

I Informe trimestral de calidad del aire de Bogotá

Diciembre 2014 – enero 2015 – febrero 2015

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

Bogotá D.C. 2015

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





Gustavo Francisco Petro Urrego

Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Susana Muhamad

Secretaria Distrital de Ambiente

Ramón Eduardo Villamizar Maldonado

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

Darío Alejandro Gómez Flechas
Diana María Rodríguez Alaguna
Héctor Alejandro Beltrán
Henry Ospino Dávila
Luz Dary González González
Oscar Eduardo Arredondo Pescador
Grupo de Operación de la RMCAB

Secretaría Distrital de Ambiente – SDA –

© Julio de 2015, Bogotá - Colombia I Informe Trimestral de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2015.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia



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

Informe Trimestral
Diciembre 2014 – enero 2015 – febrero 2015



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

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

Tabla de Contenido

Contenido

Introducción	1/
1. Generalidades	
1.1. Normatividad vigente	
2. Indicadores de operación y desempeño	
,	
3. Evaluación y análisis de contaminantes	25
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀	
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM _{2.5}	
3.1.3. Relación de concentración PM _{2.5} /PM ₁₀	
3.2. Gases contaminantes	
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O ₃	
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO ₂	
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO ₂	
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO	
3.3. Índices de calidad del aire	
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM ₁₀	
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM _{2.5}	
3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O ₃), dióxido de azufre (SO ₂),	
de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO2)	
3.4. Síntesis de resultados	
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas	
4.1. Precipitación	112
4.2. Vientos	
4.3. Temperatura Superficial	124
4.4. Radiación solar	130
4.5. Presión Atmosférica	131
4.6. Humedad Relativa	
5. Meteorología y Calidad del Aire	133
6. Episodio de máxima concentración	
Bibliografía	141
Glosario	
Anexos	





Índice de figuras

Figura 1-1 . Distribución estaciones de la RMCAB en el trimestre DEF 2014 – 2015 16
Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro primer trimestre de 2015 21
Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación pl primer trimestre de 2015 22
Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro para el primer trimestre de 2015.24
Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación para el primer trimestre de 2015 24
Figura 3-1. Promedios trimestrales, número de excedencias y máximos de PM ₁₀ por
estación durante el periodo DEF 2014 - 2015. El nivel máximo permisible diario es 100
μg/m³ (Resolución 610 de 2010)
Figura 3-2. Material particulado (PM ₁₀) con base en la interpolación espacial por el método
Kriging de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año
2014
Figura 3-3. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la
estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se
resaltan los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m³
Figura 3-4. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la
estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración
Figura 3-5. Diagrama calendario para PM ₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la
estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración
Figura 3-6. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función de las
estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el periodo DEF 2014 – 2015 33
Figura 3-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM ₁₀ en función de las
estaciones de monitoreo y los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 34
Figura 3-8. Comportamiento de la concentración de PM ₁₀ en el ciclo semanal para 11
estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada
promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza
Figura 3-9 . Ciclo diario de PM ₁₀ para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una
cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de
95%
Figura 3-10 . Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM ₁₀ por estación de
monitoreo en los trimestres comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre
2010 y 2015
Figura 3-11. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de PM _{2.5} en base diaria para
el periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-12. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la
estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan las
6 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 μg/m³) en el periodo
Figura 3-13. Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la
estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la
concentración
Figura 3-14 . Diagrama calendario para PM _{2.5} durante el año 2014 en la estación San
Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración
Figura 3-15. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM _{2.5}
en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura
temporal superior a 75%44





Figura 3-16. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los meses del periodo DEF 2014 - 2015 y de las estaciones de monitoreo Figura 3-17. Comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en el ciclo semanal. Cada Figura 3-18. Ciclos diarios de las concentraciones de PM_{2.5} por estación en el periodo DEF Figura 3-19. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015.......47 Figura 3-20. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O₃ en base Figura 3-21. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de O₃ (80 µg/m³) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el periodo Figura 3-22. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las Figura 3-23. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de Figura 3-24. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de diciembre de 2014 y de enero y febrero de 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. 59 Figura 3-25. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. 60 Figura 3-26. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y Figura 3-27. Gráfico de boxplot de O₃ en función de las estaciones de monitoreo en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).......61 Figura 3-28. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO₂ por estación durante el periodo DEF 2014 - 2015.......63 Figura 3-29. Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO₂ en Figura 3-30. Diagrama calendario para NO2 durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite Figura 3-31. Diagrama calendario para NO2 durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la Figura 3-32. Diagrama calendario para NO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo Figura 3-33. 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





Figura 3-34. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015, y de las Figura 3-35. Ciclos semanales de las concentraciones de NO2 para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el periodo DEF 2014 -Figura 3-36. Ciclos diarios de las concentraciones de NO₂ para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Se indica el intervalo de Figura 3-37. Gráfico de boxplot para NO₂ por estaciones en base diaria para los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015, 71 Figura 3-38. Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO₂ en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015...... 73 Figura 3-39. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO₂ en base diaria por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.......74 Figura 3-40. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo Figura 3-41. Diagrama calendario para SO2 durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la Figura 3-42. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 μg/m³.......76 Figura 3-43. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días Figura 3-44. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO2 en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 por estación de monitoreo....... 77 Figura 3-45. Ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Se indica Figura 3-46. Ciclos diarios de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Se indica el intervalo Figura 3-47. Gráfico de boxplot para SO₂ en base diaria por estación de monitoreo en los Figura 3-48. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en Figura 3-49. Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.......84 Figura 3-50. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el periodo DEF 2014 -Figura 3-51. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 por estación de





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de 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 3-53. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo DEF 2014 – 2015
para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de
confianza de 95%
estación de monitoreo en el periodo comprendido por los meses de diciembre, enero y
febrero entre los años 2010 y 2015
Figura 3-55. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por
estación para el periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses del
periodo DEF 2014 – 2015
para el periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-58. Índice de Calidad del Aire promedio de PM ₁₀ para las estaciones de la RMCAB
para el periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-59. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para
PM _{2.5} por estación para el periodo DEF 2014 – 201595
Figura 3-60. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM _{2.5} en los
meses del periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-61 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM _{2.5} por día de la semana para el periodo DEF 2014 – 2015
Figura 3-62. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM _{2.5} en el periodo
DEF 2014 – 2015
Figura 3-63. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O ₃). Base de 8 horas 99
Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO ₂). Base diaria.
Figure 2 CF (adiag de Calidad del Aire proposadio para proprieda de carbona (CO). Decedo
Figura 3-65 . Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas
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 del
periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el
promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB
Figura 4-3 . Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta DEF 2015
Figura 4-4. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año 115
Figura 4-5. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año 116
Figura 4-6. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el
trimestre DEF. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá117
Figura 4-7. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de
monitoreo de la SDA
Figura 4-8 . Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA
Figura 4-9 Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado
de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que
el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM
Figura 4-10. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año (marzo 2014
- febrero 2015)





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de 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 4-11. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de
vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos
Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento
en Bogotá durante el trimestre DEF
Figura 4-13. Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo
1998- 2014, IDEAM ElDorado 1980-2010 y RMCAB 2014
Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo
1998- 2015
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 en 2014 126
Figura 4-16 Temperatura promedio horario de las estaciones en los meses marzo 2014 –
a febrero de 2015
Figura 4-17. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el
trimestre DEF
Figura 4-18. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones
de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015
Figura 4-19. Radiación trimestral de los últimos años
Figura 4-20. Radiación mensual de los últimos años
Figura 4-21. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la 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 trimestre DEF
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 del trimestre DEF
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 del trimestre DEF
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 del trimestre DEF
Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 18 de febrero
·
de 2015, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming.
Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h
Figura 6-2 (a) PM ₁₀ (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento
en Bogotá para el 18 de febrero de 2015. (b) Rosas de contaminación (PM ₁₀) de las estaciones de la RMCAB durante el día
Figura 6-3. PM10 (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento
en Bogotá para el 18 de febrero de 2015 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.
Figura 0-1 . Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes
Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM ₁₀ por estación durante el periodo
DEF 2014 – 2015
Figura 0-3. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM _{2.5} por estación durante el periodo
DEF 2014 – 2015
Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O ₃ por estación durante el periodo DEF
2014 – 2015
Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO2 por estación durante el periodo
DEF 2014 – 2015





Figura 0-6. Diagrama de cajas o	on el ciclo diario de	e SO ₂ por estación dura	nte el periodo
DEF 2014 – 2015			153
Figura 0-7. Diagrama de cajas o	con el ciclo diario de	e CO por estación dura	nte el periodo
DEF 2014 – 2015			153





Índice de tablas

del Aire de Bogotá y variables medidas en cada una de estas en el trimestre DEF 2014 -
2015
Tabla 1-2. Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de
referencia asociados de la EPA (<i>Environmental Protection Agency</i>)
2010
Tabla 2-1 . Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro 22
Tabla 2-2. Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro 25
Tabla 3-1. Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de
los datos diarios de PM ₁₀ durante DEF 2014 – 2015
Tabla 3-2. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM ₁₀ (100 ya/m ³) por estación y por mos para el periodo DEE 2014 2015
μg/m³) por estación y por mes para el periodo DEF 2014 – 2015
diciembre – enero – febrero entre los años 2010 y 2015
Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM _{2.5} para el periodo DEF 2014 – 2015. Base de
tiempo diaria
Tabla 3-5. Excedencias de la norma diaria de PM _{2.5} (50 μg/m³) por estación y por mes para
el año 2014
diciembre – enero – febrero entre los años 2010 y 2015. Solamente se considera la estación
Kennedy entre 2010 y 2013
Tabla 3-7. Relación de concentraciones entre PM _{2.5} y PM ₁₀ para las estaciones de la
RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo DEF 2014 - 2015 y que
tienen cobertura temporal superior a 75%
Tabla 3-8. Resumen descriptivo de los datos horarios de O₃ por estación para el periodo DEF 2014 − 2015
Tabla 3-9. Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y
respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O ₃ en base 8 horas
durante el periodo DEF 2014 – 2015 54
Tabla 3-10 . Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O ₃
(80 μg/m³) por estación y por mes para el año 2014
Tabla 3-11 . Resumen histórico de las concentraciones máximas de O ₃ en promedios móviles de 8 horas en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y
febrero entre los años 2010 y 2015
Tabla 3-12 . Resumen de datos horarios de NO ₂ por estación para el periodo DEF 2014 –
2015
Tabla 3-13. Resumen de datos diarios de NO2 por estación para el periodo DEF 2014 -
2015
Tabla 3-14. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO ₂ en base diaria
en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 201571
Tabla 3-15 . Resumen de datos de SO ₂ en base de 3 horas por estación para el periodo
DEF 2014 – 2015
Tabla 3-16. Resumen de los datos diarios de SO ₂ por estación para el periodo DEF 2014 -
2015





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de 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 3-17. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO ₂ en los periodo comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. 8 Tabla 3-18. Resumen de datos horarios de CO por estación para el periodo DEF 2014 2015. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con lo límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010
Tabla 3-21 . Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territoria 2010)
Tabla 3-22. Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2, micrómetros (PM _{2.5}), diciembre – enero – febrero 2014 – 2015
Tabla 3-24 . Consolidado de los promedios horarios de O ₃ , diciembre – enero – febrero 201 – 2015
Tabla 3-25 . Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O ₃ , diciembre – enero febrero 2014 – 2015
2014 – 2015
Tabla 3-28 . Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO_2 , diciembre — enero febrero $2014-2015$
2015
2014 – 2015
Tabla 4-1 . Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durant el trimestre DEF
estación
Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en lo trimestres DEF desde 2000 hasta 2015
Tabla 4-5 . Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en lo trimestres DEF de 2000 a 2015
en el año y su amplitud térmica
Tabla 4-9. 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 correspondien	tes a 25°C
y 760 mm Hg	149





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 de Bogotá. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central donde se someten a un proceso de validación final con el fin de analizar tendencias espaciales y temporales, y 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 trimestre comprendido por los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015¹ (DEF 2014 – 2015), la RMCAB estaba conformada por 12 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, PM₂.5), 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 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 trimestre DEF 2014 – 2015. 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 de meteorología y calidad de aire que contiene el análisis de vientos vs. material particulado y el estudio de caso del día de máxima concentración.

En la parte final del tercer capítulo el lector encontrará los resultados de los análisis de las mediciones de concentraciones de contaminantes criterio para el periodo DEF 2014 – 2015, que corresponde a una síntesis por medio de tablas que permiten visualizar en términos cuantitativos el comportamiento de cada contaminante en sectores específicos de la ciudad.

¹ En las siguientes secciones de este documento, el trimestre comprendido por los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 será referido frecuentemente como DEF 2014 – 2015.







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 doce estaciones automáticas y una estación móvil, las cuales detectan en forma continua la concentración de contaminantes criterio y variables meteorológicas en la ciudad y envían los datos a una central donde la información es sometida a procesos de evaluación de calidad. Posteriormente, se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de la información capturada así como la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes y la identificación 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 con respecto a los contaminantes y a las 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 de la zona de influencia de las estaciones cubren un amplio rango de características las cuales requieren su consideración para los análisis de calidad del aire. A fin de ilustrar de mejor forma el sitio en donde se encuentran ubicadas las estaciones, en la interpretación de los análisis de este informe es importante destacar tres cambios de nombres en: Parque Simón Bolívar que ahora es Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón que ahora es Ministerio de Ambiente o MinAmbiente y Carvajal que ahora es Carvajal – Sevillana,. Las coordenadas geográficas no fueron modificadas con respecto a información de documentos previos.

En el presente informe no se considera la Estación Móvil porque está evaluando la calidad del aire en corredores viales bajo el Convenio 26 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"²



² También es posible acceder directamente mediante la dirección http://201.245.192.252:81



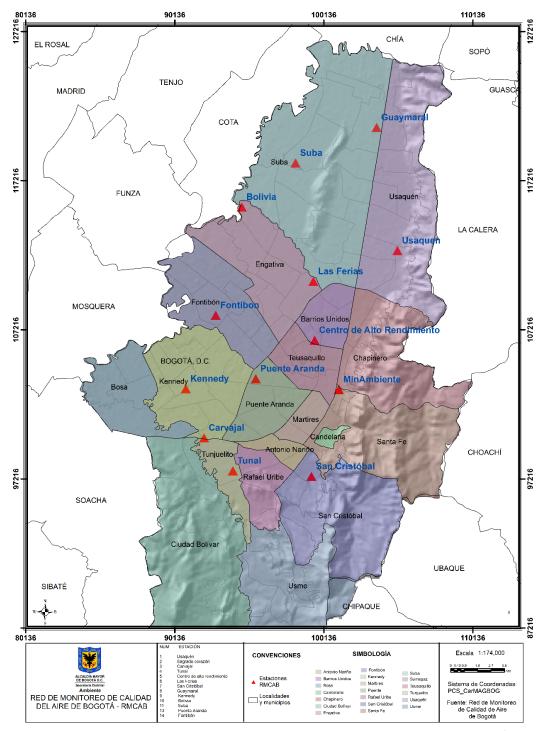


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el trimestre DEF 2014 – 2015³.

³ Parque Simón Bolívar (IDRD) será referida como Centro de Alto Rendimiento, Sagrado Corazón como Min. Ambiente o Ministerio de Ambiente y Carvajal como Carvajal – Sevillana.





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 estas en el trimestre DEF 2014 - 2015.

(Característica	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	C. de Alto Rendimiento	Min. Ambiente	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal- Sevillana	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°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°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	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	10 m	3 m	3 m	0 m	0 m	
	Localidad	Suba	Usaquén	Suba	Engativá	Engativá	Barrios Unidos	Santa Fe	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	Calle 10 # 65-28	Carrera 80 # 40-55 sur	Autopista Sur # 63-40	Carrera 24 # 49-86 sur	Carrera 2 Este # 12-78 sur	
3	Tipo de zona	Suburbana	Urbana	Suburbana	Suburbana	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	De fondo	Tráfico Industrial	De fondo	De fondo	
	Localización toma muestra	Zona Verde	Azotea	Azotea	Zona Verde	Zona Verde	Zona Verde	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	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	20 m	10 m	13 m	10 m	10 m	
	PST										X			
es	PM ₁₀	X	Х	Х		Х	X	Х	Х	Х	X	Х	Х	Х
- 12	PM _{2.5}	Х	Х	Х		X	Х	Х		Х	Х	Х	Х	X
mir	O ₃	Х	Х	Х		X	Х	Х	Х		Х	Х	Х	X
onta	NO ₂	Х		Х		X	X		Х	Х	Х	Х		
ၓ	co		Х				Х		Х	Х	Х	Х	Х	X
	SO ₂			Х		Х	Х		Х	Х		Х	Х	
2	V. Viento	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
gica	D. Viento	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X	Х	Х	Х	Х	Х	X
Meteorológicas	Temperatura	Х	Х	Х		Х	Х		Х	Х	Х	Х	Х	X
eor	Precipitación	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Х	X
Met	R. Solar	Х					Х			Х		Х	Х	X
Var.	H. Relativa	Х				Х	X			X		Х	X	X
>	Presión Atm.	Х				Х				Х				X

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





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
О3	Espectrofotometría de Absorción en el Ultravioleta	EQOA-0992-087
NO ₂	Quimioluminiscencia	RFNA-1289-074
СО	Espectrofotometría de Absorción en el Infrarrojo	RFCA-0992-088
SO ₂	Fluorescencia Pulsante en el Ultravioleta	EQSA-0495-100

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

1.1. Normatividad vigente.

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





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

Contaminante	Nivel máximo permisible (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.
,0	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM2.5	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	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.
0	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
O₃	120	1 hora	Concentración promedio horaria
60	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
CO	40000	1 hora	Concentración promedio horaria





2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la RMCAB para el primer trimestre de 2015. En la primera parte se hará mención a la operación de la RMCAB en cuanto a los datos capturados, que son aquellos obtenidos de forma horaria por la RMCAB de acuerdo al número de monitores instalados. En la segunda parte se presentan los datos horarios válidos a partir de la información anterior.

2.1. Porcentaje de captura de datos

Las Figura 2-1 y Figura 2-12 se presentan los porcentajes de captura de datos por parámetro y por estación para el primer trimestre meteorológico de 2015⁴ respectivamente. Se observa para ambas Figuras que los 17 parámetros monitoreados cumplen representatividad temporal superior al 85%. Para el periodo evaluado no se presentaron inconvenientes por suministro de energía para ninguna de las estaciones que es el factor que más afecta la captura masiva de datos. Se puede observar en la Figura 2-1 muestra que en general los parámetros meteorológicos presentan un mayor porcentaje de captura de datos que los analizadores de contaminantes, lo cual obedece a que su funcionamiento no requiere de múltiples componentes internos y por lo tanto su operación es más simple y no requiere mayores intervenciones. Los analizadores de contaminantes requieren frecuente mantenimiento, cambio de repuesto, verificación, calibración y cambio de componentes para un desempeño óptimo, lo cual los hace más susceptible a perdida de datos que los sensores meteorológicos.

Algunos de los parámetros monitoreados no se miden en todas las estaciones de la RMCAB, por lo cual para conocer en mayor detalle el número de monitores por estación y su desempeño específico se presenta el consolidado en la Tabla 2-1.

Es importante aclarar que la estación de Fontibón continúa fuera de servicio desde 01 de julio de 2014 por inconvenientes logísticos de reubicación de la estación y por lo tanto, los analizadores de contaminantes fueron reubicados temporalmente en las estaciones de Kennedy y Unidad Móvil para mantenerlos en mantenimiento activo.

Los sensores de radiación directa y radiación difusa de la estación Centro de Alto Rendimiento se encuentran fuera de servicio de forma permanente.

De los equipos en funcionamiento solo dos parámetros presentaron una captura de datos inferior al 90%, estos corresponden a monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO $_2$). Para el caso de CO, la estación de las ferias presentó falla en la fuente de infrarrojo y no hubo captura de datos durante el periodo. En cuanto a SO $_2$, el equipo de la estación de Carvajal tuvo daño de tarjeta CPU.

⁴ 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.



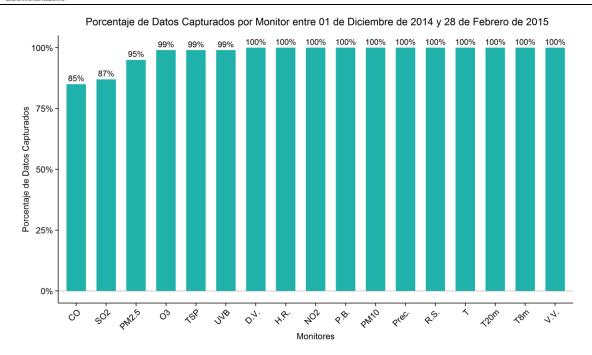
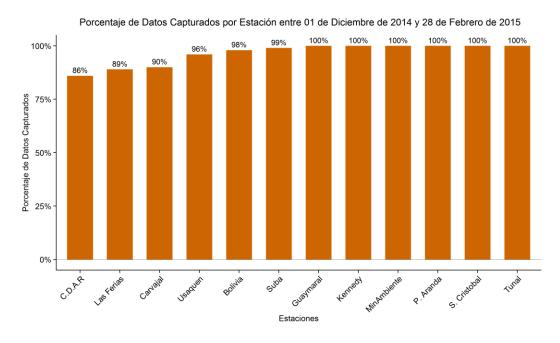


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos por parámetro para el primer trimestre de 2015.

En la Figura 2-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por estación. La estación de Fontibón no se incluyó por cuanto continúa fuera de servicio desde 01 de julio de 2014 por inconvenientes logísticos de reubicación de la estación y se encuentra apagada.

En la estación de Las Ferias se presenta una captura inferior al 90% debido al analizador de monóxido de carbono que estuvo fuera de servicio durante el periodo.







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

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

Figura 2-2. Porcentaje de captura de datos por estación para el primer trimestre de 2015.

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	T _{8m}	T _{20m}	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98%	-	-	-	-	-	-	98%	98%	98%
C.D.A.R	-	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	•	-	99%	99%	99%	0%	0%	99%	-	99%	99%	86%
Carvajal	99%	99%	99%	99%	99%	99%	0%	99%	-	•	99%	-	•	-	1	-	-	99%	99%	90%
Guaymaral	-	100%	100%	100%	100%	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	ı	1	-	100%	100%	100%	100%
Kennedy	-	100%	100%	•	100%	97%	97%	100%	•	•	100%	100%	100%	ı	1	-	100%	100%	100%	100%
Las Ferias	-	100%	65%	100%	100%	0%	100%	100%	1	1	100%	100%	1	1	ı	-	100%	100%	100%	89%
M.Ambiente	-	100%	100%	100%						-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	100%
P. Aranda	-	99%	,	97%	100%	100%	100%	100%		-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	100%
S. Cristobal	-	100%	100%	100%	•	100%	100%	100%	1	1	100%	100%	100%	1	ı	-	ı	100%	100%	100%
Suba	-	99%	98%	99%	99%	•	99%	99%	1	1	99%	1	1	1	ı	-	ı	99%	99%	99%
Tunal	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%
Usaquen	-	100%	86%	100%	-	86%		100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	96%
Fontibón	-	Ta	-	T⁵	•	T⁵	Τb	0%	•	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Total	99%	100%	95%	99%	100%	85%	87%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	99%	100%	100%	100%	89%

^a Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. ^b Equipo trasladado a Kennedy.

2.2. Porcentaje de datos válidos.

Los datos capturados por los diferentes analizadores de la RMCAB son sometidos a un proceso de validación de 3 etapas. Las 2 primeras etapas comprenden validaciones automáticas, en estación de monitoreo y en estación central respectivamente. En la tercera etapa se realiza la inspección manual final de la totalidad de los datos. El procedimiento de validación de la SDA está basado en la "Guía Práctica para la Validación de Datos en los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire - SVCA existentes en Colombia - GPVD" del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM de 2011.

Se ha evidenciado que cuando se presenta una pérdida de datos en la RMCAB por parte de un monitor superior al 10% se debe principalmente a alguna de las tres situaciones siguientes: 1) fallas no obvias en equipos que normalmente requieren intervención mayor 2) falla en suministro de energía o 3) daño en aire acondicionado de la estación de monitoreo.

Las disminuciones de datos válidos para monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂) se encuentran asociados a los daños descritos en la sección de captura de datos en los analizadores de Las Ferias y Carvajal respectivamente.

El sensor de velocidad del viento presentó una disminución de datos capturados a datos válidos del 16%. Esto se debe a daño del sensor de la estación de Bolivia y a disminución repentina del orden de magnitud de las mediciones en la estación de San Cristóbal posterior a cambio de rodamientos del sensor.





La disminución de datos de Ozono (O₃) se debió a alteración del perfil y orden de magnitud de los registros de la estación de MinAmbiente y se realizó invalidación del 95% de los datos para la estación. Este cambio se presentó debido a que le ingresó agua al interior del equipo y afectó su funcionamiento.

En total para este primer trimestre meteorológico se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente al 79%. 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)⁵.

La Figura 2-3 presenta el porcentaje de datos válidos por parámetro, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-1 con el propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. Para el periodo se obtuvo un promedio de invalidación de datos por parámetro de 6% sin tener en cuenta a Bolivia, en donde se invalidó un 61% de los datos. El caso de Bolivia es particular por cuanto es la única estación fija que no posee servicio de internet y los datos no son capturados hora a hora como en el resto de las estaciones. La falta de seguimiento continuo a la descarga de los datos de esta estación disminuye dramáticamente la detección temprana de fallas en los sensores.

En el caso de partículas suspendidas totales (TSP) se alcanza un porcentaje de disminución del 61%, debido a problemas recurrentes de ajustes en el contacto de boquilla con cinta de muestreo, perdida de muestra, y afectación del valor de los datos por falla en la bomba de succión del equipo.

La Figura 2-4 presenta el porcentaje de datos válidos por estación, el cual es necesario compararlo con los porcentajes de captura de datos por estación de la Figura 2-2 con el propósito de determinar la disminución de datos como resultado de la validación. Para el periodo se obtuvo un promedio de invalidación de datos por estación de 7%. Las estaciones con mayor pérdida de datos fueron Bolivia, Carvajal y MinAmbiente cuyos cambios porcentuales de datos capturados versus datos válidos fue del 72%, 16% y 16% respectivamente. Para la estación de Bolivia, el cambio se debió a falla en el canal del convertidor de velocidad del viento. En el caso de Carvajal el cambio se debió al analizador de dióxido de azufre (SO₂) y TSP, y para MinAmbiente se debió a falla en analizador de ozono por las causas ya comentadas en la sección anterior.

⁵ El porcentaje de representatividad temporal se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo multiplicado por cien. Este indicador muestra la cantidad de tiempo del periodo reportado que ha sido cubierto por el monitoreo. Se define como aceptable un 75%.







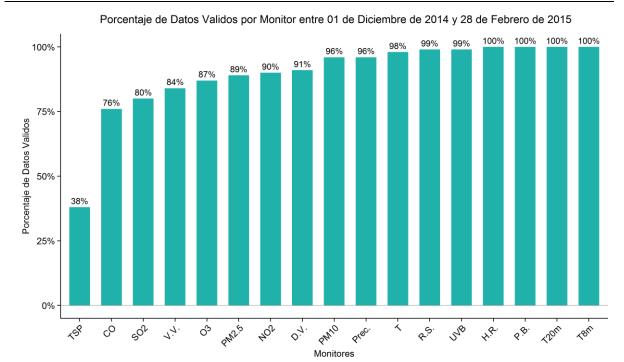


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro para el primer trimestre de 2015.

