



**ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

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

**Junio – julio – agosto de 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**  
**Leonardo Quiñones Cantor**  
Grupo de Validación 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 –

© Noviembre de 2015, Bogotá - Colombia  
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  
Junio – Julio – Agosto de 2015**

## Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo .....	13
Introducción .....	16
1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED .....	18
1.1. Características generales .....	18
1.2. Normatividad vigente .....	21
2. Indicadores de operación y desempeño .....	22
2.1. Porcentaje de captura de datos .....	22
2.2. Porcentaje de datos válidos .....	24
3. Evaluación y análisis de contaminantes .....	27
3.1. Material particulado – MP o PM ( <i>Particulate Matter</i> ) .....	27
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST .....	28
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> .....	34
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM <sub>2.5</sub> .....	46
3.1.4. Relación de concentración PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> .....	58
3.2. Gases contaminantes .....	59
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O <sub>3</sub> .....	60
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	72
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO <sub>2</sub> .....	83
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO .....	93
3.3. Índices de calidad del aire .....	102
3.3.1. Índice de calidad del aire para PM <sub>10</sub> .....	103
3.3.2. Índice de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> .....	106
3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O <sub>3</sub> ), dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	109
3.4. Síntesis de resultados .....	112
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas .....	124
4.1. Precipitación .....	124
4.2. Vientos .....	129
4.3. Temperatura Superficial .....	134
4.4. Radiación solar .....	138
4.5. Presión Atmosférica .....	140
4.6. Humedad Relativa .....	141
5. Meteorología y Calidad del Aire .....	142
6. Episodio de máxima concentración .....	147

Bibliografía.....	149
Glosario .....	151
Anexos .....	156

## Índice de figuras

<b>Figura 1-1.</b> Distribución de las estaciones de la RMCAB en el trimestre JJA-2015 .....	19
<b>Figura 2-1.</b> Porcentaje de captura de datos por parámetro para el tercer trimestre de 2015. .....	23
<b>Figura 2-2.</b> Porcentaje de captura de datos por estación para el tercer trimestre de 2015. .....	23
<b>Figura 2-3.</b> Porcentaje de datos válidos por parámetro para el tercer trimestre de 2015.	25
<b>Figura 2-4.</b> Porcentaje de datos válidos por estación para el tercer trimestre de 2015....	26
<b>Figura 3-1.</b> Concentración máxima de PST (TSP) durante el tercer trimestre JJA de 2015. Base 24h. ....	29
<b>Figura 3-2.</b> Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el .....	29
<b>Figura 3-3.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre JJA por días de la semana.....	30
<b>Figura 3-4.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre JJA por meses. ....	32
<b>Figura 3-5.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para PST multianual en el trimestre JJA.....	33
<b>Figura 3-6.</b> Promedios trimestrales, número de excedencias y máximos de PM <sub>10</sub> por estación durante el trimestre JJA 2015. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m <sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010).....	35
<b>Figura 3-7.</b> Material particulado (PM <sub>10</sub> ) con base en la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Periodo JJA 2015.....	37
<b>Figura 3-8.</b> Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m <sup>3</sup> . ....	38
<b>Figura 3-9.</b> Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	39
<b>Figura 3-10.</b> Diagrama calendario para PM <sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación San Cristobal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.....	39
<b>Figura 3-11.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el trimestre JJA 2015.....	40
<b>Figura 3-12.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del trimestre JJA 2015. ....	41
<b>Figura 3-13.</b> Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el periodo JJA 2015, las cuales tienen cobertura temporal superior a 75%. Cada promedio se presenta con un intervalo de 95% de confianza. ....	42
<b>Figura 3-14.</b> Ciclo diario de PM <sub>10</sub> para 11 estaciones de la RMCAB en el periodo JJA 2015, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%. ....	43
<b>Figura 3-15.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> por estación de monitoreo en el trimestre JJA para los años 2011 y 2015. ....	44
<b>Figura 3-16.</b> Promedios, máximos y excedencias de PM <sub>2,5</sub> en base diaria para el trimestre JJA 2015.....	46
<b>Figura 3-17.</b> Material particulado (PM <sub>2,5</sub> ) con base en la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre JJA 2015.....	49

<b>Figura 3-18.</b> Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las 2 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m <sup>3</sup> ) en el trimestre. ....	50
<b>Figura 3-19.</b> Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	50
<b>Figura 3-20.</b> Diagrama calendario para PM <sub>2.5</sub> para el trimestre JJA 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	51
<b>Figura 3-21.</b> Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de días de la semana del trimestre JJA 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. ....	52
<b>Figura 3-22.</b> Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. ....	53
<b>Figura 3-23.</b> Comportamiento de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza. ....	54
<b>Figura 3-24.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por estación en el periodo JJA 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza. ....	55
<b>Figura 3-25.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para el trimestre JJA 2015. ....	56
<b>Figura 3-26.</b> Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O <sub>3</sub> en base horaria por estación durante el periodo JJA 2015. ....	61
<b>Figura 3-27.</b> Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de O <sub>3</sub> (80 µg/m <sup>3</sup> ) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el trimestre JJA 2015. ....	64
<b>Figura 3-28.</b> 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%. Trimestre JJA 2015. ..	65
<b>Figura 3-29.</b> 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 trimestre JJA 2015. ....	66
<b>Figura 3-30.</b> Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del trimestre y cobertura temporal superior a 75% para el trimestre JJA 2015. ....	67
<b>Figura 3-31.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. ....	68
<b>Figura 3-32.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día. ....	69
<b>Figura 3-33.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> de O <sub>3</sub> en función de las estaciones de monitoreo en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas). ..	70
<b>Figura 3-34.</b> Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015. ....	73
<b>Figura 3-35.</b> Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el periodo JJA 2015. ....	74
<b>Figura 3-36.</b> Diagrama calendario para NO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> . ....	75

<b>Figura 3-37.</b> Diagrama calendario para NO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> .	75
<b>Figura 3-38.</b> Diagrama calendario para NO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> .	76
<b>Figura 3-39.</b> Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO <sub>2</sub> en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre JJA 2015. La norma aplicable es de 150µg/m <sup>3</sup> .	77
<b>Figura 3-40.</b> Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO <sub>2</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con cobertura temporal mayor a 75%.	78
<b>Figura 3-41.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.	79
<b>Figura 3-42.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	80
<b>Figura 3-43.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para NO <sub>2</sub> por estaciones en base diaria para el periodo JJA entre los años 2011 y 2015.	81
<b>Figura 3-44.</b> Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo JJA 2015.	84
<b>Figura 3-45.</b> Concentraciones máximas y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el periodo JJA 2015.	85
<b>Figura 3-46.</b> Diagrama calendario para SO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es de 250 µg/m <sup>3</sup> .	86
<b>Figura 3-47.</b> Diagrama calendario para SO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es 250 µg/m <sup>3</sup> .	86
<b>Figura 3-48.</b> Diagrama calendario para SO <sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es 250 µg/m <sup>3</sup> .	87
<b>Figura 3-49.</b> Comportamiento de las concentraciones diarias de SO <sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre JJA 2015.	88
<b>Figura 3-50.</b> Comportamiento de las concentraciones diarias de SO <sub>2</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015 por estación de monitoreo.	88
<b>Figura 3-51.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	89
<b>Figura 3-52.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	90
<b>Figura 3-54.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para SO <sub>2</sub> en base diaria por estación de monitoreo en los meses del trimestre JJA, en el periodo 2011-2015	91
<b>Figura 3-55.</b> Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el periodo JJA 2015.	94
<b>Figura 3-56.</b> Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el trimestre JJA 2015.	96

<b>Figura 3-57.</b> 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 trimestre JJA 2015.	97
<b>Figura 3-58.</b> Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del trimestre JJA 2015 por estación de monitoreo.	98
<b>Figura 3-59.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el periodo JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	99
<b>Figura 3-60.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo JJA 2015 para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	99
<b>Figura 3-61.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo en el periodo comprendido por el trimestre JJA a través de los años 2011 a 2015.	100
<b>Figura 3-62.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm <sub>10</sub> por estación. Trimestre JJA 2015	104
<b>Figura 3-63.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm <sub>10</sub> por mes. Trimestre JJA 2015.	104
<b>Figura 3-64.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm <sub>10</sub> por días de la semana. Trimestre JJA 2015	105
<b>Figura 3-65.</b> Índice de Calidad del Aire promedio de PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para el periodo JJA 2015.	105
<b>Figura 3-66.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> por estación para el trimestre JJA 2015.	107
<b>Figura 3-67.</b> Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> en los meses del trimestre JJA 2015.	107
<b>Figura 3-68</b> Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana para el trimestre JJA 2015.	108
<b>Figura 3-69.</b> Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM <sub>2.5</sub> en el trimestre JJA 2015.	109
<b>Figura 3-70.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O <sub>3</sub> ). Base de 8 horas.	110
<b>Figura 3-71.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Base diaria.	110
<b>Figura 3-72.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.	111
<b>Figura 4-2</b> Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.	125
<b>Figura 4-3.</b> Promedio de los acumulados de precipitación trimestrales desde 1998.	126
<b>Figura 4-5.</b> Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.	127
<b>Figura 4-6.</b> Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en el trimestre JJA. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá.	128
<b>Figura 4-7.</b> Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA.	129
<b>Figura 4-8.</b> Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.	130
<b>Figura 4-11.</b> (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.	132
<b>Figura 4-12.</b> Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el trimestre JJA.	133

<b>Figura 4-13.</b> Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2015.....	134
<b>Figura 4-14.</b> Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2015. ....	135
<b>Figura 4-15.</b> Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015. ....	136
<b>Figura 4-17.</b> Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el trimestre JJA.....	137
<b>Figura 4-18.</b> Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015. ....	139
<b>Figura 4-19.</b> Radiación trimestral de los últimos años. ....	139
<b>Figura 4-20.</b> Radiación mensual de los últimos años. ....	140
<b>Figura 4-21.</b> Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB. ....	141
<b>Figura 2-1.</b> 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 JJA. ....	143
<b>Figura 2-2 .</b> PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la mañana del trimestre JJA. ....	144
<b>Figura 2-3 .</b> PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la tarde del trimestre JJA. ....	145
<b>Figura 2-4.</b> PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche del trimestre JJA.....	146
<b>Figura 6-1.</b> Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 22 de agosto de 2015, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h.....	147
<b>Figura 6-2 (a)</b> PM <sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 22 de agosto de 2015. ....	148
<b>Figura A-1.</b> Gráfico de <i>boxplot</i> con una descripción de sus componentes. ....	156
<b>Figura B-1.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>10</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.....	158
<b>Figura B-2.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>2,5</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.....	158
<b>Figura B-3.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de O <sub>3</sub> por estación durante el periodo JJA 2015. ....	159
<b>Figura B-4.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO <sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.....	160
<b>Figura B-5.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO <sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.....	161
<b>Figura B-6</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo JJA 2015. ....	162

## Índice de tablas

<b>Tabla 1-1.</b> Información de las estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el trimestre JJA - 2015.....	20
<b>Tabla 1-2.</b> Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA.....	21
<b>Tabla 1-3.</b> Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010. ....	21
<b>Tabla 2-1.</b> Resumen del porcentaje de datos capturados por estación y por parámetro..	24
<b>Tabla 2-2.</b> Resumen del porcentaje de datos válidos por estación y por parámetro. ....	26
<b>Tabla 3-1.</b> Resumen de datos diarios de PST para el trimestre JJA 2015. ....	28
<b>Tabla 3-2.</b> Concentración promedio (geométrico) de PST por día de la semana en el trimestre JJA 2015. Se considera solamente la estación Carvajal. ....	31
<b>Tabla 3-3.</b> Concentración promedio de PST por mes en el trimestre JJA de los últimos 5 años.....	32
<b>Tabla 3-4.</b> Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PST en promedios geométricos .....	33
<b>Tabla 3-5.</b> Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de los datos diarios de PM <sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 .....	36
<b>Tabla 3-6.</b> Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM <sub>10</sub> (100 µg/m <sup>3</sup> ) por estación y por mes para el trimestre JJA 2015 .....	36
<b>Tabla 3-7.</b> Resumen de promedios y máximos de las concentraciones diarias .....	45
<b>Tabla 3-8.</b> Resumen de datos diarios de PM <sub>2.5</sub> para el periodo JJA 2015. Base de tiempo diaria.....	47
<b>Tabla 3-9.</b> Excedencias de la norma diaria de PM <sub>2.5</sub> (50 µg/m <sup>3</sup> ) por estación y por mes para el año 2015.....	48
<b>Tabla 3-10.</b> Resumen histórico de concentraciones máximas de PM <sub>2.5</sub> en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013. ....	57
<b>Tabla 3-11.</b> Relación de concentraciones entre PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo JJA 2015 y que tienen cobertura temporal superior a 75%. ....	58
<b>Tabla 3-12.</b> Resumen descriptivo de los datos horarios de O <sub>3</sub> por estación para el periodo JJA – 2015.....	60
<b>Tabla 3-13.</b> Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O <sub>3</sub> en base 8 horas durante el trimestre JJA 2015. ....	63
<b>Tabla 3-14.</b> Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O <sub>3</sub> (80 µg/m <sup>3</sup> ) por estación y por mes durante el trimestre JJA 2015. ....	63
<b>Tabla 3-15.</b> Resumen histórico de las concentraciones máximas de O <sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas en el trimestre JJA para los años 2011-2015.....	71
<b>Tabla 3-16.</b> Resumen de datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015. 72	
<b>Tabla 3-17.</b> Resumen de datos diarios de NO <sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015 ...	74
<b>Tabla 3-18.</b> Resumen histórico de promedios y máximos de las concentraciones de NO <sub>2</sub> en base diaria en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015. ....	82
<b>Tabla 3-19.</b> Resumen de datos de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para el periodo JJA 2015. ....	83

