

Informe trimestral de calidad del aire de Bogotá

Segundo 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 Validacion 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

Connetería Distrital de Ambiento

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.

II Informe Trimestral 2014



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla de Contenido

Re	esume	n ej	ecutivo	14
Int	troduc	ción		19
1.	Ger	neral	lidades	20
	1.1.	Noi	rmatividad vigente	23
2.	Indi	cado	ores de operación y desempeño	25
	2.1.	Por	centaje de captura de datos	25
	2.2.	Por	centaje de datos válidos	27
3.	Eva	luac	sión y análisis de contaminantes	29
	3.1.	Ma	terial particulado – MP o PM (<i>Particulate Matter</i>)	29
	3.1.	1.	Comportamiento de la concentración de PST	30
	3.1.	2.	Comportamiento de la concentración de PM ₁₀	33
	3.1.	3.	Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	45
	3.1.	4.	Relación de concentración PM _{2.5} /PM ₁₀	54
	3.2.	Ga	ses contaminantes	55
	3.2.	1.	Comportamiento de la concentración de O ₃	56
	3.2.	2.	Comportamiento de la concentración de NO ₂	67
	3.2.	3.	Comportamiento de la concentración de CO	75
	3.2.	4.	Comportamiento de la concentración de SO ₂	84
	3.3.	Índ	ices de calidad del aire	93
	3.3.	1.	Índice de calidad del aire para PM ₁₀	94
	3.3.	2.	Índice de calidad del aire para PM _{2.5}	97
	3.3. mor	_	Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno, dióxido do de carbono y ozono	
	3.4.	Sín	tesis de resultados	102
4.	Eva	luac	ción y análisis de variables meteorológicas	113
	4.1.	Pre	ecipitación	115
	4.2.	Vie	ntos	121
	4.3.	Ter	mperatura Superficial	126
	4.4.	Rad	diación solar	130
	4.5.	Pre	sión Atmosférica	131
	4.6.	Hur	medad Relativa	132
5.	Met	eorc	ología y Calidad del Aire	134
	5.1.	Ana	álisis de vientos vs. material particulado	134
	5.2.	Fst	udio de caso: día de máxima concentración: 27 de junio de 2014	139





Bibliografía	143
Glosario	145
Anexos	150





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y V

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Índice de figuras

Eligura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2014
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Segundo trimestre de 2014 25 Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Segundo trimestre de 2014 26 Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Segundo trimestre de 2014 27
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Segundo trimestre de 2014
Figura 3-2. Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el segundo trimestre de 2014
estación durante el segundo trimestre de 2014. El nivel máximo permisible diario es $100 \mu \text{g/m}^3$ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deber
compararse con la normatividad vigente
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltar aquellos días que superan el límite normativo de 100 μg/m³
Figura 3-6. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resalta el único día que supera el límite normativo de 100 μg/m³ correspondiente al 27 de junio
estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se presentó una excedencia del límite normativo de 100 μg/m³ el 27 de junio
estaciones de la RMCAB. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza
y el intervalo de confianza de 95%
estación de monitoreo y del día de la semana para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-12. Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estación de monitoreo en los segundos trimestres de los años 2010 a 2014
Figura 3-13. Máximo, promedio y excedencias de PM _{2.5} en base diaria para el segundo trimestre de 2014
estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración
estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Figura 3-17. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5} en el ciclo semanal. Cada
promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza
Figura 3-18. Ciclo diario de las concentraciones de PM _{2.5} por estación en el segundo
trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza 50
Figura 3-19. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM _{2.5}
en función del día de la semana y de la estación de monitoreo 51
Figura 3-20. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM _{2.5}
en función de los meses de abril, mayo y junio y de las estaciones de monitoreo 52
Figura 3-21. Gráfico de boxplot para PM _{2.5} por estaciones (desde base diaria) para los
segundos trimestres entre 2011 y 2014 53
Figura 3-22. Concentración promedio, máximos y excedencias de la norma para O ₃ en base
horaria por estación durante el segundo trimestre de 201456
Figura 3-23. Concentración máxima y excedencias de la norma para O ₃ en base 8 horas
por estación durante el segundo trimestre de 2014 58
Figura 3-24. Concentración de ozono en la ciudad de Bogotá a partir de la interpolación
espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las
estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente
Figura 3-25. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de
ozono en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el
segundo trimestre de 2014 61
Figura 3-26. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de
ozono en función de los meses de abril, mayo y junio, y de las estaciones de monitoreo
para el segundo trimestre de 201462
Figura 3-27. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo
y por día de la semana 63
Figura 3-28. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y
por hora del día64
Figura 3-29. Gráfico de boxplot de O ₃ en función de las estaciones para los segundos
trimestres entre 2010 y 2014 (desde base diaria)
Figura 3-30. Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO ₂ por estación
durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-31. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO ₂ en base diaria por
estación para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-32. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de
NO ₂ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura
temporal suficiente
Figura 3-33. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de
NO ₂ en función de los meses de abril, mayo y junio y de las estaciones de monitoreo con
cobertura temporal suficiente
Figura 3-34. Ciclos semanales de las concentraciones de NO ₂ para cada uno de los
monitores con representatividad temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014.
Se indica además el intervalo de confianza de 95%
Figura 3-35. Ciclos diarios de las concentraciones de NO ₂ para los monitores con cobertura
temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de
confianza de 95%
Figura 3-36. Gráfico de <i>boxplot</i> para NO ₂ por estaciones en base diaria para los segundos
trimestres entre 2010 y 2014
Figura 3-37. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el segundo trimestre de 2014
uiiicoue ue 2014/0





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Figura 3-38. Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-43. Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base diaria por estaciones para los segundos trimestres entre 2010 y 2014
Figura 3-44. Promedios, máximos y número de excedencias de SO ₂ en base de 3 horas po estación durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-45. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO ₂ en base diaria por estación para el segundo trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deber compararse con la normatividad vigente
de la semana por estación de monitoreo para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-48. Ciclos semanales de las concentraciones de SO ₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%
Figura 3-49. Ciclos diarios de las concentraciones de SO ₂ para las estaciones de monitored con cobertura temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica e intervalo de confianza de 95%
Figura 3-50. Gráfico de <i>boxplot</i> para SO ₂ diario por estaciones en los segundos trimestres entre 2010 y 201492
Figura 3-51. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) po estación para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-52. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de abril mayo y junio de 2014
Figura 3-53. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAE durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por estación para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-56. Índice de calidad del aire (ICA) para PM _{2.5} durante el segundo trimestre de 2014
Figura 3-57. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} por mespara el segundo trimestre de 2014
Figura 3-58 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM _{2.5} por día de la semana para el segundo trimestre de 2014
Figura 3-59. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas 10 ^o





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Figura 3-60. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de
8 horas
Figura 3-61. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base de
diaria
Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto
ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013
Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB de
periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y e
promedio registrado en el primer semestre de 2014 por la RMCAB116
Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación del II trimestre desde 1998 hasta
2014
Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en el primer semestre de 2014 (el eje de
las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes) 117
Figura 4-5. Precipitación promedio. Acumulado de las estaciones en el primer semestre de
2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta
el mes)
Figura 4-6. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el primer semestre de
2014
Figura 4-7. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el I
trimestre de 2014
Figura 4-8. Anomalía de precipitación trimestral entre 1998 – 2013 y 2014 para las
estaciones de la RMCAB
Figura 4-9. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de
monitoreo de la RMCAB
Figura 4-10. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en colmo (1.0.5 m/s) velocidad y dispesión de los vientos
en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos
(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 segundo trimestre de 2014125
Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo
1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y el primer semestre de 2014 126
Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo
1998- 2014
Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la
RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y el primer semestre de
2014
Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en e
segundo trimestre de 2014
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)
Figure 4.18. Radiación trimestral de los últimos años
Figura 4-19. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB
Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2013 y su comparación con los meses de 2014
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100





Figura 5-1. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del Figura 5-2. PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del Figura 5-3. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del Figura 5-4. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 27 de junio de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Figura 5-6 PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014. 141 Figura 5-7. PM10 (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche. Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM₁₀ por estación durante el segundo Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{2.5} por estación durante el segundo Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O₃ por estación durante el segundo Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO₂ por estación durante el segundo Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el segundo Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO₂ por estación durante el segundo





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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 segundo trimestre de
2014
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de
referencia asociados de la EPA (Environmental Protection Agency)
Tabla 1-3. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de
2010
Tabla 2-1. Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro 26
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro 28
Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el segundo trimestre de 2014 30
Tabla 3-2. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos de
PM ₁₀ durante el segundo trimestre de 2014. Base de tiempo diaria
Tabla 3-3. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en los segundos
trimestres entre 2010 y 2014
Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM _{2.5} para el segundo trimestre de 2014 46
Tabla 3-5. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM _{2.5} para los segundos
trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010
y 2013
Tabla 3-6. Relación de concentraciones entre PM _{2.5} y PM ₁₀ para las estaciones de la
RMCAB que midieron ambos parámetros durante el segundo trimestre de 2014
Tabla 3-7. Resumen descriptivo de datos de O ₃ por estación para el segundo trimestre de
2014. Base horaria
Tabla 3-8. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y respectivo periodo de
ocurrencia de las concentraciones de O ₃ en base 8 horas durante el segundo trimestre de
2014
Tabla 3-9. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O ₃ en promedios
móviles de 8 horas para los segundos trimestres entre 2010 y 2014
Tabla 3-10. Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el segundo trimestre de
2014
Tabla 3-11. Resumen de datos diarios de NO ₂ por estación para el segundo trimestre de
2014
Tabla 3-12. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO ₂ en base diaria
en los segundos trimestres entre 2010 y 201474
Tabla 3-13. Resumen de datos horarios de CO por estación para el segundo trimestre de
2014. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con los
límites máximos permisibles en la Resolución 610 de 2010
Tabla 3-14. Resumen de datos de CO por estación en el segundo trimestre de 2014. Base
de 8 horas. Los promedios son indicativos y no deben compararse con los límites
establecidos por la normatividad nacional77
Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8
horas para los segundos trimestres entre 2010 y 201483
Tabla 3-16. Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el segundo
trimestre de 2014. Los promedios aritméticos son indicativos y no deben compararse con
la normatividad nacional 85





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-17. Resumen de datos en base diaria de SO ₂ por estación para el segundo trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad
vigente
Tabla 3-18. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO ₂ en promedios diarios en los segundos trimestres entre 2010 y 2014
Tabla 3-19. 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)
Tabla 3-20. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST) segundo trimestre de 2014
Tabla 3-21. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10
micrómetros (PM ₁₀), segundo trimestre de 2014
Tabla 3-22. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM _{2.5}), segundo trimestre de 2014
Tabla 3-23. Consolidado de los promedios horarios de O ₃ , segundo trimestre de 2014. 105
Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de O₃ para 8 horas, segundo trimestre de 2014.
Tabla 3-25. Consolidado de los promedios horarios de NO2, segundo trimestre de 2014.
Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios de NO ₂ , segundo trimestre de 2014. 108
Tabla 3-27. Consolidado de los promedios horarios de CO, segundo trimestre de 2014.
Tabla 3-28. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas para CO, segundo trimestre
de 2014
de 2014 111
Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios de SO ₂ , segundo trimestre de 2014. 112
Tabla 4-1. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el primer semestre de 2014
Tabla 4-2. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta
2014 en el trimestre AMJ
Tabla 4-3. Representatividad mensual de la variable velocidad y dirección del viento trimestral
Tabla 4-4.valores de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB
Tabla 4-5. Representatividad mensual (%) de la variable temperatura durante el II trimestre de 2014
Tabla 4-6. Promedios de temperatura media trimestral (segundo trimestre) de las
estaciones de la RMCAB en el periodo 2000-2014127
Tabla 4-7. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB
en el segundo trimestre de 2014. Fuente RMCAB
trimestre
Tabla 4-9. Representatividad de los datos en (%) para la variable presión
Tabla 4-10 Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB 132
Tabla 4-11. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.
Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades
resultantes (mg/m³ y µg/m³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C
y 760 mm Hg









Resumen ejecutivo

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 de 2006 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}, PST), de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃) y las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa.

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

La norma diaria de PM₁₀ (100 μg/m₃) fue excedida en un 7% del total de datos registrados válidos, porcentaje equivalente a 62 valores, distribuidos en Carvajal (37), Kennedy (8), Fontibon (4), Puente Aranda (3),Tunal (3), San Cristóbal (2), Guaymaral (1), Usaquén (1), Suba (1), Centro de Alto Rendimiento (1) y Min. Ambiente (1). Por tanto, con excepción de la estación Las Ferias todas las estaciones reportaron excedencias, un comportamiento que es muy inusual en comparación con reportes pasados y que fue influenciado por el evento global de alta concentración del 27 de junio de 2014, el cual es analizado en la sección de "Meteorología y Calidad del Aire". En el segundo trimestre de 2013 se registraron en total 18 excedencias en Kennedy y Carvajal, en contraste con 62 del segundo trimestre de 2014, demostrando un aumento considerable de la contaminación por PM₁₀. La máxima concentración registrada por la RMCAB en este trimestre fue 243 μg/m³ en junio 27, fecha del evento de contaminación transfronteriza en la estación de Fontibón.

Los promedios más altos del trimestre estuvieron en las estaciones Carvajal con 91, Kennedy con 68, Fontibón con 60 y Puente Aranda con 53 μ g/m³, mientras que las demás estaciones estuvieron por debajo de 50 μ g/m³, sin embargo se debe resaltar que no existe normatividad para periodos trimestrales, por lo cual la comparación con la norma no se puede hacer de forma directa y tan solo resulta una referencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 90% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a 90 μ g/m³ y menores o iguales a 100 μ g/m³, se puede evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar las excedencias de la norma, las cuales fueron para este trimestre, además de Carvajal, Kennedy, Fontibón y Puente Aranda, la estación de Suba con 2 datos.





El valor máximo encontrado de PM_{10} en este trimestre fue de 243 $\mu g/m^3$ para la estación Fontibón el día 27/06/2014, seguido de las estaciones Carvajal, Tunal y Puente Aranda con 240, 213 y 207 $\mu g/m^3$, respectivamente, aunque vale destacar que todas las estaciones reportaron sus máximos ese mismo día, a causa del evento de contaminación transfronterizo.

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 viernes resulta el día de mayor concentración. Por su parte el día sábado que en otros trimestres aparece muy similar a los días entre semana, en este caso presenta una reducción, llegando a tener un comportamiento similar e incluso por debajo de los lunes para algunas estaciones.

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 que va hasta las 20-22 horas e incluso continúa elevándose como el caso de Guaymaral hasta las 23-24 horas.

En comparación a trimestres anteriores, este segundo trimestre 2014 presento un aumento generalizado en comparación a los últimos 5 años. En comparación con el segundo trimestre de 2013, el mismo periodo de 2014 redujo sus niveles de concentración en Usaquén, Suba y Ministerio de Ambiente mientras que estos aumentaron para Centro de Alto Rendimiento, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y San Cristóbal. Los aumentos en Fontibón y Carvajal fueron abruptos.

Con respecto al contaminante PM_{2.5} el límite normativo diario es de 50 µg/m³ y mide principalmente fuentes de combustión. Para este trimestre fue monitoreado por 9 estaciones en donde las mayores concentraciones promedio se observan en Carvajal con 31 μg/m³ y Kennedy con 29 μg/m³, tendencia que es similar a la registrada para PM₁₀. Por el contrario, Ministerio de Ambiente y Usaquén reportaron los niveles más bajos con 14 y 12, respectivamente. Carvajal y Kennedy se caracterizan por ubicarse en un sector sujeto a actividades asociadas principalmente a industrias (fuentes fijas) y tráfico pesado (fuentes móviles). De las 9 estaciones, 5 excedieron la normatividad diaria con 6 excedencias distribuidas en Suba (1), Las Ferias (1), Kennedy (2), Carvajal (1) y Tunal (1). Todas las estaciones registraron su máxima concentración el 27 de junio de 2014, fecha en la cual la concentración de PM₁₀ también fue inusualmente alta y la máxima concentración diaria de PM_{2.5} registrada en la RMCAB fue 77 μg/m³ en Carvajal, valor que difiere notablemente del segundo más alto correspondiente a 59 µg/m³ en Kennedy. Con respecto al segundo trimestre de 2013, sólo se contó con información de la estación Kennedy y para la cual se presentó una excedencia y un promedio de 26 µg/m³, lo cual comparado con el segundo trimestre de 2014 es poco más alto con un promedio trimestral de 29 µg/m³ y con dos excedencias. En términos generales el viernes resultó el peor día de la semana para PM_{2.5} con algunas excepciones como Suba que resultó ser el sábado y Usaquén que resulto el miércoles, sin embargo se debe tener en cuenta el episodio de alta concentración del viernes 27 de junio, lo cual aumentó el promedio. Los ciclos diarios evidencian picos de concentración en todas las estaciones entre 6 y 9 a.m. aunque su magnitud es variable dependiendo de las características específicas de cada una de las estaciones. Se destacan las tendencias de las estaciones Suba donde las concentraciones hasta el medio día tienen un descenso abrupto y son menores a las registradas en horas de la noche (posiblemente





por actividades de tráfico pesado) y en Usaquén donde los niveles son bajos y el pico de concentración de la tarde es similar en magnitud y dispersión al de la mañana. Lo anterior evidencia la diferencia en las actividades de las diversas zonas de la ciudad, por lo cual no resulta conveniente generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad, sino que es necesario sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica. De los tres meses analizados, abril resulta el peor, mientras que junio el mejor. Con respecto a los históricos, este trimestre de 2014, resulta anormalmente alto (con respecto a la estación Kennedy, la única disponible) en comparación a los últimos 4 años, con un promedio de 29 $\mu g/m^3$.

El ozono (O₃), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de radiación solar, no presentó excedencias de los límites normativos en la norma horaria de 120 µg/m³. La concentración horaria más alta fue registrada en Guaymaral con un valor de 120 µg/m³ (60 ppb). En términos de la concentración octohoraria el O₃ en este segundo trimestre de 2014 presentó 6 datos por encima de la norma (80 µg/m³), lo que equivale a 0.3% del total de datos y los cuales estuvieron exclusivamente en la estación Usaquén, presentando un máximo de 102 µg/m³. Sin embargo, es de aclarar que la norma octohoraria de O₃ en Colombia es estricta en este momento, pues en comparación a los criterios US-EPA el dato es de 150 µg/m³. Por su parte el mapa de interpolación de O₃, deja ver que las zonas con mayores niveles se encuentran al norte de la ciudad, mientras que al suroccidente se aprecian las menores, lo que contrasta con la información para material particulado PM₁0 y PM₂.5.

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 126 μ g/m³ (63ppb) en la estación Las Ferias, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de 73 μ g/m³ (36 ppb) de igual forma en Las Ferias. El análisis del ciclo semanal para este contaminante deja ver que el día martes presenta 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 dióxido de azufre SO₂ no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas (750 μg/m₃), ni tampoco para 24 horas (250μg/m₃). El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de 66 μg/m₃ (25ppb), mientras que para 24 horas de exposición estuvo en 18 μg/m₃ (7ppb), en ambos casos en la estación Suba. La comparación de este trimestre con los trimestres de años anteriores muestra que los promedios son similares. La máxima concentración registrada durante los últimos 5 terceros trimestres para una exposición diaria fue de 51 μg/m₃ en Carvajal el 13 de junio de 2009.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se observan datos entre el 75% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de 7.8mg/m³ para una exposición de 1 hora (norma nacional 40 mg/m³) y de 4.4 mg/m³ para una exposición de 8 horas (norma nacional 10 mg/m³).





El análisis del Índice de Calidad de Aire (ICA) para PM₁₀, nos permite observar que se tuvo una predominancia en la categoría de "Buena" para las estaciones de Guaymaral, Usaquen, Suba, CDAR, Minambiente y San Cristobal, mientras que las estaciones de Carvajal y Kennedy tuvieron una predominancia en "Moderado". Los días de la semana que tienen mejor ICA son domingo y lunes, con una predominancia en la categoría de "Bueno" con 90% y 70%, respectivamente; mientras que el peor es el viernes con un 60% en "Bueno", un 35% en moderado y un 5% en "Dañino para la salud de grupos sensibles" Los martes, miércoles y jueves también presentan alrededor de un 60% en la categoría de "Bueno", siendo su complemento la categoría de "Moderado". Es de notar que los sábados no presentan gran diferencia con respecto a días entre semana. Por su parte el análisis para ICA del PM_{2.5}, se presenta por primera vez para 8 estaciones, predominando la categoría de "Moderado", especialmente para las estaciones de Carvajal y Kennedy con 81 y 77%, respectivamente y tienen sólo un 5% en la categoría de "Bueno" y llegando incluso para el caso de Carvajal a tener un 1% en "Dañino para la salud", además de 7 y 10% en la categoría de "Dañino para la salud de grupos sensibles", respectivamente. Los días entre semana y el sábado presentan un comportamiento similar, aunque los viernes llegan incluso a tener alrededor de 1% en la categoría de "Dañino para la salud". Por último los gases contaminantes muestran un ICA en la categoría de "Buena" para todas las estaciones y todos los gases.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante el segundo trimestre de 2014.

Con respecto a la precipitación, durante este trimestre se observaron disminuciones con respecto a promedios históricos tanto de la RMCAB como de la estación ElDorado del IDEAM, alcanzando un déficit de precipitación de 36mm con respecto a estos históricos por mes, lo cual también se evidencia en el número de días con lluvia (mayor a 1mm), el cual resulta en el trimestre menor. Al hacer la comparación de estos II-trimestres con respecto a los I-trimestres, se puede ver que históricamente los II-trimestres superan ampliamente a los I-trimestres, sin embargo en este II-2014 no ocurrio así, presentándose dicha eventualidad en 4 ocasiones desde cuando se cuenta con datos de precipitación en la RMCAB 1997, siendo este II-2014 una de esas 4. Por su parte las horas del día de mayor precipitación son entre las 4 y 6 pm, aunque en este II trimestre no se ve del todo reflejado. La estación en donde más llovió en este trimestre fue San Cristobal con 256mm, mientras que la de menor precipitación fue Guaymaral con 131mm, lo cual también evidencia el precipitación para este trimestre en la ciudad; que aunque no es del todo sectorizado, si permite observar que al norte y suroccidente se presentan los menores valores, mientras que al suroriente y hacia el centro geográfico de la ciudad, las mayores.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio a lo largo del trimestre, seguido de la estación de Carvajal con 2.9, 2.6 y 2.4m/s, respectivamente. Las velocidades máximas se observaron en Fontibón y Puente Aranda con 5.7 y 4.8 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1m/s y valores máximos de 2.6 y 2.1m/s, respectivamente. Con respecto al histórico mensual 1998-2013 se observan valores de velocidad promedio y máximas ligeramente por encima para este II-2014. Con respecto a la dirección de los vientos, estos estuvieron predominantes del este – sureste – sur, particularmente en la zona oriental, sur y suroccidente de la ciudad. En algunas zonas del occidente y del norte se observaron predominancias del norte – noreste y fue común la baja





predominancia de vientos del oeste en toda la ciudad. Por su parte los vientos en calma (menores a 0.5 m/s), se observan principalmente hacia el noreste en donde más del 30% de los datos del trimestre se presentaron en calma, mientras que hacia la zona sur y suroccidente se observan los menores valores de viento en calma.





Introducción

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

Para el segundo trimestre de 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 (PM₁₀, PST, PM_{2.5}), de gases contaminantes (SO₂, NO₂, CO, O₃) y de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

El primer capítulo del presente informe contiene información sobre las características generales de cada las estaciones de la RMCAB. En el segundo capítulo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el segundo trimestre de 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 PM₁₀ 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 Secretaria Distrital de Ambiente y está conformada por trece estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad y validación. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y de los sectores que requieren atención especial por sus niveles de contaminación.

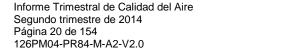
La Tabla 1-1 presenta las características generales, incluyendo la ubicación y parámetros medidos de contaminantes y de variables meteorológicas para cada una de las estaciones de la RMCAB y la Figura 1-1 corresponde a la distribución de las estaciones en la ciudad. Las condiciones del entorno de las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

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

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

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

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





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

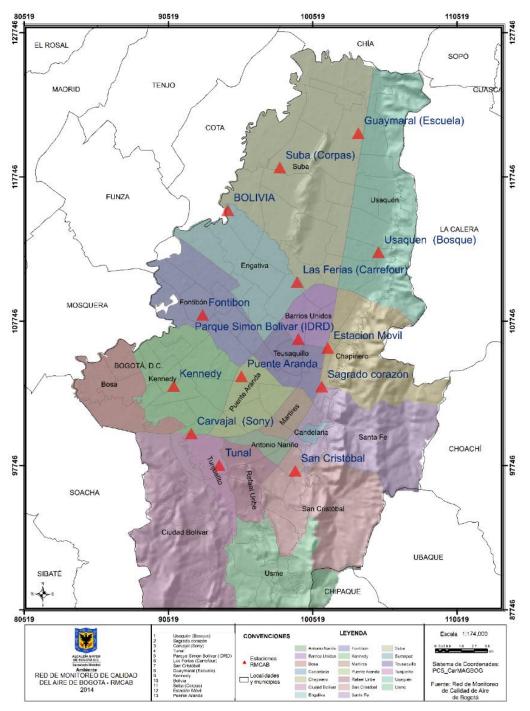


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2014.