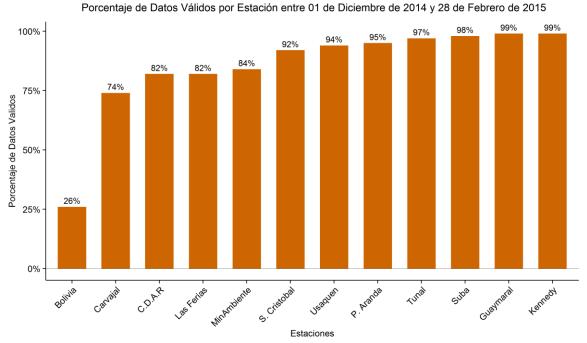


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación para el primer trimestre de 2015.





parámetro

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

La Tabla 2-2 corresponde a un resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por

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

				P 0.0		<u>,</u>						7 1 -								
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	8	SO ₂	Т	T _{8m}	T _{20m}	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	•		-	-	1	-	-	-	1	-	65%	-	-	-	-	-	-	0%	14%	26%
C.D.A.R		95%	91%	98%	92%	73%	98%	99%	-	-	99%	99%	94%	0%	0%	99%	-	99%	99%	82%
Carvajal	38%	95%	98%	86%	64%	87%	0%	87%	-	-	87%	-	-	-	-	-	-	87%	87%	74%
Guaymaral	-	96%	97%	99%	97%	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	99%	-	-	-	100%	100%	100%	99%
Kennedy	-	100%	99%	-	99%	89%	96%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	100%	100%	100%	99%
Las Ferias	-	93%	30%	96%	86%	0%	80%	100%	-	-	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%	82%
M.mbiente	•	100%	99%	5%	,	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	84%
P. Aranda	-	95%	-	95%	90%	99%	92%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	92%	92%	95%
S. Cristobal	-	96%	98%	99%	•	99%	84%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	31%	100%	92%
Suba		92%	96%	99%	98%	-	98%	99%	-	-	99%	-	-	-	-	-	-	99%	99%	98%
Tunal	-	99%	96%	97%	97%	89%	91%	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	97%
Usaquen	-	100%	84%	95%	•	76%	-	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	94%
Fontibón	-	Ta	-	Тb	-	Тb	T⁵	0%	-	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Total	38%	96%	89%	87%	90%	76%	80%	98%	100%	100%	96%	100%	99%	0%	0%	99%	100%	84%	91%	79%

^a Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. ^b Equipo trasladado a estación Kennedy.

3. Evaluación y análisis de contaminantes

El presente capítulo se divide en cuatro secciones: la primera contiene el análisis de las tendencias de las concentraciones de material particulado que incluye el PST, PM₁₀ y el PM_{2.5}; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O₃, NO₂, SO₂ y CO; la tercera contiene el comportamiento del índice de calidad del aire (ICA) y la cuarta presenta un resumen cuantitativo para cada contaminante en los tiempos de exposición definidos en la Resolución 610 de 2010. Para esto, la RMCAB durante el trimestre DEF 2014 – 2015 contó con 13 estaciones (incluyendo la estación móvil) que monitorearon las concentraciones de material particulado y de gases contaminantes (presentados 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 la quema de combustibles fósiles en la industria y en 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). 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 PM₁₀ como lo muestra la Tabla 1-3.





3.1.1. Comportamiento de la concentración de PM₁₀.

La RMCAB contó en el periodo de diciembre de 2014 a febrero de 2015 con 11 equipos de medición de PM₁₀, los cuales se describen en la Tabla 1-1 y se encuentran distribuidos según la Figura 1-1.

Comportamiento de las concentraciones diarias de PM₁₀ (24 h)

El comportamiento de las concentraciones diarias 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, promedios trimestrales y número de excedencias se presentan en la Figura 3-1. La Tabla 3-1 resume los datos diarios de PM₁₀ para cada una de las estaciones de la RMCAB. En los 11 sitios de medición analizados se presentó una cobertura temporal superior a 75% y, por tanto, para todos es posible el cálculo de promedios trimestrales representativos. Los mayores promedios fueron observados en Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda, en el suroccidente de la ciudad, cuyas respectivas zonas de influencia se encuentran afectadas por alta actividad de fuentes de emisión móviles (especialmente vehículos de carga pesada), fuentes industriales y resuspensión de material particulado. En contraste, los menores promedios se observaron en las estaciones Usaquén, Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento, las cuales se localizan en la zona norte y central de la ciudad.

Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario es 100 $\mu g/m^3$, se observó un total de 65 excedencias las cuales se distribuyeron en Puente Aranda (9), Kennedy (16), Carvajal – Sevillana (31) y Tunal (9) las cuales se localizan en las zona sur y suroccidental de la ciudad. Este comportamiento es consistente con los promedios trimestrales, donde las estaciones con mayores magnitudes fueron propensas a presentar más excedencias. En términos de mayor contaminación, se destaca Carvajal – Sevillana, cuyo promedio trimestral fue 92 $\mu g/m^3$ con 31 excedencias del límite máximo permisible, las cuales representan el 36% de los correspondientes datos válidos. Aunque San Cristóbal no presentó excedencias del límite máximo permisible, 2 promedios diarios sí excedieron el 90% de la norma de 90 $\mu g/m^3$. Este hecho muestra que esta estación fue susceptible de incumplir la normatividad vigente. Para las demás estaciones, ningún valor superó el 90% del límite máximo permisible.

En el periodo de análisis se destacan tres episodios de alta concentración de PM₁₀ en la ciudad. El primero ocurrió entre el miércoles 17 y el viernes 19 de diciembre de 2014 cuando las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Tunal, Guaymaral y Las Ferias coincidieron en el reporte de sus máximas concentraciones, sugiriendo un evento generalizado en gran parte del área urbana de Bogotá. El segundo ocurrió el miércoles 18 de febrero de 2015 con reporte de máximos en Usaquén, Suba, Ministerio de Ambiente y San Cristóbal. En el último, ocurrido el martes 24 de febrero de 2015, se observaron máximos en Kennedy y Carvajal – Sevillana. En esta fecha se reportó la máxima concentración diaria de PM₁₀ reportada de la RMCAB con 152 μg/m³ en Kennedy. No se





reportaron episodios en el mes de enero el cual es seguido por Carvajal – Sevillana con $149 \ \mu g/m^3$.

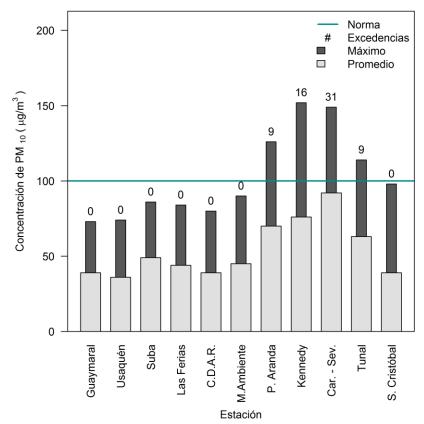


Figura 3-1. Promedios trimestrales, número de excedencias y máximos de PM₁₀ por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015. El nivel máximo permisible diario es 100 μg/m³ (Resolución 610 de 2010).

La Tabla 3-2 muestra que diciembre de 2014 y febrero de 2015 presentaron 30 excedencias cada uno, las cuales se distribuyen en 17 y 18 días, respectivamente. Enero, en contraste, presentó un total de 5 excedencias en igual número de días, lo cual se atribuye al cambio de la dinámica de la ciudad en la primera mitad del mes cuando la actividad de la ciudad se reduce. Es importante aclarar que un día de excedencia se define como aquel en el cual al menos una estación excede el respectivo límite máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010. En total, para el periodo DEF 2014 – 2015 40 días excedieron la normatividad.





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental

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

Tabla 3-1. Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de los datos diarios de PM_{10} durante DEF 2014 – 2015.

Estación	Número de datos válidos	M nathe	Promedio trimestral (µg/m³)		do ,	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁶		Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	86	96%	39	0	0	0	73	19/12/2014
Usaquén	90	100%	36	0	0	0	74	18/02/2015
Suba	83	92%	49	0	0	0	86	18/02/2015
Las Ferias	84	93%	44	0	0	0	84	19/12/2014
Centro de Alto Rendimiento	85	94%	39	0	0	0	80	17/12/2014
MinAmbiente	90	100%	45	0	0	0	90	18/02/2015
Puente Aranda	87	97%	70	9	10	6	126	17/12/2014
Kennedy	90	100%	76	16	18	10	152	24/02/2015
Carvajal – Sevillana	85	94%	92	31	36	19	149	24/02/2015
Tunal	90	100%	63	9	10	4	114	18/12/2014
San Cristóbal	86	96%	39	0	0	2	98	18/02/2015

Tabla 3-2. Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM_{10} (100 $\mu g/m^3$) por estación y por mes para el periodo DEF 2014 – 2015.

Mes	Diciembre	Enero	Febrero	DEF	
Guaymaral	0	0	0	0	
Usaquén	0	0	0	0	
Suba	0	0	0	0	
Las Ferias	0	0	0	0	
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0	
MinAmbiente	0	0	0	0	
Puente Aranda	7	0	2	9	
Kennedy	2	1	13	16	
Carvajal - Sevillana	14	3	14	31	
Tunal	7	1	1	9	
San Cristóbal	0	0	0	0	
Total de excedencias	30	5	30	65	
Días de excedencias	17	5	18	40	

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la Figura 3-2 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM₁₀ (basado en promedios diarios) en las 10 estaciones disponibles. El método de *Kriging* con el cual se



 $^{^6}$ Mayor a 90 $\mu g/m^3$ y menor o igual a 100 $\mu g/m^3.$



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.

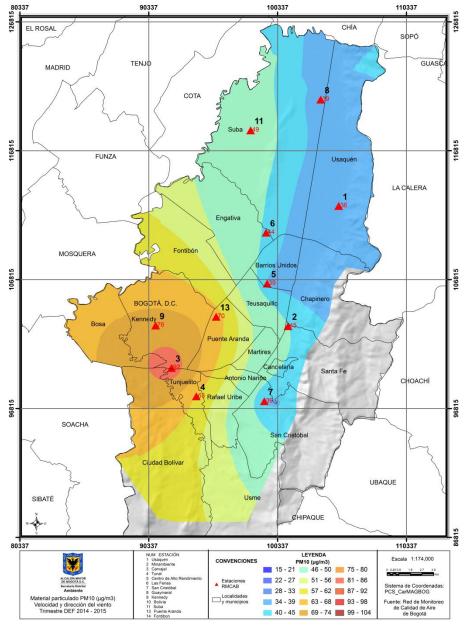


Figura 3-2. Material particulado (PM₁₀) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Año 2014.

Las tendencias observadas destacan 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.



3

Calendario de contaminación por PM₁₀ durante el periodo DEF 2014 – 2015

La Figura 3-3, la Figura 3-4 y la Figura 3-5 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y Usaquén, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. Carvajal – Sevillana muestra una diferencia notable con respecto a las otras dos estaciones al estar sus concentraciones en niveles relativamente altos y, por ende, presentar una mayor cantidad de excedencias. En esta estación se observa la ocurrencia de los episodios del 17 al 19 de diciembre de 2014 y del 24 de febrero de 2015, ya mencionados previamente. En esta última fecha se observan los valores máximos para Suba y Usaquén.

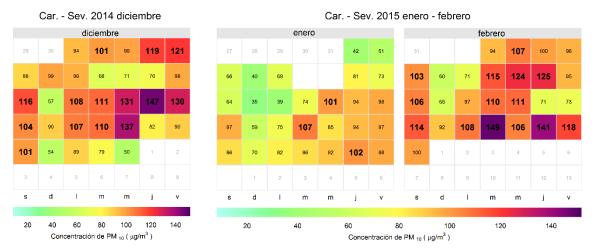


Figura 3-3. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan los días que superaron el límite normativo de 100 μg/m³.

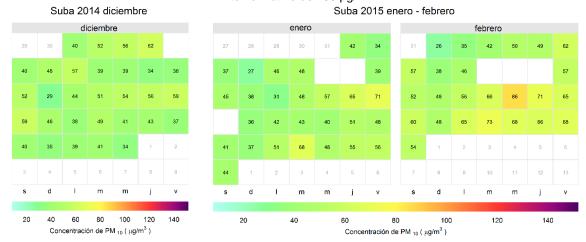
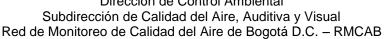


Figura 3-4. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.





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



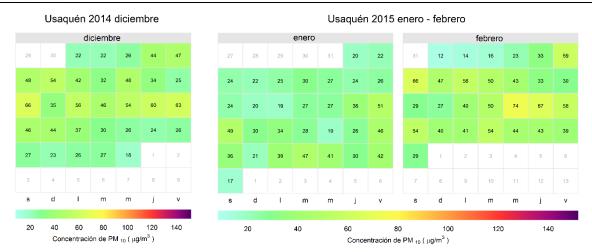


Figura 3-5. Diagrama calendario para PM₁₀ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Usaquén. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PM₁₀

La Figura 3-6 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de los días de la semana. En las estaciones analizadas se observa que los lunes y los domingos son los días con las menores concentraciones, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad vehicular e industrial. Entre martes y viernes se mantienen niveles de concentración similares. Con excepción del monitor de la estación Tunal, ningún día domingo excedió el límite máximo permisible de 100 µg/m³. Se observa que el valor máximo de 152 µg/m³ se presentó un día martes en la estación Kennedy el cual, como se mencionó previamente, ocurrió el 24 de febrero de 2015. Las menores distribuciones de las concentraciones diarias fueron observadas en Guaymaral, Usaquén y Suba lo cual es reflejo del nivel de actividad y de las características de las fuentes de emisión de sus áreas de influencia.



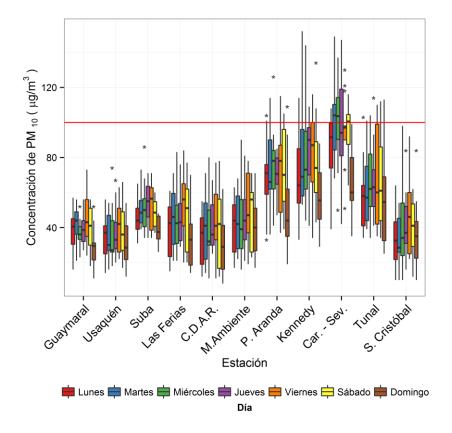


Figura 3-6. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el periodo DEF 2014 – 2015.

La distribución de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015, y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-7. En concordancia con la Tabla 3-2, la mayoría de excedencias se concentran en los meses de diciembre de 2014 y febrero de 2015. Los monitores de Kennedy, Carvajal – Sevillana y Tunal excedieron el límite máximo permisible en el mes de enero.



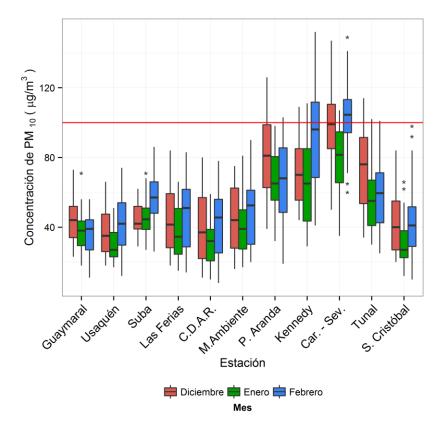


Figura 3-7. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo y de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM₁₀

La Figura 3-8 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de PM₁₀ por estación para el periodo DEF 2014 – 2015. Usualmente los domingos reportan las menores concentraciones de este contaminante en todas las estaciones lo cual es concordante con el cambio de la dinámica de la ciudad. Los lunes son los siguientes días con bajas concentraciones por la presencia de días feriados y por la influencia de la capa residual del día anterior. El comportamiento entre martes y viernes varía en función de la estación de monitoreo. Para Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Ministerio de Ambiente, San Cristóbal, Tunal y Usaquén, los viernes son los días con las concentraciones más altas. Los ciclos semanales con mayores variabilidades son los correspondientes a Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda, en los cuales las concentraciones en los días domingos descienden notablemente. Las demás estaciones presentan menor variabilidad en sus ciclos y entre estas se destacan Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Usaquén. El comportamiento de los niveles de PM₁₀ en función de los días de la semana está fundamentalmente asociado a las diferencias en el nivel de actividad de las fuentes de emisión.





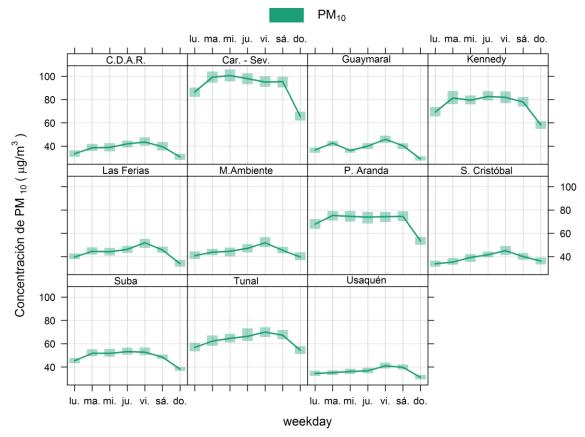


Figura 3-8. Comportamiento de la concentración de PM₁₀ en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

Los ciclos diarios de las concentraciones de PM₁₀ por estación se presentan en la Figura 3-9. Se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m. con magnitudes variables, donde las mayores se encuentran en las estaciones Carvajal – Sevillana y Kennedy y Puente Aranda, y las menores en Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén. Estas tendencias evidencian la actividad en el transporte en la ciudad que coincide con la denominada "hora pico" en la mañana. Los monitores de Kennedy, Las Ferias, Ministerio de Ambiente, San Cristóbal, Tunal y Usaquén mostraron un pico de menor magnitud en horas de la tarde. Se destaca que la estación Suba tiene un pico abrupto de concentración cerca a las 7:00 a.m. mientras que en las demás horas las concentraciones se mantienen en niveles relativamente bajos. Este comportamiento da cuenta de la alta influencia de las fuentes móviles en las tendencias de la estación.



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental

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

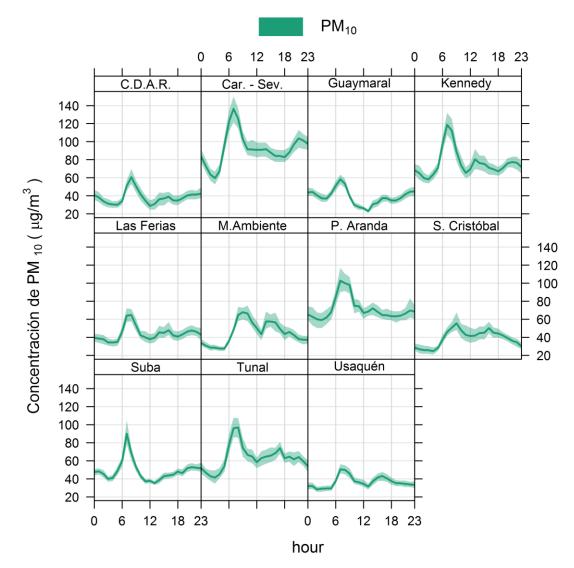


Figura 3-9. Ciclo diario de PM₁₀ para 11 estaciones de la RMCAB, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de PM₁₀

La Figura 3-10 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM₁₀ en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. En general se observa que en las estaciones Carvajal – Sevillana y Kennedy, localizadas en el suroccidente de la ciudad, las concentraciones han sido altas lo cual ha repercutido en que presenten la mayor cantidad de excedencias. Como se ha mencionado previamente, las zonas de influencia de estas estaciones se caracterizan por alta actividad de fuentes de emisión. En los 5 periodos estudiados, las concentraciones diarias de Guaymaral, Usaquén, Suba y Centro de Alto Rendimiento se han mantenido por debajo del límite máximo permisible de 100 µg/m³, mientras que Las Ferias, Ministerio de Ambiente y





Fontibón presentaron una excedencia cada una. Los menores niveles de dispersión se han observado en las estaciones localizadas al norte de la ciudad.

En comparación con el periodo DEF 2013 – 2014, en DEF 2014 – 2015 los niveles de concentración disminuyeron en Usaquén, Suba, Ministerio de Ambiente, Kennedy y San Cristóbal y aumentaron en Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y especialmente en Tunal. En Carvajal – Sevillana las concentraciones se mantuvieron en niveles relativamente constantes, para Guaymaral no se cuenta con representatividad suficiente del periodo DEF 2013 – 2014 y en Fontibón únicamente es posible observar la distribución de DEF 2010 – 2011 debido a situaciones relacionadas con suspensión del suministro eléctrico a la estación durante diciembre y enero.

En los trimestres comprendidos de diciembre de 2011 a febrero de 2015, las concentraciones de Usaquén se han reducido de forma progresiva. Una tendencia similar estaba mostrando tunal desde diciembre de 2010 pero esta fue interrumpida por el aumento abrupto en DEF 2014 – 2015.

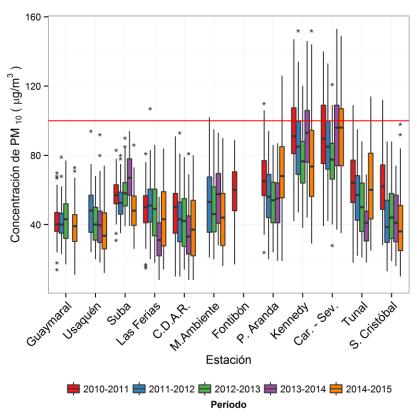


Figura 3-10. Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM₁₀ por estación de monitoreo en los trimestres comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015.

La Tabla 3-3 contiene un resumen de máximos históricos entre los periodos diciembre – enero - febrero entre 2010 y 2015. De forma concordante con lo discutido previamente, las estaciones Kennedy y Carvajal se han caracterizado por reportar los valores diarios máximos de la RMCAB en cada periodo. En el periodo 2012 – 2013 el máximo fue 121





 $\mu g/m^3$, valor que aunque supera la normatividad nacional se mantiene por debajo de las magnitudes reportadas en los demás trimestres.

Tabla 3-3. Resumen de máximos de las concentraciones diarias de PM₁₀ en los periodos diciembre – enero – febrero entre los años 2010 y 2015.

Periodo DEF	Máximo μg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	147	22/12/2010	Kennedy
2011 – 2012	152	17/02/2012	Kennedy
2012 – 2013	121	19/12/2012	Carvajal – Sevillana
2013 – 2014	153	11/12/2013	Carvajal – Sevillana
2014 – 2015	152	24/02/2015	Kennedy



3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM_{2.5}

El límite normativo diario de $PM_{2.5}$ es 50 $\mu g/m^3$. Durante el periodo DEF 2014 – 2015 10 estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en detalle a continuación. 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 de las concentraciones diarias de PM_{2.5} (24h)

Se obtuvieron 803 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global de 89% entre las estaciones que registraron mediciones. La Figura 3-11 y la Tabla 3-4 contienen un resumen de concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias de la norma diaria para $PM_{2.5}$ en el periodo DEF 2014 – 2015. Se presentaron 11 excedencias del límite máximo permisible de 50 µg/m³, establecido en la Resolución 610 de 2010, la cuales se distribuyeron en las estaciones Kennedy (6), Carvajal – Sevillana (1) y Tunal (5), localizadas en el sur y suroccidente de la ciudad. Como se mencionó en la sección de PM_{10} , la zona de influencia de las dos primeras estaciones está sujeta a alta actividad de fuentes móviles y fuentes industriales, lo cual incide en el registro de niveles más altos de concentración.

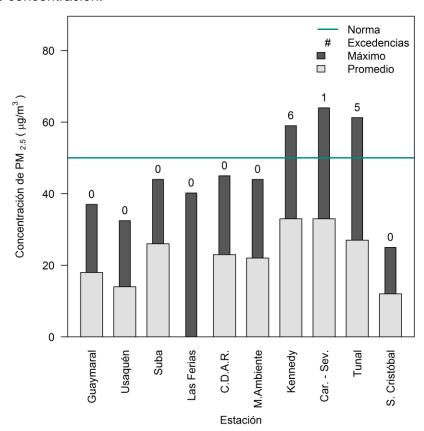


Figura 3-11. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de PM_{2.5} en base diaria para el periodo DEF 2014 – 2015.





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

Con excepción de Las Ferias, todos los monitores de $PM_{2.5}$ presentaron una cobertura temporal superior a 75% en el periodo analizado y para estos es posible el reporte de un promedio trimestral representativo. Los mayores promedios se reportaron en las estaciones Kennedy, Carvajal – Sevillana y Tunal, las cuales fueron las únicas que presentaron excedencias en un tiempo de exposición diario. Se destaca que las dos primeras estaciones reportaron los mismos valores de con 33 $\mu g/m^3$. Los menores promedios se observaron en Usaquén y San Cristóbal con 14 $\mu g/m3$ y 12 $\mu g/m3$, respectivamente. Estos valores demuestran el contraste espacial existente en la ciudad así como la precaución de no generalizar las tendencias de calidad del aire a nivel ciudad con promedios trimestrales.

Tabla 3-4. Resumen de datos diarios de PM_{2.5} para el periodo DEF 2014 – 2015. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio trimestral (μg/m³)	Excedencias norma 50 µg/m³	Porcentaje de datos válidos	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma ⁷	Mávimo	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	88	98%	18	0	0,0%	0	37	19/12/2014
Usaquén	77	86%	14	0	0,0%	0	32	19/12/2014
Suba	85	94%	26	0	0,0%	0	44	07/02/2015
Las Ferias	24	27%	N.R.	0	0,0%	0	40	07/12/2014
Centro de Alto Rendimiento	83	92%	23	0	0,0%	0	45	19/12/2014
MinAmbiente	90	100%	22	0	0,0%	0	44	07/12/2014
Kennedy	89	99%	33	6	6,7%	7	59	24/02/2015
Carvajal - Sevillana	88	98%	33	1	1,1%	5	64	24/02/2015
Tunal	89	99%	27	5	5,6%	5	61	07/12/2014
San Cristóbal	90	100%	12	0	0,0%	0	25	07/12/2014

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

En términos de concentraciones máximas se destacan tres episodios singulares de alta concentración. El primero ocurrió el 7 de diciembre de 2014 cuando Tunal, Las Ferias, Ministerio de Ambiente y San Cristóbal coincidieron en el reporte de sus máximos diarios y cuyas distancias relativas muestran la ocurrencia de un evento de alta concentración a nivel ciudad. El segundo ocurrió el 19 de diciembre de 2014 con coincidencias en las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral y Usaquén localizadas en el norte y centro de la ciudad. El último ocurrió el 24 de febrero de 2015 para Kennedy y Carvajal – Sevillana en el suroccidente de la ciudad; las concentraciones de las demás estaciones se mantuvieron en niveles relativamente típicos en este día. El máximo diario en esta última estación fue

⁷ Mayor a 45 μg/m³ y menor o igual a 50 μg/m³







64 μg/m³, el cual corresponde a la concentración más alta del conjunto de monitores de la RMCAB.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo, es decir, entre 45 $\mu g/m^3$ y 50 $\mu g/m^3$, evidencia la presencia de datos en las estaciones Kennedy, Carvajal — Sevillana y Tunal, las cuales mostraron incumplimientos normativos. Las demás estaciones reportaron valores iguales y menores a 45 $\mu g/m^3$, lo cual demuestra que sus zonas de influencia son menos propensas a presentar excedencias.

La Tabla 3-5 presenta el número de excedencias de PM_{2.5} por estación y por mes. Se observaron 6 excedencias en diciembre, 1 en enero y 5 en febrero, repartidas en 5,1 y 4 días, respectivamente. Enero presentó el menos número teniendo en cuenta que en su primera mitad la dinámica de la ciudad tiene un cambio considerable, atendiendo en muchos casos a reducción de actividades laborales, lo cual disminuye las emisiones.

Tabla 3-5. Excedencias de la norma diaria de PM_{2.5} (50 μg/m³) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Diciembre	Enero	Febrero
Guaymaral	0	0	0
Usaquén	0	0	0
Suba	0	0	0
Las Ferias	0	0	0
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0
MinAmbiente	0	0	0
Kennedy	4	0	2
Carvajal - Sevillana	0	0	1
Tunal	2	1	2
San Cristóbal	0	0	0
Total de excedencias	6	1	5
Días de excedencias	5	1	4

Calendario de contaminación por PM_{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015

Las Figura 3-12, Figura 3-13 y Figura 3-14 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de PM_{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015 en estaciones con concentraciones altas (Kennedy), concentraciones en rangos medios (Centro de Alto Rendimiento) y concentraciones bajas (San Cristóbal) mostrando el contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. De forma concordante a la Tabla 3-5, Kennedy presentó cuatro excedencias en diciembre de 2014 y 2 en febrero de 2015. Centro de Alto Rendimiento y San Cristóbal no incumplieron la normatividad durante el periodo estudiado. En los tres diagramas calendario se observa que los últimos días de enero y los primeros de diciembre presentaron las concentraciones más bajas, lo cual obedece al cambio en la dinámica de la ciudad.