<b>Tabla 3-20.</b> Resumen de los datos diarios de SO <sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015.	85
<b>Tabla 3-21.</b> Resumen estadístico de los máximos diarios de SO <sub>2</sub> en los periodos comprendidos por el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015.	92
<b>Tabla 3-22.</b> Resumen de datos horarios de CO por estación para el trimestre JJA 2015	93
<b>Tabla 3-23.</b> Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el trimestre JJA 2015.	95
<b>Tabla 3-24.</b> Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios móviles de 8 horas en el trimestre JJA para los años 2011 a 2015.	101
<b>Tabla 3-25.</b> 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).	102
<b>Tabla 3-26.</b> Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), JJA 2015.	113
<b>Tabla 3-27.</b> Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ), JJA 2015.	114
<b>Tabla 3-28.</b> Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ), JJA 2015.	115
<b>Tabla 3-29.</b> Consolidado de los promedios horarios de O <sub>3</sub> , JJA 2015.	116
<b>Tabla 3-30.</b> Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O <sub>3</sub> , JJA 2015.	117
<b>Tabla 3-31.</b> Consolidado de los promedios horarios de NO <sub>2</sub> , JJA 2015.	118
<b>Tabla 3-32.</b> Consolidado de los promedios diarios de NO <sub>2</sub> , JJA 2015.	119
<b>Tabla 3-33.</b> Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO <sub>2</sub> JJA 2015	120
<b>Tabla 3-34.</b> Consolidado de los promedios diarios de SO <sub>2</sub> , JJA 2015.	121
<b>Tabla 3-35.</b> Consolidado de los promedios horarios de CO, JJA 2015.	122
<b>Tabla 3-36.</b> Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, JJA 2015.	123
<b>Tabla 4-1.</b> Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante el trimestre JJA.	125
<b>Tabla 4-2.</b> Acumulados de los trimestres junio, julio y agosto multianuales y por estación.	126
<b>Tabla 4-3.</b> valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.	129
<b>Tabla 4-4.</b> Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB en los trimestres JJA desde 2000 hasta 2015.	131
<b>Tabla 4-5.</b> Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB en los trimestres JJA de 2000 a 2015.	135
<b>Tabla 4-6.</b> Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica.	136
<b>Tabla 4-7.</b> Radiación acumulada promedio trimestral y anual de la RMCAB	138
<b>Tabla 4-8</b> Presión atmosférica durante el trimestre en las estaciones de la RMCAB.	141
<b>Tabla 4-9.</b> Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.	141
<b>Tabla B-1.</b> Factores de conversión de unidades para gases contaminantes. Las unidades resultantes (mg/m <sup>3</sup> y µg/m <sup>3</sup> ) estarán en condiciones de referencia correspondientes a 25°C y 760 mm Hg.	157

## Resumen ejecutivo

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad dados por la Resolución 601 de 2006 del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) la cual fue modificada por la Resolución 610 de 2010. La RMCAB actualmente cuenta con 14 estaciones, ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , PST), de gases contaminantes ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ) y las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y humedad relativa.

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

La norma diaria de  $PM_{10}$  ( $100 \mu g/m^3$ ) fue excedida por la estación Carvajal con 13 con un promedio trimestre de  $78 \mu g/m^3$ , sin embargo se debe resaltar que no existe normatividad para periodos trimestrales, por lo cual la comparación con la norma no se puede hacer de forma directa y tan solo resulta una referencia. Al hacer el análisis de la cantidad de datos que se encuentran entre el 90% y el 100% del valor de la norma diaria, es decir, mayores a  $90 \mu g/m^3$  y menores o iguales a  $100 \mu g/m^3$ , se puede ver que este periodo tan solo tuvo la misma estación de Carvajal-Sevillana en este rango, lo que permite inferir un buen comportamiento en el estado de la calidad del aire en este trimestre. Con respecto al ciclo diario, se observan picos entre las 6 y 8am (dependiendo la estación) para estabilizarse alrededor de las 10am y hasta las 4-5pm, para empezar otro aumento más pequeño que el de la mañana hacia las 6pm y hasta las 8-9pm. Con respecto al comportamiento mensual, agosto resultó el más alto de los tres meses, mientras que junio fue el de menor concentración.

El contaminante  $PM_{2.5}$  fue monitoreado para este trimestre II-2015 con 10 monitores con representatividad temporal superior a 75%. Se presentaron los promedios más altos para Carvajal, Kennedy, Suba y Tunal con 26, 21, 16 y  $15 \mu g/m^3$ , respectivamente. Por su parte San Cristobal, Usaquén, Guaymaral y Minambiente tienen los valores más bajos con 5, 9, 9 y  $9 \mu g/m^3$ , respectivamente. El valor máximo encontrado durante el trimestre fue de  $42 \mu g/m^3$  en Carvajal-Sevillana. Con respecto a las excedencias diarias de  $50 \mu g/m^3$ , en este trimestre no se encontraron, muy diferente a lo ocurrido en el año 2014 y en los otros trimestres del mismo año, lo que evidencia una buena condición para este III-Trimestre.

El análisis de la relación de concentraciones entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  muestra la fracción de  $PM_{10}$  que es  $PM_{2.5}$  y varía en función de las actividades en las inmediaciones de la estación. La estación CDAR tiene una relación relativamente alta (0,65), lo cual evidencia una influencia considerable por parte de fuentes de combustión (fijas y móviles) y probablemente también por una alta actividad de reacciones fotoquímicas; mientras que estaciones como Carvajal-Sevillana, San Cristobal, Minambiente y Kennedy están principalmente influenciadas por material de tipo resuspendido, con relaciones entre 0.33; 0.36, 0.38 y 0.41, aunque es importante precisar que los valores absolutos de San Cristóbal y Minambiente fueron bajos, es decir por estar cumplimiento parcialmente normatividad nacional e incluso OMS.

El ozono ( $O_3$ ), un contaminante secundario producido a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar, no presentó excedencias en este trimestre de los límites normativos a la norma horaria de  $120 \mu g/m^3$ . La concentración más alta fue registrada en Usaquén con un valor de  $119 \mu g/m^3$ . En términos de la concentración octohoraria el  $O_3$  en el tercer trimestre de 2015 se presentaron 22 datos por encima de la norma ( $80 \mu g/m^3$ ), todas en la estación Usaquén. El máximo promedio móvil de 8 horas fue  $105 \mu g/m^3$  el 21 de agosto de 2016 a las 06:00 p.m. en CDAR, día en el cual otras 3 estaciones registraron sus máximos.

El dióxido de nitrógeno  $NO_2$  no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 1 hora ( $200 \mu g/m^3$ ) como a 24 horas ( $150 \mu g/m^3$ ). El valor máximo encontrado para exposición horaria fue de  $108 \mu g/m^3$  en la estación Las Ferias, mientras que para exposición a 24 horas el valor máximo fue de  $64 \mu g/m^3$  en la estación Carvajal-Sevillana.

El dióxido de azufre  $SO_2$  no supero los límites normativos nacionales ni para la exposición a 3 horas ( $750 \mu g/m^3$ ), ni tampoco para norma diaria ( $250 \mu g/m^3$ ). El valor máximo encontrado para una exposición a 3 horas fue de  $97 \mu g/m^3$ , mientras que para 24 horas de exposición estuvo en  $39 \mu g/m^3$ , en ambos casos en la estación Suba. La máxima concentración registrada durante los últimos 5 terceros trimestres para una exposición diaria fue de  $51 \mu g/m^3$  en Carvajal-Sevillana el 14 de junio de 2013.

El monóxido de carbono no presento excedencias de la norma nacional, ni tampoco se aprecian datos entre el 75% y el 100% del valor de la norma, ni para una exposición a 1 hora como para 8 horas. El valor máximo encontrado para este periodo fue de  $6.9 \text{ mg}/m^3$  para una exposición de 1 hora (norma nacional  $40 \text{ mg}/m^3$ ) y de  $2.9 \text{ mg}/m^3$  para una exposición de 8 horas (norma nacional  $10 \text{ mg}/m^3$ ), lo que representa sólo el 30% de la norma nacional.

Respecto a las variaciones de las condiciones meteorológicas, la RMCAB monitoreó la precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar global y presión barométrica durante el tercer trimestre 2015. Con respecto a la precipitación, durante el periodo se observaron acumulados por debajo de los históricos de la RMCAB (periodo 1998-2014), alcanzando una diferencia en el trimestre del orden del 30%, estando junio estuvo dentro del histórico de la RMCAB, mientras julio y agosto sí estuvieron por debajo del histórico. Lo anterior se encuentra influenciado por el fenómeno El Niño que comenzó a presentarse fuerte en estos meses del año y fue declarado oficialmente en abril 2015, por tanto sus consecuencias en la región Andina y buena parte del país se empezaron a sentir. Los déficits se presentaron en toda la ciudad, aunque especialmente hacia el oriente.

Con respecto a las velocidades de viento, las estaciones de Kennedy y Carvajal-Sevillana, registraron los mayores valores promedio en el trimestre, con velocidades medias de 3.0 y 2.9 m/s, respectivamente, mientras que las máximas horarias se observaron en Kennedy y Puente Aranda con 5,2 m/s cada uno. Geográficamente, se observó que el sector con menor magnitud de velocidad del viento se encuentra al norte y nororiente de la ciudad además de algunos sectores del Sur. De igual forma, la mayor cantidad de vientos en calma (menor a 0.5m/s) se encuentra al norte de la ciudad entre un 25 y 30%, mientras que la menor cantidad de vientos en calma se aprecian hacia el suroccidente. Predominan vientos del Noreste y del Este - Sureste en los extremos de la ciudad y se observa confluencia de los vientos hacia el occidente de la ciudad y en sectores aledaños a Mosquera y Funza. En general se observa un aumento en la velocidad del viento con magnitudes desde 1.0 a 2.0 m/s en el Nororiente hasta los 3 m/s en el Occidente de la ciudad.

La temperatura ha estado por encima de los históricos de la RMCAB e incluso el mes de agosto alcanzó una diferencia de 1°C. En este trimestre estaciones como Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Suba alcanzaron los valores más altos de los registros históricos de la RMCAB. Por su parte la radiación solar global, también estuvo por encima de los históricos en el orden de un 13%.

Los resultados de este trimestre han mostrado una concentración de material particulado relativamente bajo en comparación con otros trimestres de años anteriores, lo cual se encuentra ligado al comportamiento en las velocidades de viento y a la prevalencia del viento del este - sureste y noreste lo que facilitó el transporte de los contaminantes fuera de la ciudad. Por otro lado, unas velocidades promedio de vientos un poco por encima de los históricos de la RMCAB, lo que facilita la dispersión de los contaminantes.

## 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, del entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Para el trimestre de estudio, correspondiente a junio - agosto de 2015 (JJA)<sup>1</sup>, la RMCAB estaba conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de contaminantes criterio: material particulado (PM<sub>10</sub>, PST, PM<sub>2.5</sub>), y gases contaminantes (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>), así como de las variables meteorológicas de precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

En el presente informe se realizan comparaciones de los promedio obtenidos a lo largo del trimestre para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en la normatividad (RES 610 de 2010 del MAVDT), sin embargo, el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión. Este informe contempla el cálculo de número de excedencias frente a la norma (excedencias horarias o diarias), lo cual si es comparable directamente con la norma e informa al lector respecto al número de incumplimientos normativos que presentó un contaminante durante el periodo de análisis y con esto, se infiere la exposición y potencial afectación a los habitantes de la ciudad.

El primer numeral del presente informe contiene información sobre las características generales de las estaciones de la RMCAB. En el segundo se encuentran los respectivos indicadores de operación y desempeño, referente a la captura de datos e información válida en el trimestre JJA-2015. El tercero corresponde a la sección de calidad del aire, donde se presenta: i) 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; ii) una 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; iii) En la parte final del tercer numeral el lector encontrará los resultados de los análisis de las mediciones de concentraciones de contaminantes criterio para el

---

<sup>1</sup> Correspondiente al tercer trimestre meteorológico de la ciudad y que se denominará JJA-2015 de aquí en adelante

periodo JJA-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. Finalmente se presenta un cuarto numeral 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.

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED

### 1.1. Características generales

La RMCAB hace parte de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual de la Secretaría Distrital de Ambiente y está conformada por doce (14) 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 la Estación Móvil no se involucra en los análisis, dado que está dedicada a la evaluación la calidad del aire puntual en corredores viales bajo el Convenio 26 de 2010 entre el IDEAM, La Secretaría Distrital de Ambiente y TRANSMILENIO S.A. La estación Fontibón tampoco se reporta, dado que está siendo objeto de traslado.

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/web/sda/red-de-calidad-del-aire> o directamente el enlace <http://201.245.192.252:81>.

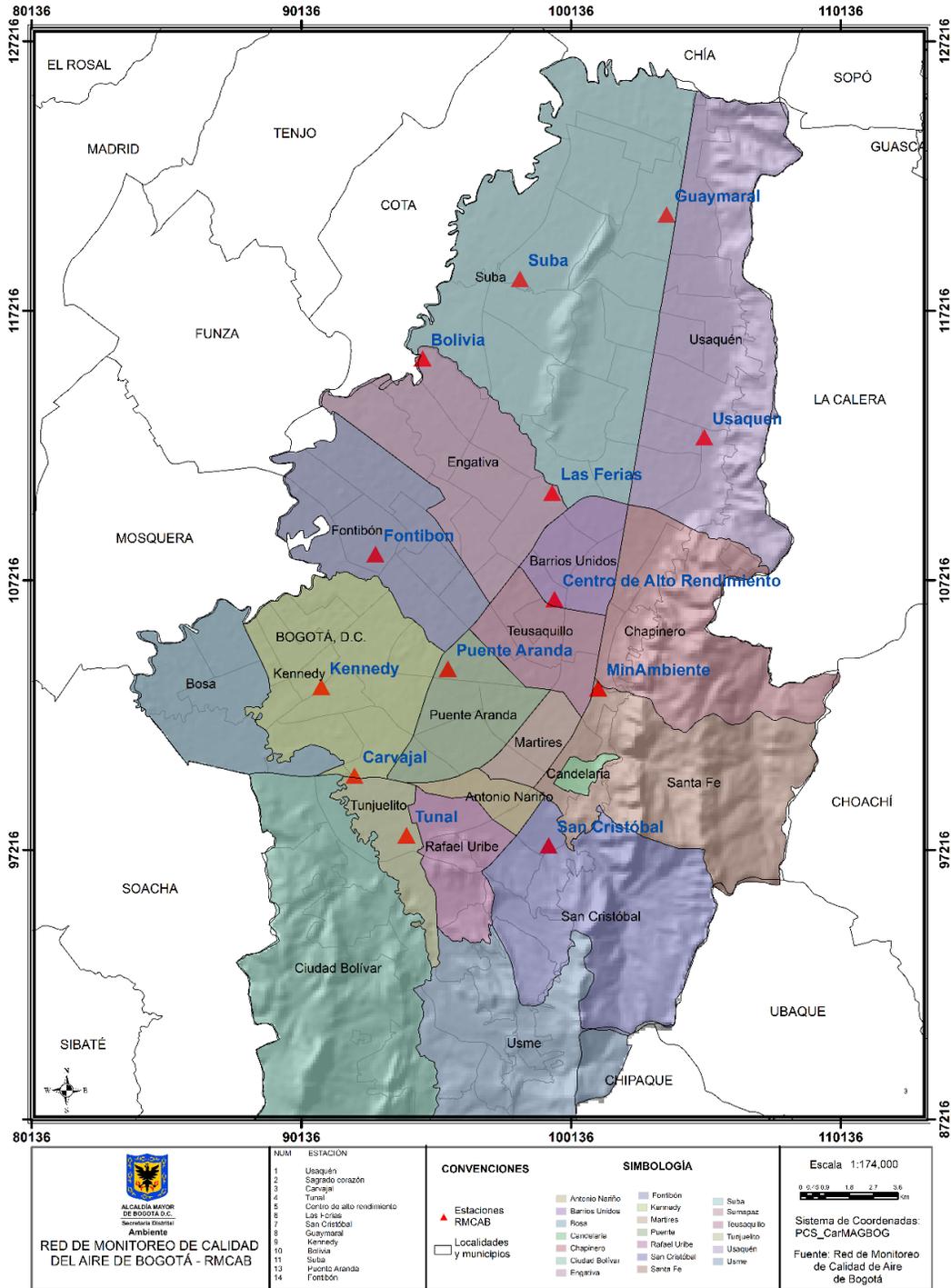


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de la RMCAB en el trimestre JJA-2015