² 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 segundo 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
	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	
Ubicación	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	
g	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	
	PM ₁₀	Х	Х	Х		X	Х	Х	X	Х	X	X	X	X	X
es	PST											X			
ant	PM _{2.5}		Х	Х		Х	Х	Х			Х	X	X	X	
E i	O ₃	Х	Х	Х		Х	Х	X	Х	Х		Х	Х	Х	X
Contaminantes	NO ₂	Х		Х		Х				Х	Х		X		X
ၓ	co					Х			X	Х		X	X	X	X
	SO ₂			Х		Х	Х		Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
S	V. Viento	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
gica	D. Viento	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
Meteorológicas	Temperatura	Х	Х	Х		X	Х		X	Х	Х	Х	X	Х	X
eor	Precipitación	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
Met	R. Solar	Х					Х				Х		Х	Х	X
ar.	H. Relativa	Х				Х	Х				Х		Х	Х	X
>	Presión Atm.	Х				Х			Х		Х				X

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





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

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

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

1.1. Normatividad vigente.

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





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visua

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

Contaminante	Nivel máximo permisible (µg/m³)	Tiempo de exposición	Cálculo					
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.					
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.					
PM ₁₀	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.					
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.					
PM2.5	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.					
1 1112.0	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.					
	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.					
SO ₂	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.					
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.					
	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.					
NO ₂	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.					
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.					
	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas					
O ₃	120	1 hora	Concentración promedio horaria					
СО	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas					
CO	40000	1 hora	Concentración promedio horaria					



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el segundo trimestre de 2014. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que implican los datos que fueron obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados y en operación, mientras que en la segunda parte se presentan los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos por parámetro en el segundo trimestre de 2014³. Se observa que todos los parámetros tienen un porcentaje de captura de datos superior a 75% con excepción del monóxido de carbono. El analizador de Kennedy presentó fallas en la fuente de infrarrojo desde marzo de 2014, en Centro de Alto Rendimiento se presentaron fallas en el detector, en San Cristóbal el equipo requirió de un repuesto especial que llegó en junio y en Usaquén el equipo no presentaba reporte de datos confiable (alto registro de datos negativos). En cuanto al SO₂, el analizador de Carvajal no funciona desde el 1 de abril de 2014 por falla en la tarjeta del CPU y el de Tunal entró en funcionamiento el 22 de mayo.

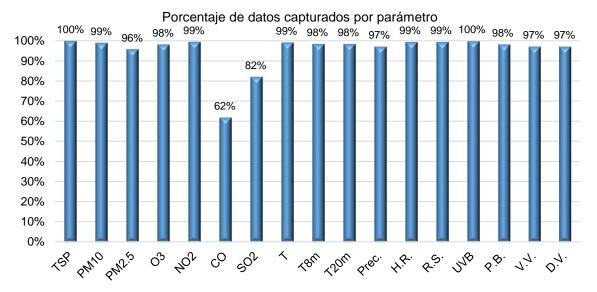


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro. Segundo trimestre de 2014.

De acuerdo a la Figura 2-2, todas las estaciones presentaron un porcentaje de captura superior a 75% con excepción de Bolivia. Esto se debe a fallas en el funcionamiento del equipo *datalogger*. Aunque cumple con el criterio de cobertura temporal, Centro de Alto Rendimiento presentó una captura relativamente baja porque, aparte de la situación con el

³ T: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación 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.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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 porcentaje total de captura de datos para el segundo trimestre de 2014 fue 93%. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

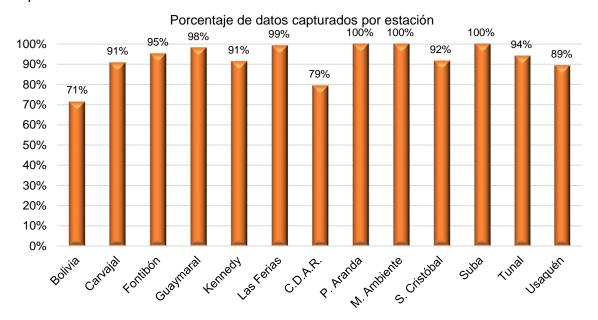


Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación. Segundo trimestre de 2014.

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

	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	СО	SO ₂	Т	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											71%							71%	71%	71%
Carvajal	100%	100%	100%	98%	100%	100%	0%	100%			100%							100%	100%	91%
Fontibón		95%		95%		95%	95%	95%			95%						95%	95%	95%	95%
Guaymaral		98%		95%	98%			98%	98%	98%	98%	98%	98%				98%	98%	98%	98%
Kennedy		100%	100%		100%	0%	100%	100%			100%	100%	100%				100%	100%	100%	91%
Las Ferias		100%	99%	99%	99%	99%	99%	99%			99%	99%					99%	99%	99%	99%
C.D.A.R.		100%	100%	94%	100%	0%	100%	100%			100%	100%	100%	0%	0%	100%		100%	100%	79%
P. Aranda		100%		100%	100%	100%	100%	100%			100%							100%	100%	100%
M. Ambiente		100%	100%	100%							100%							100%	100%	100%
S. Cristóbal		100%	65%	100%		42%	100%	100%			100%	100%	100%					100%	100%	92%
Suba		100%	100%	100%	100%		100%	100%			100%							100%	100%	100%
Tunal		95%	99%	99%	99%	99%	44%	99%			99%	99%	99%					99%	99%	94%
Usaquén		99%	99%	99%		21%		99%			99%							99%	99%	89%
Total	100%	99%	96%	98%	99%	62%	82%	99%	98%	98%	97%	99%	99%	0%	0%	100%	98%	97%	97%	93%



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

2.2. Porcentaje de datos válidos.

En el segundo trimestre de 2014 se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente a 85%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)⁴.

De acuerdo a la Figura 2-3, el material particulado total (TSP), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO₂) presentaron porcentajes válidos inferiores a 75%. En el caso del monóxido de carbono, el comportamiento se debe a la baja o nula captura de datos en Kennedy, Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Usaquén. En cuanto al TSP, las fallas en el funcionamiento del equipo en Carvajal dieron lugar a la invalidación de la mayor parte de la serie trimestral.

Los datos del dióxido de nitrógeno se invalidaron completamente en Carvajal y en Centro de Alto Rendimiento como puede observarse en la Tabla 2-2, que corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. Los analizadores de estas estaciones requieren una revisión en los convertidores catalíticos y en los tubos fotomultiplicadores, de manera que los datos medidos no fueron considerados y requieren ser contrastados en función de los resultados de la revisión. En Las Ferias, el equipo fue revisado pero parte de la serie se invalidó por las mismas causas. En Tunal la invalidación se debió a errores en la coherencia horaria del reporte de los datos por necesidad de cambio de la tarjeta preamplificadora y tubo fotomultiplicador.

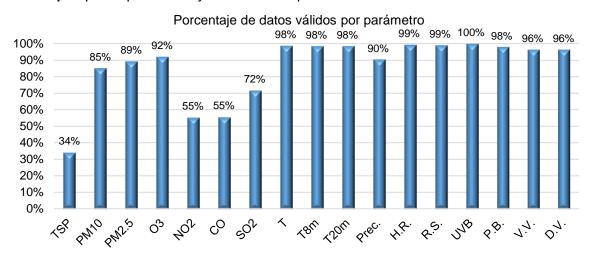


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Segundo trimestre de 2014.

Con respecto al dióxido de azufre, los equipos de Carvajal y Tunal presentaron una baja captura de datos. Aunque el porcentaje de captura de Kennedy fue 100% en esta variable, varios datos se invalidaron por falla de flujo que causó captura de datos negativos en el

BOGOTÁ HUCZANA

⁴ 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%.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visu

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

periodo. En Bolivia, los datos de precipitación se invalidaron en su mayoría debido a fallas en la confianza en el registro de la información. Los registros fueron cuatro veces más altos en comparación con las demás estaciones en la ciudad.

La Figura 2-4 muestra que Bolivia, Carvajal y Centro de Alto Rendimiento presentaron un porcentaje de datos válidos inferior a 75%. Las causas de estos descensos fueron explicadas previamente. Las estaciones con los porcentaje más altos de datos válidos fueron Guaymaral y Suba con valores de 96% y 99%, respectivamente.

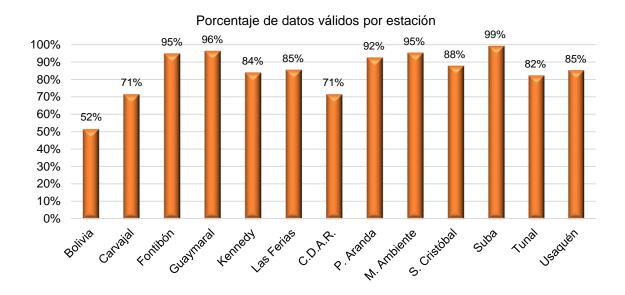


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación. Segundo trimestre de 2014.

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

							T20mPrec. H.R. R.S. RDRRDF UVB P.B. V.V. D.V. To													
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	СО	SO2	Т	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia											12%							71%	71%	52%
Carvajal	34%	94%	97%	88%	0%	92%	0%	95%			95%							95%	95%	71%
Fontibón		95%		95%		94%	94%	95%			95%						95%	95%	95%	95%
Guaymaral		80%		93%	98%			98%	98%	98%	98%	98%	98%				98%	98%	98%	96%
Kennedy		99%	99%		98%	0%	46%	99%			76%	99%	97%				99%	99%	99%	84%
Las Ferias		32%	78%	79%	51%	94%	96%	99%			99%	99%					99%	99%	99%	85%
C.D.A.R.		94%	91%	91%	0%	0%	98%	100%			100%	100%	100%	0%	0%	100%		100%	100%	71%
P. Aranda		99%		97%	69%	99%	77%	100%			100%							96%	96%	92%
M. Ambiente		97%	98%	77%							100%							100%	99%	95%
S. Cristóbal		93%	59%	99%		26%	91%	100%			100%	100%	100%					100%	100%	88%
Suba		99%	95%	99%	100%		99%	100%			100%							100%	100%	99%
Tunal		43%	94%	95%	27%	93%	42%	99%			99%	99%	99%					99%	99%	82%
Usaquén		97%	90%	98%		0%		99%			99%							99%	99%	85%
Total	34%	85%	89%	92%	55%	55%	72%	98%	98%	98%	90%	99%	99%	0%	0%	100%	98%	96%	96%	85%





3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en tres secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PM₁₀, el PM_{2.5} y TSP; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O₃, NO₂, CO y SO₂ y la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA). Para esto, la RMCAB durante el segundo 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_{10} y $PM_{2.5}$ que además son las reguladas en el territorio colombiano por la Resolución 610 de 2010, como se presentó en la sección 1.1. Las primeras son aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (μ m), mientras que las segundas, las de $PM_{2.5}$, tienen tamaño menor o igual a 2,5 μ m y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas) y resultan respirables en un 100% y pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos. Todo el material particulado se monitorea como partículas suspendidas totales (PST) y son fracciones de este el PM_{10} y el $PM_{2.5}$.

La Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 estableció los niveles máximos permisibles para PST, $PM_{2.5}$ y PM_{10} como lo muestra la Tabla 1-3. A partir de enero de 2011, el periodo de 24 horas para PM_{10} se controla con 100 μ g/m³ y el anual con 50 μ g/m³.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

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

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

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

$$C_{prom} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^{n} \log C_{i}}{n}}$$
 para $i = 1,2,3,...,n$

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

Comportamiento diario de la concentración de PST

En la estación Carvajal se registraron 31 promedios diarios válidos que corresponden a un porcentaje de recuperación de 34%. El monitor correspondiente presentó fallas en el sistema de muestreo y la bomba de flujo fue suspendida temporalmente. Como consecuencia, mayo no registró mediciones y los datos de abril y junio no fueron suficientes para establecer promedios mensuales. Por tanto, la cobertura temporal de este contaminante durante el trimestre únicamente permite el reporte de máximos y de excedencias.

La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue 274 μ g/m³ el 27 de junio de 2014 la cual se encontró por debajo del límite normativo de 300 μ g/m³ según la Resolución 610 de 2010. En esta fecha ocurrió un episodio singular a nivel ciudad con altas concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la mayoría de las estaciones. Este dato es el único que supera el valor del 90% del límite normativo (270 μ g/m³). En la Figura 3-1 y en la Tabla 3-1 se resume lo expuesto anteriormente.

Tabla 3-1. Resumen de datos diarios de PST para el segundo trimestre de 2014.

Estación	Número de datos	% de datos válidos	Promedio geométrico (µg/m³)	Excedencias norma 300 µg/m³	Máximo (μg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma ⁵
Carvajal	31	34%	N.R.	0	274	27/06/2014	1

⁵ Mayor a 270 μ g/m3 y menor o igual a 300 μ g/m3



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visa

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

La Figura 3-2 corresponde a un diagrama calendario con las concentraciones diarias de PST medidas durante el segundo trimestre de 2014. Se puede observar que mayo no registró ninguna medición y que el 27 de junio se enmarca notablemente como el día con la mayor concentración entre las mediciones disponibles.

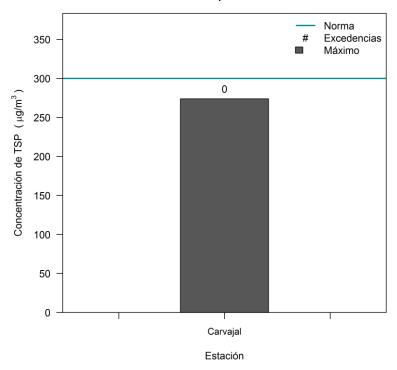


Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el segundo trimestre de 2014. Base diaria.

Carvajal 2014 Segundo Trimestre mayo junio abril 130 142 150 175 122 124 145 67 121 71 68 m m m 50 200 250 100 150 Concentración de TSP (µg/m3)

Figura 3-2. Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el segundo trimestre de 2014.





Comportamiento histórico de los promedios diarios de PST.

Debido a que la representatividad temporal de este contaminante es significativamente baja en comparación con la cobertura espacial mínima requerida de 75%, no es posible incluir el segundo trimestre de 2014 en los análisis históricos. Por tanto, el lector puede remitirse al segundo informe trimestral de 2013 para consultar las tendencias en los segundos trimestres entre 2009 y 2013.





3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

Para el monitoreo de este contaminante, la RMCAB contó en el segundo trimestre de 2014 con 12 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.

Comportamiento diario de PM₁₀ (24 h)

El comportamiento diario de la concentración de PM_{10} se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 $\mu g/m^3$ 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 3-3. 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 3-2 resume los datos de PM₁₀ en base diaria para cada una de las estaciones de la RMCAB. En el segundo trimestre de 2014, como se observa en la Tabla 3-2, columna "% de datos válidos, se reportó una representatividad temporal para el periodo mayor a 75% en 10 de las 12 estaciones que monitorearon este contaminante. Las Ferias y Tunal fueron descartadas con porcentajes de representatividad de 33% y 43%, respectivamente, razón por la cual solo se tendrán en cuenta sus eventos diarios y no sus concentraciones promedio trimestrales.

Del total de datos registrados el 7% superó el valor de la norma diaria, porcentaje equivalente a 62 valores en Carvajal (37), Kennedy (8), Fontibón (4), Puente Aranda (3), Tunal (3), San Cristóbal (2), Guaymaral (1), Usaquén (1), Suba (1), Centro de Alto Rendimiento (1) y Min. Ambiente (1). Por tanto, con excepción de Las Ferias todas las estaciones reportaron excedencias, un comportamiento que es inusual en comparación con reportes pasados y que fue influenciado por el evento de máxima concentración del 27 de junio de 2014, como se observa en la Tabla 3-2. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos de PM10 durante el segundo trimestre de 2014. Base de tiempo diaria. columna "Fecha de ocurrencia del máximo". Este evento singular será analizado con más detalle en la sección "Meteorología y Calidad del Aire". Las Ferias no reporta máxima concentración en esta fecha porque su representatividad temporal solo cubre el mes de abril. En el segundo trimestre de 2013 se registraron en total 18 excedencias en Kennedy y Carvajal, en contraste con 62 del segundo trimestre de 2014, demostrando un aumento considerable de la contaminación por PM₁₀. A este aumento contribuye particularmente el episodio de alta concentración del 27 de junio. La máxima concentración registrada por la RMCAB en el trimestre fue 243 µg/m³ en la fecha mencionada en Fontibón.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

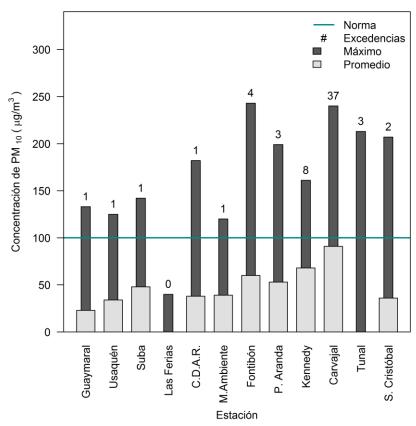


Figura 3-3. Concentraciones promedio, número de excedencias y máximos de PM₁₀ por estación durante el segundo trimestre de 2014. El nivel máximo permisible diario es 100 μg/m³ (Resolución 610 de 2010). Los promedios mostrados son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

De acuerdo con la Figura 3-3, las localidades más afectadas por PM₁₀ en el segundo trimestre de 2014 fueron las ubicadas en el suroccidente de la ciudad, especialmente Kennedy, Bosa, Fontibón y Puente Aranda y las menos afectadas las que se ubican al norte y al oriente. Es importante destacar las diferencias considerables en cuanto a promedio trimestral 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 3-2 que muestra la cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la normatividad, es decir, mayores a 90 μ g/m³ y menores o iguales a 100 μ g/m³. Esta columna pretende evidenciar las estaciones que se encuentran en un rango próximo a empezar a presentar excedencias de la norma, además de las que ya superan la normatividad nacional. Es importante notar que Guaymaral, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente (que se han caracterizado históricamente por no presentar excedencias) no reportan datos entre 90 μ g/m³ y 100 μ g/m³ pero sí una excedencia cada una el 27 de junio. Entonces, este episodio representó un alto contraste





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

en comparación con el registro en los demás días del trimestre. Suba, Fontibón y Puente Aranda sí registran valores en este rango, demostrando su potencial de exceder la normatividad.

Tabla 3-2. Representatividad temporal, promedio, excedencias y máximos de los datos de PM₁₀ durante el

segundo trimestre de 2014. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promodio	Excedencias de la norma	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁷		Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	74	81%	23	1	1%	0	133	27/06/2014
Usaquén	88	97%	34	1	1%	0	125	27/06/2014
Suba	91	100%	48	1	1%	2	142	27/06/2014
Las Ferias	30	33%	N.R.	0	0%	0	40	03/04/2014
Centro de Alto Rendimiento	88	97%	38	1	1%	0	182	27/06/2014
MinAmbiente	88	97%	39	1	1%	0	120	27/06/2014
Fontibón	86	95%	60	4	5%	5	243	27/06/2014
Puente Aranda	91	100%	53	3	3%	2	199	27/06/2014
Kennedy	90	99%	68	8	9%	7	161	27/06/2014
Carvajal	86	95%	91	37	43%	10	240	27/06/2014
Tunal	39	43%	N.R.	3	8%	0	213	27/06/2014
San Cristóbal	83	91%	36	2	2%	0	207	27/06/2014

N.R.: no representativo.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-4 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio trimestrales de PM₁₀ (basado en promedios diarios) en las 10 estaciones durante el segundo trimestre de 2014. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM₁₀ fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. Por el contrario, las localidades ubicadas al norte y al oriente de la ciudad presentaron los niveles de concentración más bajos.



⁶ Estos promedios no deben compararse con los límites normativos de la Resolución 610 de 2010 al estar en base trimestral.

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

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

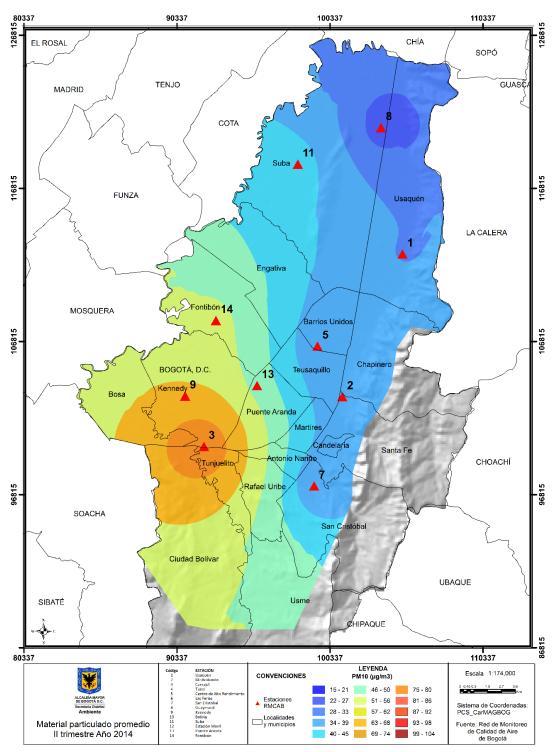


Figura 3-4. Material particulado (PM₁₀) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Segundo trimestre de 2014.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y V

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Calendario de contaminación por PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2014

La Figura 3-5, la Figura 3-6 y la Figura 3-7 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal, Suba y Guaymaral, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. En las tres estaciones se evidencia el contraste presente entre el 27 de junio y los demás días del trimestre. En Carvajal las excedencias se encuentran distribuidas en abril, mayo y junio con 11, 18 y 8 excedencias, respectivamente. Se observa que este número es menor cerca de la mitad del año lo cual es concordante con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de PM_{10} en la ciudad. En cuanto a Suba y Guaymaral, se registraron excedencias únicamente el 27 de junio aunque esta última no registró mediciones válidas durante los primeros 14 días de abril. Ambas estaciones igualmente registran menores niveles en junio.

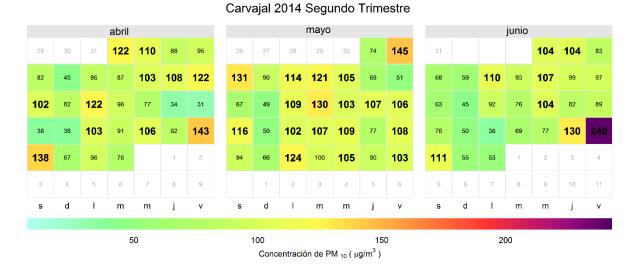


Figura 3-5. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan aquellos días que superan el límite normativo de 100 μg/m³.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Suba 2014 Segundo Trimestre

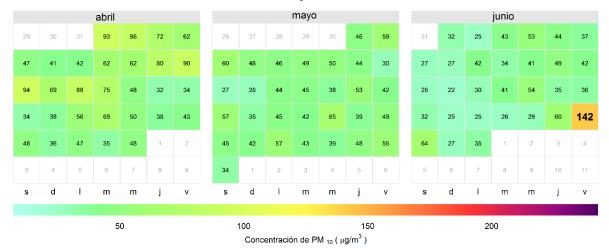


Figura 3-6. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resalta el único día que supera el límite normativo de 100 μg/m³ correspondiente al 27 de junio.

Guaymaral 2014 Segundo Trimestre

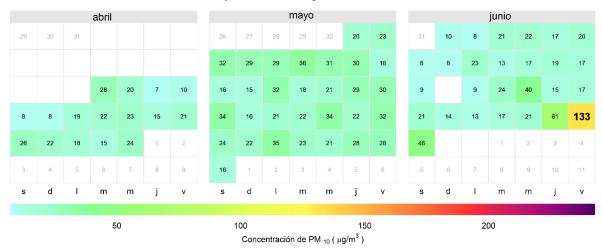


Figura 3-7. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se presentó una excedencia del límite normativo de 100 μg/m³ el 27 de junio.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM₁₀

La Figura 3-8 presenta el ciclo semanal de PM₁₀ por estación para el segundo 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. Con excepción de Carvajal y Kennedy, los domingos son seguidos por los lunes los cuales se encuentran influenciados por la dinámica de la ciudad del día anterior y





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

por la ocurrencia de días feriados. Los sábados, por su parte, están enmarcados en el fin de semana donde hay cambios en las actividades llevadas a cabo dentro de Bogotá. El periodo comprendido entre los días martes y viernes es relativamente homogéneo ya que las concentraciones no tienen una variación significativa, aunque el viernes registra levemente concentraciones más altas.

Los ciclos semanales más variables se observan en las estaciones con las mayores concentraciones promedio que son Carvajal, Fontibón y Kennedy. Para el día domingo en Carvajal la concentración desciende abruptamente, consecuencia de la reducción de actividades asociadas a la industria y al tráfico de vehículos de carga pesada. En Fontibón ocurre un aumento abrupto de concentración el viernes. La variación de las concentraciones de PM_{10} en el transcurrir de la semana está altamente influenciada por las características de los alrededores de cada estación. Es importante destacar que mientras Carvajal registró una concentración trimestral de 91 μ g/m³, las demás estaciones se encuentran comprendidas en un rango entre 23 μ g/m³ y 68 μ g/m³.

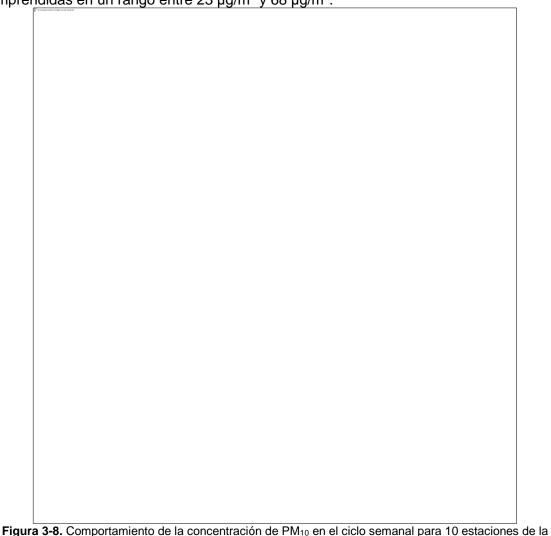


Figura 3-8. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo semanal para 10 estaciones de la RMCAB. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Aunque no existe normatividad de PM₁₀ para tiempos de exposición de una hora, se presenta a continuación un análisis de las concentraciones medias horarias para cada una de las estaciones de la RMCAB que midieron este parámetro. La Figura 3-9 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 incrementos más notables en Carvajal, Fontibón y Kennedy lo cual evidencia la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada "hora pico" en la mañana. Los picos de Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén son menos pronunciados en relación a las demás horas del día. En horas de la tarde también ocurre un aumento de concentración pero este es notablemente menor en comparación con horas de la mañana. En general, la diferenciación en los perfiles diarios es atribuida principalmente a la influencia de las fuentes móviles.

