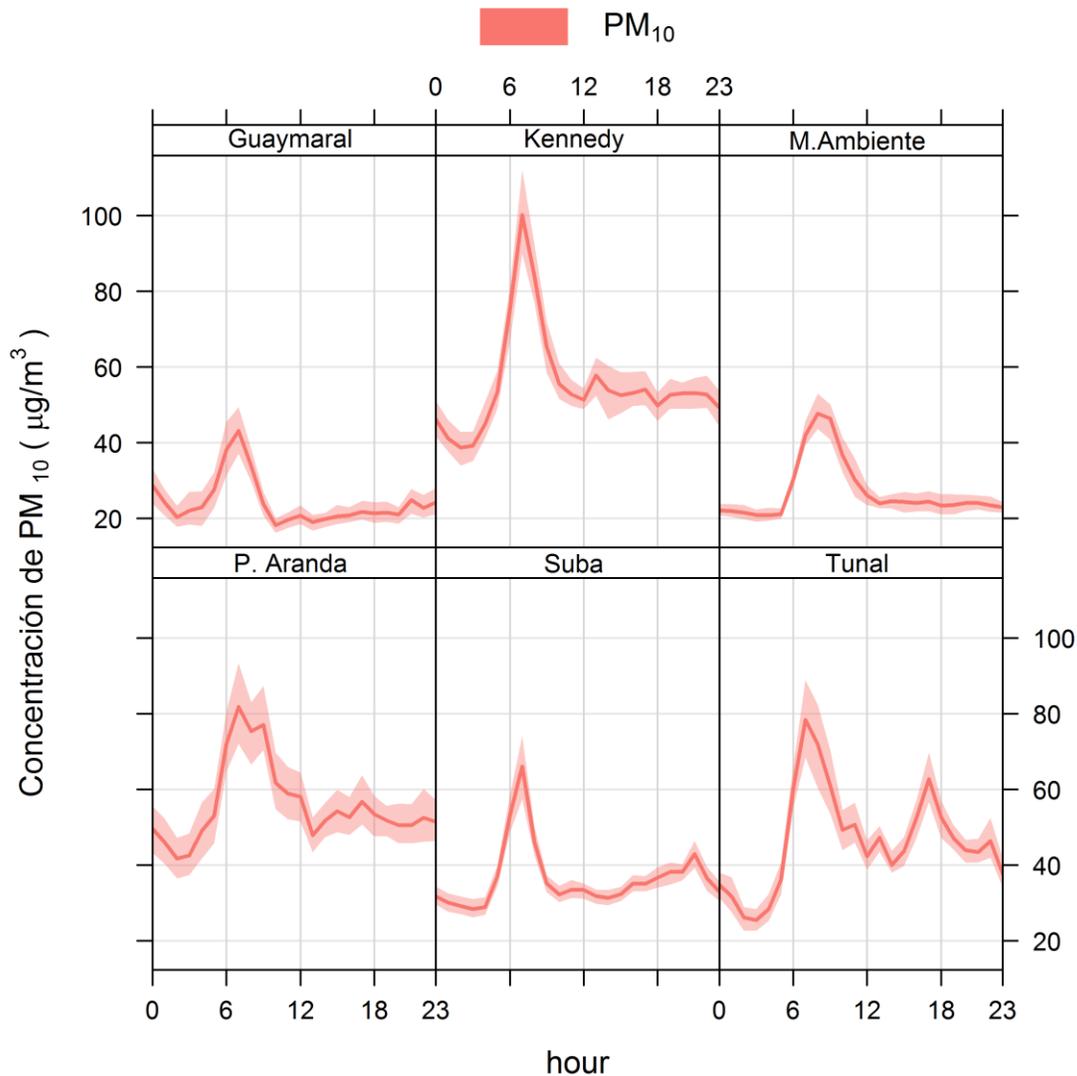
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM<sub>10</sub>

La Figura 3-7 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de PM<sub>10</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. Usualmente los domingos reportan las menores concentraciones de este contaminante en todas las estaciones lo cual es concordante con el cambio de la dinámica de la ciudad. Los lunes y los sábados son los siguientes días con bajas concentraciones. Los lunes por la presencia de días feriados y por la influencia de la capa residual del día anterior y los sábados por el cambio en la dinámica de la ciudad al enmarcarse dentro del fin de semana. El comportamiento entre martes y viernes varía en función de la estación de monitoreo. El ciclo más variable se presentó en la estación Puente Aranda mientras que el más uniforme en Ministerio de Ambiente. La variación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el transcurrir de la semana está altamente influenciada por las características de los alrededores de cada estación.



**Figura 3-7.** Comportamiento de la concentración de PM<sub>10</sub> en el ciclo semanal para 6 estaciones de la RMCAB. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Aunque no existe normatividad de PM<sub>10</sub> para tiempos de exposición de una hora, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones medias horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron esta variable. La Figura 3-8 presenta los ciclos diarios por estación, en donde se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m. con magnitudes variables, donde la mayor se observa en Kennedy y la menor en Guaymaral. Estas tendencias evidencian la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada “hora pico” en la mañana. Tunal registra un pico adicional en horas de la tarde el cual es menos pronunciado en comparación al de la mañana y está asociado a la influencia de las fuentes móviles.

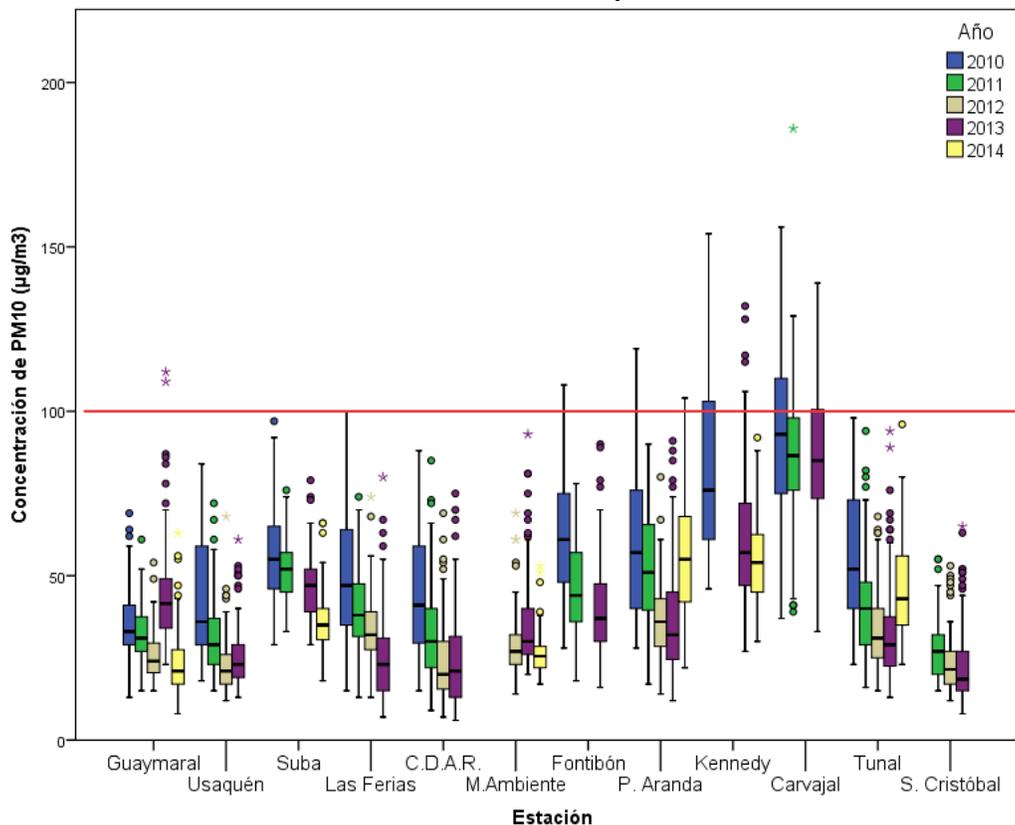


**Figura 3-8.** Ciclo diario de PM<sub>10</sub> para 6 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

### Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM<sub>10</sub>

La Figura 3-9 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. En estos periodos se observa que las estaciones con las mayores concentraciones y excedencias a la normatividad nacional son Carvajal, Kennedy y Puente Aranda debido a la influencia de sus alrededores caracterizados por la presencia de una alta actividad de fuentes móviles así como de fuentes industriales. Por el contrario, las estaciones que registran los menores valores son Guaymaral, Usaquén, Ministerio de Ambiente y San Cristóbal. Estos cuatro sitios de medición en general reportan en general menor dispersión en sus respectivos datos.

En el tercer trimestre de 2014 se cuenta con seis estaciones con cobertura temporal suficiente para ser reportadas en el diagrama de cajas histórico. Con respecto al tercer trimestre de 2013, las concentraciones disminuyeron para Guaymaral, Suba, Ministerio de Ambiente y Kennedy mientras que estas aumentaron para Puente Aranda y Tunal. El aumento en estas dos estaciones contrasta con lo observado en los respectivos periodos de 2012 y 2013. En ambas estaciones se rompe la tendencia de descenso de concentración que se estaba registrando desde el año 2010. Se observa una disminución progresiva de los valores de concentración en las estaciones Suba y Tunal.



**Figura 3-9.** Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> por estación de monitoreo en los terceros trimestres de los años 2010 a 2014.

La Tabla 3-2 contiene un resumen de máximos históricos entre los terceros trimestres de los años 2010 a 2014. La estación Carvajal es la única que aparece en esta tabla al reportar de forma constante valores altos en estos periodos. El valor máximo histórico reportado fue 185 µg/m<sup>3</sup> el 2 de julio de 2011. No hay máximos históricos para los meses de agosto.

**Tabla 3-2.** Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	156	22/07/2010	Carvajal
2011	185	02/07/2011	Carvajal
2012	108	14/09/2012	Carvajal
2013	139	04/09/2013	Carvajal
2014	142	29/07/2014	Carvajal

### 3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM<sub>2.5</sub>

El límite normativo diario de PM<sub>2.5</sub> es 50 µg/m<sup>3</sup>. Durante el tercer trimestre de 2014, 9 estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. Se obtuvieron 665 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global de 80% entre las estaciones que registraron mediciones. Las principales fuentes de PM<sub>2.5</sub> incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014).

#### Comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> (24h)

La Figura 3-10 y la Tabla 3-3 contienen un resumen de concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias de la norma diaria para PM<sub>2.5</sub> en el tercer trimestre de 2014. Es importante destacar que estos promedios son indicativos y útiles para el análisis mutuo de las estaciones pero no son susceptibles de ser comparados con la normatividad nacional establecida en la Resolución 610 de 2010. Ninguna estación presentó excedencias al límite normativo diario de 50 µg/m<sup>3</sup> aunque Carvajal registró un máximo de 47 µg/m<sup>3</sup> y 3 datos por encima del 90% de la norma (45 µg/m<sup>3</sup>). Estos hechos demuestran que esta estación es propensa a presentar excedencias y es un comportamiento esperado teniendo en cuenta las fuentes de emisión localizadas en sus alrededores.

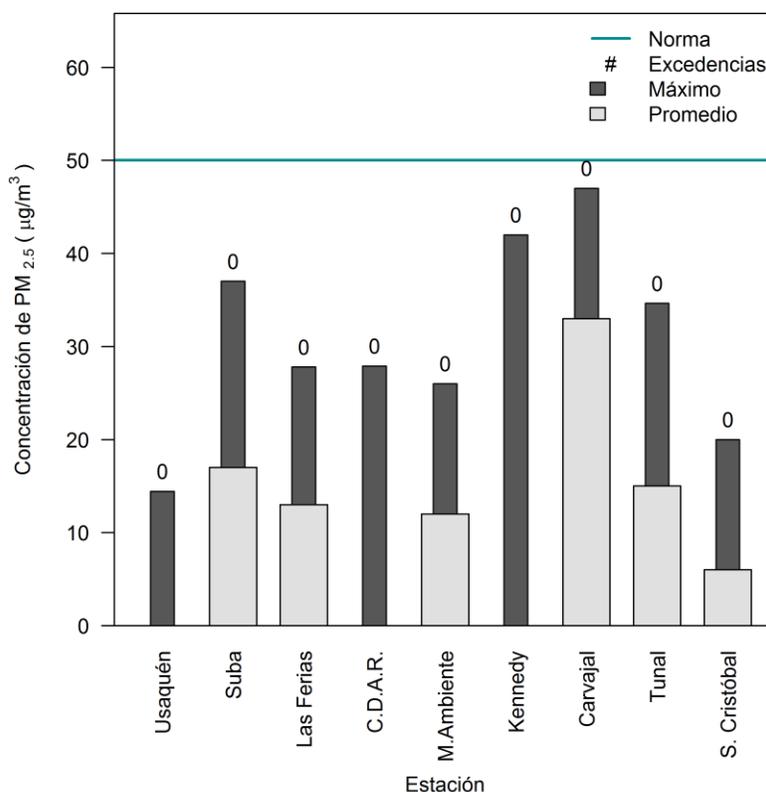


Figura 3-10. Máximo, promedio y excedencias de PM<sub>2.5</sub> en base diaria para el tercer trimestre de 2014.

Las mayores concentraciones se observan en Suba, Kennedy y Carvajal con valores de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Este último valor corresponde al máximo reportado por la RMCAB en el trimestre. En tres fechas se presentaron coincidencias en el reporte de concentraciones máximas las cuales fueron 21 de agosto, 2 de septiembre y 17 de septiembre, tal como se observa en la Tabla 3-3.

Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Kennedy no reportan promedios trimestrales al tener una representatividad temporal inferior a 75%. El menor promedio se observó en San Cristóbal con 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el mayor en Carvajal con 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estas diferencias revelan la alta heterogeneidad de la ciudad en términos de las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  y la dificultad de generalizar el comportamiento de la ciudad con promedios globales. Carvajal y Kennedy se caracterizan por ubicarse en un sector sujeto a actividades asociadas principalmente a industrias (fuentes fijas) y tráfico pesado (fuentes móviles), especialmente vehículos que usan diésel como combustible. Los resultados conjuntos de los análisis para  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  muestran que el suroccidente de la ciudad es la zona más contaminada por material particulado en la ciudad.

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

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio aritmético ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Excedencias norma 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma <sup>7</sup>
Usaquén	45	49%	N.R.	0	14	03/07/2014	0
Suba	82	89%	17	0	37	21/08/2014	0
Las Ferias	72	78%	13	0	28	26/09/2014	0
Centro de Alto Rendimiento	57	62%	N.R.	0	28	21/08/2014	0
MinAmbiente	82	89%	12	0	26	17/09/2014	0
Kennedy	61	66%	N.R.	0	42	02/09/2014	0
Carvajal	83	90%	33	0	47	10/09/2014	3
Tunal	91	99%	15	0	35	17/09/2014	0
San Cristóbal	92	100%	6	0	20	02/09/2014	0

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

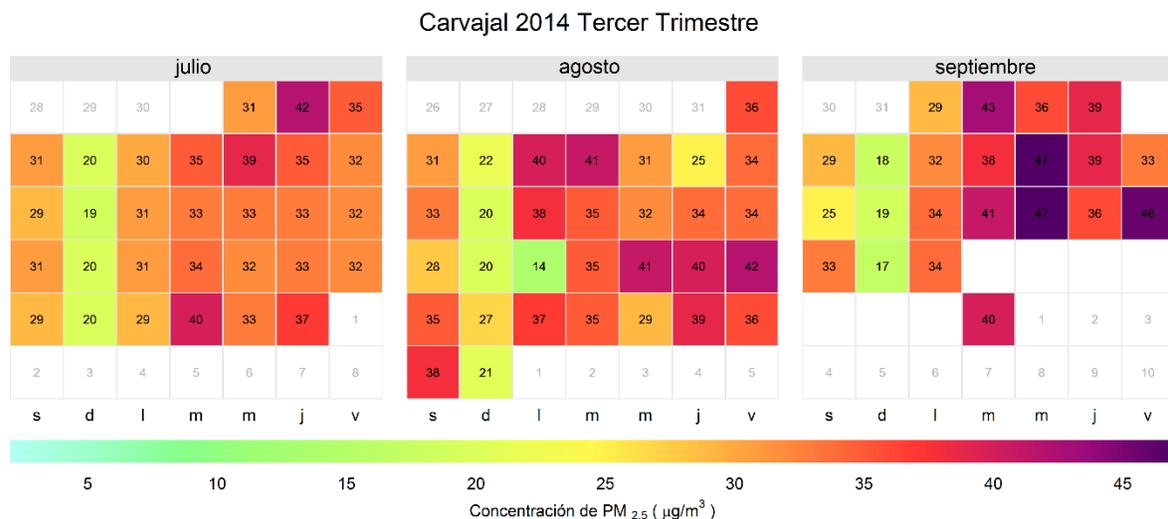
En el tercer trimestre de 2013 solamente se contó con información de la estación Kennedy en la cual no se presentaron excedencias, el porcentaje de representatividad fue 92%, el máximo correspondió a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el promedio trimestral a 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los datos de esta estación para el tercer trimestre de 2014 no permiten calcular un promedio trimestral dada

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

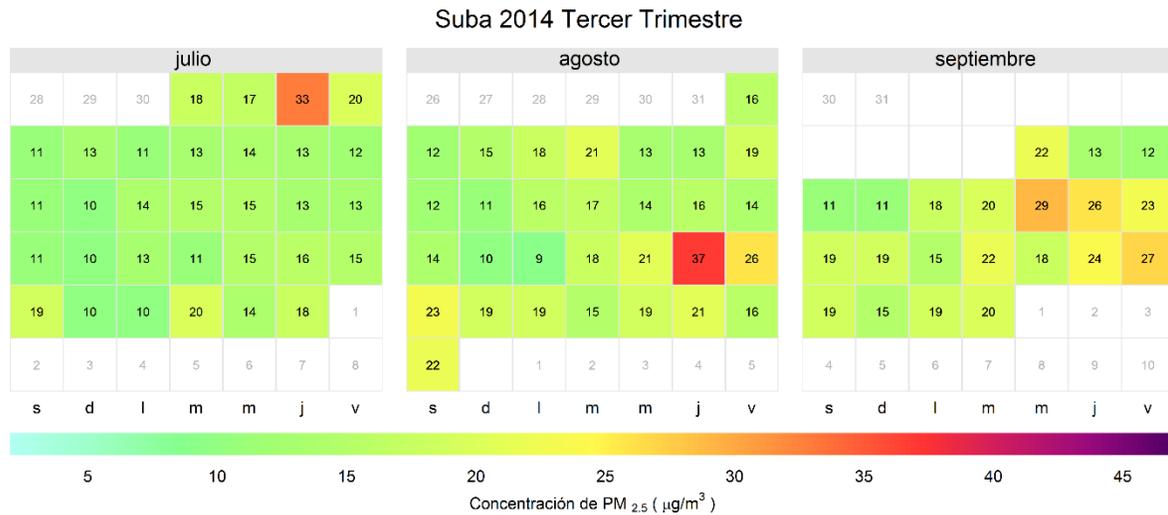
su baja cobertura temporal (66%). En este periodo se reportaron 0 excedencias y un máximo de 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### Calendario de contaminación por $\text{PM}_{2.5}$ durante el tercer trimestre de 2014

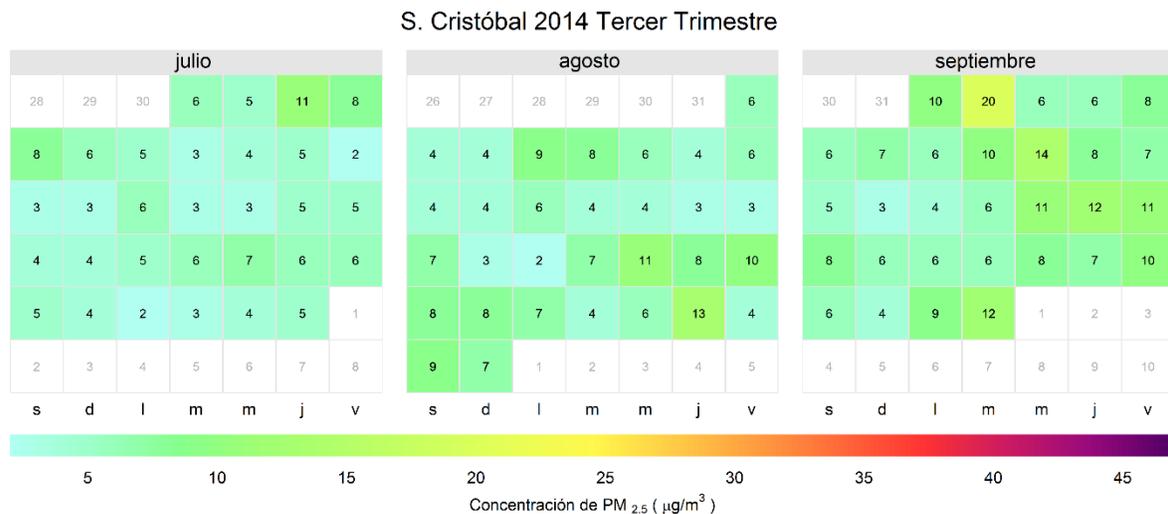
La Figura 3-11, la Figura 3-12 y la Figura 3-13 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{2.5}$  durante el tercer trimestre de 2014 en las estaciones con representatividad temporal suficiente y con concentraciones altas (Carvajal), concentraciones en rangos medios (Suba) y concentraciones bajas (San Cristóbal) mostrando el alto contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad, a pesar de no ocurrir excedencias. Se observa que en Carvajal dos días reportaron el máximo de la RMCAB en  $\text{PM}_{2.5}$  los cuales fueron el 10 y 17 de septiembre con un valor de 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos dos días y el 19 de septiembre con 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  estuvieron propensos a ser excedencias al estar en las cercanías del límite normativo de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El 21 de agosto marca un alto contraste en la estación Suba ya que la concentración respectiva de 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  difiere significativamente de las demás concentraciones del mes que oscilaron entre 9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 3-11.** Diagrama calendario para  $\text{PM}_{2.5}$  durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.



**Figura 3-12.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.



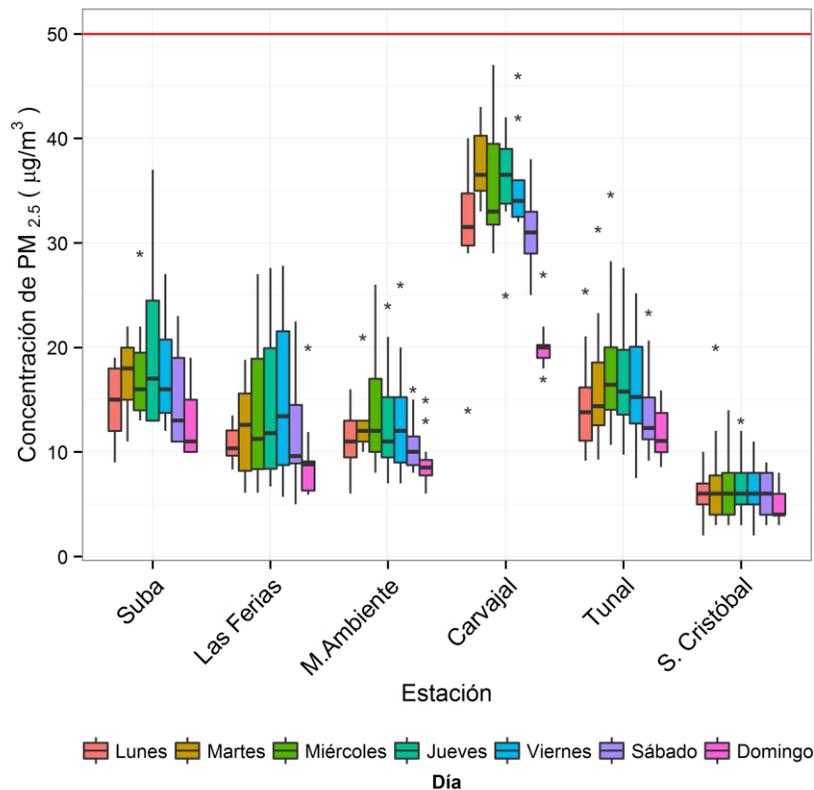
**Figura 3-13.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> durante el tercer trimestre de 2014 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

### Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>

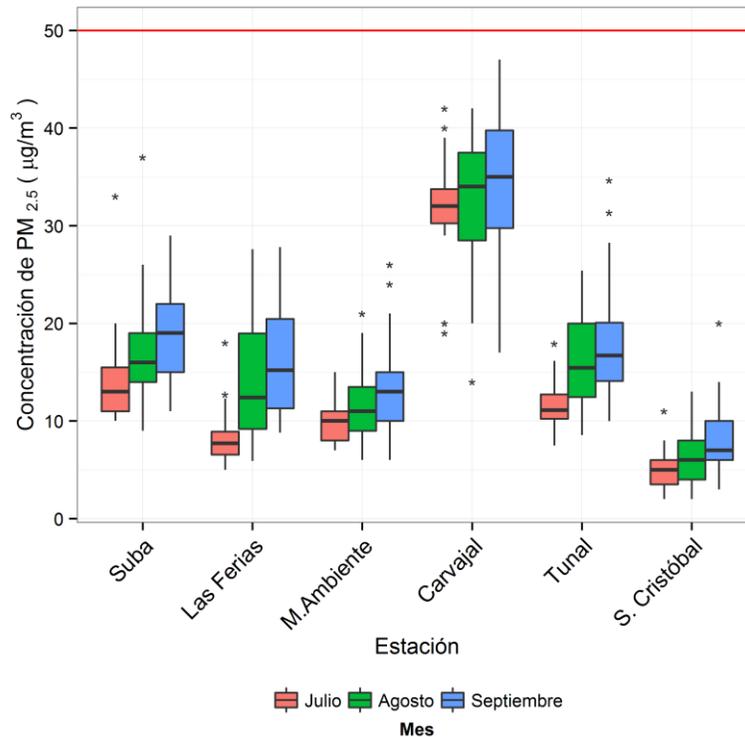
La Figura 3-14 contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente. El contraste de las concentraciones de la estación Carvajal respecto a los demás sitios de medición es notable al tener concentraciones significativamente altas. En todas las estaciones los lunes y los domingos presentaron las menores concentraciones, especialmente el domingo para Carvajal. Estos dos días son seguidos por los sábados. Las

mayores dispersiones se observan entre martes y viernes. El ciclo semanal de San Cristóbal es homogéneo y no permite establecer una diferenciación clara entre los días de la semana, especialmente entre martes y viernes.

El comportamiento en función de los meses de julio, agosto y septiembre se observa en la Figura 3-15. Para todas las estaciones, julio es el mes con los menores valores de concentración, los cuales se incrementan progresivamente hasta septiembre. Este comportamiento está asociado a la variación de la velocidad de los vientos durante el trimestre, las cuales tienden a ser mayores a mitad de año. En términos de dispersión, el mes de agosto presenta la mayor variabilidad de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>.



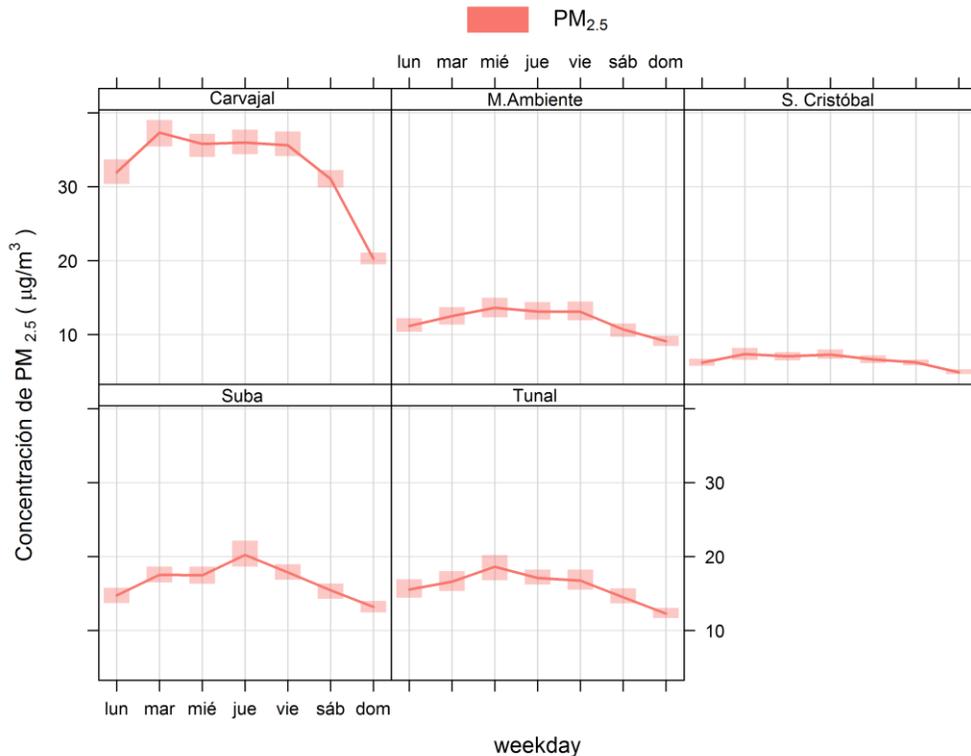
**Figura 3-14.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.



**Figura 3-15.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

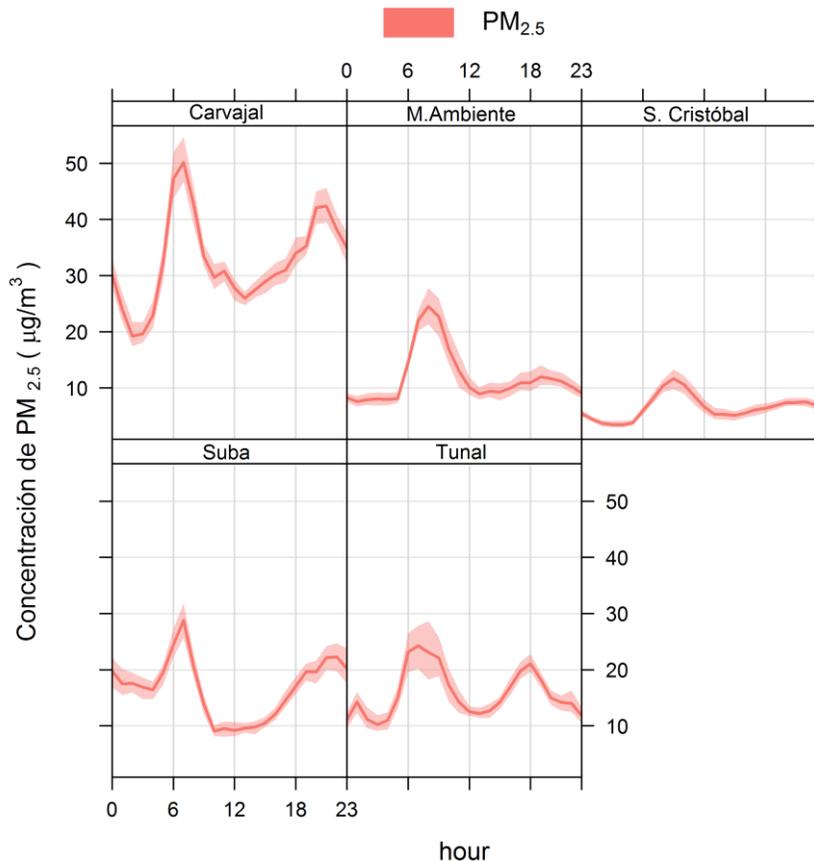
### Ciclo semanales y diarios de las concentraciones de $PM_{2.5}$

La Figura 3-16 presenta el perfil semanal de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Como se mencionó previamente, en todas las estaciones analizadas los lunes y los domingos presentaron las menores concentraciones. Carvajal tiene el ciclo más heterogéneo, caso contrario a lo que sucede en la estación San Cristóbal, donde no existe una diferencia significativa entre los días de la semana. Los intervalos de confianza de Carvajal son mayores respecto a las demás estaciones, lo cual se atribuye a la influencia y variabilidad de diversas fuentes e emisión (fijas y móviles).