**Tabla 1-1.** Información de las estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para el trimestre JJA - 2015.

Característica	Guaymaral	Usaquén	Suba	Bolivia	Las Ferias	C. de Alto Rendimiento	Min. Ambiente	Puente Aranda	Kennedy	Carvajal-Sevillana	Tunal	San Cristóbal	Móvil	
Ubicación	Latitud	4°47'1.52"N	4°42'37.26"N	4°45'40.49"N	4°44'9.12"N	4°41'26.52"N	4°39'30.48"N	4°37'31.75"N	4°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	---
	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	---
	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		
Contaminantes	PST									X				
	PM <sub>10</sub>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	PM <sub>2.5</sub>	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	
	O <sub>3</sub>	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	
	NO <sub>2</sub>	X				X	X		X	X	X			
	CO		X				X		X	X	X	X	X	
	SO <sub>2</sub>			X		X	X		X	X			X	
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	D. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Temperatura	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	
	Precipitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	R. Solar	X					X			X		X	X	
	H. Relativa	X				X	X			X		X	X	
	Presión Atm.	X				X				X			X	

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 EPA

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

Al momento de analizar la información de calidad del aire de Bogotá es importante considerar que no todos los años se tienen las mismas estaciones o cantidad de datos debido a motivos operacionales.

## 1.2. Normatividad vigente.

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

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

Contaminante	Nivel máximo permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición	Cálculo
PST	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>10</sub>	50	Anual	Promedio geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	100	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>2.5</sub>	25	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	50	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
SO <sub>2</sub>	80	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	250	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	750	3 horas	Concentración promedio horaria en 3 horas.
NO <sub>2</sub>	100	Anual	Promedio aritmético de las concentraciones diarias en 365 días.
	150	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
	200	1 hora	Concentración promedio horaria.
O <sub>3</sub>	80	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	120	1 hora	Concentración promedio horaria
CO	10000	8 horas	Concentración promedio en 8 horas
	40000	1 hora	Concentración promedio horaria

## 2. Indicadores de operación y desempeño

En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño de la RMCAB para el tercer 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 tercer trimestre meteorológico de 2015<sup>2</sup>, respectivamente. Se observa para ambas figuras que 16 de los 17 parámetros monitoreados cuentan con 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 que se logró obtener un registro de captura de datos de contaminantes por arriba del 95% lo cual corresponde a 54 analizadores y monitores de la RMCAB ubicados en las diferentes estaciones de monitoreo. La Figura 2-2 se observa que el porcentaje de captura por estación se mantuvo por arriba del 87%.

La estación de Fontibón continúa fuera de servicio desde 1 de julio de 2014 por inconvenientes logísticos en su reubicación, por lo cual los analizadores de contaminantes fueron reubicados temporalmente en las estaciones de Kennedy y Unidad Móvil para mantenerlos en mantenimiento activo. Sin embargo, los analizadores meteorológicos se encuentran fuera de funcionamiento y es por esto que el porcentaje de captura de datos para la presión barométrica, precipitación, la humedad relativa, la temperatura y la dirección y velocidad del viento se vieron disminuidos respecto al resto de monitores.

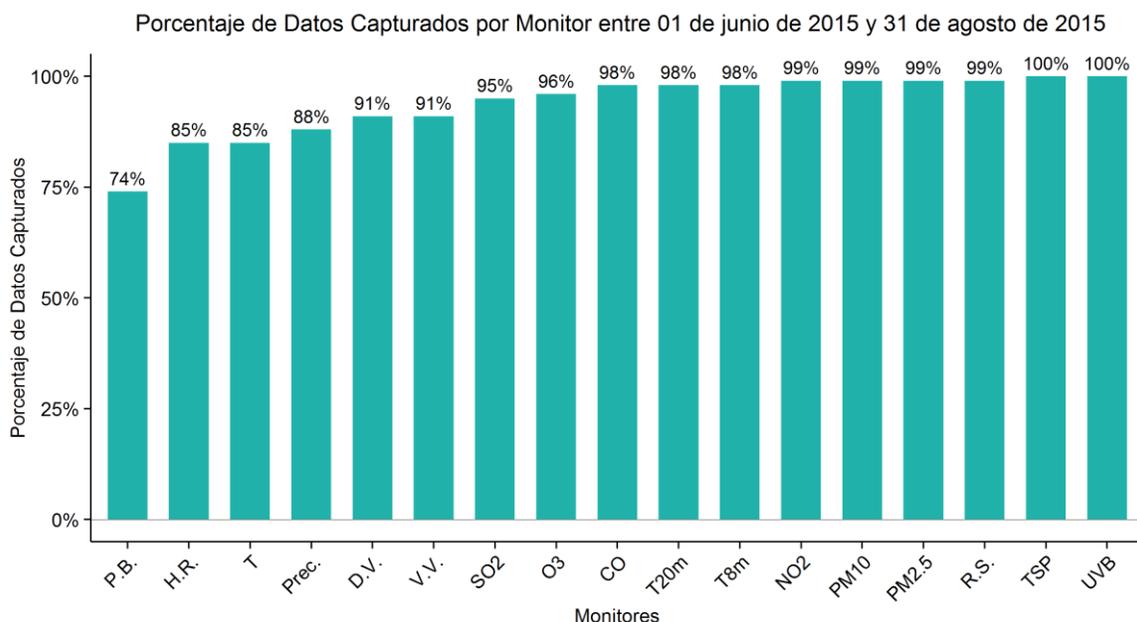
El equipo de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) de suba fue trasladado de manera permanente a la unidad móvil en abril de 2015, al igual que el analizador de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) de tunal.

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.

Los sensores de radiación directa y radiación difusa de la estación Centro de Alto Rendimiento se encuentran fuera de servicio, al igual que los tres equipos de hidrocarburos ubicados en las estaciones de Guaymaral, Unidad Móvil y Tunal.

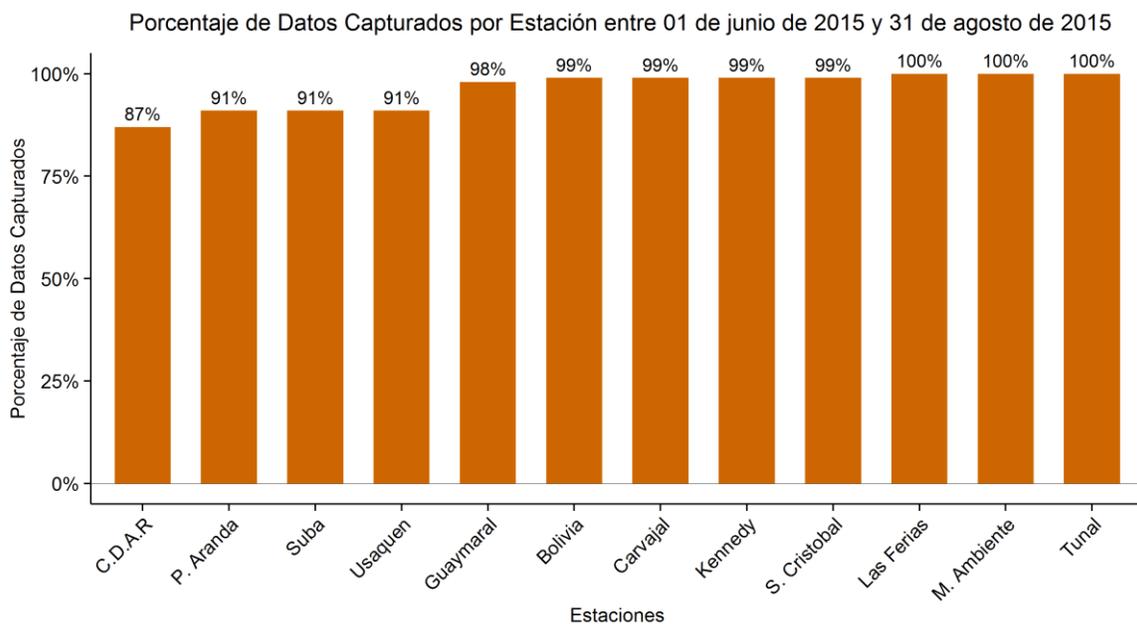
---

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



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

En la Figura 2-2 se presenta el porcentaje de datos capturados por estación y no se incluye la estación Fontibón por la razón de traslado mencionada.



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

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

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99%	-	-	-	-	-	-	99%	99%	99%
C.D.A.R	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	100%	100%	100%	0%	0%	100%	-	100%	100%	87%
Carvajal	100%	100%	100%	96%	100%	99%	100%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	99%
Fontibon	-	Ta	-	Tb	-	Tb	Tb	0%	-	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Guaymaral	-	98%	98%	98%	98%	-	-	98%	98%	98%	98%	98%	98%	-	-	-	98%	98%	98%	98%
Kennedy	-	99%	99%	97%	99%	99%	99%	99%	-	-	99%	99%	99%	-	-	-	99%	99%	99%	99%
Las Ferias	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%
M. Ambiente	-	100%	98%	100%	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	100%
P. Aranda	-	96%	-	96%	96%	96%	96%	93%	-	-	59%	-	-	-	-	-	-	95%	94%	91%
S. Cristobal	-	99%	100%	95%	-	95%	100%	99%	-	-	99%	99%	99%	-	-	-	-	99%	99%	99%
Suba	-	97%	96%	74%	Ta	-	74%	97%	-	-	97%	-	-	-	-	-	-	97%	97%	91%
Tunal	-	100%	100%	100%	100%	100%	Ta	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%
Usaquen	-	98%	99%	99%	-	96%	-	45%	-	-	98%	-	-	-	-	-	-	98%	98%	91%
Total	100%	99%	99%	96%	99%	98%	95%	85%	98%	98%	88%	85%	99%	0%	0%	100%	74%	91%	91%	

<sup>a</sup> Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. <sup>b</sup> 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.

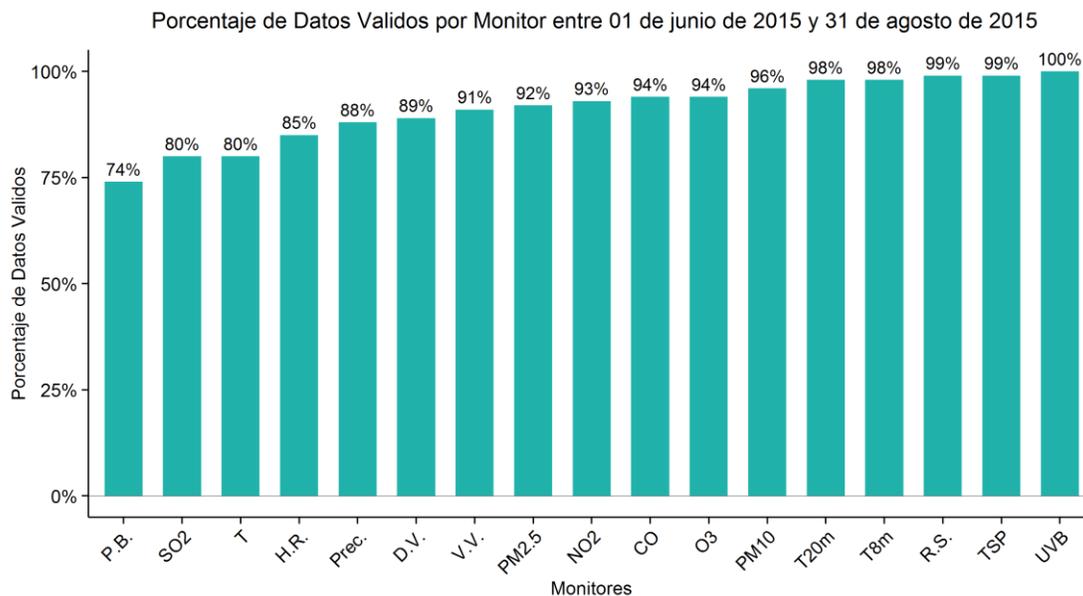
En total para este tercer trimestre se obtuvo un porcentaje de datos válidos en la RMCAB correspondiente al 88%. Este valor es superior al porcentaje mínimo de representatividad temporal que es 75%, valor establecido de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> 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%.

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 2%.

El parámetro cuya diferencia de dato capturado vs valido fue mayor, corresponde a dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) con una invalidación del 15% de los datos. Esto se debe principalmente al equipo de la estación Las Ferias, el cual tuvo falla que causó gran inestabilidad del cero del equipo y generó deriva muy significativa, lo cual comprometió la integridad del orden de magnitud del registro de los datos.

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 3%. La estación Las Ferias presentó el mayor porcentaje de datos inválidos, 11%. Se presentó debido al daño ya mencionado en el analizador de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).



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

No se presentaron invalidaciones masivas de datos para múltiples parámetros. Los porcentajes de invalidación de datos por estación y por parámetro son relativamente bajos comparados con los promedios de invalidación del año 2014.