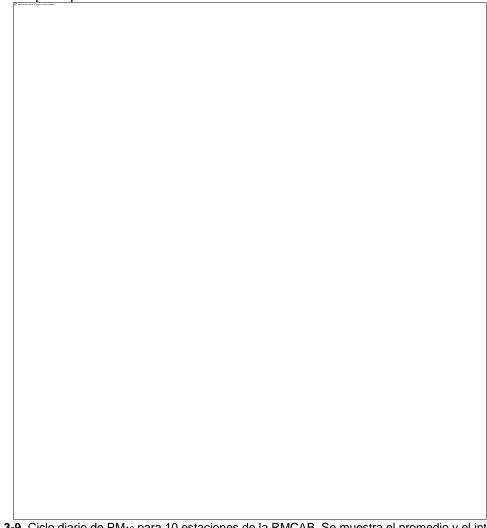


Figura 3-9. Ciclo diario de PM₁₀ para 10 estaciones de la RMCAB. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visua

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

La Figura 3-10 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en función del día de la semana. La información que proporciona esta figura es similar a la mostrada en la Figura 3-8 pero en esta es posible observar la distancia de los datos atípicos del 27 de junio de 2014 con respecto al conjunto formado por las mediciones de los demás días. Esto demuestra gráficamente la singularidad de esta fecha y confirma aún más la identificación de un evento particular de alta concentración de material particulado en la ciudad. La Figura 3-11 contiene la distribución de las concentraciones diarias en función de los meses de abril, mayo y junio y de la estación de monitoreo. Con excepción de Fontibón y San Cristóbal, junio se mantiene como el mes con las menores concentraciones de PM_{10} .

Carvajal y Kennedy, además de ser las estaciones con las concentraciones más altas, tienen una dispersión notablemente mayor en comparación con el conjunto formado por las demás estaciones de la RMCAB.

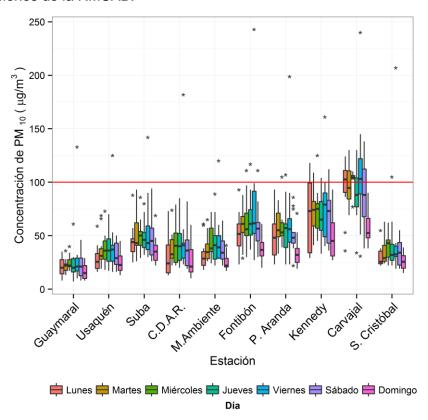


Figura 3-10. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de la estación de monitoreo y del día de la semana para el segundo trimestre de 2014.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

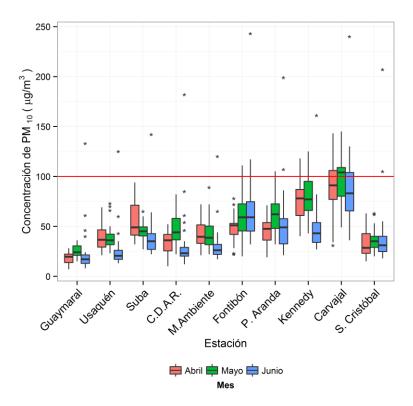


Figura 3-11. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de la estación de monitoreo y de los meses de abril, mayo y junio para el segundo trimestre de 2014.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM₁₀

La Figura 3-12 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} en los segundos trimestres entre 2010 y 2014. Históricamente, las estaciones Carvajal y Kennedy han registrado las concentraciones más altas mientras que en Usaquén y San Cristóbal se observan las más bajas. En términos de variabilidad de las concentraciones, Carvajal tiene la más amplia distribución de los datos mientras que Guaymaral la menor. La ubicación de Kennedy y Carvajal en la zona suroccidental de Bogotá (zona industrial donde transitan vehículos de carga pesada) influye en las diferencias en cuanto a las magnitudes de las concentraciones.

En comparación con el segundo trimestre de 2013, el mismo periodo de 2014 redujo sus niveles de concentración en Usaquén, Suba y Ministerio de Ambiente mientras que estos aumentaron para Centro de Alto Rendimiento, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y San Cristóbal. Los aumentos en Fontibón y Carvajal fueron abruptos. La única estación que presentó un descenso progresivo de concentración fue Ministerio de Ambiente aunque es importante considerar que solamente hay diagramas de caja para 2010, 2013 y 2014.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

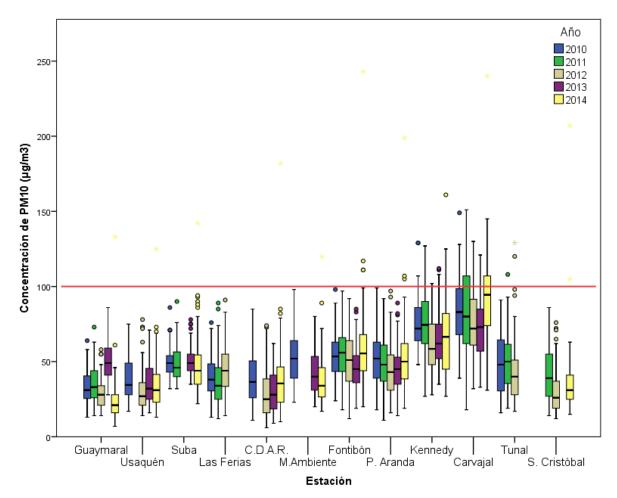


Figura 3-12. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM₁₀ por estación de monitoreo en los segundos trimestres de los años 2010 a 2014.

La Tabla 3-3 contiene un resumen de máximos entre los segundos trimestres de los años 2010 a 2014. El valor máximo histórico reportado fue 243 µg/m³ el 27 de junio de 2014 en la estación Fontibón. Como se ha mencionado antes, en esta fecha ocurrió un episodio singular de alta concentración a nivel ciudad en el cual, con excepción de Las Ferias, todas las estaciones registraron sus máximas concentraciones del respectivo trimestre. La concentración máxima del segundo trimestre de 2014 (243 µg/m³) supera considerablemente los máximos reportados en los periodos de los años anteriores. Se observa que los máximos en los trimestres entre 2010 y 2013 ocurrieron en Carvajal. En el periodo de 2014, la concentración en esta estación fue 240 µg/m³, muy similar a la registrada en Fontibón.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-3. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM₁₀ en los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo μg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	149	21/04/2010	Carvajal
2011	151	20/05/2011	Carvajal
2012	130	18/04/2012	Carvajal
2013	121	30/05/2013	Carvajal
2014	243	27/06/2014	Fontibón





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

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

3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5}

El límite normativo diario de PM_{2.5} es 50 µg/m³. Durante el segundo trimestre de 2014, 9 estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. Se obtuvieron 744 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global de 91% entre las estaciones que registraron mediciones. El monitor de la estación San Cristóbal inició operaciones el 3 de mayo de 2014 y, por tanto, su representatividad temporal no cumple con el criterio de 75%, que define el cálculo de promedios en un periodo determinado. Las principales fuentes de PM_{2.5} incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014).

Comportamiento diario de PM_{2.5} (24h)

La Figura 3-13 contiene un resumen de la concentración máxima, del promedio y del número de excedencias de la norma diaria para PM_{2.5} en el segundo 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. Las mayores concentraciones promedio se observan en Carvajal y Kennedy, tendencia que es similar a la registrada para PM₁₀. Por el contrario, Ministerio de Ambiente y Usaquén reportaron los menores niveles. 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.

La Tabla 3-4 contiene un resumen estadístico y de excedencias. De las 9 estaciones, 5 excedieron la normatividad diaria con 6 excedencias distribuidas en Suba (1), Las Ferias (1), Kennedy (2), Carvajal (1) y Tunal (1). Todas las estaciones registraron su máxima concentración el 27 de junio de 2014 con excepción de Suba que no presenta registros en dicho día. Esta fecha, en la cual las concentraciones de PM₁₀ también fueron inusualmente altas, representa un episodio singular a nivel ciudad de altas concentraciones de material particulado. La máxima concentración diaria de PM_{2.5} registrada en la RMCAB fue 77 µg/m³ el 27 de junio de 2014 en Carvajal, valor que difiere notablemente del segundo más alto correspondiente a 59 µg/m³ en Kennedy en la misma fecha. El análisis particular de este día será presentado en el capítulo Meteorología y Calidad del Aire. La última columna de esta tabla presenta la cantidad de datos que son mayores que el 90% de la norma (45 μg/m³) y menores o iguales al 100% (50 μg/m³). Se observa que aunque no presentan excedencias de la norma diaria, Usaquén y Centro de Alto Rendimiento sí registran un dato diario cada una en el rango mencionado en el episodio generalizado del 27 de junio de 2014.

Los resultados conjuntos de los análisis para PM₁₀ y PM_{2.5} muestran que el suroccidente de la ciudad es la zona más contaminada por material particulado en la ciudad.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

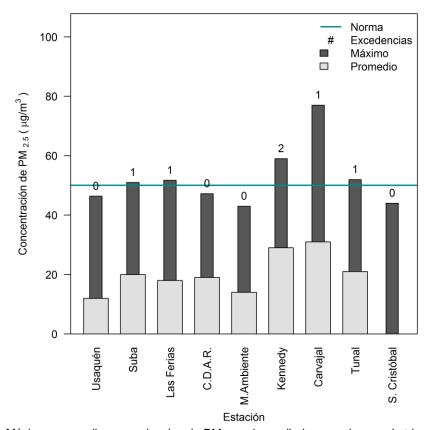


Figura 3-13. Máximo, promedio y excedencias de PM_{2.5} en base diaria para el segundo trimestre de 2014.

Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM_{2.5} para el segundo trimestre de 2014.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio aritmético (µg/m³)	Excedencias norma 50 µg/m³	Máximo [μg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma ⁸
Usaquén	88	97%	12	0	46	27/06/2014	1
Suba	86	95%	20	1	51	01/04/2014	0
Las Ferias	68	75%	18	1	52	27/06/2014	0
Centro de Alto Rendimiento	88	97%	19	0	47	27/06/2014	1
MinAmbiente	91	100%	14	0	43	27/06/2014	0
Kennedy	90	99%	29	2	59	27/06/2014	1
Carvajal	88	97%	31	1	77	27/06/2014	3
Tunal	89	98%	21	1	52	27/06/2014	1
San Cristóbal	56	62%	N.R.	0	44	27/06/2014	0

N.R.: no representativo.

 8 Mayor a 45 μ g/m 3 y menor o igual a 50 μ g/m 3





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

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

En el segundo trimestre de 2013 solamente se contó con información de la estación Kennedy en la cual se presentó una excedencia con un porcentaje de representatividad temporal en base diaria de 100% y un promedio de 26 µg/m³. En el segundo trimestre de 2014 esta estación reportó un promedio trimestral de 29 µg/m³ con una representatividad de 99% y dos excedencias. Esta diferencia podría sugerir una leve desmejora de la calidad del aire entre los dos periodos mencionados.

Calendario de contaminación por PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014

La Figura 3-14, la Figura 3-15 y la Figura 3-16 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014 en las estaciones con mayores concentraciones (Carvajal), concentraciones en rangos medios (Suba) y concentraciones bajas (Usaguén) mostrando el alto contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. Carvajal y Suba presentaron una excedencia cada una el 27 de junio y el primero de abril, respectivamente. Teniendo en cuenta el comportamiento de las demás estaciones de la RMCAB, es probable que el 27 de junio haya ocurrido una excedencia en la estación Suba. Sin embargo, como se mencionó previamente, hay ausencia de datos en este sitio.

Tres días estuvieron propensos a exceder el límite máximo permisible en Carvaial. Estos fueron el 1 de abril, el 30 de mayo y el 27 de junio lo que demuestra la susceptibilidad de su zona circundante a presentar altos niveles de inmisión en comparación con las demás estaciones de la RMCAB.

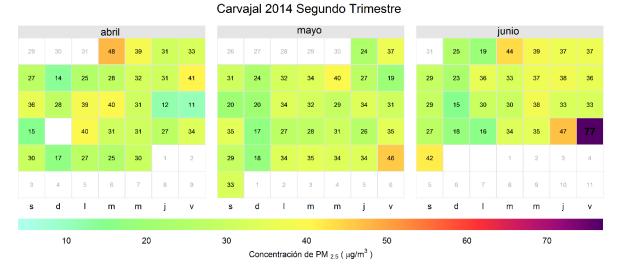


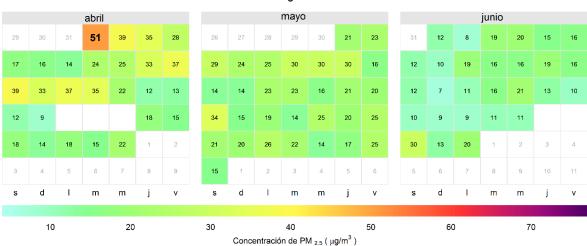
Figura 3-14. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aira, Auditiva

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB



Suba 2014 Segundo Trimestre

Figura 3-15. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

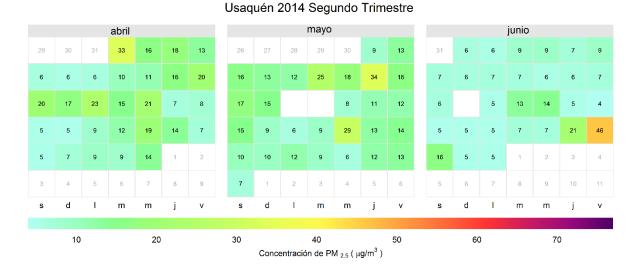


Figura 3-16. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

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

La Figura 3-17 presenta el perfil semanal de las concentraciones de PM_{2.5} en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. De forma similar a la tendencia presentada para PM₁₀, los domingos registran las menores concentraciones y estos son seguidos por los lunes. En Carvajal y Kennedy, la variabilidad en los ciclos semanales es mayor con respecto a las demás estaciones posiblemente debido a la contribución de diferentes fuentes de emisión. Se observa el hecho de que los jueves registraron una baja en la concentración





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva v

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

para estas dos estaciones. Las menores concentraciones así como los ciclos más homogéneos se observaron en Ministerio de Ambiente y en Usaquén. Varios sitios de monitoreo registran el viernes como el día de más alta concentración de PM_{2.5}.

Los ciclos diarios de la Figura 3-18 confirman las observaciones realizadas para los ciclos semanales ya que Kennedy y Carvajal muestran mayores concentraciones y variaciones. Los picos de concentración en todas las estaciones ocurren generalmente entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. aunque su magnitud es variable dependiendo de las características específicas de cada una de las estaciones. Se destacan las tendencias de las estaciones Suba donde las concentraciones de la tarde tienen un descenso abrupto y son menores a las registradas en horas de la noche (posiblemente por actividades de tráfico pesado) y en Usaquén donde los niveles son bajos y el pico de concentración de la tarde es similar en magnitud y dispersión al de la mañana. Se reitera entonces que no es posible generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad sino que es necesario sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

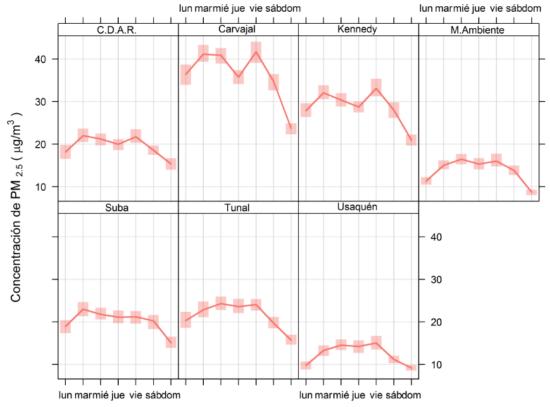


Figura 3-17. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

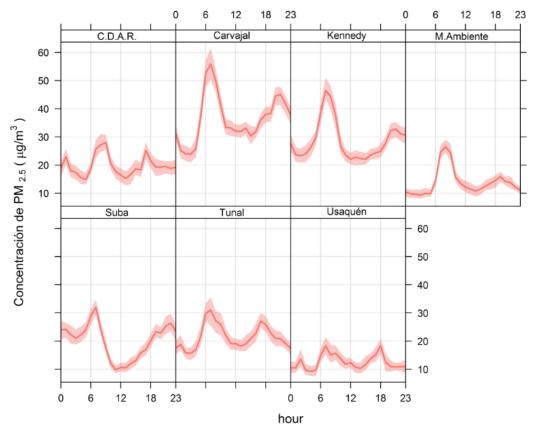


Figura 3-18. Ciclo diario de las concentraciones de PM_{2.5} por estación en el segundo trimestre de 2014. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

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

La Figura 3-19 contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función del día de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente. Con excepción de Suba, es posible observar la cantidad de datos atípicos correspondientes al episodio singular del 27 de junio de 2014.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

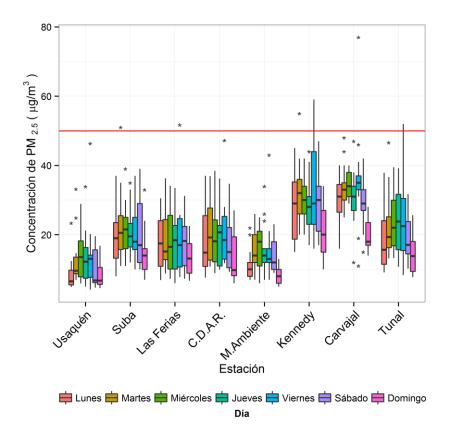


Figura 3-19. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función del día de la semana y de la estación de monitoreo.

El comportamiento en función de los meses de abril, mayo y junio se observa en la Figura 3-20. Con excepción de Carvajal y con una diferencia considerable, el mes de junio registró las concentraciones más bajas en el segundo trimestre de 2014. Abril tiende a ser el mes con mayor dispersión en sus datos diarios.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

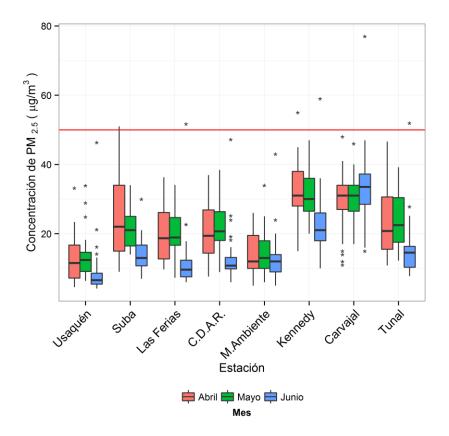


Figura 3-20. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los meses de abril, mayo y junio y de las estaciones de monitoreo.

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 segundo trimestre de 2014 corresponde al análisis de 8 estaciones en conjunto teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 monitores adicionales iniciaron operación. Se descarta la estación San Cristóbal por su baja representatividad temporal.

La Figura 3-21 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de PM_{2.5} por estación de monitoreo en los segundos trimestres entre 2011 y 2014. Como se mencionó previamente, solamente se cuenta con información de Kennedy entre 2011 y 2013, razón por la cual es la única que puede ser comparada históricamente. La cobertura temporal del segundo trimestre de 2010 fue insuficiente en esta estación y por tanto no se presenta el respectivo diagrama de caja. Desde 2012 Kennedy ha presentado un aumento progresivo de los niveles de concentración de PM_{2.5} y los niveles del periodo de 2014 son comparables a los que fueron registrados por Carvajal. Como se ha mencionado, estas dos estaciones se localizan en el suroccidente de Bogotá, que es una zona que presenta una fuerte actividad industrial y de vehículos de tráfico pesado.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. - RMCAB

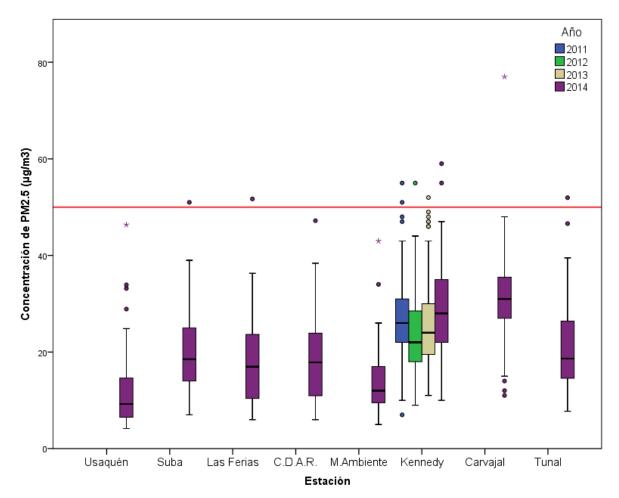


Figura 3-21. Gráfico de boxplot para PM_{2.5} por estaciones (desde base diaria) para los segundos trimestres entre 2011 y 2014.

La Tabla 3-5 contiene un resumen histórico de máximos en los periodos considerados. El máximo valor histórico reportado en los últimos trimestres fue 77 µg/m³ el 27 de junio de 2014 en la estación Carvajal. Los máximos de los periodos anteriores corresponden a Kennedy al ser la única estación en operación antes de octubre de 2013. En estos periodos se observa un descenso de las magnitudes de los respectivos valores.

Tabla 3-5. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM_{2.5} para los segundos trimestres entre 2010 y 2014. Solamente se considera la estación de Kennedy entre 2010 y 2013.

Trimestre del año	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	60	01/04/2010	Kennedy
2011	55	20/05/2011	Kennedy
2012	55	20/04/2012	Kennedy
2013	52	11/04/2013	Kennedy
2014	77	27/06/2014	Carvajal





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.1.4. Relación de concentración PM_{2.5}/PM₁₀

La Tabla 3-6 muestra la relación de concentraciones entre material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el segundo trimestre de 2014. Esta relación muestra la fracción de PM₁₀ que es PM_{2.5} y varía en función de las actividades que se desarrollan en las inmediaciones de la estación. La relación más alta se presentó en Centro de Alto Rendimiento con 50% del PM₁₀ siendo PM_{2.5}, posiblemente debido a la influencia de actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles y/o alta influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003).La relación más baja se observó en Carvajal, posiblemente por la influencia de las fuentes fijas industriales. Es importante destacar los resultados de las estaciones Usaquén y Ministerio de Ambiente donde a pesar de estar cercanas a vías, registran relaciones bajas, posiblemente por material particulado resuspendido, el cual es generalmente más grueso que el emitido por las fuentes de combustión.

Tabla 3-6. Relación de concentraciones entre PM_{2.5} y PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos parámetros durante el segundo trimestre de 2014.

Estación	PM _{2.5} (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	Relación de concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀
Usaquén	12	34	0,35
Suba	20	48	0,42
Centro de Alto Rendimiento	19	38	0,50
Min. Ambiente	14	39	0,36
Kennedy	29	68	0,43
Carvajal	31	91	0,34





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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 (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂). Estos gases se emiten a partir del uso de combustibles fósiles y/o por reacciones químicas y fotoquímicas ocurridas en la atmósfera.

El O₃ es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmosfera, 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 atmosfera, 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 atmosfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la luz solar.

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

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

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

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 O₃, NO₂ y SO₂ se presentarán en µg/m³ mientras que las correspondientes a CO en mg/m³. El reporte en este sistema está acorde al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Teniendo en cuenta que en informes anteriores los resultados se reportaron en ppb y ppm, en el Anexo B se proporciona una tabla con los factores de conversión de unidades.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y V

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.2.1. Comportamiento de la concentración de O₃

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el segundo trimestre de 2014, ubicados según se reporta en la Tabla 1-1. No se considera el analizador de la Estación Móvil al estar enmarcado en el Convenio 176 de 2010, como fue mencionado previamente.

Comportamiento horario de O₃

Durante el segundo trimestre de 2014 se obtuvieron 22059 (veintidós mil cincuenta y nueve) promedios horarios válidos de O_3 , lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 92% entre las estaciones que reportaron al menos una medición en el trimestre. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 μ g/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora por estación se presentan en la Tabla 3-7. La Figura 3-22 es un reflejo de la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y números de excedencias.

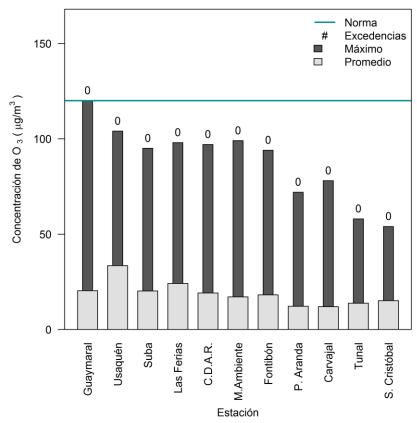


Figura 3-22. Concentración promedio, máximos y excedencias de la norma para O₃ en base horaria por estación durante el segundo trimestre de 2014.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Se observa que la concentración es más alta en las estaciones ubicadas el norte de la ciudad y esta disminuye conforme se avanza hacia el sur. Este comportamiento es en general inverso en términos espaciales al observado para los demás contaminantes. El máximo valor reportado fue justamente el límite máximo permisible de 120 µg/m³ en Guaymaral el 16 de abril de 2014 a las 05:00 p.m. el cual no se cataloga como excedencia. Por tanto, en el segundo trimestre de 2014 no se presentaron incumplimientos de la norma horaria de ozono. Las máximas concentraciones se presentaron en su totalidad en abril y mayo, especialmente, el 1 y 16 de abril y el 6, 9 y 21 de mayo.