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

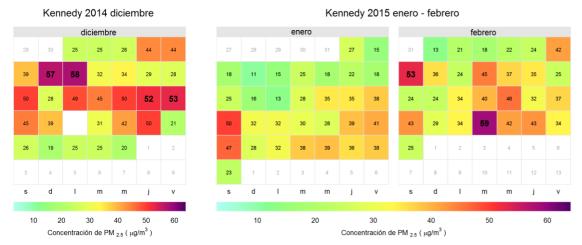


Figura 3-12. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Kennedy. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan las 6 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 μg/m³) en el periodo.

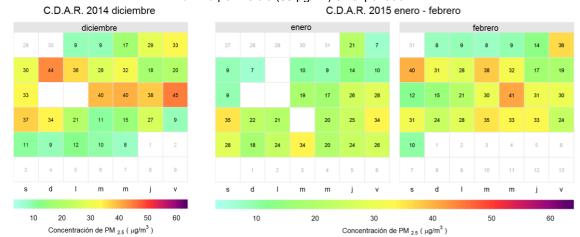


Figura 3-13. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

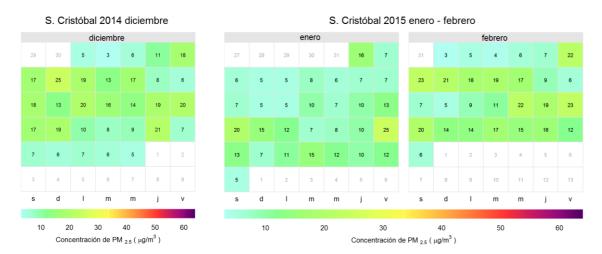






Figura 3-14. Diagrama calendario para PM_{2.5} durante el año 2014 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

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

La Figura 3-15 contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. En general se observa que los domingos presentan los menores niveles de concentración lo cual se debe al cambio de la dinámica de la ciudad. En San Cristóbal, a pesar de que los domingos sí registran bajas concentraciones, se observa que los lunes y martes también muestran niveles relativamente inferiores y comparables. Como referencia, en la figura se adicionó el límite máximo permisible de 50 µg/m³ establecido en la Resolución 610 de 2010 sobre el cual es posible observar las excedencias. Se evidencia que ningún lunes y ningún miércoles presentaron excedencias del límite máximo permisible diario. En términos de dispersión de datos, las menores variabilidades se observaron en Guyamaral y San Cristóbal mientras que las mayores en Tunal y Ministerio de Ambiente, especialmente de viernes a domingos. Aunque Carvajal-Sevillana tiene los mayores niveles de concentración, su dispersión es menor en comparación con otras estaciones con altos niveles de contaminación. Las características de los alrededores de las estaciones influyen en el grado de distribución de las concentraciones medidas.

El comportamiento en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 se observa en la Figura 3-16. En todas las estaciones se observa que enero presentó los menores niveles de concentración y para Guaymaral, Usaquén, Ministerio de Ambiente, Carvajal – Sevillana, Tunal y San Cristóbal los menores niveles de dispersión. Como se mencionó previamente, se presentaron 6 excedencias en diciembre de 2014, 1 en enero 2015 y 5 en febrero de 2015.



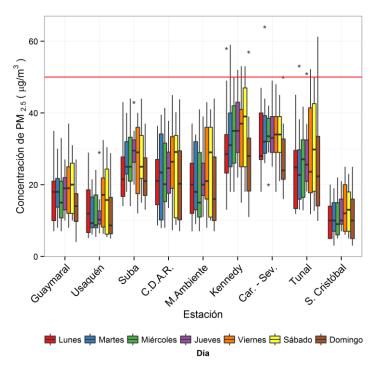


Figura 3-15. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.

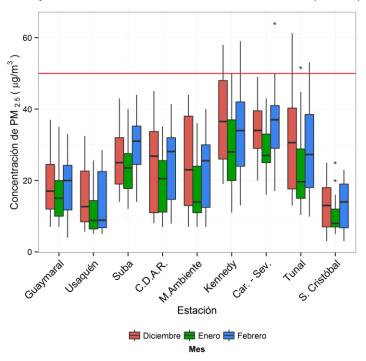


Figura 3-16. Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de los meses del periodo DEF 2014 – 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.



Ciclos 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%. Con excepción de Usaquén y San Cristóbal, los lunes y los domingos se caracterizaron por registrar las menores concentraciones promedio. En contraste, las mayores magnitudes se observaron los viernes y sábados. En Carvajal — Sevillana y Kennedy se observa que los domingos tienen promedios notablemente más bajos en comparación con los demás días de la semana, lo cual se explica por una variabilidad de la dinámica de sus zonas de influencia en sus ciclos semanales teniendo en cuenta mayor actividad de fuentes de emisión móviles e industriales. Como se mencionó en la sección anterior, en San Cristóbal los días lunes a miércoles tienen niveles bajos y comparables a los de los días domingo. Esta estación tiene el ciclo semanal más homogéneo y los rangos más bajos de sus intervalos de confianza. Como hecho particular, se observa que en Tunal las concentraciones aumentan progresivamente entre lunes y viernes y luego descienden los fines de semana.

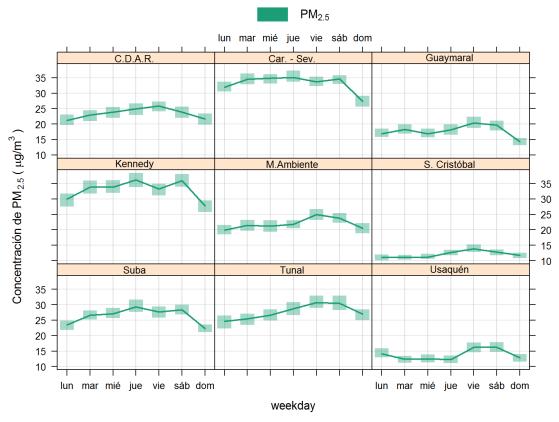


Figura 3-17. Comportamiento de las concentraciones de PM_{2.5} en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-18 presenta los ciclos diarios por estación de las concentraciones horarias de PM_{2.5}. Con excepción de Usaquén, en todos los sitios de monitoreo se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m., especialmente en Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal. Este comportamiento se atribuye a la influencia de las fuentes móviles durante la denominada "hora pico". Los ciclos de Guaymaral y Suba





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

muestran comportamientos similares al aumentar las concentraciones en horas de la noche y de la madrugada y tener su mínimo en horas cercanas al medio día. En Carvajal -Sevillana se observa un comportamiento particular ya que el pico de máxima concentración en el ciclo diario se ubica entre 8:00 p.m., y 9:00 p.m., lo cual sugiere aumento de actividad de las fuentes de emisión (industriales y/o móviles) en su zona de influencia durante dichos momentos. En Tunal y Usaquén se observa un pico de magnitud relativamente menor en horas de la tarde (entre 4:00 p.m. y 6:00 p.m.), coincidiendo con el inicio de la segunda "hora pico" del día. Las diferencias existentes entre las estaciones impiden generalizar el comportamiento espacial de Bogotá con promedios a nivel ciudad y por tanto es más recomendable sectorizar para observar los comportamientos individuales y analizar situaciones particulares de contaminación atmosférica.

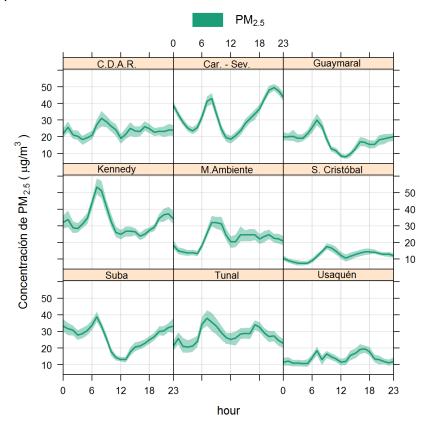


Figura 3-18. Ciclos diarios de las concentraciones de PM_{2.5} por estación en el periodo DEF 2014 – 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

Comportamiento histórico de promedios de PM_{2.5}

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos DEF 2010 - 2011, 2011 - 2012 y 2012 - 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que los dos siguientes corresponden al análisis de 6 y 9 estaciones en conjunto (con cobertura temporal suficiente) teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 inició gradualmente la operación de monitores adicionales.





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

esponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de trias de PM_{2.5} en los meses de diciembre, enero y febrero entre 201

La Figura 3-19 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015. En general, tanto la dispersión como los niveles de concentración fueron más altos en el periodo DEF 2014 – 2015 para Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Tunal. En Carvajal – Sevillana, por el contrario se observa una reducción de concentraciones. En la estación Kennedy se observó una leve disminución de las magnitudes y un aumento de la dispersión de datos con respecto a DEF 2013 – 2014. El análisis de los periodos previos en este monitor no exhibe una tendencia consistente de aumento o reducción. En términos de excedencias del límite máximo permisible diario, Carvajal – Sevillana, Kennedy y Tunal, localizadas al sur de la ciudad, han presentado incumplimientos.

La Tabla 3-6 contiene un resumen histórico de máximos en los periodos DEF entre 2010 y 2015. Es importante reiterar que en los periodos 2010 – 2011, 2011 – 2012 y 2012 – 2013 solamente existieron mediciones válidas en Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue 83 μ g/m³ el 8 de diciembre de 2010, el cual establece una diferencia notable con respecto a los máximos de los demás periodos, que oscilan entre 61 μ g/m³ y 68 μ g/m³.

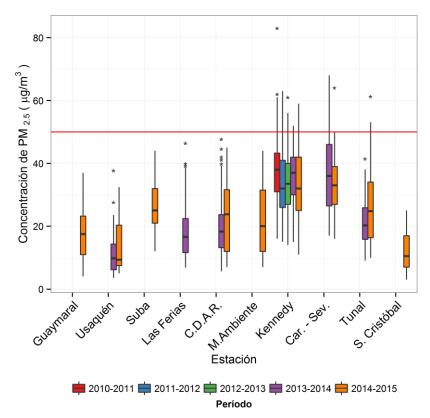


Figura 3-19. Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM_{2.5} en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015.





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

Tabla 3-6. Resumen histórico de concentraciones máximas de PM_{2.5} en los periodos diciembre – enero – febrero entre los años 2010 y 2015. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2010 y 2013.

Periodo DEF	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	83	08/12/2010	Kennedy
2011 – 2012	63	17/02/2012	Kennedy
2012 – 2013	61	07/12/2012	Kennedy
2013 – 2014	68	24/02/2014	Carvajal – Sevillana
2014 – 2015	64	24/02/2015	Carvajal - Sevillana





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

3.1.3. Relación de concentración PM_{2.5}/PM₁₀

La Tabla 3-7 muestra la relación de concentraciones promedio trimestrales entre material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el periodo DEF 2014 – 2015 y que tienen una cobertura temporal superior a 75%. Nueve (9) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre PM_{2.5} y PM₁₀ muestra la fracción de PM₁₀ que es PM_{2.5} y varía en función de las actividades que se desarrollan en las zonas de influencia de las estaciones. Las fracciones más altas fueron observadas en Centro de Alto Rendimiento, Suba y Ministerio de Ambiente lo cual indica que en el área cubierta por estas habría una mayor influencia por parte de las fuentes de combustión. Por el contrario Carvajal-Sevillana y San Cristóbal registraron los menores valores reflejando una mayor participación de material particulado grueso asociado a la influencia de la resuspensión de partículas.

En resumen, las diferencias en los valores de esta relación se atribuyen a las variación de las actividades de combustión tanto de fuentes fijas como de fuentes móviles, a la influencia de reacciones fotoquímicas (Baker & Scheff, 2007; Real & Sartelet, 2011; Sun, Lin, & Wang, 2003) y/o a la magnitud de emisión de material particulado resuspendido.

Tabla 3-7. Relación de concentraciones entre PM_{2.5} y PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo DEF 2014 – 2015 y que tienen cobertura temporal superior a 75%.

Estación	PM _{2.5} (μg/m ³)	PM ₁₀ (μg/m ³)	Relación de concentraciones PM _{2.5} /PM ₁₀
Guaymaral	18	39	0,46
Usaquén	14	36	0,39
Suba	26	49	0,53
Centro de Alto Rendimiento	23	39	0,59
MinAmbiente	22	45	0,49
Kennedy	33	76	0,43
Carvajal - Sevillana	33	92	0,36
Tunal	27	63	0,43
San Cristóbal	12	39	0,31





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), dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO). 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 radiación 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.





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 periodo DEF 2014 – 2015, los cuales se encuentran ubicados según se reporta en la Tabla 1-1. Aunque el monitor de la estación Kennedy operó durante el trimestre, no se reportan sus datos debido a problemas en los protocolos de comunicación del equipo con el software de captación de datos de la RMCAB.

Comportamiento de las concentraciones horarias de O₃

Durante el periodo DEF 2014 - 2015 se obtuvieron 18787 (dieciocho mil setecientos ochenta y siete) promedios horarios válidos de O₃, lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 87% entre las estaciones que reportaron al menos una medición en el año. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora de ocurrencia por estación se presentan en la Tabla 3-8. La Figura 3-20 es un reflejo de la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

Tabla 3-8. Resumen descriptivo de los datos horarios de O₃ por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m³	Máximo [μg/m³] ⁸	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma ⁹
Guaymaral	100%	1	124	24/02/2015 15:00	4
Usaquén	96%	12	151	18/02/2015 15:00	12
Suba	99%	0	88	17/12/2014 16:00	0
Las Ferias	95%	0	118	24/02/2015 15:00	5
Centro de Alto Rendimiento	99%	8	148	19/12/2014 15:00	10
MinAmbiente	5%	0	73	05/12/2014 13:00	0
Puente Aranda	95%	1	126	24/02/2015 14:00	9
Carvajal - Sevillana	86%	0	103	18/02/2015 12:00	0
Tunal	96%	0	102	19/12/2014 14:00	0
San Cristóbal	100%	0	73	19/12/2014 14:00	0

En todas las estaciones se presentó una cobertura temporal superior a 75%, con excepción de Ministerio de Ambiente cuya representatividad fue de 5%, lo cual se debió a fallas





⁸ En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O₃, NO₂, CO y SO₂) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m³ y µg/m³ acordemente.

⁹ Mayor o a 108 μg/m³ y menor o igual a 120 μg/m³.



operacionales del respectivo monitor. Un total de 22 datos horarios excedieron el límite máximo permisible, los cuales se distribuyeron entre las estaciones Guaymaral (1), Usaquén (12), Centro de Alto Rendimiento (8) y Puente Aranda (1), representando el 0,1% del total de datos registrados en el trimestre. La concentración máxima reportada en la RMCAB fue 151 μ g/m³ en Usaquén el 18 de diciembre de 2014 a las 3:00 p.m. En esta misma fecha a las 12:00 m., la estación Carvajal – Sevillana, localizada al sur de la ciudad, reportó su concentración máxima con 103 μ g/m³, un hecho que sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel ciudad. El 19 de diciembre de 2014 entre 2:00 p.m. y 3:00 p.m., Centro de Alto Rendimiento, Tunal y San Cristóbal coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas y el 24 de febrero de 2015 entre 2:00 p.m. y 3:00 p.m. ocurrió para Guaymaral, Las Ferias y Puente Aranda.

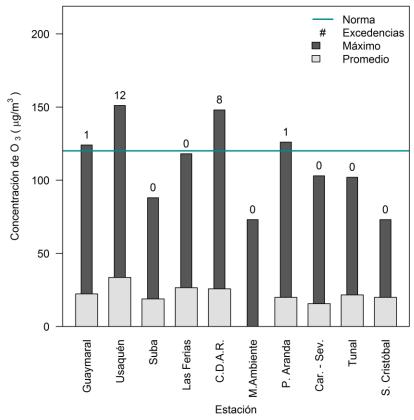


Figura 3-20. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O₃ en base horaria por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.

Aunque no se reportan excedencias para la estación Las Ferias, 5 datos superaron el 90% del límite máximo permisible correspondiente a 108 μg/m³. Este hecho indica que la zona de influencia de este sitio de medición es propensa de presentar excedencias. Aunque en Ministerio de Ambiente ninguna concentración horaria excedió el límite máximo permisible, es importante considerar que su cobertura temporal fue 5% y, por tanto, es muy poco representativa del periodo analizado. Suba, Carvajal – Sevillana, Tunal y San Cristóbal igualmente no excedieron 108 μg/m³ lo cual indica que son menos susceptibles a presentar incumplimientos normativos.





A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur de la ciudad (Carvajal-Sevillana Tunal y San Cristóbal) tienden a registrar niveles menores de ozono, un comportamiento que requiere de mayor investigación.

En el periodo DEF 2013 – 2014 se presentó un total de 25 excedencias, lo cual corresponde a 0,1% del total medido en el trimestre y a 3 excedencias más que en periodo DEF 2014 – 2015. Las diferencias en esta variable entre los dos trimestres son menores y no permiten establecer o afirmar una tendencia de mejora de la calidad del aire.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para O₃

Los promedios móviles de ocho horas permiten suavizar las tendencias de las concentraciones horarias y visualizar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 18726 (dieciocho mil setecientos veintiséis) promedios que representan el 87% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el periodo DEF 2014 – 2015. El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia se presenta en la Tabla 3-9. Los promedios trimestrales que se muestran en la tabla son indicativos para comparación mutua de las estaciones y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles ya que estos no consideran un tiempo de exposición de tres meses.

170 promedios móviles de 8 horas excedieron el límite máximo permisible de 80 μg/m³ (Resolución 610 de 2010) los cuales se distribuyen en las estaciones Guaymaral (10), Usaquén (119), Las Ferias (6), Centro de Alto Rendimiento (25) y Puente Aranda (10) las cuales representan el 0,9% del total de datos válidos del trimestre. Usaquén se destaca por tener la mayor participación en el número de excedencias del trimestre con 70%. Esta estación se ha caracterizado por niveles de ozono particularmente más altos en comparación con las demás estaciones de la RMCAB y por la presencia de niveles inusualmente elevados en horas de la noche. Las estaciones localizadas en el occidente y sur de la ciudad (Puente Aranda, Carvajal – Sevillana, Tunal y San Cristóbal) no registraron excedencias. 150 excedencias, es decir 88% del total, se concentraron en febrero, lo cual establece un contraste alto con los meses de diciembre de 2014 y enero de 2015.

El promedio trimestral más alto se presentó en Usaquén con 34 μg/m³ el cual es seguido en magnitud por Las Ferias con 27 μg/m³ y Centro de Alto Rendimiento 26 μg/m³. En contraste, los valores más bajos fueron observados en Carvajal – Sevillana y Suba con 16 μg/m³ y 19 μg/m³, respectivamente. Las diferencias observadas muestran que es más adecuado analizar la calidad del aire de Bogotá por sectores en lugar de calcular promedios a nivel ciudad. Se destaca el hecho de que las estaciones con las menores concentraciones de ozono son aquellas que presentaron los mayores niveles de los contaminantes primarios. En Ministerio de Ambiente la cobertura temporal fue 5%, razón por la cual no es posible el cálculo de un promedio trimestral representativo. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual se debe a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos





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

de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar. Las menores concentraciones promedios fueron observadas en Puente Aranda y Carvajal-Sevillana localizadas en la zona suroccidental de la ciudad.

El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue 121 µg/m³ en Usaquén el 18 de febrero de 2015 a las 6:00 p.m. En la misma fecha y hora Puente Aranda y Guaymaral reportaron sus máximos. El 19 de diciembre de 2014 a las 5:00 p.m. también correspondió a un evento adicional de altas concentraciones a nivel ciudad con coincidencias de valores máximos en Suba, Centro de Alto Rendimiento y Tunal. Es importante mencionar que un promedio móvil de 8 horas reportado a las 5:00 p.m. incluye las concentraciones registradas entre las 10:00 a.m. y las 5:00 p.m. lo cual abarca las horas usuales de alta concentración de ozono.

La Figura 3-21 presenta el resumen en forma gráfica de máximos y excedencias del límite máximo permisible de la Resolución 610 de 2010 (80 µg/m³) así como la comparación de los valores máximos con la guía de la Organización Mundial de la Salud de 100 µg/m³ (Organización Mundial de la Salud, 2006) y con el límite normativo de los National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) de Estados Unidos correspondiente a 75 ppb o 147 µg/m³ (U.S. Environmental Protection Agency, 2012). La comparación con el nivel recomendado por la EPA de 59 ppb o 116 μg/m³ debajo del 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 un total de 2 excedencias en Usaguén el 18 de febrero de 2015 entre 6:00 p.m. y 7:00 p.m. Con respecto a la normatividad europea (European Comission - Environment, 2014) se presentó 1 excedencia del límite normativo de 120 µg/m³ en Usaquén el 18 de febrero de 2015 a las 6:00 p.m. Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue 121 µg/m³, la RMCAB no presentó excedencias del límite normativo de los NAAQS. Con respecto a la guía de la OMS se presentaron 15 excedencias en Usaquén en la segunda mitad de febrero.

Tabla 3-9. Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O₃ en base 8 horas durante el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m³)	Excedencias norma (8h) 80 µg/m³	Máximo (µg/m³)	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	100%	22	10	95	18/02/2015 18:00
Usaquén	96%	34	119	121	18/02/2015 18:00
Suba	99%	19	0	70	19/12/2014 17:00
Las Ferias	94%	27	6	91	22/02/2015 17:00
Centro de Alto Rendimiento	98%	26	25	97	19/12/2014 17:00
MinAmbiente	5%	N.R.	0	43	03/12/2014 17:00
Puente Aranda	95%	20	10	90	18/02/2015 18:00
Carvajal - Sevillana	85%	16	0	70	21/02/2015 17:00
Tunal	95%	22	0	67	19/12/2014 17:00
San Cristóbal	100%	20	0	54	26/02/2015 18:00

N.R. No representativo. La cantidad de datos válidos en el trimestre es inferior al 75% del total posible.

La Tabla 3-10 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 µg/m³) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que las 170 excedencias se distribuyeron en un total de 16 días de los cuales 11





correspondieron al mes de febrero. Este mes establece una diferencia considerable teniendo en cuenta que en su transcurso se reportaron 150 de las 170 observadas. Como se discutió previamente, la mayoría de excedencias se concentraron en la estación Usaquén.

Tabla 3-10. Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O_3 (80 μ g/m³) por estación y por mes para el año 2014.

Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Total
Guaymaral	0	0	10	10
Usaquén	0	11	108	119
Suba	0	0	0	0
Las Ferias	0	0	6	6
Centro de Alto Rendimiento	8	1	16	25
MinAmbiente	0	0	0	0
Puente Aranda	0	0	10	10
Carvajal - Sevillana	0	0	0	0
Tunal	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0
Total de excedencias	8	12	150	170
Días de excedencias	2	3	11	16

La Figura 3-22 corresponde a un mapa con la distribución espacial de las concentraciones anuales de ozono (en base de promedios móviles de 8 horas) en las estaciones de la RMCAB con cobertura temporal superior a 75%. Como se ha mencionado previamente, se observa que a diferencia del material particulado, donde las altas concentraciones predominan en el suroccidente, el ozono tiende a mantener niveles altos en el norte de la ciudad, especialmente en la localidad de Usaquén. Al ser un contaminante secundario, el ozono presenta ciertas particularidades que están asociadas al comportamiento de sus precursores y al transporte de los mismos sobre Bogotá.





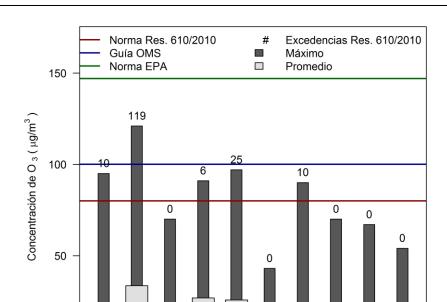


Figura 3-21. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de O_3 (80 $\mu g/m^3$) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.

C.D.A.R.

M.Ambiente

Estación

P. Aranda

Car. - Sev.

Las Ferias

Tunal

S. Cristóbal

Suba

Usaquén



0



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

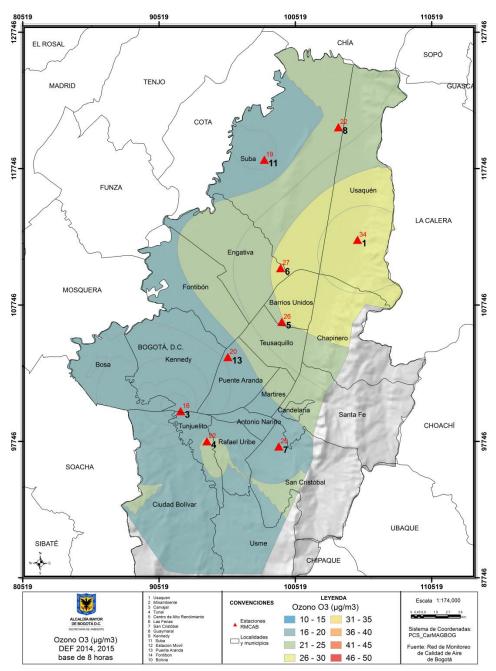


Figura 3-22. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.



Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O₃

La Figura 3-23 presenta la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo. Las distribuciones con los niveles más altos de concentración tienden a presentarse los domingos. Entre martes y sábados no se observan comportamientos con diferencias notables. Esta es una tendencia contraria a la observada para los demás contaminantes. Las estaciones localizadas al norte de la ciudad, especialmente Usaquén, mostraron mayor grado de dispersión y de magnitud en sus datos en comparación con aquellas localizadas al sur.

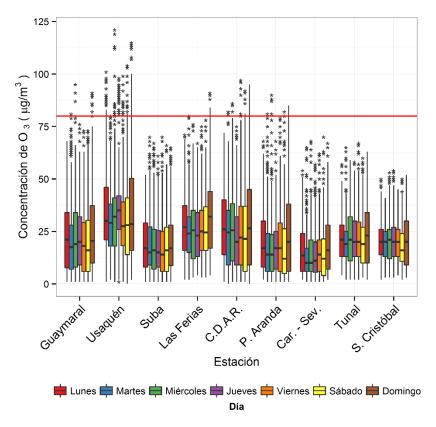
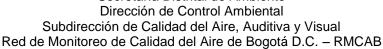


Figura 3-23. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el periodo DEF 2014 – 2015.

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 se presenta en la Figura 3-24. Las menores concentraciones fueron observadas en el mes de diciembre. Entre los meses de enero y febrero no hay una tendencia generalizada de aumento o de disminución. Se destaca el diagrama de caja de Usaquén del mes de febrero en el cual la magnitud de las concentraciones y el grado de dispersión es notablemente mayor en comparación con los demás meses.





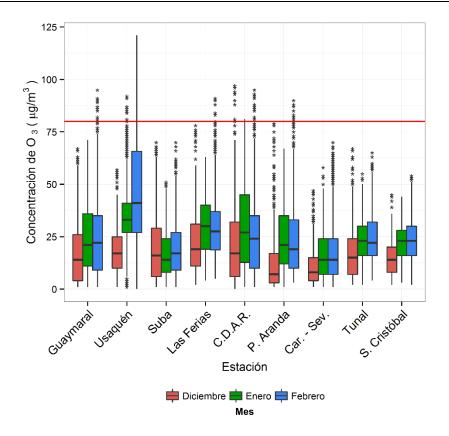


Figura 3-24. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los meses de diciembre de 2014 y de enero y febrero de 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de O₃

La Figura 3-25 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Como se mencionó en la sección previa, las mayores concentraciones fueron observadas los días domingos cuando la emisión de contaminantes primarios se reduce. Para algunas estaciones (Carvajal - Sevillana, Las Ferias y Suba), las concentraciones promedio de los lunes también son altas. Entre martes y sábados las diferencias son menores. La variabilidad de los ciclos depende de la estación a analizar. Los ciclos más homogéneos se observaron en San Cristóbal y Suba. En esta figura también es posible observar que las estaciones ubicadas al norte y oriente de la ciudad registran los niveles más altos de ozono. La tendencia semanal del ozono es en general contraria a la observada para los demás contaminantes en los cuales las mayores concentraciones se presentan en los días hábiles.

Los ciclos diarios de la Figura 3-26 confirman la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaguén y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, un tema que requiere de una investigación más profunda.



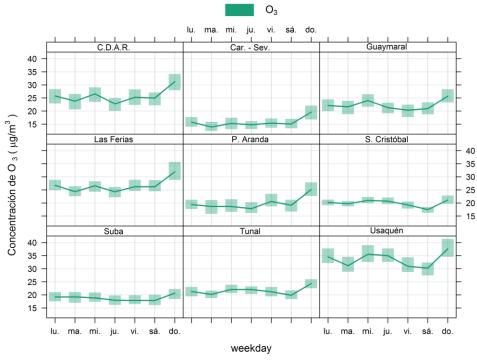


Figura 3-25. Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.