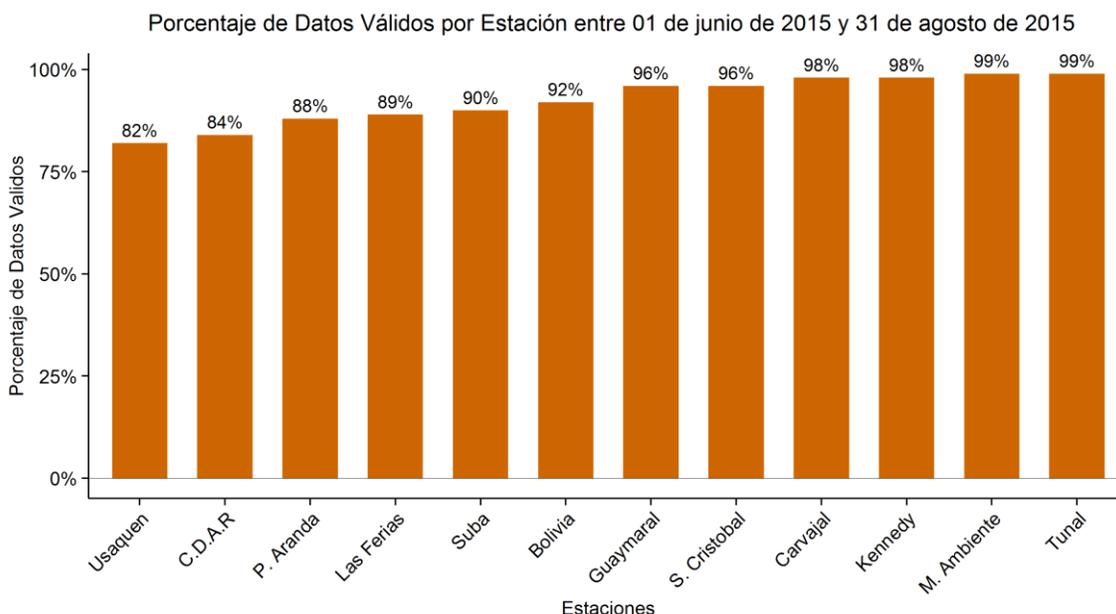


Figura 2-4. Porcentaje de datos válidos por estación para el tercer trimestre de 2015.

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

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

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	RDR	RDF	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Bolivia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92%	-	-	-	-	-	-	92%	92%	92%
C.D.A.R.	-	96%	91%	91%	93%	91%	98%	100%	-	-	100%	100%	100%	0%	0%	100%	-	100%	100%	84%
Carvajal	99%	99%	100%	95%	90%	93%	100%	100%	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	98%
Fontibon	-	Ta	-	Tb	-	Tb	Tb	0%	-	-	0%	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%
Guaymaral	-	98%	87%	96%	82%	-	-	98%	98%	98%	98%	98%	98%	-	-	-	98%	98%	98%	96%
Kennedy	-	99%	98%	96%	98%	98%	97%	99%	-	-	99%	99%	99%	-	-	-	99%	99%	99%	98%
Las Ferias	-	78%	88%	99%	99%	99%	7%	100%	-	-	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	100%	89%
M. Ambiente	-	99%	97%	99%	-	-	-	-	-	-	100%	-	-	-	-	-	-	100%	100%	99%
P. Aranda	-	95%	-	95%	92%	95%	95%	90%	-	-	56%	-	-	-	-	-	-	95%	78%	88%
S. Cristobal	-	98%	85%	94%	-	90%	94%	99%	-	-	99%	99%	99%	-	-	-	-	99%	99%	96%
Suba	-	93%	95%	73%	Ta	-	71%	97%	-	-	97%	-	-	-	-	-	-	97%	97%	90%
Tunal	-	99%	95%	99%	100%	99%	Ta	100%	-	-	100%	100%	100%	-	-	-	-	100%	100%	99%
Usaquen	-	97%	82%	98%	-	88%	-	0%	-	-	98%	-	-	-	-	-	-	98%	98%	82%
Total	99%	96%	92%	94%	93%	94%	80%	80%	98%	98%	88%	85%	99%	0%	0%	100%	74%	91%	89%	

<sup>a</sup> Equipo trasladado a Unidad Móvil de la RMCAB. <sup>b</sup> Equipo trasladado a 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, PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>; la segunda sección hace referencia a los gases contaminantes que son O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 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 meteorológico JJA 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 para el distrito las partículas PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> reguladas a nivel nacional por la Resolución 610 de 2010. El PST corresponde al total de partículas suspendidas y es indicador general de resuspensión, el PM<sub>10</sub> corresponde a aquellas cuyo tamaño es menor o igual a 10 micrómetros (µm), mientras el PM<sub>2.5</sub>, corresponde a partículas con tamaño menor o igual a 2,5 µm y se asocian a emisiones directas (como contaminantes primarios de las emisiones vehiculares e industriales), así como contaminantes secundarios (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas), siendo 100% respirables con el agravante de que pueden llegar a alojarse en bronquios, bronquiolos y alvéolos.

### 3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Entre Junio y agosto de 2015, la RMCAB contó con un monitor ubicado en la estación Carvajal-Sevillana para medir la concentración de partículas suspendidas totales (PST).

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

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

$$C_{\text{prom}} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n \log C_i}{n}} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

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

#### Comportamiento de las concentraciones diarias de PST

Con respecto a la representatividad de los datos para el periodo de análisis en la estación Carvajal, se registró un porcentaje de recuperación de 99%. La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue de 225  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , registrado el 30 de junio de 2015, sin embargo, este valor se mantuvo por debajo del límite normativo (300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Con lo cual, no se presentaron excedencias).

**Tabla 3-1.** Resumen de datos diarios de PST para el trimestre JJA 2015.

Número de datos	% de datos válidos	Excedencias norma 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*	Fecha de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y 100% de la norma <sup>4</sup>
91	99	0	97	225	30/06/2015	0

\* Corresponde a la media geométrica de los datos diarios del trimestre JJA 2015

La **Figura 3-2.** Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el muestra un resumen de la tabla anteriormente expuesta. La **Figura 3-2** corresponde a un diagrama calendario con las concentraciones diarias de PST medidas durante el tercer trimestre meteorológico de 2015. El diagrama calendario muestra los días con datos no disponibles o no recuperados y abril 27 como el día con mayor concentración de este contaminante en la estación Carvajal.

<sup>4</sup> Mayor a 270  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y menor o igual a 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

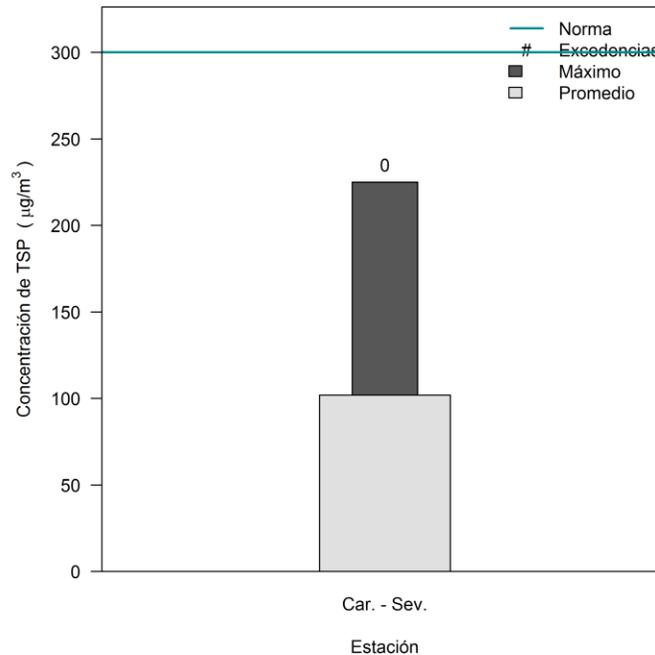


Figura 3-1. Concentración máxima de PST (TSP) durante el tercer trimestre JJA de 2015. Base 24h.

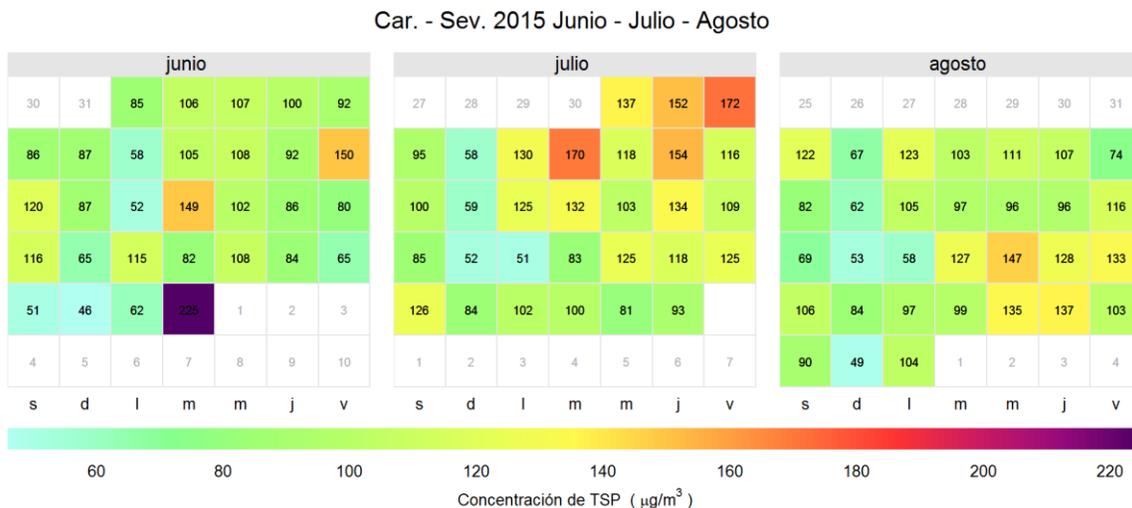
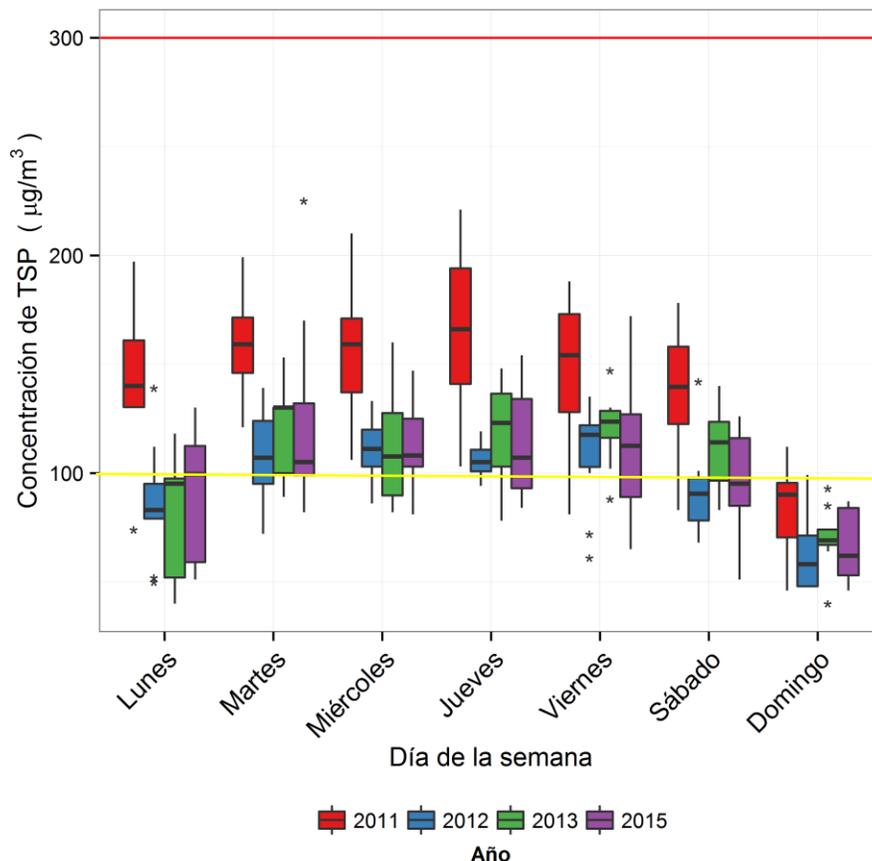


Figura 3-2. Diagrama calendario con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el Trimestre JJA 2015

### Comportamiento histórico de los promedios diarios de PST.

La distribución de los datos de PST para los días de la semana del trimestre JJA 2015 se presenta en la Figura 3-3. Los datos de los años 2011, 2012 y 2013 se presentan a manera de seguimiento, pues tienen una representatividad inferior a 75% (61%, 72% y 57% respectivamente). Se toman datos con representatividad superior al 50% al tratarse de una

sola estación que monitorea PST. La grafica muestra en general, una reducción moderada de la concentración de PST del año 2015 frente a los 3 años anteriores. Siendo el día domingo el de menor concentración y el día miércoles el menor dispersión de datos para el 2015.