Los promedios, aunque no comparables con la normatividad vigente, muestran que las menores concentraciones de ozono se presentan en el sur de la ciudad. Este comportamiento contrasta con el observado para PM₁₀ porque, por ejemplo, Carvajal se caracteriza por presentar la mayor cantidad de excedencias de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀).

En el segundo trimestre de 2013 se presentó un total de 10 excedencias en el mismo número de estaciones con un porcentaje de recuperación de datos válidos de 74%. Entonces durante el mismo periodo de 2014 se presentó una leve mejoría de la calidad del aire en la ciudad en términos de este contaminante.

Tabla 3-7. Resumen descriptivo de datos de O₃ por estación para el segundo trimestre de 2014. Base horaria.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m³	Máximo [μg/m³] ⁹	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	94%	0	120	16/04/2014 17:00
Usaquén	98%	0	104	01/04/2014 02:00
Suba	99%	0	95	16/04/2014 16:00
Las Ferias	80%	0	98	09/05/2014 13:00
Centro de Alto Rendimiento	91%	0	97	06/05/2014 14:00
MinAmbiente	77%	0	99	09/05/2014 13:00
Fontibón	95%	0	94	06/05/2014 14:00
Puente Aranda	96%	0	72	21/05/2014 16:00
Carvajal	89%	0	78	21/05/2014 11:00
Tunal	94%	0	58	01/04/2014 02:00
San Cristóbal	98%	0	54	11/04/2014 04:00

⁹ En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O₃, NO₂, CO y SO₂) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m³ y µg/m³ acordemente.

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O₃

En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 21906 (veintiún mil novecientos seis) promedios que representan el 91% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el segundo trimestre de 2014. 6 datos presentaron excedencias del límite máximo permisible de 8 horas (80 µg/m³, Resolución 610 de 2010) los cuales se concentraron exclusivamente en la estación Usaquén. El resumen de porcentaje de datos válidos, excedencias y máximos se presenta en la Tabla 3-8. La Figura 3-23 presenta el mismo resumen en forma gráfica así como los promedios trimestrales. En el primer trimestre de 2014 se presentaron 213 excedencias del límite normativo mientras que en el segundo trimestre de 2013 se presentaron 34 excedencias. En ambos casos se observa una mejora de la calidad del aire en términos de las concentraciones de este contaminante.

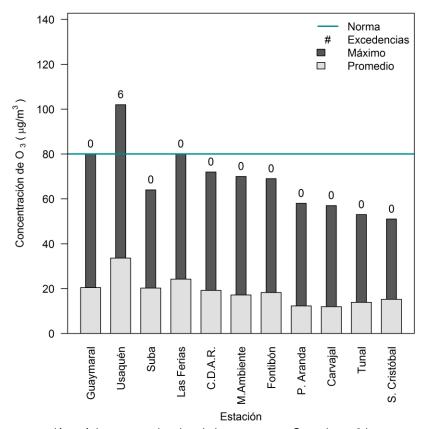


Figura 3-23. Concentración máxima y excedencias de la norma para O₃ en base 8 horas por estación durante el segundo trimestre de 2014.

La concentración máxima reportada en la RMCAB en base temporal de 8 horas fue 102 µg/m³ el 01 de abril de 2014 a las 3:00 a.m. en la estación Usaquén. Este promedio resume las 8 horas anteriores que corresponden en su totalidad a la noche y es anormal teniendo en cuenta que la producción de ozono se favorece en presencia de radiación solar, es decir, durante horas del día. Este tema está sujeto a futura investigación. El 21 de mayo de 2014





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

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

tres estaciones coincidieron en el reporte de sus máximos siendo estas Centro de Alto Rendimiento, Fontibón y Puente Aranda. La distancia espacial entre estas estaciones sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración de este contaminante entre las 11:00 a.m. y las 06:00 p.m. Un hecho similar ocurrió para Tunal, Min. Ambiente y Usaquén el 1 de abril en horas de la noche, un hecho que es inusual, como fue mencionado previamente.

La comparación con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o 116 µg/m³ en el cual no se esperan efectos sobre la salud y la calidad del aire se considera "Buena" (U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards, 2013) muestra que en todo momento se cumplió con esta normatividad ya que la concentración máxima fue 102 μg/m³. El mismo caso sucede para la normatividad europea (European Comission - Environment, 2014) en la cual el límite máximo es 120 µg/m³ 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 $\mu g/m^3$).

Tabla 3-8. Porcentaje de datos válidos, excedencias, máximo y respectivo periodo de ocurrencia de las

concentraciones de O₃ en base 8 horas durante el segundo trimestre de 2014

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma (8 h) 80 µg/m³	Porcentaje de excedencias	Máximo (µg/m³)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	94%	0	0,0	80	09/05/2014 18:00
Usaquén	98%	6	0,3	102	01/04/2014 03:00
Suba	99%	0	0,0	64	16/04/2014 18:00
Las Ferias	79%	0	0,0	80	11/04/2014 15:00
Centro de Alto Rendimiento	89%	0	0,0	72	21/05/2014 18:00
MinAmbiente	77%	0	0,0	70	01/04/2014 04:00
Fontibón	95%	0	0,0	69	21/05/2014 18:00
Puente Aranda	95%	0	0,0	58	21/05/2014 18:00
Carvajal	86%	0	0,0	57	18/04/2014 16:00
Tunal	93%	0	0,0	53	01/04/2014 03:00
San Cristóbal	98%	0	0,0	51	11/04/2014 06:00

La Figura 3-24 corresponde a un mapa con la distribución espacial de la concentración de ozono (promedios móviles de 8 horas) obtenida a partir de los promedios trimestrales de las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal suficiente. Se observa que el norte de la ciudad tiene las mayores concentraciones de este contaminante, especialmente la zona circundante a la estación Usaquén. A diferencia de la tendencia observada para el material particulado, el sur de la ciudad tiene las menores concentraciones de ozono.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

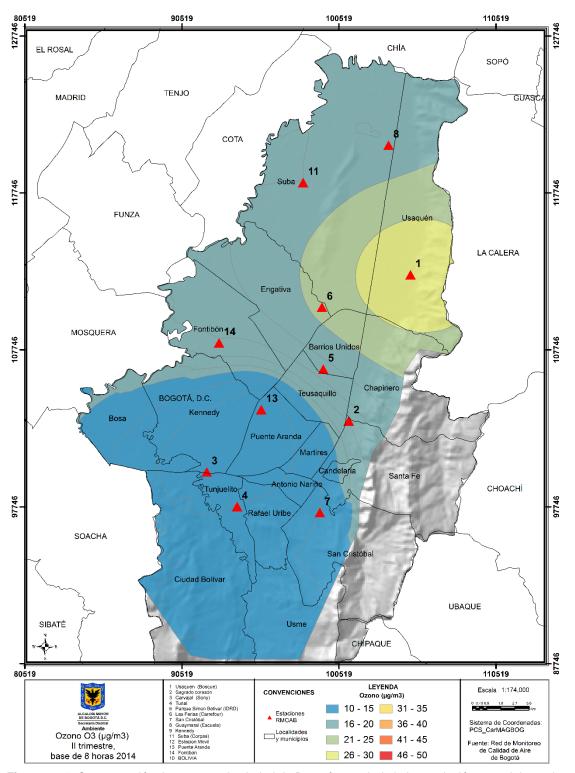


Figura 3-24. Concentración de ozono en la ciudad de Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

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

Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O₃

Los análisis que se presentan a continuación consideran promedios diarios en lugar de horarios o móviles de ocho horas. La razón se fundamenta en que de esta manera se facilita el análisis temporal por días de la semana y por meses al suavizar las tendencias y reducir la cantidad de datos atípicos.

La Figura 3-25 presenta la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de los días de la semana y de la estación de monitoreo. Los mayores niveles de dispersión se encuentran en aquellas estaciones ubicadas al norte de la ciudad donde las concentraciones de ozono son altas. Las tendencias entre los días de la semana para las diferentes estaciones son altamente variadas en términos de magnitud y de dispersión y por ello no puede establecerse de forma generalizada los días que presentan las mayores o menores concentraciones.

En Usaquén, estación que mantiene las concentraciones más altas en relación con los demás sitios de monitoreo, se observa que las mayores concentraciones se presentan los lunes, los sábados y los domingos.

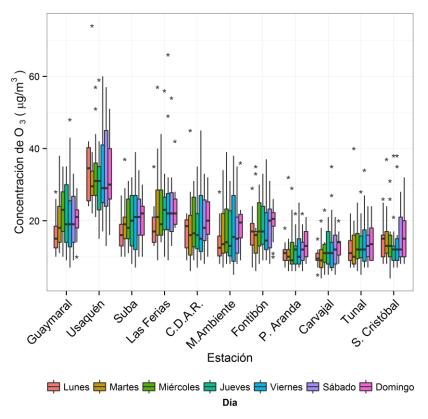


Figura 3-25. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de ozono en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visi

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

La distribución de las concentraciones diarias por meses en la Figura 3-26 muestra que abril es el mes con más contaminación por ozono en todas las estaciones de la RMCAB, con excepción de Min. Ambiente. Las diferencias son especialmente notables en Usaquén, Las Ferias, Tunal y San Cristóbal. Contrariamente, el mes con menores concentraciones fue junio en todas las estaciones. La variación del comportamiento del ozono en la ciudad en función de los meses del presente trimestre estaría 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.

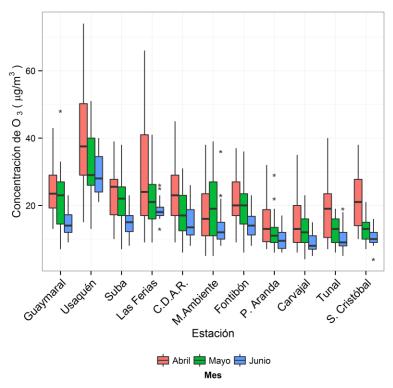


Figura 3-26. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de ozono en función de los meses de abril, mayo y junio, y de las estaciones de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de O₃

La Figura 3-27 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Se observa que en varios casos los lunes y los jueves presentan las menores concentraciones. Las tendencias en los demás días varían entre las estaciones y no permiten la definición de un comportamiento generalizado.

Los ciclos diarios de la Figura 3-28 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 incremento de la radiación solar. Usaquén mantiene concentraciones relativamente altas incluso en horas de la noche y de la madrugada, un tema que requiere de una investigación más profunda. Un caso similar sucede en la estación Las Ferias.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visu

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

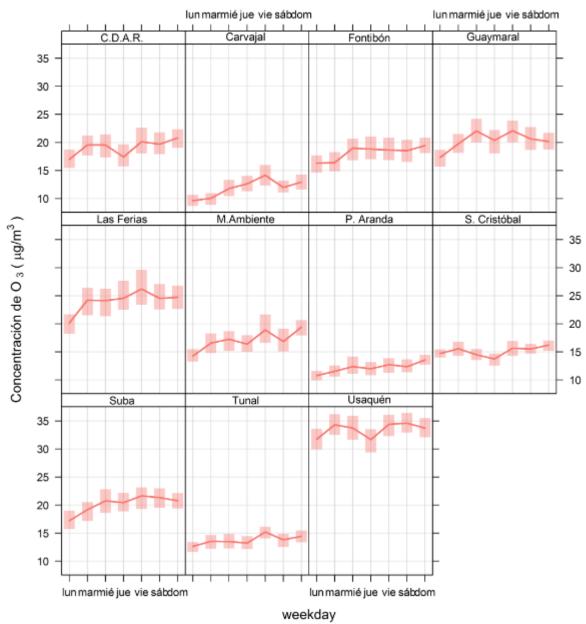


Figura 3-27. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

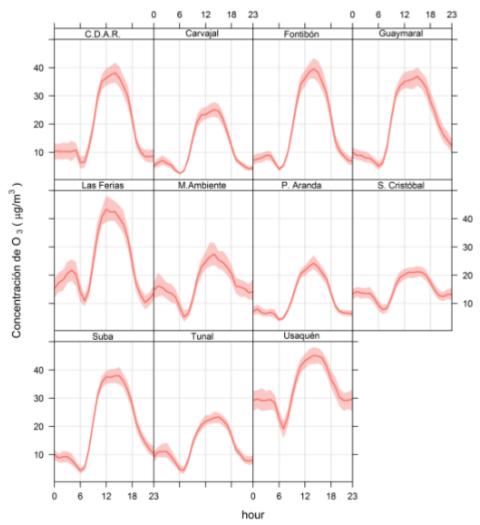


Figura 3-28. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.

Comportamiento histórico del O₃

La Figura 3-29 es un diagrama *boxplot* que muestra la distribución de las concentraciones diarias de ozono en función de las estaciones de monitoreo para los segundos trimestres entre los años 2010 y 2014. Históricamente, Usaquén ha mostrado los niveles de concentración más altos en los 5 trimestres estudiados, especialmente en los trimestres de 2010 y de 2014. Entre 2012 y 2014 Guaymaral ha aumentado sus niveles de concentración de forma progresiva. Las demás estaciones mantienen un comportamiento relativamente estable siendo Carvajal y Puente Aranda aquellas que han presentado las menores concentraciones y niveles de dispersión.

En comparación con el segundo trimestre de 2013, Fontibón, Puente Aranda, Carvajal y Tunal redujeron sus concentraciones mientras que los niveles de dispersión se mantuvieron relativamente estables. Históricamente, las estaciones ubicadas en la zona norte y central





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visu

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

de Bogotá han registrado mayores concentraciones en comparación con la zona sur, especialmente el suroccidente de Bogotá.

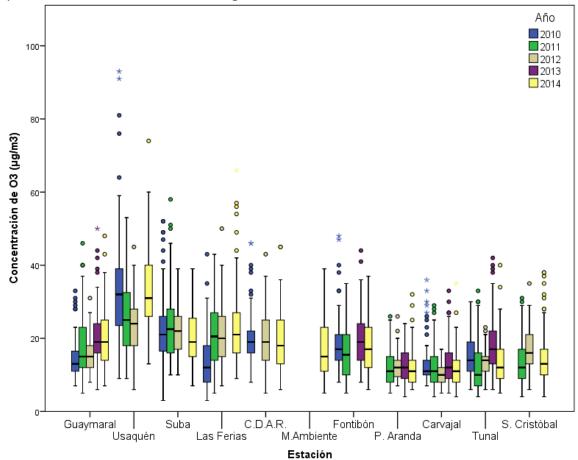


Figura 3-29. Gráfico de *boxplot* de O₃ en función de las estaciones para los segundos trimestres entre 2010 y 2014 (desde base diaria).

La Tabla 3-9 es un resumen histórico de las concentraciones de ozono en base de 8 horas. Se observa que el valor máximo reportado en las estaciones de la RMCAB fue 123 µg/m³ el 1 de abril de 2010 a las 8:00 p.m. en la estación Usaquén. Este dato debe entenderse como el promedio de las 8 horas previas al reporte el cual cubre momentos del medio día y de la tarde. Durante este lapso, las concentraciones de ozono se mantuvieron en niveles más altos en relación a los demás días del trimestre.

En el segundo trimestre de 2012 se reportó un valor máximo de 66 µg/m³ que es significativamente menor en comparación con sus contrapartes. Todas las concentraciones máximas se reportaron en el norte de la ciudad, lo cual contrasta con el comportamiento observado en los demás contaminantes. Se destaca que no se presentan resultados en base diaria para esta Tabla al no existir normatividad correspondiente.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-9. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de O₃ en promedios móviles de 8 horas para los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	123	01/04/2010 20:00	Usaquén
2011	102	03/04/2011 18:00	Suba
2012	66	19/04/2012 17:00	Suba
2013	101	04/04/2013 18:00	Guaymaral
2014	102	01/04/2014 03:00	Usaquén





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO₂

Se calcularon promedios horarios y diarios de concentración de NO₂ para el segundo trimestre de 2014 a partir de los datos obtenidos en 6 de las 7 estaciones que se presentan en la Tabla 1-1. No se incluye la estación Carvajal ya que en el analizador correspondiente no hay confiabilidad en la operatividad del equipo al requerir una revisión en la eficiencia de la conversión del catalizador.

Comportamiento de los promedios horarios de NO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 9632 (nueve mil seiscientos treinta y dos) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 74% en las estaciones que registraron mediciones, un hecho que en términos estrictos no cumple con la cobertura temporal mínima requerida. La Figura 3-30 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO_2 , en base de tiempo horaria. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 μ g/m³, Resolución 610 de 2010) pero sí del 50% de la misma (100 μ g/m³) en Las Ferias (17 datos) y Puente Aranda (4 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 3-10. Las Ferias y Puente Aranda se destacan como las estaciones que presentan las mayores magnitudes de valores máximos. Los analizadores de estas dos estaciones y Tunal no presentan la cobertura temporal suficiente para el cálculo de los respectivos promedios. La concentración máxima registrada en la RMCAB fue 126 µg/m³ el 3 de abril de 2014 a las 4:00 p.m. en Las Ferias.

Aunque los valores de promedios mostrados en la Figura 3-30 no deben ser comparados con la normatividad nacional, se observa que Kennedy tiene una concentración relativamente mayor en comparación con Guaymaral y Suba. Este hecho es congruente con las características de sus alrededores.

Tabla 3-10. Resumen de datos horarios de NO₂ por estación para el segundo trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	98%	84	06/05/2014 17:00
Suba	100%	76	08/05/2014 20:00
Las Ferias	50%	126	03/04/2014 16:00
Puente Aranda	69%	120	21/05/2014 09:00
Kennedy	98%	95	28/06/2014 09:00
Tunal	26%	83	22/04/2014 17:00



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

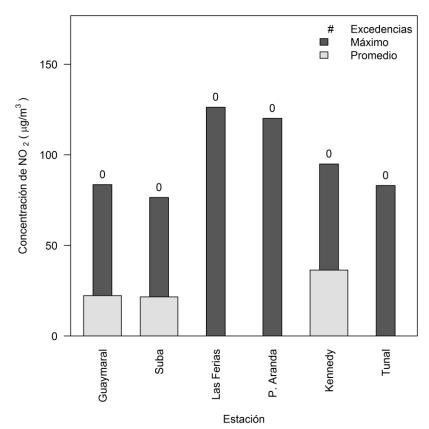


Figura 3-30. Promedio, máximos y excedencias de los datos horarios de NO₂ por estación durante el segundo trimestre de 2014.

Comportamiento diario de la concentración de NO₂

Se calcularon 400 promedios diarios de NO_2 , cuya representatividad temporal corresponde al 73% 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_2 para un tiempo de exposición de 24 horas (150 $\mu g/m^3$) como se observa en la Figura 3-31. Tampoco se presentaron valores superiores al 50% de la norma (75 $\mu g/m^3$). En la Tabla 3-11 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios, máximos y fechas de ocurrencia respectivas, por estación.

Al igual que en el caso del comportamiento de los promedios horarios, Las Ferias, Puente Aranda y Tunal presentaron una cobertura temporal inferior a la mínima requerida para el cálculo del promedios. Nuevamente se reitera que los promedios mostrados en la Tabla 3-11 no deben compararse con la normatividad vigente ya que esta no contempla tiempos de exposición trimestrales.

El 1 de abril de 2014 Guaymaral y Kennedy coincidieron en el reporte de sus máximas concentraciones del segundo trimestre, sugiriendo la aparición de un episodio de alta





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

concentración a nivel ciudad. El máximo valor diario fue 73 $\mu g/m^3$ el 3 de abril de 2014 en Las Ferias.

Tabla 3-11. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el segundo trimestre de 2014.

Estación	% de datos válidos	Promedio (μg/m³)	Máximo (μg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	98%	22	37	01/04/2014
Suba	100%	22	36	15/04/2014
Las Ferias	51%	N.R.	73	03/04/2014
Puente Aranda	67%	N.R.	59	23/05/2014
Kennedy	99%	36	53	01/04/2014
Tunal	25%	N.R.	59	04/04/2014

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

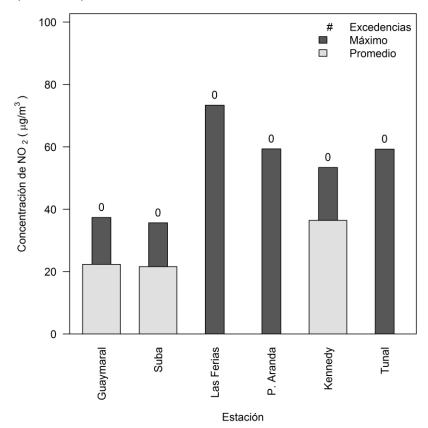


Figura 3-31. Promedio, excedencias y concentración máxima de NO₂ en base diaria por estación para el segundo trimestre de 2014.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO₂

La Figura 3-32 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Como se puntualizó previamente, Kennedy tiene las mayores concentraciones promedio con respecto a Guaymaral y Suba. En general, para las tres estaciones los domingos y los lunes presentan las menores concentraciones. El domingo por cambio de actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles y el lunes por la posible influencia de la capa residual del día anterior y por la presencia de días feriados. Entre martes y viernes no se observan diferencias generalizadas y notables.

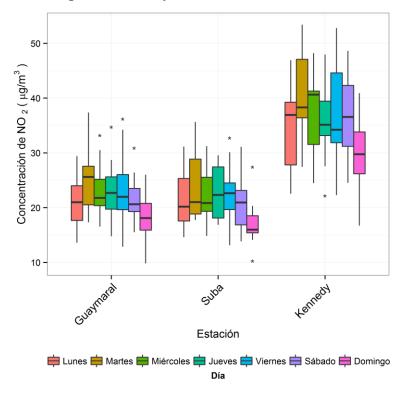


Figura 3-32. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

La Figura 3-33 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO_2 en función del mes y de la estación de monitoreo. En general, junio es el mes con las menores concentraciones. Abril presenta los mayores niveles en Suba y Kennedy. Se observan dispersiones levemente mayores en Kennedy, un hecho que se atribuye a mayores actividades, especialmente relacionadas con fuentes móviles en los alrededores de la estación.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

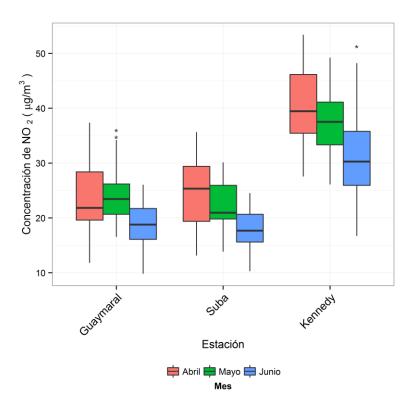


Figura 3-33. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses de abril, mayo y junio y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal suficiente.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO₂

Los ciclos semanales de la Figura 3-34 muestran que el día con las concentraciones más altas es el martes, en contraste con el domingo que reporta los menores niveles. Como se observó previamente, Kennedy registra los mayores promedios entre las estaciones con cobertura temporal suficiente. Este comportamiento está asociado en gran medida a la dinámica de la ciudad, en relación a las actividades de fuentes fijas y de fuentes móviles.

La Figura 3-35 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 NO₂.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

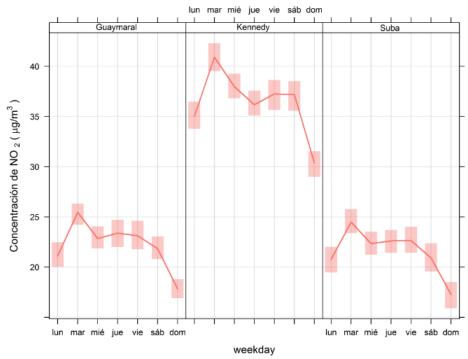


Figura 3-34. Ciclos semanales de las concentraciones de NO₂ para cada uno de los monitores con representatividad temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.

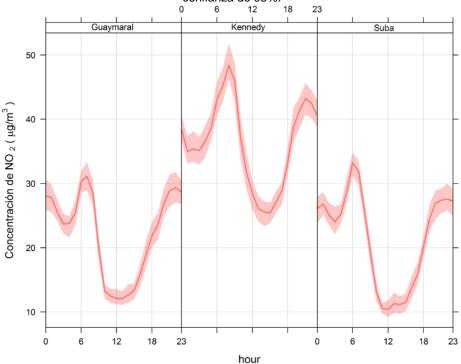


Figura 3-35. Ciclos diarios de las concentraciones de NO₂ para los monitores con cobertura temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.





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

La Figura 3-36 presenta la distribución de las concentraciones de NO₂ en función de las estaciones de monitoreo en base diaria. Solamente se presentan aquellas estaciones que cumplen con el criterio de representatividad de 75% durante cada uno de los trimestres. Históricamente, las mayores concentraciones se han registrado en Puente Aranda y Carvajal, posiblemente porque la influencia de las fuentes móviles es mayor en sus zonas aledañas en comparación con las demás estaciones.

Con respecto al segundo trimestre de 2013, Kennedy aumentó sus niveles de concentración. Es importante destacar que esta estación ha estado aumentando progresivamente sus concentraciones entre los segundos trimestres de 2011 y 2014. El comportamiento histórico en Suba y Guaymaral ha sido más irregular aunque se observan aumentos con respecto al segundo trimestre de 2012. En los trimestres entre 2010 y 2012, Las Ferias presentó un descenso progresivo. Los mayores niveles de dispersión se observan en Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda.

La Tabla 3-12 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO_2 en los segundos trimestres entre 2010 y 2014. El máximo valor reportado por la RMCAB en los 5 trimestres considerados fue 82 μ g/m³ en la estación Fontibón el 27 de mayo de 2011 el cual no superó el límite normativo de 150 μ g/m³. Este valor no difiere considerablemente de sus contrapartes en los otros periodos y no aparece en los diagramas de caja porque la estación respectiva no tiene una cobertura temporal suficiente. Las estaciones del occidente y del suroccidente tienden a presentar las más altas concentraciones.