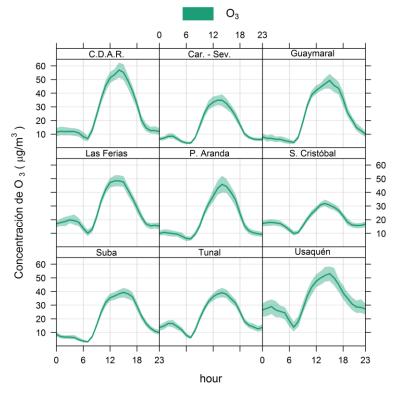


Figura 3-26. Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.



Comportamiento histórico del O₃

La Figura 3-27 es un diagrama boxplot que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. En los periodos estudiados las concentraciones más altas se han observado en las estaciones localizadas al norte de la ciudad mientras que las más bajas al sur y occidente. Con respecto al trimestre DEF 2013 - 2014, en el periodo DEF 2014 - 2015 las concentraciones de ozono aumentaron en las estaciones Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Carvajal – Sevillana y Tunal mientras que disminuyeron en Guaymaral, Usaquén, Suba y San Cristóbal. En los trimestres comprendidos entre 2012 v 2015 las concentraciones se han reducido de forma progresiva en la estación Suba y es notable el descenso en el periodo de análisis de este informe con respecto a su predecesor. En las demás estaciones no se evidencia una tendencia definida de aumento o de disminución y para Fontibón y Ministerio de Ambiente no es posible realizar una comparación histórica. Las observaciones dadas evidencian una heterogeneidad de las concentraciones de ozono en la ciudad y la necesidad de sectorizarla en los análisis de las tendencias. En términos de dispersión se observa que las estaciones localizadas al norte presentan mayores distribuciones, en contraste con el sur.

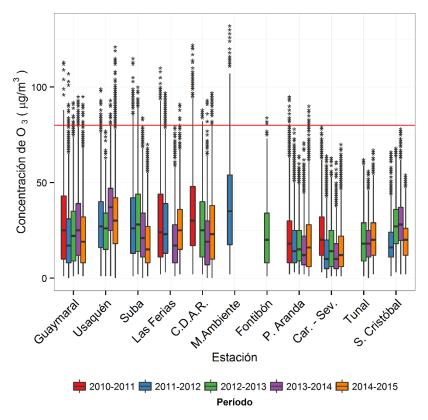


Figura 3-27. Gráfico de *boxplot* de O₃ en función de las estaciones de monitoreo en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).





La Tabla 3-11 es un resumen histórico de las concentraciones máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. En los 5 trimestres estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto fue 132 μ g/m³ en la estación Ministerio de Ambiente el 16 de febrero de 2012 a las 6:00 p.m. Los máximos de los demás trimestres fueron reportados a la misma hora y ninguno en diciembre. Conforme a las discusiones previas, las estaciones que se han caracterizado por reportar las concentraciones más altas de ozono se localizan en el norte y centro de la ciudad. Un promedio móvil de ozono de 8 horas reportado a las 6:00 p.m. incluye el promedio de los datos reportados entre las 11:00 a.m. y las 6:00 p.m., lo cual incluye las horas donde la radiación solar es más alta, lo cual repercute en mayores concentraciones de ozono. En los demás periodos las concentraciones se mantuvieron en el rango comprendido entre 100 μ g/m³ y 128 μ g/m³.

Tabla 3-11. Resumen histórico de las concentraciones máximas de O₃ en promedios móviles de 8 horas en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

Periodo DEF	Máximo μg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	128	25/01/2011 18:00	Usaquén
2011 – 2012	132	16/02/2012 18:00	MinAmbiente
2012 – 2013	100	14/02/2013 18:00	Suba
2013 – 2014	102	29/01/2014 18:00	Fontibón
2014 – 2015	121	18/02/2015 18:00	Usaquén





3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO2

En el periodo DEF 2014 – 2015, se contó con 8 estaciones para el monitoreo de óxidos de nitrógeno, tal como se indica en la Tabla 1-1. Las concentraciones horarias y diarias de este contaminante fueron comparadas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Comportamiento de los promedios horarios de NO₂

Durante el periodo analizado se obtuvieron 15538 (quince mil quinientos treinta y ocho) promedios horarios, que corresponden a una representatividad temporal global de 90% entre las ocho estaciones que registraron mediciones. La Figura 3-28 contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para NO₂, en base de tiempo horaria. 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 3-12. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma (200 μ g/m³, Resolución 610 de 2010) pero sí del 75% de la misma (150 μ g/m³) en Las Ferias (2), Puente Aranda (2) y Carvajal-Sevillana (1).

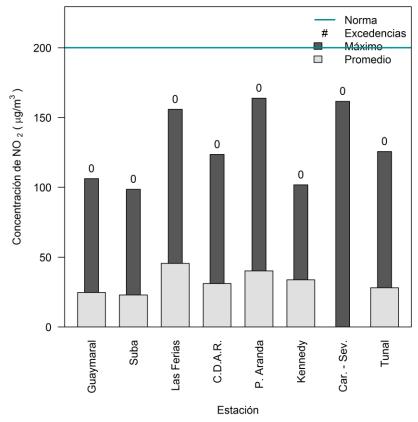


Figura 3-28. Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO₂ por estación durante el periodo DEF 2014 - 2015

La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en el periodo de análisis fue 164 µg/m³ el 19 de diciembre de 2014 a las 6:00 p.m. en la estación





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental

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

Puente Aranda. En esta misma fecha, Guaymaral, Las Ferias y Suba reportaron sus máximos del trimestre a las 5:00 p.m., 6:00 p.m., y 10:00 p.m., respectivamente. La distancia relativa entre estas estaciones sugiere la ocurrencia de un episodio generalizado de alta concentración de NO_2 a nivel ciudad. El 24 de febrero de 2015 a las 10:00 a.m., Kennedy y Carvajal – Sevillana reportaron sus concentraciones máximas simultáneamente con valores de $102 \, \mu g/m^3 \, y$ $162 \, \mu g/m^3$ en un evento en el suroccidente de la ciudad.

Tabla 3-12. Resumen de datos horarios de NO₂ por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo (μg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma ¹⁰
Guaymaral	97%	106	19/12/2014 17:00	0
Suba	97%	99	19/12/2014 22:00	0
Las Ferias	84%	156	19/12/2014 18:00	2
Centro de Alto Rendimiento	91%	124	10/12/2014 14:00	0
Puente Aranda	89%	164	19/12/2014 18:00	2
Kennedy	100%	102	24/02/2015 10:00	0
Carvajal - Sevillana	64%	162	24/02/2015 10:00	1
Tunal	97%	126	21/02/2015 10:00	0

Comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂

Se obtuvieron 644 valores diarios de NO_2 , cuya representatividad temporal global corresponde al 89% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición. En la Tabla 3-13 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios trimestrales, máximos con sus fechas de ocurrencia, y cantidad de datos superiores al 50% del límite máximo permisible, por estación. De estos valores diarios, ninguno superó la norma establecida de NO_2 para un tiempo de exposición de 24 horas (150 μ g/m³) como se observa en la Figura 3-29. Sin embargo, se observaron 8 datos superiores al 50% de la norma (75 μ g/m³) en Las Ferias (4), Puente Aranda (2) y Carvajal-Sevillana (2). Estas estaciones están sujetas a una influencia destacable de emisiones de fuentes móviles y fijas, lo cual contribuye a que los niveles de inmisión de NO_2 sean notablemente más altos, en comparación con las demás estaciones de la RMCAB.

La máxima concentración diaria reportada en la RMCAB fue 93 μg/m³ en la estación Puente Aranda el 19 de diciembre de 2014, fecha en la cual se reportó el máximo horario, representando el 62% del límite máximo permisible de 150 μg/m³. Al igual que en la sección anterior, las estaciones Guaymaral, Suba y Las Ferias también reportaron sus máximas concentraciones en esta fecha reafirmando el episodio de alta concentración de NO₂ a nivel ciudad. El 10 de diciembre de 2014 las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Kennedy reportaron simultáneamente sus valores máximos con magnitudes de 58 μg/m³ y 53 μg/m³,



¹⁰ Mayor a 150 μg/m³ y menor o igual a 200 μg/m³



Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental

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

respectivamente. Esta fecha no fue observada cuando se analizaron las concentraciones en términos horarios y la razón se fundamenta en que los eventos singulares en base horaria son más puntuales que sus contrapartes diarias cuyas tendencias permiten conocer episodios de mayor duración.

Tabla 3-13. Resumen de datos diarios de NO₂ por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m³)	Máximo (μg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos superior al 50% de la norma ¹¹
Guaymaral	99%	25	43	19/12/2014	0
Suba	98%	23	45	19/12/2014	0
Las Ferias	83%	45	87	19/12/2014	4
Centro de Alto Rendimiento	87%	32	58	10/12/2014	0
Puente Aranda	89%	40	93	19/12/2014	2
Kennedy	100%	34	53	10/12/2014	0
Carvajal - Sevillana	63%	N.R.	80	24/02/2015	2
Tunal	97%	28	57	17/01/2015	0

N.R. No representativo. La serie de datos correspondiente tiene una cobertura temporal inferior al 75% de mediciones posibles en el periodo.

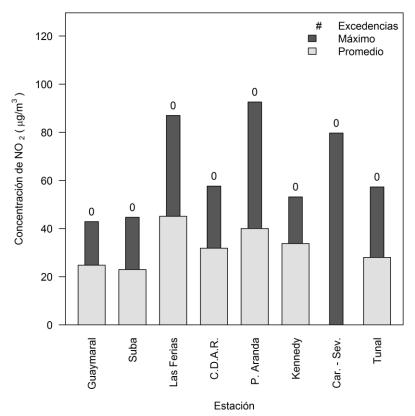


Figura 3-29. Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO_2 en base diaria por estación para el periodo DEF 2014 - 2015.

. .



¹¹ Mayores a 75 μg/m³.



Calendario de contaminación por NO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015

La Figura 3-30, la Figura 3-31 y la Figura 3-32 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de NO_2 para las estaciones Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento y Suba que registraron, de acuerdo a promedios anuales representativos, concentraciones en rangos altos, medios y bajos, respectivamente. En Las Ferias se observa el segundo valor máximo registrado en la RMCAB correspondiente a 87 $\mu g/m^3$ el 19 de diciembre de 2014 y que los días con las menores concentraciones de NO_2 son los últimos de diciembre y los primeros de enero. Los diagramas calendario de las tres estaciones permiten evidenciar el contraste espacial en Bogotá en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante.

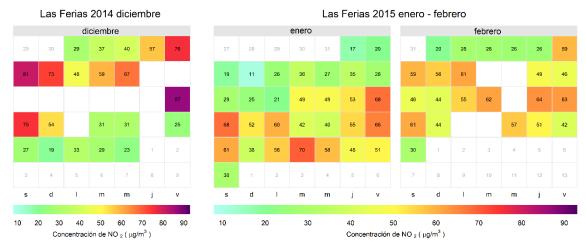


Figura 3-30. Diagrama calendario para NO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 μg/m³.

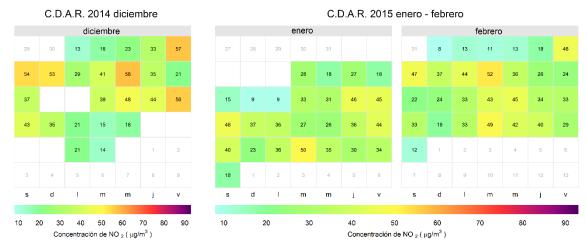
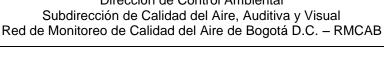


Figura 3-31. Diagrama calendario para NO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 μg/m³.







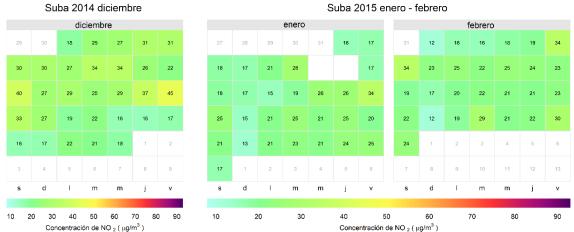


Figura 3-32. Diagrama calendario para NO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m³.

Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO₂

La Figura 3-33 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO2 en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% y de los días de la semana. En general, los domingos reportaron las concentraciones más bajas del trimestre. La razón de esta diferencia se basa en que durante estos días se reduce la actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles. Se observa que los viernes y sábados tienden a presentar mayores magnitudes en sus concentraciones y en sus niveles de dispersión. Los rangos intercuartílicos tienden a ser mayores en Las Ferias y Puente Aranda, consecuencia del nivel de actividad desarrollado en sus respectivas zonas de influencia.

La Figura 3-34 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO2 en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% del total posible a medir. En Puente Aranda y Kennedy se observa una disminución progresiva en las magnitudes de las concentraciones diarias de este contaminante en el transcurrir del trimestre. Para las demás estaciones, enero es el mes que reporta las menores concentraciones, lo cual es consecuencia de la reducción del nivel de actividad durante los primeros días de este mes.



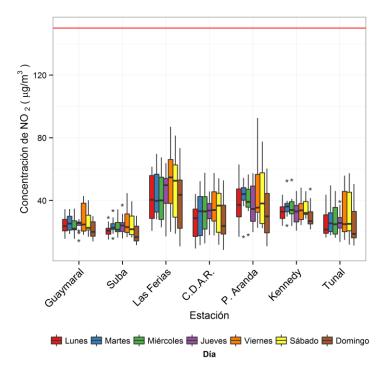


Figura 3-33. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Periodo DEF 2014 – 2015.

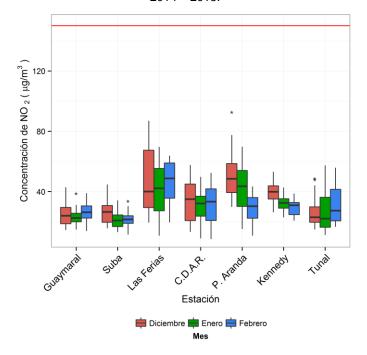


Figura 3-34. Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO₂ en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%.





Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO₂

Los ciclos semanales de la Figura 3-35 muestran que los domingos son, en general, los días con las menores concentraciones de la semana. Los lunes tienden a ser los siguientes días con las concentraciones más bajas, producto de la presencia de días feriados (2 días) y de la reducción de actividades en los domingos. Los martes, viernes y sábado tienen las mayores concentraciones promedio. Puente Aranda y Las Ferias presentan ciclos más variables y con mayores magnitudes, lo cual es consecuencia de grado de actividad desarrollado en sus zonas de influencia.

La Figura 3-36 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una cobertura temporal superior a 75%. En todas las estaciones se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana y a la tarde. Al medio día ocurre una reducción significativa estableciendo un mínimo, el cual es producto del consumo de NO₂ y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar. El pico de la mañana se presenta entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 6:00 p.m. y termina a las 9:00 p.m. Para Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral y Las Ferias, la magnitud del pico de la tarde presenta mayores magnitudes que su contraparte de la mañana.

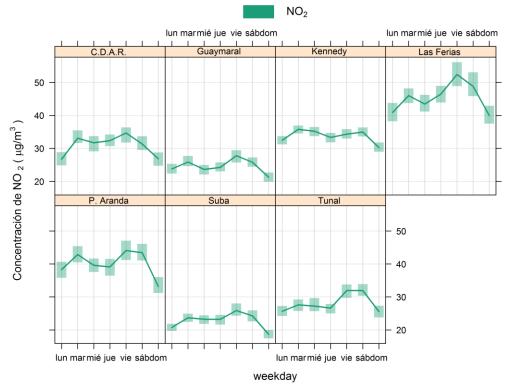


Figura 3-35. Ciclos semanales de las concentraciones de NO₂ para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el periodo DEF 2014 – 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.



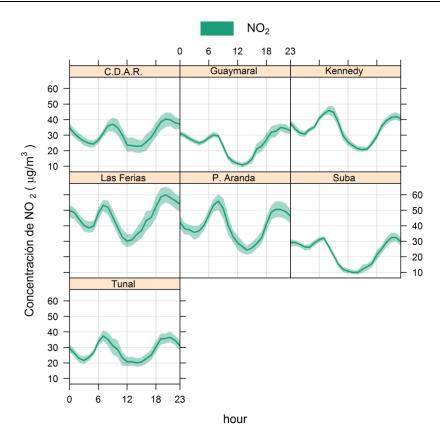


Figura 3-36. Ciclos diarios de las concentraciones de NO₂ para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el periodo DEF 2014 – 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de NO₂.

La Figura 3-37 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO_2 en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. En comparación con el periodo DEF 2013 – 2014, en DEF 2014 – 2015 los niveles de concentración disminuyeron para Suba y aumentaron en Kennedy. En Puente Aranda y Tunal no existe una tendencia clara de aumento o de disminución teniendo en cuenta que la dispersión de datos en el presente periodo de análisis aumentó para estas estaciones.

Entre los años 2012 y 2015 los niveles de concentración han presentado una disminución progresiva en Suba. En Tunal, ocurrió el mismo comportamiento para los periodos DEF 2010 – 2011. 2011 – 2012 y 2012 – 2013, tendencia que se estabilizó en los periodos siguientes. Para las demás estaciones no hay una tendencia definida de aumento o disminución lo cual se debe parcialmente a que en algunos trimestres no se cuenta con la representatividad temporal suficiente.



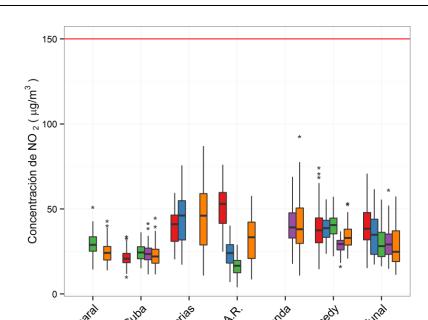


Figura 3-37. Gráfico de *boxplot* para NO₂ por estaciones en base diaria para los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

Estación

La Tabla 3-14 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO $_2$ en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015. Todos los máximos fueron reportados en los meses de diciembre y febrero en las estaciones Carvajal – Sevillana, Las Ferias y Puente Aranda. La zona de influencia de estas estaciones se caracteriza por la actividad notable de fuentes de combustión. La concentración máxima reportada en los 5 trimestres analizados fue 93 $\mu g/m^3$ el 19 de diciembre de 2014 en Puente Aranda. Este valor corresponde al 62% del límite máximo permisible de 150 $\mu g/m^3$ establecido en la Resolución 610 de 2010. Para los demás trimestres las concentraciones se mantienen en el rango comprendido entre 75 $\mu g/m^3$ y 89 $\mu g/m^3$.

Tabla 3-14. Resumen histórico de máximos de las concentraciones de NO₂ en base diaria en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

Periodo DEF	Máximo µg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	89	26/02/2011	Carvajal - Sevillana
2011 – 2012	80	02/12/2011	Puente Aranda
2012 – 2013	83	05/02/2013	Las Ferias
2013 – 2014	75	30/12/2013	Carvajal - Sevillana
2014 – 2015	93	19/12/2014	Puente Aranda





3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO₂

La RMCAB contó con 7 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 las concentraciones promedio diarias y móviles de 3 horas con el fin de compararlas con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Comportamiento de las concentraciones de SO₂. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 13705 (trece mil setecientos cinco) datos de concentraciones en promedios móviles de 3 horas, que representan el 91% de cobertura temporal de los posibles datos a medir en el periodo DEF 2014 – 2015.

En la Tabla 3-15 se muestra un resumen de la cobertura temporal por estación en esta base temporal, así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. En la Figura 3-38 se visualizan los promedios trimestrales, las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 158,1 μ g/m³ en la estación Kennedy el 13 de diciembre de 2014 a las 4:00 a.m., abarcando lo medido desde las 2:00 a.m. En la misma fecha a las 9:00 a.m. se reportó el máximo de Las Ferias, lo cual sugiere la posible ocurrencia de un evento de alta concentración. El segundo máximo fue reportado en Suba con un valor de 115,7 μ g/m³. En las demás estaciones, estos oscilan entre 11,5 μ g/m³ en San Cristóbal y 34,9 μ g/m³ en Tunal. Estos dos últimos valores ocurrieron el 7 de febrero de 2015, respectivamente.

De acuerdo al valor máximo de 158,1 $\mu g/m^3$, no se presentaron excedencias del límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 3 horas de 750 $\mu g/m^3$. Este valor representa el 21% del límite y, por tanto, el SO_2 no es susceptible de presentar excedencias de la normatividad nacional. Se evidencia además las altas diferencias existentes entre los promedios trimestrales y los máximos lo cual es muestra de la alta variabilidad de las concentraciones de este contaminante en Bogotá.

Tabla 3-15. Resumen de datos de SO₂ en base de 3 horas por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo [μg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	98%	115,7	18/12/2014 10:00
Las Ferias	79%	30,3	13/12/2014 09:00
Centro de Alto Rendimiento	97%	32,5	10/12/2014 00:00
Puente Aranda	92%	25,2	23/01/2015 10:00
Kennedy	95%	158,1	13/12/2014 04:00
Tunal	90%	34,9	07/02/2015 05:00
San Cristóbal	84%	11,5	07/02/2015 10:00



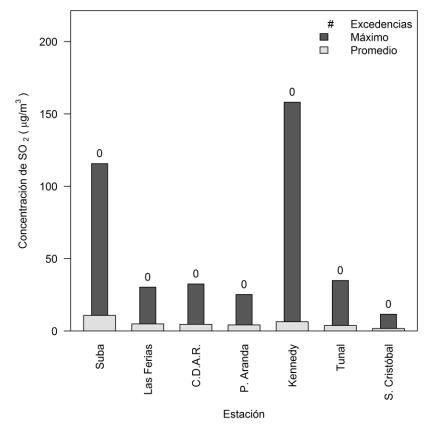


Figura 3-38. Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO₂ en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.

Comportamiento las concentraciones diarias de SO₂

Se analizaron 572 (quinientos setenta y dos) valores diarios cuya representatividad temporal global es 91% entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido en la Resolución 610 de 2010 (250 μ g/m³) y ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 μ g/m³). La Figura 3-39 y la Tabla 3-16 presentan un resumen de promedios trimestrales y concentraciones máximas diarias de SO₂. La máxima concentración diaria correspondió a 32,2 μ g/m³ el 13 de diciembre de 2014 en la estación Kennedy. En la misma fecha Las Ferias reportó su valor más alto con 13,3 μ g/m³. Las tendencias observadas son concordantes con las observadas en cuanto a los promedios móviles de 3 horas y muestran que las concentraciones horarias registradas en este día fueron lo suficientemente altas y persistentes como para afectar la magnitud del correspondiente valor diario. Adicionalmente, las otras estaciones también registraron valores altos durante este día.

La concentración diaria más alta de 32,2 μg/m³ representa el 13% del límite normativo diario de 250 μg/m³. Por tanto, no se presentaron excedencias para un tiempo de exposición de 24 horas. Este valor es seguido por Suba con 32,0 μg/m³ el 18 de diciembre de 2014. En esta estación se reportó el promedio trimestral más alto con un valor de 10,7 μg/m³ el cual





establece un contraste con los registrados en las demás estaciones teniendo en cuenta que estos oscilan entre 1,7 µg/m³ en San Cristóbal y 6,9 µg/m³ en Kennedy. Las tendencias observadas muestran que Suba y las estaciones localizadas al suroccidente de la ciudad están sujetas a altas concentraciones de este contaminante, posiblemente por la influencia de la combustión en vehículos de carga pesada que usan diésel como combustible así como en calderas industriales. Por último, es importante mencionar que los promedios de la Tabla 3-16 no son comparables con los límites máximos permisibles establecidos en la

Resolución 610 de 2010 al no considerarse un tiempo de exposición de tres meses.

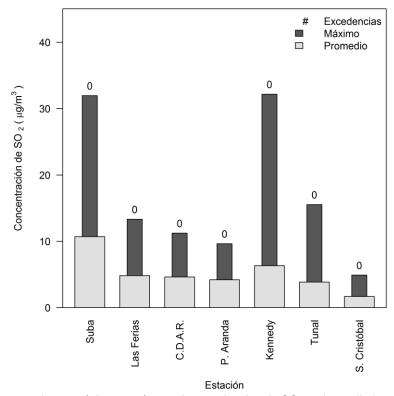


Figura 3-39. Concentraciones máximas y número de excedencias de SO₂ en base diaria por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Tabla 3-16. Resumen de los datos diarios de SO₂ por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m³)	Máximo (μg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	98%	10,7	32,0	18/12/2014
Las Ferias	79%	4,8	13,3	13/12/2014
Centro de Alto Rendimiento	98%	4,6	11,2	09/12/2014
Puente Aranda	92%	4,2	9,6	23/01/2015
Kennedy	97%	6,3	32,2	13/12/2014
Tunal	89%	3,9	15,5	06/02/2015
San Cristóbal	83%	1,7	4,9	07/02/2015



Calendario de contaminación por SO₂ durante el año 2014

La Figura 3-40, la Figura 3-41 y la Figura 3-42 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de SO_2 en los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 para tres estaciones de la RMCAB con concentraciones altas (Suba), concentraciones en rangos medios (Centro de Alto Rendimiento) y concentraciones bajas (San Cristóbal). Las diferencias en magnitudes entre estas tres estaciones son significativas evidenciando la alta heterogeneidad espacial en el comportamiento de este contaminante en la ciudad. En Suba se observa que el valor máximo de 32 μ g/m³ contrasta con los reportados en los demás días de diciembre, especialmente con los de las últimas dos semanas. Las concentraciones reportadas para este mes son mayores que las correspondientes a los meses de enero y febrero. En San Cristóbal no se cuenta con datos de concentraciones diarias para la primera mitad de enero.

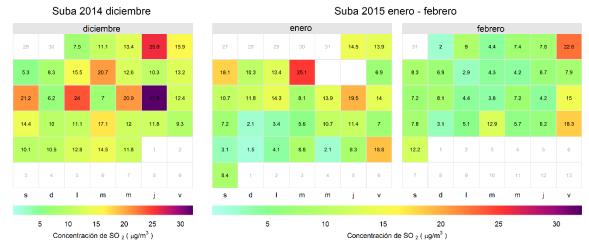


Figura 3-40. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 μg/m³.

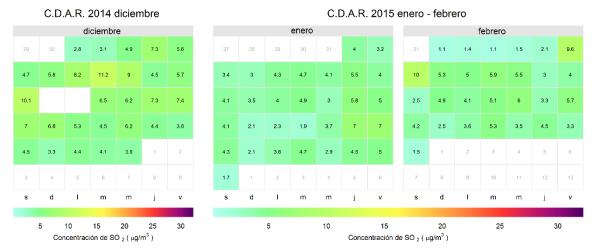


Figura 3-41. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo DEF 2014 – 2015 en la estación Centro de Alto Rendimiento. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 μg/m³.





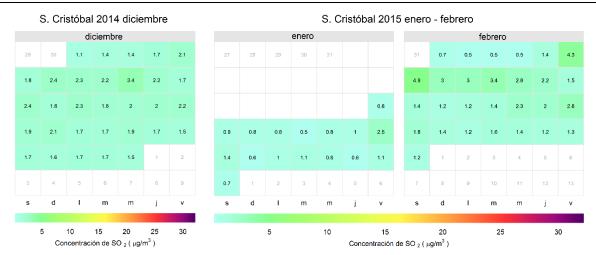


Figura 3-42. Diagrama calendario para SO₂ durante el periodo DEF 2014 - 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 μg/m³.

Comportamiento temporal de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-43 describe el comportamiento de las concentraciones diarias de SO_2 en función de los días de la semana por estación de monitoreo. En comparación con las demás estaciones, Suba mantiene notablemente los mayores niveles de dispersión y concentración en todos los días, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario sucede en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal.

Con excepción de Tunal y San Cristóbal, donde no hay una diferenciación clara entre los días de la semana, los domingos y los lunes se caracterizan por presentar las menores concentraciones, mientras que entre martes y viernes los niveles son mayores, lo cual está asociado al aumento de la actividad en la ciudad durante dichos días. Los valores máximos de 32,2 µg/m³ el sábado 13 de diciembre de 2014 en Kennedy y de 32,0 µg/m³ el jueves 18 de diciembre en Suba se encuentran notablemente alejados de los demás datos indicado que corresponden a episodios particulares de alta concentración en la ciudad.