**Figura 3-3.** Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre JJA por días de la semana. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Cabe resaltar que si se comparan los datos obtenidos para los días de la semana del trimestre JJA en los años de estudio con la norma diaria ( $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esta no es excedida, caso contrario ocurre si se compara con la norma anual ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), donde todos los días de la semana del trimestre JJA en los años de estudio a excepción del promedio de los domingos de 2012, 2013 y 2015, exceden la norma; un análisis de las medianas como medida de tendencia central muestran claramente que la norma anual es superada de manera recurrente para los días laborales de la semana en el periodo JJA 2015 y presenta un comportamiento similar para los años de estudio.<sup>5</sup>

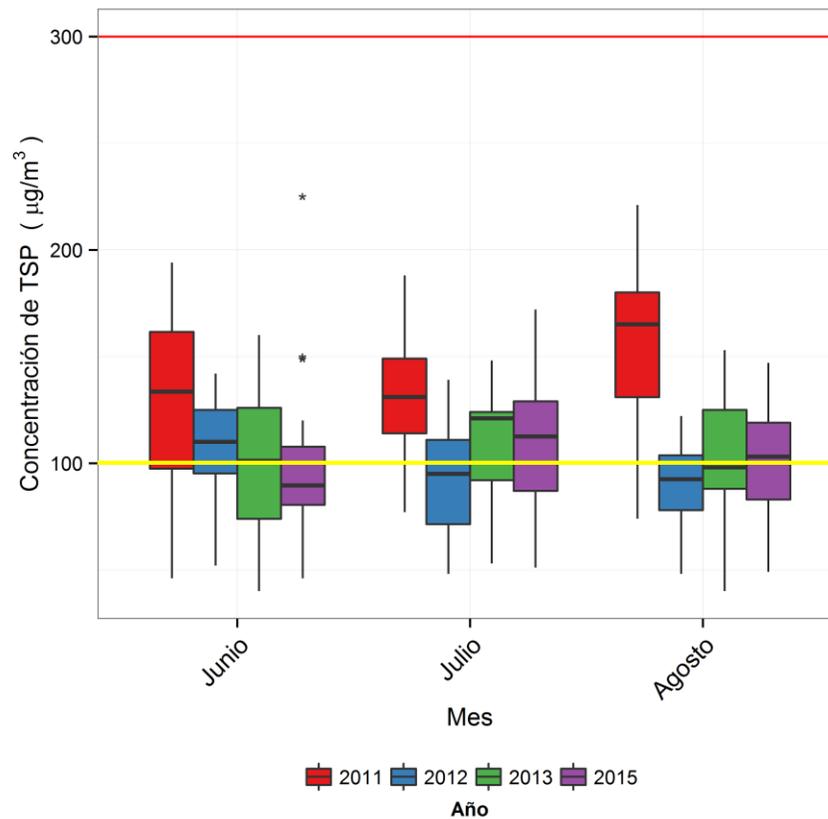
<sup>5</sup> El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, por tanto, las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, se toma solo como un referente de gestión.

Las concentraciones promedio históricas de PST durante los últimos 5 años se muestran en la **Tabla 3-2**. Los promedios concuerdan con la tendencia del *boxplot* y evidencian nuevamente el descenso general moderado de las concentraciones promedio de este contaminantes para el trimestre JJA 2015.

**Tabla 3-2.** Concentración promedio (geométrico) de PST por día de la semana en el trimestre JJA 2015. Se considera solamente la estación Carvajal.

Día	Promedio geométrico del contaminante PST por días de la semana en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2011	2012*	2013	2015
Lunes	79	60	68	86
Martes	135	82	73	116
Miércoles	154	106	118	112
Jueves	156	110	109	112
Viernes	161	105	116	107
Sábado	142	106	119	93
Domingo	133	90	107	64

En la **Figura 3-4**. Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre JJA por meses., se puede apreciar el comportamiento de la concentración de PST en función del mes, tomando los meses con una representatividad superior al 50%. Se observa de manera general una reducción leve en la concentración para el trimestre 2015 frente a sus similares de 2011, 2012 y 2013, con concentraciones ligeramente más bajas para el mes de junio. Se observan dos valores atípicos para el mes de junio de 2015 que coincide con el reporte del máximo del trimestre en la **Tabla 3-1**. Resumen de datos diarios de PST para el trimestre JJA 2015. Agosto es el único mes que presenta simetría con respecto a la mediana mientras que junio presenta la menor dispersión de datos. Ningún mes den los años de estudio excede la norma diaria, sin embargo todos presentan excedencia si se comparan con la norma anual.



**Figura 3-4.** Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre JJA por meses. La línea roja representa la norma diaria y la amarilla la norma anual

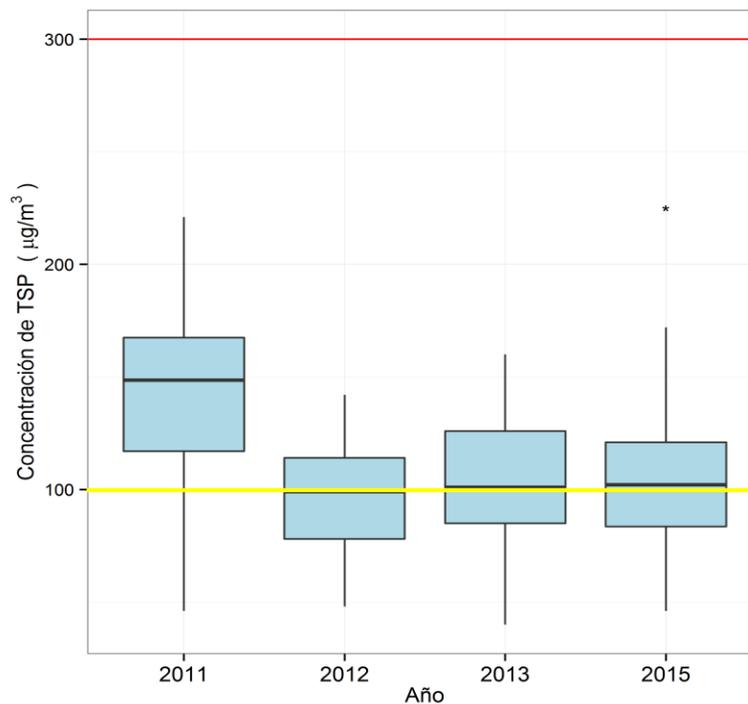
La **Tabla 3-3.** Concentración promedio de PST por mes en el trimestre JJA de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal., corresponde a un resumen de promedios geométricos de concentraciones de PST durante los años 2011 a 2015 en función de los meses del año, con base en promedios de 24 horas.

**Tabla 3-3.** Concentración promedio de PST por mes en el trimestre JJA de los últimos 5 años. Se considera solamente la estación Carvajal.

Mes	Promedio geométrico del contaminante PST por mes del trimestre en $\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	2011	2012	2013	2015
Junio	114	105	98	90
Julio	129	86	99	105
Agosto	150	87	98	96

En la **Figura 3-5.** Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre JJA., se muestra el comportamiento histórico de la concentración de PST durante los años 2011 a 2015 mostrando los años con representatividad mayor a 50% a manera de guía (años 2011, 2012 y 2013). De nuevo, a nivel general, se observa un descenso moderado en los niveles de

concentración de este contaminante para el trimestre JJA de 2015, sin embargo se observa un ligero aumento frente al año 2013. El año 2011 presenta la mayor variabilidad de los datos y el 2012 la menor. Una comparación con la norma diaria ( $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que no se presentan excedencias para ningún año, mientras que si se compara con la norma anual ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en todos los trimestres históricos se presentan excedencias y las medianas superan la norma<sup>6</sup>.



**Figura 3-5.** Gráfico de *boxplot* para PST multianual en el trimestre JJA. La línea roja representa la norma diaria y la amarilla la norma anual

La Tabla 3-4 contiene un resumen de los promedios de PST del trimestre JJA para los años 2011 a 2015. El mayor promedio fue encontrado en el tercer trimestre del año 2011 con una concentración promedio de  $135\mu\text{g}/\text{m}^3$  mientras que en el año 2013 se registró la menor concentración con un valor de  $92\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Tabla 3-4.** Resumen estadístico histórico de las concentraciones de PST en promedios geométricos 24 horas el trimestre JJA de los años 2011-2015.

Año	Concentración media de PST en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2011	135
2012	92
2013	98
2015	97

<sup>6</sup> el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, por tanto, las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es se toma solo como un referente de gestión.

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

La RMCAB contó en el periodo de marzo de 2014 a mayo de 2015 con 11 equipos de medición de PM<sub>10</sub>, los cuales se describen en la **Tabla 1-1** y se encuentran distribuidos según la **Figura 1-1**

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

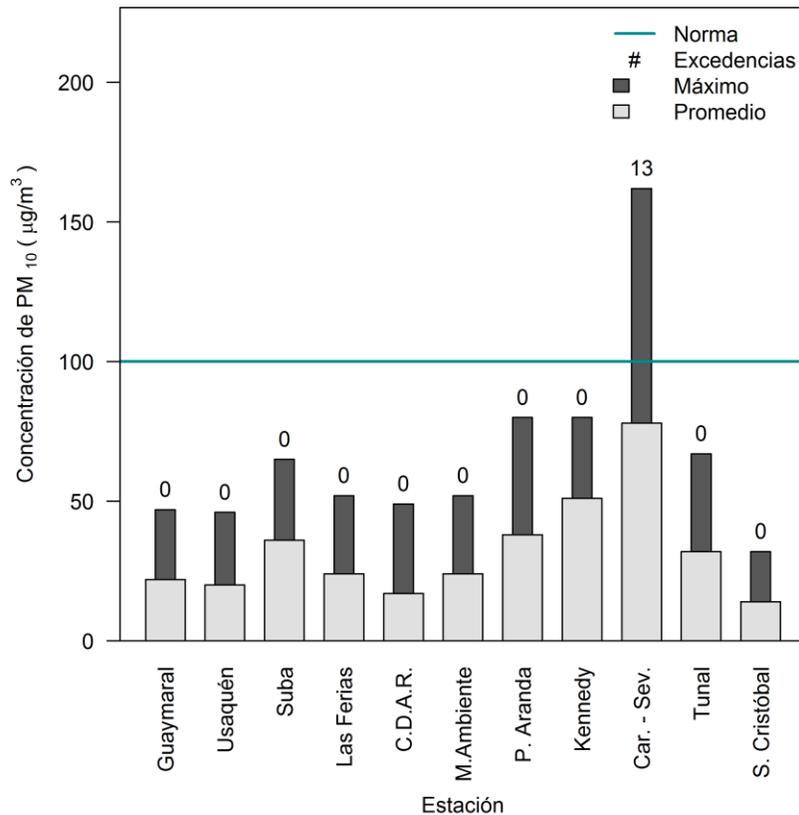
El comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> se evalúa con base en las excedencias de la norma respectiva que corresponde a 100 µg/m<sup>3</sup>. Cada dato diario se calcula a partir del promedio aritmético de los valores horarios, los cuales deben cumplir con el criterio de representatividad temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Se obtuvieron 967 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global del 96% entre las estaciones que registraron mediciones, teniéndose una cobertura temporal mayor al 75% en todas las estaciones.

Las concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias se presentan en la Figura 3-6. La Tabla 3-5 resume los datos diarios de PM<sub>10</sub> 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 todas es posible el cálculo de promedios trimestrales representativos. Los valores más altos se presentaron en las estaciones 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, Centro de Alto Rendimiento y San Cristobal, 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 µg/m<sup>3</sup>, se observó un total de 13 excedencias las cuales se presentaron únicamente en la estación Carvajal-Sevillana y que corresponden al 14% de los datos validos de la estación para el trimestre. Este comportamiento es consistente con los promedios trimestrales, donde esta estación presenta el mayor promedio de concentración para el trimestre de 78µg/m<sup>3</sup>. Ninguna estación, a excepción de Carvajal excedió el 90% de la norma, este hecho muestra que las estaciones para el trimestre JJA no fueron susceptibles de incumplir la normatividad vigente.

Se observa que el 30/06/2015 se presentan máximos de concentración en las estaciones del sur y centro (Carvajal – Sevillana, Tunal, San Cristóbal), lo cual puede indicar un evento específico en esta zona para esa fecha. También se presentan coincidencias en las estaciones Las Ferias y MinAmbiente para el 27/08/2015, Suba y Centro de alto rendimiento para el 27/08/2015, sin embargo por la ubicación espacial de la estaciones, no se puede inferir que se trate de un episodio de área.



**Figura 3-6.** Promedios trimestrales, número de excedencias y máximos de PM<sub>10</sub> por estación durante el trimestre JJA 2015. El nivel máximo permisible diario es 100 µg/m<sup>3</sup> (Resolución 610 de 2010).

La Tabla 3-6 muestra que junio, julio y agosto presentaron 3, 6 y 4 días de excedencia (diferente a números de excedencias). Junio presenta la menor cantidad de excedencia, lo cual se atribuye al cambio de la dinámica meteorológica de la ciudad debido al cambio bimodal y también al fenómeno del niño que implicó una mejor aireación de la zona urbana. 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 JJA 2015, 13 días excedieron la normatividad.

**Tabla 3-5.** Representatividad temporal, promedios trimestrales, excedencias y máximos de los datos diarios de PM<sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )	Excedencias de la norma 100 µg/m <sup>3</sup>	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma <sup>7</sup>	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	90	98	22	0	0	0	47	03/07/2015
Usaquén	88	96	20	0	0	0	46	10/08/2015
Suba	86	93	36	0	0	0	65	27/08/2015
Las Ferias	72	78	24	0	0	0	52	22/08/2015
Centro de Alto Rendimiento	92	100	17	0	0	0	49	27/08/2015
MinAmbiente	91	99	24	0	0	0	52	22/08/2015
Puente Aranda	86	93	38	0	0	0	80	13/07/2015
Kennedy	89	97	51	0	0	0	80	09/07/2015
Carvajal - Sevillana	92	100	78	13	14	10	162	30/06/2015
Tunal	92	100	32	0	0	0	67	30/06/2015
San Cristóbal	89	97	14	0	0	0	32	30/06/2015

**Tabla 3-6.** Número de excedencias y días de excedencias de la norma diaria de PM<sub>10</sub> (100 µg/m<sup>3</sup>) por estación y por mes para el trimestre JJA 2015

Mes	Junio	Julio	Agosto	JJA
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	0	0	0	0
Kennedy	0	0	0	0
Carvajal - Sevillana	3	6	4	13
Tunal	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0
<b>Total de excedencias</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>13</b>
<b>Días de excedencias</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>13</b>

<sup>7</sup> Mayor a 90 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 100 µg/m<sup>3</sup>.