**Figura 3-16.** Comportamiento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Los ciclos diarios de la Figura 3-17 evidencian la influencia de las fuentes móviles en la variación de las concentraciones horarias de PM<sub>2.5</sub>. En general se observan dos “horas pico” correspondientes a la mañana y a la tarde donde la primera tiene en general mayores magnitudes que la segunda. La magnitud de estos picos es variable dependiendo de las características específicas de cada una de las estaciones. En las estaciones Suba y Carvajal se observan picos que inician a las 7:00 p.m. y terminan en horas cercanas a las 9:00 p.m. Esta variación sugiere que en los alrededores de estas estaciones hay un aumento de circulación de vehículos, posiblemente de carga pesada. Las diferencias entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

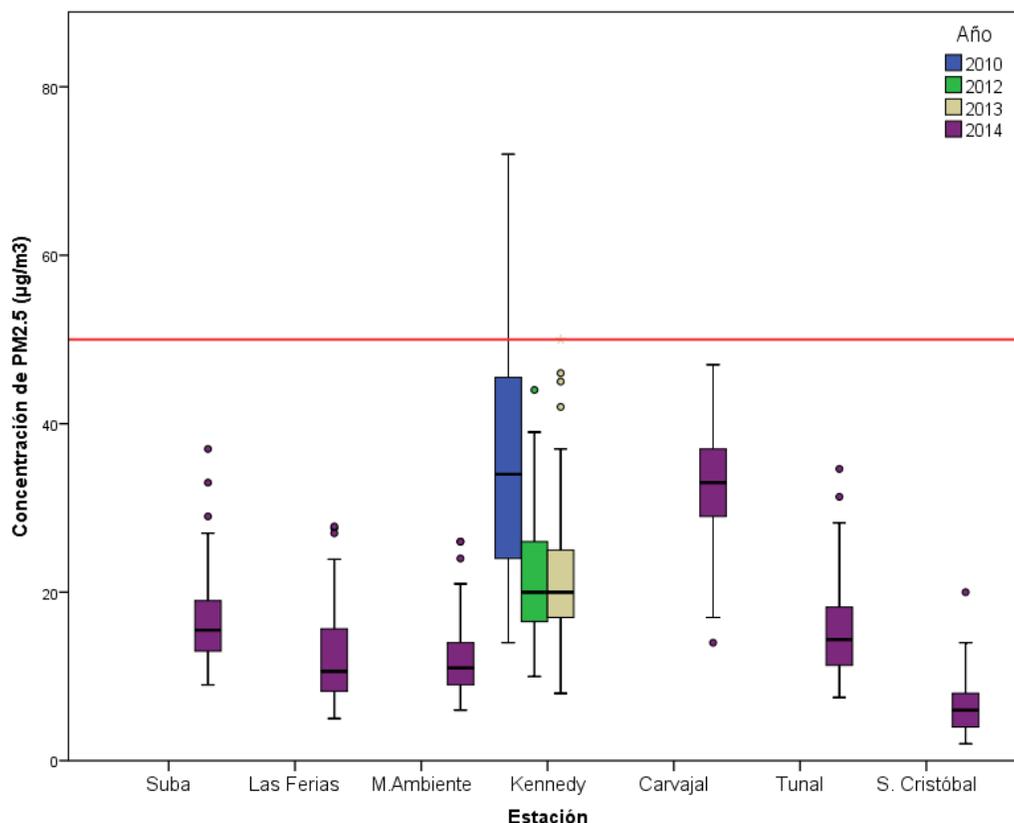


**Figura 3-17.** Ciclos diarios de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  por estación en el tercer trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

### Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis de las tendencias históricas es importante aclarar que los periodos entre 2010 y 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que el tercer trimestre de 2014 corresponde al análisis de 7 estaciones en conjunto (con cobertura temporal suficiente) teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 monitores adicionales iniciaron operación.

La Figura 3-18 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  por estación de monitoreo en los terceros trimestres de 2010, 2012, 2013 y 2014. Esta estación es la única para la que es posible realizar un análisis histórico. Se observa que las concentraciones en el año 2010 fueron significativamente más altas y dispersas en comparación con los terceros trimestres de 2012 y 2013. No se incluye el tercer trimestre de 2011 porque la estación Kennedy no presentó cobertura temporal suficiente; el mismo caso sucedió en el tercer trimestre de 2014. Las concentraciones del tercer trimestre de 2012 son levemente más altas que su contraparte de 2013.



**Figura 3-18.** Gráfico de *boxplot* de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente para los terceros trimestres de 2010, 2012, 2013 y 2014.

La Tabla 3-4 contiene un resumen histórico de máximos en los periodos considerados. Es importante destacar que en los periodos de 2010 a 2013 solamente existían mediciones válidas de Kennedy. El máximo valor histórico reportado en estos trimestres fue 72 µg/m<sup>3</sup> el 23 de agosto de 2010 en la estación Kennedy. En el tercer trimestre de 2014 Carvajal reportó la concentración máxima de la RMCAB con 47 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-4.** Resumen histórico de concentraciones máximas de PM<sub>2.5</sub> para los terceros trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010 y 2013.

Trimestre del año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	72	23/08/2010	Kennedy
2011	57	14/07/2011	Kennedy
2012	44	14/09/2012	Kennedy
2013	50	09/08/2013	Kennedy
2014	47	10/09/2014	Carvajal

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

La Tabla 3-5 muestra la relación de concentraciones entre material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el tercer trimestre de 2014 con cobertura temporal suficiente. Tres estaciones de la RMCAB cumplieron con estos criterios las cuales fueron Suba, Ministerio de Ambiente y Tunal.

La relación entre  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  muestra la fracción de  $PM_{10}$  que es  $PM_{2.5}$  y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. La fracción más alta se presentó en las estación Suba con 0,46 y la menor en Tunal con 0,33. Las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles y/o alta influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003). La baja relación en Tunal está posiblemente atribuida a una mayor influencia del material particulado emitido por resuspensión, el cual es generalmente más grueso que el emitido por las fuentes de combustión.

**Tabla 3-5.** Relación de concentraciones entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el tercer trimestre de 2014 y que tienen cobertura temporal suficiente.

Estación	$PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
Suba	17	37	0,46
Min. Ambiente	12	27	0,44
Tunal	15	46	0,33

### 3.2. Gases contaminantes

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

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

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

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

El  $SO_2$ , contaminante primario, es un gas incoloro y de olor picante e irritante, perceptible en concentraciones superiores a ~3 ppm. Se genera principalmente por la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Este gas puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su aspiración continua puede producir problemas respiratorios.

En las secciones que se presentan a continuación, las concentraciones de los gases serán reportadas en unidades de masa por unidad de volumen. En decir, las concentraciones de  $O_3$ ,  $NO_2$  y  $SO_2$  se presentarán en  $\mu g/m^3$  mientras que las correspondientes a CO en  $mg/m^3$ . El reporte en este sistema está acorde al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Teniendo en cuenta que en informes anteriores los resultados se reportaron en ppb y ppm, en el Anexo 2 se proporciona una tabla con los factores de conversión de unidades.

### 3.2.1. Comportamiento de la concentración de O<sub>3</sub>

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el tercer trimestre de 2014, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1. La estación Fontibón reporta una cobertura temporal reducida al salir de operación en el mes de julio.

#### Comportamiento de las concentraciones horarias de O<sub>3</sub>

Durante el tercer trimestre de 2014 se obtuvieron 18957 (dieciocho mil novecientos cincuenta y siete) promedios horarios válidos de O<sub>3</sub>, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 78% entre las estaciones que reportaron al menos una medición en el trimestre. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m<sup>3</sup> 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 3-6. La Figura 3-19 es un reflejo de la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

**Tabla 3-6.** Resumen descriptivo de datos de O<sub>3</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m <sup>3</sup>	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>8</sup>	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	95%	1	136	26/09/2014 15:00
Usaquén	75%	0	67	30/08/2014 16:00
Suba	99%	0	94	26/09/2014 15:00
Las Ferias	62%	0	87	18/09/2014 13:00
Centro de Alto Rendimiento	76%	0	84	26/09/2014 12:00
MinAmbiente	100%	0	98	28/09/2014 20:00
Fontibón	1%	0	29	01/07/2014 15:00
Puente Aranda	100%	0	58	30/08/2014 15:00
Carvajal	58%	0	51	04/08/2014 16:00
Tunal	98%	0	57	27/09/2014 16:00
San Cristóbal	96%	0	60	28/09/2014 20:00

La única excedencia de la normatividad nacional se presentó en la estación Guaymaral con una concentración de 136 µg/m<sup>3</sup> el 26 de septiembre a las 3:00 p.m., la cual evidentemente corresponde a la máxima concentración horaria de ozono en el tercer trimestre de 2014. En esta fecha dos estaciones más coincidieron en el reporte de máxima concentración las

<sup>8</sup> En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m<sup>3</sup> y µg/m<sup>3</sup> acordemente.

cuales son Suba y Centro de Alto Rendimiento a las 3:00 p.m. y 12:00 p.m., respectivamente. Los dos días siguientes tres estaciones adicionales reportaron valores máximos las cuales fueron Tunal el 27 de septiembre a las 4:00 p.m. y Ministerio de Ambiente y San Cristóbal a las 8:00 p.m. del 28 de septiembre. Las tendencias indican que estos tres días representaron un periodo particular de altos niveles de este contaminante, especialmente en el norte, centro y sur de la ciudad.

En términos de promedios trimestrales, Ministerio de Ambiente y Centro de Alto Rendimiento, ubicadas en el centro de la ciudad, reportaron los mayores valores. Esta tendencia difiere de las observadas en periodos anteriores donde generalmente el norte reporta los mayores promedios. Puente Aranda y Tunal por el contrario presentaron los menores valores.

En el tercer trimestre de 2013 no se presentaron excedencias del límite normativo horario mientras que en el presente periodo se presentó una única excedencia en Guaymaral. En términos comparativos y teniendo en cuenta esta criterio, se puede afirmar que la calidad del aire se mantuvo en niveles relativamente constantes.

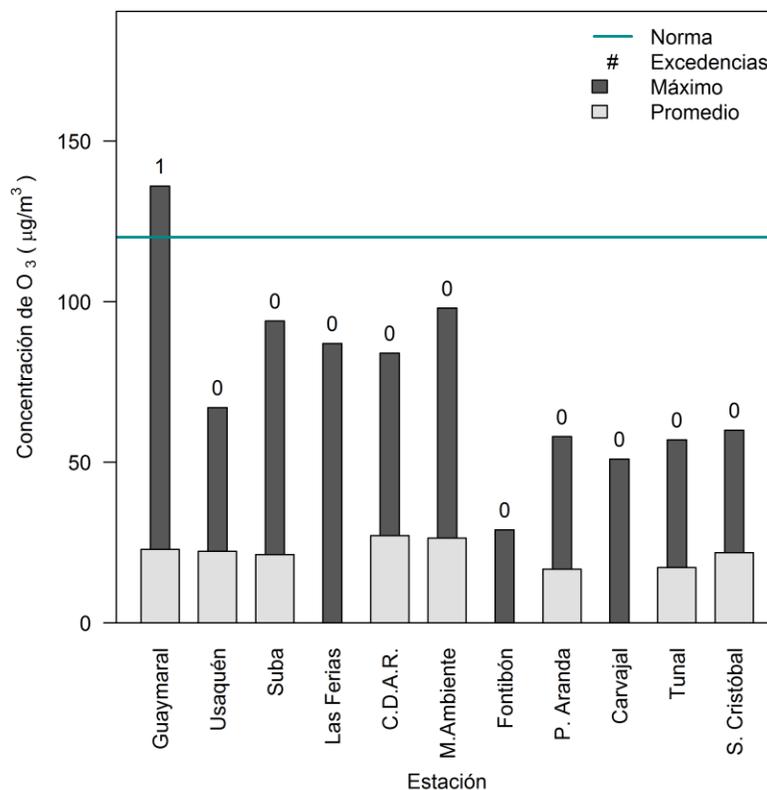


Figura 3-19. Concentración promedio, máximos y excedencias de la norma para O<sub>3</sub> en base horaria por estación durante el tercer trimestre de 2014.

### Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O<sub>3</sub>

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 18874 (dieciocho mil ochocientos setenta cuatro) promedios que representan el 78% del número máximo de datos que

podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el tercer trimestre de 2014. En esta base temporal no se presentaron excedencias del límite máximo permisible de 8 horas ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Resolución 610 de 2010). El resumen de porcentaje de datos válidos, excedencias y máximos se presenta en la Tabla 3-7. La Figura 3-20 presenta el mismo resumen en forma gráfica así como los promedios trimestrales. En el segundo trimestre de 2014 se presentaron 6 excedencias del límite normativo mientras que en el tercer trimestre de 2013 se presentaron 4 excedencias. En ambos casos se observa una mejora de la calidad del aire en el tercer trimestre de 2014.

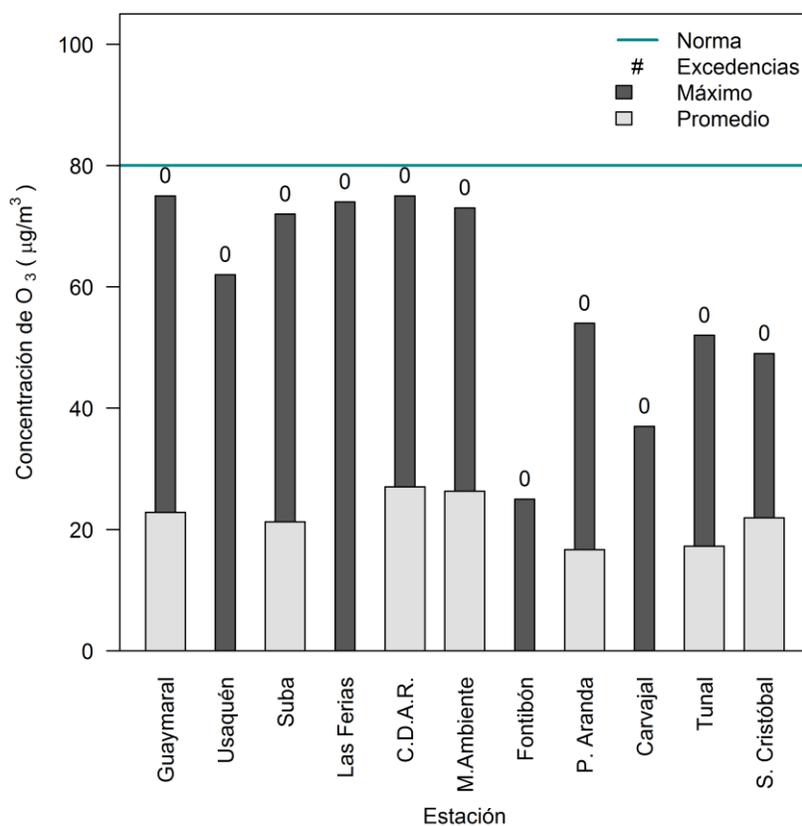
La concentración máxima reportada en la RMCAB en base temporal de promedios móviles de 8 horas fue  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (94% del límite normativo) el 26 de septiembre de 2014 a las 4:00 p.m. en la estación Guaymaral, mismo día de reporte de concentración máxima en base horaria (ver sección anterior). Este promedio resume las 8 horas anteriores que corresponden a horas de la mañana, pasando por el medio día hacia la tarde. Este mismo valor de concentración también se registró en Centro de Alto Rendimiento el 30 de agosto de 2014 a las 6:00 p.m.

En base de 8 horas, el 30 de agosto de 2014 cuatro estaciones coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas siendo estas Usaquéen, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y San Cristóbal donde la hora de reporte de la primera estación fue a las 8:00 p.m. y las demás a las 6:00 p.m. Los promedios móviles permiten suavizar las tendencias de las concentraciones horarias y visualizar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. Entre el 26 y el 30 de septiembre se evidencia un episodio similar de alta concentración en Guaymaral, Suba, Ministerio de Ambiente, Carvajal y Tunal, confirmando las tendencias observadas al analizar las concentraciones horarias así como un episodio de alta concentración a nivel ciudad.

La comparación con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o  $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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) muestra que en todo momento se cumplió con esta normatividad ya que la concentración máxima fue  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . El mismo caso sucede para la normatividad europea (European Commission - Environment, 2014) en la cual el límite máximo es  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para los *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)* de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2012) donde la norma para un tiempo de exposición de 8 horas es 75 ppb ( $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 3-7.** Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y respectivo periodo de ocurrencia de las concentraciones de O<sub>3</sub> en base 8 horas durante el tercer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8 h) 80 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	95%	0	0	75	26/09/2014 16:00
Usaquén	74%	0	0	62	30/08/2014 20:00
Suba	98%	0	0	72	26/09/2014 17:00
Las Ferias	61%	0	0	74	18/09/2014 17:00
Centro de Alto Rendimiento	76%	0	0	75	30/08/2014 18:00
MinAmbiente	100%	0	0	73	28/09/2014 21:00
Fontibón	1%	0	0	25	01/07/2014 16:00
Puente Aranda	100%	0	0	54	30/08/2014 18:00
Carvajal	56%	0	0	37	30/09/2014 17:00
Tunal	98%	0	0	52	29/09/2014 18:00
San Cristóbal	96%	0	0	49	30/08/2014 18:00



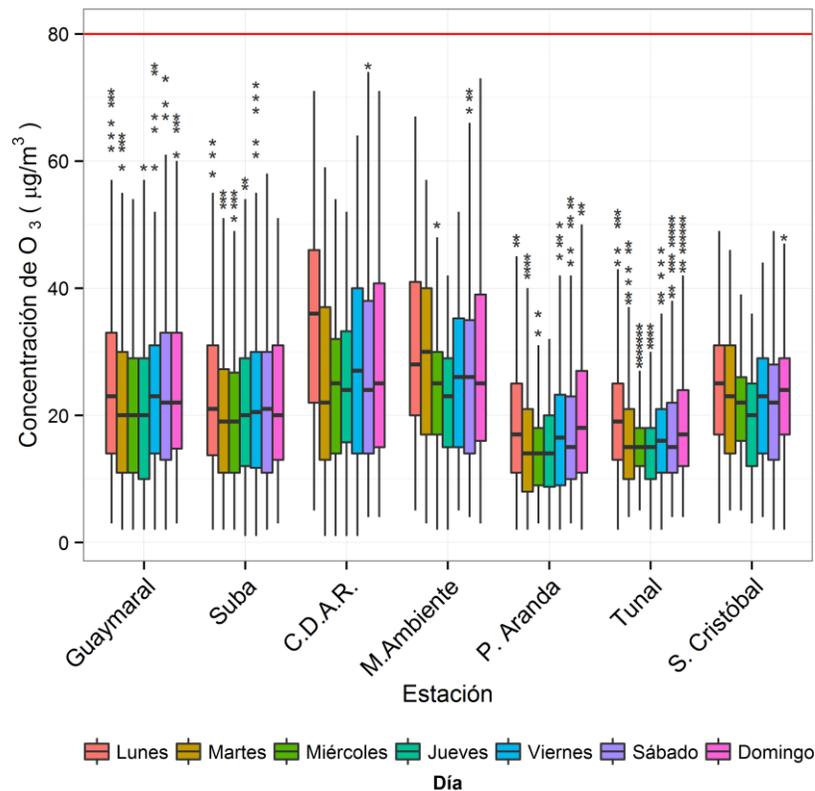
**Figura 3-20.** Concentración máxima, promedio trimestral y excedencias de la norma para O<sub>3</sub> en base 8 horas por estación durante el tercer trimestre de 2014.

### Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O<sub>3</sub>

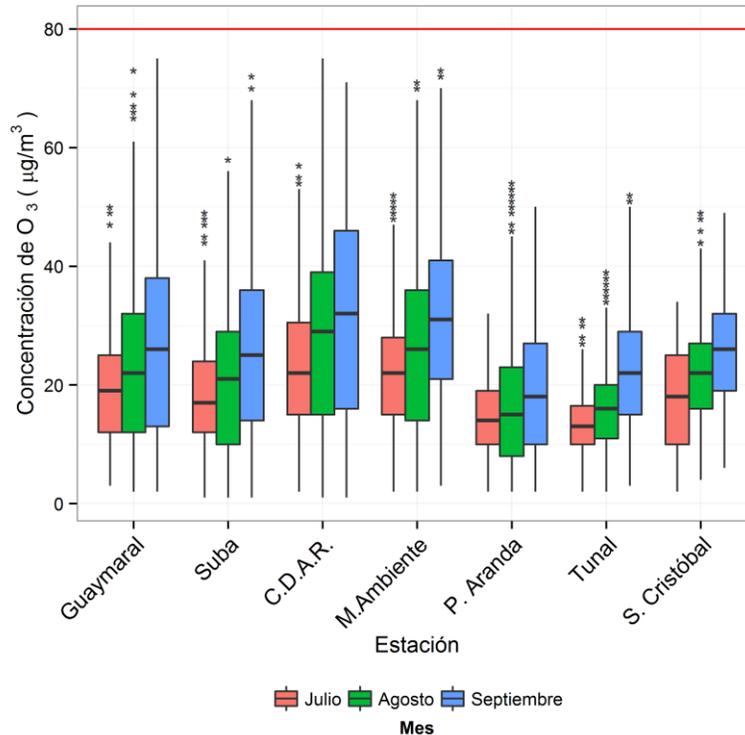
La Figura 3-21 presenta la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo. Las mayores concentraciones y niveles de dispersión se presentaron en las estaciones Ministerio de Ambiente y Centro de Alto Rendimiento ubicadas en el centro de la ciudad. Contrariamente, Puente Aranda y Tunal mostraron los niveles más bajos de concentración.

Los lunes y los domingos se destacan como los días con las concentraciones más altas de ozono, una tendencia contraria a lo que se observa para los demás contaminantes. Entre martes y jueves las concentraciones tienden a ser relativamente bajas.

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses de julio, agosto y septiembre se presenta en la Figura 3-22. Se observa una tendencia generalizada de aumento de valores de concentración con el transcurrir del trimestre al tener julio los valores más bajos y septiembre los más altos. En términos de dispersión se observa que los datos tienen una distribución más amplia en el mes de septiembre y menor en julio, con excepción de la estación San Cristóbal. La variación del comportamiento del ozono en la ciudad en función de los meses del presente trimestre está fundamentalmente asociada a la variación meteorológica intra-anual al aumentar la velocidad del viento a mediados de año y, consecuentemente, la dispersión de los contaminantes.



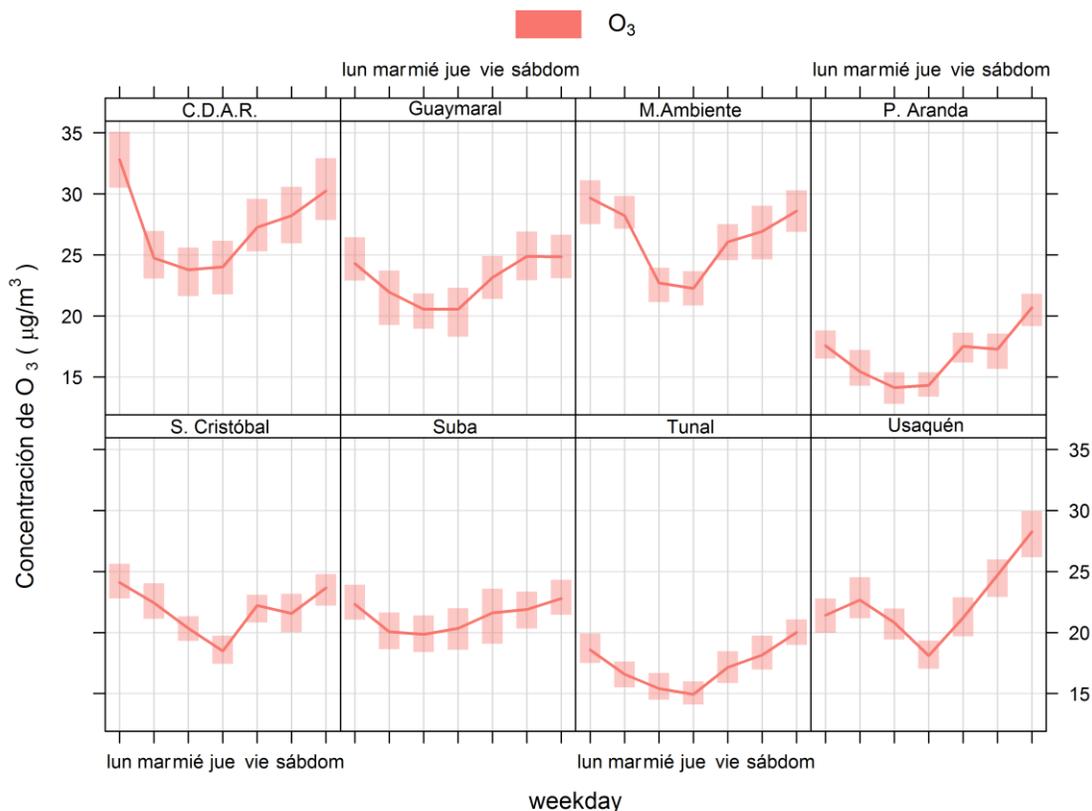
**Figura 3-21.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.



**Figura 3-22.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.

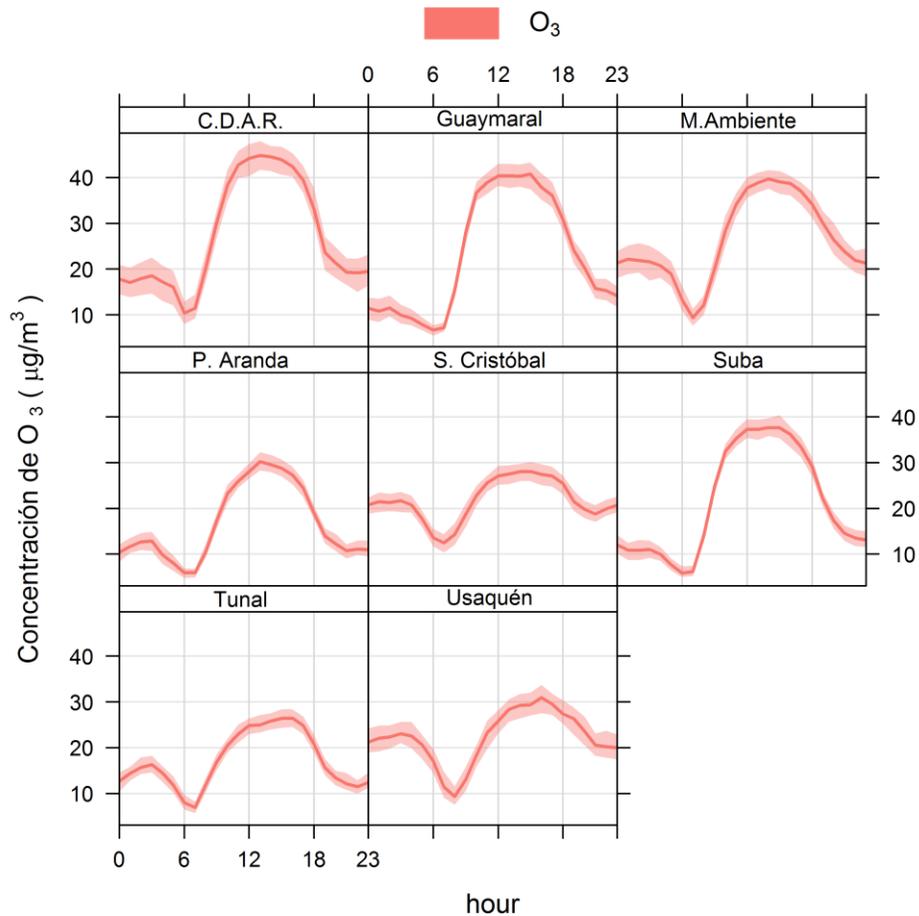
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de O<sub>3</sub>

La Figura 3-23 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. En la mayoría de los casos, las concentraciones más altas son observadas los lunes y los domingos. Usaquén marca una tendencia distinta al tener valores altos de concentración en los días martes. De forma similar a lo observado en los diagramas de caja de la sección anterior, el periodo entre martes y viernes presentó los menores valores de concentración. La tendencia semanal del ozono es en general contraria a la observada para los demás contaminantes en los cuales las mayores concentraciones se presentan en los días hábiles.



**Figura 3-23.** Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.

Los ciclos diarios de la Figura 3-24 confirman la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaquén y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, un tema que requiere de una investigación más profunda.



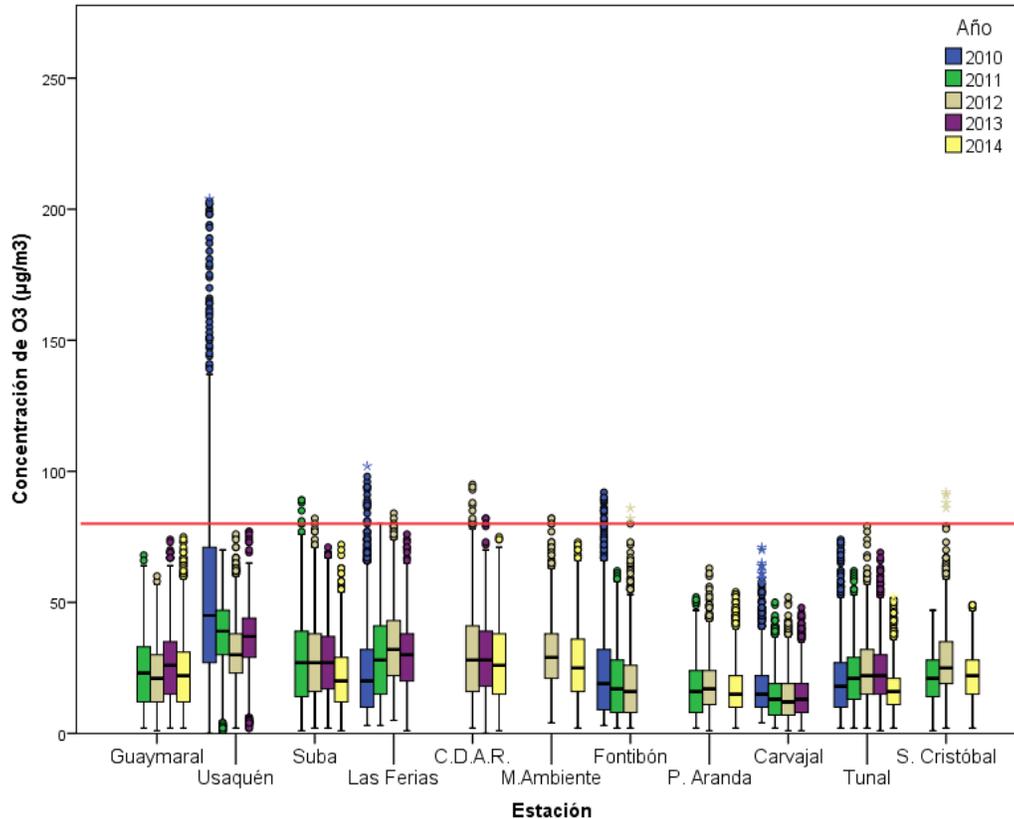
**Figura 3-24.** Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.

### Comportamiento histórico del O<sub>3</sub>

La Figura 3-25 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo para los terceros trimestres entre los años 2010 y 2014. Históricamente, Usaquén ha mostrado los niveles de concentración más altos en los 5 trimestres estudiados, especialmente en el tercer trimestre de 2010 donde se observa que la cantidad de valores atípicos y sus respectivas magnitudes son considerablemente altas, excediendo el límite normativo de 80 µg/m<sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010).

En comparación con el tercer trimestre de 2013, las concentraciones en el trimestre de 2014 se redujeron para las estaciones Guaymaral, Suba, Centro de Alto Rendimiento y Tunal. Para Ministerio de Ambiente, Puente Aranda y San Cristóbal no es posible realizar la comparación ya que no se cuenta con cobertura temporal suficiente de estas estaciones en el tercer trimestre de 2013. Con respecto al periodo de 2012 estas estaciones redujeron sus niveles de concentración. En términos de dispersión no hay diferencias significativas.

Históricamente, las estaciones ubicadas en la zona norte y central de Bogotá han registrado mayores concentraciones en comparación con la zona sur, especialmente el suroccidente de Bogotá.



**Figura 3-25.** Gráfico de *boxplot* de O<sub>3</sub> en función de las estaciones para los terceros trimestres entre 2010 y 2014 (con base en promedios móviles de 8 horas).

La Tabla 3-8 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de ozono en base de promedios móviles de 8 horas. Se observa que el valor máximo reportado en las estaciones de la RMCAB entre los periodos considerados fue 204  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el 22 de agosto de 2010 a las 8:00 a.m. en la estación Usaquén. Este dato es considerablemente alto en comparación con los máximos encontrados en los demás periodos y debe entenderse como el promedio de las 8 horas previas al reporte, el cual cubre momentos de la madrugada. Para los demás periodos las concentraciones se mantuvieron en el rango comprendido entre 84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones máximas se reportaron principalmente en estaciones localizadas en el norte y el centro de la ciudad. Se destaca que no se presentan resultados en base diaria para esta tabla al no existir normatividad correspondiente.

**Tabla 3-8.** Resumen histórico de las concentraciones máximas de O<sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	204	22/08/2010 08:00	Usaquén
2011	89	01/08/2011 20:00	Suba
2012	95	13/09/2012 18:00	Centro de Alto Rendimiento
2013	84	20/09/2013 17:00	Fontibón
2014	75	26/09/2014 16:00 y 30/08/2014 18:00	Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento

### 3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO<sub>2</sub>

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO<sub>2</sub> para el tercer trimestre de 2014 a partir de los datos obtenidos en las 8 estaciones que se presentan en la Tabla 1-1. La estación Carvajal presentó una baja cobertura temporal porque el analizador correspondiente no tiene confiabilidad en su operación al requerir una revisión en la eficiencia de la conversión del catalizador.