La Figura 3-44 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 por estación de monitoreo. En Suba, Puente Aranda y Kennedy, las concentraciones disminuyen de forma progresiva entre diciembre y febrero, caso contrario a lo observado en Tunal. Para las demás estaciones no se observan tendencias definidas.



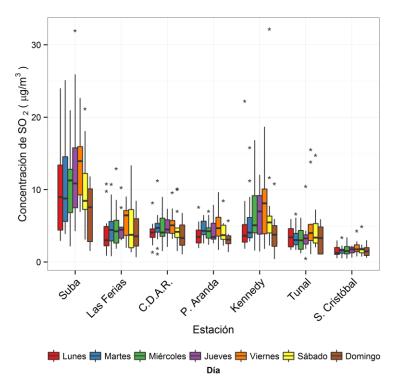


Figura 3-43. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el periodo DEF 2014 – 2015.

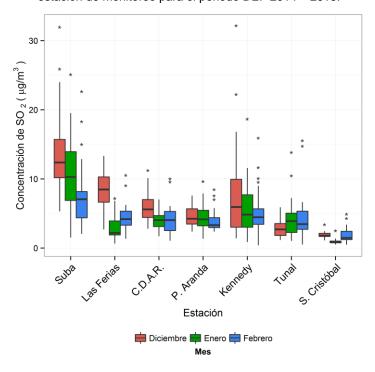


Figura 3-44. Comportamiento de las concentraciones diarias de SO₂ en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 por estación de monitoreo.



Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO₂

La Figura 3-45 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Conforme a las observaciones dadas en el aparte anterior, con excepción de Tunal y San Cristóbal, localizadas en el sur de la ciudad, los menores niveles de concentración se observan los lunes y los domingos. En todas las estaciones se observa que los viernes presentan las mayores magnitudes de la semana. En Suba y Kennedy se observan los ciclos más heterogéneos y los mayores rangos de intervalos de confianza, sugiriendo influencia significativa de emisiones de fuentes móviles. Las bajas concentraciones registradas en San Cristóbal impiden establecer diferencias entre los días de la semana.

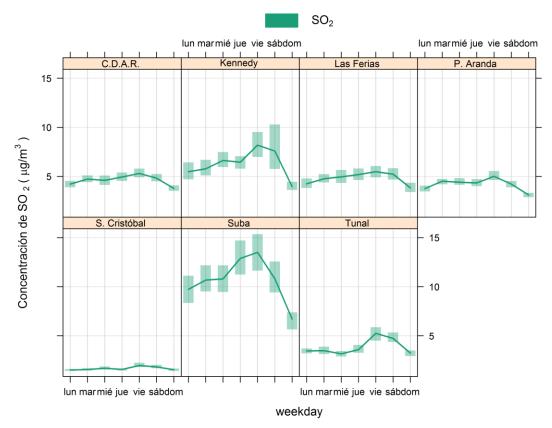


Figura 3-45. Ciclos semanales de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los perfiles diarios de la Figura 3-46 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en la presencia de niveles altos de este contaminante. En Suba se observa un pico de concentración pronunciado y posteriormente un descenso significativo de magnitudes en horas del mediodía y de la tarde, las cuales son inferiores incluso a las observadas en horas de la madrugada y de la noche. Este perfil es similar al correspondiente a PM_{2.5}, un hecho que indica que este tamaño de material





particulado tiene una asociación particular con las fuentes de combustión. En la estación Kennedy se presenta un pico adicional en horas de la madrugada cuya aparición se debe posiblemente al tráfico de vehículos de carga pesada en su zona de influencia.

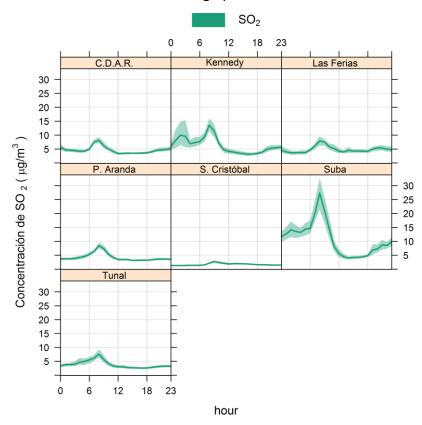


Figura 3-46. Ciclos diarios de las concentraciones de SO₂ para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el periodo DEF 2014 - 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Comportamiento histórico de los promedios diarios de SO₂

La Figura 3-47 presenta la distribución de las concentraciones diarias de SO₂ en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015 en función de las estaciones de monitoreo. En comparación con el periodo DEF 2013 – 2014, en el trimestre DEF 2014 – 2015 las magnitudes de las concentraciones diarias aumentaron considerablemente para Suba y en niveles no observados en todos los periodos estudiados. Conforme a la discusión de las secciones previas, es posible que en la zona de influencia de esta estación esté aumentando la actividad de las fuentes móviles, especialmente de vehículos de carga pesada. En Las Ferias las concentraciones aumentaron pero estableciendo una menor diferencia respecto al cambio en Suba. Por el contrario se observó disminución en Puente Aranda y niveles relativamente constantes en San Cristóbal. Para las demás estaciones no se cuenta con representatividad temporal en alguno de los dos periodos, imposibilitando la comparación.

La estación Puente Aranda presenta concentraciones relativamente altas en el trimestre DEF 2010 – 2011 las cuales descienden abruptamente en magnitudes y dispersión en el





periodo de 2011 a 2012 para continuar disminuyendo de forma progresiva. Aunque no se cuenta con representatividad temporal suficiente en Tunal para los periodos de 2011 a 2012 y de 2013 a 2014 se observa que en el transcurso de los años se han reducido los niveles de concentración. En general, todas las tendencias observadas dan evidencia de la alta heterogeneidad de Bogotá en relación a sus fuentes de emisión y correspondientes niveles de inmisión.

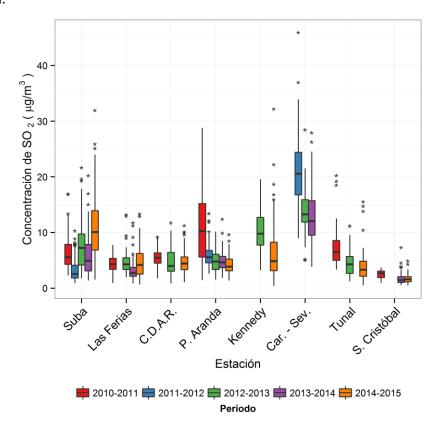


Figura 3-47. Gráfico de *boxplot* para SO₂ en base diaria por estación de monitoreo en los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

La Tabla 3-17 es el resumen de los máximos reportados en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados fue 96,4 μ g/m³ en la estación Carvajal – Sevillana el 25 de febrero de 2011. Las concentraciones de los demás trimestres se encuentran entre 27,9 μ g/m³ y 45,9 μ g/m³. Esta estación ha registrado continuamente las magnitudes más altas en la RMCAB en los periodos 2010 – 2011, 2011 – 2012, 2012 – 2013 y 2013 – 2014. En el trimestre entre 2014 y 2015 Carvajal – Sevillana no contó con mediciones de este contaminante. Ninguna concentración excede el límite máximo permisible diario de 250 μ g/m³. Adicionalmente no se supera el 50% de este límite, lo cual en consecuencia indica que el SO₂ representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.





Tabla 3-17. Resumen estadístico de los máximos diarios de SO₂ en los periodos comprendidos por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

Periodo DEF	Máximo μg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	96,4	25/02/2011	Carvajal - Sevillana
2011 – 2012	45,9	28/12/2011	Carvajal - Sevillana
2012 – 2013	28,5	19/12/2012	Carvajal - Sevillana
2013 – 2014	27,9	27/12/2013	Carvajal - Sevillana
2014 – 2015	32,2	13/12/2014	Kennedy





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

3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el periodo DEF 2014 – 2015 se contó con promedios horarios y móviles de 8 horas de monóxido de carbono (CO) para 7 estaciones, como se indica en la Tabla 1-1. La Resolución 610 de 2010 establece un límite normativo de 40 mg/m³ para un tiempo de exposición de 1 hora y de 10 mg/m³ para 8 horas.

Comportamiento de las concentraciones horarias de CO

Se obtuvieron 13239 (trece mil doscientos treinta y nueve) datos de promedios horarios de CO en las estaciones de la RMCAB para el periodo DEF 2014 - 2015. El porcentaje de captura de datos válidos para este contaminante fue de 88% con respecto al máximo posible de información a obtener en las estaciones que registraron mediciones en el periodo.

En la Tabla 3-18 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio trimestral, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron y en la Figura 3-48 se encuentran los promedios, máximos y excedencias en forma gráfica. Para la estación Las Ferias no es posible el reporte de un promedio trimestral representativo teniendo en cuenta que su cobertura temporal es inferior a 75%. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal - Sevillana y Puente Aranda, localizadas al suroccidente de la ciudad, lo cual indica que sus respectivas áreas de influencia se caracterizan por presentar alta actividad de fuentes de combustión, especialmente las relacionadas con fuentes móviles. Las menores concentraciones promedio trimestrales fueron observadas en San Cristóbal y Usaquén, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. Es importante destacar que los promedios trimestrales de la Tabla 3-18 son indicativos para la comparación mutua de las estaciones pero no contrastables con la normatividad nacional ya que esta no regula tiempos de exposición de tres meses.

Tabla 3-18. Resumen de datos horarios de CO por estación para el periodo DEF 2014 – 2015. Los promedios trimestrales son indicativos y no deben ser contrastados con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010.

Estación	% de datos válidos			Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	76%	0,7	2,4	16/01/2015 20:00
Centro de Alto Rendimiento	73%	N.R.	4,5	04/12/2014 00:00
Puente Aranda	100%	1,0	5,2	15/12/2014 02:00
Kennedy	89%	0,8	5,1	23/12/2014 07:00
Carvajal - Sevillana	87%	1,6	6,7	30/01/2015 07:00
Tunal	89%	0,8	4,4	23/12/2014 07:00
San Cristóbal	99%	0,6	3,7	23/01/2015 10:00

N.R.: No representativo. Los datos del periodo tienen una cobertura temporal inferior al 75% del número total posible en la estación.

El 23 de diciembre de 2014 a las 7:00 a.m. las estaciones Kennedy y Tunal coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas sugiriendo un episodio de alta concentración al





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

suroccidente de la ciudad. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB para el periodo DEF 2014 – 2015 fue 6,7 mg/m³ en la estación Carvajal – Sevillana el viernes 30 de enero de 2015 a las 7:00 a.m., el cual fue otro día con altos niveles de concentración en otras estaciones. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de una hora es 40 mg/m³, durante el trimestre analizado no se presentaron excedencias. Además y, en consecuencia, se destaca que todos los datos horarios se registraron por debajo del 50% del límite (20 mq/m^3).

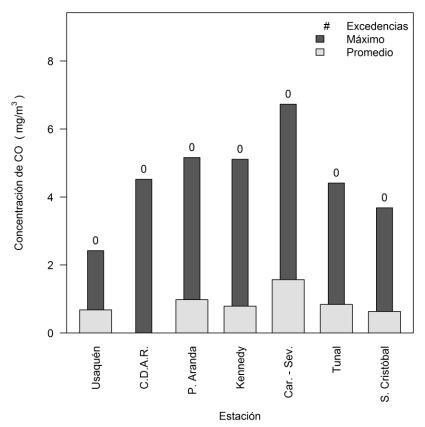


Figura 3-48. Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el periodo DEF 2014 - 2015.

Comportamiento de los promedios móviles de 8 horas para CO

En el periodo DEF 2014 - 2015 se calcularon 13203 (trece mil doscientos tres) promedios móviles de 8 horas de CO, equivalentes al 87% de los datos posibles en el año entre las estaciones que reportaron mediciones. La Tabla 3-19 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia. La Figura 3-49 muestra los valores de promedios trimestrales, máximos y número de excedencias del límite máximo permisible en forma gráfica.

De forma concordante al análisis de las concentraciones horarias, los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal - Sevillana y Puente Aranda y los menores en Usaguén y San Cristóbal. El máximo promedio móvil de 8 horas de monóxido de carbono





Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental

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

reportado en la RMCAB durante el periodo analizado fue 3,7 mg/m³ en Puente Aranda el 15 de diciembre de 2014 a las 5:00 a.m. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible correspondiente es 10 mg/m³ de acuerdo a la Resolución 610 de 2010, se puede afirmar que en ningún momento se presentaron excedencias. En la misma fecha a las 2:00 a.m., la estación Usaquén reportó su máximo con una concentración de 1,9 mg/m³. En el análisis de estas magnitudes es importante considerar que representan el promedio de las 8 horas anteriores cubriendo en este caso horas de la madrugada y de la noche del día anterior. El 23 de enero de 2015 entre las estacones Tunal y San Cristóbal reportaron su máximos a las 12:00 m. y 2:00 p.m., respectivamente, sugiriendo la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel ciudad.

Tabla 3-19. Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo (mg/m³)	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	77%	1,9	15/12/2014 02:00
Centro de Alto Rendimiento	73%	2,9	04/12/2014 04:00
Puente Aranda	100%	3,7	15/12/2014 05:00
Kennedy	89%	2,3	13/12/2014 10:00
Carvajal - Sevillana	86%	3,4	10/02/2015 11:00
Tunal	88%	2,3	23/01/2015 12:00
San Cristóbal	98%	2,8	23/01/2015 14:00

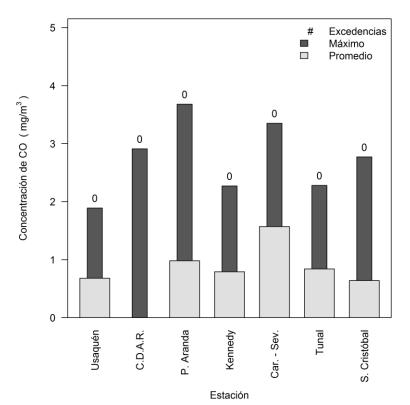


Figura 3-49. Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.



Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-50 presenta el comportamiento de las concentraciones de CO (promedios móviles de 8 horas) en función los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Los domingos se caracterizaron por presentar las concentraciones más bajas del trimestre, lo cual es consecuencia de la reducción de la actividad vehicular. Con excepción de Usaquén, los lunes son los siguientes días con bajos niveles, en los cuales se presenta un número notable de valores atípicos en Puente Aranda los cuales son los más altos registrados en la RMCAB; estos días se encuentran influenciados por los lunes festivos y por la reducción de actividades de los domingos. En general las magnitudes más altas se observaron en Carvajal – Sevillana, en el suroccidente, y en Usaquén, en el norte. Para la primera estación se observaron los mayores niveles de dispersión, lo cual se asocia al nivel de actividad de su zona de influencia.

El comportamiento de las estaciones en función de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 se muestra en la Figura 3-51. Para Usaquén, Puente Aranda y Kennedy, diciembre de 2014 fue el mes con las más altas concentraciones. No se observa una tendencia generalizada en la RMCAB en cuando a la evolución de las concentraciones de CO por mes, caso contrario al PM₁₀ para el cual las menores concentraciones se presentaron en el mes de enero de 2015 aunque, con excepción de Usaquén, los mayores niveles de dispersión fueron observados en diciembre de 2014.

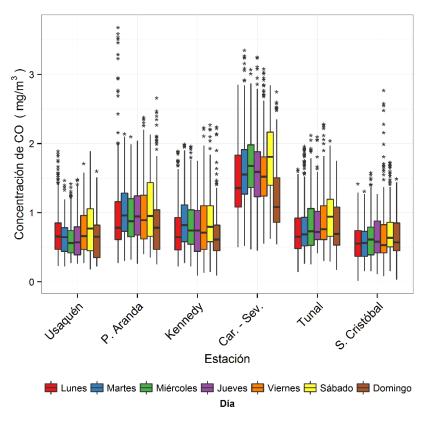


Figura 3-50. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el periodo DEF 2014 – 2015.



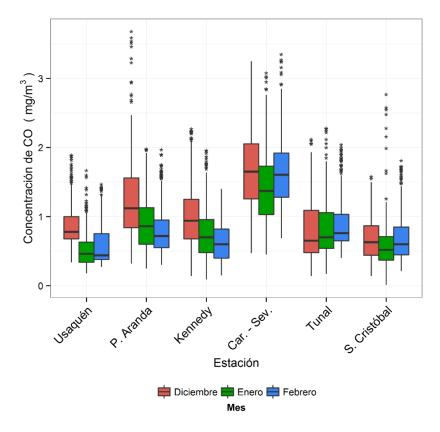


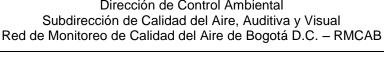
Figura 3-51. Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015 por estación de monitoreo.

Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de CO

La Figura 3-52 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. El ciclo más heterogéneo y las concentraciones más altas se observaron en la estación Carvajal-Sevillana estableciendo una diferencia significativa con respecto a los correspondientes a las demás estaciones. Esto se observa especialmente en los días domingo que muestran un descenso significativo y evidencian la alta influencia de sus alrededores inmediatos. En Tunal y San Cristóbal los lunes son días con bajas concentraciones, mientras que para las demás estaciones estos son comparables con los días comprendidos entre martes y sábados. Los sábados son los días con las más altas concentraciones en las estaciones analizadas.

La Figura 3-53 presenta el comportamiento en función de las horas del día. En general se observa un pico de concentración en la mañana, lo cual está acorde con el comportamiento del flujo vehicular de la ciudad que tiende a ser mayor entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. En horas de la noche, después de las 6:00 p.m., se presenta un nuevo aumento de concentración que coincide con la denominada "hora pico" de la tarde, el cual es menos notorio en Usaquén.





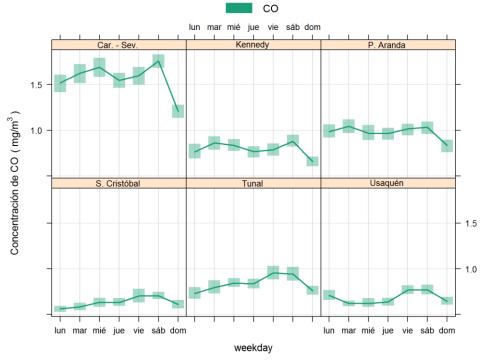


Figura 3-52. Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el periodo DEF 2014 – 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

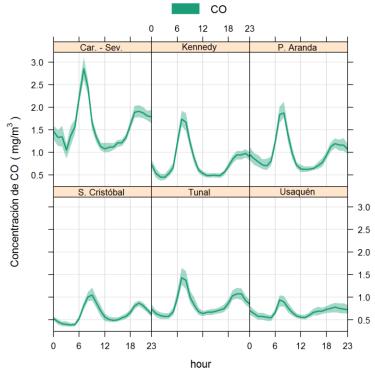


Figura 3-53. Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo DEF 2014 – 2015 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.



Comportamiento histórico de las concentraciones de monóxido de carbono.

En la Figura 3-54 se encuentra la tendencia histórica de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas en las estaciones de la RMCAB durante los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015. Con una diferencia notable, las mayores concentraciones se han observado en la estación Carvajal – Sevillana, lo cual sugiere una mayor influencia de las fuentes móviles. Para esta estación se observó una reducción de los niveles de concentración entre los periodos DEF 2010 – 2011 y 2012 – 2013, tendencia que fue interrumpida por un aumento hasta el periodo DEF 2014 – 2015.

En comparación con el periodo DEF 2013 – 2014, en DEF 2014 – 2015 las concentraciones aumentaron en Puente Aranda y Carvajal – Sevillana localizadas al suroccidente de la ciudad. Por el contrario, disminuyeron en Kennedy y Tunal. Para las demás estaciones no hay representatividad temporal suficiente en uno o ambos periodos. En Kennedy se observa una tendencia decreciente de las concentraciones en los 5 periodos analizados. Se observa que ninguna concentración móvil de 8 horas ha excedido el límite máximo permisible de 10 mg/m³ en los 5 trimestres analizados.

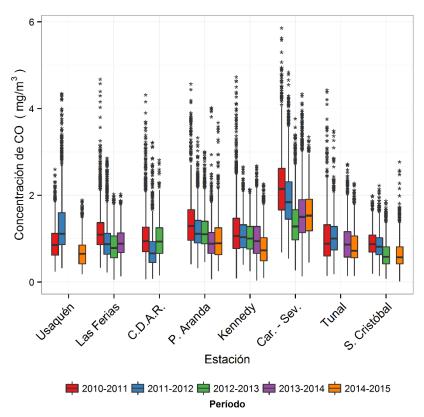


Figura 3-54. Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo en el periodo comprendido por los meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

El resumen de máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas en los meses de diciembre, enero y febrero entre 2010 y 2015 se presenta en la Tabla 3-20. La





máxima concentración de monóxido de carbono de los trimestres estudiados fue 5,9 mg/m³ en la estación Carvajal – Sevillana el 17 de diciembre de 2010 a las 2:00 a.m. Esta estación se ha caracterizado por reportar las concentraciones más altas en los periodos DEF entre 2010 y 2014 lo cual es un comportamiento esperado teniendo en cuenta que su zona de influencia está sujeta a alta actividad de fuentes de combustión. En el trimestre entre 2014 y 2015, Puente Aranda reportó el máximo de la RMCAB con 3,7 mg/m³ el 15 de diciembre de 2014 a las 5:00 a.m. Se observa que todos los máximos se reportaron en horas de la mañana y en este punto es importante considerar que estos valores representan las concentraciones medidas en las 8 horas anteriores al tratarse de promedios móviles. Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es 10 mg/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.

Tabla 3-20. Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios móviles de 8 horas en los

meses de diciembre, enero y febrero entre los años 2010 y 2015.

Periodo DEF	Máximo mg/m³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010 – 2011	5,9	17/12/2010 02:00	Carvajal - Sevillana
2011 – 2012	4,8	24/12/2011 04:00	Carvajal - Sevillana
2012 – 2013	3,8	16/12/2012 04:00	Carvajal - Sevillana
2013 – 2014	4,3	07/02/2014 07:00	Carvajal - Sevillana
2014 – 2015	3,7	15/12/2014 05:00	Puente Aranda





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, NO₂, CO y SO₂). 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 en el *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire* del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), la cual, a su vez, está basada en los lineamientos dados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA, donde se establecen puntos de corte para cada contaminante de acuerdo al tiempo de exposición y al grado de afectación que tendría sobre la salud, asignándole un rango y una clasificación; (bueno, moderado, dañino a la salud para grupos sensibles, dañino a la salud, muy dañino a la salud y peligroso), tal y como lo muestra la Tabla 3-21.

Tabla 3-21. Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h Ppm (1)	PM ₁₀ 24h 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 NO_2 se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.

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

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



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 3-55 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de PM₁₀ en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Las diferencias en la proporción del ICA entre los sitios de monitoreo muestra la alta variabilidad en las características de sus zonas de influencia. Con excepción de San Cristóbal, en las estaciones localizadas en el sur y suroccidente de la ciudad predomina la categoría "moderada" para PM₁₀. La zona que representan estas estaciones está sujeta a alta actividad de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada. La categoría "moderada" en PM₁₀ implica un riesgo a la salud, especialmente para personas con enfermedades respiratorias. En las demás estaciones se observa la predominancia de la categoría "buena", entre las que se destacan Guaymaral y Usaquén, ubicadas al norte de la ciudad.

Aunque no es notorio en la Figura 3-55, en Kennedy y en Carvajal, dos días presentaron la categoría "Dañina a la salud para grupos sensibles" correspondiendo al 24 de febrero de 2015 entre 11:00 a.m. y 1:00 p.m. y al 18 de diciembre de 2014 a las 8:00 a.m. 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.

La Figura 3-56 muestra la discriminación del ICA de PM₁₀ en función de los meses de diciembre de 2014 y enero y febrero de 2015. El mes con la mejor calidad del aire en términos de PM₁₀ fue enero y esto se atribuye principalmente al cambio de dinámica de la ciudad durante sus primeros días atendiendo a la temporada vacacional. Diciembre y febrero presentaron un comportamiento similar en los cuales la participación de las categorías "buena" y "moderada" es aproximadamente similar.

La Figura 3-57 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. De martes a sábado ocurre la mayor afectación mientras que los lunes y domingos presentaron una mejor calidad del aire en términos de este contaminante. En los sábados se observa la mayor participación de la categoría "moderada". 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 reducción de actividades vehiculares e industriales de los domingos influyan en su mejor calidad del aire.

La Figura 3-58 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM_{10} durante el periodo DEF 2014 – 2015. La categoría "Buena" se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría con excepción de Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal que representaron una predominancia de la categoría "moderada". El mayor valor promedio de ICA correspondió a 69 en la estación de Carvajal-Sevillana mientras que el menor fue observado en Usaquén con 33.



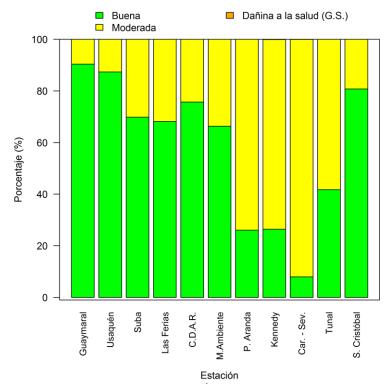


Figura 3-55. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

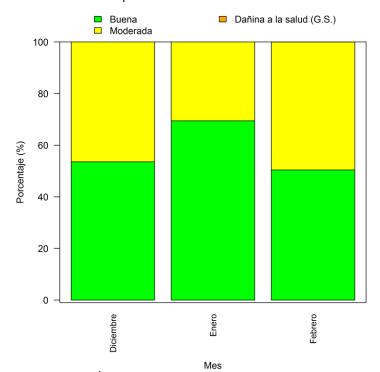


Figura 3-56. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para los meses del periodo DEF 2014 – 2015.





Figura 3-57. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) por día de la semana para el periodo DEF 2014 – 2015.

Día de la Semana

Viernes

Sábado Domingo

Martes Miércoles Jueves

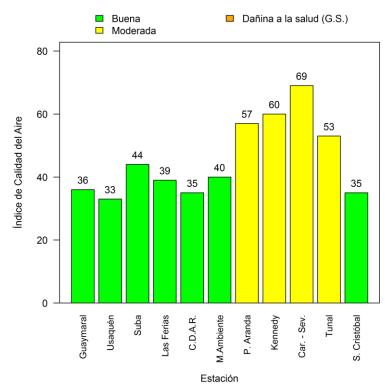


Figura 3-58. Índice de Calidad del Aire promedio de PM₁₀ para las estaciones de la RMCAB para el periodo DEF 2014 – 2015.



20

Lunes



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 μ 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 3-59 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. En general, la calidad del aire en términos de este contaminante se enmarcó en las categorías "buena", "moderada", "dañina a la salud para grupos sensibles" y "dañina a la salud", las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. En concordancia con el análisis realizado para PM₁₀, las estaciones con la calidad del aire más crítica fueron Kennedy, Carvajal – Sevillana y Tunal las cuales, como se ha mencionado previamente, se localizan el suroccidente y sur de la ciudad donde es mayor la afectación por fuentes fijas, móviles y de área.

En Kennedy y Tunal se destaca la participación de la categoría "dañina a la salud", la cual implica la agravación de enfermedades cardiacas o respiratorias y 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. Se presentó el 8 de diciembre de 2014 entre las 2:00 a.m. y las 9:00 p.m. En la sección correspondiente al análisis de las concentraciones diarias de PM_{2.5} se mencionó que cinco estaciones coincidieron en el reporte de concentraciones máximas el 7 de diciembre de 2014. Al tratarse de promedios móviles de 24 horas, los efectos de estas concentraciones altas en los valores del ICA impactaron al día siguiente teniendo en cuenta el respectivo tiempo de exposición. Las estaciones con una mejor calidad del aire en términos de PM_{2.5} fueron Usaquén y San Cristóbal en las cuales participaron únicamente las categorías "buena" y "moderada" con mayor proporción de la primera. En Guaymaral se observó una participación leve de la categoría "dañina a la salud para grupos sensibles" correspondiente al 8 de diciembre de 2014 y al 17 de enero de 2015, pero mayor proporción de una calidad del aire "moderada".