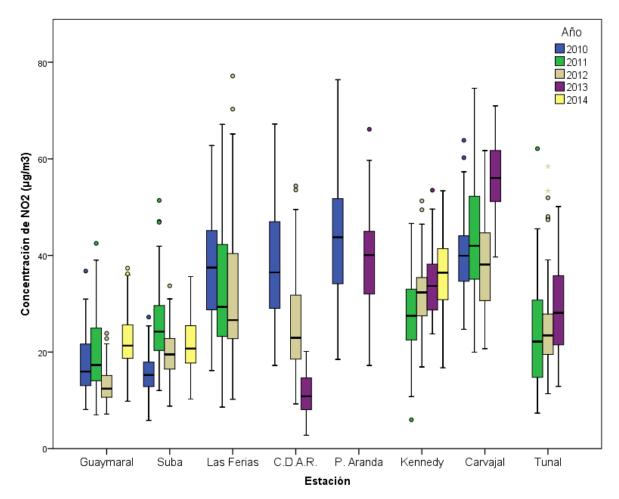


Figura 3-36. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

Tabla 3-12. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO₂ en base diaria en los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	76	25/05/2010	Puente Aranda
2011	82	27/05/2011	Fontibón
2012	77	14/04/2012	Las Ferias
2013	71	12/04/2013	Carvajal
2014	73	03/04/2014	Las Ferias





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.2.3. Comportamiento de la concentración de CO

En el segundo trimestre de 2014 se contó con promedios de monóxido de carbono (CO) en base de 1 hora y de 8 horas para las estaciones indicadas en la Tabla 1-1. No se registraron mediciones en las estaciones Centro de Alto Rendimiento por actividades de mantenimiento, en Carvajal debido a una operación irregular de la bomba de flujo y en Kennedy por falla de la fuente de radiación infrarroja.

Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Se obtuvieron 10890 (diez mil ochocientos noventa) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2014. El porcentaje de captura de datos para este contaminante fue de 83% en base horaria respecto al máximo posible de información a obtener en las estaciones que registraron mediciones en el periodo. San Cristóbal no cumple con el criterio de representatividad temporal de 75% y fue descartada para el cálculo de promedios indicativos.

Ninguno de los promedios superó lo establecido en la legislación nacional (40 mg/m³, Resolución 610 de 2010), y todos se registraron por debajo del 50% de la norma (20 mg/m³). En la Tabla 3-13 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio trimestral, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Las concentraciones máximas del periodo se registraron en Carvajal y en Tunal con valores de 7,6 mg/m³ y 7,8 mg/m³, respectivamente. El 22 de abril de 2014 entre las 7:00 p.m. y las 8:00 p.m., Las Ferias, Puente Aranda y Tunal registraron sus máximos de forma simultánea. Teniendo en cuenta las distancias existentes entre estas estaciones, se puede afirmar que se presentó 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. Aunque los promedios trimestrales que se presentan en la Tabla 3-13 y en la Figura 3-37 son indicativos únicamente y no comparables con la normatividad nacional, se observa que todos estuvieron por debajo de 2 mg/m³, un valor que está fuera de exceder el límite máximo permisible de 40 mg/m³. La comparación mutua de las estaciones muestra que Carvajal tiene el promedio más alto del trimestre lo que corresponde a la situación de sus alrededores, que están caracterizados por emisiones de fuentes móviles.

Tabla 3-13. Resumen de datos horarios de CO por estación para el segundo trimestre de 2014. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles en la Resolución 610 de 2010.

<i>)</i> .						
Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m³)	Máximo (mg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo		
Las Ferias	94%	0,8	3,2	22/04/2014 19:00		
Fontibón	94%	0,5	2,8	13/05/2014 07:00		
Puente Aranda	100%	0,8	4,8	22/04/2014 19:00		
Carvajal	92%	1,3	7,6	03/06/2014 01:00		
Tunal	93%	0,9	7,8	22/04/2014 20:00		
San Cristóbal	26%	N.R.	2,7	11/06/2014 07:00		

N.R.: No representativo.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

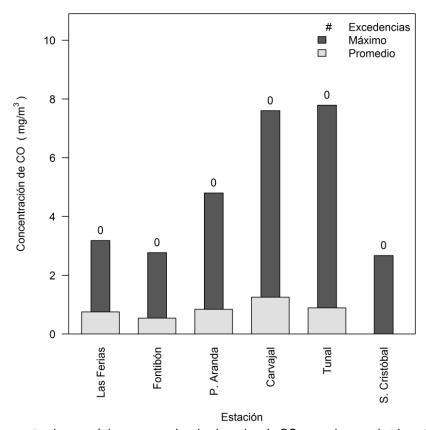


Figura 3-37. Concentraciones máximas y excedencias horarias de CO para el segundo trimestre de 2014.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el segundo trimestre de 2014 se calcularon 10781 (diez mil setecientos ochenta y uno) promedios en base de 8 horas de CO, equivalentes al 82% de los datos posibles en el periodo entre las estaciones que reportaron mediciones. San Cristóbal no cumple con el criterio de representatividad temporal al tener una cobertura temporal de 25% y por tanto no es posible llevar a cabo el cálculo de promedios indicativos. El máximo valor reportado por la RMCAB en el trimestre fue 4,4 mg/m³ en Carvajal el 3 de junio de 2014, valor que no excedió el límite normativo de 10 mg/m³ indicando la ausencia de excedencias durante el trimestre. De forma similar al comportamiento horario de este contaminante, el 22 de abril de 2014 dos estaciones coincidieron en el reporte de concentraciones máximas las cuales fueron Las Ferias y Fontibón con máximos de 2,4 mg/m³ y 1,6 mg/m³, respectivamente.

En términos de promedios, Fontibón registró el menor valor (0,5 mg/m³) mientras que Carvajal el mayor (1,3 mg/m³). Como se ha mencionado previamente, las principales fuentes contribuyentes de monóxido de carbono son móviles, lo cual corresponde con las tendencias observadas en Carvajal y Tunal ya que las zonas circundantes a estas dos estaciones presentan una gran actividad de tráfico vehicular.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-14. Resumen de datos de CO por estación en el segundo 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/m³)	Máximo (mg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Las Ferias	94%	0,8	2,4	22/04/2014 22:00
Fontibón	94%	0,5	1,6	22/04/2014 23:00
Puente Aranda	100%	0,8	2,9	23/04/2014 00:00
Carvajal	90%	1,3	4,4	03/06/2014 06:00
Tunal	90%	0,9	4,0	03/04/2014 22:00
San Cristóbal	25%	N.R.	1,5	06/06/2014 10:00

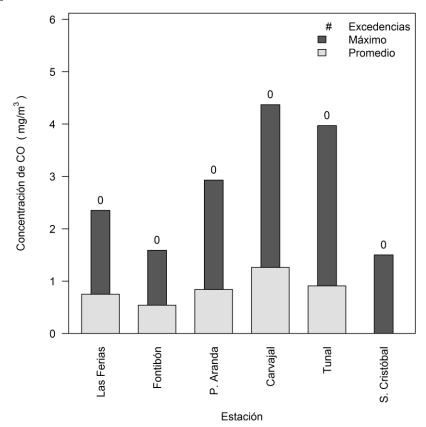


Figura 3-38. Concentración promedio, concentración máxima y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el segundo trimestre de 2014.

Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-39 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias de CO en función de la estación y del día de la semana. Se usan las concentraciones diarias en lugar de las horarias o las móviles de 8 horas teniendo en cuenta que las primeras permiten observar más claramente las tendencias temporales al reducir considerablemente la cantidad de valores atípicos en la elaboración de los diagramas *box-plot*. Se observa que en general los domingos y los lunes tienen las menores concentraciones lo cual se atribuye, en el caso de





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. - RMCAB

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. Carvajal tiene la mayor concentración y dispersión lo cual evidencia la influencia de las fuentes móviles al estar en las cercanías a corredores viales.

El comportamiento de las estaciones en función de los meses de abril, mayo y junio para el segundo trimestre de 2014 se muestra en la Figura 3-39. Junio fue el mes con menores concentraciones en todas las estaciones. Mayo presentó los mayores niveles para todas las estaciones con excepción de Carvajal.

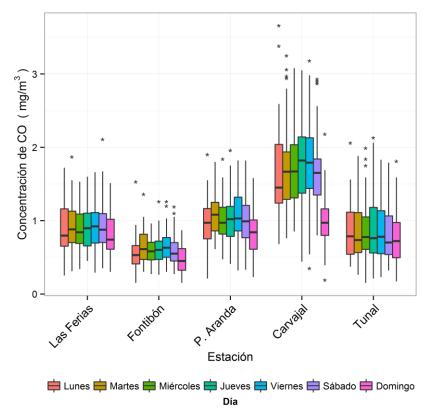


Figura 3-39. Comportamiento de las concentraciones diarias de CO en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

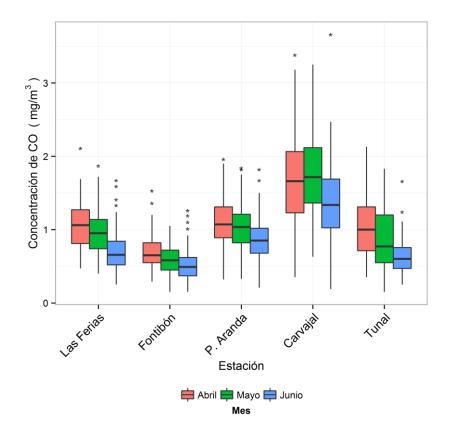


Figura 3-40. Comportamiento de las concentraciones diarias de CO en función de los meses por estación de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.

Ciclos diarios y semanales de las concentraciones de CO

La Figura 3-41 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Carvajal presentó una diferencia notable en comparación con sus contrapartes no solo por sus relativamente altas concentraciones sino por el contraste existente entre las concentraciones observadas entre el periodo lunes – sábado y el día domingo. En general, este último día se destaca por presentar concentraciones bajas un hecho que se atribuye a la variación semanal en la dinámica de la ciudad. Fontibón, Las Ferias y Tunal registraron picos de concentración en los martes. Tunal, por el contrario, mantuvo una tendencia distinta al registrar altas concentraciones los miércoles y jueves.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

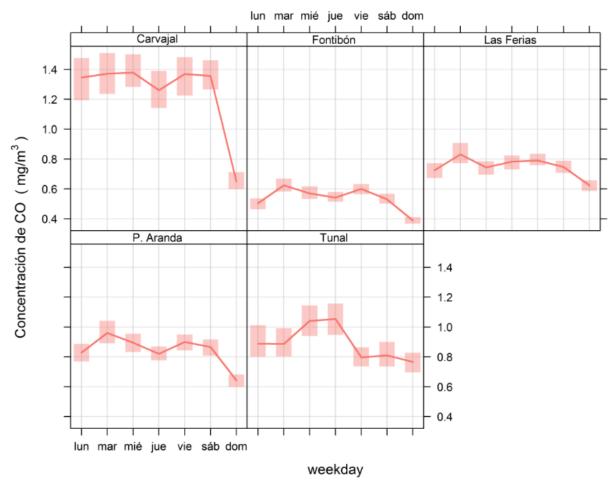


Figura 3-41. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

La Figura 3-42 presenta el comportamiento en función de la hora del día. Los perfiles muestran que con excepción de Carvajal, 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. La actividad de Carvajal presenta diferencias con las demás estaciones por sus concentraciones más altas y por mayores dispersiones en horas de la madrugada. Esta estación se localiza en las cercanías de La Autopista Sur, que al ser una vía de salida de la ciudad presenta actividad vehicular constante. Se presenta un pico de menor magnitud en horas de la tarde que sugiere la influencia de los desplazamientos del centro de la ciudad a los sectores periféricos.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

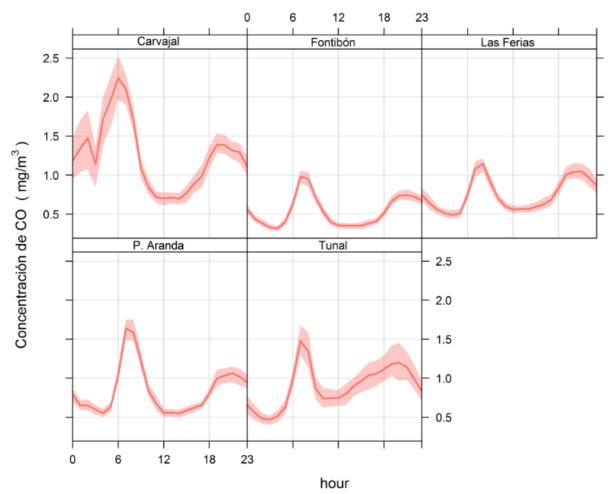


Figura 3-42. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el segundo trimestre de 2014 para los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Análisis de tendencias históricas

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

En la Figura 3-43 se encuentra la tendencia histórica de las estaciones de la RMCAB que midieron CO en los segundos trimestres entre 2010 y 2014 y que cumplen con el criterio de representatividad temporal de 75%. Carvajal históricamente ha registrado las mayores concentraciones en comparación con las demás estaciones de la RMCAB mientras que Tunal, Fontibón y San Cristóbal presentan los niveles más bajos. Los trimestres entre 2010 y 2014 han reducido sus concentraciones progresivamente únicamente para Carvajal ya que en las demás estaciones las tendencias no están claramente definidas. En





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visu

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

comparación con el segundo trimestre de 2013, en el periodo de 2014 Fontibón aumentó sus valores de concentración mientras que estas bajaron para Puente Aranda y Tunal.

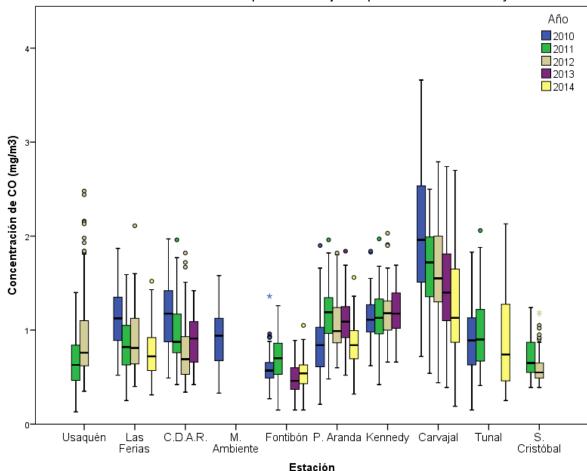


Figura 3-43. Gráfico de *boxplot* para CO en base diaria por estaciones para los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

El resumen de máximos históricos de la Tabla 3-15 en base horaria muestra que la máxima concentración histórica de los periodos considerados fue 6,2 mg/m³ el 7 de mayo de 2010 en la estación Carvajal. La mayoría de concentraciones máximas se han registrado en esta estación. Kennedy fue la única excepción en el segundo trimestre de 2011 aunque esta se encuentra igualmente en el suroccidente de la ciudad. 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 μg/m³, se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM₁₀, PM_{2.5} y O₃.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-15. Resumen histórico de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas para los segundos t<u>rimestres entre 2010 y 2014.</u>

Trimestre del año	Máximo mg/m3	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	6,2	07/05/2010 07:00	Carvajal
2011	3,4	18/04/2011 05:00 y 05/06/2011 02:00	Carvajal y Kennedy
2012	4,5	11/05/2012 05:00	Carvajal
2013	4,1	08/05/2013 07:00	Carvajal
2014	4,4	03/06/2014 06:00	Carvajal





3.2.4. Comportamiento de la concentración de SO₂

La RMCAB contó con 9 analizadores de dióxido de azufre (SO₂) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones permitieron calcular concentraciones promedio diarias y medias móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010. El analizador de la estación Carvajal presentó una cobertura temporal prácticamente nula durante este trimestre. Esto se debió a que fueron requeridas actividades de mantenimiento en la respectiva bomba.

Comportamiento de SO₂. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 13723 (trece mil setecientos veintitrés) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 70% de los posibles en el segundo trimestre de 2014. Por tanto, en términos globales, este contaminante presentó una cobertura temporal menor a 75%, valor establecido en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

En la Tabla 3-16 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 3-44 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. Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal presentaron bajas coberturas temporales y por tanto no reportan promedios. Para Suba y Fontibón se observa que las magnitudes de los valores máximos son significativamente diferentes a las respectivas medias sugiriendo la variabilidad de las concentraciones de este contaminante. La máxima concentración del trimestre fue 66 μg/m³ en la Estación Suba el 4 de mayo de 2014 a las 8:00 a.m. En la misma fecha, Fontibón y Las Ferias reportaron sus máximas concentraciones en el trimestre a las 9:00 a.m. El 30 de mayo de 2014, Puente Aranda y Tunal registraron sus concentraciones máximas a las 9:00 a.m. y a las 6:00 a.m., respectivamente.

El límite máximo permisible en la Resolución 610 de 2010 para un tiempo de exposición de 3 horas (750 μg/m³) no fue excedido en ninguna oportunidad. Tampoco se presentaron excedencias del 50% de la norma. El máximo de 66 μg/m³ en Suba representa solamente el 9% de este límite. Por tanto, este contaminante no es susceptible de presentar excedencias de la normatividad nacional.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-16. Resumen de datos de SO₂ en base de 3 horas por estación para el segundo trimestre de 2014. Los promedios aritméticos son indicativos y no deben compararse con la normatividad nacional.

Estación	% de datos válidos	Promedio aritmético	Máximo [μg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	98%	6	66	04/05/2014 08:00
Las Ferias	94%	3	23	04/05/2014 09:00
Centro de Alto Rendimiento	96%	5	13	21/05/2014 09:00
Fontibón	ntibón 91%		40	04/05/2014 09:00
Puente Aranda	uente Aranda 74%		30	30/05/2014 09:00
Kennedy	43%	N.R.	48	23/04/2014 08:00
Carvajal	0%	N.R.	52	01/04/2014 01:00
Tunal	42%	N.R.	16	30/05/2014 06:00
San Cristóbal	90%	1	5	01/05/2014 15:00

N.R.: No Representativo

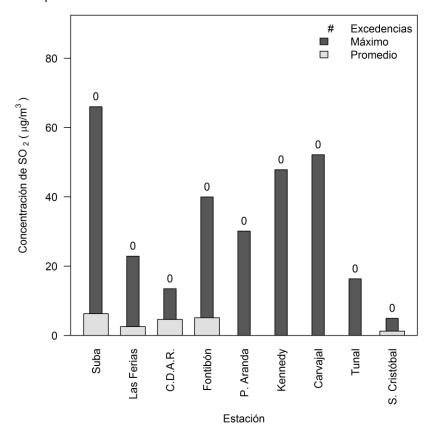


Figura 3-44. Promedios, máximos y número de excedencias de SO₂ en base de 3 horas por estación durante el segundo trimestre de 2014.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Comportamiento diario de la concentración de SO₂

Se analizaron 582 valores diarios cuya representatividad temporal global es 80%. Es importante destacar que en este cálculo de cobertura temporal no se consideró la estación Carvajal ya que los datos horarios disponibles no permitieron establecer ningún promedio diario. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 µg/m³) y, de forma similar al caso de la comparación con promedios móviles de 3 horas, ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m³). Entonces, de acuerdo a los límites normativos establecidos, este contaminante no es crítico en términos de afectación de la calidad del aire, en comparación con contaminantes como PM₁₀ y PM_{2.5}.

La Figura 3-45 y la Tabla 3-17 presentan un resumen de promedios y concentraciones máximas de SO₂ en base diaria. Kennedy y Tunal tienen bajas representatividades con porcentajes de 43% y 42%. En la estación Suba se encuentra el promedio más alto del trimestre así como el dato diario más alto de la RMCAB correspondiente a 18 µg/m³ el 21 de mayo. Este valor máximo fue seguido por Kennedy con 14 µg/m³ el 14 de mayo. Como se puede observar, todas las concentraciones máximas fueron registradas en mayo. 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. Se destacan los bajos valores de la estación San Cristóbal, ubicada en el suroriente de Bogotá ya que sus concentraciones son notablemente menores.

Es importante reiterar que los promedios reportados en la Tabla 3-17 son meramente indicativos y no se deben comparar los límites normativos vigentes al presentar un tiempo de exposición diferente a tres meses.

Tabla 3-17. Resumen de datos en base diaria de SO₂ por estación para el segundo trimestre de 2014. Los

promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Estación	% de datos válidos	Promedio (μg/m³)	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	100%	6	18	04/05/2014
Las Ferias	96%	3	6	21/05/2014
Centro de Alto Rendimiento	99%	5	8	21/05/2014
Fontibón	95%	5	11	26/05/2014
Puente Aranda	76%	5	10	21/05/2014
Kennedy	43% N.R. 14 12/05/		12/05/2014	
Tunal	42%	% N.R. 8 29/05/2014		
San Cristóbal	90%	1	3	01/05/2014

N.R.: no representativo.



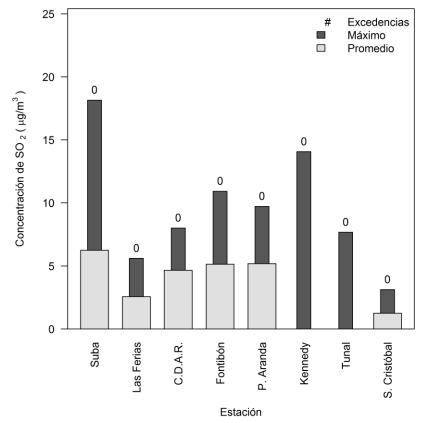


Figura 3-45. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO₂ en base diaria por estación para el segundo trimestre de 2014. Los promedios son indicativos y no deben compararse con la normatividad vigente.

Comportamiento temporal de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-46 describe el comportamiento de las concentraciones de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo. Los domingos registran las menores concentraciones del trimestre en todas las estaciones debido al cambio en la dinámica de la ciudad. No es claro establecer el día con mayores concentraciones ya que este varía según la estación. Se observa que Suba establece una diferencia considerable respecto a las demás estaciones al tener una mayor variabilidad y niveles de concentración. Por el contrario, San Cristóbal registra concentraciones relativamente bajas lo cual demuestra diferencias espaciales notables en cuanto a la distribución de los contaminantes en Bogotá.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

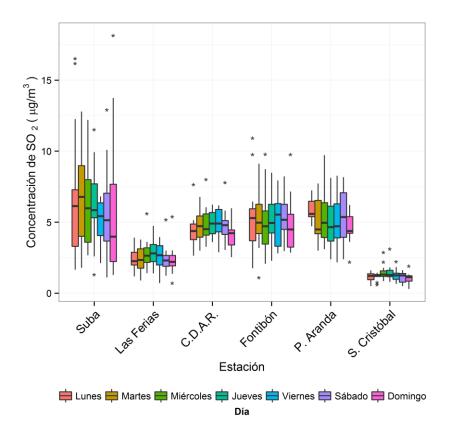


Figura 3-46. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.

La Figura 3-47 presenta el comportamiento de las concentraciones en función de los meses de abril, mayo y junio por estación de monitoreo. Para 4 de las 6 estaciones analizadas, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Fontibón y San Cristóbal, mayo es el mes con los mayores niveles de concentración. Con excepción de Suba, abril fue menos susceptible a la contaminación. Se recalcan nuevamente las diferencias considerables en las comparaciones mutuas de las estaciones de la RMCAB.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

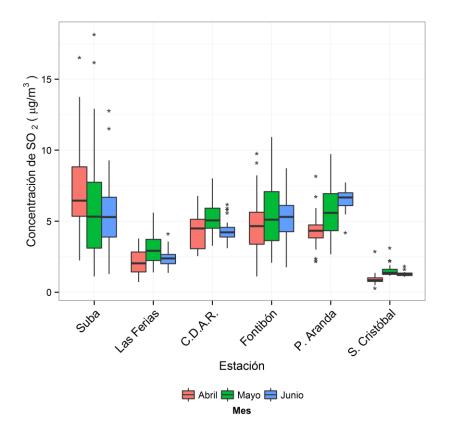


Figura 3-47. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los meses de abril, mayo y junio por estación de monitoreo para el segundo trimestre de 2014.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-48 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal de 75% en el segundo trimestre de 2014. La variación del ciclo semanal no es alta en todas las estaciones con excepción de Suba, donde se observa una disminución considerable en los viernes. De forma general se observa que los domingos tienen las menores concentraciones.

Los perfiles diarios de la Figura 3-49 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. Las estaciones Suba y Fontibón tienen una variabilidad más alta en horas de la media noche y de la madrugada posiblemente por actividades relacionadas con el transporte en los alrededores de estas estaciones.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

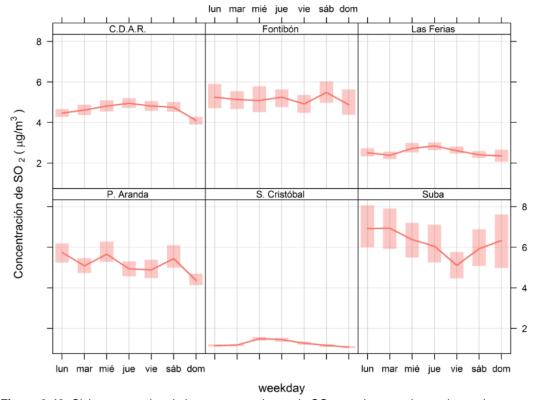


Figura 3-48. Ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Airo, Auditiva

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

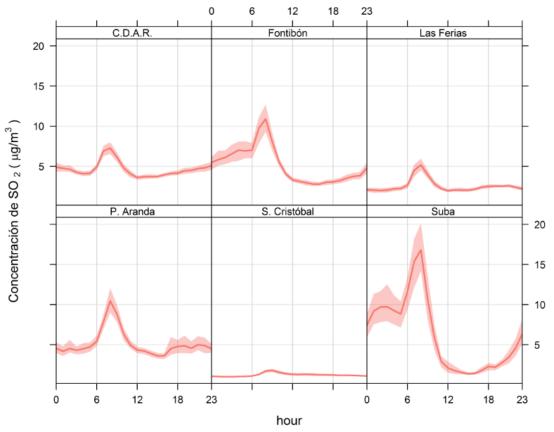


Figura 3-49. Ciclos diarios de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el segundo trimestre de 2014. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de promedios diarios de SO₂

La Figura 3-50 contiene la distribución de las concentraciones diarias de SO₂ en función de las estaciones de monitoreo que operan actualmente. Carvajal presentó una diferencia considerable en comparación con las demás estaciones de la RMCAB. Esto se debe a que las actividades relacionadas con quema de combustibles en los alrededores de la estación son mayores teniendo en cuenta la presencia de industrias. Contrariamente, San Cristóbal presentó niveles significativamente menores de concentración y de dispersión. Estas tendencias dan evidencia de la alta heterogeneidad de Bogotá en relación a sus fuentes de emisión. Las Ferias, Carvajal y San Cristóbal son las únicas estaciones que muestran una tendencia clara hacia la reducción de concentraciones a lo largo de los segundos trimestres de los últimos 5 años. En las demás estaciones hay tanto aumentos como disminuciones.