#### Comportamiento de los promedios horarios de NO<sub>2</sub>

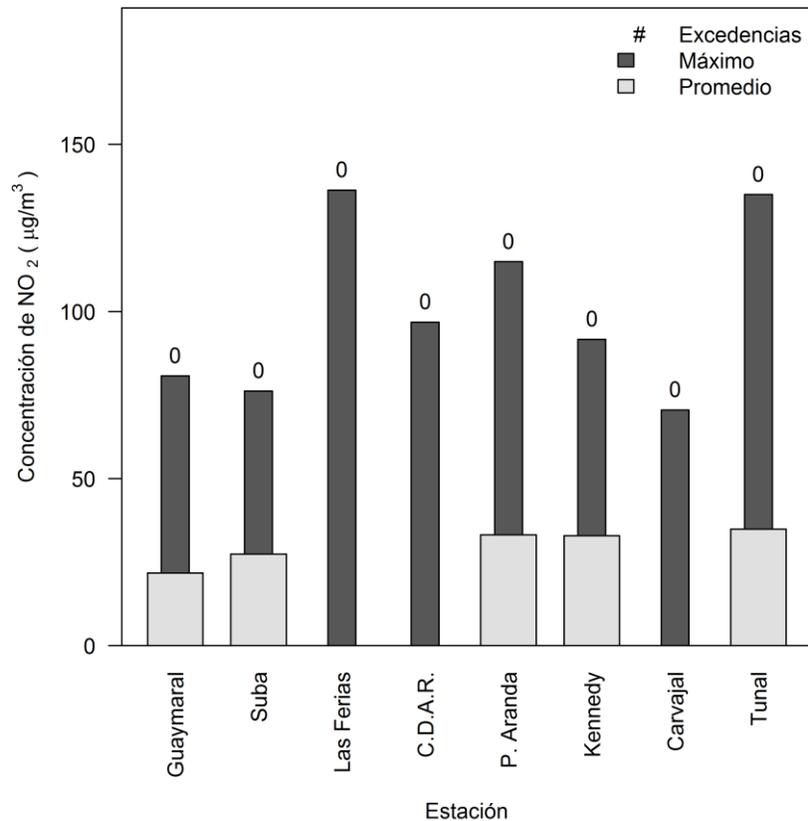
Durante el periodo analizado se obtuvieron 11592 (once mil quinientos noventa y dos) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 66% entre las estaciones que registraron mediciones, lo cual incumple con el criterio de cobertura temporal mínima requerida de 75%. La Figura 3-26 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, en base de tiempo horaria. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 µg/m<sup>3</sup>, Resolución 610 de 2010) pero sí del 50% de la misma (100 µg/m<sup>3</sup>) en Las Ferias (2 datos), Puente Aranda (2 datos) y Tunal (5 datos).

Los valores de porcentajes de representatividad temporal, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-9. De las 8 estaciones consideradas, 3 no tienen la representatividad temporal de 75% para el reporte de promedios trimestrales las cuales son Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Carvajal. El 24 de septiembre entre 9:00 a.m. y 10:00 a.m. Puente Aranda, Kennedy y Tunal coincidieron en el reporte de concentraciones máximas representando un posible episodio de alta concentración en el centro y sur de la ciudad. Aunque Centro de Alto Rendimiento y Guaymaral coinciden en sus máximos el 26 de septiembre, las horas de reporte tienen una diferencia notable al ser las 10:00 a.m. y las 6:00 p.m., respectivamente. La máxima concentración reportada en la RMCAB durante el tercer trimestre de 2014 fue 136 µg/m<sup>3</sup> en la estación Las Ferias el 29 de septiembre a las 9:00 a.m, representando el 68% del límite normativo de 200 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es seguido de cerca por Tunal el 24 de septiembre con 135 µg/m<sup>3</sup>.

Tabla 3-9. Resumen de datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	95%	81	26/09/2014 18:00
Suba	99%	76	04/08/2014 20:00
Las Ferias	25%	136	29/09/2014 07:00
Centro de Alto Rendimiento	20%	97	26/09/2014 10:00
Puente Aranda	99%	115	24/09/2014 09:00
Kennedy	99%	92	24/09/2014 09:00
Carvajal	5%	71	22/09/2014 09:00
Tunal	83%	135	24/09/2014 10:00

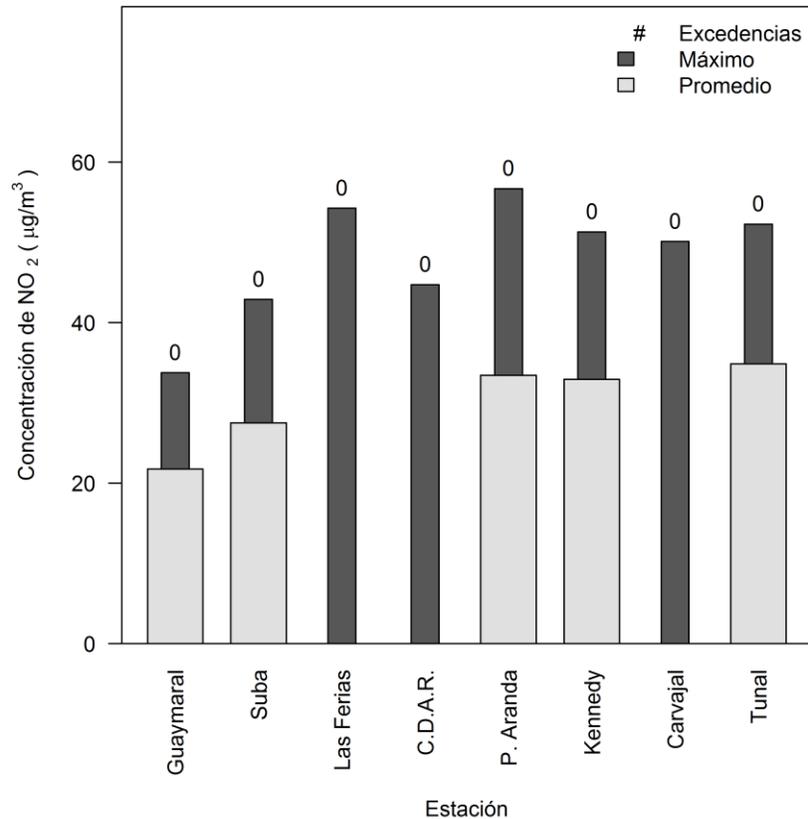
Aunque los valores de promedios mostrados en la Figura 3-26 no deben ser comparados con la normatividad nacional, se observa que Tunal, Kennedy y Puente Aranda presentaron los mayores promedios del trimestre. En contraste, los menores valores son observados en Guaymaral.



**Figura 3-26.** Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.

### Comportamiento diario de la concentración de NO<sub>2</sub>

Se calcularon 479 promedios diarios de NO<sub>2</sub>, cuya representatividad temporal corresponde al 65% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición, evidenciando una baja cobertura temporal. De estos promedios, ninguno superó la norma establecida de NO<sub>2</sub> para un tiempo de exposición de 24 horas (150 µg/m<sup>3</sup>) como se observa en la Figura 3-27. Tampoco se presentaron valores superiores al 50% de la norma (75 µg/m<sup>3</sup>). En la Tabla 3-10 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación. De forma similar al caso horario, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Carvajal presentaron una cobertura temporal inferior a 75% y, por tanto, no es posible el cálculo de los respectivos promedios trimestrales al no ser representativos del periodo. Nuevamente se reitera que los promedios mostrados en la Tabla 3-10 no deben compararse con la normatividad vigente ya que esta no contempla tiempos de exposición trimestrales.



**Figura 3-27.** Promedio, excedencias y concentración máxima de NO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2014.

**Tabla 3-10.** Resumen de datos diarios de NO<sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Promedio (µg/m³)	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	93%	22	34	26/09/2014
Suba	100%	28	43	02/09/2014
Las Ferias	23%	N.R.	54	10/09/2014
Centro de Alto Rendimiento	17%	N.R.	45	26/09/2014
Puente Aranda	100%	33	57	02/09/2014
Kennedy	100%	33	51	02/09/2014
Carvajal	4%	N.R.	50	30/09/2014
Tunal	83%	35	52	17/09/2014

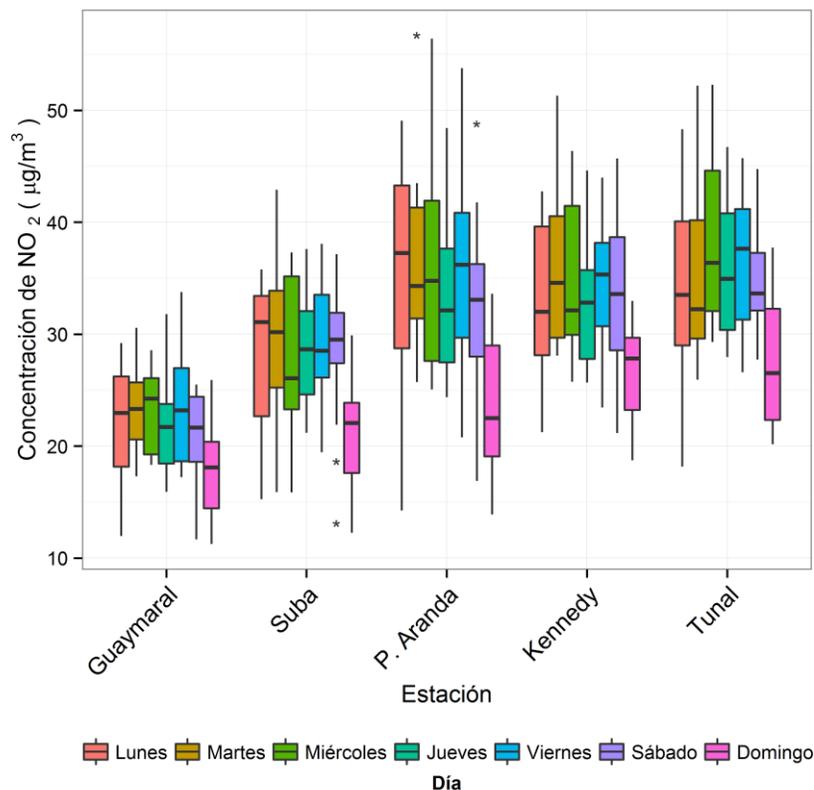
N.R.: No Representativo. Su cobertura temporal es inferior a 75% y por tanto el promedio no representa el periodo estudiado.

En términos diarios, el 2 de septiembre de 2014 Suba, Puente Aranda y Kennedy coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas con 43 µg/m<sup>3</sup>, 57 µg/m<sup>3</sup> y 51

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. La distancia existente entre las estaciones sugiere la ocurrencia de un episodio de contaminación a nivel ciudad. Un caso similar ocurrió para Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento en las cuales hay coincidencia de concentraciones máximas el 26 de septiembre. La máxima concentración diaria en el tercer trimestre de 2014 se reportó en Puente Aranda, cuyo valor y fecha fueron mencionados previamente.

### Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de $\text{NO}_2$

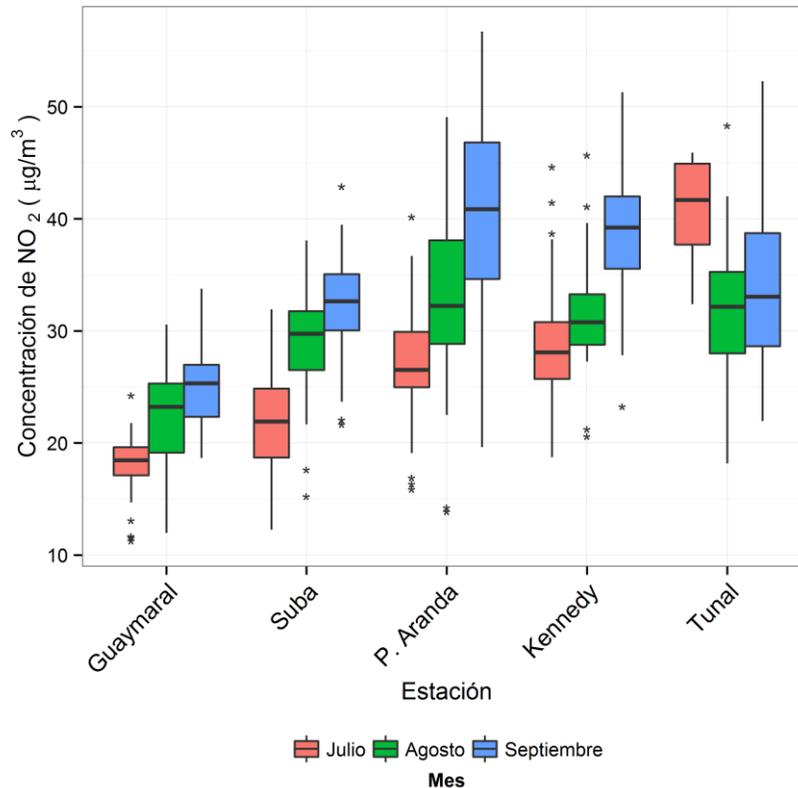
La Figura 3-28 presenta la distribución de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% y de los días de la semana. Se observa que los domingos presentan concentraciones notablemente menores en comparación con los demás días. Los domingos se caracterizan por cambios de actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles. Las diferencias entre los lunes y los sábados en las 5 estaciones consideradas no permiten establecer una tendencia generalizada tanto en magnitud como en dispersión.



**Figura 3-28.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función del día de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente. Tercer trimestre de 2014.

La Figura 3-29 presenta el análisis de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función del mes y de la estación de monitoreo. Con excepción de Tunal, se observa que las concentraciones aumentan progresivamente entre julio y septiembre lo cual se asocia a la variación en el comportamiento de la velocidad del vientos en la ciudad. En Tunal las

mayores concentraciones se presentaron en el mes de julio, lo cual no está en acuerdo con la tendencia esperada. En términos de dispersión, Guaymaral tiende a presentar los menores niveles especialmente en julio y en septiembre.

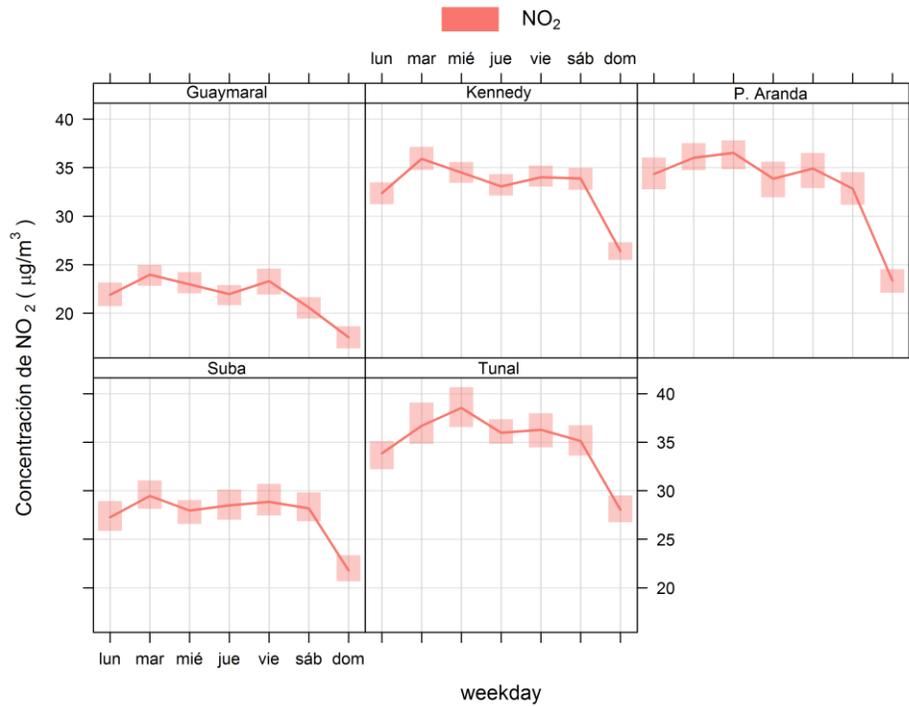


**Figura 3-29.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

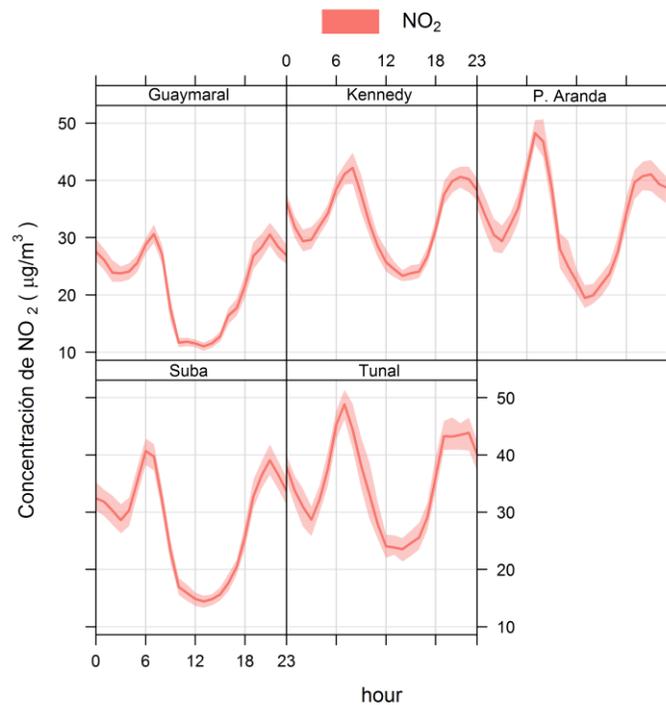
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO<sub>2</sub>

Los ciclos semanales de la Figura 3-30 confirman que en general los domingos fueron los días con las menores concentraciones en el trimestre. Para los demás días no existen diferencias generalizadas aunque se observa que los lunes tienden a presentar bajas concentraciones. Los martes y miércoles se caracterizaron por concentraciones levemente más altas.

La Figura 3-31 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una cobertura temporal suficiente de datos de dióxido de nitrógeno. Se observa un pico de concentración entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m. y posteriormente una reducción significativa en los niveles de concentración con un mínimo en horas cercanas al medio día. Este comportamiento está principalmente asociado a la fotoquímica en la atmósfera de Bogotá en la cual el aumento de la radiación solar en horas cercanas al medio día produce incrementos en las concentraciones de ozono y disminución en el NO<sub>2</sub>.



**Figura 3-30.** Ciclos semanales de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.



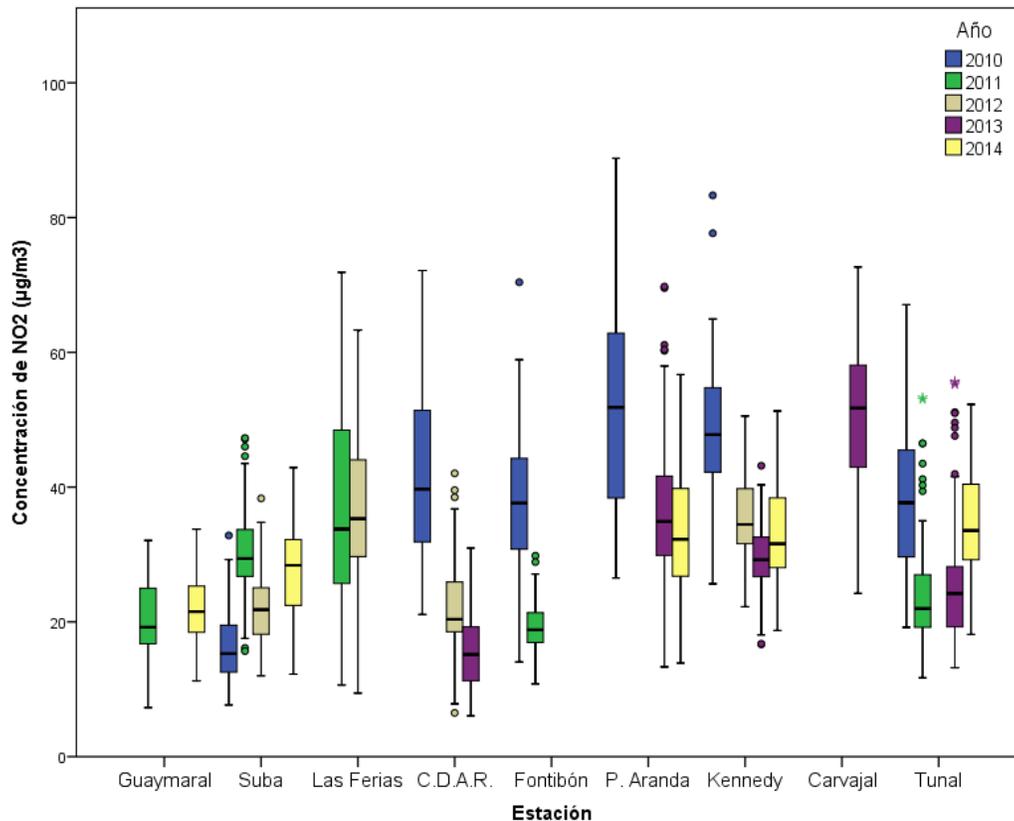
**Figura 3-31.** Ciclos diarios de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

### **Comportamiento histórico de promedios de NO<sub>2</sub>. Base de tiempo diaria.**

La Figura 3-32 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de las estaciones de monitoreo. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los trimestres. Históricamente, las mayores concentraciones se han registrado en Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal posiblemente porque la influencia de las fuentes móviles es mayor en sus zonas aledañas en comparación con las demás estaciones.

Con respecto al tercer trimestre de 2013, Kennedy y Tunal aumentaron sus niveles de concentración mientras que estos disminuyeron en Puente Aranda. Aunque Guaymaral y Suba registraron mediciones en el tercer trimestre de 2014, no se cuenta con referencia en el año 2013 para realizar la comparación y no se puede establecer una tendencia clara de aumento o de disminución. Las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda han reducido históricamente sus concentraciones de NO<sub>2</sub>. En términos de dispersión, los menores niveles se observaron en Guaymaral y Suba.

La Tabla 3-11 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. El máximo valor reportado por la RMCAB en los 5 trimestres considerados fue 89 µg/m<sup>3</sup> en la estación Puente Aranda el 29 de septiembre de 2010 el cual no superó el límite normativo de 150 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es seguido por 72 µg/m<sup>3</sup> en Las Ferias el 30 de septiembre de 2011. Estas dos estaciones son las únicas que aparecen en esta tabla ya que se han caracterizado por mantener concentraciones altas entre el conjunto de la RMCAB.



**Figura 3-32.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> por estaciones en base diaria para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

**Tabla 3-11.** Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en base diaria en los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	89	29/09/2010	Puente Aranda
2011	72	30/09/2011	Las Ferias
2012	63	12/07/2012	Las Ferias
2013	70	04/09/2013	Puente Aranda
2014	57	02/09/2014	Puente Aranda

### 3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el tercer trimestre de 2014 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) horarios y de 8 horas móviles para 7 estaciones, como se indica en la Tabla 1-1.

#### Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Se obtuvieron 10365 (diez mil trescientos sesenta y cinco) datos horarios de CO en las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2014. En la Tabla 3-12 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio trimestral, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron y en la Figura 3-33 se presentan los promedios, máximos y excedencias en forma gráfica. Usaquén, Fontibón y Carvajal no reportan promedio trimestral porque su cobertura temporal es inferior al límite establecido de 75%. Ningún dato superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m<sup>3</sup>, Resolución 610 de 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de los límites normativos (20 mg/m<sup>3</sup>).

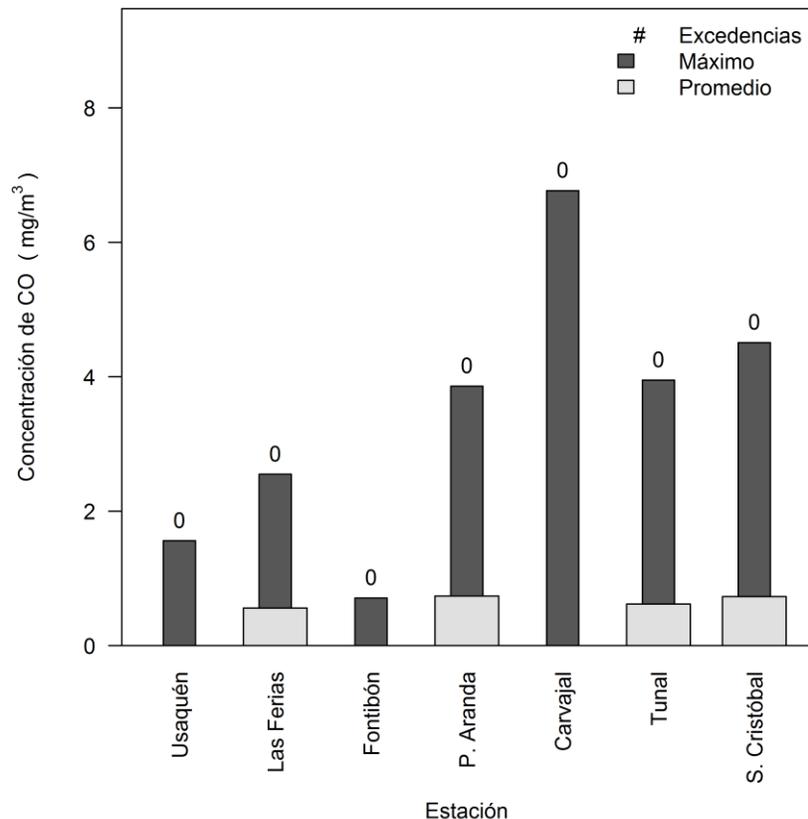
La máxima concentración del trimestre se reportó en Carvajal con un valor de 6,8 mg/m<sup>3</sup>. Este valor es relativamente alto si se compara los máximos reportados en las demás estaciones ya que el siguiente valor fue 4,5 mg/m<sup>3</sup> en la estación San Cristóbal. El 3 de septiembre dos estaciones coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas siendo estas Las Ferias y Carvajal a las 7:00 a.m. y 5:00 a.m., respectivamente. La distancia existente entre estas dos estaciones sugiere la presencia de un episodio de alta concentración a nivel ciudad. Las emisiones de monóxido de carbono se asocian principalmente a emisiones de fuentes móviles, específicamente a vehículos que usan gasolina como combustible.

**Tabla 3-12.** Resumen de datos horarios de CO por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	44%	N.R.	1,6	24/09/2014 08:00
Las Ferias	92%	0,6	2,6	03/09/2014 07:00
Fontibón	1%	N.R.	0,7	01/07/2014 17:00
Puente Aranda	99%	0,7	3,9	04/08/2014 08:00
Carvajal	59%	N.R.	6,8	03/09/2014 05:00
Tunal	99%	0,6	4,0	25/09/2014 07:00
San Cristóbal	75%	0,7	4,5	10/09/2014 09:00

N.R.: No representativo.

En términos de promedios, estos se encontraron en rangos muy similares en las cuatro estaciones representativas, oscilando entre 0,6 y 0,7 mg/m<sup>3</sup>. Los valores no son comparables con la normatividad nacional al representar tiempos de exposición trimestral y solo son válidos para comparación mutua de las estaciones.



**Figura 3-33.** Concentraciones promedio, concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el tercer trimestre de 2014.

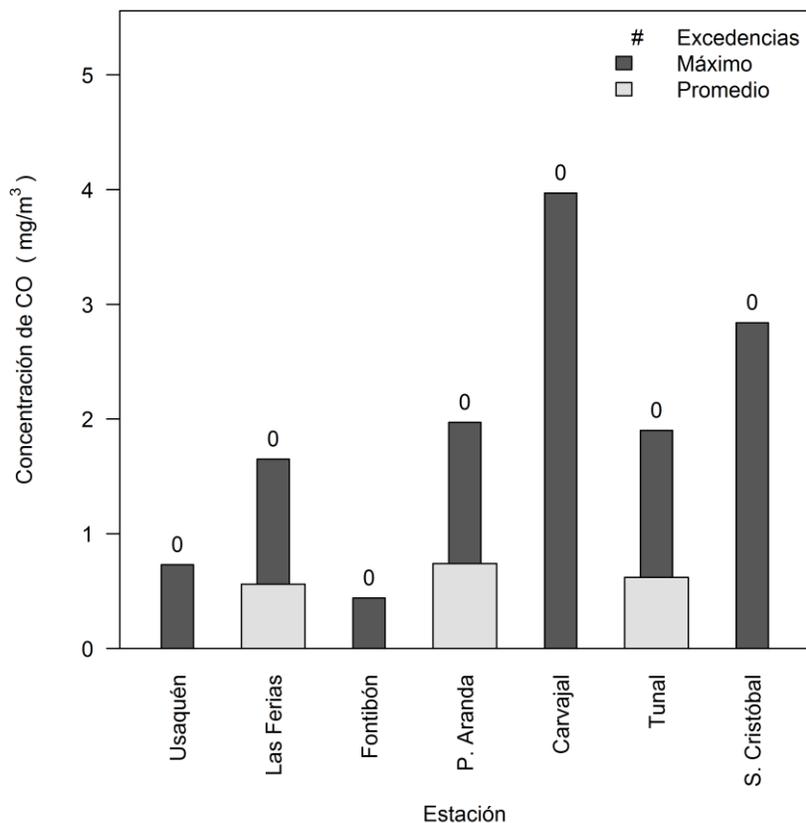
### Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el tercer trimestre de 2014 se calcularon 10315 (diez mil trescientos quince) promedios móviles de 8 horas de CO, equivalentes al 67% de los datos posibles en el periodo entre las estaciones que reportaron mediciones. Nuevamente, en términos globales no se cumple con el criterio de representatividad temporal de 75%.

La Tabla 3-13 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia durante el tercer trimestre de 2014. La Figura 3-34 muestra promedios, máximos y excedencias de la normatividad en forma gráfica. Cuatro estaciones no cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75% establecido por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Estas fueron Usaquén, Fontibón, Carvajal y San Cristóbal. Los promedios trimestrales de las tres estaciones restantes son similares y no permiten establecer una diferencia clara entre ellas. En cuanto a los máximos, el valor más alto fue reportado en Carvajal con un promedio móvil de 8 horas de 4,0 mg/m<sup>3</sup> el 5 de septiembre a las 8:00 a.m. Este valor no excede el límite normativo de 10 mg/m<sup>3</sup> indicando la ausencia de excedencias durante el trimestre. La mayoría de concentraciones máximas fue reportada en el mes de septiembre.

**Tabla 3-13.** Resumen de datos de CO por estación en el tercer trimestre de 2014. Base de 8 horas. Los promedios son indicativos y no deben compararse con los límites establecidos por la normatividad nacional.