La Figura 3-60 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses del periodo DEF 2014 – 2015. En los tres meses se observa la participación de las categorías "buena", "moderada" y "dañina a la salud para grupos sensibles", las cuales tienen proporciones similares en diciembre y febrero. La ocurrencia de niveles de ICA con la categoría "dañino a la salud" es exclusiva de diciembre de 2014. Los niveles más saludables de calidad del aire en términos de este contaminante fueron observados en enero, lo cual se atribuye al cambio en la dinámica de la ciudad, tal como fue discutido en la sección previa.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-61 muestra la participación de las categorías "buena", "moderada" y "dañina a la salud para grupos sensibles" en todos los días. Los domingos y los lunes presentaron mejor calidad del aire por su mayor participación de la categoría "buena" a pesar de que en los últimos se concentran los ICA de la categoría "dañino a la salud". De forma concordante con los índices observados para PM₁₀, la menor participación de una calidad del aire "buena" fue observada en los sábados así como la mayor proporción de la categoría "dañina a la salud para grupos sensibles".



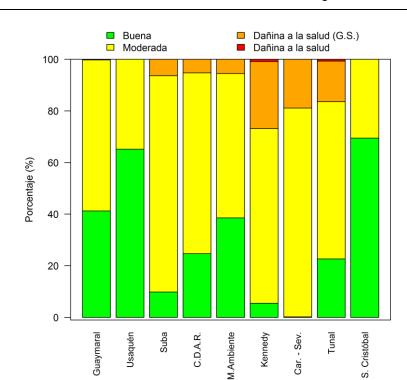
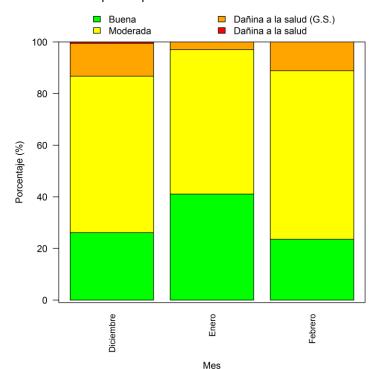


Figura 3-59. Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} por estación para el periodo DEF 2014 – 2015.

Estación



Mes

Figura 3-60. Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{2.5} en los meses del periodo DEF 2014 – 2015.





Los valores de ICA de la Figura 3-62 durante el año 2014 muestran que, con excepción de Usaquén y San Cristóbal, todas las estaciones presentaron valores promedio por encima de las 50 unidades, lo que las clasifica en la categoría "moderada". El valor promedio de ICA más alto fue 86 en las estaciones Kennedy y Carvajal — Sevillana. A manera de contraste, en Usaquén y San Cristóbal se observaron las magnitudes más bajas con valores de 41 y 38, respectivamente.

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 el periodo DEF 2014 – 2015 demostraron una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como a la ocurrencia de episodios de alta contaminación.

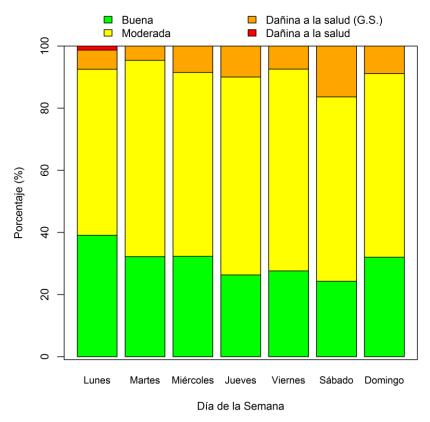


Figura 3-61 Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM_{2.5} por día de la semana para el periodo DEF 2014 – 2015.



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

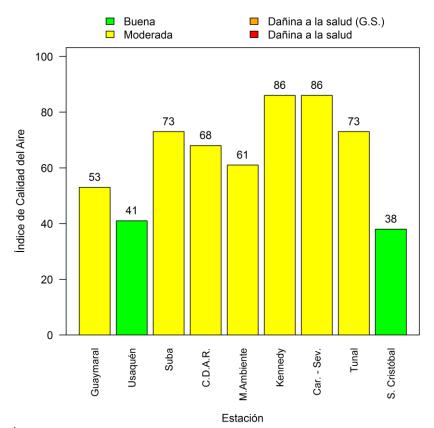


Figura 3-62. Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM_{2.5} en el periodo DEF 2014 – 2015.

3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

La Figura 3-63, la Figura 3-64 y la Figura 3-65 presentan los índices de calidad del aire promedio por estación para el periodo DEF 2014 - 2015 en los contaminantes O₃, SO₂ y CO en tiempos de exposición de 8 horas, 24 horas y 8 horas, respectivamente. No se presentan resultados para el dióxido de nitrógeno teniendo en cuenta que en este contaminante solamente se consideran valores de ICA superiores a 200, correspondientes a una concentración de 650 ppb o 1222 µg/m³ en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de NO2 medida por la RMCAB en el periodo DEF 2014 -2015 fue 164 µg/m³ en la estación Puente Aranda, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

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 en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría "Buena" en el año. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO₂ teniendo en cuenta que el máximo valor promedio fue 6 en la estación Suba.





El máximo valor de ICA para ozono fue 14 en la estación Usaquén y es seguido por Las Ferias con 12 unidades. Estos resultados son concordantes con los análisis llevados a cabo en apartados anteriores teniendo en cuenta que las concentraciones más altas fueron observadas en el norte de la ciudad, exceptuando Suba la cual junto con Carvajal registraron los valores más bajos de ICA con 8 y 7 unidades, respectivamente. En general todas las estaciones se mantuvieron en promedio en la categoría "Buena". Sin embargo, al observar de forma individual los promedios de 8 horas se observa que Usaquén alcanzó la categoría "Moderada" el 18 de febrero de 2015 a las 6:00 p.m. y 7:00 p.m. con valores de ICA de 58 y 54, respectivamente. La categoría "Moderada" de ozono implica que las personas inusualmente sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios. Las demás horas del conjunto de datos del trimestre se enmarcaron en la categoría "Buena".

Los índices de calidad del aire para el dióxido de azufre muestran un valor máximo de 6 en la estación Suba, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría "Buena" y "Moderada". Este valor es seguido por 4 en Kennedy, 3 en Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento, 2 en Puente Aranda y Tunal y 1 en San Cristóbal. Las tendencias en Suba y Kennedy sugieren una actividad de emisión de SO₂ mayor en horas de la madrugada y de la mañana, en comparación con las demás estaciones, lo que estaría asociado a vehículos de carga pesada.

En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 16 en la estación Carvajal-Sevillana. Como se ha mencionado previamente, en la zona de influencia de esta estación predomina alta actividad relacionada con la emisión de fuentes industriales y móviles cuyos procesos de combustión favorecen la emisión de monóxido de carbono. Este valor de ICA es seguido por 10 en Puente Aranda y 8 en Kennedy y Tunal, demostrando un amplio contraste en las tendencias de la calidad del aire en la ciudad. Todos los promedios móviles de 8 horas del trimestre se enmarcaron en la categoría "Buena".

En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.





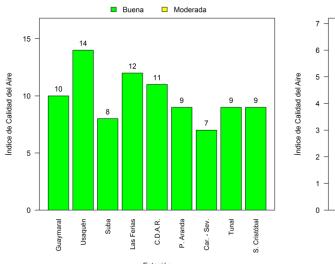


Figura 3-63. Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O₃). Base de 8 horas.

Figura 3-64. Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO₂). Base diaria.

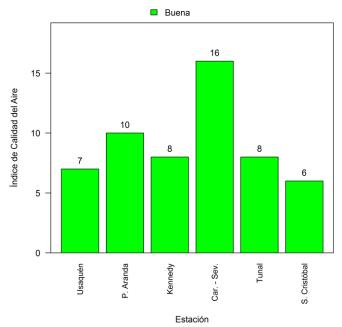


Figura 3-65. Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.





3.4. Síntesis de resultados

Esta sección contiene una síntesis de resultados por contaminante por medio de tablas indicativas. Para cada caso se presenta el comportamiento de los promedios en las bases temporales estudiadas para el periodo DEF 2014 – 2015.

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 trimestre 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 excedieron el límite normativo 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 del límite máximo permisible, lo que da un indicativo de la susceptibilidad presentar excedencias. La última columna presenta los valores de los promedios trimestrales los cuales son indicativos al no estar regulado un tiempo de exposición trimestral en la Resolución 610 de 2010.





MinAmbiente

Carvajal-Sevillana

Subtotal

Kennedy

Subtotal

Subtotal

San Cristóbal

Tunal

Centro

Suroccidente

Sur

Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental 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 micrómetros (PM_{2.5}), diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

[Norma diaria: 50 µg/m³; Resolución 610 de 2010] No de % de No. datos No. datos datos datos entre el entre el Promedio No de Representatividad Máximo Zona Nombre de la Estación 50% v el 75% y el Max/Norma trimestral aue aue [µg/m³] promedios **Temporal** exceden exceden 75% de la 100% de $(\mu g/m^3)^{12}$ la norma la norma norma la norma Guaymaral 88 98% 0,0% 15 0 37 0,7 18 77 86% 0 0.0% 8 0 32 14 Norte Usaquén 0,7 Subtotal 165 92% 0 0.0% 23 0 37 0,7 16 Suba 85 94% 0 0.0% 33 8 44 0.9 26 Noroccidente Las Ferias 24 27% 0 0.0% 10 4 40 N.R. 8,0 Subtotal 109 61% 0 0,0% 43 12 44 0,9 26 Centro de Alto Rendimiento 83 92% 0 0,0% 29 8 45 0,9 23

0

0

6

1

7

5

0

5

0.0%

0,0%

6.7%

1,1%

4,0%

5.6%

0.0%

2.8%

25

54

28

47

75

25

0

25

11

19

26

26

52

13

0

13

44

45

59

64

64

61

25

61

0,9

0,9

1.2

1,3

1,3

1.2

0,5

1.2

22

23

33

33

33

27

12

20

Información de los promedios diarios de concentración de PM_{2.5}

99% N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

100%

96%

99%

98%

98%

99%

100%

¹² Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.



Informe Trimestral de Calidad del Aire Diciembre 2014 – enero 2015 – febrero 2015 Página 101 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0

90

173

89

88

177

89

90

179



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

Tabla 3-23 Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM₁₀) diciembre – epero – febrero 2014 – 2015

		Informaci	ón de los promedio [Norma: 100 μg/m³;				/I 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	Promedio trimestral (µg/m³) ¹³
	Guaymaral	86	96%	0	0%	15	0	73	0,7	39
Norte	Usaquén	90	100%	0	0%	15	0	74	0,7	36
	Subtotal	176	98%	0	0%	30	0	74	0,7	38
	Suba	83	92%	0	0%	33	1	86	0,9	49
Noroccidente	Las Ferias	84	93%	0	0%	28	4	84	0,8	44
	Subtotal	167	93%	0	0%	61	5	86	0,9	47
	Centro de Alto Rendimiento	85	94%	0	0%	22	4	80	0,8	39
Centro	MinAmbiente	90	100%	0	0%	35	3	90	0,9	45
	Subtotal	175	97%	0	0%	57	7	90	0,9	42
	Puente Aranda	87	97%	9	10%	32	28	126	1,3	70
Suroccidente	Kennedy	90	100%	16	18%	35	24	152	1,5	76
Suroccidente	Carvajal – Sevillana	85	94%	31	36%	18	31	149	1,5	92
	Subtotal	262	97%	56	21%	85	83	152	1,5	79
	Tunal	90	100%	9	10%	36	16	114	1,1	63
Sur	San Cristóbal	86	96%	0	0%	19	4	98	1,0	39
	Subtotal	176	98%	9	5%	55	20	114	1,1	51

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

¹³ Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.





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

Tabla 3-24. Consolidado de los promedios horarios de O₃, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

	Información de los promedios horarios de concentración de O₃ [Norma: 120 μg/m³]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [µg/m³]	Max/Norma		
	Guaymaral	2153	100%	1	0,1%	118	29	124	1,0		
Norte	Usaquén	2064	96%	12	0,6%	207	79	151	1,3		
	Subtotal	4217	98%	13	0,3%	325	108	151	1,3		
	Suba	2130	99%	0	0,0%	50	0	88	0,7		
Noroccidente	Las Ferias	2060	95%	0	0,0%	93	14	118	1,0		
	Subtotal	4190	97%	0	0,0%	143	14	118	1,0		
	Centro de Alto Rendimiento	2130	99%	8	0,4%	153	30	148	1,2		
Centro	MinAmbiente	111	5%	0	0,0%	1	0	73	0,6		
	Subtotal	2241	52%	8	0,4%	154	30	148	1,2		
	Puente Aranda	2053	95%	1	0,1%	82	26	126	1,1		
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	1868	86%	0	0,0%	36	3	103	0,9		
	Subtotal	3921	91%	1	0,0%	118	29	126	1,1		
	Tunal	2064	96%	0	0,0%	40	2	102	0,9		
Sur	San Cristóbal	2154	100%	0	0,0%	8	0	73	0,6		
	Subtotal	4218	98%	0	0,0%	48	2	102	0,9		





Subtotal

Secretaría Distrital de Ambiente Dirección de Control Ambiental 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 móviles de 8 horas de O₃, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de O₃ [Norma: 80 µg/m³] No. datos No de % de No. de entre el Promedio Representatividad No de datos que datos que datos entre Máximo Zona Nombre de la Estación 75% y el Max/Norma trimestral promedios **Temporal** exceden exceden el 50% y el $[\mu g/m^3]$ 100% de $(\mu g/m^3)^{14}$ la norma la norma 75% norma la norma Guaymaral 2152 100% 10 0,5% 244 73 95 1,2 22 Usaquén 2064 96% 119 5.8% 284 146 121 1.5 34 Norte Subtotal 4216 98% 129 3,1% 528 219 121 1,5 28 Suba 2132 99% 0 0,0% 152 26 70 0.9 19 Las Ferias 2031 94% 6 0,3% 295 54 91 1,1 27 Noroccidente 4163 96% 6 447 80 91 1,1 23 Subtotal 0,1% 26 98% 25 1,2% 91 97 1,2 Centro de Alto Rendimiento 2127 349 Centro MinAmbiente 113 5% 0 0,0% 5 0 43 0,5 N.R. Subtotal 2240 52% 25 1,1% 354 91 97 1,2 26 95% 10 198 52 90 20 Puente Aranda 2057 0.5% 1,1 Suroccidente Carvajal-Sevillana 85% 0 83 17 70 16 1838 0.0% 0.9 Subtotal 3895 90% 10 0,3% 281 69 90 1,1 18 Tunal 2052 95% 0 0,0% 158 8 67 8.0 22 Sur San Cristóbal 2160 100% 0 0,0% 82 0 54 0,7 20

0

0,0%

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

98%

¹⁴ Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.



8

67

0,8

21

240

4212



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

Tabla 3-26. Consolidado de los promedios horarios de NO₂, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

	Ir	nformación d	e los promedios ho rma: 200 μg/m³; Res	rarios de c	oncentraci				
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [μg/m³]	Max/Norma
Norte	Guaymaral	2087	97%	0	0,0%	1	0	106	0,5
Norte	Subtotal	2087	97%	0	0,0%	1	0	106	0,5
	Suba	2097	97%	0	0,0%	0	0	99	0,5
Noroccidente	Las Ferias	1813	84%	0	0,0%	35	2	156	0,8
	Subtotal	3910	91%	0	0,0%	35	2	156	0,8
Centro	Centro de Alto Rendimiento	1973	91%	0	0,0%	3	0	124	0,6
Centro	Subtotal	1973	91%	0	0,0%	3	0	124	0,6
	Puente Aranda	1930	89%	0	0,0%	34	2	164	0,8
Suroccidente	Kennedy	2150	100%	0	0,0%	1	0	102	0,5
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	1385	64%	0	0,0%	12	1	162	0,8
	Subtotal	5465	84%	0	0,0%	47	3	164	0,8
e	Tunal	2103	97%	0	0,0%	5	0	126	0,6
Sur	Subtotal	2103	97%	0	0,0%	5	0	126	0,6





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

Tabla 3-27. Consolidado de los promedios diarios de NO₂, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de NO2 [Norma: 150 µg/m³; Resolución 610 de 2010] No de No. datos % de No. de datos entre el Promedio No de Representatividad datos que datos entre Máximo Zona Nombre de la Estación 75% y el Max/Norma trimestral que promedios **Temporal** exceden el 50% y el $[\mu g/m^3]$ 100% de $(\mu g/m^3)^{15}$ exceden la norma 75% norma la norma la norma 0 0 25 Guaymaral 89 99% 0.0% 43 0,3 Norte Subtotal 89 0 0 0,3 25 99% 0,0% 0 43 Suba 88 0 0 0 23 98% 0,0% 45 0,3 Noroccidente Las Ferias 75 0 4 0 87 0,6 45 83% 0.0% Subtotal 163 91% 0 0,0% 4 0 87 0,6 34 78 87% 0 0,0% 0 0 58 0,4 32 Centro de Alto Rendimiento Centro Subtotal 78 87% 0 0 0 0,4 32 0,0% 58 80 89% 0 2 0 40 Puente Aranda 0.0% 93 0,6 90 100% 0 0 0 34 Kennedy 0,0% 53 0,4 Suroccidente Carvajal-Sevillana 0 2 0 0,5 57 63% 0.0% 80 N.R. Subtotal 227 0 0 37 84% 0,0% 4 93 0,6 Tunal 87 97% 0 0,0% 0 0 57 0,4 28 Sur Subtotal 87 97% 0 57 0,4 28 0,0%

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

¹⁵ Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.





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

Tabla 3-28. Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO₂, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO₂ [Norma: 750 µg/m³; Resolución 610 de 2010] No de No. datos No. datos datos datos entre el entre el No de Representatividad Máximo Zona Nombre de la Estación que que 50% y el 75% y el Max/Norma promedios **Temporal** $[\mu g/m^3]$ 75% de la 100% de exceden exceden la norma la norma norma la norma 98% 0 0 Suba 2110 0.0% 0 115,7 0,15 Noroccidente Las Ferias 1712 79% 0 0.0% 0 0 0.04 30,3 0 0 0 Subtotal 3822 88% 0,0% 115,7 0,15 Centro de Alto Rendimiento 97% 0 0 0 0.04 2086 0.0% 32,5 Centro Subtotal 2086 97% 0 0,0% 0 0 32,5 0,04 Puente Aranda 1987 92% 0 0,0% 0 0 25,2 0,03 Suroccidente 2060 95% 0 0.0% 0 0 158,1 0,21 Kennedy 94% 0 0 0 Subtotal 4047 0,0% 158,1 0,21 90% 0 0 0 0,05 Tunal 1946 0,0% 34,9 Sur San Cristóbal 0 0 0 1804 84% 0.0% 11,5 0.02 3750 87% 0 0 0 34,9 Subtotal 0,0% 0,05





Tabla 3-29. Consolidado de los promedios diarios de SO₂, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

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	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	Promedio trimestral (μg/m³) ¹⁶	
	Suba	88	98%	0	0,0%	0	0	32,0	0,13	10,7	
Noroccidente	Las Ferias	71	79%	0	0,0%	0	0	13,3	0,05	4,8	
	Subtotal	159	88%	0	0,0%	0	0	32,0	0,13	7,8	
Centro	Centro de Alto Rendimiento	88	98%	0	0,0%	0	0	11,2	0,04	4,6	
Centro	Subtotal	88	98%	0	0,0%	0	0	11,2	0,04	4,6	
	Puente Aranda	83	92%	0	0,0%	0	0	9,6	0,04	4,2	
Suroccidente	Kennedy	87	97%	0	0,0%	0	0	32,2	0,13	6,3	
	Subtotal	170	94%	0	0,0%	0	0	32,2	0,13	5,3	
	Tunal	80	89%	0	0,0%	0	0	15,5	0,06	3,9	
Sur	San Cristóbal	75	83%	0	0,0%	0	0	4,9	0,02	1,7	
	Subtotal	155	86%	0	0,0%	0	0	15,5	0,06	2,8	

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

¹⁶ Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.





Subtotal

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

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

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios horarios de CO, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

4057

Información de los promedios horarios de concentración de CO [Norma: 40 mg/m³; Resolución 610 de 2010] No. datos No de % de No. de entre el Representatividad No de datos que datos que datos entre Máximo Promedio Zona Nombre de la Estación 75% y el Max/Norma promedios **Temporal** exceden la exceden la el 50% y el [mg/m³] $(mg/m^3)^{17}$ 100% de norma norma 75% norma la norma 76% 0 0 0 Usaquén 1652 0.0% 2,4 0,1 0,7 **Norte** Subtotal 1652 76% 0 0 0 0,0% 2,4 0,1 0,7 Centro de Alto Rendimiento 1577 0 0 0 73% 0,0% 4,5 0.1 N.R. Centro Subtotal 1577 73% 0 0,0% 0 0 0,1 N.R. 4,5 Puente Aranda 2151 100% 0 0,0% 0 0 5,2 0,1 1,0 1922 89% 0 0,0% 0 0 5,1 0,1 8,0 Kennedy Suroccidente Carvajal-Sevillana 1880 87% 0 0.0% 0 0 6,7 0,2 1,6 92% 0 0 0 Subtotal 5953 0,0% 6,7 0,2 1,1 Tunal 89% 0 0 0 1926 0,0% 4,4 0,1 8,0 San Cristóbal 2131 99% 0 0 0 Sur 0.0% 3,7 0,1 0,6

0

0,0%

N.R.: No Representativo. La serie de datos respectiva presentó una cobertura temporal inferior a 75% del total posible a medir durante el trimestre.

94%

¹⁷ Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.



0

4,4

0,1

0,7

0



Subtotal

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

Tabla 3-31. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, diciembre – enero – febrero 2014 – 2015.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO [Norma: 10 mg/m³] No. datos No de % de datos No. de entre el Representatividad datos que Máximo No de que datos entre Zona Nombre de la Estación 75% y el Max/Norma promedios **Temporal** exceden exceden la el 50% y el [mg/m³] 100% de la norma norma 75% norma la norma 77% 0 0 0 Usaquén 1653 0.0% 1,9 0,2 Norte Subtotal 1653 77% 0 0 0 0,0% 1,9 0,2 Centro de Alto Rendimiento 73% 0 0 0 1575 0,0% 2,9 0,3 Centro Subtotal 1575 73% 0 0.0% 0 0 2,9 0,3 0 0 Puente Aranda 2153 100% 0 0,0% 3,7 0,4 1919 89% 0 0,0% 0 0 2,3 0,2 Kennedy Suroccidente Carvajal-Sevillana 1866 86% 0 0.0% 0 0 3,4 0,3 92% 0 0 0 0,4 Subtotal 5938 0,0% 3,7 Tunal 88% 0 0,0% 0 0 0,2 1911 2,3 San Cristóbal Sur 98% 0 0.0% 0 0 0,3 2126 2,8

0

0,0%



0

0

2,8

0,3

4037

93%



4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas durante el trimestre diciembre de 2014, enero y febrero de 2015 (DEF) asociado a la segunda temporada de menos lluvias en la ciudad de Bogotá. 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 finales de 2014 e inicios de 2015 se presentó una fase neutral según los informes emitidos por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), en donde el índice oceánico de EL NIÑO (ONI) alcanzó el valor de 0.5°C en el trimestre diciembre enero febrero (DEF). Esto significa que durante el trimestre, la lluvia y otras variables meteorológicas respondieron a la climatología y a eventos de escala menor, con tendencia a valores promedio.

Generalidades climatológicas de Bogotá:

El comportamiento de los vientos en Colombia responde al flujo de los alisios del noreste y sureste, los cuales confluyen en la zona tropical formando la llamada zona de convergencia intertropical (ZCIT), que al desplazarse sobre el territorio debido al cambio relativo de la incidencia solar sobre la tierra genera las temporadas de lluvia en el país (Hurtado, 2000). Regularmente la circulación de los vientos alisios se ve trastornada por anomalías en el balance de energía modificando la distribución espacial y temporal de las lluvias, según el evento ENOS que se encuentre presente. Bogotá se encuentra ubicada en la región Andina de Colombia y está determinada por una distribución temporal de lluvias, dominada por las características climatológicas de la cuenca del Río Bogotá - Sabana de Bogotá. Al estar encerrada por dos ramales de la cordillera Oriental presenta escasa pluviosidad (500 a 1000 mm en promedio (IDEAM, 2010)). 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). Las características de la variabilidad de la precipitación en Bogotá se resumen desde el punto de vista horario y mensual en la Figura 4-1, donde se aprecia que existen dos temporadas lluviosas, la más fuerte en octubre - noviembre y que las lluvias más intensas se dan con mayor frecuencia en horas de la tarde y primeras horas de la noche.





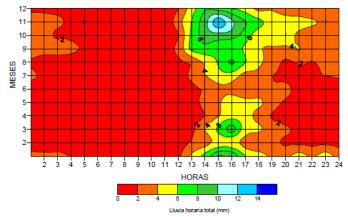


Figura 4-1 Esquematización hora-mes de la precipitación en la estación del aeropuerto ElDorado en Bogotá. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2013)

4.1. Precipitación

Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la tabla 1.1.

La Figura 4-2 presenta el acumulado promedio mensual de la red en el periodo 1998 – 2014, el promedio mensual de las estación del aeropuerto ElDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB, partiendo desde el mes de marzo hasta febrero. Se nota un incremento sustancial de la lluvia en el mes de diciembre estando por encima en un 103% con respecto a los promedios históricos, tendiendo a estabilizarse en el mes de febrero y a presentar deficits leves para el mes de febrero; en este trimestre se presentó el mayor valor mensual comparado con los tres últimos trimestres. La estación de Las Ferias en el mes de diciembre alcanzó el mayor acumulado respecto a lo esperado con 179.5 mm, mientras que por el contrario la estación Tunal, en el mes de febrero mostró el menor acumulado con 14.1mm (ver Tabla 4-1). Es importante resaltar que los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

Tabla 4-1. Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante el trimestre DEF.

Estación	dic2014	ene2015	feb2015
Carvajal		22.8	16.6
Centro de Alto Rendimiento	135.8	64.7	73.6
Guaymaral	123.9	63.3	52.3
Kennedy	124	32.9	17
Las Ferias	179.5	73.6	29.3
MinAmbiente	163.6	31.2	46.9
Puente Aranda	111.6	23.1	18.1
San Cristóbal	158.4	19.2	34.4
Suba	110.8	28.3	18.3
Tunal	91.7	17	14.1
Usaquén	119.9	50.2	44.5
Promedio	131.9	38.8	33.2



Informe Trimestral de Calidad del Aire Página 112 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0



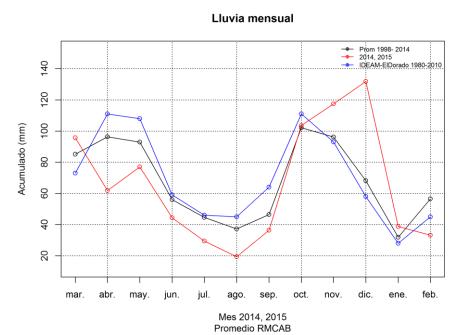


Figura 4-2 Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.

Observando el comportamiento de les últimos trimestres multianuales, el trimestre DEF 2014 – 2015 muestra una ligera tendencia a incrementar los acumulados, alcanzando 192 mm aunque significativamente por debajo de lo ocurrido en 2012 y en 1999, donde se alcanzaron 276 y 289 mm respectivamente (Figura 4-3). Esta información se puede observar detalladamente en la Tabla 4-2, en donde se resalta la estación de Las Ferias con un acumulado de 282 mm.

En la Figura 4-4, se presenta la lluvia en escala horaria y mensual, de manera que el eje de las abscisas presenta los meses desde marzo hasta febrero de 2015, en el eje de las ordenadas la hora y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el último año; aunque en el mes de noviembre se presentaron las lluvias más intensas en horas de la tarde, es en el mes de diciembre donde se aprecia un volumen más significativo por lluvias persistentes; en algunas estaciones como Las Ferias, Puente Aranda y Kennedy alcanzaron las primeras horas de la noche. En los siguientes meses las lluvias tendieron a disminuir notoriamente en todas las estaciones.





Lluvia trimestral multianual

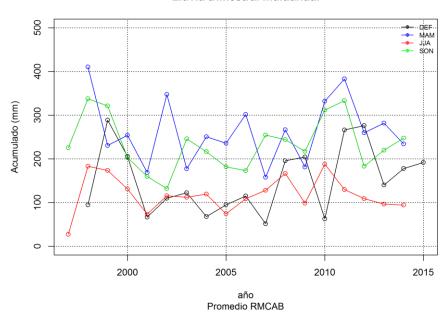


Figura 4-3. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 1998 hasta DEF 2015.