En comparación con el segundo trimestre de 2013, Suba, Centro de Alto Rendimiento y Puente Aranda aumentaron sus niveles de concentración. En Fontibón se mantuvieron constantes.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y 1

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

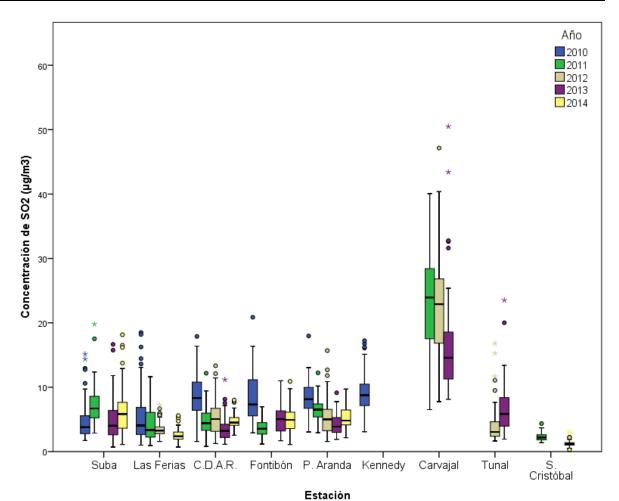


Figura 3-50. Gráfico de boxplot para SO₂ diario por estaciones en los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

La Tabla 3-18 es el resumen de los máximos históricos en cada periodo considerado. Se observa que los valores de los segundos trimestres de 2011, 2012 y 2013 corresponden a Carvajal. El máximo valor diario reportado por la RMCAB en los periodos estudiados fue 51 µg/m³ el 13 de junio de 2013 en Carvajal. Este valor, aunque alto en comparación con el resto del conjunto, 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 3-18. Resumen estadístico histórico de las concentraciones de SO₂ en promedios diarios en los segundos trimestres entre 2010 y 2014.

Trimestre del año	Máximo μg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación	
2010	48	16/04/2010	Tunal	
2011	40	05/05/2011	Carvajal	
2012	47	05/06/2012	Carvajal	
2013	51	13/06/2013	Carvajal	
2014	18	04/05/2014	Suba	





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.3. Índices de calidad del aire

Esta sección presenta el Índice de Calidad del Aire (ICA) para seis contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO, SO₂ y NO₂). El ICA corresponde a un valor adimensional que oscila entre 0 y 500 y que representa qué tan limpio o contaminado está el aire ambiente y los potenciales efectos perjudiciales en la salud pública.

La metodología de cálculo se basa en la definida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (*U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards*, 2013), donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (Bueno, Moderado, Desfavorable para grupos sensibles, Desfavorable, Muy Desfavorable y Peligroso), tal y como lo como lo muestra la Tabla 3-19.

Tabla 3-19. 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).

calidad del alle (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).									
ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O₃ 8h ppm	O ₃ 1h Ppm (1)	PM ₁₀ 24h μg/m³	PM _{2.5} 24h μg/m³	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 O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.

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.



⁽²⁾ Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomado de valores y parámetros EPA.

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

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

Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

3.3.1. Índice de calidad del aire para PM₁₀.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM₁₀ puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-51 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. La categoría "Buena" predomina en Guaymaral, Usaquén, Suba, Centro de Alto Rendimiento, Ministerio de Ambiente y San Cristóbal mientras que la "Moderada" presentó una participación destacada en las estaciones localizadas en el occidente y suroccidente de Bogotá las cuales son Fontibón, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal. Esta última estación representa un contraste significativo con las demás porque más del 80% de los promedios diarios representan una calidad del aire moderada. Una categoría "Moderada" de PM₁₀ 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. Para seis estaciones se presentó una contribución reducida de la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" la cual se debe al episodio de alta contaminación correspondiente al 27 de junio de 2014.

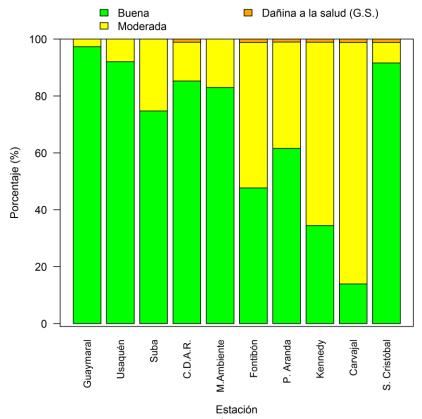


Figura 3-51. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el segundo trimestre de 2014.

La Figura 3-52 muestra la discriminación del ICA de PM₁₀ en función de los meses de abril, mayo y junio. Los meses no presentan una diferencia significativa en su proporción del





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visua

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

índice de calidad del aire aunque mayo presentó una menor calidad del aire teniendo en cuenta la mayor participación de la categoría "Moderada". La categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" es exclusiva del mes de junio consecuencia del ya mencionado episodio del 27 de junio de 2014.

La Figura 3-53 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 PM₁₀. 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. El 27 de junio de 2014 fue viernes y por tanto la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" se concentra en este día.

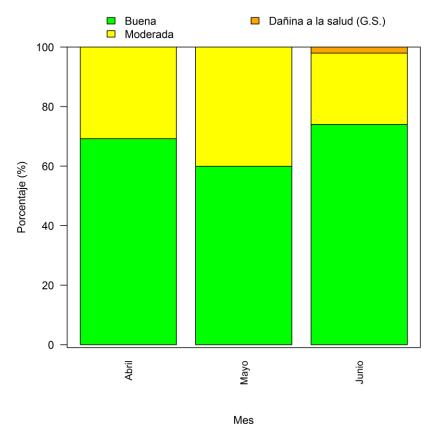


Figura 3-52. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses de abril, mayo y junio de 2014.

La Figura 3-54 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM₁₀ durante el segundo trimestre de 2014. La categoría "Moderada" se define cuando el índice de calidad del aire supera el valor 50 la cual es alcanzada por las estaciones Kennedy y Carvajal. Aunque Fontibón y Puente Aranda se enmarcan globalmente en la categoría "Buena", los valores promedio de sus índices están cercanos del límite descrito. La mejor calidad del aire se encuentra en Guaymaral con un valor de 21.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

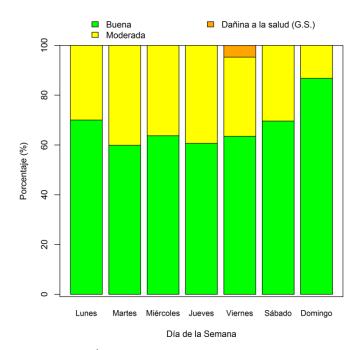


Figura 3-53. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para durante el segundo trimestre de 2014.

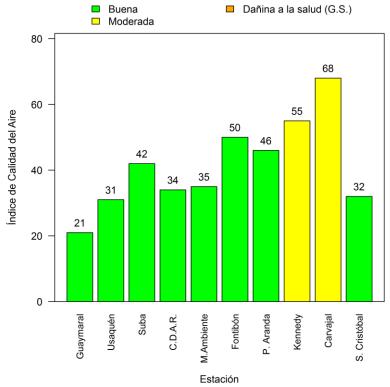


Figura 3-54. Índice de Calidad del Aire promedio de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB durante el segundo trimestre de 2014.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a $2.5~\mu m$ (PM_{2.5}) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La Figura 3-55 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios diarios. Todas las estaciones presentaron participación de las categorías "Buena", "Moderada" y "Dañina a la salud para grupos sensibles" aunque en diferentes proporciones. Usaquén, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente registraron esta última categoría únicamente durante el episodio del 27 de junio de 2014. En Suba se registró para el 1 de abril.

Kennedy y Carvajal establecieron una diferencia notable en comparación con las demás estaciones de la RMCAB que miden este contaminante debido a las altas concentraciones de material particulado que se observan en el sector suroccidental de la ciudad. Carvajal es la única estación que reporta la categoría "Dañina a la salud". 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 mientras que la categoría "Dañina a la salud" está asociada la agravación de enfermedades cardiacas o respiratorias y una mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiovasculares, adultos mayores y personas de bajos niveles socioeconómicos y los efectos respiratorios se incrementan en la población en general. La fecha correspondiente a esta última categoría es el episodio del 27 de junio de 2014.

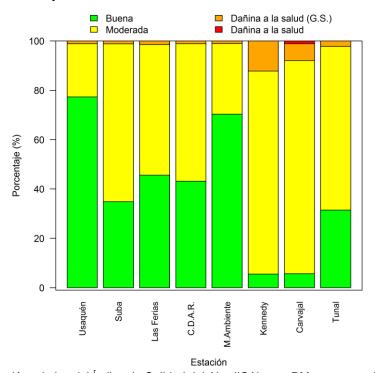


Figura 3-55. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por estación para el segundo trimestre de 2014.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Airo, Auditivo y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Los valores de ICA de la Figura 3-56 durante el segundo trimestre de 2014 muestran que la categoría "Moderada" se mantiene para todas las estaciones, con excepción de Usaquén y Ministerio de Ambiente que mantienen la categoría "Buena". Ambas estaciones se localizan al oriente de la ciudad. 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.

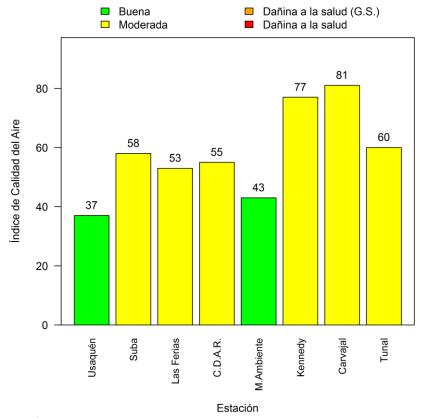


Figura 3-56. Índice de calidad del aire (ICA) para PM_{2.5} durante el segundo trimestre de 2014.

La Figura 3-57 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses de abril, mayo y junio de 2014. Las categorías "Buena", "Moderada" y "Dañina a la salud para grupos sensibles" se encuentran en los tres meses mientras que la categoría "Dañina para la salud" se presenta únicamente en el mes de junio debido a la concentración de 77 µg/m³ en la estación Carvajal. En términos de proporción de la categoría "Buena", el mes con la mejor calidad del aire fue junio.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-57 muestra que los domingos y los lunes presentaron mejor calidad del aire por su mayor participación de la categoría "Buena". El periodo de martes a sábado tiene una menor calidad del aire, especialmente el miércoles, lo cual está asociado a la dinámica de la ciudad durante el ciclo semanal. La categoría "Dañina a la salud" corresponde al viernes 27 de junio en Carvajal.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

El domingo fue el único día que registró solamente las categorías "Buena" y "Moderada", lo cual indica que es el más saludable en términos de calidad del aire.

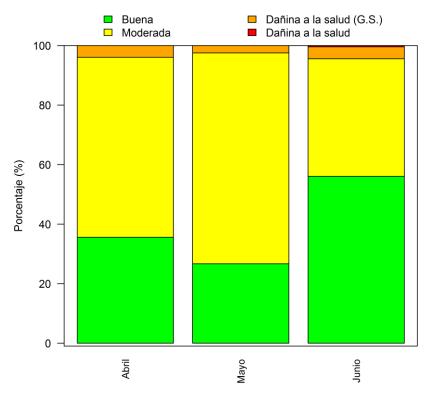


Figura 3-57. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por mes para el segundo trimestre de 2014.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y N

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

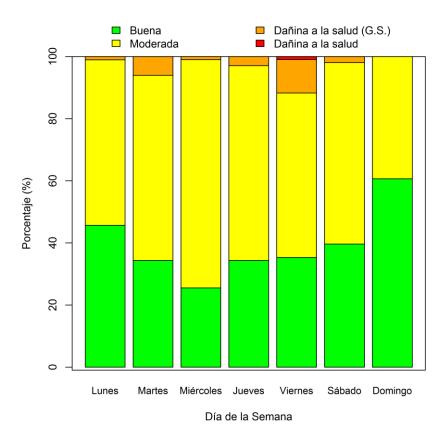


Figura 3-58 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{2.5} por día de la semana para el segundo trimestre de 2014.

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

La Figura 3-59, la Figura 3-60 y la Figura 3-61 presentan el índice de calidad del aire promedio por estación para el segundo 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.

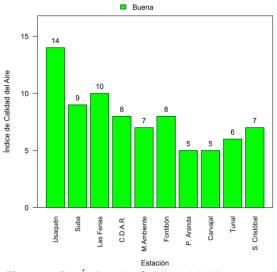
En lo referente al ozono, Usaquén tiene el mayor ICA con 14 unidades, lo cual concuerda con las tendencias observadas en los análisis de las respectivas concentraciones. Esta estación es seguida por Las Ferias y Suba. En cuanto al monóxido de carbono, la estación con mayor ICA fue Carvajal la cual está afectada directamente por la influencia de fuentes móviles. Las tendencias del dióxido de azufre muestran que Las Ferias y San Cristóbal registran niveles más saludables.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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



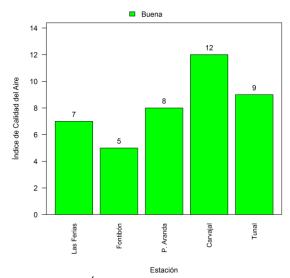


Figura 3-59. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O_3) . Base de 8 horas.

Figura 3-60. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

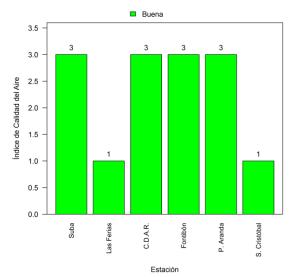


Figura 3-61. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base de tiempo diaria.





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 segundo 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 3-20. Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), segundo trimestre de 2014.

	Información de los promedios diarios de concentración de PST [Norma: 300 µg/m³; Resolución 610 de 2010]									
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [μg/m³]	Max/ Norma	
Suroccidente	Carvajal	31	34	0	0%	5	1	274	0,9	

Tabla 3-21. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀), segundo trimestre de 2014.

	Info	ormación de l	os promedios diari a: 100 μg/m³; Resol	os de conc		de PM ₁₀			
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [μg/m³]	Max/Norma
	Guaymaral	74	81%	1	1%	1	0	133	1,3
Norte	Usaquén	88	97%	1	1%	8	0	125	1,3
	Subtotal	162	89%	2	1%	9	0	133	1,3
	Suba	91	100%	1	1%	19	6	142	1,4
Noroccidente	Las Ferias	30	33%	0	0%	0	0	40	0,4
	Subtotal	121	66%	1	1%	19	6	142	1,4
	Centro de Alto Rendimiento	88	97%	1	1%	15	3	182	1,8
Centro	MinAmbiente	88	97%	1	1%	15	1	120	1,2
	Subtotal	176	97%	2	1%	30	4	182	1,8
	Fontibón	86	95%	4	5%	39	11	243	2,4
	Puente Aranda	91	100%	3	3%	34	7	199	2,0
Suroccidente	Kennedy	90	99%	8	9%	29	26	161	1,6
	Carvajal	86	95%	37	43%	12	27	240	2,4
	Subtotal	353	97%	52	15%	114	71	243	2,4
	Tunal	39	43%	3	8%	9	1	213	2,1
Sur	San Cristóbal	83	91%	2	2%	7	0	207	2,1
	Subtotal	122	67%	5	4%	16	1	213	2,1





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-22. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}), segundo trimestre de 2014.

	Info	rmación de l	os promedios diario liaria: 50 µg/m³; Res	os de conc	entración o	de PM _{2.5}			
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [μg/m³]	Max/Norma
Norte	Usaquén	88	97%	0	0%	3	1	46	0,9
Norte	Subtotal	88	97%	0	0%	3	1	46	0,9
	Suba	86	95%	1	1%	14	2	51	1,0
Noroccidente	Las Ferias	68	75%	1	1%	13	0	52	1,0
	Subtotal	154	85%	2	1%	27	2	52	1,0
	Centro de Alto Rendimiento	88	97%	0	0%	16	2	47	0,9
Centro	MinAmbiente	91	100%	0	0%	3	1	43	0,9
	Subtotal	179	98%	0	0%	19	3	47	0,9
	Kennedy	90	99%	2	2%	42	14	59	1,2
Suroccidente	Carvajal	88	97%	1	1%	53	14	77	1,5
	Subtotal	178	98%	3	2%	95	28	77	1,5
	Tunal	89	98%	1	1%	20	4	52	1,0
Sur	San Cristóbal	56	62%	0	0%	0	1	44	0,9
	Subtotal	145	80%	1	1%	20	5	52	1,0





Tabla 3-23. Consolidado de los promedios horarios de O₃, segundo trimestre de 2014.

	Información de los promedios horarios de O ₃ , segundo trimestre de 2014. [Norma: 120 μg/m³]										
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/m³]	Max/Norma		
	Guaymaral	2044	94%	0	0%	37	6	120	1,0		
Norte	Usaquén	2150	98%	0	0%	158	5	104	0,9		
	Subtotal	4194	96%	0	0%	195	11	120	1,0		
	Suba	2159	99%	0	0%	31	2	95	0,8		
Noroccidente	Las Ferias	1743	80%	0	0%	107	4	98	0,8		
	Subtotal	3902	89%	0	0%	138	6	98	0,8		
	Centro de Alto Rendimiento	1979	91%	0	0%	46	2	97	0,8		
Centro	MinAmbiente	1682	77%	0	0%	16	2	99	0,8		
	Subtotal	3661	84%	0	0%	62	4	99	0,8		
	Fontibón	2066	95%	0	0%	52	1	94	0,8		
Suroccidente	Puente Aranda	2102	96%	0	0%	5	0	72	0,6		
Suroccidente	Carvajal	1937	89%	0	0%	3	0	78	0,7		
	Subtotal	6105	93%	0	0%	60	1	94	0,8		
	Tunal	2051	94%	0	0%	0	0	58	0,5		
Sur	San Cristóbal	2146	98%	0	0%	0	0	54	0,5		
	Subtotal	4197	96%	0	0%	0	0	58	0,5		





Tabla 3-24. Consolidado de los promedios de O₃ para 8 horas, segundo trimestre de 2014.

Inform	nación de los promedios de 8 horas de concentración de O ₃
	[N.

[Norma: 80 μg/m³]									
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/m³]	Max/Norma
	Guaymaral	2047	94%	0	0%	157	27	80	1,0
Norte	Usaquén	2146	98%	6	0.4%	503	106	102	1,3
	Subtotal	4193	96%	6	0%	660	133	102	1,3
	Suba	2170	99%	0	0%	187	2	64	0,8
Noroccidente	Las Ferias	1732	79%	0	0%	196	64	80	1,0
	Subtotal	3902	89%	0	0%	383	66	144	1,0
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1941	89%	0	0%	127	21	72	0,9
	MinAmbiente	1681	77%	0	0%	80	6	70	0,9
	Subtotal	3622	83%	0	0%	207	27	142	0,9
	Fontibón	2069	95%	0	0%	153	15	69	0,9
Suroccidente	Puente Aranda	2075	95%	0	0%	14	0	58	0,7
	Carvajal	1881	86%	0	0%	19	0	57	0,7
	Subtotal	6025	92%	0	0%	186	15	184	0,9
Sur	Tunal	2032	93%	0	0%	14	0	53	0,7
	San Cristóbal	2132	98%	0	0%	49	0	51	0,6
	Subtotal	4164	64%	0	0%	63	0	104	0,7





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Tabla 3-25. Consolidado de los promedios horarios de NO₂, segundo trimestre de 2014.

Información de los promedios horarios de concentración de NO ₂ [Norma: 200 μg/m³; 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/m³]	Max/Norma
Norto	Guaymaral	2136	98%	0	0%	0	0	84	0,4
Norte	Subtotal	2136	98%	0	0%	0	0	84	0,4
	Suba	2180	100%	0	0%	0	0	76	0,4
Noroccidente	Las Ferias	1101	50%	0	0%	17	0	126	0,6
	Subtotal	3281	75%	0	0%	17	0	126	0,6
	Puente Aranda	1502	69%	0	0%	4	0	120	0,6
Suroccidente	Kennedy	2146	98%	0	0%	0	0	95	0,5
	Subtotal	3648	84%	0	0%	4	0	120	0,6
Sur	Tunal	567	26%	0	0%	0	0	83	0,4
	Subtotal	567	26%	0	0%	0	0	83	0,4





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

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

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios diarios de NO₂, segundo trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de NO₂ [Norma: 150 µg/m³; 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/m³]	Max/Norma
Norto	Guaymaral	89	98%	0	0%	0	0	37	0,3
Norte	Subtotal	89	98%	0	0%	0	0	37	0,3
Noroccidente	Suba	91	100%	0	0%	0	0	36	0,2
	Las Ferias	46	51%	0	0%	0	0	73	0,5
	Subtotal	137	75%	0	0%	0	0	73	0,5
	Puente Aranda	61	67%	0	0%	0	0	59	0,4
Suroccidente	Kennedy	90	99%	0	0%	0	0	53	0,4
	Subtotal	151	83%	0	0%	0	0	59	0,4
Sur	Tunal	23	25%	0	0%	0	0	59	0,4
	Subtotal	23	25%	0	0%	0	0	59	0,4





Tabla 3-27. Consolidado de los promedios horarios de CO, segundo trimestre de 2014

			de los promedios l orma: 40 mg/m³; R			on de CO			
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/m³]	Max/Norma
Noroccidente	Las Ferias	2061	94%	0	0%	0	0	3,2	0,1
Noroccidente	Subtotal	2061	94%	0	0%	0	0	3,2	0,1
	Fontibón	2052	94%	0	0%	0	0	2,8	0,1
Suroccidente	Puente Aranda	2177	100%	0	0%	0	0	4,8	0,1
Suroccidente	Carvajal	2008	92%	0	0%	0	0	7,6	0,2
	Subtotal	6237	95%	0	0%	0	0	7,6	0,2
	Tunal	2035	93%	0	0%	0	0	7,8	0,2
Sur	San Cristóbal	557	26%	0	0%	0	0	2,7	0,1
	Subtotal	2592	59%	0	0%		0	7,8	0,2





Tabla 3-28. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas para CO, segundo trimestre de 2014.

	Info	rmación de lo	s promedios móvi :Norma]	les de 8 hor : 10 mg/m³]	as de concen	tración de CC)		
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/m³]	Max/Norma
Navasidanta	Las Ferias	2055	94%	0	0%	0	0	2,4	0,2
Noroccidente	Subtotal	2055	94%	0	0%	0	0	2,4	0,2
	Fontibón	2051	94%	0	0%	0	0	1,6	0,2
Cunanaldanta	Puente Aranda	2177	100%	0	0%	0	0	2,9	0,3
Suroccidente	Carvajal	1974	90%	0	0%	0	0	4,4	0,4
	Subtotal	6202	95%	0	0%	0	0	4,4	0,4
	Tunal	1975	90%	0	0%	0	0	4,0	0,4
Sur	San Cristóbal	549	25%	0	0%	0	0	1,5	0,2
	Subtotal	2524	58%	0	0%	0	0	4,0	0,4





Tabla 3-29. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas para SO₂, segundo trimestre de 2014.

2883

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO₂ [Norma: 750 µg/m³; Resolución 610 de 2010] No de % de No. datos No. datos datos entre el entre el datos No de Representatividad Máximo Zona Nombre de la Estación 50% y el 75% y el Max/Norma que que [µg/m³] promedios **Temporal** 75% de la 100% de exceden exceden la norma la norma la norma norma Suba 98% 2129 0% 66 0,1 Noroccidente Las Ferias 2062 94% 0 0% 0 0 23 0.0 0 0 0 Subtotal 4191 96% 0% 66 0,1 Centro de Alto Rendimiento 0 0 0 2097 96% 0% 13 0,0 Centro Subtotal 2097 96% 0 0% 0 0 13 0,0 Fontibón 1996 91% 0 0% 0 0 40 0,1 Puente Aranda 74% 0 0% 0 0 30 0,0 1606 Suroccidente 943 43% 0 0% 0 0 48 0.1 Kennedy 7 0 0 Carvajal 0% 0% 0 52 0,1 Subtotal 4552 52% 0 0% 0 0 52 0,1 Tunal 914 42% 0 0% 0 0 16 0.0 San Cristóbal Sur 90% 0 0 0 5 1969 0% 0,0

66%

0

0%

0

0

16

0,0



Subtotal



Tabla 3-30. Consolidado de los promedios diarios de SO₂, segundo trimestre de 2014.