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	44%	N.R.	0,7	24/09/2014 13:00
Las Ferias	93%	0,6	1,7	21/09/2014 00:00
Fontibón	1%	N.R.	0,4	01/07/2014 18:00
Puente Aranda	100%	0,7	2,0	04/08/2014 10:00
Carvajal	59%	N.R.	4,0	05/09/2014 08:00
Tunal	99%	0,6	1,9	17/09/2014 11:00
San Cristóbal	72%	N.R.	2,8	02/09/2014 13:00

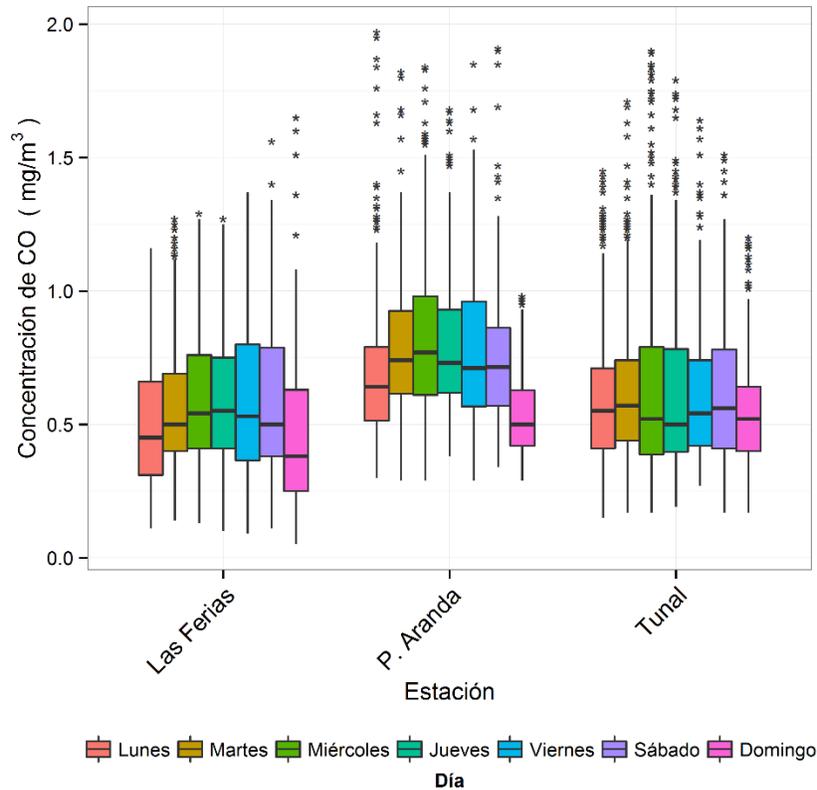


**Figura 3-34.** Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el tercer trimestre de 2014.

### Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

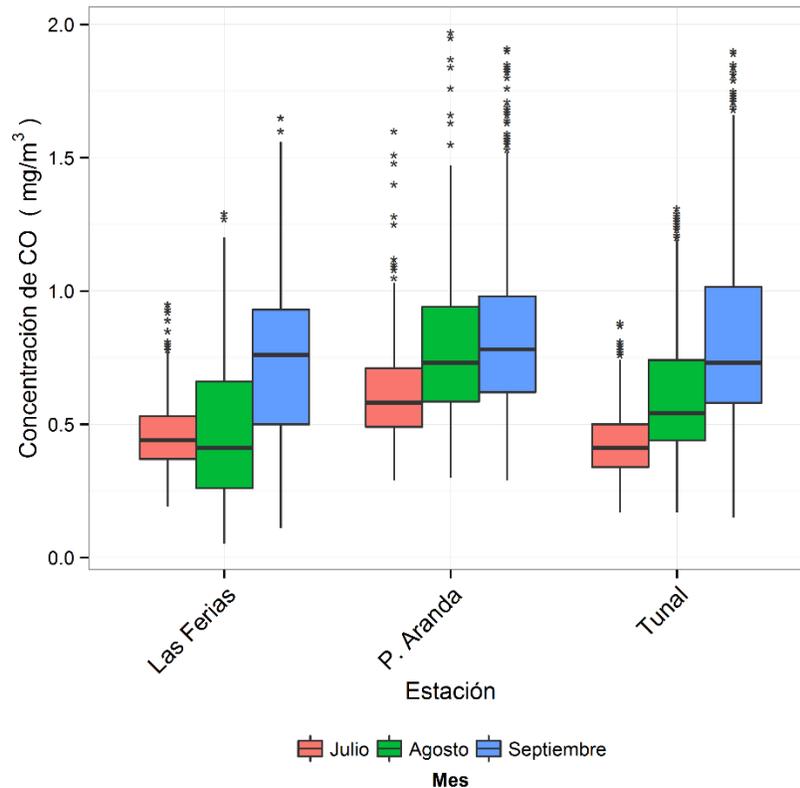
La Figura 3-35 presenta el comportamiento de las concentraciones de CO (promedios móviles de 8 horas) en función de la estación y de los días de la semana. Para las tres

estaciones se observa que en general los domingos y los lunes tienen las menores concentraciones, lo cual se atribuye, en el caso de los domingos, a la reducción de actividades en comparación a los demás días y, en el caso de los lunes, a la presencia de festivos y a la influencia del día anterior. En términos de dispersión, esta es ligeramente mayor en la estación Las Ferias aunque es menor la cantidad de datos atípicos. Para Puente Aranda y Tunal, los domingos representan una variabilidad menor, lo cual se asocia a la dinámica de la ciudad de Bogotá.



**Figura 3-35.** Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.

El comportamiento de las estaciones en función de los meses de julio, agosto y septiembre para el tercer trimestre de 2014 se muestra en la Figura 3-35. Septiembre fue el mes con las mayores concentraciones del trimestre mientras que julio presentó las menores. Este comportamiento se explica en términos de la variación de la velocidad de los vientos en la ciudad de Bogotá al ser esta generalmente mayor en los meses de julio y agosto.

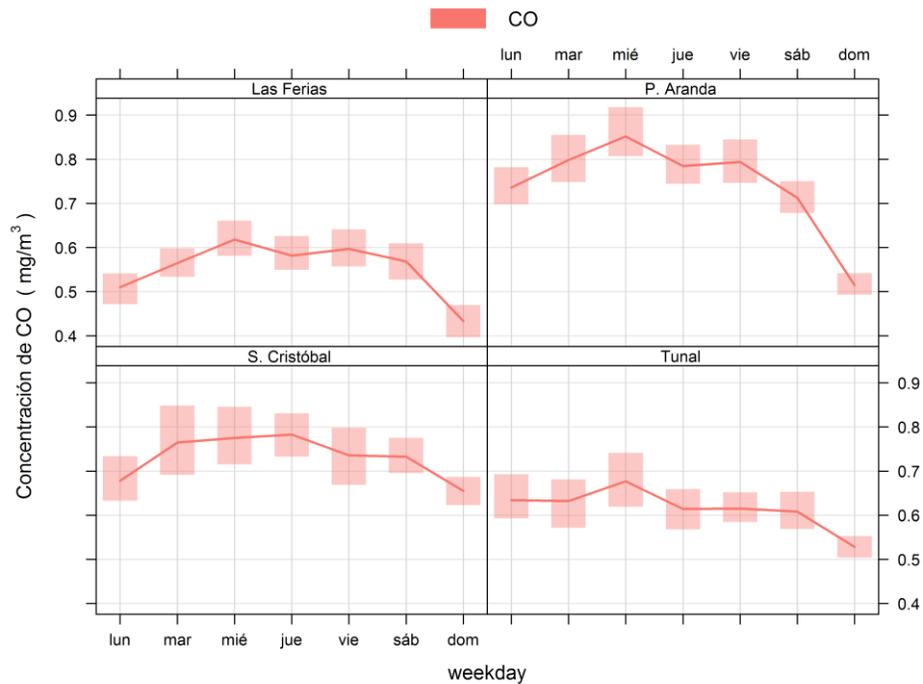


**Figura 3-36.** Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.

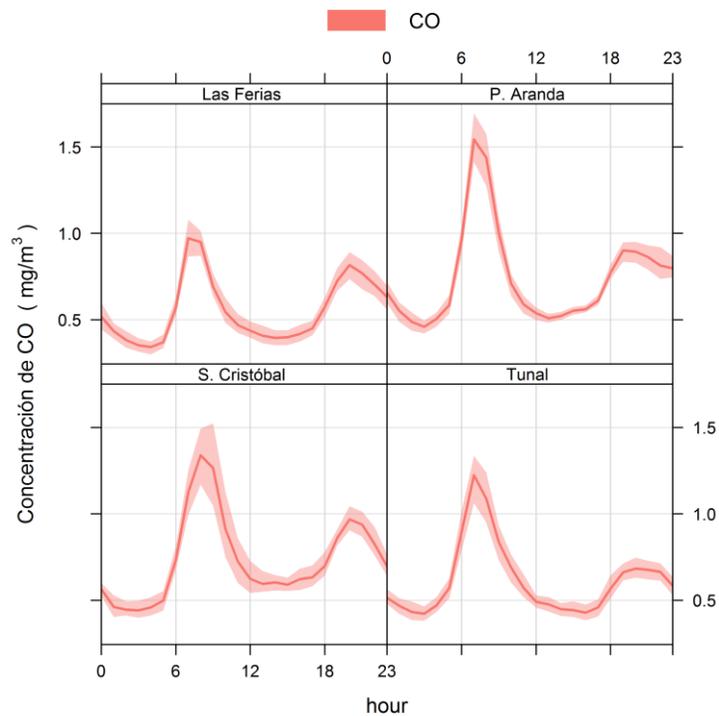
### Ciclos diarios y semanales de las concentraciones de CO

La Figura 3-37 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%, en base horaria. El ciclo más heterogéneo y las concentraciones más altas se observan en la estación Las Ferias mientras que Tunal describe la tendencia contraria. Como se mencionó previamente, los domingos son los días con los menores niveles. En términos de concentraciones altas, los miércoles y jueves fueron los que registraron los mayores valores.

La Figura 3-38 presenta el comportamiento en función de la hora del día. Los perfiles muestran que las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. que corresponde a la denominada “hora pico” donde se presenta el mayor flujo vehicular. Se presentan picos de menor magnitud en horas de la tarde los cuales sugieren la influencia de los desplazamientos en la “hora pico” de la tarde.



**Figura 3-37.** Ciclos semanales de las concentraciones horarias de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

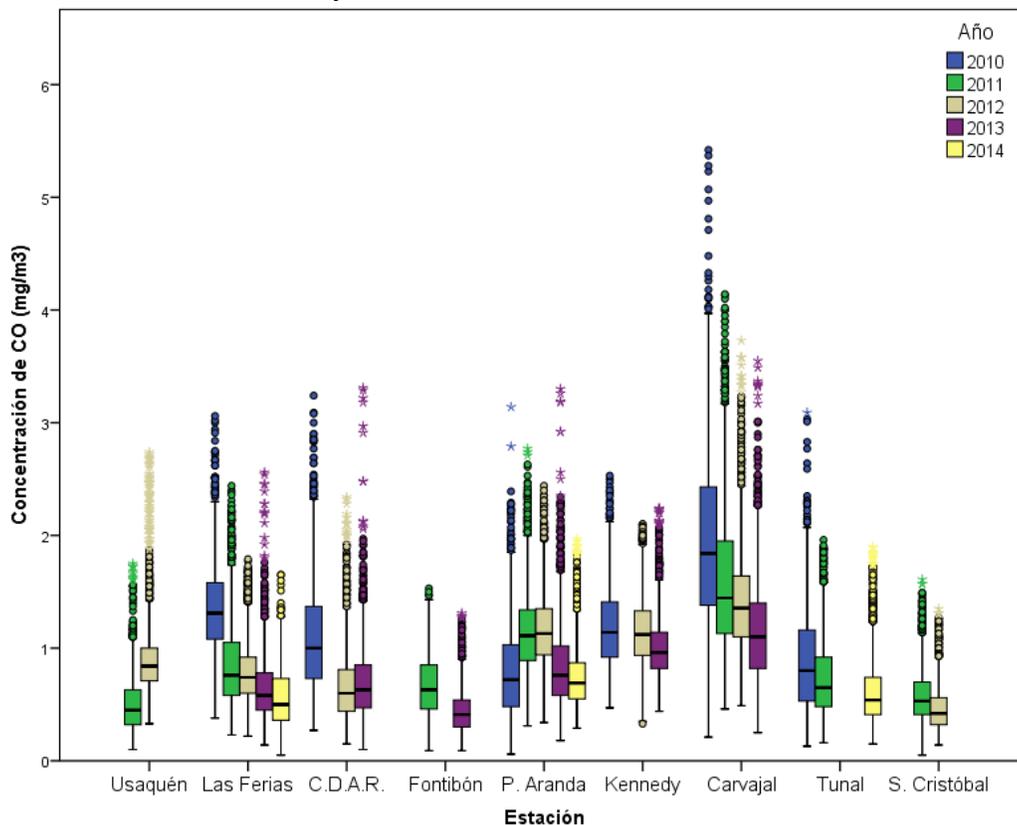


**Figura 3-38.** Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el tercer trimestre de 2014 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

### Análisis de tendencias históricas

En la Figura 3-39 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO en los terceros trimestres entre 2010 y 2014 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Históricamente Las Ferias y Carvajal han reducido sus concentraciones en los trimestres considerados. Sin embargo, no se cuenta con representatividad para el tercer trimestre de 2014 en Carvajal, estación para la cual los niveles de concentración han sido significativamente altos.

Las concentraciones en el tercer trimestre de 2014 en Las Ferias y Puente Aranda se redujeron en comparación con sus contrapartes del 2013. En Tunal, solamente es posible la comparación con los trimestres de 2010 y de 2011, respecto a los cuales la concentración en el trimestre de 2014 disminuyó.



**Figura 3-39.** Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

El resumen de máximos históricos de la Tabla 3-14 en promedios móviles de 8 horas muestra que la máxima concentración histórica de los periodos considerados fue 5,4 mg/m<sup>3</sup> el 25 de agosto de 2010 a las 6:00 a.m. en la estación Carvajal. Todas las concentraciones máximas en los terceros trimestres entre 2010 y 2014 se han registrado en esta estación y principalmente en el mes de agosto. Carvajal es una estación que se encuentra influenciada por actividades de tráfico pesado (Autopista Sur) e industrias. Es importante

mencionar que las horas mencionadas en esta tabla corresponden al promedio de las 8 horas previas al tratarse de medias móviles.

Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{O}_3$ .

**Tabla 3-14.** Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios de 8 horas para los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo $\text{mg}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	5,4	25/08/2010 06:00	Carvajal
2011	4,1	20/08/2011 07:00	Carvajal
2012	3,7	04/08/2012 06:00	Carvajal
2013	3,6	10/08/2013 05:00	Carvajal
2014	4,0	05/09/2014 08:00	Carvajal

### 3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO<sub>2</sub>

La RMCAB contó con 7 analizadores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio diarias y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. El analizador de la estación Fontibón presentó una cobertura temporal prácticamente nula durante este trimestre. Esto se debe a que la estación fue suspendida por falla en su suministro eléctrico.

#### Comportamiento de SO<sub>2</sub>. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 11676 (once mil seiscientos setenta y seis) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 76% de cobertura temporal de los posibles datos a medir (7 analizadores) en el tercer trimestre de 2014.

En la Tabla 3-15 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 3-40 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. Los promedios más bajos de este contaminante fueron observados en Centro de Alto Rendimiento, Tunal y San Cristóbal. Las Ferias y Fontibón no reportan promedio trimestral ya que su representatividad temporal es inferior a 75%. La máxima concentración fue observada en Suba el 8 de agosto a las 5:00 a.m. y el valor asociado (71 µg/m<sup>3</sup>) establece una diferencia considerable con respecto a los máximos reportados en las demás estaciones. El 17 de septiembre a las 9:00 a.m. Puente Aranda y Tunal coincidieron en el registro de máximas concentraciones con 26 µg/m<sup>3</sup> y 29 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, lo que posiblemente se asocia a un episodio de alta concentración en el sur y en el occidente de la ciudad.

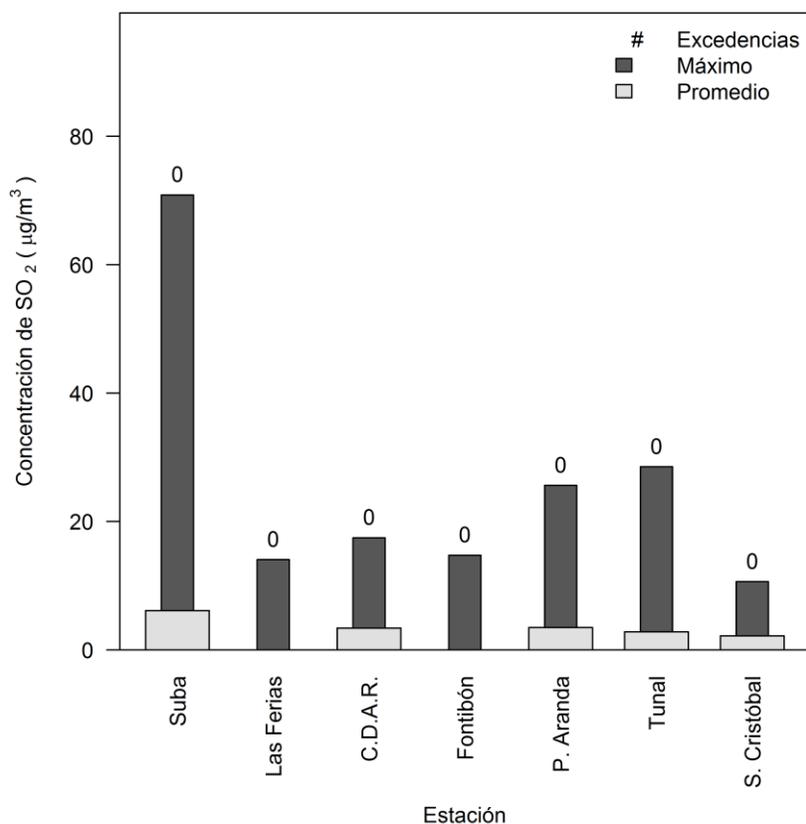
**Tabla 3-15.** Resumen de datos de SO<sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios aritméticos son indicativos y no deben compararse con la normatividad nacional.

Estación	% de datos válidos	Promedio aritmético	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	93%	6	71	08/08/2014 05:00
Las Ferias	73%	N.R.	14	28/08/2014 08:00
Centro de Alto Rendimiento	82%	3	17	05/08/2014 09:00
Fontibón	0%	N.R.	15	01/07/2014 09:00
Puente Aranda	99%	4	26	17/09/2014 09:00
Tunal	97%	3	29	17/09/2014 09:00
San Cristóbal	84%	2	11	02/09/2014 10:00

N.R.: No Representativo

En todas las estaciones con reporte de promedio trimestral se observa que las concentraciones máximas difieren en gran medida de los promedios trimestrales. Esto demuestra la alta variabilidad de las mediciones de este contaminante.

El límite máximo permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas ( $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. Como se mencionó previamente, el máximo de  $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Suba representa solamente el 9% de este límite. Por tanto, este contaminante no es susceptible de presentar excedencias de la normatividad nacional.



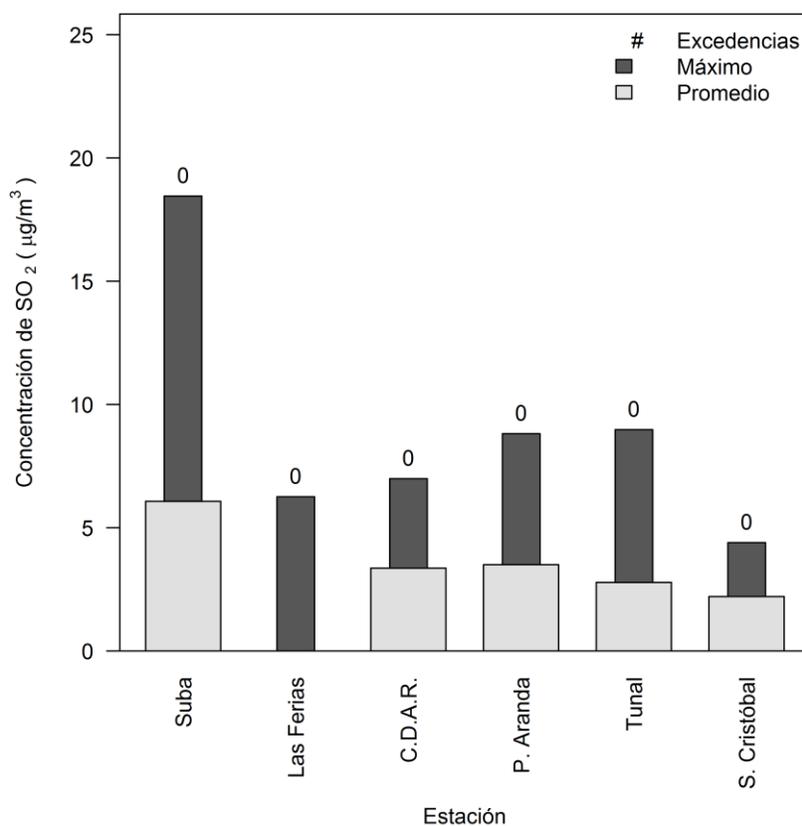
**Figura 3-40.** Promedios, máximos y número de excedencias de  $\text{SO}_2$  en base de 3 horas por estación durante el tercer trimestre de 2014.

### Comportamiento diario de la concentración de $\text{SO}_2$

Se analizaron 485 valores diarios cuya representatividad temporal global es 88% entre las estaciones que reportaron alguna medición en el trimestre. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 ( $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .

La Figura 3-41 y la Tabla 3-16 presentan un resumen de promedios y concentraciones máximas de SO<sub>2</sub> en base diaria. Es importante reiterar que los promedios reportados en la Tabla 3-16 son meramente indicativos y no se deben comparar con los límites normativos vigentes al presentar un tiempo de exposición diferente a tres meses. Las Ferias no reporta promedio trimestral por tener una representatividad temporal de 72%, el cual es inferior al límite de 75% establecido en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Suba marca una diferencia considerable en comparación con las demás estaciones tanto en promedio como en valores máximos. Por el contrario, San Cristóbal reportó las menores concentraciones del trimestre. El máximo valor diario fue 18 µg/m<sup>3</sup> el 16 de septiembre en la estación Suba, el cual representa el 7% del límite normativo permisible diario. El 28 de agosto de 2014, Las Ferias y Puente Aranda coincidieron en su reporte de máxima concentración con valores de 6 µg/m<sup>3</sup> y 9 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, sugiriendo un episodio de alta concentración en el occidente de la ciudad. No se reportaron valores máximos en julio.

El comportamiento en Suba puede deberse a una mayor actividad de fuentes de combustión en sus alrededores, tanto fijas como móviles, en comparación con otras estaciones.



**Figura 3-41.** Promedios, concentraciones máximas y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

**Tabla 3-16.** Resumen de datos en base diaria de SO<sub>2</sub> por estación para el tercer trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

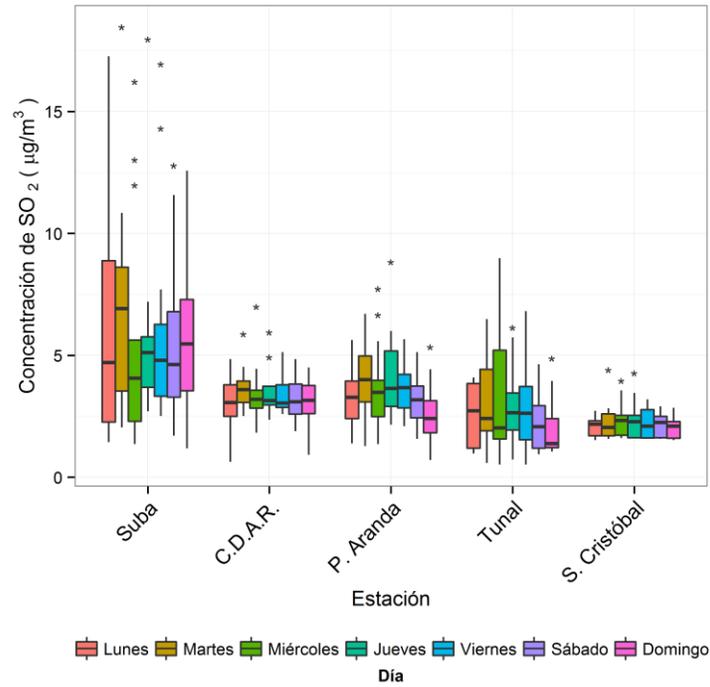
Estación	% de datos válidos	Promedio (µg/m <sup>3</sup> )	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	95%	6	18	16/09/2014
Las Ferias	72%	N.R.	6	28/08/2014
Centro de Alto Rendimiento	80%	3	7	27/08/2014
Puente Aranda	100%	4	9	28/08/2014
Tunal	97%	3	9	17/09/2014
San Cristóbal	84%	2	4	02/09/2014

N.R.: no representativo.

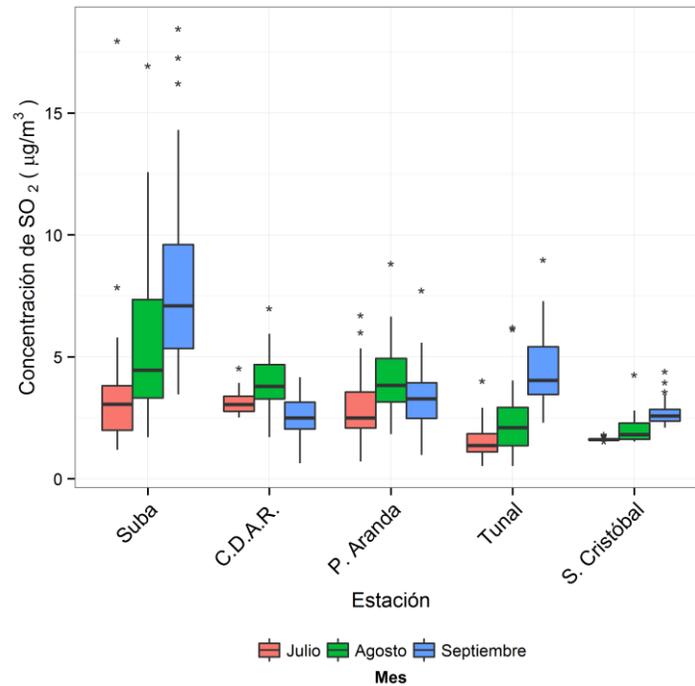
### Comportamiento temporal de las concentraciones de SO<sub>2</sub>

La Figura 3-42 describe el comportamiento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo. En comparación con las demás estaciones, Suba mantiene los mayores niveles de dispersión y concentración en todos los días de la semana, especialmente los lunes. La tendencia más uniforme se observa en San Cristóbal ya que no hay una diferenciación clara entre los días. Los domingos reportan las menores concentraciones únicamente en Puente Aranda y Tunal. No es claro establecer el día con mayores concentraciones ya que este varía según la estación. Las diferentes actividades que se desarrollan alrededor de las estaciones suscitan las diferencias observadas en las tendencias de las concentraciones.

La Figura 3-43 presenta el comportamiento de las concentraciones en función de los meses de julio, agosto y septiembre por estación de monitoreo. En las 5 estaciones analizadas con cobertura temporal suficiente se observa que el mes de julio reporta las menores concentraciones mientras que septiembre predomina como el de mayores concentraciones en Suba, Tunal y San Cristóbal. Como se mencionó previamente, Suba mantiene los mayores niveles de dispersión, especialmente en agosto y septiembre.



**Figura 3-42.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el tercer trimestre de 2014.

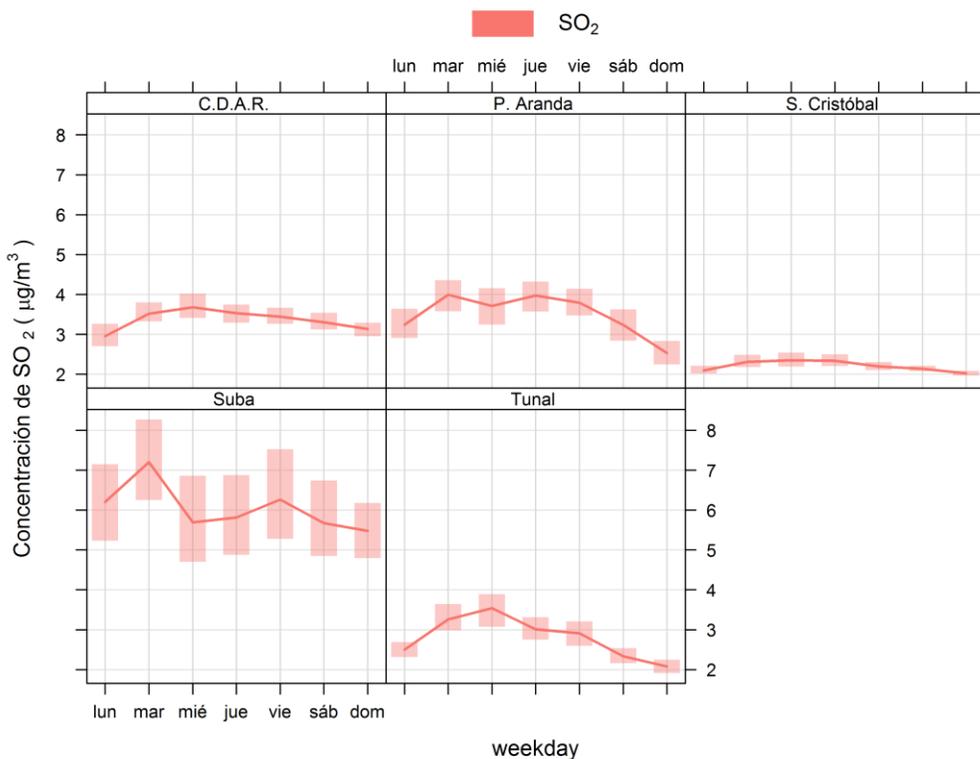


**Figura 3-43.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre de 2014 por estación de monitoreo.

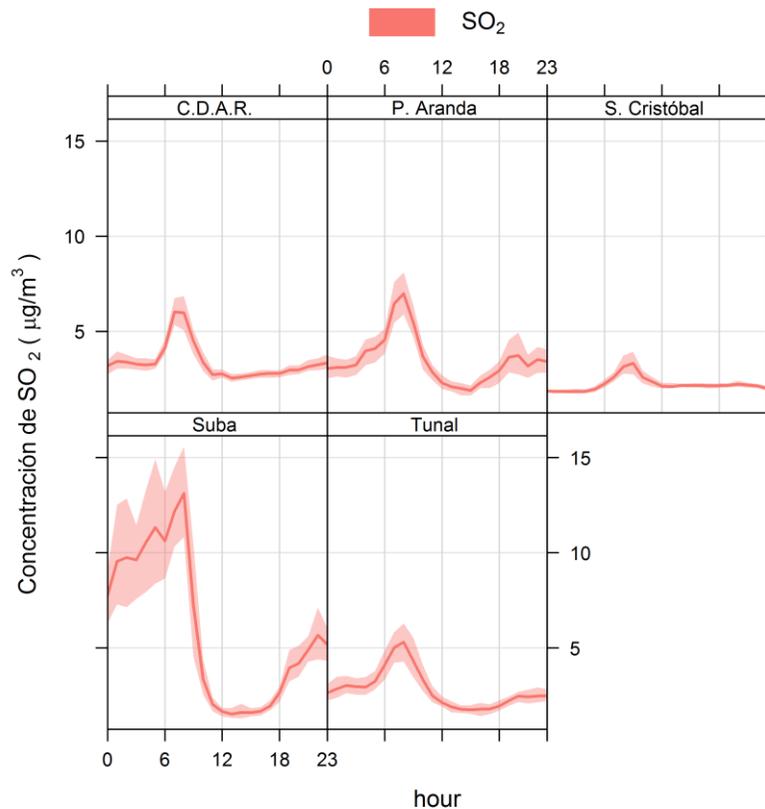
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO<sub>2</sub>

La Figura 3-44 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Para Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, San Cristóbal y Tunal los ciclos muestran que las menores concentraciones se dan los lunes y los domingos. El ciclo de San Cristóbal destaca por su mayor homogeneidad. Por el contrario, Suba describe una tendencia con valores y variaciones más altas.

Los perfiles diarios de la Figura 3-45 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 8:00 a.m. y las 10:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en el aumento de las concentraciones de este contaminante. La estación Suba tiene una variabilidad más alta en horas de la media noche y de la madrugada posiblemente por actividades relacionadas con el transporte o emisiones de fuentes fijas en los alrededores de esta estación.



**Figura 3-44.** Ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

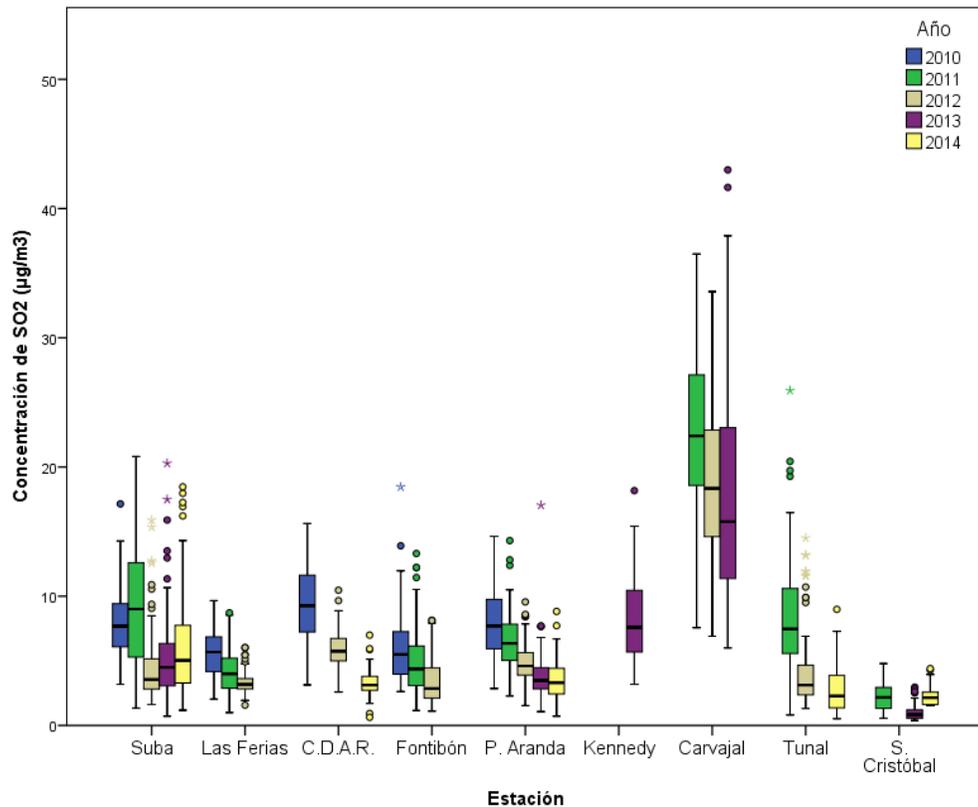


**Figura 3-45.** Ciclos diarios de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el tercer trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

### Comportamiento histórico de promedios diarios de $\text{SO}_2$

La Figura 3-46 contiene la distribución de las concentraciones diarias históricas de  $\text{SO}_2$  en función de las estaciones de monitoreo que operaron en el tercer trimestre de 2014. Las concentraciones de Carvajal marcan una diferencia destacable en comparación con las demás estaciones, incluso con respecto a Suba que registró concentraciones y dispersiones notablemente altas. Esto se debe a que las actividades relacionadas con combustión en los alrededores de la estación son mayores teniendo en cuenta la presencia de industrias.