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la

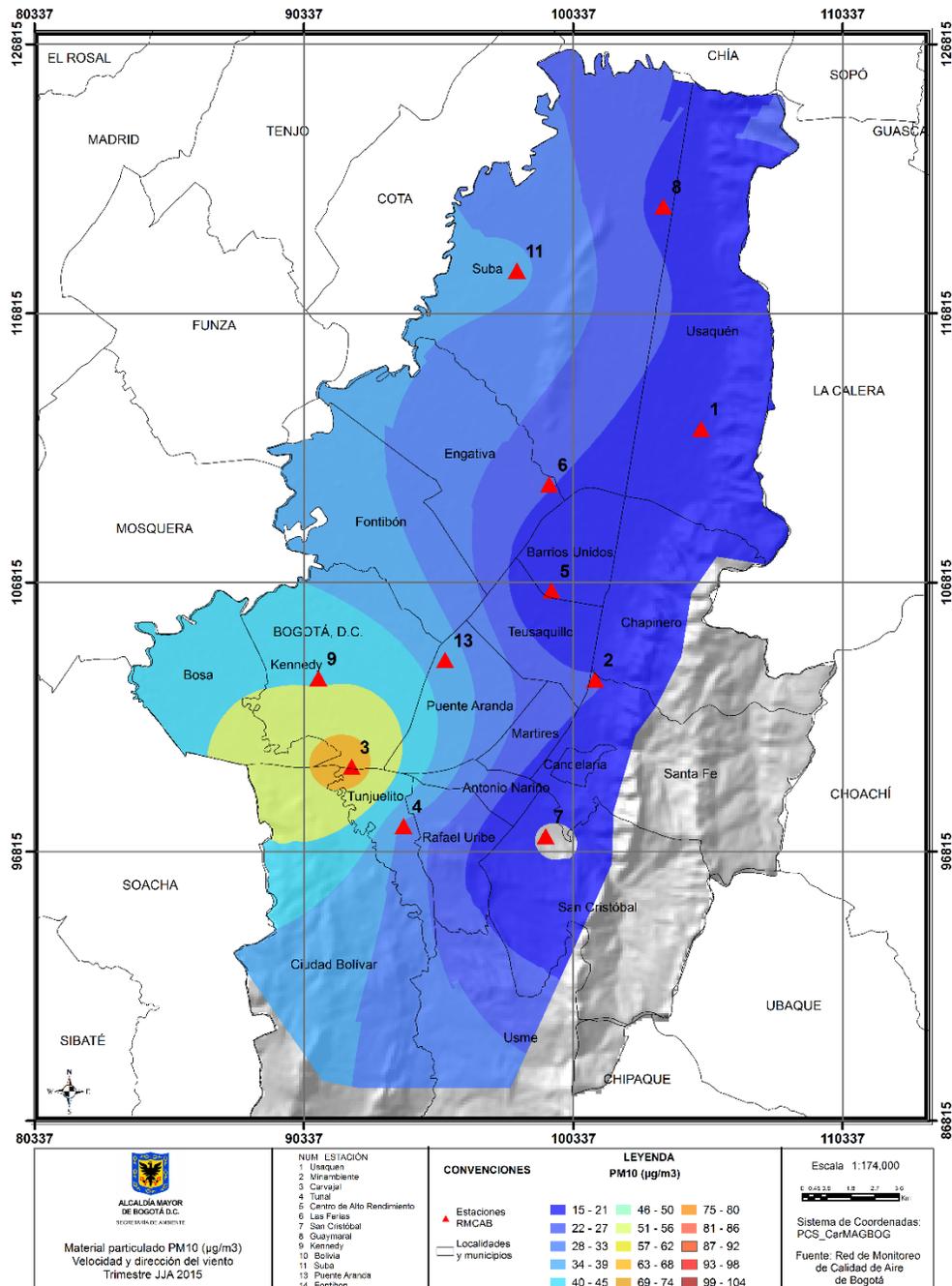


Figura 3-7 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio trimestrales de PM<sub>10</sub> (basado en promedios diarios) en las 11 estaciones durante el periodo JJA 2015.

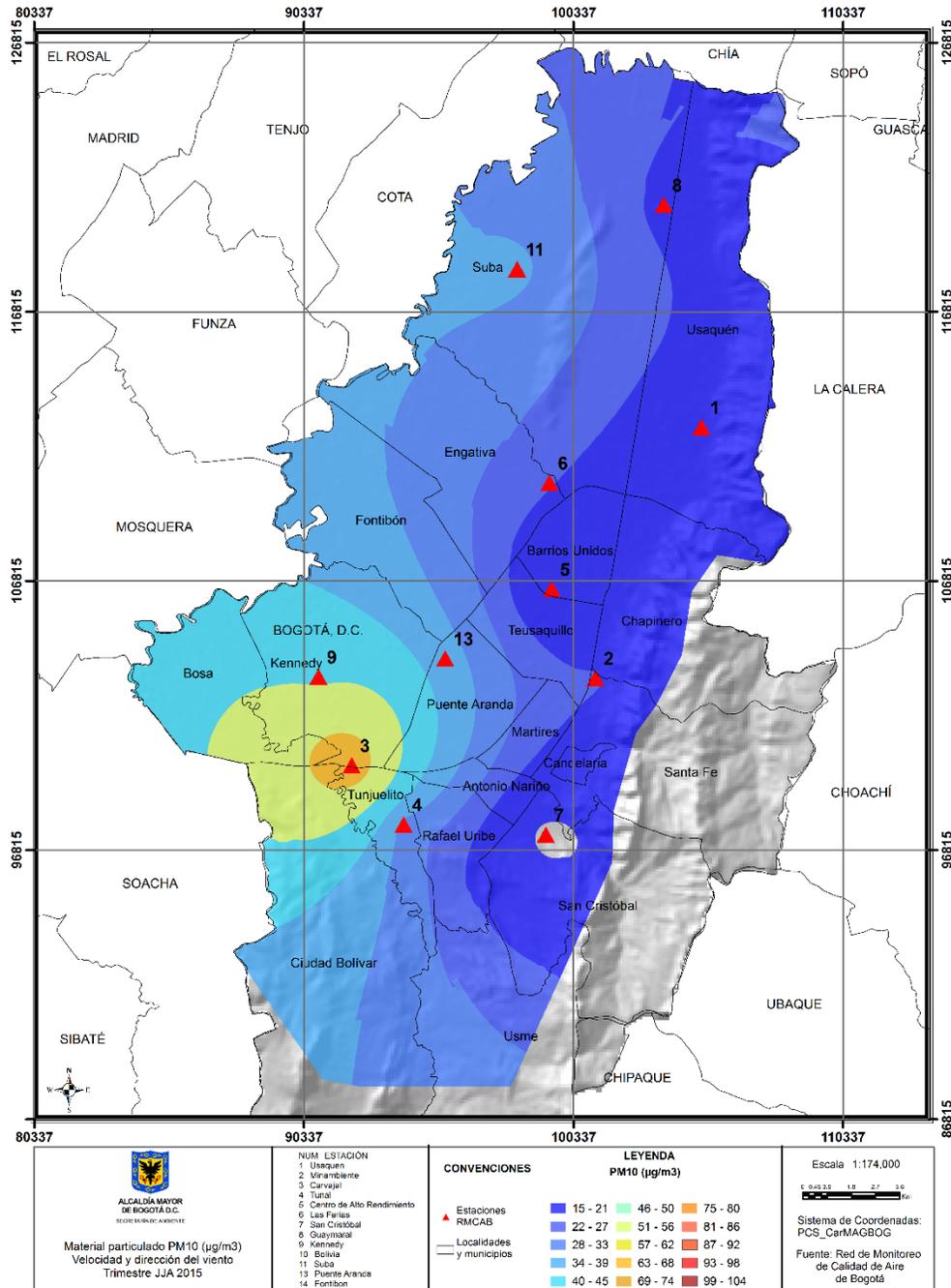


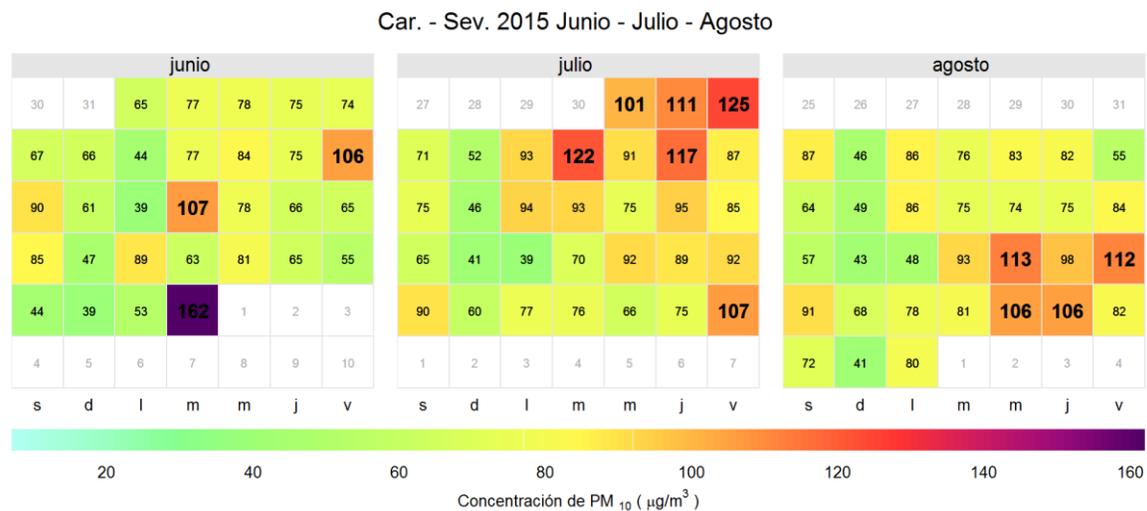
Figura 3-7. Material particulado (PM<sub>10</sub>) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Periodo JJA 2015.

El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por altos niveles de PM<sub>10</sub> fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad, sin embargo y en comparación con otros periodos se puede ver un trimestre con un buen estado de calidad

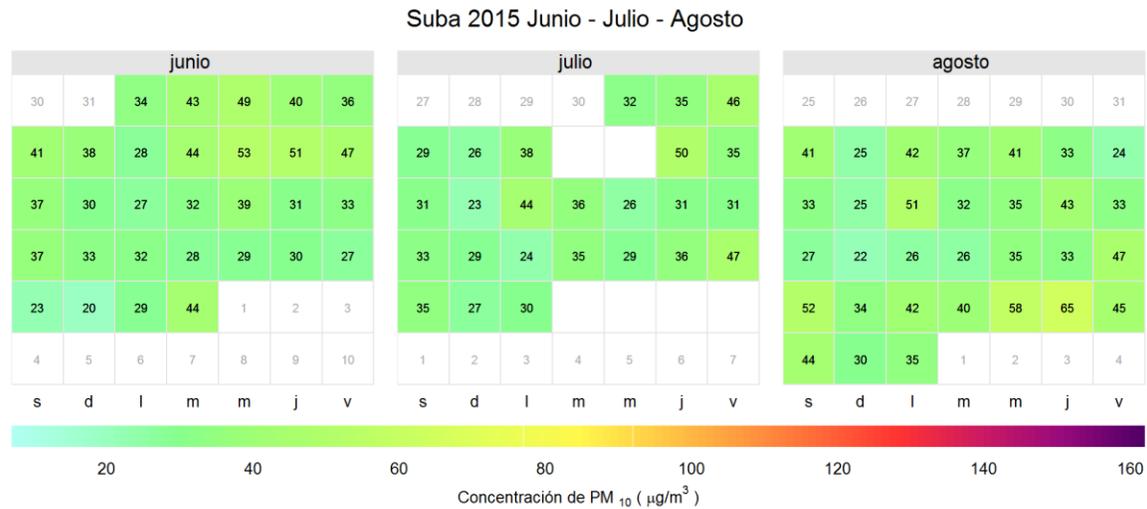
del aire (promedio de ciudad de  $32\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las tendencias observadas destacan la importancia de no generalizar el comportamiento de la contaminación atmosférica sobre Bogotá con promedios globales. Es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis.

### Calendario de contaminación por $\text{PM}_{10}$ durante el periodo JJA 2015

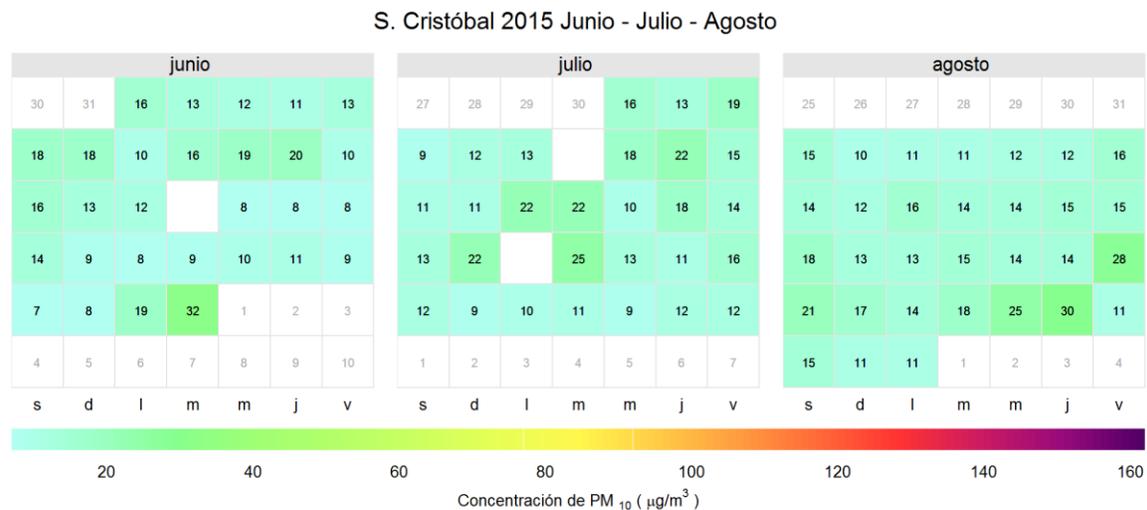
La Figura 3-8, la Figura 3-9 y la Figura 3-10 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y San Cristóbal, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. Carvajal – Sevillana muestra una diferencia notable con respecto a las otras dos estaciones al estar sus concentraciones en niveles altos y, por ende, presentar una mayor cantidad de excedencias. En esta estación se observa que las mayores concentraciones y excedencias se presentan en la primera semana de julio y en las dos últimas de agosto. En esta fecha también se observan los valores máximos para Suba.