Información de los promedios diarios de concentración de SO₂
[Norma diaria: 250 µg/m³; Resolución 610 de 2010]

Zona Nombre de la Estación No de promedios Representatividad Temporal Resceden la norma norma la norma norma No. de la norma

Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	datos entre el 50% y el 75% norma	entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m³]	Max/Norma
	Suba	91	100%	0	0%	0	0	18	0,1
Noroccidente	Las Ferias	87	96%	0	0%	0	0	6	0,0
	Subtotal	178	98%	0	0%	0	0	18	0,1
Centro	Centro de Alto Rendimiento	90	99%	0	0%	0	0	8	0,0
Centro	Subtotal	90	99%	0	0%	0	0	8	0,0
	Fontibón	86	95%	0	0%	0	0	11	0,0
Suroccidente	Puente Aranda	69	76%	0	0%	0	0	10	0,0
Suroccidente	Kennedy	39	43%	0	0%	0	0	14	0,1
	Subtotal	194	71%	0	0%	0	0	14	0,1
	Tunal	38	42%	0	0%	0	0	8	0,0
Sur	San Cristóbal	82	90%	0	0%	0	0	3	0,0
	Subtotal	120	66%	0	0%	0	0	8	0,0





4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas en la ciudad de Bogotá durante el segundo 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 segundo 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 (AMJ) 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 Sudeste, los cuales confluyen en la región tropical formando la ZCIT, que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra provoca las temporadas de lluvia en el país. De vez en cuando la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía provocando serios disturbios en la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá - Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad. La distribución típica de lluvias es caracterizada por dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas bien definidas siendo la temporada seca de inicio de año y la lluviosa de finales de año las más definidas y prolongadas (Hurtado, La precipitación en colombia). Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá desde el punto de vista horario y mensual se resumen 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.





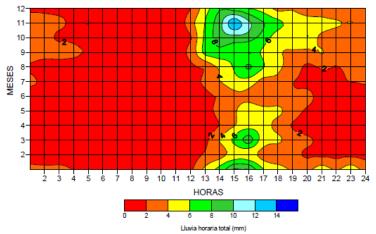


Figura 4-1. Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013)

En la ciudad de Bogotá se presentan dos regímenes de vientos, los generales y los vientos locales, los primeros son los de influencia sinóptica asociados a los alisios, los cuales toman direcciones Noreste y Sureste sobre la ciudad y la sabana. Estos vientos traen consigo lloviznas que remplazan las lluvias fuertes del periodo lluvioso y arrastran la contaminación producida en las zonas industriales de Soacha y Madrid hacia la ciudad. Los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones, predominan durante la segunda temporada de lluvias, y viajan hacia el Nororiente, Oriente y Occidente, con velocidades medias de 4 a 6 m/s. Los vientos con diferentes direcciones dan lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes ascendentes, que junto con el calentamiento diurno, apoyan la formación de nubes de amplio despliegue vertical favoreciendo las precipitaciones fuertes y la ocurrencia 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 semestre.

Tabla 4-1. Representatividad mensual (%) de la variable precipitación durante el primer semestre de 2014

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	PROM
Bolivia	100	100	33	37	0	0	45
Carvajal	71	93	100	85	100	100	92
Centro_de_Alto_Rendimiento	100	100	96	99	100	100	99
Fontibon	49	93	99	85	100	100	88
Guaymaral	100	100	100	100	100	95	99
Kennedy	93	100	100	99	100	27	87
Las_Ferias	98	100	100	99	98	100	99
MinAmbiente	100	100	99	100	100	100	100
Puente_Aranda	100	100	100	100	100	100	100
San_Cristobal	100	97	90	100	100	100	98
Suba	100	100	100	100	100	100	100
Tunal	95	100	100	97	100	100	99

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual del periodo 1998 – 2013, el promedio mensual de las estación de el aeropuerto ElDorado del IDEAM en el periodo 1980-2010 y el primer semestre de 2014. Se observa que durante los primeros tres meses la ciudad reportó un acumulado superior a las referencias, mientras que en el segundo trimestre las condiciones fueron moderadamente menores a lo esperado, particularmente en el mes de abril en donde la diferencia supero los 36 mm. Es importante resaltar que los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se presenta 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 segundo trimestre de 2014 se presentó un acumulado promedio de 182 mm, por debajo de los últimos años y similar a los datos de mediados de la década pasada (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 semestre; en ella se nota una diferencia de la estacionalidad de la lluvia con respecto a la climatología, en donde los valores más significativos se presentaron en el mes de febrero, en horas de la tarde. En la Figura 4-5 se aprecia el comportamiento en cada una de las estaciones de la red.





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

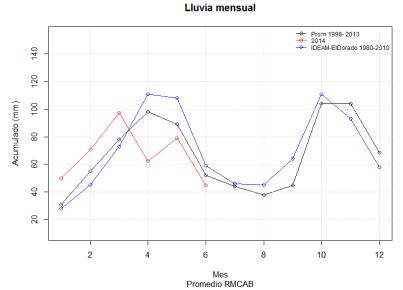


Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2013, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado en el primer semestre de 2014 por la RMCAB.

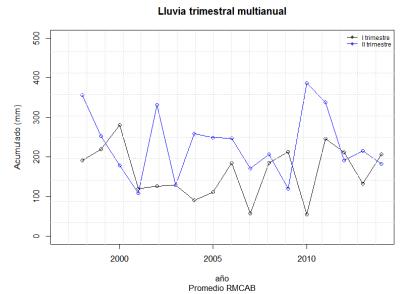


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación del II trimestre desde 1998 hasta 2014.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

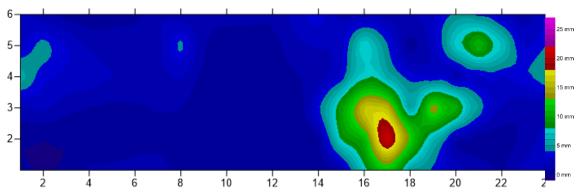


Figura 4-4. Acumulado de precipitación promedio en el primer semestre de 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

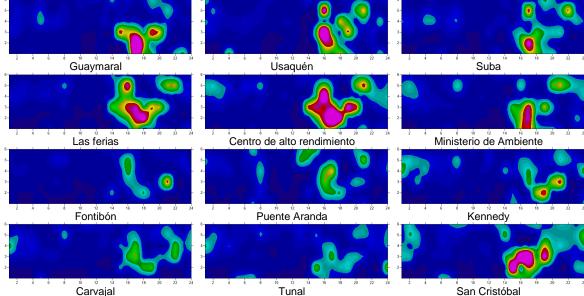


Figura 4-5. Precipitación promedio. Acumulado de las estaciones en el primer semestre de 2014 (el eje de las abscisas representa la hora mientras que el de las ordenadas presenta el mes).

Los datos presentados en la Tabla 4-2 representan los acumulados del año de cada estación de la red, hasta 2014.

Con respecto al número de días que llueve en Bogotá, la Figura 4-6 muestra que en el segundo trimestre el número de días con lluvia estuvo por debajo de lo esperado salvo en el mes de junio, donde los días fueron similares a los esperados. En el caso de lluvia por día, el acumulado promedio diario más cercano a lo esperado se presentó en el mes de mayo.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

Valores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Cade_Energia	140.2	110.2	353.3	154.7	144.9										
Carvajal	154.2	67.9	310.9	125	252		307.4	237.7	132.9	161.2	289.5	311.5	207.1	257.4	176.8
Cazuca	169.6	62.8	231.4	17	253.8		341.8	123.1	270.9						
Central_de_Mezclas	110.3	71.5													
Centro_de_Alto_Rendimi ento					234.6	270.7			245.4	164.2	592.3	466.8	231.9	307.1	249.2
Chico_lago	141.6	134.2	399.8		309		301.4	256.8		131.9	533.5				
Fontibon	153	137.6	292	102	303.2	219.2	92.4			86.7	210	104.6	34.2	128.2	87.2
Guaymaral	252.4		271					151.6	149.6	122.6	390.2	398.9	117.7	294.7	130.8
Kennedy							154.1		160.6	92	238.5	304.7		203.5	167.2
Las_Ferias	120.6	135.2	315.3	136.7	254.8	313.8	313.4			112.8	460.8	383.9	236.1	274.3	195.4
Mimbiente	176.6	129.7	385.2	133						139.7	491.7		173.8	293.9	175.3
Olaya	344.8	119.3													
Puente_Aranda		134.2	413.8	147.8		131.4	183.6	164.8	154.6		312.1	198.8	237.3	186.4	191.5
San_Cristobal												398.3	236.1	102.8	255.6
Suba	138.8	100.4			524			47.3		77.8	357.3	384.6	235.3	296.2	181.7
Tul									174.5	133.1	429.1	328.7	180.3	279.4	160.3
Univciol	151.9	106.1													
Usaquen	261.1	93	343.1	209.3	56.8	304.9	129.6	202.2	142.5	49.9	516.4	334.1	207.5	177.5	182
USME							276.5	174.4	290.5						
Vitelma							374.7	176.6	338.7	145.2	188	422			
Promedio II Trimestre	178.1	107.9	331.6	128.2	259.2	248	247.5	170.5	206	119.5	386.2	338.1	190.7	216	175.2

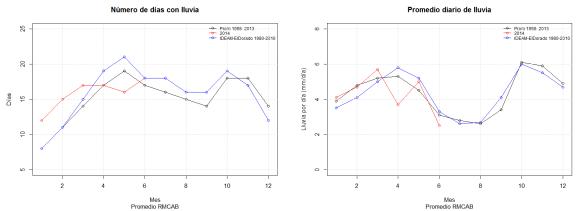


Figura 4-6. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el primer semestre de 2014.

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 II 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 occidental y norte, en las zonas de Kennedy, Bosa, Tunjuelito y parte de Usaquén y Suba. Por su parte, los mayores acumulados se encuentran en el costado oriental representado por la estación de San Cristóbal y en la zona de Teusaquillo y Barrios Unidos.



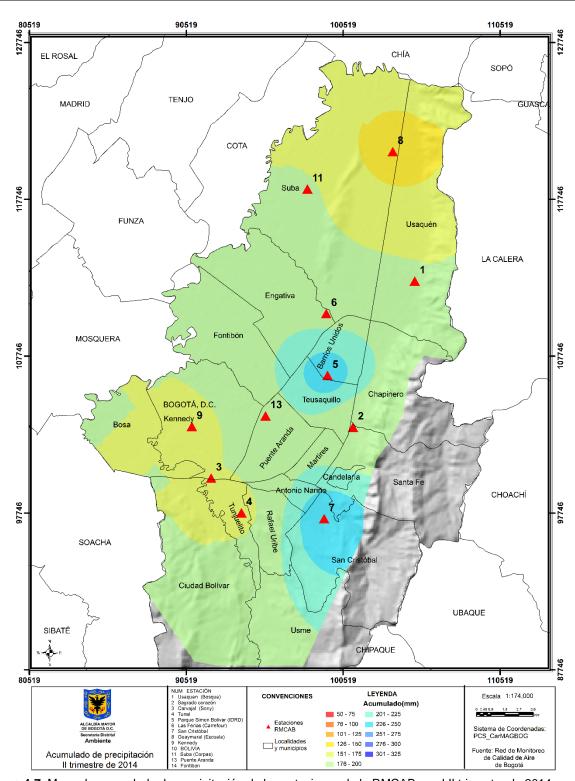


Figura 4-7. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el II trimestre de 2014.

En la Figura 4-8 se observan las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el II trimestre de 2014 y su similar en el periodo





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

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 una importante diferencia entre lo sucedido al norte de Suba y Usaquén, donde la anomalía resulta significativamente mayor durante el trimestre de 2014 alcanzando los 161 mm según lo observado en la estación de Guaymaral. La estación de San Cristóbal presentó una anomalía positiva de tan solo 10 mm.

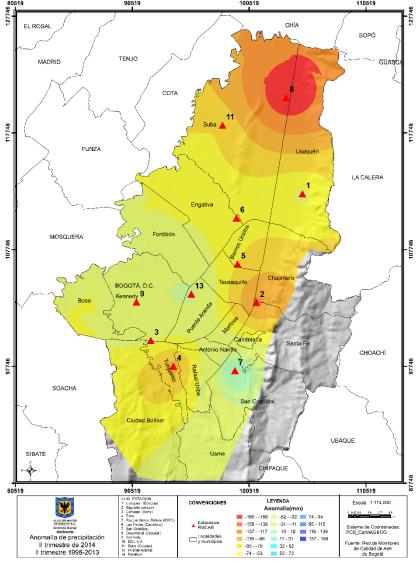


Figura 4-8. Anomalía de precipitación trimestral entre 1998 – 2013 y 2014 para las estaciones de la RMCAB.





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

4.2. **Vientos**

Durante el segundo 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. Fontibón y Kennedy registraron los mayores valores promedio seguido de Carvajal; en velocidades máximas se observó a Fontibón y Puente Aranda con promedios trimestrales de 5.7 y 4.8 m/s respectivamente. Por el contrario, Guaymaral y Tunal registraron promedios del viento de 1.0 m/s con valores máximos de 2.6 y 2.1 m/s respectivamente.

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

ESTACIÓN	Velo	cidad de	el vient	o (%)	Dire	cción de	l vient	o (%)
ESTACION	ABR	MAY.	JUN.	AMJ	ABR	MAY.	JUN.	AMJ
Bolivia	37	77	99	71	37	77	99	71
Carvajal	85	100	100	95	85	100	100	95
Centro_de_Alto_Rendimiento	99	100	100	100	99	100	100	100
Fontibón	85	100	100	95	85	100	100	95
Guaymaral	100	100	95	98	100	100	95	98
Kennedy	99	100	97	99	99	100	97	99
Las_Ferias	99	98	100	99	99	98	100	99
MinAmbiente	100	100	100	100	98	100	100	99
Puente_Aranda	100	96	90	95	100	96	90	95
San_Cristobal	100	99	100	100	99	100	100	100
Suba	100	100	100	100	100	100	100	100
Tunal	97	100	100	99	97	100	100	99
Usaquén	100	97	100	99	100	97	100	99

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

ESTACIÓN	Promo	edios de viento		ad del	Valores máximos de velocio del viento (m/s)			
	ABR	MAY.	JUN.	AMJ	ABR	MAY.	JUN.	AMJ
Carvajal	2.4	2.2	2.6	2.4	4	4.4	4.2	4.2
Centro_de_Alto_Rendimiento	1.4	1.4	1.6	1.4	3.2	3.1	3.1	3.1
Fontibón	2.9	2.6	3.2	2.9	5.5	5.7	5.7	5.7
Guaymaral	1	1	1.2	1	2.4	2.8	2.6	2.6
Kennedy	2.6	2.3	2.7	2.6	4.5	4.8	4.7	4.7
Las_Ferias	1.9	1.8	2.1	1.9	3.8	3.7	3.7	3.7
MinAmbiente	1.8	1.7	1.9	1.8	4.3	4.2	4.2	4.2
Puente_Aranda	2.1	1.8	2.3	2.1	4.6	5	4.8	4.8
San_Cristobal	1.9	1.8	1.5	1.9	3.5	3.2	3.5	3.5
Suba	2.1	1.8	2.2	2.1	3.6	4.3	3.9	3.9
Tunal	1	1	1	1	2.3	1.9	2.1	2.1
Usaquén	0.9	0.7	1.3	0.9	2.7	3.2	2.9	2.9





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

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 ambos casos los valores han estado ligeramente por encima de lo esperado salvo en el mes de enero en donde la velocidad máxima estuvo por debajo en cerca de 0.2m/s.

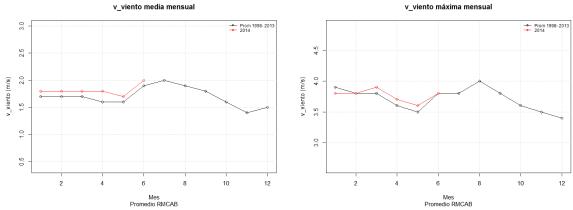


Figura 4-9. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la RMCAB.

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 - sur, particularmente en la zona central y sur de la ciudad. En algunas zonas del occidente y 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 Fontibón y Centro de alto rendimiento, mientras que Tunal presentó una frecuencia marcada de vientos 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 de la ciudad, los vientos tienden a estar en movimiento, a diferencia del noreste en donde más del 30% de los datos del trimestre se presentaron en calma.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

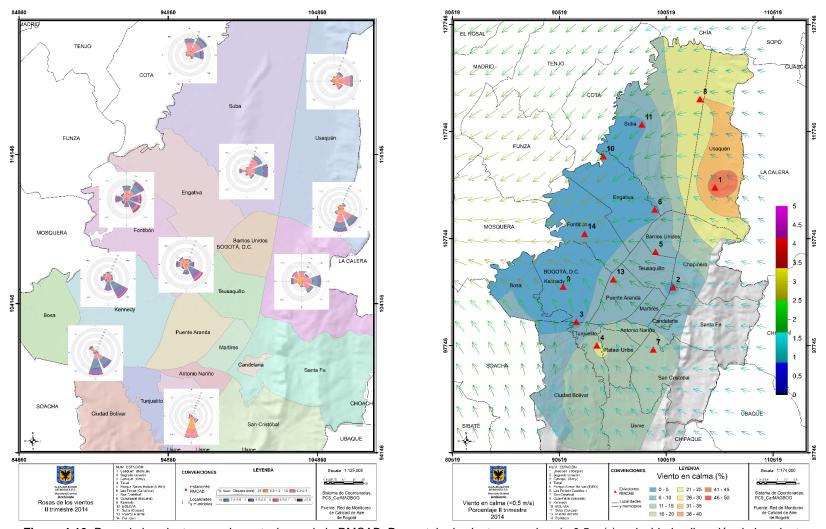


Figura 4-10. Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.





La Figura 4-11 presenta las condiciones de viento para cada estación discriminado por mes y por hora; tal como se ha mencionado, Fontibón presenta los mayores promedios particularmente en las tardes y a principios del año, condición que es característica según se observa en los diagramas de Puente Aranda, Kennedy 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 segundo 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 de la ciudad y sectores del sur. Predominan vientos del noreste y del este - sureste 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 a lo largo del occidente particularmente en la localidad de Fontibón y de Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 3.6 m/s. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 0.5 m/s en el Nororiente hasta los 3.6 m/s en el Occidente de la ciudad.

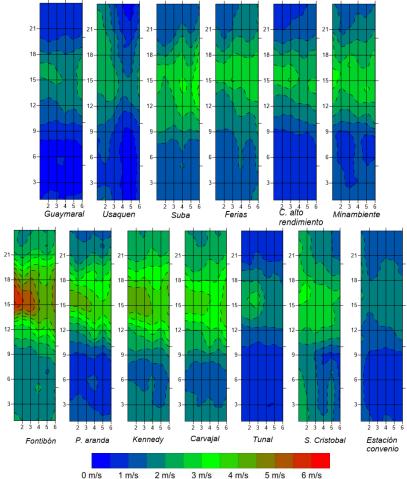
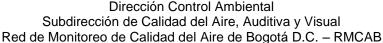


Figura 4-11. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el primer semestre de 2014 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).





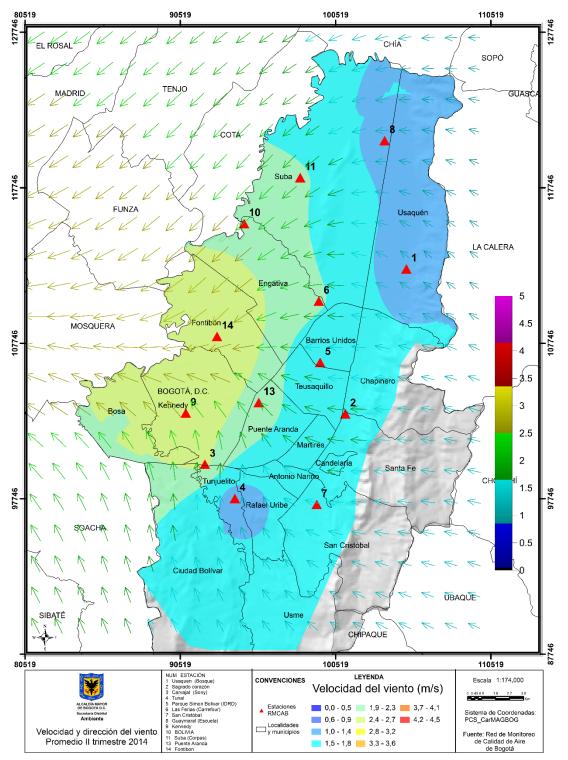


Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el segundo trimestre de 2014.



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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 año se caracterizó por valores moderadamente por encima de de los promedios (periodo 1998-2013) durante el primer semestre con amplia diferencia en el mes de abril. 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 ElDorado del IDEAM y su comparación con el promedio de temperatura en el semestre.

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

Estación	ABR	MAY	JUN	AMJ
Carvajal	85	100	100	95
Centro_de_Alto_Rendimiento	99	100	100	100
Fontibon	85	100	100	95
Guaymaral	100	100	95	98
Kennedy	99	100	97	99
Las_Ferias	99	98	100	99
Puente_Aranda	100	100	100	100
San_Cristobal	100	100	100	100
Suba	100	100	100	100
Tunal	97	100	100	99
Usaquén	100	97	100	99

Temperatura media mensual

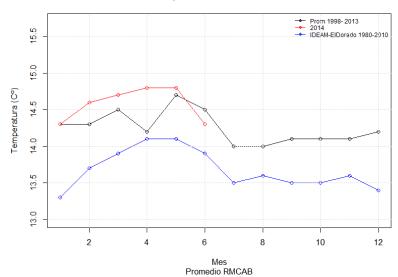


Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y el primer semestre de 2014.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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 2003 y 2005 mientras que el de menor temperatura fue en 1999.

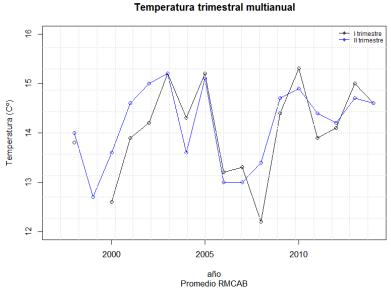


Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014.

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

Tabla 4-6. Promedios de temperatura media trimestral (segundo trimestre) 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							11.5	11.5	14.9	15.6	15.9	15.4	15.2	15.9	15.8
Cazuca							12		11.4						
Centro_de_Alto_Rendimiento									14.4	14.9	15.3	15	14.7	15.2	15.1
Fontibón	13.9	14.1	14.1	14.5	14	14.6	14	14.1	14.4	14.9	15	14.1	14	14.4	14.3
Guaymaral									14.1	14.5	15.3	14.8	14.4	15	14.8
Kennedy									12.9	15	15.2	14.8	14.6	15.2	15.2
Las_Ferias	16	16.2	16.2	16.3		15.6			13.6	14.1	14.6	14.1	13.9	14.4	14.4
Puente_Aranda		14.6	14.6	14.7	14.6	15.1	14.6	14.8	14.1	14.8	14.9	14.4	13.9	14.1	14.3
San_Cristobal											13.8	14.1	12.9	13.4	13.2
Suba	11	13.5			12.3			13.5	13.9	13.5	13.5		14.1	14.7	14.6
Tul										14.8		13.6	13.6	13.4	13.4
Usaquén									10.8	13.9	15.5	14.8	14.5	15.1	14.9
USME							13	12.3	14.5	·					
Vitelma								12	11.5		13.1	12.9			

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 semestre. La





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 10,6°C seguido de Suba con 10,5°C.

Tabla 4-7. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el segundo trimestre de 2014. Fuente RMCAB

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal	20.2	12.3	7.8
Centro_de_Alto_Rendimiento	20.9	10.5	10.4
Fontibon	18.4	11	7.4
Guaymaral	20.6	10	10.6
Kennedy	19	12.1	6.9
Las_Ferias	19.2	11	8.2
Puente_Aranda	18	11.3	6.7
San_Cristobal	17.3	10	7.3
Suba	20.6	10.1	10.5
Tunal	19.2	9.2	10
Usaquen	19.5	11.8	7.7

La Figura 4-15 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas de los últimos años y lo observado en el semestre. Salvo el mes de junio, en donde la temperatura máxima estuvo por debajo del promedio de la red, las temperaturas máximas y mínimas registradas superaron el comportamiento histórico de la red.

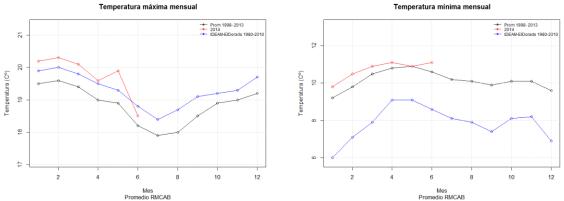


Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y el primer semestre de 2014.

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 los mayores promedios se encuentran en gran parte del occidente, particularmente en la localidad de Kennedy.



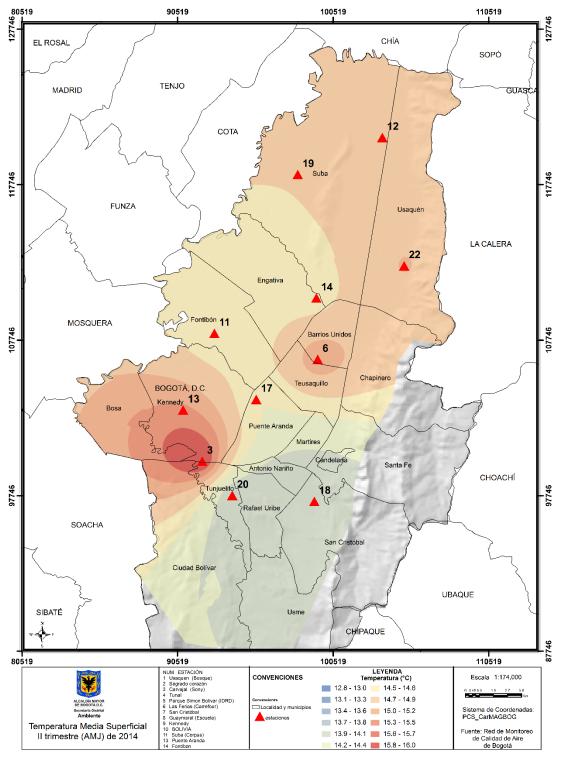


Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el segundo trimestre de 2014



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	ABR	MAY.	JUNE	AMJ
Guaymaral	99	100	99	99
Centro de alto rendimiento	100	100	100	100
Kennedy	100	100	100	100
Tunal	98	95	94	96
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 las estaciones con mayor acumulado fueron Guaymaral y San Cristóbal; en San Cristóbal se presentó los mayores valores hacia las 12 m, durante el mes de enero mientras que en Guaymaral los más significativos se presentaron en enero cerca de la una de la tarde; por su parte Kennedy presenta el menor registro con un acumulado no mayor a los 750 W/m² al medio día; en la estación de Centro de alto rendimiento se presentó un acumulado similar desde las 11 am hasta pasadas la 1 de la tarde.