Tabla 4-2. Acumulados de los trimestres diciembre enero febrero multianuales y por estación.

			• • • • • •				<u> </u>		٠		, , ,		A O . O .	••	
2000 DEF	2001 DEF	2002 DEF	2003 DEF	2004 DEF	2005 DEF	2006 DEF	2007 DEF	2008 DEF	2009 DEF	2010 DEF	2011 DEF	2012 DEF	2013 DEF	2014 DEF	2015 DEF
175.1	54.9	110.9	127.6	124.4											
124.6	43.5	76.3	77.2	62.7	63.6	59.9	47.4	191	157.2	39.9	260	115	88.6	89.7	39.4
91.3	52.8	84.1	44.7	52.2	38.4	17.3	20.3	112.7	113.4						
45.3	45.7	58.9													
					114.3			231.6	284	127.1	399.6	384.4	161.3	272.1	274.1
323	95.5	168.8	176.4		190.1	240.1	76.2	286.6	272.3	77.3					
204.8	77.6	48.8	77.2	97.8	60.4	47.2	30	148.8		10.5			52.4		
125.5		79.4	80					188.6	180	45	310.1	235.7	158.9	227.7	239.5
						29.4	36.5	183.3	120.7	19.6	125.1		108.6	187.4	173.9
	80.5	134.3	165.3		145.5	209.7	67.1	200.3	278.4	104.9	358.7	420.9	66.5	170.9	282.4
271.6	72.7	148.3	201.2							87.4		344.4	225.6	180	241.7
194.3	76.9														
267.6	68	106.4	95	2.4	52.8	107.4	56.4	279.1	420.4	42.4	180.6	187.3	103.5	132.4	152.8
										44.8		286	225.7	139.8	212
166.7	69.5	105.2	147.6		93.7	174.7	51		198.1	97.2	218.1	269.4	151.3	166	157.4
							19.8	107.5	128.5	43.8	222.1	242.4	164	159.2	122.8
281.6	66	124.5													
400.7	62.3	182.3	154.1			145.2	80.8	308.2	230.2	59.5	223.6		176.5	230.5	214.6
						115.9	29.1	123.8	69.2						
						118.9	107	181		80.7	365.3				
	2000 DEF 175.1 124.6 91.3 45.3 204.8 125.5 271.6 194.3 267.6 281.6	2000 2001 DEF DEF 175.1 54.9 124.6 43.5 91.3 52.8 45.3 45.7 323 95.5 204.8 77.6 125.5 80.5 271.6 72.7 194.3 76.9 267.6 68 166.7 69.5 281.6 66	2000 2001 2002 DEF DEF DEF DEF 175.1 54.9 110.9 124.6 43.5 76.3 91.3 52.8 84.1 45.3 45.7 58.9 323 95.5 168.8 204.8 77.6 48.8 125.5 79.4 80.5 134.3 271.6 72.7 148.3 194.3 76.9 267.6 68 106.4 166.7 69.5 105.2 281.6 66 124.5	2000 2001 2002 2003 DEF DEF DEF DEF 175.1 54.9 110.9 127.6 124.6 43.5 76.3 77.2 91.3 52.8 84.1 44.7 45.3 45.7 58.9 323 95.5 168.8 176.4 204.8 77.6 48.8 77.2 125.5 79.4 80 80.5 134.3 165.3 271.6 72.7 148.3 201.2 194.3 76.9 267.6 68 106.4 95 166.7 69.5 105.2 147.6 105.4	2000 2001 2002 2003 2004 DEF DEF DEF DEF DEF 175.1 54.9 110.9 127.6 124.4 124.6 43.5 76.3 77.2 62.7 91.3 52.8 84.1 44.7 52.2 45.3 45.7 58.9 323 95.5 168.8 176.4 204.8 77.6 48.8 77.2 97.8 125.5 79.4 80 80.5 134.3 165.3 271.6 72.7 148.3 201.2 194.3 76.9 267.6 68 106.4 95 2.4 166.7 69.5 105.2 147.6 281.6 66 124.5	2000 2001 2002 2003 2004 2005 DEF DEF DEF DEF DEF DEF DEF 175.1 54.9 110.9 127.6 124.4	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 DEF DEF	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 DEF DEF	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 DEF D	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 DEF DEF	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 DEF DEF	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2015	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2015	2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015





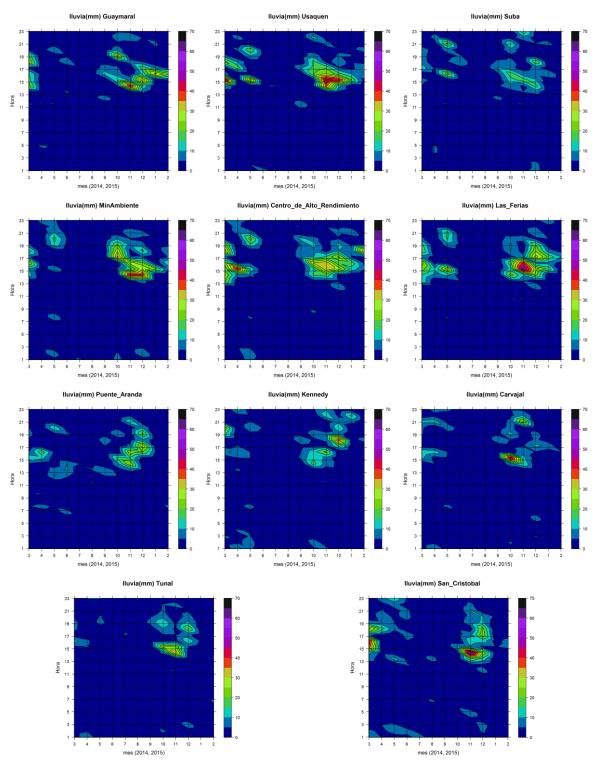


Figura 4-4. Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.





Con respecto al número de días que llueve en Bogotá, durante los meses del trimestre DEF se observo una disminución progresiva de acuerdo a la Figura 4-5, alcanzando los 18 días en el mes de diciembre. No obstante el numero de días se mantuvo por encima de los registros históricos tanto del IDEAM como al promedio de la red. El volumen promedio de lluvia por día se encuentra alejado de lo esperado particularmente en el mes de diciembre donde se alcanzó los 8mm por día por encima de cualquier valor registrado en el último año.

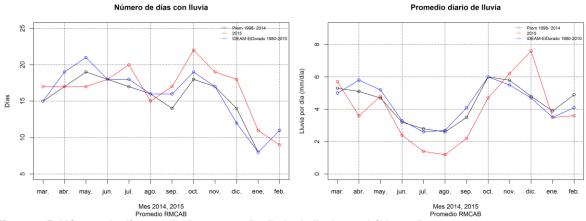


Figura 4-5. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.

El mapa de la Figura 4-6 (a) muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación del trimestre DEF 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. Durante el trimestre, la ciudad tendió a mostrar el comportamiento espacial típico de lluvia, alcanzando los mayores acumulados en Teusaquillo, Barrios Unidos y Chapinero y tendiendo a disminuir hacia el occidente particularmente en la estación de Carvajal en la localidad de Tunjuelito y Kennedy. Para determinar cambios significativos, el mapa de anomalías de lluvia (Figura 4-6 (b)) se construye a partir de las diferencias de los acumulados de precipitación registrado por las estaciones de la RMCAB durante el trimestre DEF y su similar en el periodo 1998-2013; la gran mayoría del área estuvo por encima de lo esperado con particular énfasis en la zona central, norte y occidente de la ciudad, alcanzando diferencias de hasta 98 mm mientras que en el suroccidente las anomalías fueron negativas con diferencias de hasta 57 mm.





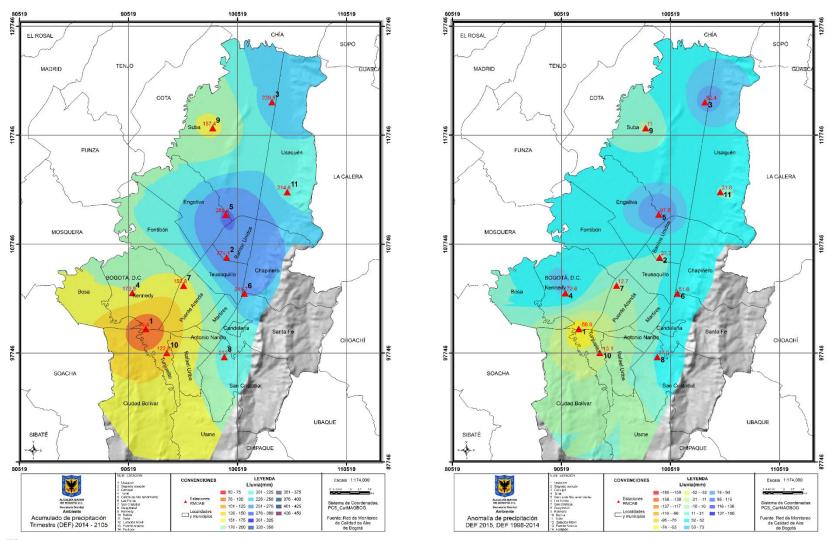


Figura 4-6. Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el trimestre DEF. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá.

Informe Trimestral de Calidad del Aire Página 117 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0





4.2. Vientos

Durante el trimestre DEF la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones según se observa en la tabla 1.1. Por su parte, la Tabla 4-3 presenta los valores promedio de velocidad y predominancia de la dirección de los vientos durante el año en grupos horarios y diarios. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de las tardes, particularmente en las estaciones de Kennedy, Puente Aranda y Carvajal, con vientos máximos promediados de hasta 4.9 m/s en Kennedy y Puente Aranda. Por el contrario Tunal y Guaymaral registraron promedios del viento de 1.1 y 1.0 m/s promedio diario, alcanzando valores máximos de 2.7 y 2.6 m/s respectivamente.

Tabla 4-3.valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.

IVICAD.											
Faka alifa		V	'elocidad	l del vient	to			Dirección de	el viento		
Estación	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Max prom	Predominancia	madrugada	mañana	tarde	noche
Carvajal	1.7	2.4	3.4	2.1	2.5	4.3	180	135	135	180	180
Centro de Alto Rendimiento	0.8	1.5	2.4	1.1	1.5	3.4	90	270	90	90	90
Guaymaral	0.5	1.1	1.8	0.7	1	2.6	0	0	0	90	90
Kennedy	1.6	2.5	4.0	2.3	2.6	4.9	135	135	135	270	135
Las Ferias	1.4	1.8	2.6	1.7	1.9	3.7	90	45	45	135	90
MinAmbiente	1.1	1.7	2.6	1.5	1.7	4.1	90	135	90	90	90
Puente Aranda	0.9	1.9	3.7	1.7	2.1	4.9	270	315	135	270	180
Suba	0.9	2.0	2.6	1.1	1.6	3.6	0	45	0	90	0
Tunal	0.7	1.2	2.0	0.9	1.2	2.7	180	180	180	180	180
Usaquén	0.9	1.3	2.1	1.5	1.5	3.3	180	135	180	180	135

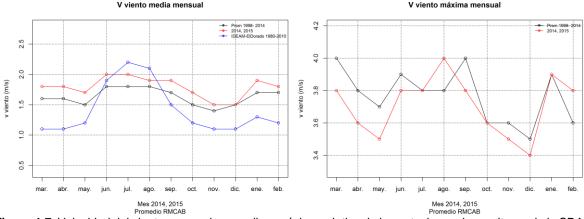


Figura 4-7. Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

La velocidad del viento media mensual fue superior a lo esperado históricamente, particularmente en el mes de enero y similar en los meses de diciembre y febrero mientras que las velocidades máximas relativas (Figura 4-7), fueron similares a la historia de la red, alcanzando una diferencia de 0.2 m/s en el mes de febrero. La Tabla 4-4 presenta los promedios del trimestre DEF para cada una de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015; cabe resaltar que la estación de Carvajal alcanzó un promedio de 2.5 m/s, uno





de los mayores registrados junto al trimestre DEF del año 2010. Por su parte, la Figura 4-8 presenta el comportamiento multianual de los promedios trimestrales; los últimos años de los trimestres DEF han presentado valores de velocidad del viento similares luego de un incremento presentado desde año 2011 al 2013.

Tabla 4-4. Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en los trimestres DEF desde 2000 hasta 2015

2000 nasta 2015.																
Estación	2000 DEF	2001 DEF	2002 DEF	2003 DEF	2004 DEF	2005 DEF	2006 DEF	2007 DEF	2008 DEF	2009 DEF	2010 DEF	2011 DEF	2012 DEF	2013 DEF	2014 DEF	2015 DEF
Cade_Energia	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9											
Carvajal	0.6	1.1	0.9	1.3	1.4	1.6	1	2.1	1.5	2.2	2.5	1.4	2	2.3	2.2	2.5
Cazuca	1.6	1.9	2.2		2.7	2.3	2.4	2.6	3	1						
Central_de_Mezclas	1.4	2.9														
Centro_de_Alto_Rendimiento						1.7			0.9	1.6	1.7	1.5	1.3	1.4	1.4	1.5
Chico_lagoSto_Tomas.	0.4	0.5	0.4	0.4			0.8	1.1			0.9					
Fontibon	2.4	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.9	3.4		2.8	3.2					
Guaymaral	0.7		0.7	0.6					0.8	1.2			0.9	1	1	1
Kennedy							1.3	2.1	1.4		2.8	2.4	2.3	2.4	2.5	2.6
Las_Ferias		1.4	1.2	1.5		1.5	1.9		1.3	1.9	2	1.7	1.8	1.9	1.7	1.9
MinAmbiente	0.4	0.5	0.5	0.5							1.1			1.6	1.8	1.7
Olaya	1.6	1.6														
Puente_Aranda	2.5	1.9	2.3	2	2.5	2.5	2.6	2.8	2.7	2.6	2.9	2.5	2.4	2	2	2.1
San_Cristobal											1.3	0.9	1.8	2.2	2.4	
Suba	0.7	1.2	1	1.2			1.3	1.6		0.4	1.1	1.6	1.8	1.9	1.8	1.6
Tunal								2.3		1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2
UnivNacional	0.4	0.6	0.6													
Usaquen	1	1.5	0.8	1			1.7	1.9	0.8	0.5	1.2	1.1		1.5	1.6	1.5
USME							3.1	2.8	3.5	3.1						
Vitelma							2.4	1.7	1.6							
Promedio	1.1	1.4	1.2	1.2	2	2	1.9	2.2	1.8	1.7	1.8	1.6	1.7	1.8	1.8	1.8

V viento trimestral multianual

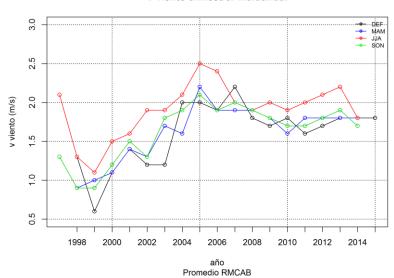


Figura 4-8. Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.





La Figura 4-10 presenta las condiciones de viento para cada estación discriminado por mes y por hora a partir del mes de marzo de 2014 hasta febrero de 2015; para referencia se presenta el comportamiento climatológico de la estación del aeropuerto ElDorado (Figura 4-9), en donde se observa la cresta de velocidad del viento luego de mitad de año particularmente en horas de las tardes; en el caso de la RMCAB, la estación de Kennedy presenta los mayores promedios durante las tardes y en el tercer trimestre del año. Durante el trimestre DEF se presenta el incremento característico en todas las estaciones, con especial intensidad en las que están ubicadas en el centro - occidente (Puente Aranda y Kennedy); en estaciones como Guaymaral y Tunal los vientos tienen características débiles tendiendo a incrementarse hacia el mes de enero. A finales del mes de febrero en horas de las noches se presenta un incremento de la velocidad de los vientos que tiende a perdurar en algunas estaciones hasta la madrugada.

Las rosas de vientos en la RMCAB durante el trimestre presentaron un comportamiento regular según su ubicación; hacia el norte y oriente es común observar vientos predominantes del este y del norte, salvo en la estación de Usaquén la cual presentó predominancia del sur. Por su parte, las estaciones ubicadas al centro geográfico de la ciudad como Centro de Alto rendimiento y Puente Aranda presentaron frecuencias con una amplia variabilidad en sus direcciones; hacia el occidente son predominantes vientos del sureste y del sur a medida que se acercan al sur geográfico de la ciudad (Figura 4-11 (a)). Asimismo se 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 la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del noreste donde hasta el 30% de los datos trimestrales se presentaron en calma (Figura 4-11 (b)). Esta condición obedece a la orografía de la ciudad, la cual a su vez facilita la dispersión en algunas zonas de los contaminantes y también genera corrientes de vientos ascendentes que apoyan la formación de Iluvias locales.

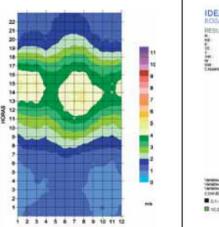




Figura 4-9 Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM

BOGOTÁ HUCZANA

Informe Trimestral de Calidad del Aire Página 120 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0



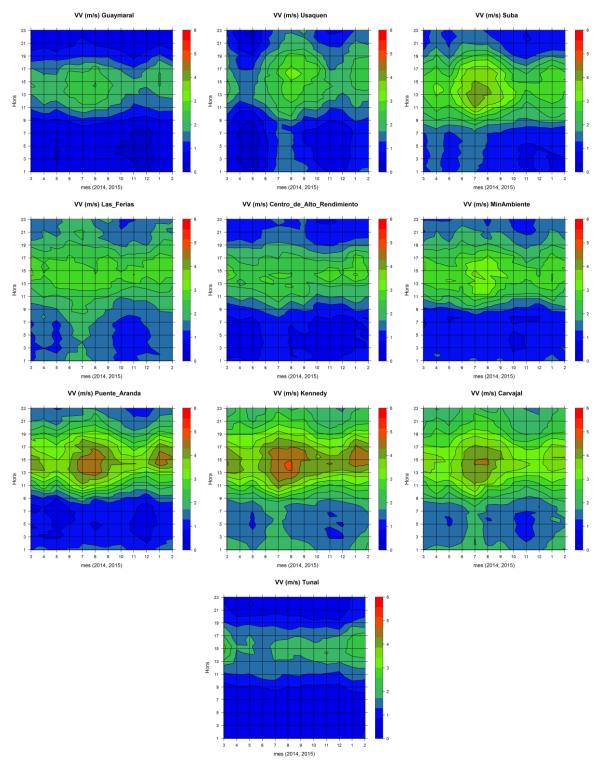


Figura 4-10. Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año (marzo 2014 - febrero 2015)





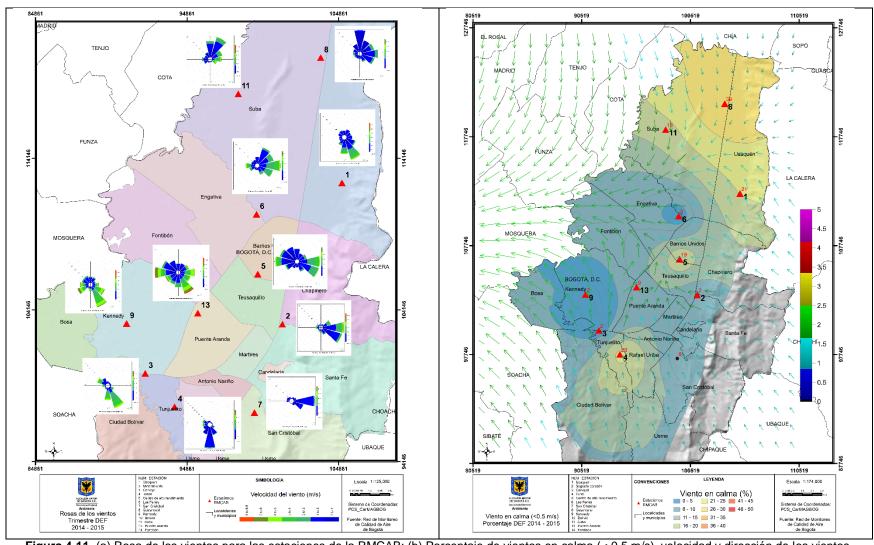


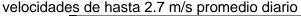
Figura 4-11. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (< 0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

Informe Trimestral de Calidad del Aire Página 122 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0





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 en el trimestre DEF sobre esta superficie. Asimismo se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos interpolados a partir de los datos de velocidad y dirección del viento de cada estación. Según lo descrito anteriormente, se puede observar que la tendencia de la velocidad del viento espacialmente tiente a presentar velocidades bajas al nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del noreste este y sureste - este en los extremos norte y sur de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Kennedy, alcanzando velocidad de heata 2.7 m/s premadio diorio.



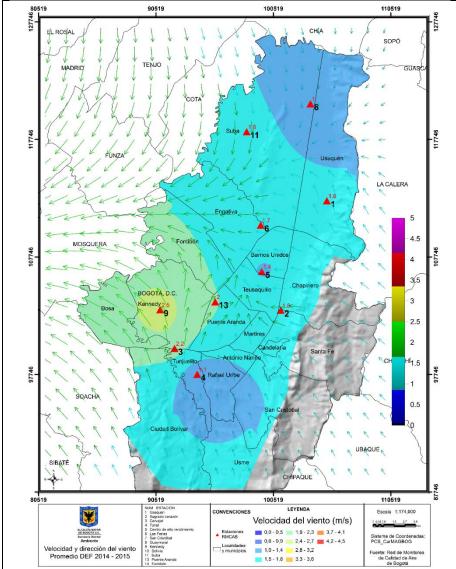


Figura 4-12. Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el trimestre DEF.





4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el periodo analizado para la variable temperatura se presentan en la tabla 1.1. La temperatura del aire en la superficie de la ciudad mostró valores superiores a los esperados según la historia de la red. Durante el trimestre se observaron valores con diferencias de hasta 0.4 °C en el mes de febrero y de 0.1 °C en el mes de enero. Los valores promedio fueron mayores a lo reportado climatológicamente por la estación del aeropuerto ElDorado del IDEAM, como se puede 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 mensual desde marzo de 2014 – a febrero de 2015.

Temperatura media mensual



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

La Figura 4-14, muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 1998-2015. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2005 y 2010 mientras que la menor temperatura fue en 2000 - 2008. El trimestre DEF en promedio mostró temperaturas similares en los últimos años partiendo de 2010, donde se alcanzó un tope de 14.9°C hasta la actualidad alcanzando 14.2 °C.





Temperatura trimestral multianual

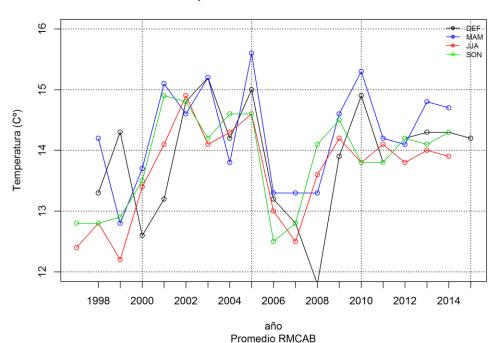


Figura 4-14. Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2015.

La Tabla 4-5 muestra la tempeatura superficial promedio anual distribuida en las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-5. Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en los trimestres DEF de 2000 a 2015.

Estaciones	2000 DEF	2001 DEF	2002 DEF	2003 DEF	2004 DEF	2005 DEF	2006 DEF	2007 DEF	2008 DEF	2009 DEF	2010 DEF	2011 DEF	2012 DEF	2013 DEF	2014 DEF	2015 DEF
Carvajal								11.9	10.1	14.8	16	14.8	15.2	15.6	15.6	15.6
Cazuca							12.8	11.4	10.5	15.1						
Centro de Alto Rendimiento						15.9			12.1	14.3	14.9	14.2	14.5	14.7	14.6	14.7
Fontibón	13.4	13.4	14.2	14.4	13.8	14.2	14.3	14.2		14.2	15.6			14.2		
Guaymaral										14.2	14.9	14	14.4	14.4	14.6	14.4
Kennedy										14.3	15.4	14	14.3	14.7	14.8	14.9
Las Ferias		15.2	16.3	16.2					12	13.7	14.7	13.5	13.9	14.2	14.2	14.1
Puente Aranda	14	14	14.9	15	14.5	14.8	14.7	14.8	13.9	14.2	15.2	13.7	14.1	13.8	13.9	13.8
San Cristóbal											13.9		13.8	13.1	13.2	13
Suba	10.5	10.2	13.7				14			13.3	13.4		14	14.3	14.2	14.2
Tunal										14.3			13.3	13.1	13.1	13.1
Usaquén									10.7	14.1	15.7	14.2		14.9	14.8	14.6
USME							12.3	12.3	13.7	10						
Vitelma							10.9	12.1	11.4		13.4	12.3				
Promedio	12.6	13.2	14.8	15.2	14.2	15	13.2	12.8	11.8	13.9	14.9	13.8	14.2	14.3	14.3	14.2





Adicionalmente la Tabla 4-6 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. En ella se observa que la estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 12.8°C seguido de Suba con 12.7°C mientras que la estación de Kennedy se consolida como la de menor amplitud con 7.6 °C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Las temperaturas máximas tendieron a ser mayores comparadas con el promedio histórico de la red, particularmente en el mes de febrero donde se alcanzó un tope de 20.3°C; por su parte las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio en especial en los meses de enero y febrero (Figura 4-15).

Tabla 4-6. Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal	20.6	11.7	8.9
Centro de Alto Rendimiento	21.1	9.4	11.7
Guaymaral	21.5	8.7	12.8
Kennedy	19	11.4	7.6
Las Ferias	19.6	10.1	9.5
Puente Aranda	18.2	10.4	7.7
San Cristóbal	18	9.2	8.8
Suba	21.6	8.9	12.7
Tunal	19.9	8.1	11.8
Usaquén	20.1	10.8	9.3

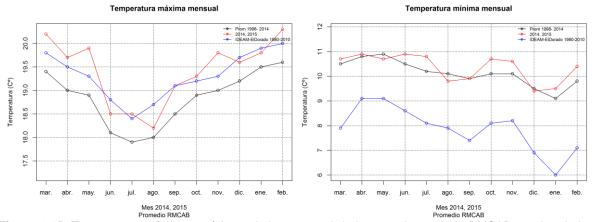


Figura 4-15. Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998-2013, IDEAM ElDorado 1980-2010 y en 2014.

De acuerdo a la Figura 4-16 se observa que las temperaturas máximas y mínimas influyen en el comportamiento promedio de algunas estaciones que no se caracterizan por tener los valores máximos promedio; es decir, estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y frías en las madrugadas, a



Informe Trimestral de Calidad del Aire Página 126 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0



diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal que mantienen condiciones menos calurosas durante los días y más cálidas hacia las noches. En los meses del trimestre se presentó un incremento importante en la mayoría de las estaciones de la red en horas del mediodía acompañado de un aumento de la temperatura en la madrugada. La hora de la temperatura máxima tendió a deslazarse hacia las 3:00 p.m y las mínimas tendieron a permanecer entre las 5 y 7 am.

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 se presenta en el mapa de la Figura 4-17. 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, muy cerca de los promedios más altos de temperatura al sur de la localidad de Kennedy donde resalta el gradiente de hasta 2.5 °C en una distancia no mayor a 2.9 Km. Hacia el oriente, localidades como Chapinero, Usaquén y norte de Suba presentan valores ligeramente por encima de lo ocurrido en zonas como Engativá, Fontibón y sur de Suba.