**Figura 3-8.** Diagrama calendario para  $\text{PM}_{10}$  durante el trimestre JJA 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 3-9.** Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

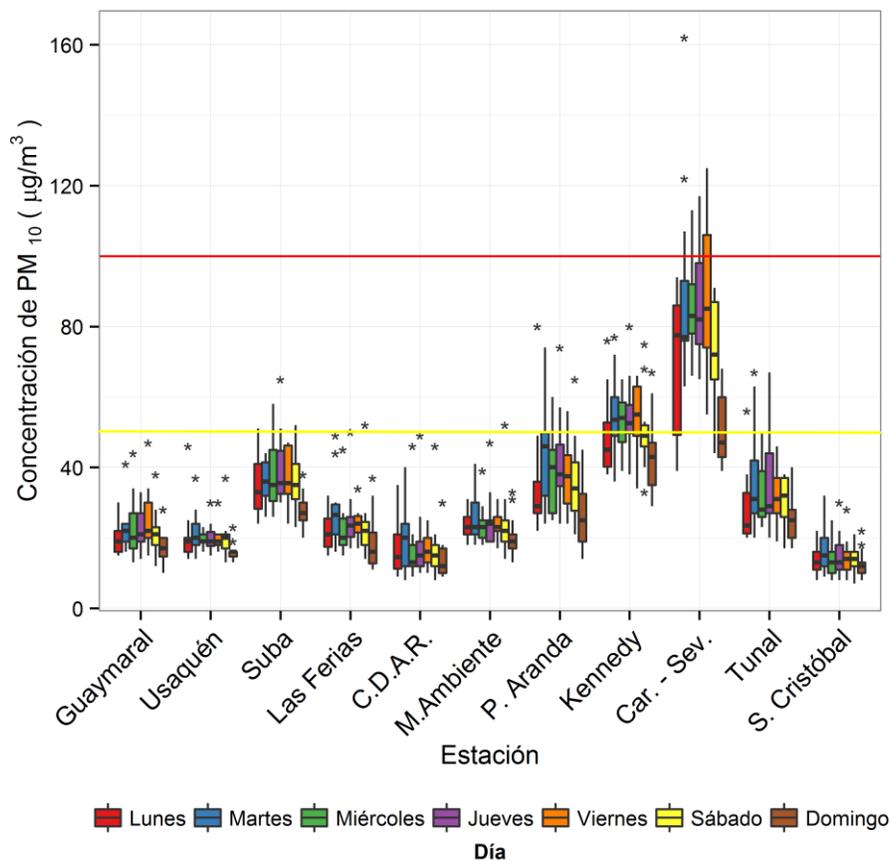


**Figura 3-10.** Diagrama calendario para PM<sub>10</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación San Cristobal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

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

La Figura 3-11 presenta la distribución de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en función de los días de la semana como promedio 24h. En las estaciones analizadas se observa en general que los sabados y domingos presentan los menores valores concentración, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad industrial el día sábado (puesto que se ve más claramente este fenómeno en las estaciones de Carvajal, Kennedy y Puente Aranda), y la actividad general de la ciudad el día domingo. Entre martes y jueves se mantienen niveles de concentración más estables

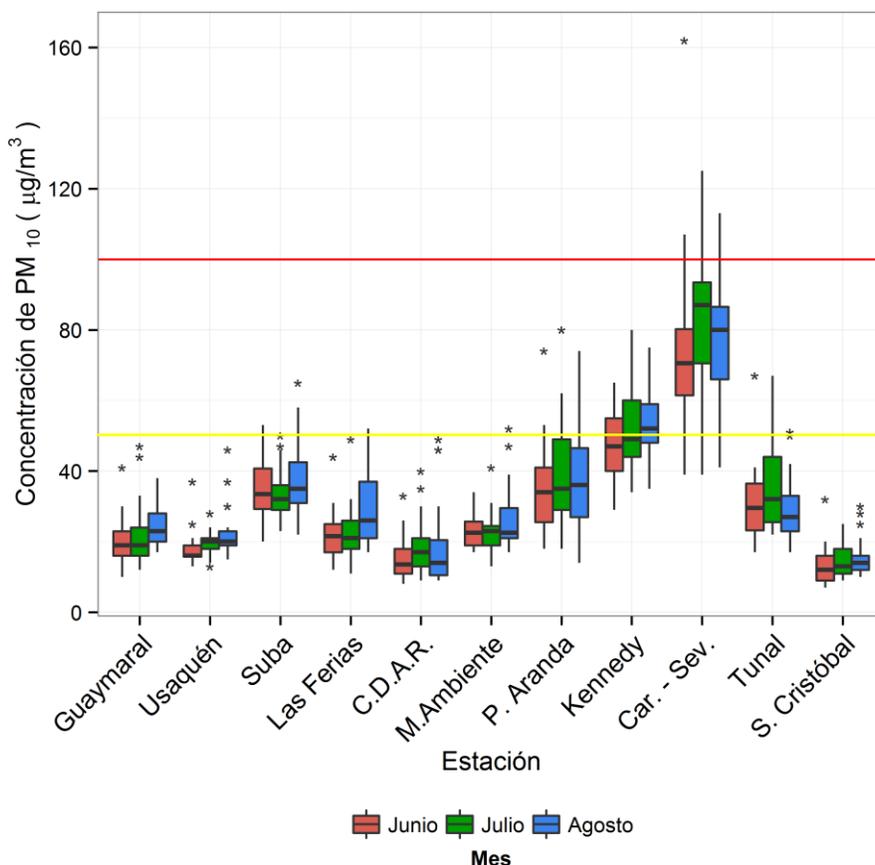
y el viernes tiende a ser el día más contaminado de los laborales de la semana. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma diaria, muestra que solo la estación Carvajal-Sevillana presentan excedencias frente a los  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ , pero observando las medianas como mediada de tendencia central, ningún valor supera la norma. Frente a la norma anual ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), a través del trimestre JJA, se observa que se supera la norma en todos los días en las estaciones Kennedy y Carvajal; en estaciones como Suba, Puente Aranda y Tunal, se supera la norma para días laborales específicos, siendo recurrentes los días martes, miércoles y jueves; para estaciones como Las Ferias y MinAmbiente solo se supera la norma con un valor atípico; para las estaciones Guaymaral, Usaquén, CDAR y San Cristóbal no se supera nunca la norma anual. Observando la mediana como medida de tendencia central, se supera la norma de manera recurrente para los días laborales en Kennedy y Carvajal<sup>8</sup>. Se observa que el valor máximo de  $162\mu\text{g}/\text{m}^3$  se presentó un día martes en la estación Carvajal (similar a lo ocurrido en el trimestre MAM) y un jueves en la estación Kennedy.



**Figura 3-11.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{10}$  en función de las estaciones de monitoreo y de los días de la semana para el trimestre JJA 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año.

<sup>8</sup> El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

La distribución de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en función de los meses de junio, julio y agosto de 2015 y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-12. De manera similar a lo que ocurre con el análisis por día de la semana, una comparación de los valores de concentración por mes a través del trimestre frente a la norma diaria ( $100\mu g/m^3$ ), muestra que ésta presenta excedencias sólo en Carvajal. Frente a la norma anual ( $50\mu g/m^3$ ), todas las estaciones presentan excedencias de los registros 24 horas. Exceptuando Guaymaral, Usaquén, CDAR y San Cristóbal<sup>9</sup>.



**Figura 3-12.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del trimestre JJA 2015.

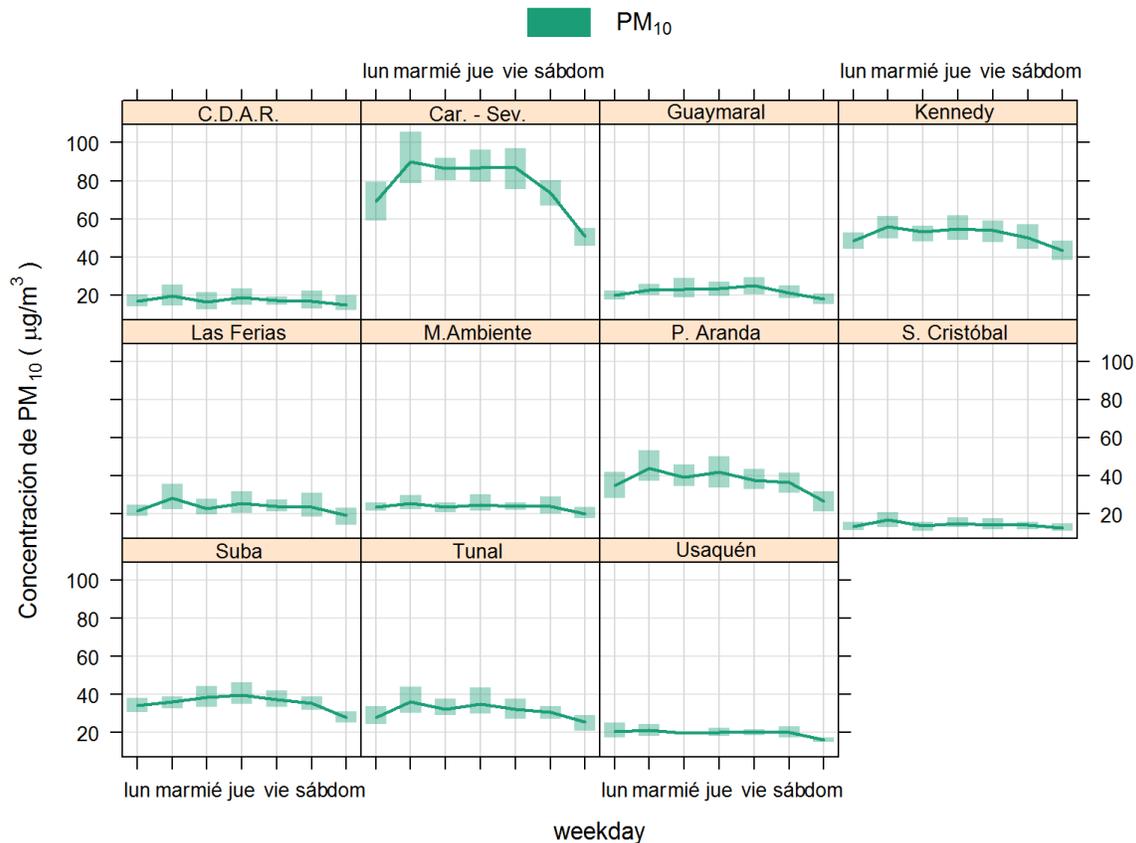
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de $PM_{10}$

La Figura 3-13 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de  $PM_{10}$  por estación para el trimestre JJA 2015. Para todas las estaciones los domingos se presentaron los menores valores de concentración para este contaminante, seguido del día lunes, lo cual es un hecho usual por la dinámica de la ciudad. Los sábados también presentan menores

<sup>9</sup> el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

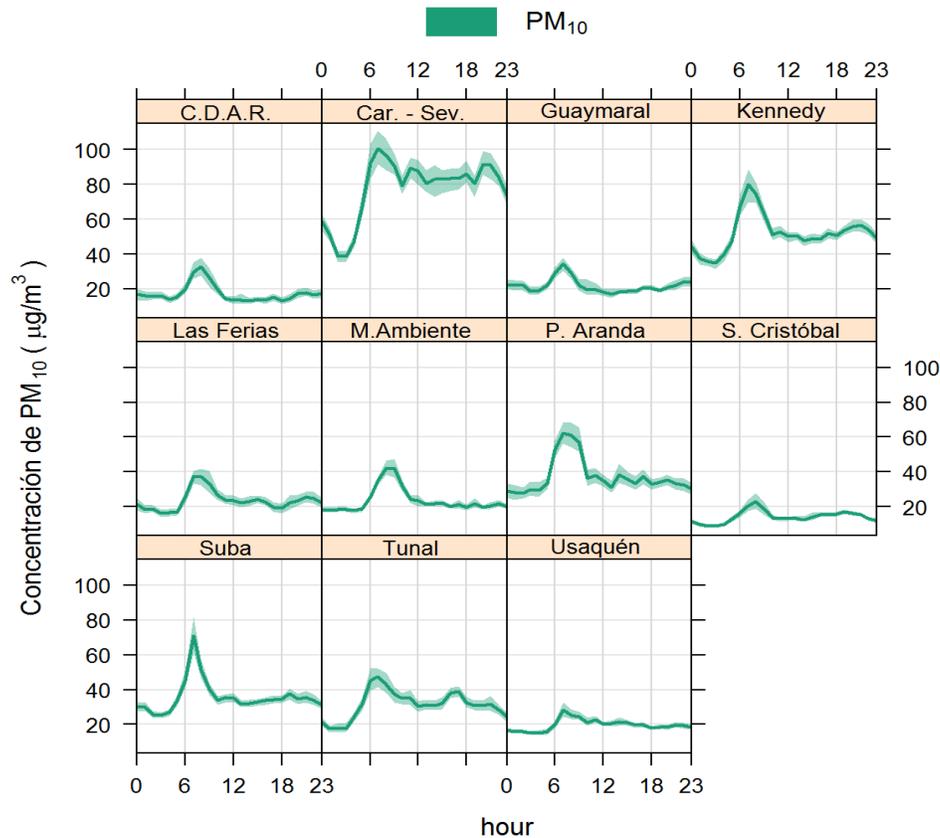
concentraciones frente a los días laborales. Los ciclos semanales con mayores variabilidades son los correspondientes a Carvajal – Sevillana, Kennedy y Puente Aranda, en los cuales las concentraciones en los días domingo descienden de manera notoria. Las demás estaciones presentan menor variabilidad en sus ciclos y entre estas se destacan MinAmbiente, Centro de Alto Rendimiento, San Cristóbal y Usaquén. El comportamiento de los niveles de  $PM_{10}$  en función de los días de la semana está fundamentalmente asociado a las diferencias en el nivel de actividad de las fuentes de emisión y la meteorología.



**Figura 3-13.** Comportamiento de la concentración de  $PM_{10}$  en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el periodo JJA 2015, 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  $PM_{10}$  por estación se presentan en la Figura 3-14. 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, Kennedy y Puente Aranda y Suba, y las menores en Centro de Alto Rendimiento, 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. En general para todas las estaciones se presenta un pico de concentración de menor magnitud en horas de la tarde, esto debido probablemente a la influencia de los vientos que son más intensos en la tarde y facilitan la dispersión y arrastre de contaminantes, también afecta el cambio de tendencia en la movilidad que tiende a ser en un tiempo más prolongado en ese periodo del día. Es de destacar el comportamiento en

Carvajal, donde después de la hora pico los niveles de contaminación se mantienen mucho más elevados que en el resto de estaciones, evidenciando el carácter de estación local que tiene ésta y la marcada influencia de la Autopista Sur y la Av. Boyacá sobre los reportes de la estación.