En comparación con el tercer trimestre de 2013, Suba y San Cristóbal aumentaron sus concentraciones mientras que estas disminuyeron para Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y Tunal. La tendencia de Puente Aranda evidencia una reducción progresiva entre los trimestres de los años 2010 y 2014 y es la única observable para la totalidad de los 5 periodos estudiados. Las dispersiones y niveles de las concentraciones en San Cristóbal son significativamente bajas en comparación con las demás estaciones. Todas las tendencias observadas dan evidencia de la alta heterogeneidad de Bogotá en relación a sus fuentes de emisión.



**Figura 3-46.** Gráfico de *boxplot* para SO<sub>2</sub> diario por estación de monitoreo en los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

La Tabla 3-17 es el resumen de los máximos históricos en los terceros trimestres entre 2010 y 2014. El máximo valor registrado en estos periodos fue 47 µg/m<sup>3</sup> el 25 de septiembre de 2010 en la estación Tunal. El tercer trimestre de 2014 presentó una concentración máxima diaria de 18 µg/m<sup>3</sup> en la estación Suba. Este valor es significativamente menor a los reportados en los trimestres anteriores y se debe a que ciertas estaciones con concentraciones usualmente altas no reportaron mediciones en este último periodo, especialmente Carvajal. Ningún valor máximo histórico no supera el 50% del límite normativo establecido, lo cual en consecuencia no representa un riesgo en términos de protección a la salud pública.

**Tabla 3-17.** Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en promedios diarios en los terceros trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	47	25/09/2010	Tunal
2011	36	01/07/2011	Carvajal
2012	34	14/08/2012	Carvajal
2013	43	18/07/2013	Carvajal
2014	18	16/09/2014	Suba

### 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 3-18.

**Tabla 3-18.** Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

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

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

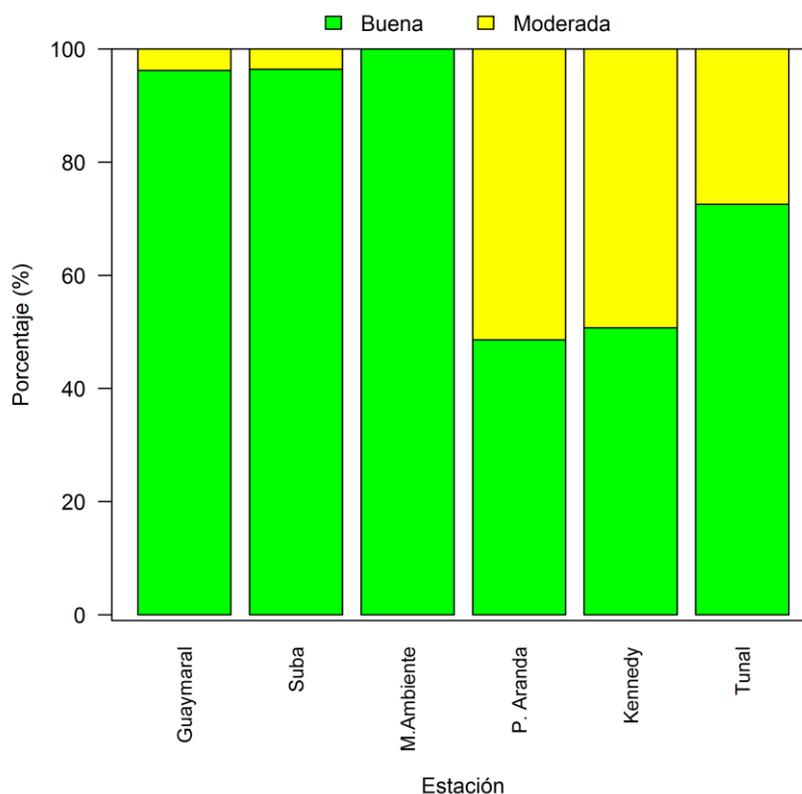
(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.

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

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

### 3.3.1. Índice de calidad del aire para PM<sub>10</sub>.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM<sub>10</sub> puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-47 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM<sub>10</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. La estación Ministerio de Ambiente es la única que reporta la categoría “Buena” en este contaminante para todos los datos diarios, un comportamiento esperado teniendo en cuenta que el máximo registrado durante el tercer trimestre de 2014 fue 53 µg/m<sup>3</sup>. Guaymaral y Suba presentan una proporción considerable de esta categoría con algunos días con calidad del aire “Moderada”. Una categoría “Moderada” de PM<sub>10</sub> implica un riesgo a la salud, especialmente para personas con enfermedades respiratorias. Esto se debe a la influencia de fuentes fijas industriales y móviles con gran actividad. Puente Aranda y Kennedy reportan una contribución importante de esta categoría lo cual se asocia a la influencia de fuentes fijas y móviles en sus respectivos alrededores. En Tunal el comportamiento es mixto con una predominancia de una calidad del aire “Buena”.

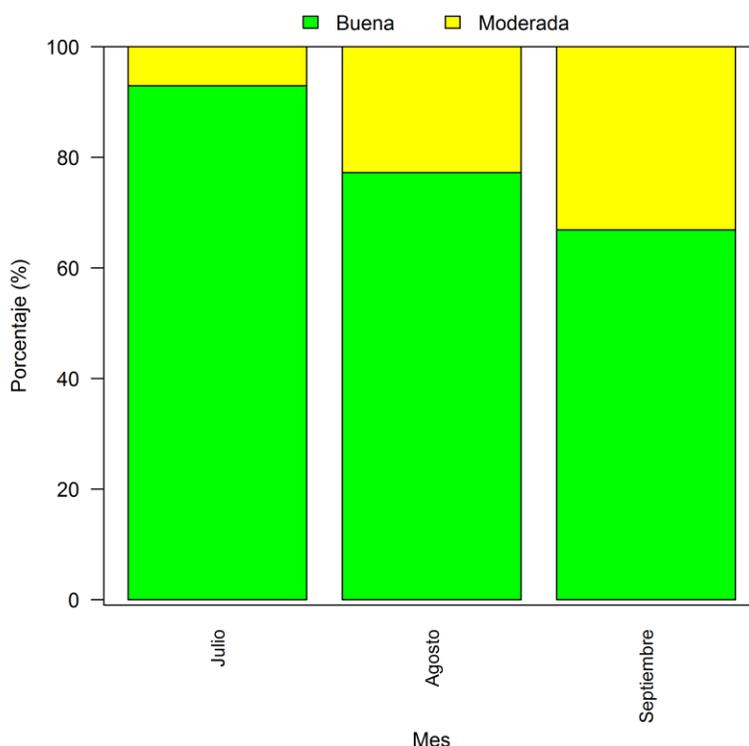


**Figura 3-47.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el tercer trimestre de 2014.

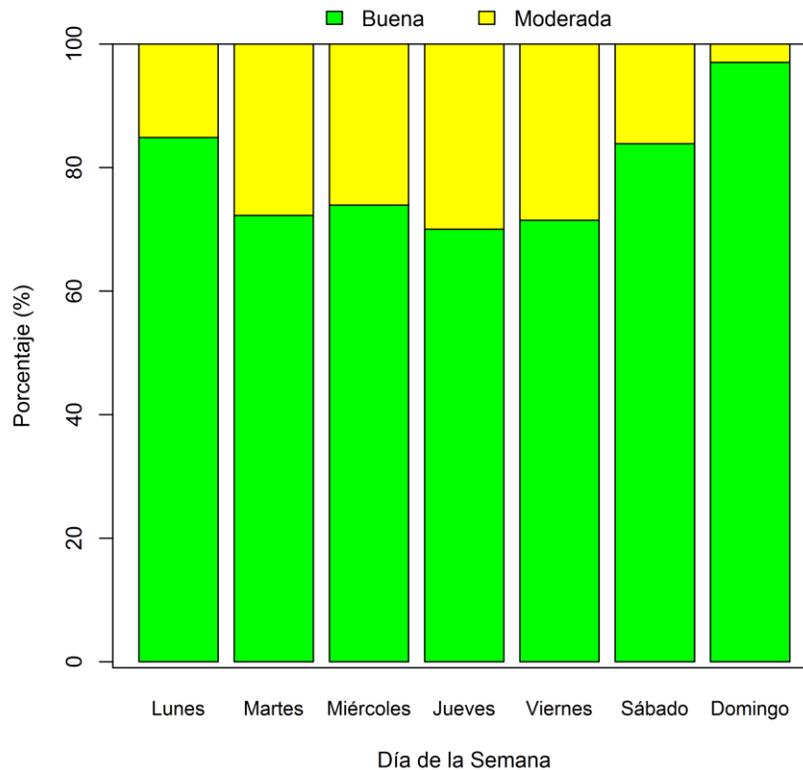
La Figura 3-48 muestra la discriminación del ICA de PM<sub>10</sub> en función de los meses de julio, agosto y septiembre. Todos los meses reportan índices de calidad del aire en categorías “Buena” y “Moderada”. Sin embargo, se observa cómo con el transcurrir del trimestre la

categoría “Moderada” aumenta su participación siendo septiembre el mes con la calidad del aire más baja. Esto se atribuye principalmente al comportamiento de la velocidad del viento ya que esta es mayor en mitad de año favoreciendo la ventilación de la atmósfera de Bogotá.

La Figura 3-49 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. De martes a viernes ocurre la mayor afectación mientras que los lunes, sábados y domingos presentaron una mejor calidad del aire en términos de este contaminante. Este es un resultado esperado y concordante con el análisis realizado para las concentraciones de PM<sub>10</sub>. Aunque el lunes no es catalogado como día perteneciente a un fin de semana, es posible que la influencia de los días feriados y de la capa residual del día anterior influyan en su mejor calidad del aire.

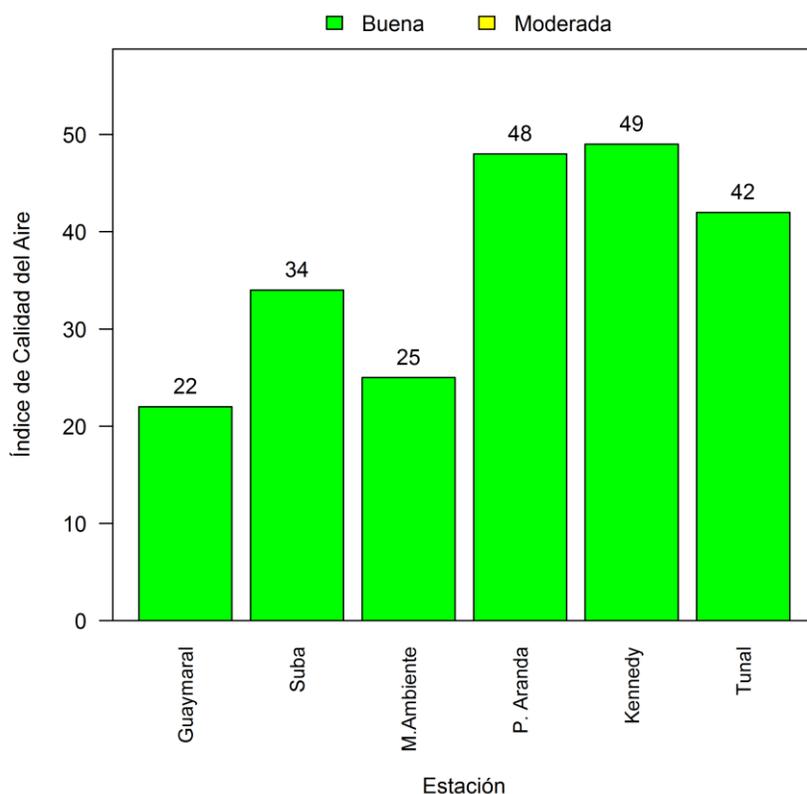


**Figura 3-48.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de julio, agosto y septiembre de 2014.



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

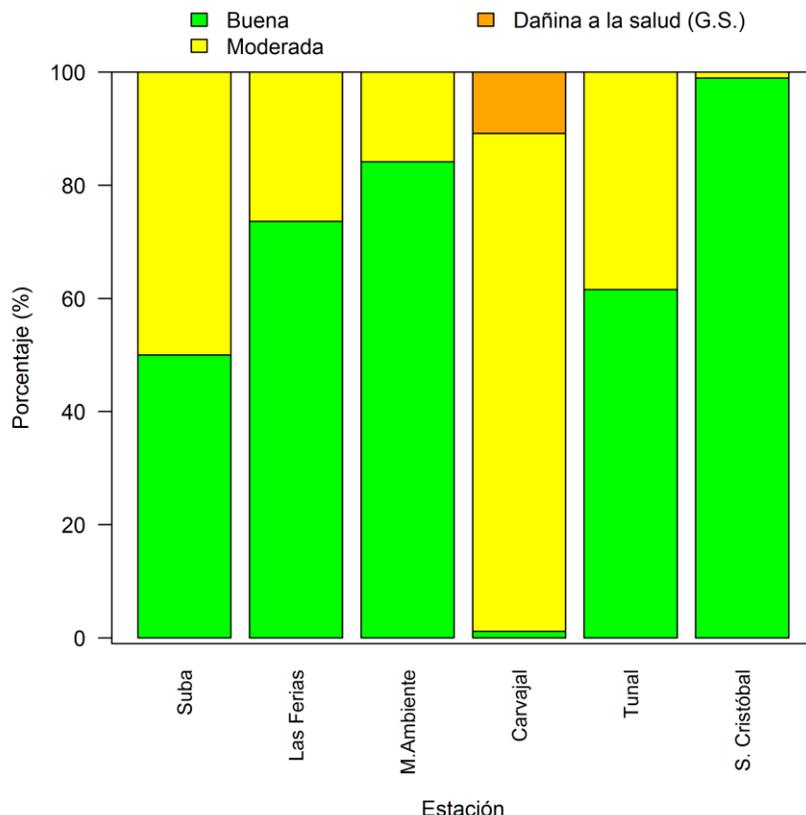
La Figura 3-50 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para  $PM_{10}$  durante el tercer trimestre de 2014. Las seis estaciones analizadas registraron valores de sus índices de calidad del aire por debajo de las 50 unidades, lo cual implica que en promedio registraron una categoría “Buena”. Puente Aranda y Kennedy registraron 48 y 49 unidades implicando cercanía a la categoría “Moderada”. Los alrededores de las estaciones Guaymaral y Ministerio de Ambiente presentaron menores afectaciones a la salud de la población.



**Figura 3-50.** Índice de Calidad del Aire promedio de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB durante el tercer trimestre de 2014.

### 3.3.2. Índice de calidad del aire para PM<sub>2.5</sub>

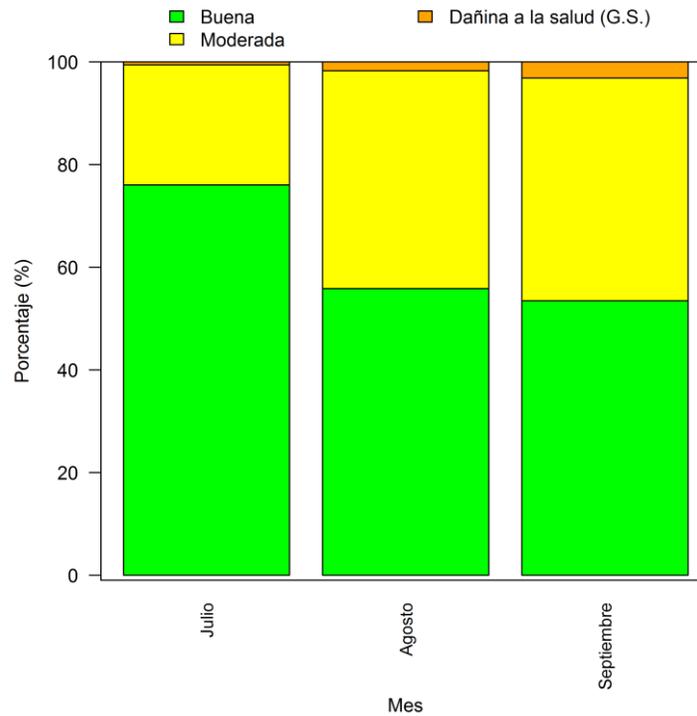
Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La Figura 3-51 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios diarios. San Cristóbal, Ministerio de Ambiente y Las Ferias presentan las mayores contribuciones de la categoría “Buena”. La categoría “Moderada” presenta una proporción no despreciable en Suba y Tunal. Carvajal muestra un contraste amplio respecto a las demás estaciones al tener una contribución notablemente baja de la categoría “Buena” y en algunos días una calidad del aire “Dañina a la salud para grupos sensibles”. La categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” representa efectos adversos en la salud para personas con afecciones cardiacas o respiratorias, adultos mayores y niños.



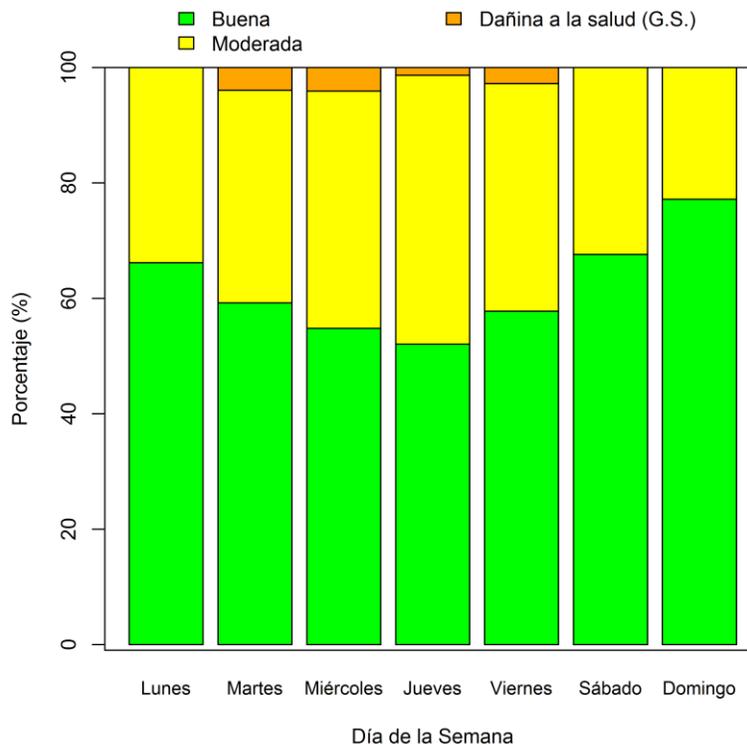
**Figura 3-51.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para  $PM_{2.5}$  por estación para el tercer trimestre de 2014.

La Figura 3-52 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses de julio, agosto y septiembre de 2014. Todos los meses registraron las categorías “Buena”, “Moderada” y “Dañina a la salud para grupos sensibles”. Sin embargo, se observa que julio registró una mejor calidad del aire en contraparte a los dos meses posteriores. Este comportamiento es similar al observado para  $PM_{10}$  y está asociado principalmente a la variación en la velocidad de los vientos en la ciudad.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-52 muestra que los domingos y los lunes presentaron mejor calidad del aire por su mayor participación de la categoría “Buena”. Su proporción disminuye entre martes y jueves y vuelve a aumentar hasta el día sábado. La categoría “Dañina a la salud para grupos sensibles” solamente se registra entre martes y viernes, un comportamiento que concuerda con la tendencia de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  en cada una de las estaciones de monitoreo, el cual está asociado a la dinámica de la ciudad.

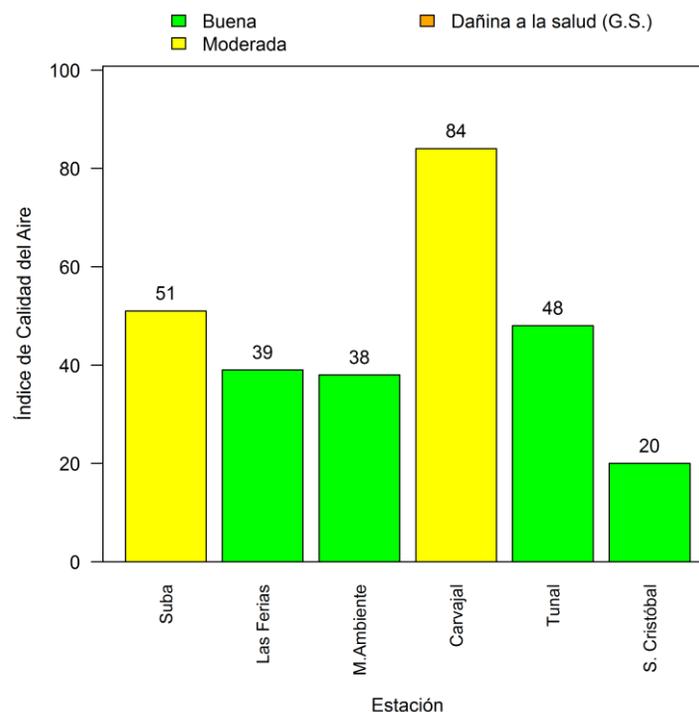


**Figura 3-52.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> para los meses de julio, agosto y septiembre de 2014.



**Figura 3-53** Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM<sub>2.5</sub> por día de la semana para el tercer trimestre de 2014.

Los valores de ICA de la Figura 3-54 durante el tercer trimestre de 2014 muestran que las estaciones Suba y Carvajal registraron en promedio una categoría “Moderada” al presentar más de 50 unidades. Tunal se encuentra cerca de este límite al presentar un ICA de 48. Las Ferias y Ministerio de Ambiente presentaron un comportamiento mutuo similar mientras que los alrededores de la estación San Cristóbal mostraron la mejor calidad del aire con 20 unidades. En comparación con los resultados obtenidos para  $PM_{10}$ , se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de  $PM_{2.5}$  en este trimestre presentaron una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como la ocurrencia de episodios de alta contaminación.



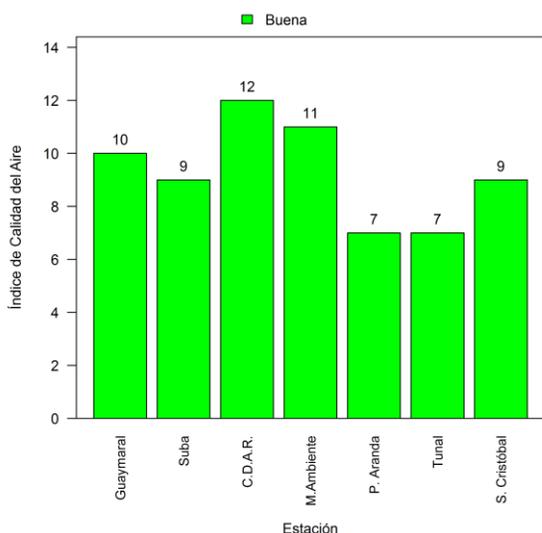
**Figura 3-54.** Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para  $PM_{2.5}$  durante el tercer trimestre de 2014.

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

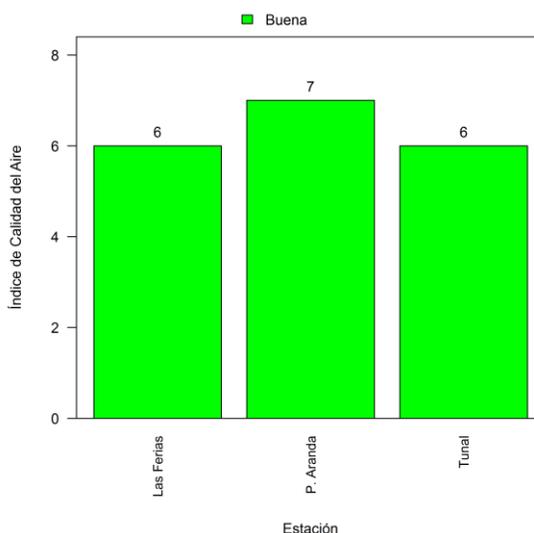
La Figura 3-55, la Figura 3-56 y la Figura 3-57 presentan el índice de calidad del aire promedio por estación para el tercer trimestre de 2014 en los contaminantes  $O_3$ ,  $CO$  y  $SO_2$ . La categoría “Moderada” se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite demostrando la predominancia de la categoría “Buena” durante el trimestre. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es  $SO_2$  ya que ninguna estación supera las 3 unidades.

En lo referente al ozono, los mayores índices de calidad del aire se encontraron en las estaciones Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente, ubicadas al norte, centro y oriente de la ciudad mientras que Puente Aranda y Tunal presentaron los

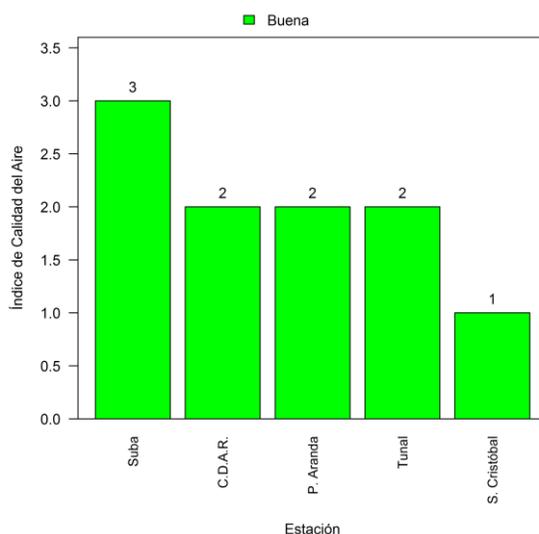
ICA más bajos. Este comportamiento es contrario al observado para los demás contaminantes donde generalmente el sur y el occidente presentan los estados más deteriorados de calidad del aire. Para el monóxido de carbono, los valores de ICA se encontraron entre 6 y 7 unidades. Las tendencias del dióxido de azufre muestran que comparativamente Suba niveles más altos, aunque lejos de entrar en la categoría “Moderada”. Las concentraciones de dióxido de nitrógeno no permitieron el cálculo de ICA ya que sus valores son inferiores a los límites calculables. Los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 3-55.** Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O<sub>3</sub>). Base de 8 horas.



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



**Figura 3-57.** Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Base diaria.

### 3.4. Síntesis de resultados

Esta sección contiene una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para cada caso se presenta el comportamiento de los promedios en las bases temporales estudiadas para el tercer trimestre de 2014.

Para cada tabla, se observa en la primera columna la zona geográfica donde se encuentra cada estación, en la segunda aparece el nombre respectivo y en la tercera se informa el número de promedios obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de representatividad temporal, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado, ya sea un mes o un año, sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. Este indicador muestra la cobertura temporal del monitoreo. La quinta columna informa el número de promedios que estuvieron por encima de la norma y en la sexta se encuentra el porcentaje de estas excedencias sobre el total de los datos obtenidos para cada estación. La séptima columna informa el número de promedios que están por encima del 50% y van hasta el 75% del valor de la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero entre el 75% y el 100%, lo cual resulta importante en la medida que permite visualizar las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a vencer la norma. En la novena columna se muestra el máximo encontrado en el periodo y en la décima el cociente del máximo sobre el valor de la norma, lo que da un indicativo de la susceptibilidad de exceder los límites normativos.

**Tabla 3-19.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>10</sub> [Norma: 100 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	79	86%	0	0%	3	0	63	0,6
	Usaquén	54	59%	0	0%	0	0	38	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>133</b>	<b>72%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>0,6</b>
Noroccidente	Suba	83	90%	0	0%	6	0	66	0,7
	Las Ferias	30	33%	0	0%	3	0	60	0,6
	<b>Subtotal</b>	<b>113</b>	<b>61%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>66</b>	<b>0,7</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	18	20%	0	0%	1	0	56	0,6
	MinAmbiente	88	96%	0	0%	2	0	53	0,5
	<b>Subtotal</b>	<b>106</b>	<b>58%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>56</b>	<b>0,6</b>
Suroccidente	Puente Aranda	70	76%	2	3%	30	9	104	1,0
	Kennedy	71	77%	0	0%	30	11	92	0,9
	Carvajal	64	70%	14	22%	12	33	142	1,4
	<b>Subtotal</b>	<b>205</b>	<b>74%</b>	<b>16</b>	<b>8%</b>	<b>72</b>	<b>53</b>	<b>142</b>	<b>1,4</b>
Sur	Tunal	91	99%	0	0%	28	3	96	1,0
	San Cristóbal	46	50%	0	0%	9	0	71	0,7
	<b>Subtotal</b>	<b>137</b>	<b>74%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>37</b>	<b>3</b>	<b>96</b>	<b>1,0</b>

**Tabla 3-20.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>2.5</sub> [Norma diaria: 50 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Usaquén	45	49%	0	0%	0	0	14	0,3
	<b>Subtotal</b>	<b>45</b>	<b>49%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>0,3</b>
Noroccidente	Suba	82	89%	0	0%	6	0	37	0,7
	Las Ferias	72	78%	0	0%	3	0	28	0,6
	<b>Subtotal</b>	<b>154</b>	<b>84%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>37</b>	<b>0,7</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	57	62%	0	0%	1	0	28	0,6
	MinAmbiente	82	89%	0	0%	2	0	26	0,5
	<b>Subtotal</b>	<b>139</b>	<b>76%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>0,6</b>
Suroccidente	Kennedy	61	66%	0	0%	18	4	42	0,8
	Carvajal	83	90%	0	0%	49	20	47	0,9
	<b>Subtotal</b>	<b>144</b>	<b>78%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>67</b>	<b>24</b>	<b>47</b>	<b>0,9</b>
Sur	Tunal	91	99%	0	0%	7	0	35	0,7
	San Cristóbal	92	100%	0	0%	0	0	20	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>183</b>	<b>99%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>35</b>	<b>0,7</b>

**Tabla 3-21.** Consolidado de los promedios horarios de O<sub>3</sub>, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de O <sub>3</sub> [Norma: 120 µg/m <sup>3</sup> ]									
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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2101	95%	1	0%	62	1	136	1,1
	Usaquén	1651	75%	0	0%	9	0	67	0,6
	<b>Subtotal</b>	<b>3752</b>	<b>85%</b>	<b>1</b>	<b>0%</b>	<b>71</b>	<b>1</b>	<b>136</b>	<b>1,1</b>
Noroccidente	Suba	2182	99%	0	0%	23	1	94	0,8
	Las Ferias	1364	62%	0	0%	29	0	87	0,7
	<b>Subtotal</b>	<b>3546</b>	<b>80%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>52</b>	<b>1</b>	<b>94</b>	<b>0,8</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1685	76%	0	0%	69	0	84	0,7
	MinAmbiente	2206	100%	0	0%	51	1	98	0,8
	<b>Subtotal</b>	<b>3891</b>	<b>88%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>120</b>	<b>1</b>	<b>98</b>	<b>0,8</b>
Suroccidente	Fontibón	16	1%	0	0%	0	0	29	0,2
	Puente Aranda	2196	100%	0	0%	0	0	58	0,5
	Carvajal	1273	58%	0	0%	0	0	51	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>3485</b>	<b>53%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>58</b>	<b>0,5</b>
Sur	Tunal	2157	98%	0	0%	0	0	57	0,5
	San Cristóbal	2126	96%	0	0%	0	0	60	0,5
	<b>Subtotal</b>	<b>4283</b>	<b>97%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>0,5</b>

**Tabla 3-22.** Consolidado de los promedios móviles de O<sub>3</sub> de 8 horas, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de O <sub>3</sub> [Norma: 80 µg/m <sup>3</sup> ]									
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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2087	95%	0	0%	158	24	75	0,9
	Usaquén	1641	74%	0	0%	55	3	62	0,8
	<b>Subtotal</b>	<b>3728</b>	<b>84%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>213</b>	<b>27</b>	<b>75</b>	<b>0,9</b>
Noroccidente	Suba	2173	98%	0	0%	124	8	72	0,9
	Las Ferias	1349	61%	0	0%	147	13	74	0,9
	<b>Subtotal</b>	<b>3522</b>	<b>80%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>271</b>	<b>21</b>	<b>74</b>	<b>0,9</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1675	76%	0	0%	297	36	75	0,9
	MinAmbiente	2207	100%	0	0%	308	29	73	0,9
	<b>Subtotal</b>	<b>3882</b>	<b>88%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>605</b>	<b>65</b>	<b>75</b>	<b>0,9</b>
Suroccidente	Fontibón	20	1%	0	0%	0	0	25	0,3
	Puente Aranda	2207	100%	0	0%	44	0	54	0,7
	Carvajal	1233	56%	0	0%	0	0	37	0,5
	<b>Subtotal</b>	<b>3460</b>	<b>52%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>44</b>	<b>0</b>	<b>54</b>	<b>0,7</b>
Sur	Tunal	2170	98%	0	0%	45	0	52	0,7
	San Cristóbal	2112	96%	0	0%	71	0	49	0,6
	<b>Subtotal</b>	<b>4282</b>	<b>97%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>116</b>	<b>0</b>	<b>52</b>	<b>0,7</b>