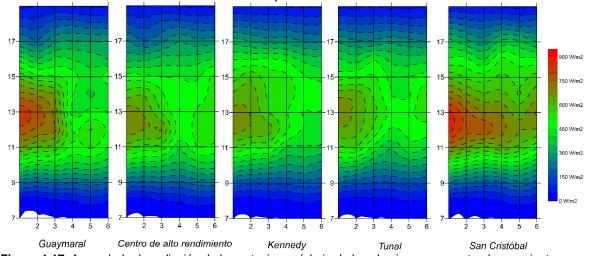


Figura 4-17. Acumulado de radiación de las estaciones (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora).

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





Radiacion trimestral multianual

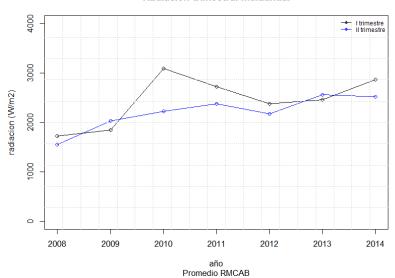


Figura 4-18. Radiación trimestral de los últimos años.

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 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	ABR	MAY	JUN	AMJ
Fontibon	85	100	100	95
Guaymaral	100	100	95	98
Kennedy	99	100	97	99
Las_Ferias	99	98	100	99

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 año la presión estuvo por encima durante el primer trimestre y por debajo del promedio histórico en el segundo trimestre. La Tabla 4-10 presenta los datos promedio trimestrales de presión por estación en los últimos años.





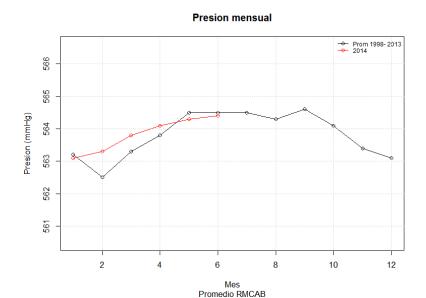


Figura 4-19. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

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

Estaciones	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Fontibon	NA	565.8	565.5	565.8	565.9	565.9
Guaymaral	564.5	564.7	564.1	564.1	564.4	564.2
Kennedy	564.3	564.6	564	563.9	564.1	563.9
Las_Ferias	565	565.2	564.6	564.7	564.9	564.7

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. La Figura 4-20 muestra que la humedad relativa en el año estuvo moderadamente por debajo del promedio 2002-2013, particularmente en el mes de abril.

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

Estación	ABR	MAY	JUN	AMJ
Centro.de.Alto.Rendimiento	99	100	100	100
Guaymaral	100	100	95	98
Kennedy	99	100	97	99
Las.Ferias	99	98	100	99
San.Cristobal	100	100	100	100
Tunal	97	100	100	99





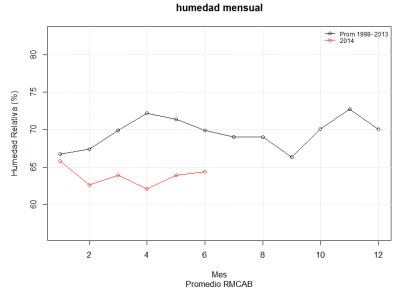


Figura 4-20. Humedad relativa mensual media del periodo 2002- 2013 y su comparación con los meses de 2014.





5. Meteorología y Calidad del Aire

5.1. Análisis de vientos vs. Material particulado

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM₁₀ y la variable velocidad y dirección del viento como explicación a los eventos observados durante el trimestre. Se ha utilizado la información disponible y suficiente de las estaciones de la RMCAB que coincidieron por estación en ambas variables y se han dividido los análisis en 4 grupos horarios, madrugada (1 a 6 horas), mañana (7 a 12 horas), tarde (13 a 18 horas) y noche (19 a 24 horas) con el objeto de agrupar y resumir comportamientos meteorológicos típicos de la ciudad (circulación valle - montaña, convección diurna etc.). La Figura 5-1, la Figura 5-2, la Figura 5-3 y la Figura 5-4 representan el promedio de la concentración de PM₁₀ con los vectores de viento (mapas del costado izquierdo) así como la interpolación del coeficiente de correlación de Pearson entre la velocidad del viento y el PM₁₀ nuevamente con los vectores de viento (mapas de la derecha). Examinando los resultados de los mapas, se observa que los índices de correlación aunque son significativos, presentan valores bajos en los cuatro grupos horarios. Esto, comparado con informes anteriores, muestra una relación menos evidente entre las dos variables; no obstante, se nota que en horas de la madrugada (Figura 5-1), cuando los vientos predominan del sureste y noreste y los cuales confluyen al occidente de la ciudad con valores no mayores a los 2,5 m/s (un amplio porcentaje de esta franja horaria presenta vientos en calma), se presentan concentraciones altas de PM₁₀, particularmente en la localidad de Kennedy en donde confluyen vientos del sureste y noreste. Al revisar la correlación en esta área, se presenta de modo inverso, a saber; a mayor velocidad del viento menor concentración de material particulado en zonas aledañas a Kennedy y casi indiferente en el resto de la ciudad. Durante las horas de la mañana, considerando el inicio de la actividad antropogénica, se presenta un aumento considerable en la concentración de material particulado que a su vez es fortalecido por las condiciones estables de la atmósfera producto del descenso de temperatura de la madrugada. La Figura 5-2 muestra que el occidente de la ciudad presenta valores significativos en PM₁₀. con vientos que, según el coeficiente de correlación de la zona y con velocidades que alcanzan 3.5 m/s provenientes del noreste y sureste, favorecen la dispersión del contaminante en amplias zonas de la ciudad. En el caso de la tarde, (Figura 5-3) se presenta una disminución de la concentración del contaminante asociada a varios factores como el aumento de la altura de la capa de mezcla, inestabilidad atmosférica por calentamiento diurno y aumento de la velocidad del viento. Así mismo, se observa que fue en este grupo horario en el que se presentaron los mayores acumulados de lluvia, lo que ratifica la inestabilidad en el área además del probable lavado atmosférico. No obstante, el viento participó en algunos casos con tendencia negativa según los registros de las estaciones como muestra el mapa de correlaciones, en donde el PM₁₀ aumentó cuando el viento elevaba su velocidad, manifestándose especialmente en la zona suroccidental de la capital, mientras que en la zona nororiental el tendió a favorecer la disminución de la concentración del material particulado. Los vientos alcanzaron velocidades de hasta 5m/s los cuales fueron predominantes del sur y del este – sureste. Por la noche según la Figura 5-4 las condiciones fueron similares a las de la madrugada en términos de la concentración del PM₁₀ y de la correlación con la velocidad del viento.





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

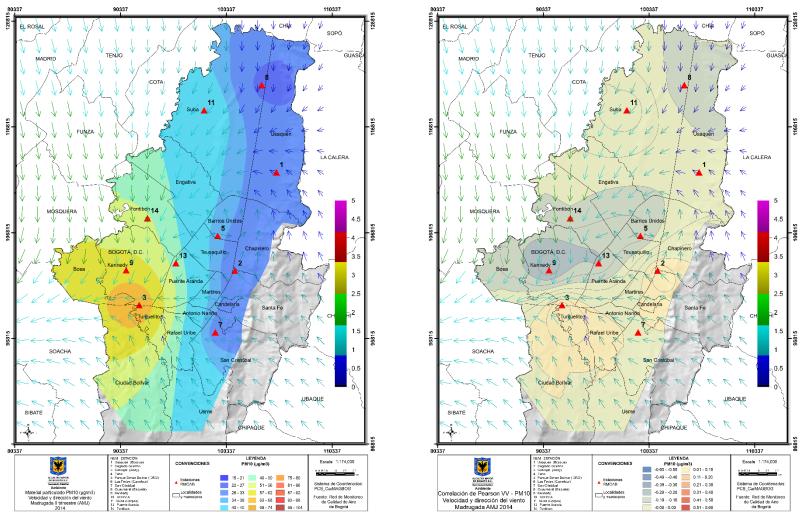


Figura 5-1. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del segundo trimestre de 2014.





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

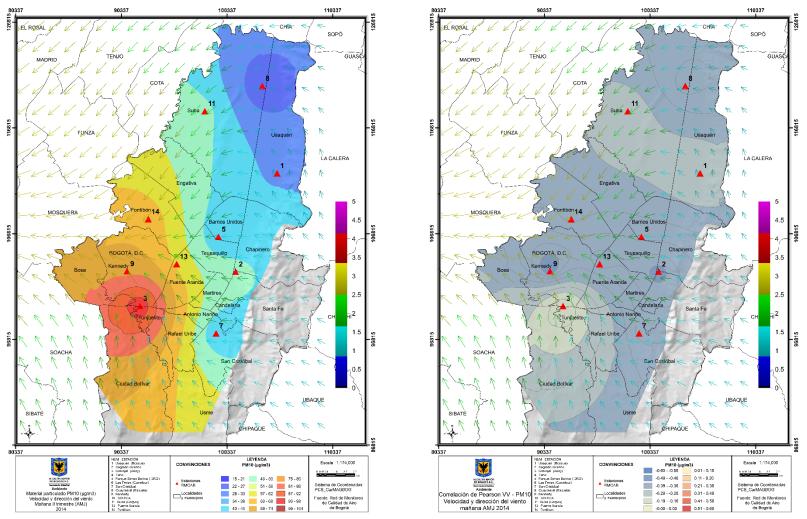


Figura 5-2. PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana del segundo trimestre de 2014.







Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

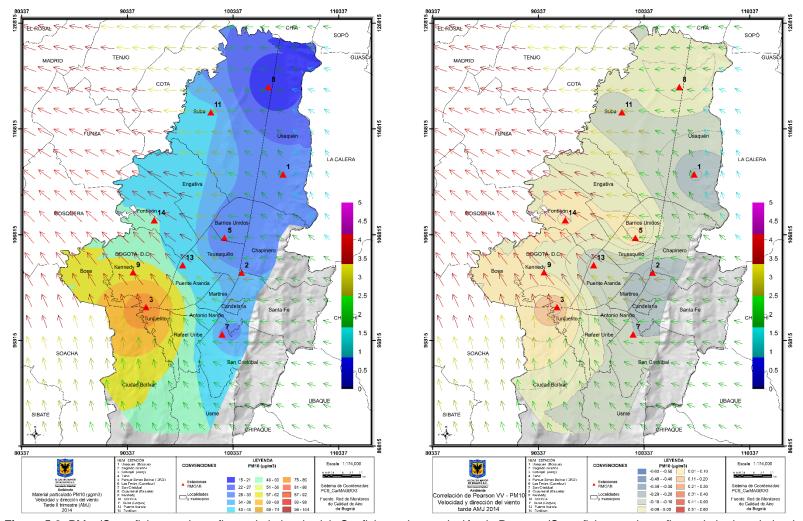
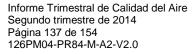


Figura 5-3. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde del segundo trimestre de 2014.







Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

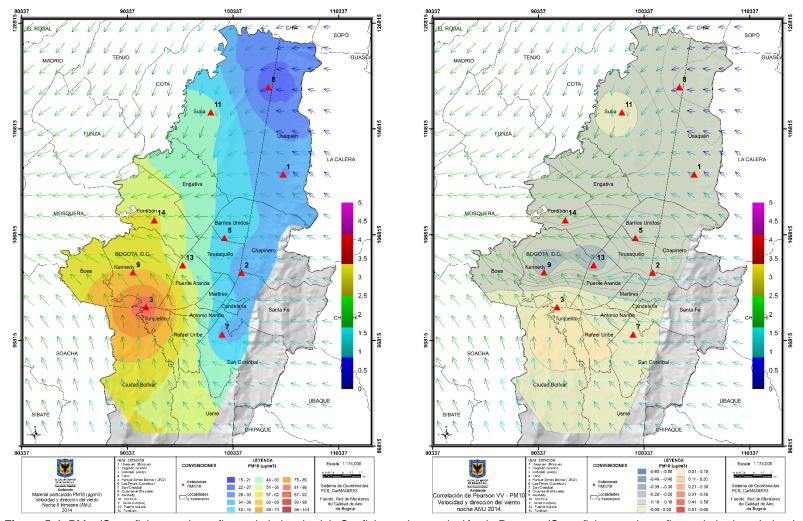
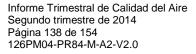


Figura 5-4. PM₁₀ (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche del segundo trimestre de 2014.







5.2. Estudio de caso: día de máxima concentración: 27 de junio de 2014

El 27 de junio de 2014 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado del segundo trimestre de 2014 y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 5-5 presenta el perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM del día, en el aeropuerto internacional ElDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 7.25. CAPE = 0.0) las condiciones eran muy estables por lo cual no se registró lluvia durante el día. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas en capas medias, la más significativa y con un moderado gradiente de temperatura cerca de los 600 mb la cual favoreció que se mantuviera la concentración de PM₁₀ durante algunas horas y no se iniciara el proceso de mezcla y dispersión. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM₁₀ en horas de la madrugada, como se observa en los mapas de la Figura 5-7, en donde fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Fontibón, sector cuyos vientos fueron predominantes del noreste, y en el sur de la ciudad donde los vientos presentaron direcciones variables. En la mañana se mantuvieron los valores elevados de concentración en las zonas antes descritas, con una particularidad que corresponde a las altas velocidades de los vientos en la zona occidental lo cual no es común en horas de la mañana (incluso en la madrugada se presentaron vientos de hasta 2.5 m/s) con direcciones del oeste y que pudieron favorecer el transporte de contaminantes desde los municipios de la sabana occidente. Por la tarde, la concentración tendió a disminuir aunque los vientos mantuvieron velocidades elevadas; no obstante a esta hora el proceso de convección y de dispersión es más significativo que en los grupos horarios anteriores. Finalmente en horas de la noche se observaron valores normales de PM₁₀ con velocidades de los vientos elevadas y direcciones predominantes del este en el norte y oriente de la ciudad, del oeste al occidente y del suroeste al sur.





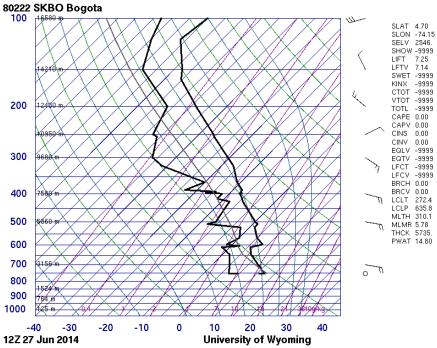


Figura 5-5. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 27 de junio de 2014, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.





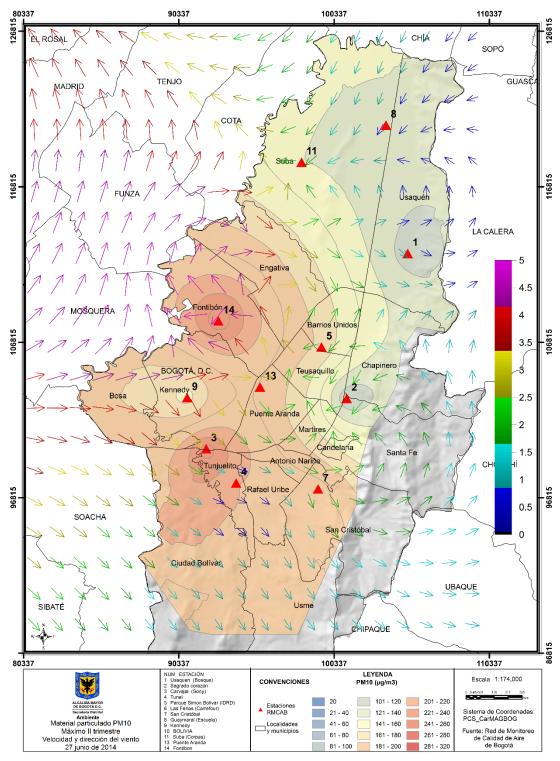


Figura 5-6 PM₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014.





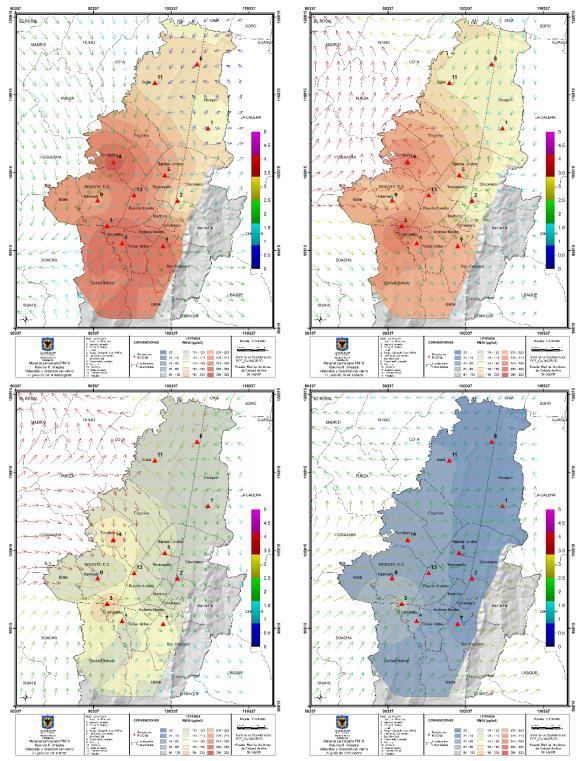


Figura 5-7. PM10 (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 27 de junio de 2014 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.





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

Bibliografía

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

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

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

Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.

Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.

IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2013). Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). episodes (1950-present). Historical Nino/ La Nina Obtenido 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.Rproject.org/

- SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. Bogotá.
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). Carbon Monoxide. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). Nitrogen Dioxide. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). Sulfur Dioxide. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI). Research Triangle Park, North Carolina.





U.S. Government Printing Office. (2014). Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 - Protection of Environment.





Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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

Contaminantes: son sustancias o elementos en estado sólido, liquido 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 (µg/m³) se aplicará la siguiente ecuación:

$$C\left[\frac{\mu g}{m^3}\right] = \frac{C[ppm] \times PM}{24.466} \times 10^3$$

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

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

C[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 m³/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.





Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

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_{prom geom}: Promedio geométrico de concentración

 $\begin{array}{ll} \sum_{i=1}^n log(C_i) \colon & \text{Suma de los } n \text{ logaritmos de los valores de concentración del contaminante } i. \\ \frac{\left[\sum_{i=1}^n log(C_i)\right]}{n} & \text{Suma de los } n \text{ logaritmos de los valores de concentración del contaminante } i. \end{array}$

10 n : 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, liquida o gaseosa.





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

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

Unidades: Las unidades más utilizadas son:

mg/m³: miligramos por metro cúbico. μg/m³: microgramos por metro cúbico.

ppm: partes por millón. ppb: partes por billón.

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



Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Anexos

A. Lectura de Gráficos de boxplot

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico boxplot.

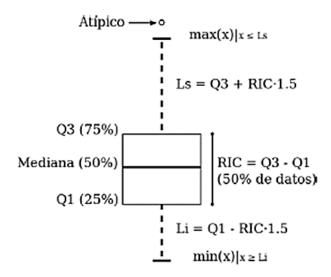


Figura 0-1. Gráfico de boxplot con una descripción de sus componentes.

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a Q1 - (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3-Q1). **Ls**, límite superior, corresponde a Q3 + (RIC x 1.5), donde RIC equivale al Rango Intercuartílico (Q3 - Q1). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección Control Ambiental

Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

B. Factores de conversión de unidades de concentración para gases

La siguiente tabla presenta los factores de conversión de unidades que deben ser aplicados a las concentraciones de los gases en partes por millón (ppm) y en partes por billón (ppb) para ser convertidos a mg/m³ y µg/m³, respectivamente:

Tabla 0-1. Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m³ y μg/m³) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.

Gas	Multiplicar por	Para convertir		
СО	1,1449	ppm a mg/m3		
SO ₂	2,6186	ppb a μg/m3		
NO ₂	1,8804	ppb a μg/m3		
O ₃	1,9620	ppb a μg/m3		

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

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

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]





C. Diagramas de caja con el ciclo diario de las concentraciones horarias de PST, PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_2 , CO y SO_2 .

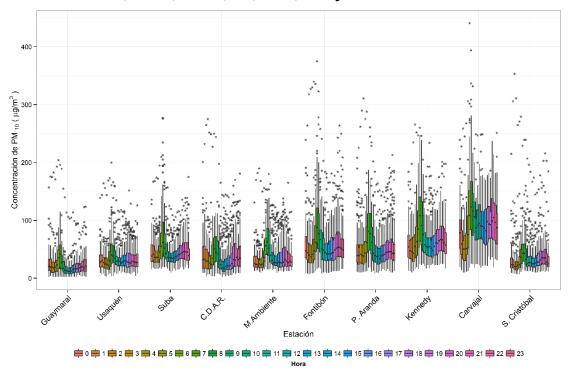


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM₁₀ por estación durante el segundo trimestre de 2014.

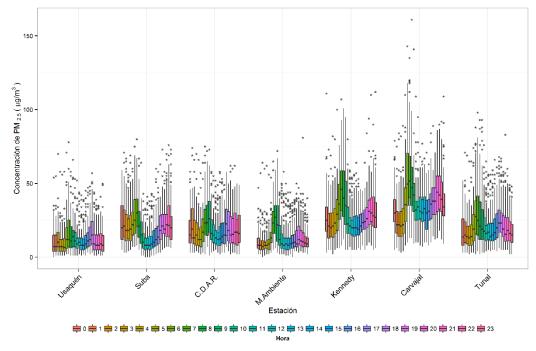


Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM_{2.5} por estación durante el segundo trimestre de 2014.



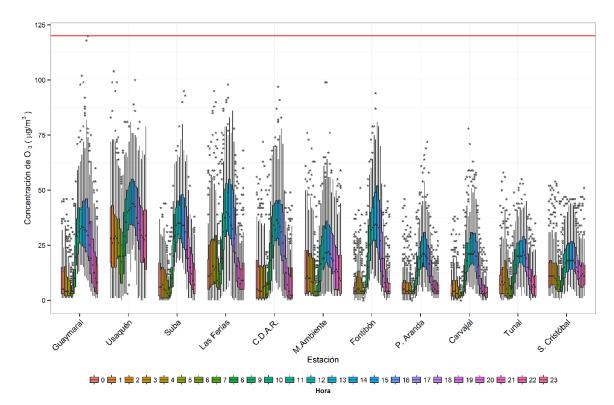


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O₃ por estación durante el segundo trimestre de 2014.

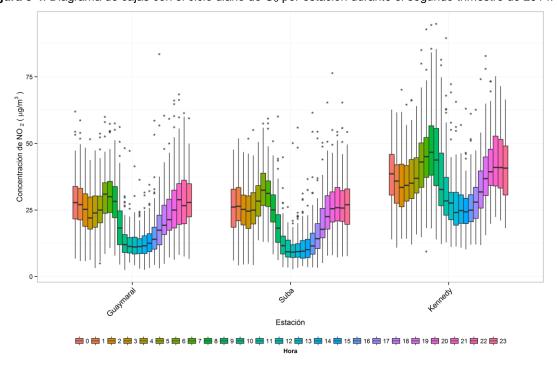


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO2 por estación durante el segundo trimestre de 2014.



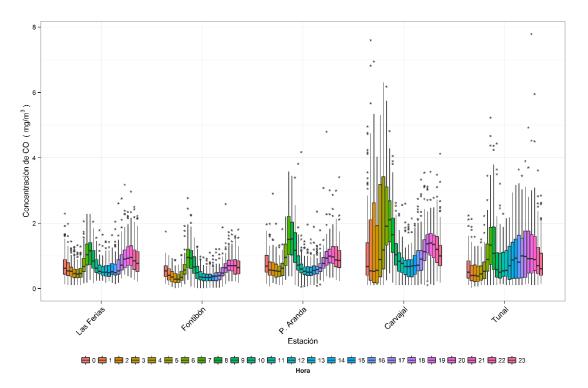


Figura 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el segundo trimestre de 2014.

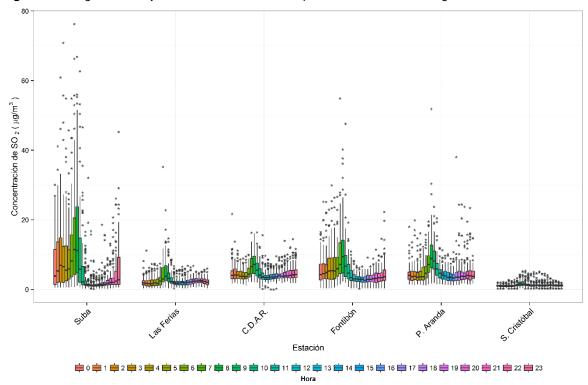


Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO₂ por estación durante el segundo trimestre de 2014.