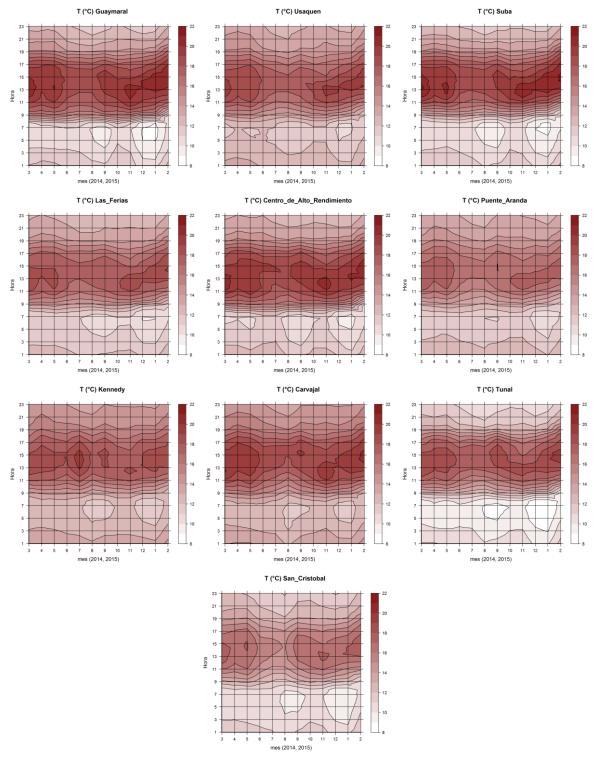


Figura 4-16 Temperatura promedio horario de las estaciones en los meses marzo 2014 – a febrero de 2015





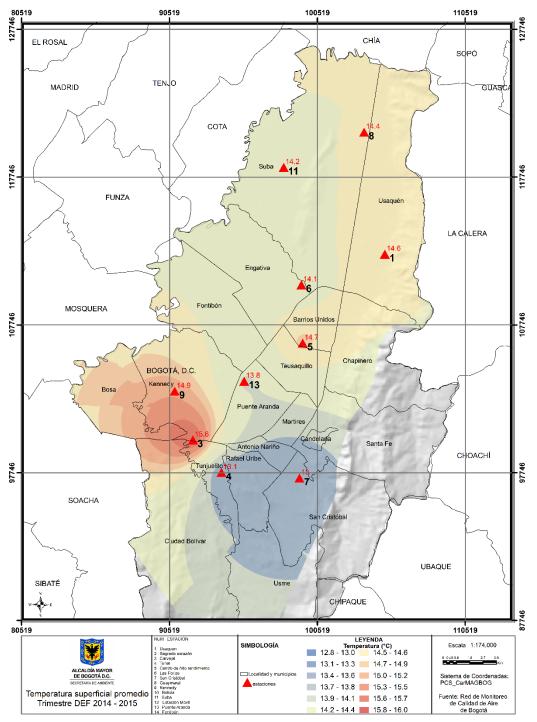


Figura 4-17. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el trimestre DEF.





4.4. Radiación solar

El comportamiento de la radiación solar global fue monitoreado por las estaciones descritas en la tabla 1.1.

En el trimestre, la estación San Cristóbal se consolidó como la de mayor acumulado trimestral, significativamente menor a Tunal donde el promedio fue de 3936 W/m². De la misma forma, el mes de febrero San Cristóbal alcanzó 5611 W/m² en contraste con la estación de Centro de Alto Rendimiento donde se observó el menor promedio, 3757 W/m². (Tabla 4-7)

Tabla 4-7. Radiación acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB

Estación	dic2014	ene2015	feb2015	Promedio (W/m2)
Centro de Alto Rendimiento	3757	4743	4299	4266
Guaymaral	4248	4823	4710	4594
Kennedy	4052	4647	4374	4358
San Cristóbal	4672	5611	5549	5277
Tunal	3446	4217	4146	3936
promedio	4035	4808	4616	4486

La Figura 4-18 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. Concordante con la Tabla 4-7, San Cristóbal presenta los mayores acumulados a lo largo del trimestre y del último año, con valores máximos que inician entre las 11a.m y las 12m, en el mes de enero y de febrero. Estaciones como Guaymaral y Centro de Alto Rendimiento presentaron sus mayores acumulados el trimestre DEF en horas cercanas al medio día, superando lo visto en los últimos meses.

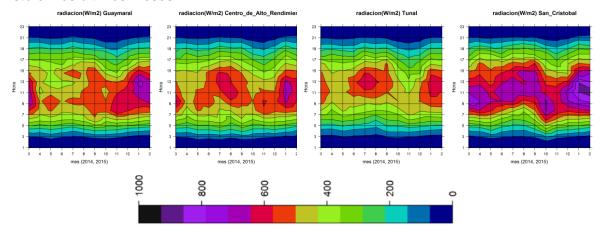


Figura 4-18. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015.

La Figura 4-19 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2009 hasta 2015. El acumulado promedio de radiación en el trimestre





DEF presentó un pico en el año 2010, manteniéndose estable desde 2011 hasta 2013 año desde el cuál se ha presentado una tendencia positiva de acumulados de radiación, alcanzando una diferencia de hasta 500 W/m². En el último año los acumulados mensuales de radiación fueron superiores al promedio de la red en especial en el mes de enero siendo el mayor valor de los últimos doce meses. (Figura 4-20).

Radiacion trimestral multianual

Figura 4-19. Radiación trimestral de los últimos años.

año Promedio RMCAB

2012

2013

2014

2015

2011

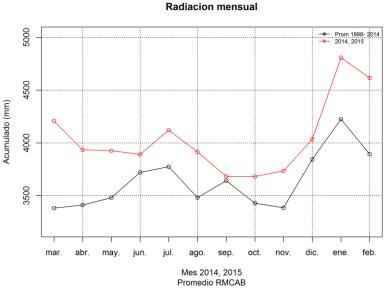


Figura 4-20. Radiación mensual de los últimos años.

4.5. Presión Atmosférica

2008

2009

2010





Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la tabla 1.1. Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general, depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad). La monomodalidad característica en la ciudad de Bogotá predominó durante el último año, alcanzando una presión significativamente alta en el trimestre y particularmente en el mes de febrero donde la diferencia fue mayor a 1 mmHg (Figura 4-21). En la Tabla 4-8 se presentan los datos promedios mensuales de presión por estación en los últimos años.

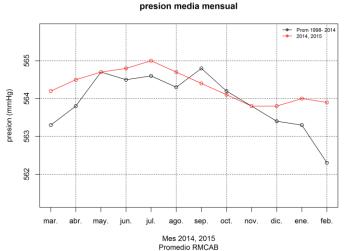


Figura 4-21. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-8 Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB.

Estación.	dic2014	ene2015	feb2015	promedio
Guaymaral	563.7	563.9	563.9	563.8
Kennedy	563.4	563.6	563.6	563.5
Las Ferias	564.2	564.4	564.3	564.3
Promedio	563.8	564.0	563.9	563.9

4.6. Humedad Relativa

La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB como se describe en la tabla 1.1. En la Tabla 4-9 se presentan los promedios mensual de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-9. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

Estación	dic2014	ene2015	feb2015	promedio
Centro de Alto Rendimiento	68.3	64.1	66.8	66.4
Guaymaral	69.5	64.9	66.6	67.0
Kennedy	64.8	61.5	63.7	63.3
Las Ferias	64.2	59.6	61.4	61.7
San Cristóbal	60.1	55.7	57	57.6
Tunal	64.7	59.7	60.8	61.7
Promedio	65.3	60.9	62.7	63.0





5. Meteorología y Calidad del Aire

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado PM₁₀ y las variables 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 las tres 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.). Desde la Figura 5-1 hasta la Figura 5-4 se hace énfasis en el comportamiento del Pm₁₀ en estos grupos horarios con sus respectivos vectores de viento (mapas del costado izquierdo) y se presenta la interpolación de *Kriging* del coeficiente de correlación de Pearson obtenido a partir de los valores de velocidad del viento y de material particulado PM₁₀, a los cuales se le ha sobrepuesto los vectores de viento también interpolados con este método (mapas de la derecha).

En horas de la madrugada, los vientos débiles provenientes del sur alcanzan la zona de mayor concentración de material particulado, presentan signos de difluencia hacia el centro de la ciudad y hacia los municipios del occidente mientras que en zonas cercanas a Fontibón hay tendencia de difluencia producto de vientos del norte y noreste provenientes de las localidades de Suba y de Usaquén. A esta hora la correlación es negativa en gran parte del centro del área urbana e "indiferente" o correlación tendiente a cero en el resto de la ciudad. En la mañana, vientos intensificados del sur continúan arribando a las localidades de Kennedy y Ciudad Bolívar a la vez que se unen los provenientes de los cerros orientales, ampliando el área de zonas con importante concentración de PM₁₀ aunque los vientos continúan favoreciendo la dispersión según el mapa de índices de correlación para este grupo horario. En esta franja horaria se concentran las actividades vespertinas de la ciudad, por lo que dichas concentraciones son provenientes de actividades antropogénicas con mayor porcentaje comparado con los vientos que no superan los 2.5 m/s. En la tarde 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 por aumento de la velocidad del viento; llama la atención el cambio de dirección de los vientos de manera que hacia el occidente de la ciudad se presenta direcciones provenientes del suroeste principalmente desde el municipio de Soacha de manera que la concentración de material particulado continúa con valores importantes, alcanzando los 87 µg/m³ mientras que los vientos de los cerros, aunque con intensidades débiles, mantienen su predominancia del este formando una franja de confluencia en los límites de Engativá - Fontibón y Teusaquillo - Puente Aranda inhibiendo el ingreso de contaminación hacia la zona norte y oriental. En esa misma franja horaria se observa la tendencia presentarse índices de correlación positivas entre el viento y el material particulado, con mayor incidencia en la estación de Tunal. Por la noche se mantienen valores elevados de contaminación en la zona occidental, con vientos que retornan del sur al costado sur de la capital y vientos del noroeste al norte de la ciudad con valores máximos de 2.5 m/s.





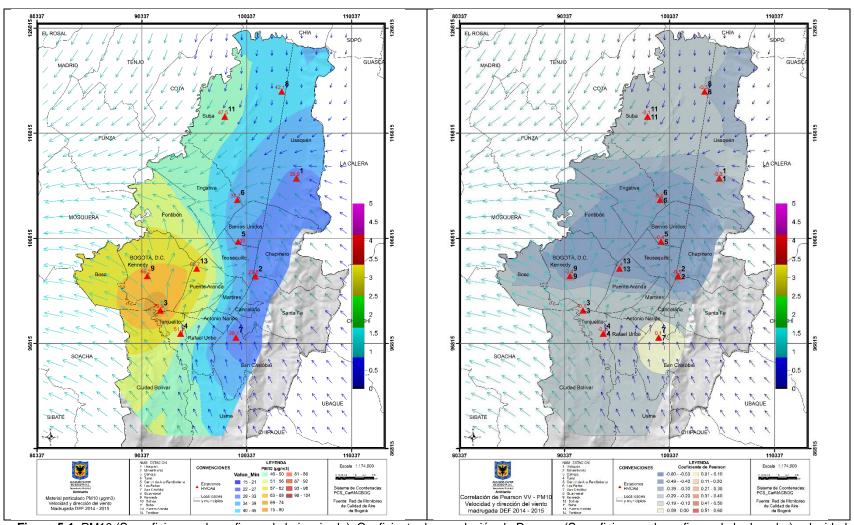
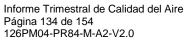


Figura 5-1. PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la madrugada del trimestre DEF.







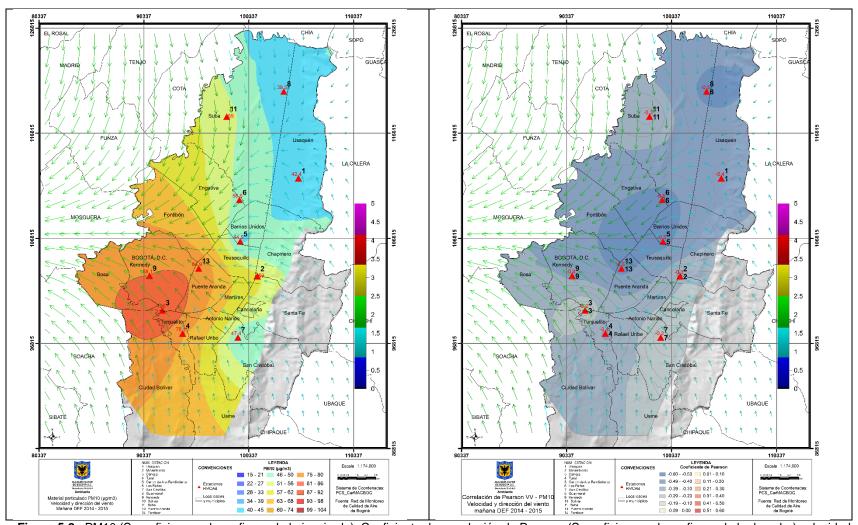
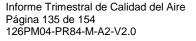


Figura 5-2 . PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre DEF.







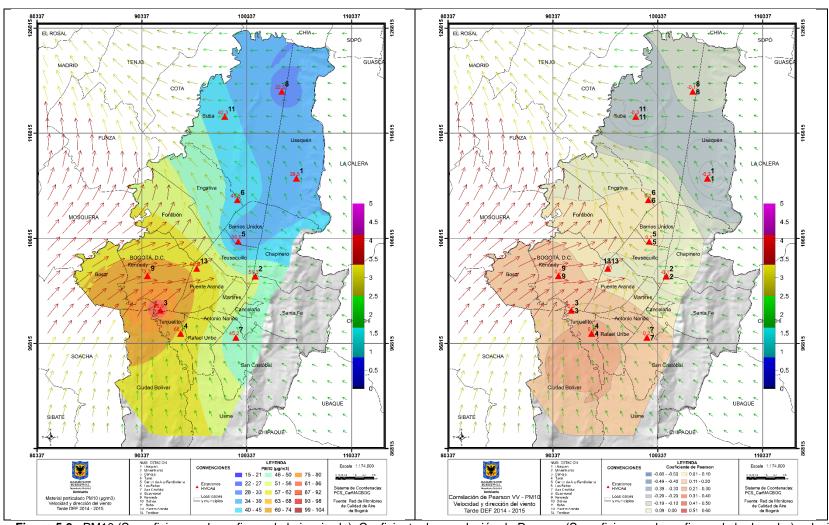
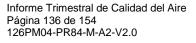


Figura 5-3 . PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre DEF.







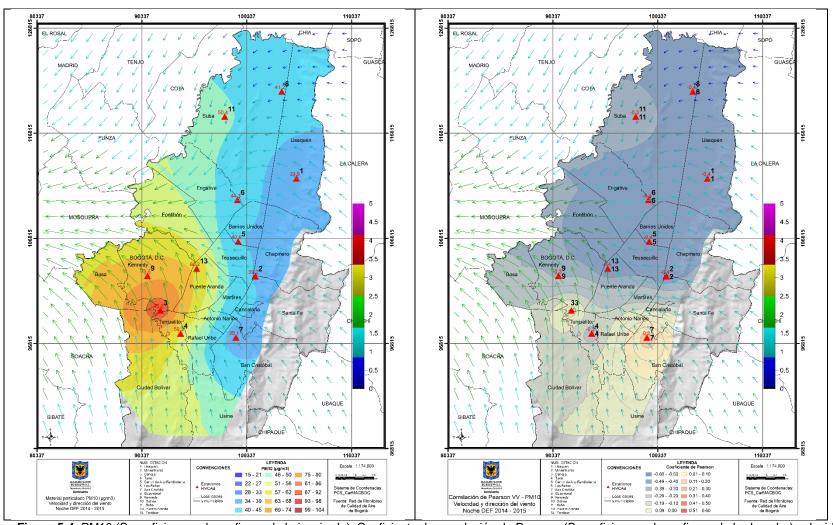
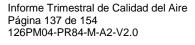


Figura 5-4. PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas del trimestre DEF.







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

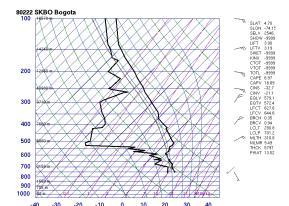
Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. – RMCAB

Episodio de máxima concentración 6.

Esta sección presentará el día de mayor inmisión de material particulado, que por su naturaleza y características se han considerado relevantes para mencionar. El día 18 de febrero de 2015, las estaciones de la red registraron un aumento inusual en concentración de material particulado, de manera que se presentará un análisis de caso para el día.

18 de febrero de 2015

El 18 de febrero de 2015 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado y en esta sección se quiere determinar cuáles fueron las condiciones meteorológicas del día. La Figura 6-1 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 = 3.90, CAPE = 6.97) las condiciones eran estables o levemente inestables con baja probabilidad de lluvia a la hora de la medición, aunque el perfil muestra un contenido de humedad significativo en las primeras capas lo que produjo precipitaciones de carácter ligero, registradas en las estaciones de Guaymaral, Centro de Alto Rendimiento y de menor intensidad en Las Ferias y Usaquén. A la hora de la medida se presentaron algunas inversiones térmicas, en 639 hPa con un gradiente de 0.2 °C, en 587 hPa con 0.5 °C y en 541 hPa con 0.4 °C de forma que se favoreció de manera leve la permanencia de concentración de PM10 durante las primeras horas del día. Es posible que por esta razón, se presentara el mayor valor de concentración de PM10 en horas de la mañana, como se observa en los mapas de la Figura 6-2; la concentración fue moderadamente mayor en este grupo horario y en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, sector cuyos vientos noroeste y suroeste mostrando una zona de confluencia de vientos en el área. En el resto de grupos horarios se notó predominancia de vientos del oeste noroeste dirección de la cual se atrajo mayor concentración de PM₁₀ de acuerdo a la rosa de contaminación de la estación de Kennedy en el mapa de la Figura 6-2.



Estación	Lluvia	Vel	ocidad del	viento (r	n/s)	
Estacion	mm	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	día
Carvajal	0.0	2.0	1.7	4.2	1.9	2.4
Centro de Alto Rendimiento	1.0	0.4	1.1	3.5	1.3	1.6
Guaymaral	3.2	0.4	0.7	2.4	0.4	1.0
Kennedy	0.0	1.2	1.5	5.2	2.3	2.6
Las Ferias	0.2	0.8	1.2	3.4	2.1	1.9
Min Ambiente	0.0	1.1	1.1	4.0	1.0	1.8
Puente Aranda	0.0	0.8	1.0	5.2	1.9	2.2
San Cristóbal	0.0	1.7	1.0	1.4	1.0	1.3
Suba	0.0	0.4	0.7	2.2	0.5	1.0
Tunal	0.0	0.8	1.0	3.5	1.3	1.6
Usaquén	0.2	0.1	0.8	1.8	0.8	0.9

Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 18 de febrero de 2015, en el aeropuerto internacional ElDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h.





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

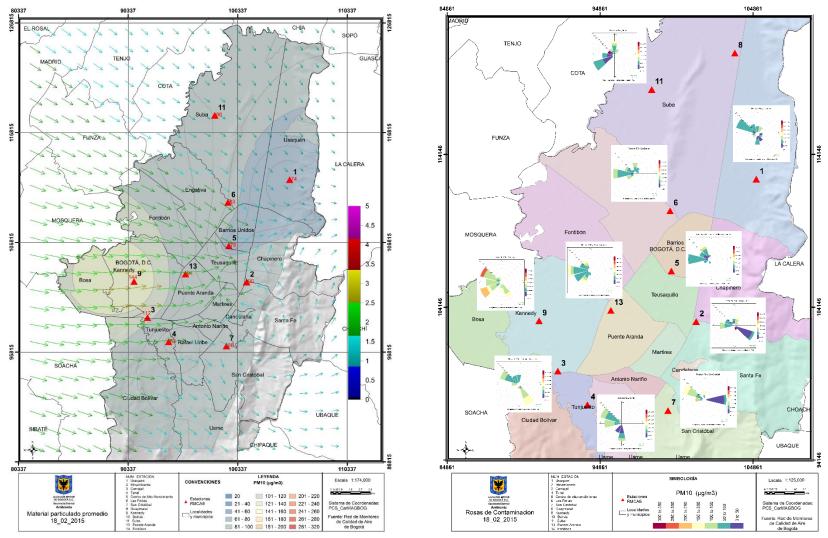


Figura 6-2 (a) PM_{10} (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 18 de febrero de 2015. (b) Rosas de contaminación (PM_{10}) de las estaciones de la RMCAB durante el día.



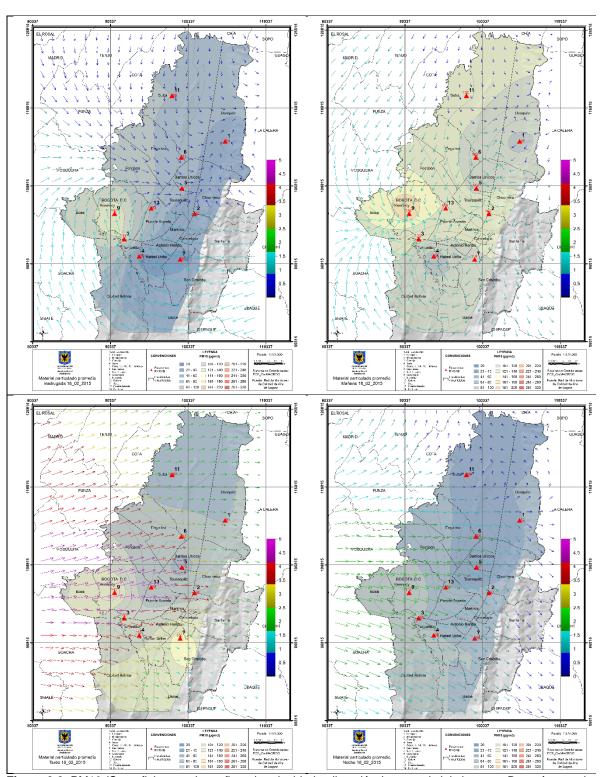


Figura 6-3. PM10 (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 18 de febrero de 2015 en horas de la madrugada, mañana, tarde y noche.





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

Bibliografía

- Carslaw, D. (2013). The openair manual open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/
- European Comission Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2010). Atlas climatológico de Colombia. En IDEAM.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: www.ideam.gov.co
- 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.
- NASA Earth Observatory. (5 de julio de 2014). *Saharan Dust on the Move*. Obtenido de http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=83966
- NASA's Goddard Space Flight Center. (26 de junio de 2014). *Saharan Dust*. Obtenido de http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/blog/2014/06/saharan-dust
- NOAA/ National Weather Service. Climate Prediction Center. (04 de agosto de 2014). Historical El Nino/ La Nina episodes (1950-present). Obtenido de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.sh tml
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra.
- R Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Obtenido de http://www.R-project.org/
- SDA. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría distrital de Ambiente. (2011). Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá. En S. d. ambiente, *Plan decenal de descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.





- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de diciembre de 2012). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. Obtenido de http://epa.gov/air/criteria.html
- U.S. Environmental Protection Agency. (14 de agosto de 2014). *Carbon Monoxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Nitrogen Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/nitrogenoxides/
- U.S. Environmental Protection Agency. (15 de agosto de 2014). *Sulfur Dioxide*. Obtenido de http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2014). AIRNow. Particle Pollution (PM10) and (PM2.5).
- U.S. Environmental Protection Agency EPA/Office of Air Quality Planning and Standards. (2013). *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality the Air Quality Index (AQI)*. Research Triangle Park, North Carolina.
- U.S. Government Printing Office. (2014). *Electronic Code of Federal Regulations. Title 40 Protection of Environment.*





Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

Barómetro: instrumento para medir la presión atmosférica.

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

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

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

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

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

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

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





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.





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

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.





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

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.



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

Anexos

A. Lectura de Gráficos de boxplot

La siguiente figura presenta un ejemplo de un gráfico boxplot.

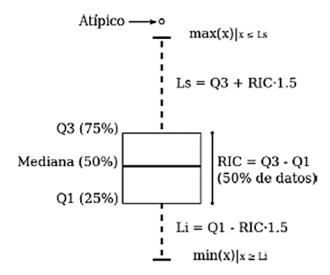


Figura 0-1. Gráfico de boxplot con una descripción de sus componentes.

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 PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_2 , CO y SO_2 .

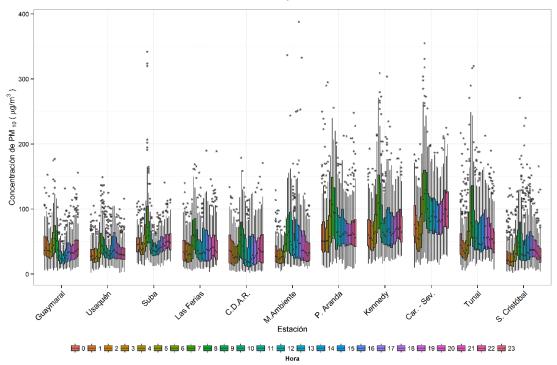
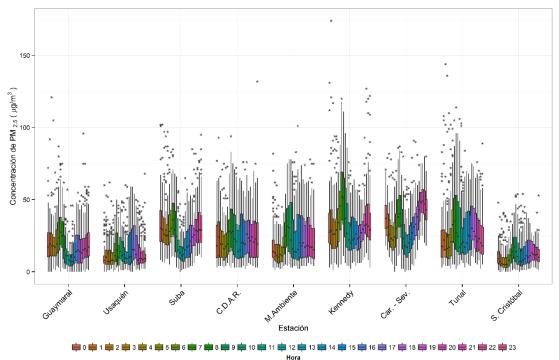


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM₁₀ por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.





Informe Trimestral de Calidad del Aire Diciembre 2014 – enero 2015 – febrero 2015 Página 150 de 154 126PM04-PR84-M-A2-V2.0



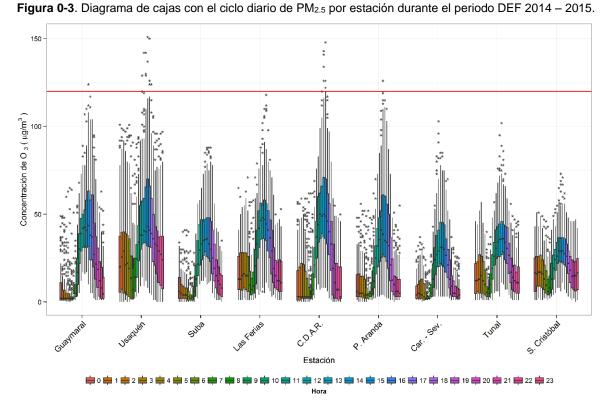


Figura 0-4. Diagrama de cajas con el ciclo diario de O₃ por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.



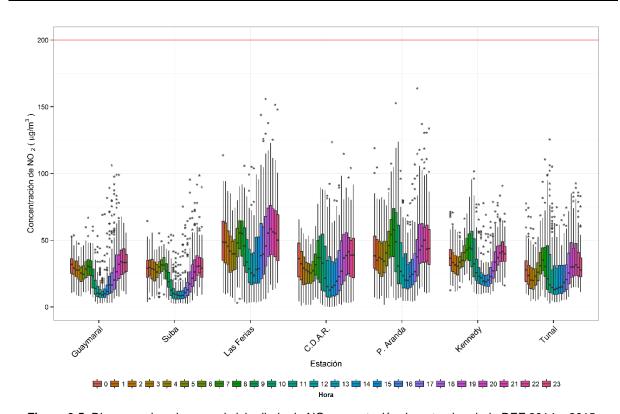
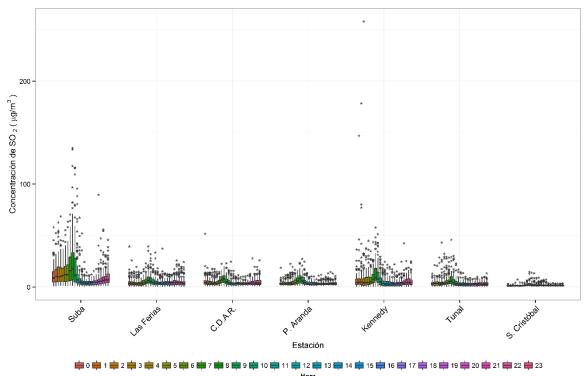


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO₂ por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.







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 0-6. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO₂ por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.

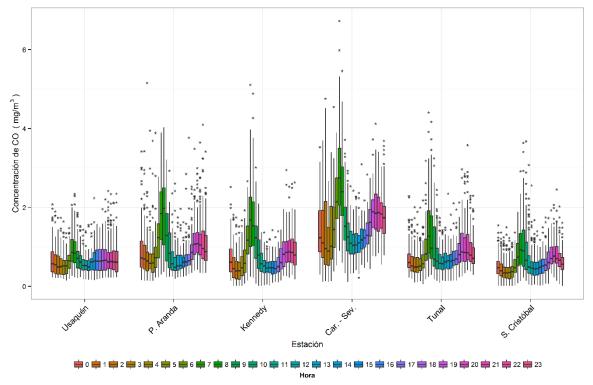


Figura 0-7. Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo DEF 2014 – 2015.





ÚLTIMA PÁGINA FIN DEL INFORME