**Tabla 3-23.** Consolidado de los promedios horarios de NO<sub>2</sub>, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de NO <sub>2</sub> [Norma: 200 µg/m <sup>3</sup> ; 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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2101	95%	0	0%	0	0	81	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>2101</b>	<b>95%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>81</b>	<b>0,4</b>
Noroccidente	Suba	2187	99%	0	0%	0	0	76	0,4
	Las Ferias	553	25%	0	0%	2	0	136	0,7
	<b>Subtotal</b>	<b>2740</b>	<b>62%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>136</b>	<b>0,7</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	435	20%	0	0%	0	0	97	0,5
	<b>Subtotal</b>	<b>435</b>	<b>20%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>97</b>	<b>0,5</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2178	99%	0	0%	2	0	115	0,6
	Kennedy	2192	99%	0	0%	0	0	92	0,5
	Carvajal	119	5%	0	0%	0	0	71	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>4489</b>	<b>68%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>115</b>	<b>0,6</b>
Sur	Tunal	1827	83%	0	0%	5	0	135	0,7
	<b>Subtotal</b>	<b>1827</b>	<b>83%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>135</b>	<b>0,7</b>

**Tabla 3-24.** Consolidado de los promedios diarios de NO<sub>2</sub>, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de NO <sub>2</sub> [Norma: 150 µg/m <sup>3</sup> ; 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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	86	93%	0	0%	0	0	34	0,2
	<b>Subtotal</b>	<b>86</b>	<b>93%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>34</b>	<b>0,2</b>
Noroccidente	Suba	92	100%	0	0%	0	0	43	0,3
	Las Ferias	21	23%	0	0%	0	0	54	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>113</b>	<b>61%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>54</b>	<b>0,4</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	16	17%	0	0%	0	0	45	0,3
	<b>Subtotal</b>	<b>16</b>	<b>17%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>0,3</b>
Suroccidente	Puente Aranda	92	100%	0	0%	0	0	57	0,4
	Kennedy	92	100%	0	0%	0	0	51	0,3
	Carvajal	4	4%	0	0%	0	0	50	0,3
	<b>Subtotal</b>	<b>188</b>	<b>68%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>57</b>	<b>0,4</b>
Sur	Tunal	76	83%	0	0%	0	0	52	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>76</b>	<b>83%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>52</b>	<b>0,4</b>

**Tabla 3-25.** Consolidado de los promedios horarios de CO, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m <sup>3</sup> ; 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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Usaquén	971	44%	0	0%	0	0	1,6	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>971</b>	<b>44%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0</b>
Noroccidente	Las Ferias	2041	92%	0	0%	0	0	2,6	0,1
	<b>Subtotal</b>	<b>2041</b>	<b>92%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,6</b>	<b>0,1</b>
Suroccidente	Fontibón	16	1%	0	0%	0	0	0,7	0,0
	Puente Aranda	2192	99%	0	0%	0	0	3,9	0,1
	Carvajal	1312	59%	0	0%	0	0	6,8	0,2
	<b>Subtotal</b>	<b>3520</b>	<b>53%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,8</b>	<b>0,2</b>
Sur	Tunal	2188	99%	0	0%	0	0	4,0	0,1
	San Cristóbal	1645	75%	0	0%	0	0	4,5	0,1
	<b>Subtotal</b>	<b>3833</b>	<b>87%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,5</b>	<b>0,1</b>

**Tabla 3-26.** Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m <sup>3</sup> ]									
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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Norte	Usaquén	965	44%	0	0%	0	0	0,7	0,1
	<b>Subtotal</b>	<b>965</b>	<b>44%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1</b>
Noroccidente	Las Ferias	2042	93%	0	0%	0	0	1,7	0,2
	<b>Subtotal</b>	<b>2042</b>	<b>93%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>
Suroccidente	Fontibón	20	1%	0	0%	0	0	0,4	0,0
	Puente Aranda	2201	100%	0	0%	0	0	2,0	0,2
	Carvajal	1301	59%	0	0%	0	0	4,0	0,4
	<b>Subtotal</b>	<b>3522</b>	<b>53%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4,0</b>	<b>0,4</b>
Sur	Tunal	2188	99%	0	0%	0	0	1,9	0,2
	San Cristóbal	1598	72%	0	0%	0	0	2,8	0,3
	<b>Subtotal</b>	<b>3786</b>	<b>86%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,8</b>	<b>0,3</b>

**Tabla 3-27.** Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO<sub>2</sub>, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO <sub>2</sub> [Norma: 750 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	2048	93%	0	0%	0	0	71	0,1
	Las Ferias	1622	73%	0	0%	0	0	14	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>3670</b>	<b>83%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>71</b>	<b>0,0</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1799	82%	0	0%	0	0	17	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>1799</b>	<b>82%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>17</b>	<b>0,0</b>
Suroccidente	Fontibón	11	0%	0	0%	0	0	15	0,0
	Puente Aranda	2192	99%	0	0%	0	0	26	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>2203</b>	<b>50%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>0,0</b>
Sur	Tunal	2145	97%	0	0%	0	0	29	0,0
	San Cristóbal	1859	84%	0	0%	0	0	11	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>4004</b>	<b>91%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>29</b>	<b>0,0</b>

**Tabla 3-28.** Consolidado de los promedios diarios de SO<sub>2</sub>, tercer trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de SO <sub>2</sub> [Norma diaria: 250 µg/m <sup>3</sup> ; 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 <sup>3</sup> ]	Max/Norma
Noroccidente	Suba	87	95%	0	0%	0	0	18	0,1
	Las Ferias	66	72%	0	0%	0	0	6	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>153</b>	<b>83%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>0,0</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	74	80%	0	0%	0	0	7	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>74</b>	<b>80%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0,0</b>
Suroccidente	Puente Aranda	92	100%	0	0%	0	0	9	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>92</b>	<b>100%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0,0</b>
Sur	Tunal	89	97%	0	0%	0	0	9	0,0
	San Cristóbal	77	84%	0	0%	0	0	4	0,0
	<b>Subtotal</b>	<b>166</b>	<b>90%</b>	<b>0</b>	<b>0%</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0,0</b>

## 4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

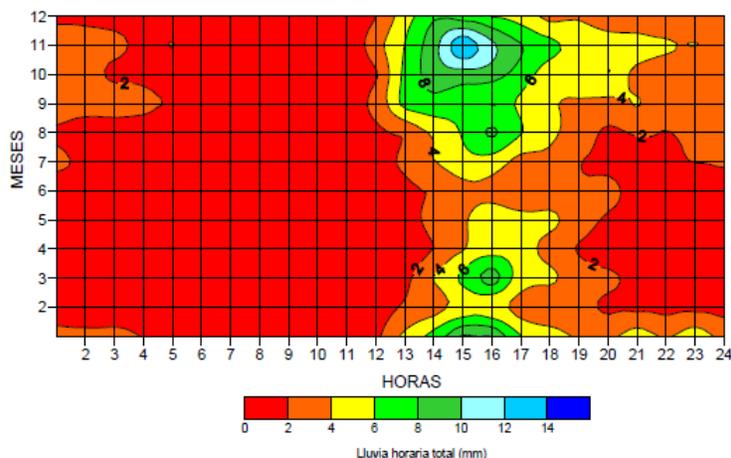
Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el tercer trimestre del año 2014. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) a través de los sensores localizados en sus estaciones, realiza el monitoreo de variables meteorológicas como la precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura superficial, radiación solar y humedad relativa.

### 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). A lo largo del tercer trimestre de 2014 se presentó una fase neutral según informes de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), en donde las anomalías de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico alcanzaron un máximo de 0.1°C en el promedio de los trimestres abril mayo junio (JAS) y un mínimo de -0.1 en marzo abril mayo (MAM). Esto significa que durante el trimestre 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 sureste, los cuales confluyen en la zona tropical formando la llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra genera las temporadas de lluvia en el país<sup>1</sup>. Regularmente la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía modificando la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá – Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad (500 a 1000 mm en promedio (2)). La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, La precipitación en Colombia). Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá se resumen desde el punto de vista horario y mensual en la Figura 4-1, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde y primeras horas de la noche.



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

Los vientos alisios traen consigo lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y tienden a arrastrar la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad. Por otra parte, los llamados 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. (Secretaría distrital de Ambiente, 2011)

#### 4.1. Precipitación

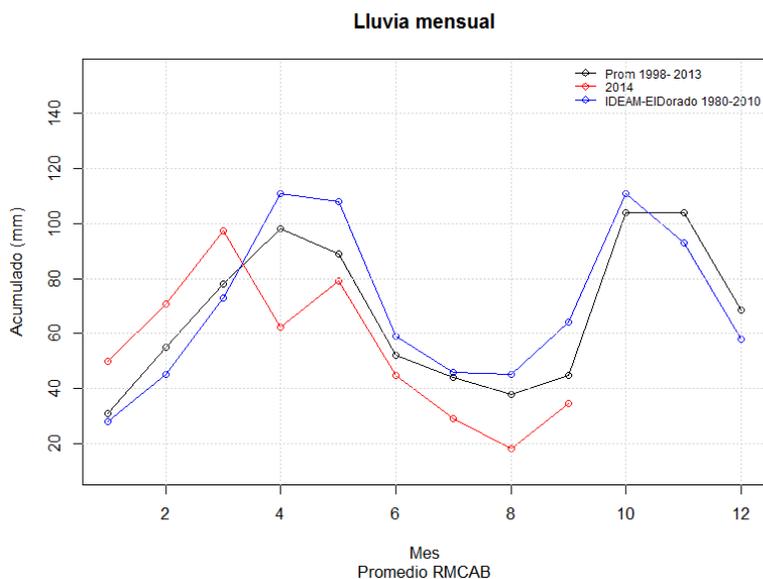
Las estaciones consideradas en el trimestre para la variable precipitación se presentan en la Tabla 4-1 en donde se observa la representatividad de los datos recolectados mensualmente durante el trimestre.

**Tabla 4-1** Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el tercer trimestre de 2014

Estación	JUL	AUG	SEP	PROM
Carvajal	99	24	76	66
Centro de Alto Rendimiento	89	98	67	85
Fontibón	2	0	0	1
Guaymaral	94	93	99	95
Kennedy	0	0	99	33
Las Ferias	100	80	58	79
MinAmbiente	100	100	100	100
Puente Aranda	100	100	100	100
San Cristóbal	100	100	100	100
Suba	100	99	100	100

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual del periodo 1998 – 2013, el promedio mensual de las estación del aeropuerto EIDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y lo corrido de 2014. Se observa que durante el trimestre la ciudad reportó un acumulado significativamente inferior a las referencias, particularmente en el mes de agosto en donde la diferencia estuvo cerca de los 20 mm respecto al estimado de la RMCAB. Es importante resaltar que los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

La Figura 4-3 muestra el acumulado de precipitación trimestral comparada con los últimos años. En el tercer trimestre de 2014 se presentó un acumulado promedio de 73 mm, por debajo de los últimos años y uno de los más bajos reportados hasta la fecha solamente superado por 2006 con 52 mm (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). Por su parte, la Figura 4-4 presenta en el eje de las abscisas la hora, en el eje de las ordenadas el mes y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el trimestre; en ella se nota una diferencia de la estacionalidad de la lluvia con respecto a la climatología, en donde lo valores más significativos se presentaron en el mes de febrero, en horas de las tardes. En la Figura 4-5 se aprecia el comportamiento en cada una de las estaciones de la red. Durante el trimestre, las lluvias más significativas se concentraron en el mes de septiembre, en horas de las tardes particularmente en las estaciones de Guaymaral, Usaquén y Centro de alto rendimiento.



**Figura 4-2** Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado en el tercer trimestre de 2014 por la RMCAB.

Lluvia trimestral multianual

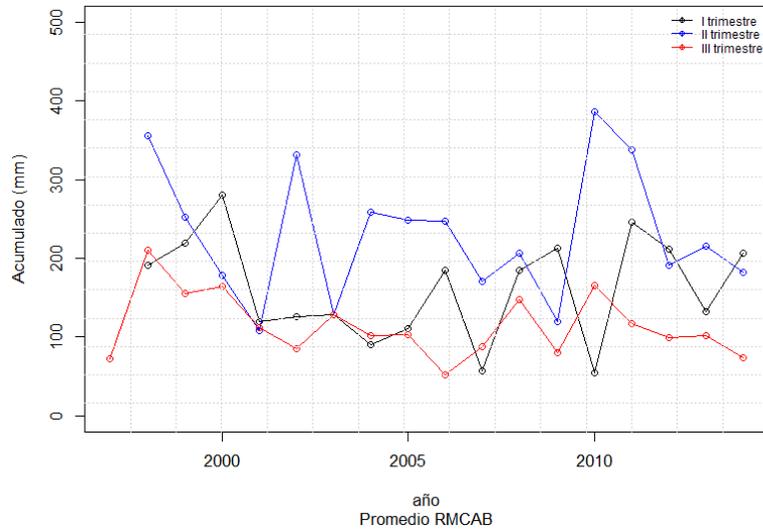


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación del II trimestre desde 1998 hasta 2014.

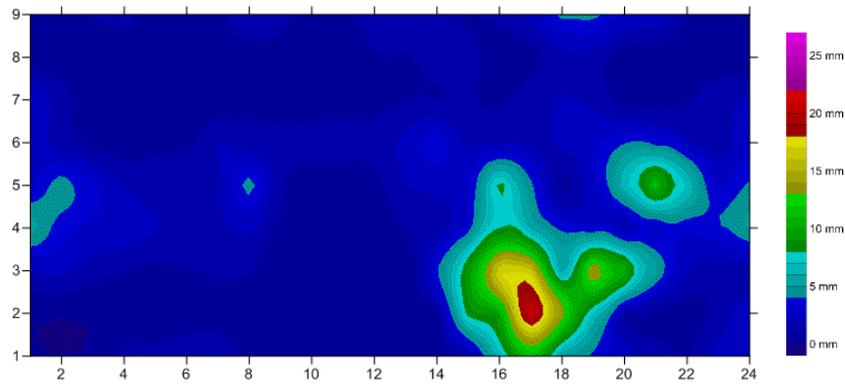
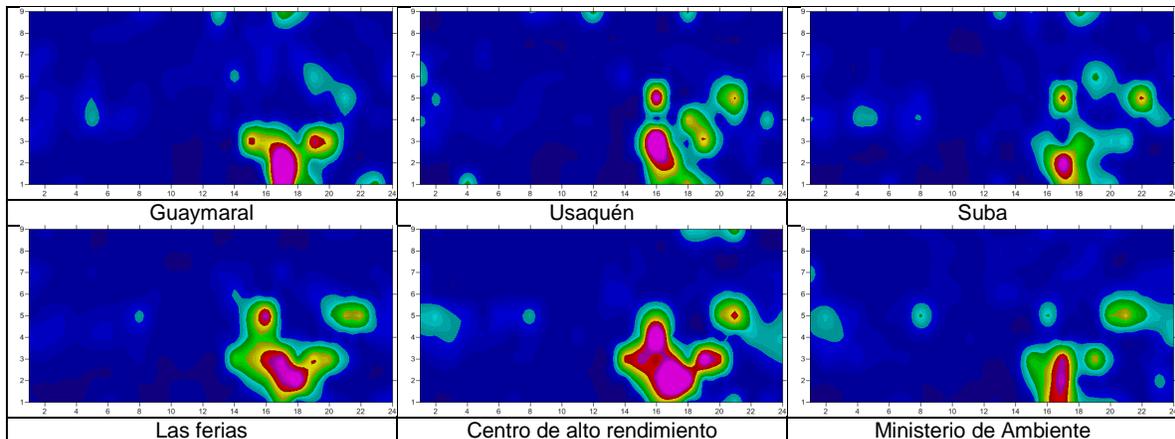
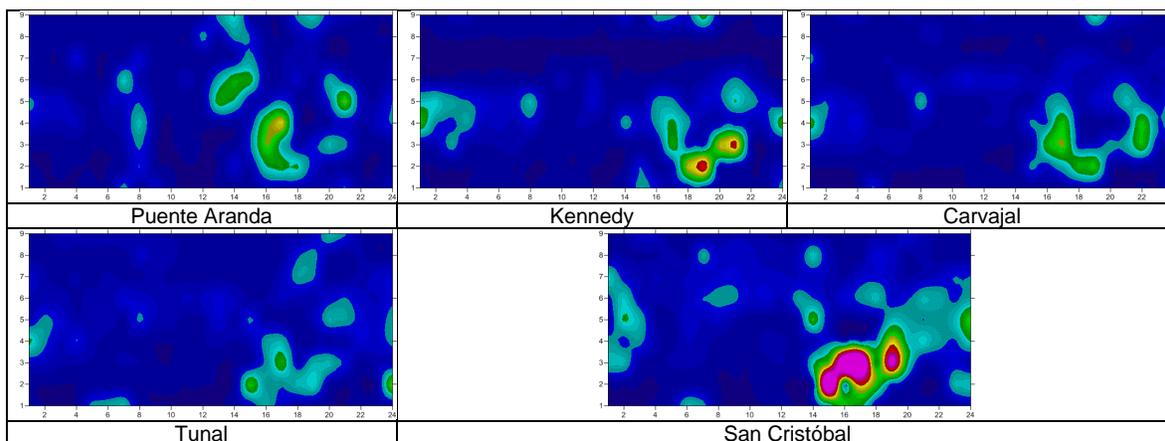


Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).





**Figura 4-5.** Precipitación promedio acumulado de las estaciones en 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

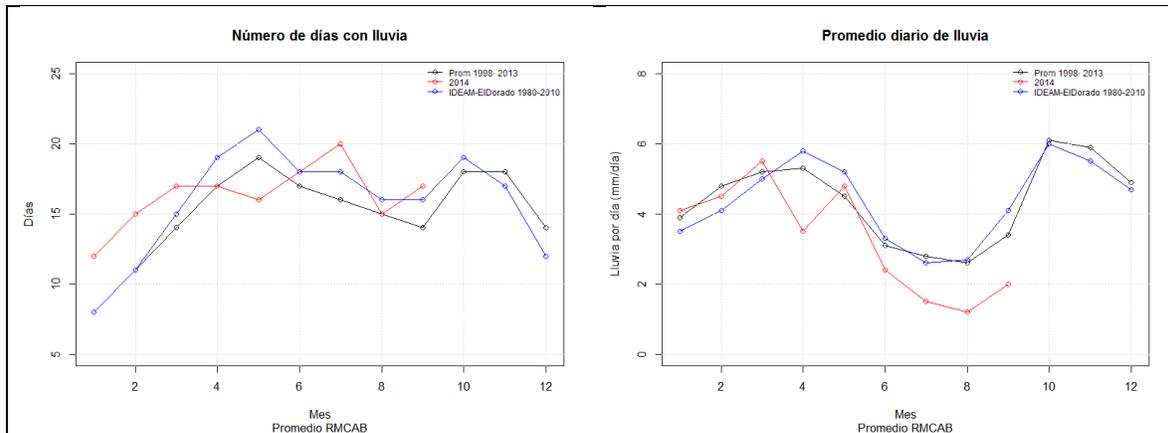
Los datos presentados en la Tabla 4-2 representan los acumulados del trimestre de cada estación de la red, hasta 2014. Llama la atención el reducido valor de las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Las Ferias, ya que durante este trimestre se obtuvieron los registros mas bajos y es en esta zona donde es común encontrar los mayores acumulados de la ciudad.

**Tabla 4-2.** Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2014 en el trimestre JAS.

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Bolivia													40.6	179.2	
Cade Energia	202.4	119.2	52.6	82.4	94.7										
Carvajal	152.4	91	74.5	44.8	72.1		37.4	87.1		88.7	165.8	93.2	91.1	108.7	
Cazuca	129.7	77.5	77.2		85.4	74.1	70.8	84.6	136.6						
Central de Mezclas	85.2	78.5													
Centro de Alto Rendimiento					137.6	117.1		95.3	116.5	72.6	239.6	188.5	69.4	100.1	28.5
Chico_lago_Sto_Tomas.	189.4	113.4	117.5		102.1		51.9	91.4	173.4	84.3	262.1				
Estación Móvil										87.2	221.6	103.6			
Fontibón	210.8	86.4		133	95.2			104	37.1	43.9	93.8	61.2	23	53.8	
Guaymaral	64.2	127.1	35.9	133.7				65	126.1	57.6	205.7	153.9	148.7	34.6	101.1
Kennedy							46.4	92.8	117.1		101.4			97.4	
Las Ferias	180.4	129.9	95.5		149.3	117.8	17.5	78.8	112	74.3	259.6	169.3	134.4	130.6	26.3
Mimbiente	246.4	165.6	110.9							76.8			140.5	122.5	76
Olaya	174.6														
Puente Aranda		111	87.2	366.2	71.6	105.8	41	71.8	360.4		127.7	90.1	83.2	78.2	83.3
San Cristóbal												116.4	131.9	135.1	128.6
Suba	181.9	114.5	65		109.8		38.1	67.6	131	89.1	106.9	72	152	159	83.1
Tul							89.9	108.4	58.1	98.7	174.7	116.1	65.4	135.5	87.7
Univ_ciol	156.6	108.2													
Usaquén	160.2	130.2	134.9	11.9			51.4	44.9	160.3	39.9	85.5	121.3	104.8	61.4	
USME							62.8	124.6	178.4		167.5				
Vitelma							67.2	118	214.2	143.2	101.7				
Promedio III TRIMESTRE	164.2	111.7	85.1	128.7	102	103.7	52.2	88.2	147.8	79.7	165.3	116.9	98.8	102.5	73.4

Con respecto al número de días que llueve en Bogotá, la Figura 4-6 muestra que en el tercer trimestre el número de días con lluvia estuvo ligeramente por encima de lo esperado salvo en el mes de agosto, donde el número de días con lluvia fue menor. En el caso de

lluvia por día, es similar a lo presentado en el acumulado total de lluvia, significativamente menor a lo esperado. Dado que los valores de precipitación fueron tan bajos mientras que el número de días con lluvia fue cercano a lo normal, se deducen precipitaciones ligeras y dispersas sobre la ciudad durante el periodo, con probables cielos encapotados y presencia de flujo de vientos proveniente de los llanos orientales (este) los cuales favorecieron el bajo registro observado de las precipitaciones.



**Figura 4-6.** Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el tercer trimestre de 2014.

El mapa de la Figura 4-7 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación del III trimestre de 2014 sobre esta superficie. Los sectores sombreados principalmente al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no son aptos para ser representados mediante métodos de interpolación, sin datos *In Situ*.

Se puede observar que el sector con menos precipitación de la capital fue registrado en la zona central de la ciudad, en Barrios Unidos, zonas de Engativá, de Teusaquillo y de Chapinero. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado suroriental representado por la estación de San Cristóbal abarcando esta localidad y sectores de Rafael Uribe, Antonio Nariño, Santa Fe y sur de la Candelaria. El resto de la ciudad se caracterizó por valores que oscilaron entre los 26 y 75 mm.

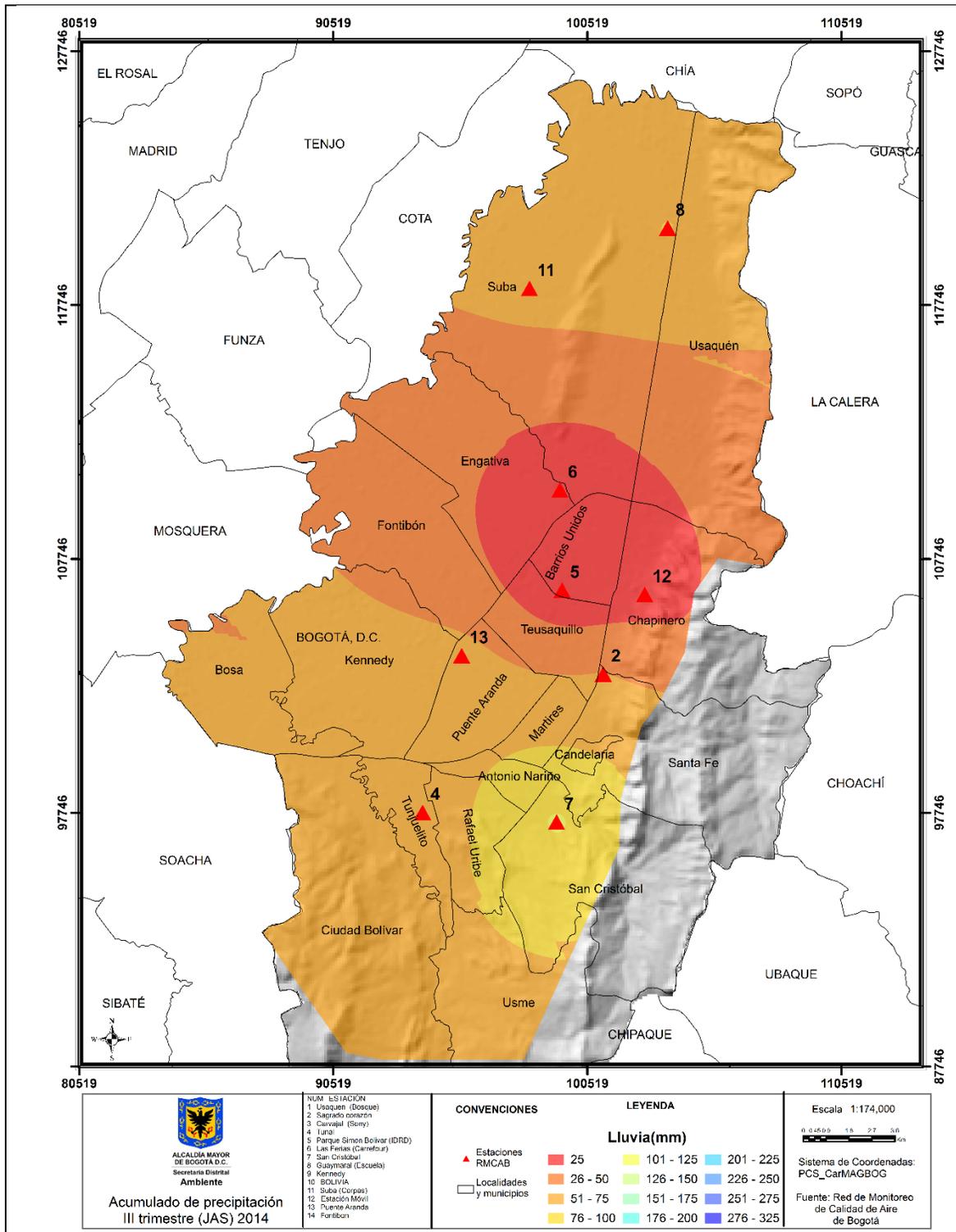
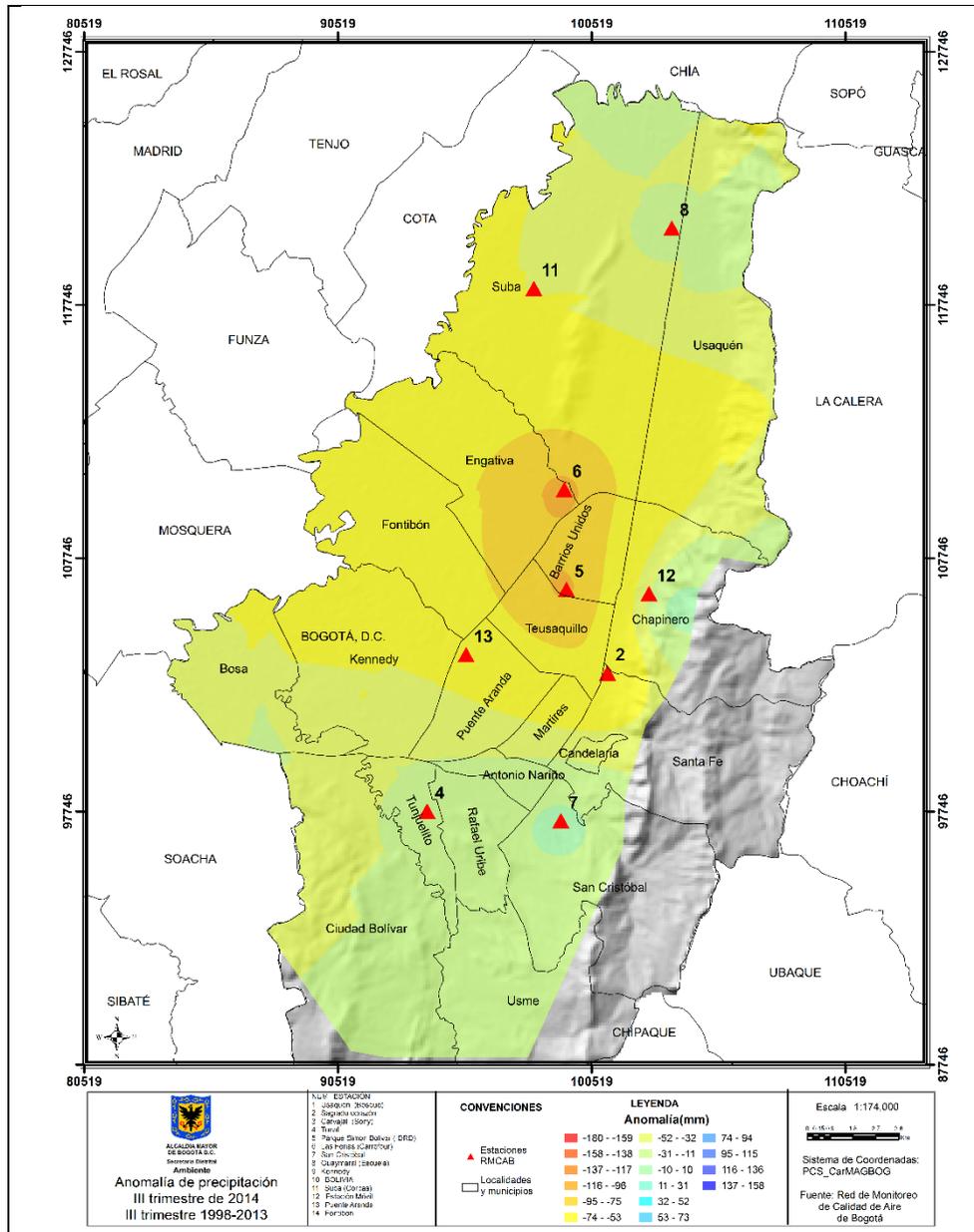


Figura 4-7. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el III trimestre de 2014.

En la Figura 4-8 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el III trimestre de 2014 y su similar en el periodo 1998-2013 (esto es denominado anomalía de precipitación. Note que cada estación tiene una historia distinta, según la fecha de inicio de operación). Se observa que la gran mayoría del área estuvo por debajo de lo esperado con particular acento en la zona central de la ciudad como se mencionó anteriormente.



**Figura 4-8.** Anomalia de precipitación trimestral entre 1998 – 2013 y 2014 para las estaciones de la RMCAB.

## 4.2. Vientos

Durante el tercer trimestre de 2014 la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones según se observa en la Tabla 4-3, la cual presenta la representatividad de los datos recolectados mensual y trimestralmente. Por su parte, la Tabla 4-4 presenta los valores promedio de las estaciones y los valores de velocidad máxima promedio trimestrales. Kennedy y Carvajal registraron los mayores valores promedio seguido de Puente Aranda; en velocidades máximas se observó a Puente Aranda y Suba con promedios trimestrales de 5.0 y 4.6 m/s respectivamente. Por el contrario Tunal y Guaymaral registraron promedios del viento de 1.0 y 1.2 m/s con valores máximos de 2.2 y 3.0 m/s respectivamente.

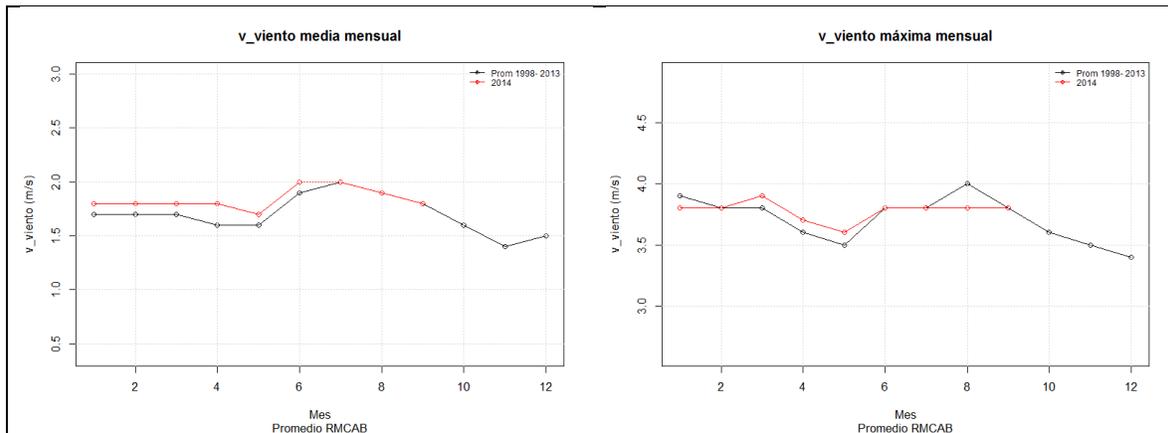
**Tabla 4-3** Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral

ESTACIÓN	Velocidad del viento (%)				Dirección del viento (%)			
	JUL	AUG	SEP	JAS	JUL	AUG	SEP	JAS
Carvajal	99	24	76	66	99	24	76	67
Centro de Alto Rendimiento	89	98	67	85	89	98	67	85
Fontibón	2	0	0	1	2	0	0	1
Guaymaral	94	93	99	95	94	93	99	95
Kennedy	100	91	99	97	100	91	99	97
Las Ferias	100	80	100	93	100	80	100	93
MinAmbiente	100	100	100	100	100	100	100	100
Puente Aranda	48	65	92	68	48	65	93	68
San Cristóbal	100	39	100	80	100	39	100	79
Suba	100	99	100	100	100	99	100	100
Tunal	100	100	100	100	100	100	100	100
Usaquén	93	70	65	76	93	70	65	76

**Tabla 4-4.** 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
	Carvajal	3	NA	2.5	2.8	4.8	NA	4.2
Centro de Alto Rendimiento	1.7	1.6	NA	1.7	3.2	3.1	NA	3.2
Guaymaral	1.3	1.3	1.1	1.2	2.9	3.2	2.8	3.0
Kennedy	3.1	2.9	2.7	2.9	5.3	5.3	5.1	5.2
Las Ferias	2.2	2	2	2.1	3.6	3.3	3.9	3.6
MinAmbiente	2	1.9	1.9	1.9	4.5	4.8	4.2	4.5
Puente Aranda	NA	NA	2.4	2.4	NA	NA	5.0	5.0
San Cristóbal	1.4	NA	1.6	1.5	3.3	NA	3.8	3.6
Suba	2.5	2.3	2	2.3	4.9	4.7	4.3	4.6
Tunal	1.1	1	1	1.0	2.2	2.1	2.3	2.2
Usaquén	1.8	NA	NA	1.8	3.5	NA	NA	3.5

La Figura 4-9 presenta los valores promedios históricos de velocidad media y máxima relativa de la red y la comparación con lo corrido de 2014. En el caso de la velocidad media, las condiciones fueron idénticas a lo esperado históricamente mientras que en el caso de las velocidades máximas relativas se presentaron valores menores, particularmente en el mes de agosto por debajo con 0.2 m/s.



**Figura 4-9.** Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

La Figura 4-10 esquematiza las rosas de vientos en la RMCAB durante el trimestre. Un gran número de estaciones presentaron direcciones predominantes del este – sureste en la zona norte y occidente mientras que del sureste – sur en el oriente y sur de la ciudad. En algunas zonas del norte se observaron predominancias del norte – noreste y fue común la baja predominancia de vientos del oeste. Las estaciones con mayor variabilidad en cuanto a dirección fueron Suba y Usaquén, mientras que Tunal presentó la mayor regularidad con vientos predominantes del sur. La Figura 4-10 asimismo presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que hacia el occidente y oriente de la ciudad, los vientos tienden a estar la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del noreste y sur en donde hasta el 30% de los datos del trimestre se presentaron en calma.

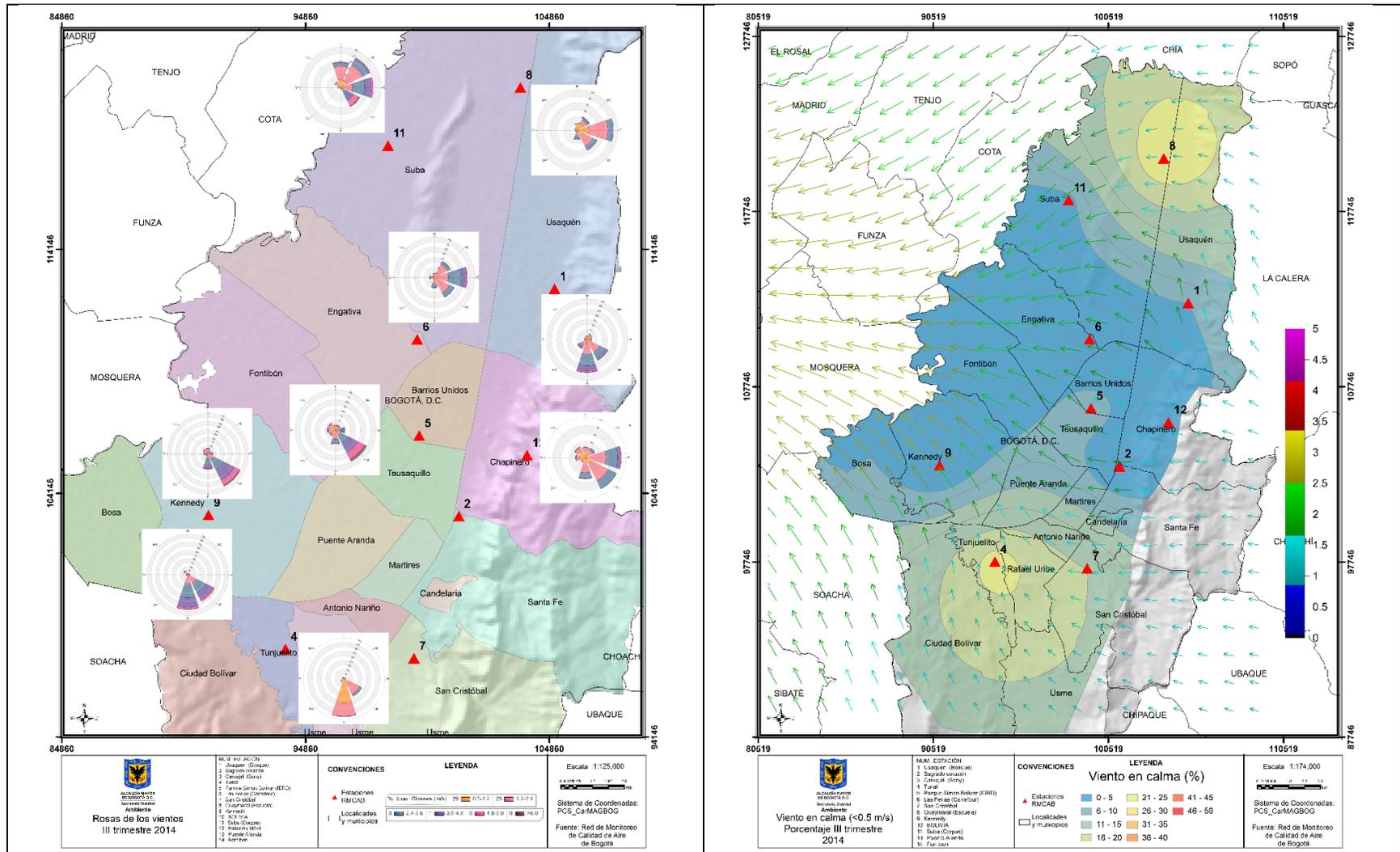
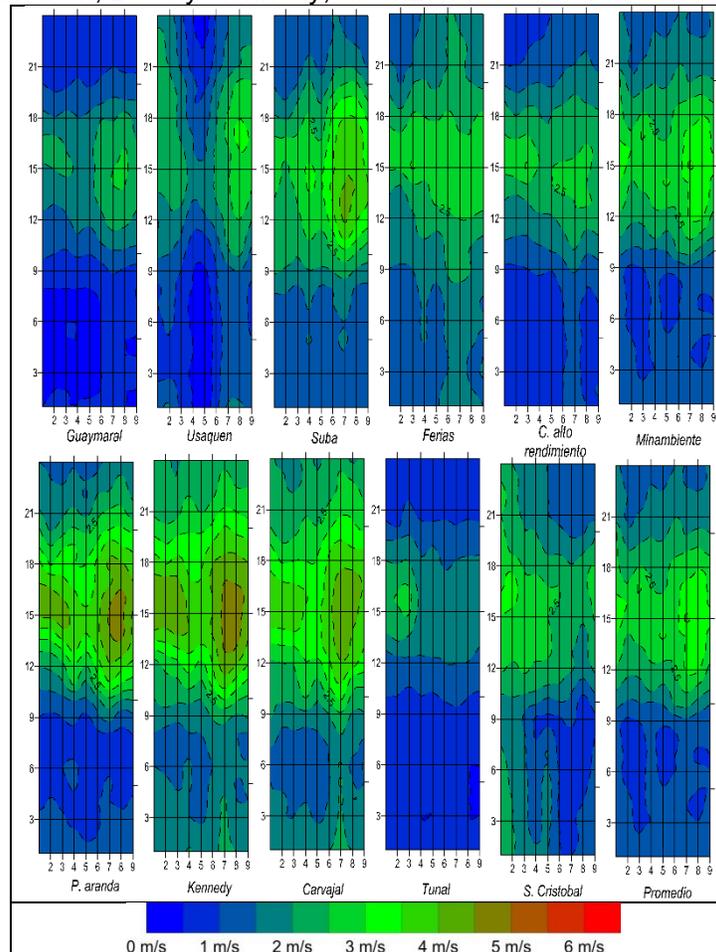


Figura 4-10. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (<math><0.5\text{ m/s}</math>), velocidad y dirección de los vientos.

La Figura 4-11 presenta las condiciones de viento para cada estación discriminado por mes y por hora; tal como se ha mencionado, Kennedy presenta los mayores promedios particularmente en las tardes y a principios del trimestre, condición que es característica según se observa en los diagramas de Puente Aranda y Carvajal; mientras que en estaciones como Guaymaral y Tunal los vientos tienen características débiles. El mapa de la Figura 4-12 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento para el tercer trimestre de 2014 sobre esta superficie. Asimismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos. Se puede observar el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del noreste y sureste - este en los extremos norte y sur de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Fontibón, Bosa y Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 3.6 m/s.



**Figura 4-11.** Velocidad del viento promedio de las estaciones en el tercer trimestre de 2014 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

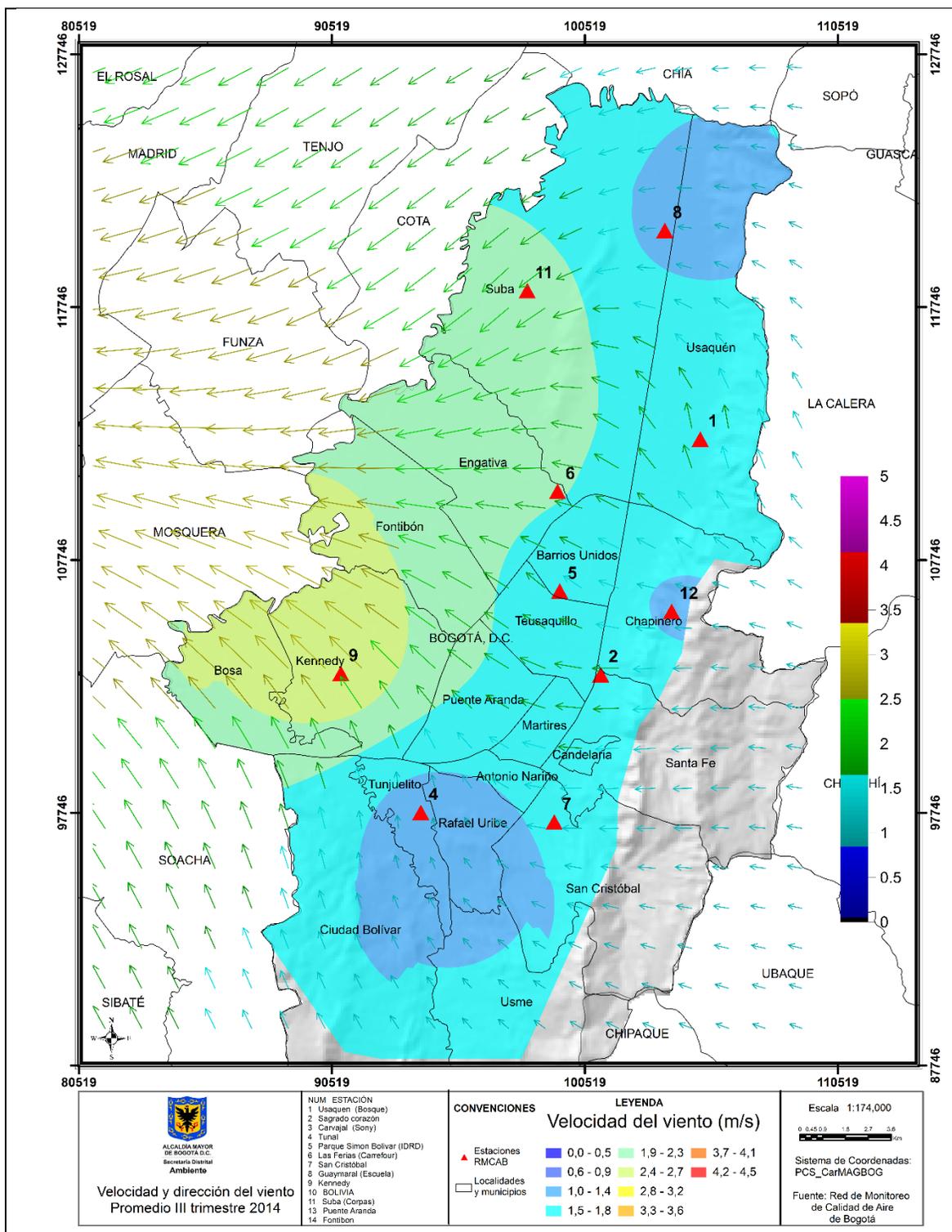


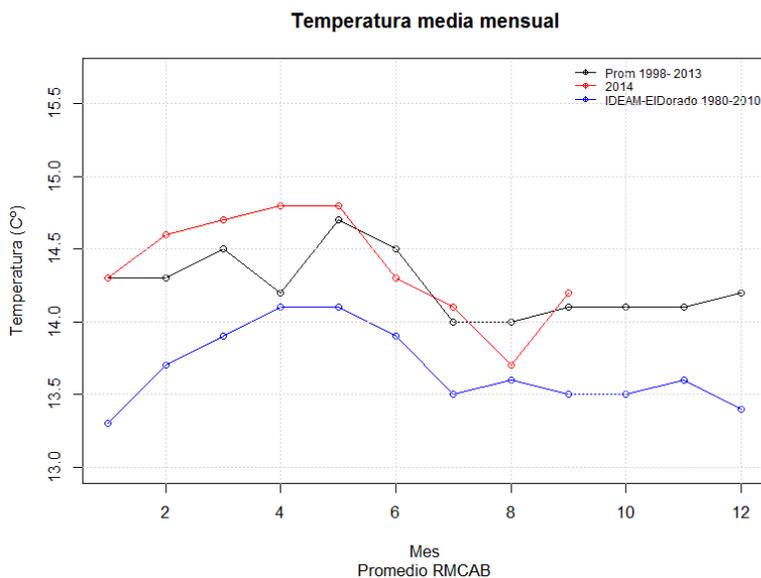
Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el tercer trimestre de 2014.

### 4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el trimestre para la variable temperatura se presentan en la Tabla 4-5 donde se observa el porcentaje de representatividad de los datos. El comportamiento de la temperatura en la ciudad durante el trimestre se caracterizó por valores ligeramente por debajo de los promedios de la RMCAB (periodo 1998-2013) durante el tercer trimestre con particular diferencia en el mes de agosto, cuya diferencia alcanzó 0.3°C con respecto a la historia de la RMCAB. Dichos valores promedios se pueden apreciar en la Figura 4-13 la cual muestra el promedio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente, los valores de la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y su comparación con el promedio de temperatura en el trimestre.

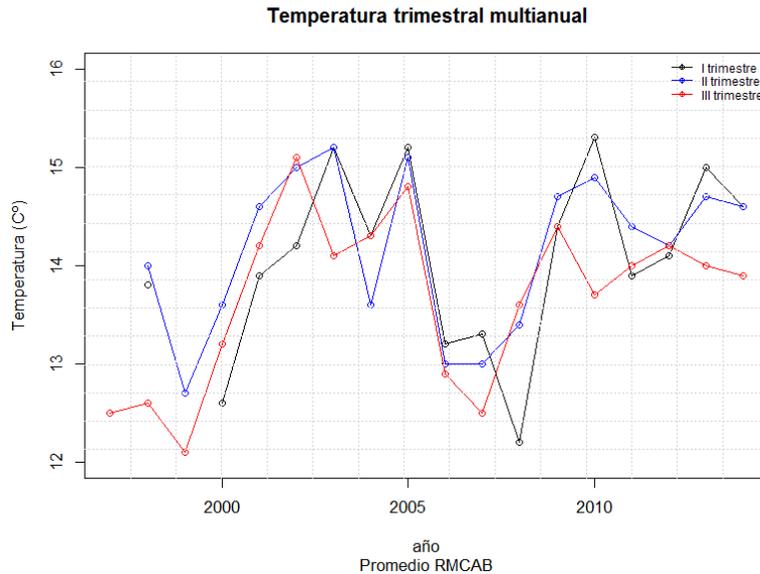
**Tabla 4-5.** Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el III trimestre de 2014

Estación	JUN	JUL	AUG	JAS
Carvajal	99	24	76	66
Centro de Alto Rendimiento	89	98	67	85
Fontibón	2	0	0	1
Guaymaral	94	93	99	95
Kennedy	100	99	99	99
Las Ferías	100	80	100	93
Puente Aranda	100	100	100	100
San Cristóbal	100	100	100	100
Suba	100	99	100	100
Tunal	100	100	100	100
Usaquén	93	70	65	76



**Figura 4-13.** Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y el tercer trimestre de 2014.

La Figura 4-14, muestra la evolución de la temperatura media de los segundos trimestres en el periodo 1998-2014. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2002 y 2005 (15.1°C y 14.8 °C) mientras que la menor temperatura fue en 1999 con 12.1 °C.



**Figura 4-14.** Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014.

La Tabla 4-6 muestra esta evolución de la temperatura trimestral distribuida en las estaciones de la RMCAB.

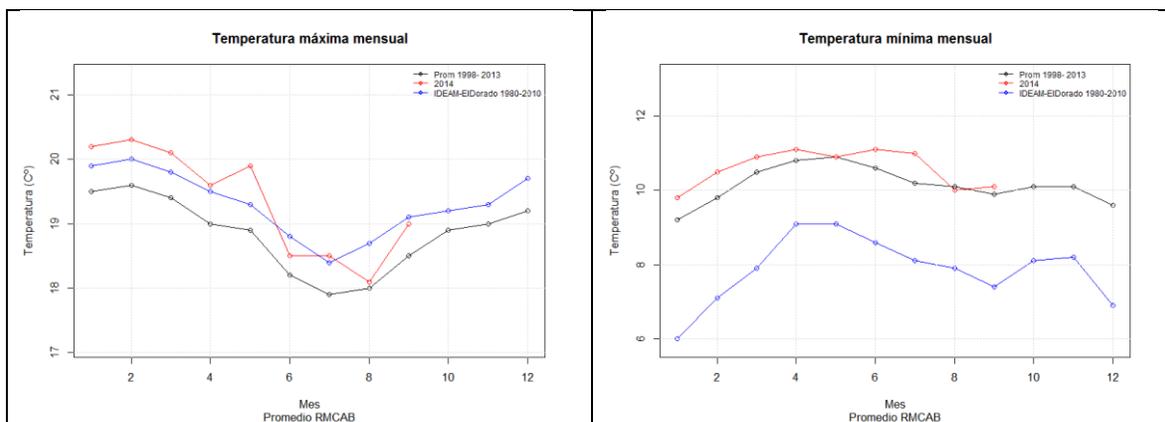
**Tabla 4-6.** Promedios de temperatura media trimestral de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014.

Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Carvajal							14.4	10.9	14.6	15.4	15	14.9	14.8	15.1	
Cazuca							12	12.3	15						
Central de Mezclas															
Centro de Alto Rendimiento						15.7			14.3	14.9	14.4	14.4	14.3	14.7	14.6
Estación Móvil										15.4	15	15.1			
Fontibón	13.3	13.6		13.9	13.6	13.9	14.1	13.7	14.2	14.7	13.7	13.6	13.5	13.8	
Guaymaral									13.4	14.4		14	13.9	14.3	14.1
Kennedy									14.2	15	14.2		14.4	14.6	14.9
Las Ferias	15.2	15.6	15.8		15.3	15.3			13.4	14.1	13.6	13.7	13.6	13.9	13.9
MinAmbiente										14.4					
Puente Aranda	13.8	14.1	14.4	14.3	14.1	14.4	14.4	14.3	14	14.5	14	13.8	13.4	13.2	13.7
San Cristóbal											13.1	13.6	12.3	12.7	12.4
Suba	10.3	13.3					12.3	13.3	13.5	12.2	13.1		13.7	14	13.8
Tunal							12.4		14.1	14.6		13.1	13.7	12.7	12.9
Usaquén									11.7	14.9	14.4	14.2	13.9	14.2	14.2
USME							10.6	11.7	13.6		12				
Vitelma								11.3	11.4	12.5	12.2				

Adicionalmente la Tabla 4-7 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. En ella se observa que la estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 10,4°C seguido de Tunal con 10,3°C mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 6,2 °C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Esto se puede apreciar en la Figura 4-15 donde se presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas de los últimos años y lo observado en el trimestre. Las temperaturas máximas fueron moderadamente menores a lo esperado históricamente por la red, (en especial el mes de agosto) mientras que las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio esperado. Esto junto con lo mencionado en la sección de lluvia permite inferir condiciones de abundante nubosidad tanto en las noches como en los mediodías.

**Tabla 4-7.** Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica. Fuente RMCAB

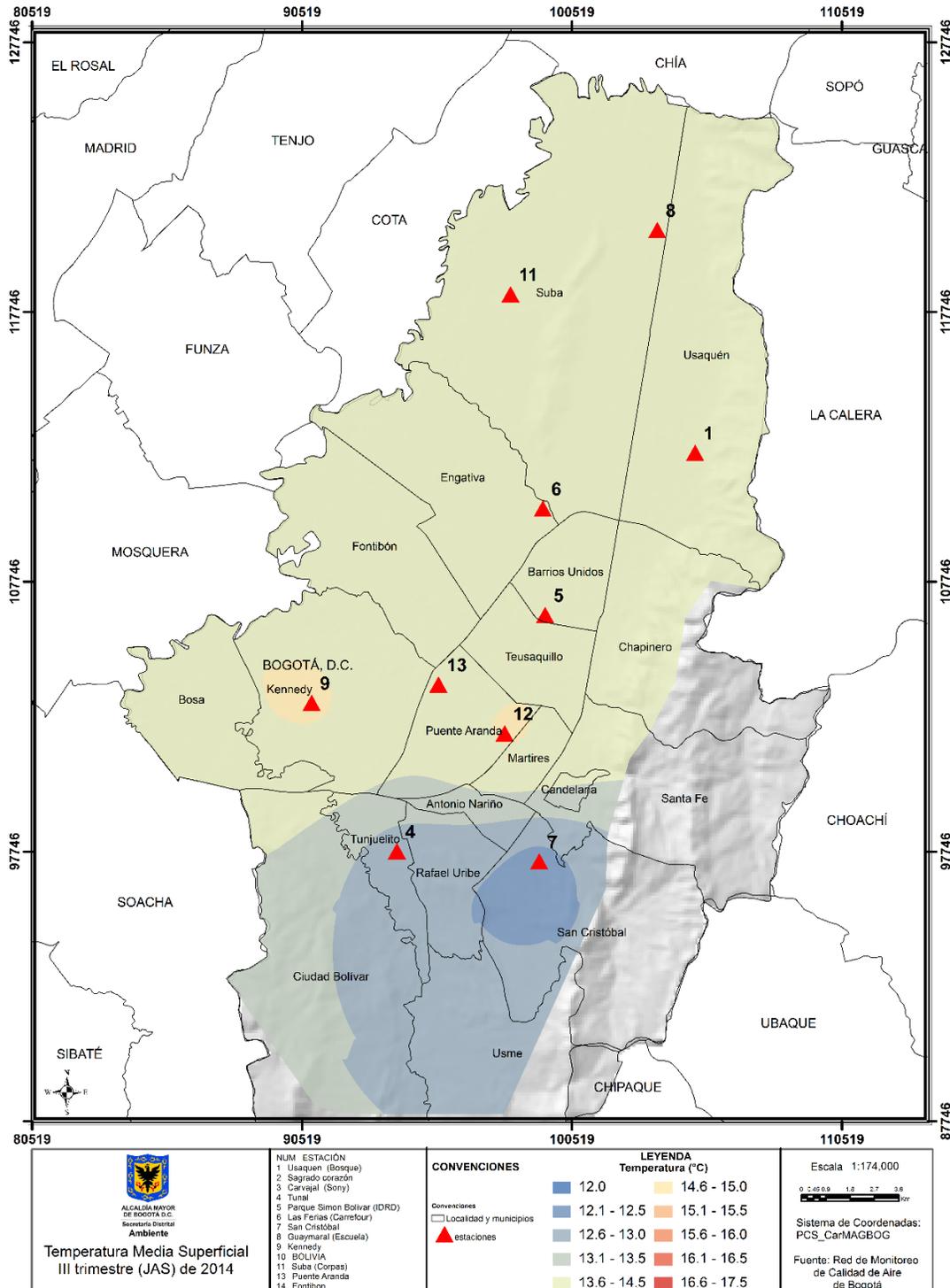
ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal	19.2	11.9	7.3
Centro de Alto Rendimiento	19.8	10.3	9.4
Guaymaral	19.8	9.4	10.4
Kennedy	19.1	11.5	7.6
Las Ferías	18.3	10.5	7.8
Puente Aranda	17.1	10.9	6.2
San Cristóbal	16.3	9.5	6.7
Suba	19.6	9.3	10.2
Tunal	18.9	8.6	10.3
Usaquén	18.1	11.6	6.5



**Figura 4-15.** Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y el tercer trimestre de 2014.

El mapa de la Figura 4-16 muestra 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, principalmente al oriente y sur, corresponden a terrenos que por su condición orográfica, entre otros, no pueden ser representados mediante métodos de interpolación. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital y que en el resto del área las temperaturas fueron homogéneas salvo algunos sectores de Kennedy y Puente Aranda.



**Figura 4-16.** Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el tercer trimestre de 2014.

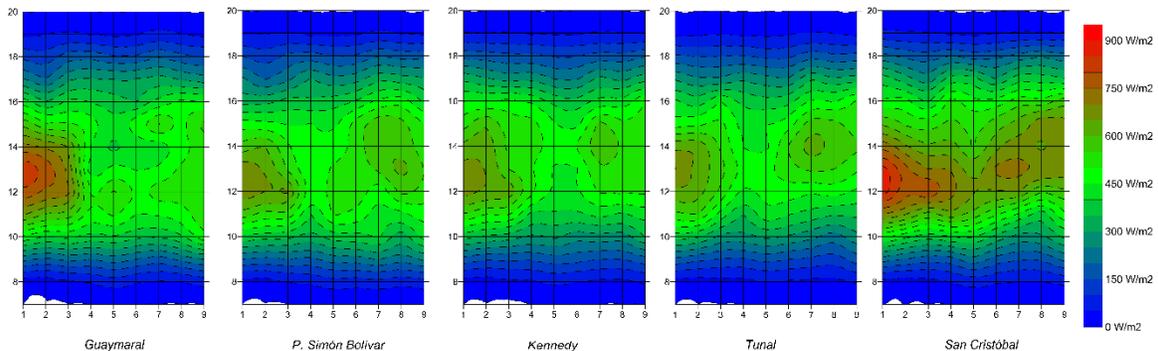
#### 4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global fue monitoreado por las estaciones descritas en la Tabla 4-8 la cual presenta la representatividad de los datos durante el mes y el trimestre;

**Tabla 4-8.** Representatividad (en %) de los registros de radiación solar global para el trimestre.

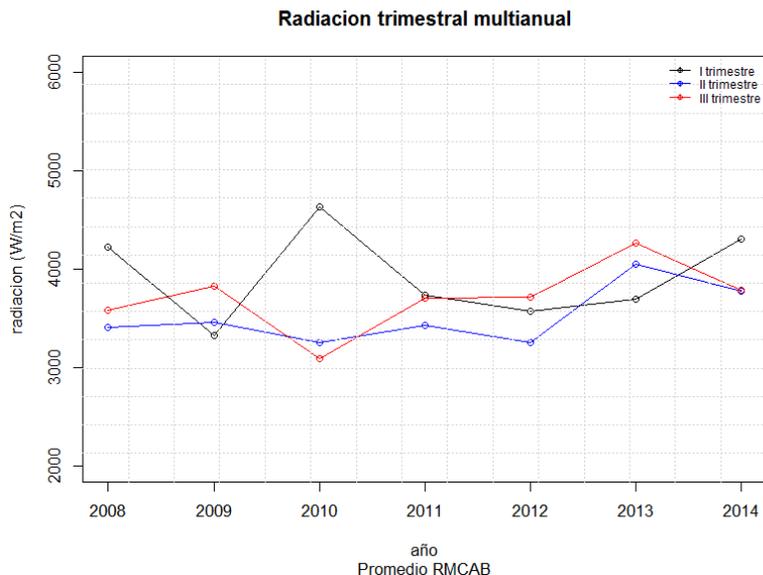
Estación	JUL	AUG	SEP	JAS
Guaymaral (Escuela)	89	97	68	85
Centro de alto rendimiento	95	93	95	94
Kennedy	100	99	99	99
Tunal	99	22	62	61
San Cristóbal	100	100	100	100

La Figura 4-17 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. Se observa que la estación con mayor acumulado durante el trimestre fue San Cristóbal donde los valores más elevados se registraron hacia las 12 m. En Guaymaral se presentó un inicio de año con amplios acumulados situación que tendió a disminuir durante el periodo. Tunal y San Cristóbal presentan un desplazamiento de los máximos acumulados en los últimos meses desde el punto de vista horario por cuenta de una cresta observada en los acumulados matutinos. Los comportamientos en las estaciones de Centro de alto rendimiento y Kennedy son similares en cuanto a variabilidad e intensidad.



**Figura 4-17.** Acumulado de radiación de las estaciones (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

La Figura 4-18 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2008 hasta 2014.



**Figura 4-18.** Radiación trimestral de los últimos años.

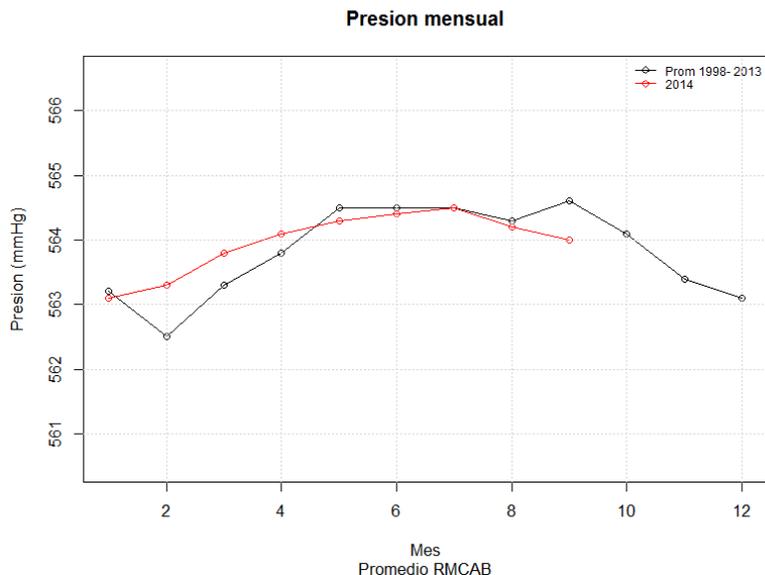
## 4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la Tabla 4-9. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad).

**Tabla 4-9.** Representatividad de los datos en (%) para la variable presión.

Estaciones	JUL	AUG	SEP	JAS
Fontibón	2	0	0	1
Guaymaral	94	93	99	95
Kennedy	100	99	99	99
Las Ferias	100	80	100	93

La Figura 4-19 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 particularmente en el mes de septiembre. Tabla 4-10 presenta los datos promedio trimestrales de presión por estación en los últimos años.



**Figura 4-19.** Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

**Tabla 4-10** Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.

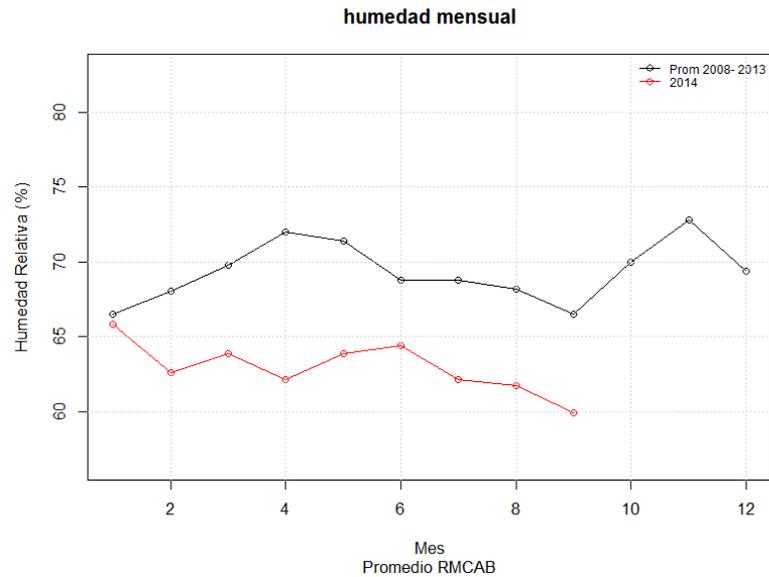
Estaciones	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fontibón	565.5	565.8	565.8	566.2	565.9	NA
Guaymaral	564.6	564.6	564.5	564.6	564.4	564.7
Kennedy	564.4	564.5	NA	564.3	564	564.3
Las Ferias	565.1	565.1	565	565.1	564.9	565.1

## 4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describe en la Tabla 4-11 la cual presenta la representatividad de los datos tomados. Figura 4-20 muestra que la humedad relativa en el año estuvo moderadamente por debajo del promedio 2008-2013, particularmente en el mes de septiembre.

**Tabla 4-11.** Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	JUL	AUG	SEP	JAS
Centro de Alto Rendimiento	89	98	67	85
Convenio_176_10	100	100	100	100
Guaymaral	94	93	99	95
Kennedy	100	99	99	99
Las Ferias	100	80	100	93
San Cristóbal	100	100	100	100
Tunal	100	100	100	100



**Figura 4-20.** Humedad relativa mensual media del periodo 2008- 2013 y su comparación con los meses de 2014.

## 5. Meteorología y Calidad del Aire

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado  $PM_{10}$  y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el año. Se ha utilizado la información disponible de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). Debido a la ausencia de información para ser especializada, los resultados son presentados en la Tabla 5-1. Durante las madrugadas y mañanas se observan valores importantes en cuanto a la relación de las variables específicamente en las estaciones de Kennedy y Puente Aranda de manera que en esta zona el viento tendió a dispersar el  $PM_{10}$ . En horas de la noche con un menor índice las concentraciones tendieron a ser dispersadas y en general a lo largo de los grupos horarios la tendencia fue de dispersión. Las anomalías de velocidad del viento (diferencia entre el valor observado y el valor promedio de los terceros trimestres) mostradas en la Tabla 5-2 muestran que al sur de la ciudad, en las estaciones de Tunal y San Cristóbal tendieron a estar por debajo de los promedios mientras que en el resto de la ciudad los valores estuvieron por encima especialmente en la estación de Minambiente. Este incremento de las velocidades de los vientos pudo favorecer la dispersión en zonas del centro y norte de la ciudad. En las madrugadas los vientos predominaron del este – noreste en la zona oriental de la ciudad y del sur sureste en el occidente, generando un flujo que confluye en zonas de mosquera y Funza del este al oeste. Esta situación es común durante el resto de grupos horarios con incremento de la velocidad del viento de entre 3.5 a 4 m/s en la mañana y en horas de la tarde.

**Tabla 5-1.** Índices de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el  $PM_{10}$ .

Estación	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	24h
Guaymaral	-0.3	-0.4	0	-0.3	-0.2
Kennedy	-0.5	-0.5	-0.1	-0.4	-0.2
MinAmbiente	-0.3	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2
Puente_Aranda	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	-0.2
Suba	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2
Usaquen	-0.2	-0.3	0	-0.1	0

**Tabla 5-2.** Anomalías de velocidad del viento entre el tercer trimestre del periodo 1998-2013 y III trimestre de 2014.

Estación	Anomalía de Viento (m/s)
Centro de Alto Rendimiento	0.2
Guaymaral	0.1
Kennedy	0.4
Las Ferias	0.2
MinAmbiente	1
San Cristobal	-0.3
Suba	0.6
Tunal	-0.4
Usaquen	0.1

**Tabla 5-3.** Dirección predoinante de los vientos en el tercer trimestre de 2014.

Estación	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	24h
Centro_de_Alto_Rendimiento	315	135	135	90	135
Guaymaral	0	90	90	90	90
Kennedy	135	135	135	135	135
Las_Ferías	45	135	135	90	90
MinAmbiente	90	225	180	90	90
San_Cristobal	90	90	90	90	90
Suba	45	45	90	45	45
Tunal	180	180	180	180	180
Usaquén	135	180	180	135	180

## 6. Episodio de máxima concentración

El 2 de septiembre de 2014 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado en el trimestre y en esta sección se pretende observar las condiciones meteorológicas del día. La Figura 6-1 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM en el aeropuerto internacional EIDorado del día inmediatamente anterior y del siguiente (1 y 3 de septiembre), ya que no hubo observación el día del evento; de esta forma se espera inferir las condiciones atmosféricas presentes durante la jornada. Según los índices de estabilidad presentados en los diagramas (Lift = 2.67, 2.13, CAPE = 3.88, 0.0) las condiciones eran estables por lo cual no se registró lluvia durante el día, como se observó en los datos de la red. A la hora de las medidas durante el primero de septiembre se presentó una inversión térmica en capas medias que tendió a disminuir para el día 3, la más significativa y con un moderado gradiente de temperatura cerca de los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de PM<sub>10</sub> durante algunas horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión; también se presentó un aumento de humedad presente en la atmósfera. Esta condición junto con el evento inusual para el trimestre asociado al flujo de vientos del oeste y norte que fue predominante a lo largo del día (Figura 6-2) favorecieron el aumento significativo de concentración de material particulado. En promedio, la mayor concentración se dio en el occidente de la ciudad y puede ser explicado por el arrastre y transporte de PM<sub>10</sub> desde los municipios aledaños a la zona, aunque llama la atención lo sucedido en horas de la mañana en donde el suroccidente de la ciudad mostró un incremento de valores por encima de los 160 µg/m<sup>3</sup> que son inusuales para el área. En este lapso el flujo de vientos presentó un giro ciclónico desde el norte entrando por el suroccidente de la capital, con velocidades de hasta 1.5 m/s lo cual probablemente favoreció el incremento del contaminante. Por la tarde, el flujo se vio perturbado por vientos del norte y del sureste formando una zona de confluencia y direccionado los vientos hacia fuera de la ciudad, con una disminución significativa de la concentración de PM<sub>10</sub> mientras que en horas de la noche se presentó nuevamente un flujo del oeste, suroeste y noroeste incrementando el PM<sub>10</sub> en gran parte de la localidad de Kennedy. La Figura 6-3 muestra este comportamiento usando el promedio interpolado de PM<sub>10</sub> y los vectores de velocidad de viento.

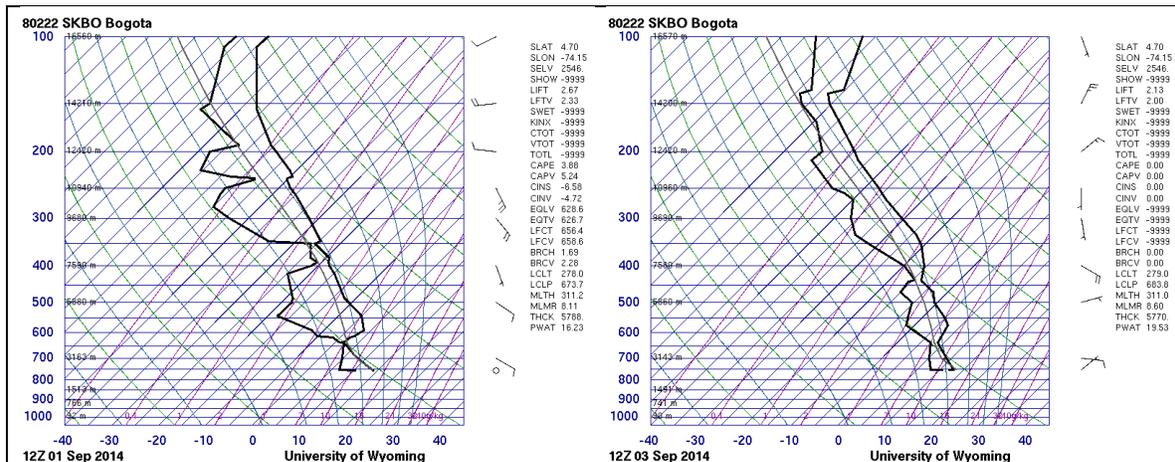


Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 1 y 3 de septiembre de 2014, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.

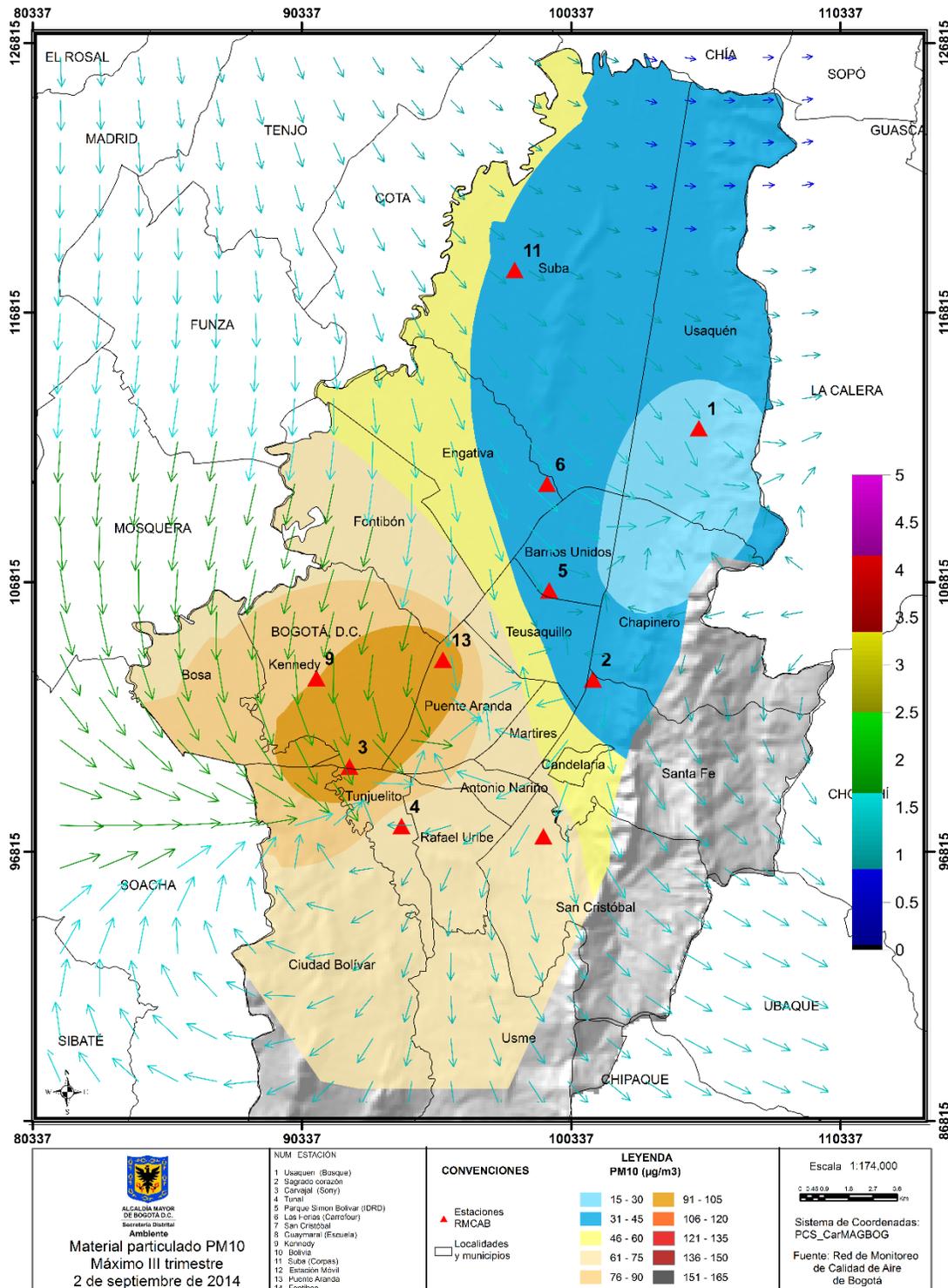


Figura 6-2 PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 2 de septiembre de 2014.

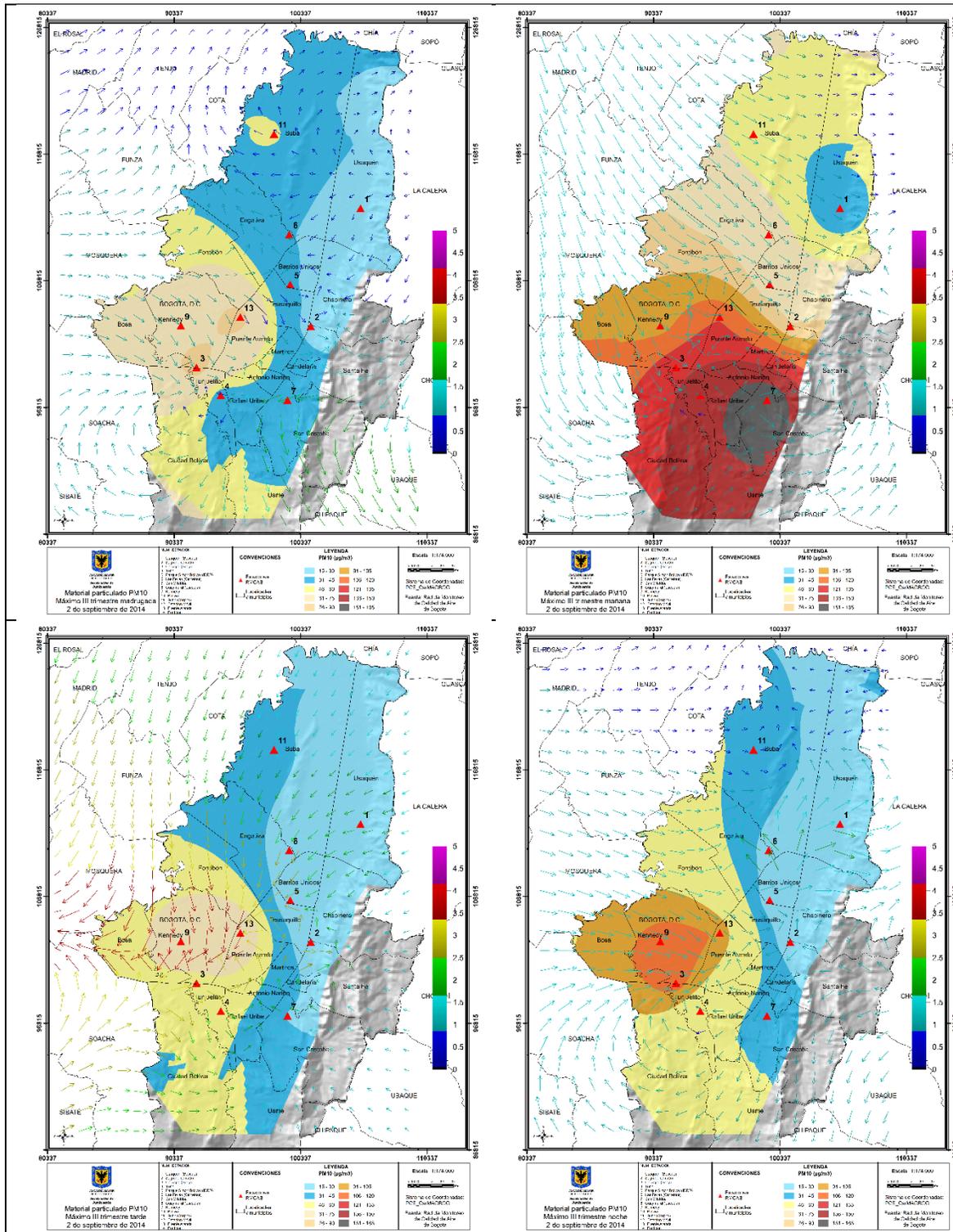


Figura 6-3. PM10 (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 2 de septiembre de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.

## Bibliografía

- Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion*. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)
- European Commission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en Colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en Colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.
- NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). *Historical El Niño/ La Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Obtenido de <http://www.R-project.org/>
- SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Obtenido de <http://epa.gov/air/criteria.html>
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de <http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/>

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

## Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

**Barómetro:** instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Datalogger:** Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

**Rango crítico:** véase Rango de tolerancia.

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

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

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

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

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

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

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

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

**Unidades:** Las unidades más utilizadas son:

mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico.

µg/m<sup>3</sup>: microgramos por metro cúbico.

ppm: partes por millón.

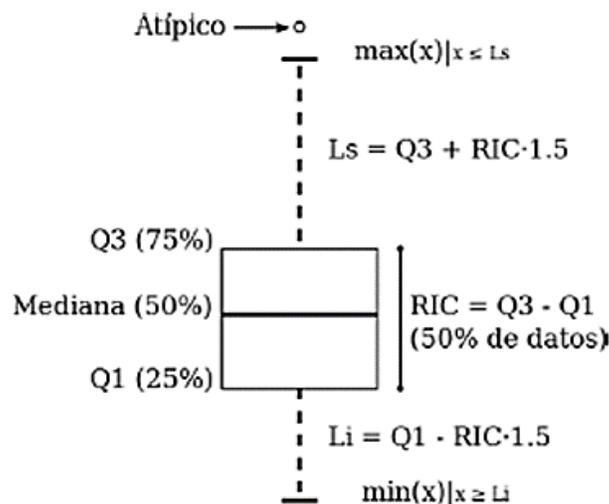
ppb: partes por billón.

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

## Anexos

### A. Lectura de Gráficos de *boxplot*

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



**Figura 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**.

## B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]

### C. Diagramas de caja con el ciclo diario de las concentraciones horarias de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>.

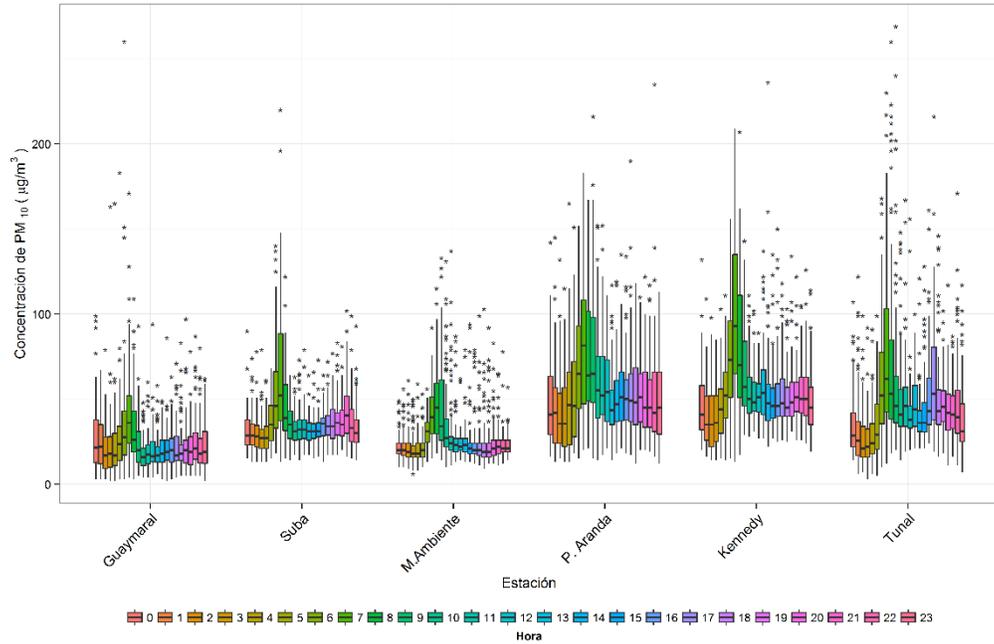


Figura C-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>10</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.

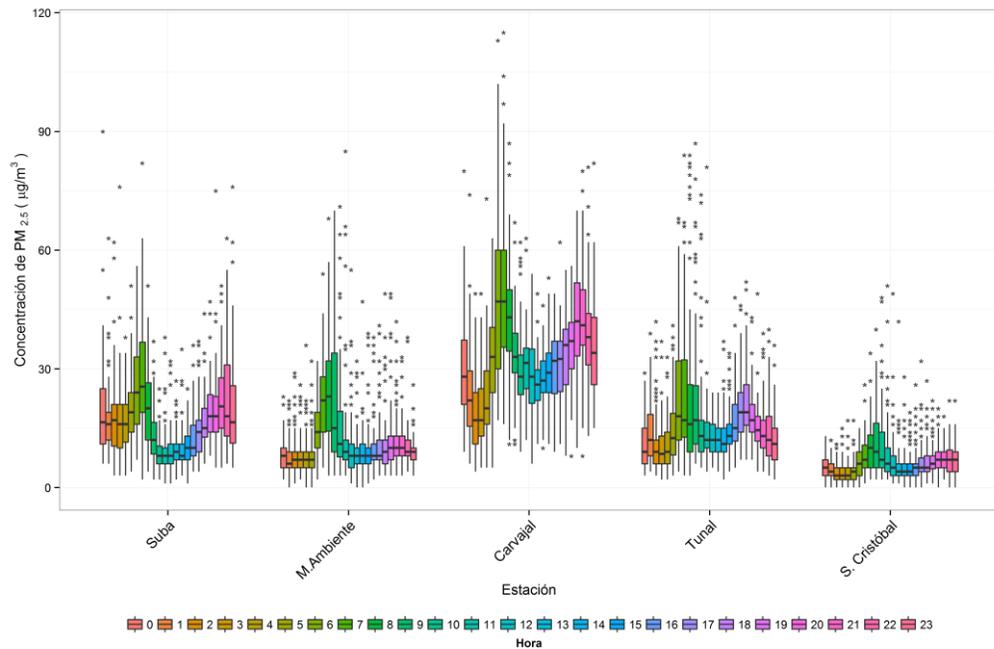


Figura C-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>2.5</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.

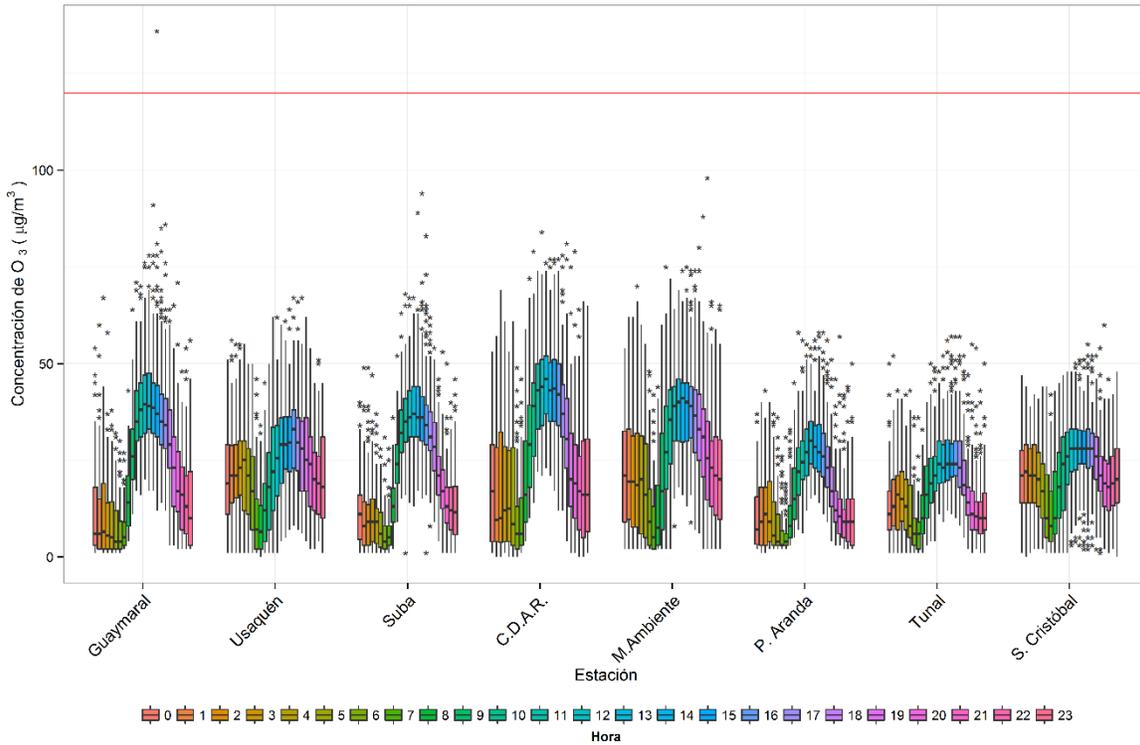


Figura C-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de  $O_3$  por estación durante el tercer trimestre de 2014.

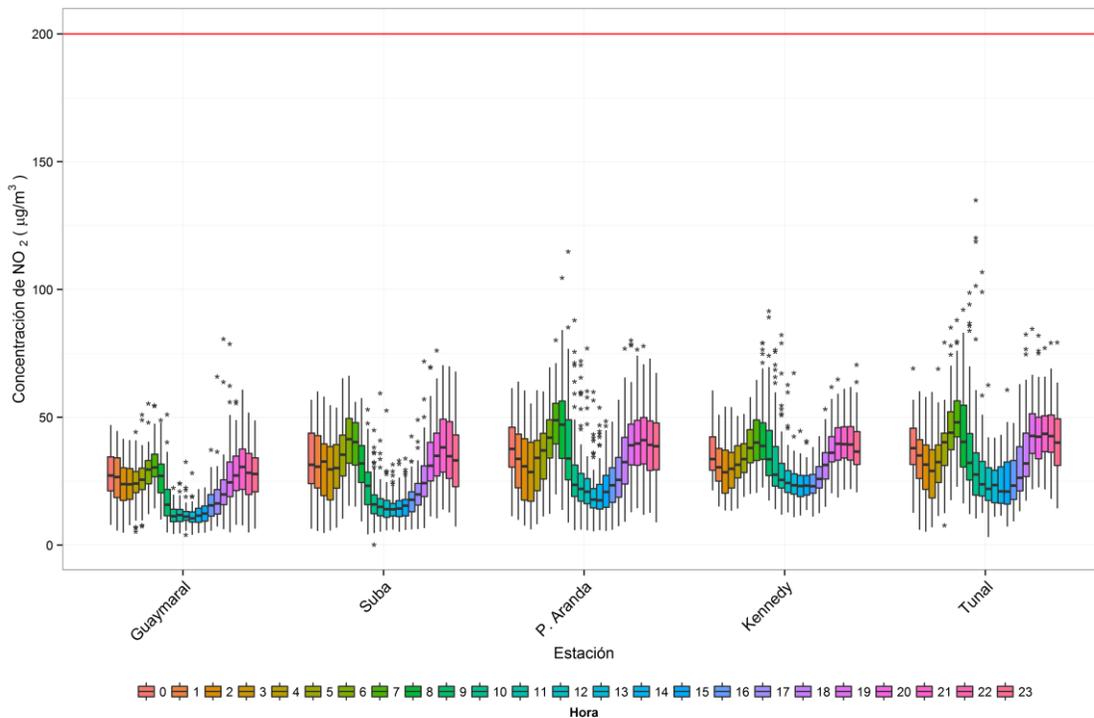


Figura C-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de  $NO_2$  por estación durante el tercer trimestre de 2014.

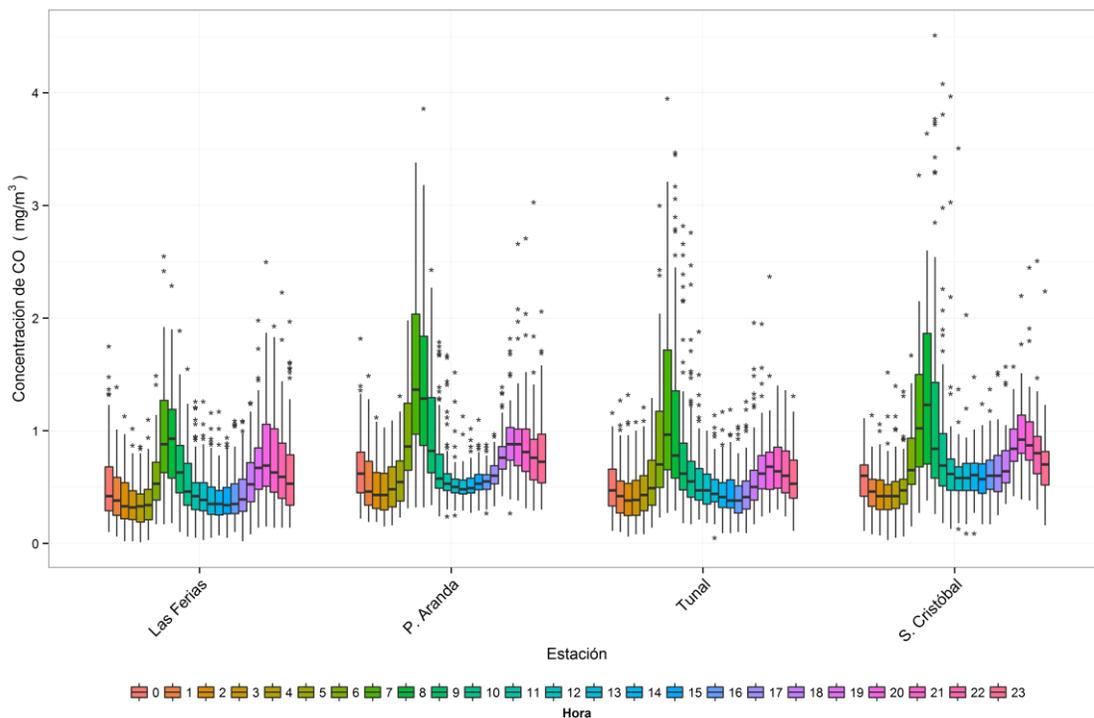


Figura C-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el tercer trimestre de 2014.

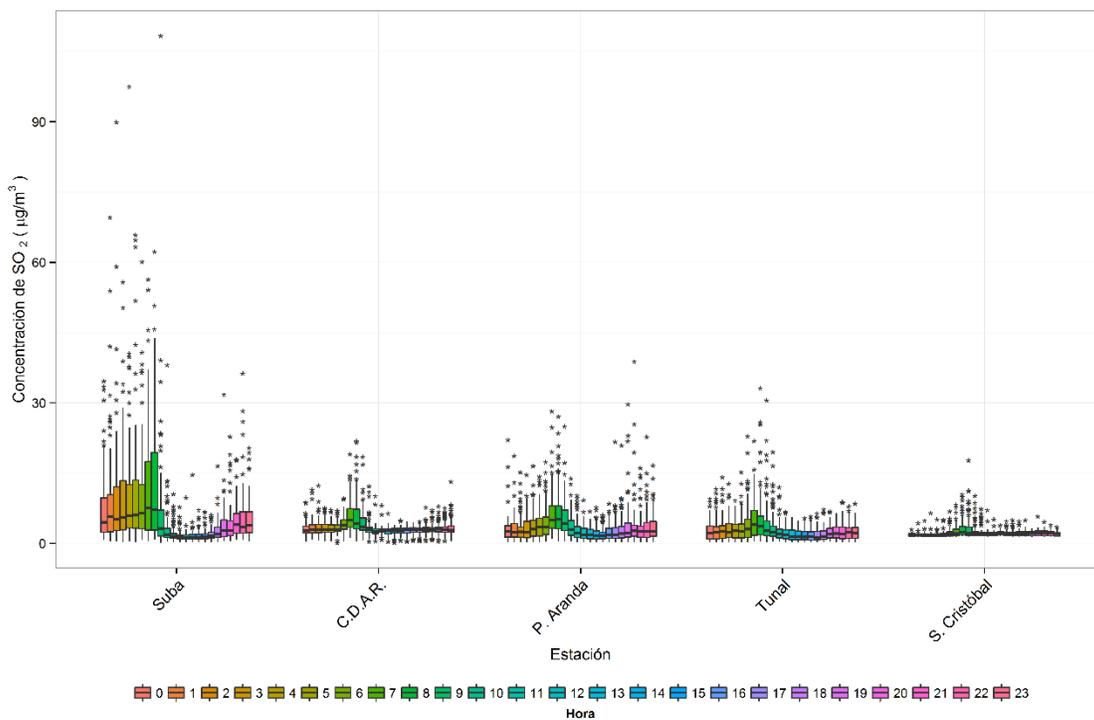


Figura C-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO<sub>2</sub> por estación durante el tercer trimestre de 2014.

ÚLTIMA PÁGINA  
FIN DEL INFORME