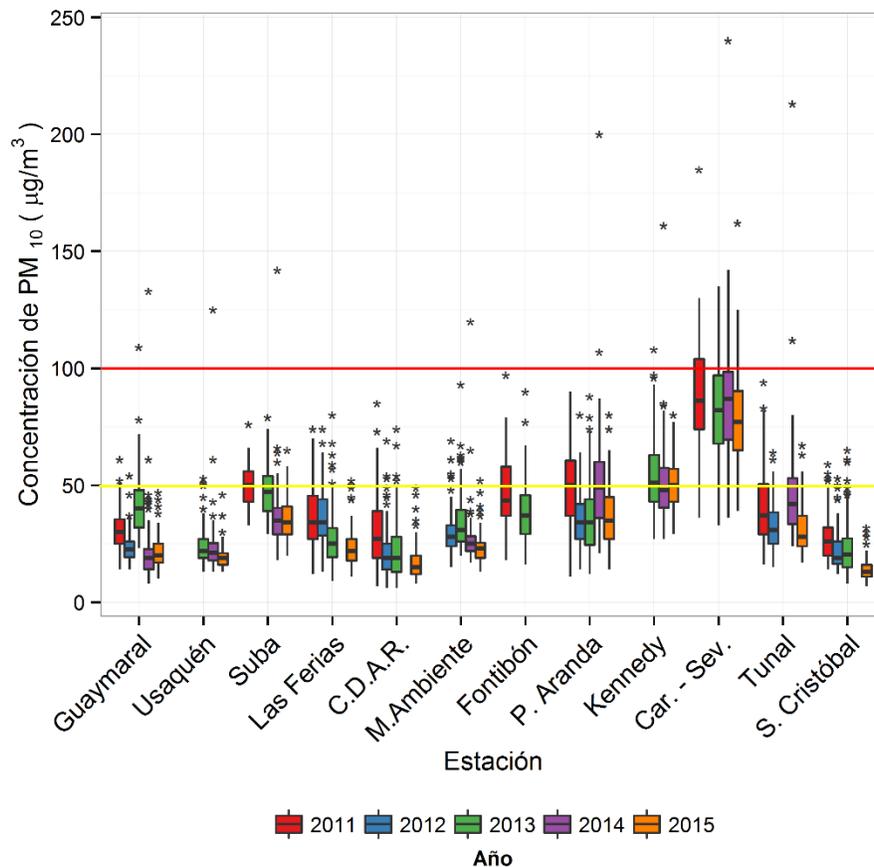
**Figura 3-14.** Ciclo diario de PM<sub>10</sub> para 11 estaciones de la RMCAB en el periodo JJA 2015, las cuales tienen una cobertura temporal superior a 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

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

La Figura 3-15 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en los periodos comprendidos por los meses de junio, julio y agosto entre los años 2011 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. Una comparación de los valores de concentración trimestrales obtenidos para los últimos 5 años, frente a la norma existente, muestra que se presentan excedencias a la norma diaria (100µg/m<sup>3</sup>) solo para la estación Carvajal en el trimestre JJA 2015, tal como se reporta en la Tabla 3-6, pero ninguna mediana supero el valor normativo. Frente a la norma anual (50µg/m<sup>3</sup>), todos los trimestres a través del histórico JJA 2011 a 2015 presentan excedencias de los registros 24 horas; sin embargo, con base en las medianas,

se puede establecer que solo Suba (en 2011), Kennedy (2013, 2015) y Carvajal (2011 a 2015) superan este umbral.<sup>10</sup>

La gráfica también muestra, basados en la mediana como tendencia central, que se presentó una disminución en los valores de concentración registrados en el trimestre JJA del año 2015 frente a los años anteriores en todas las estaciones excepto Puentes Aranda, donde a pesar de existir una disminución respecto a 2014, las concentraciones de PM<sub>10</sub> aumentaron respecto a los años 2012 y 2013.



**Figura 3-15.** Gráfico de *boxplot* para las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> por estación de monitoreo en el trimestre JJA para los años 2011 y 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La Tabla 3-7 contiene un resumen de los promedios y máximos históricos para los periodos JJA 2011-2015. De forma concordante con lo discutido previamente, se observa que el promedio de concentración a nivel ciudad (promedio de las estaciones representativas de cada año en el trimestre JJA) ha disminuido considerablemente (exceptuando el año 2012) y que la estación que históricamente se caracteriza por presentar máximos en este periodo

<sup>10</sup> el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

es la de Carvajal-Sevillana, con una sola aparición de la estación Puente Aranda en el año 2011.

**Tabla 3-7.** Resumen de promedios y máximos de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en el trimestre JJA 2015

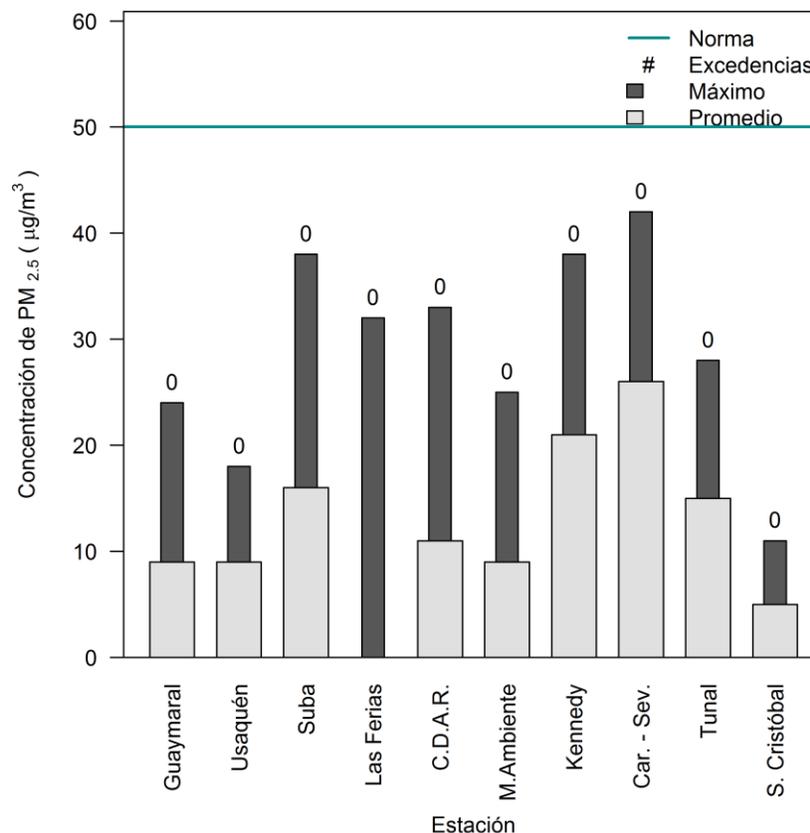
Año JJA	Promedio µg/m <sup>3</sup>	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	44	185	03/07/2011	Carvajal – Sevillana
2012	29	80	04/08/2012	puente Aranda
2013	40	135	07/08/2013	Carvajal – Sevillana
2014	43	240	28/06/2014	Carvajal – Sevillana
2015	32	162	30/06/2015	Carvajal – Sevillana

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

Durante el periodo JJA 2015, diez (10) estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en la tabla 1-1. Las principales fuentes de PM<sub>2.5</sub> incluyen todos los tipos de combustión tales como vehículos, centrales eléctricas, incendios forestales, quemas agrícolas y algunos procesos industriales (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2014).

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

Se obtuvieron 745 datos válidos diarios que corresponden a una cobertura temporal global del 81% entre las estaciones que registraron mediciones (inferior a los 845 datos obtenidos en el trimestre MAM inmediatamente anterior y que corresponden a una cobertura global del 93%), con todas las estaciones con una cobertura temporal superior al 75% excepto Las Ferias con 63%. La Figura 3-16 y la Tabla 3-8 contienen un resumen de concentraciones máximas, promedios trimestrales y número de excedencias de la norma diaria para PM<sub>2.5</sub> en el trimestre JJA 2015. No se presentaron excedencias al límite máximo permisible diario de 50 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 3-16.** Promedios, máximos y excedencias de PM<sub>2.5</sub> en base diaria para el trimestre JJA 2015.

Los mayores promedios se reportaron en las estaciones Kennedy y Carvajal – Sevillana, con valores muy similares de concentración ( $26\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $21\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente). Los menores promedios se observaron en San Cristóbal y las estaciones MinAmbiente, Guaymaral y Usaquén con  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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 3-8.** Resumen de datos diarios de  $\text{PM}_{2.5}$  para el periodo JJA 2015. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% de datos válidos	Promedio trimestral ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Excedencias norma 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Porcentaje de excedencias	Cantidad de datos entre 90% y 100% de la norma <sup>11</sup>	Máximo [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Guaymaral	81	88	9	0	0	0	24	22/08/2015
Usaquén	78	85	9	0	0	0	18	27/08/2015
Suba	85	92	16	0	0	0	38	22/08/2015
Las Ferias	63	68	13	0	0	0	32	22/08/2015
Centro de Alto Rendimiento	71	77	11	0	0	0	33	22/08/2015
MinAmbiente	89	97	9	0	0	0	25	22/08/2015
Kennedy	89	97	21	0	0	0	38	22/08/2015
Carvajal - Sevillana	92	100	26	0	0	0	42	30/06/2015
Tunal	89	97	15	0	0	0	28	27/08/2015
San Cristóbal	77	84	5	0	0	0	11	30/06/2015

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

En cuanto a los máximos registrados y sus fechas de ocurrencia se puede observar que no existe una concordancia exacta con las fechas de datos máximos registrados de  $\text{PM}_{10}$  excepto para dos estaciones, lo que es indicio de orígenes diferentes para los dos contaminantes. Se puede observar que el 22/08/2015 se presentaron máximos de  $\text{PM}_{2.5}$  en 5 de las 10 estaciones monitoras, lo que puede indicar un episodio de contaminación por  $\text{PM}_{2.5}$  en esta fecha.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo, es decir, entre  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra que tampoco se presentan excedencias en este límite, por lo cual ninguna de las estaciones estuvo propensa a incumplimiento normativo.

<sup>11</sup> Mayor a  $45\mu\text{g}/\text{m}^3$  y menor o igual a  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$

La Tabla 3-9 presenta el número de excedencias de PM<sub>2.5</sub> por estación y por mes. Se observa la ausencia de excedencia en todos los meses del trimestre JJA 2015.

**Tabla 3-9.** Excedencias de la norma diaria de PM<sub>2.5</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) por estación y por mes para el año 2015.

Mes	Junio	Julio	Agosto
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	0	0	0
Carvajal - Sevillana	0	0	0
Tunal	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0
<b>Total de excedencias</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Días de excedencias</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede visualizarse en la

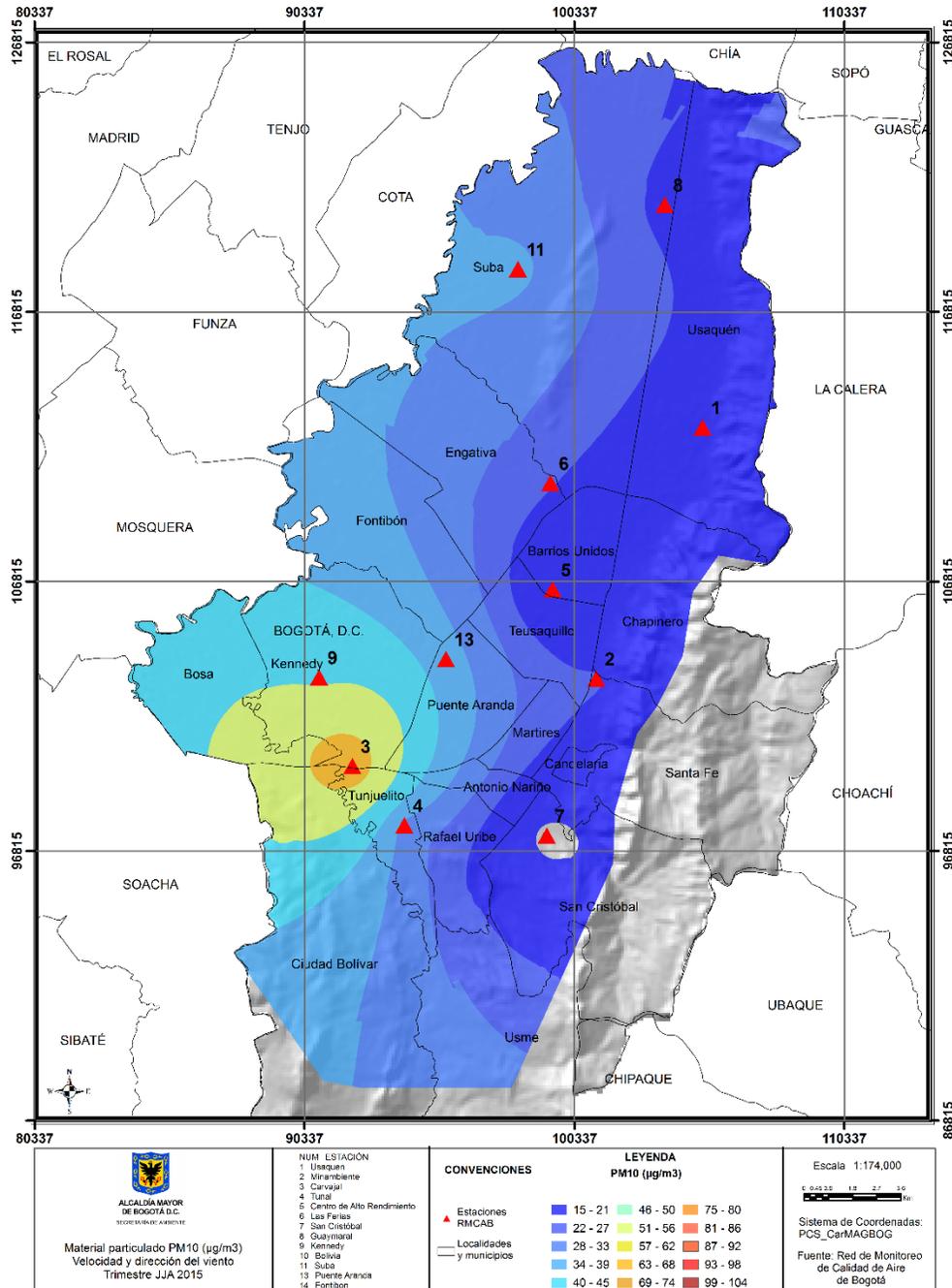
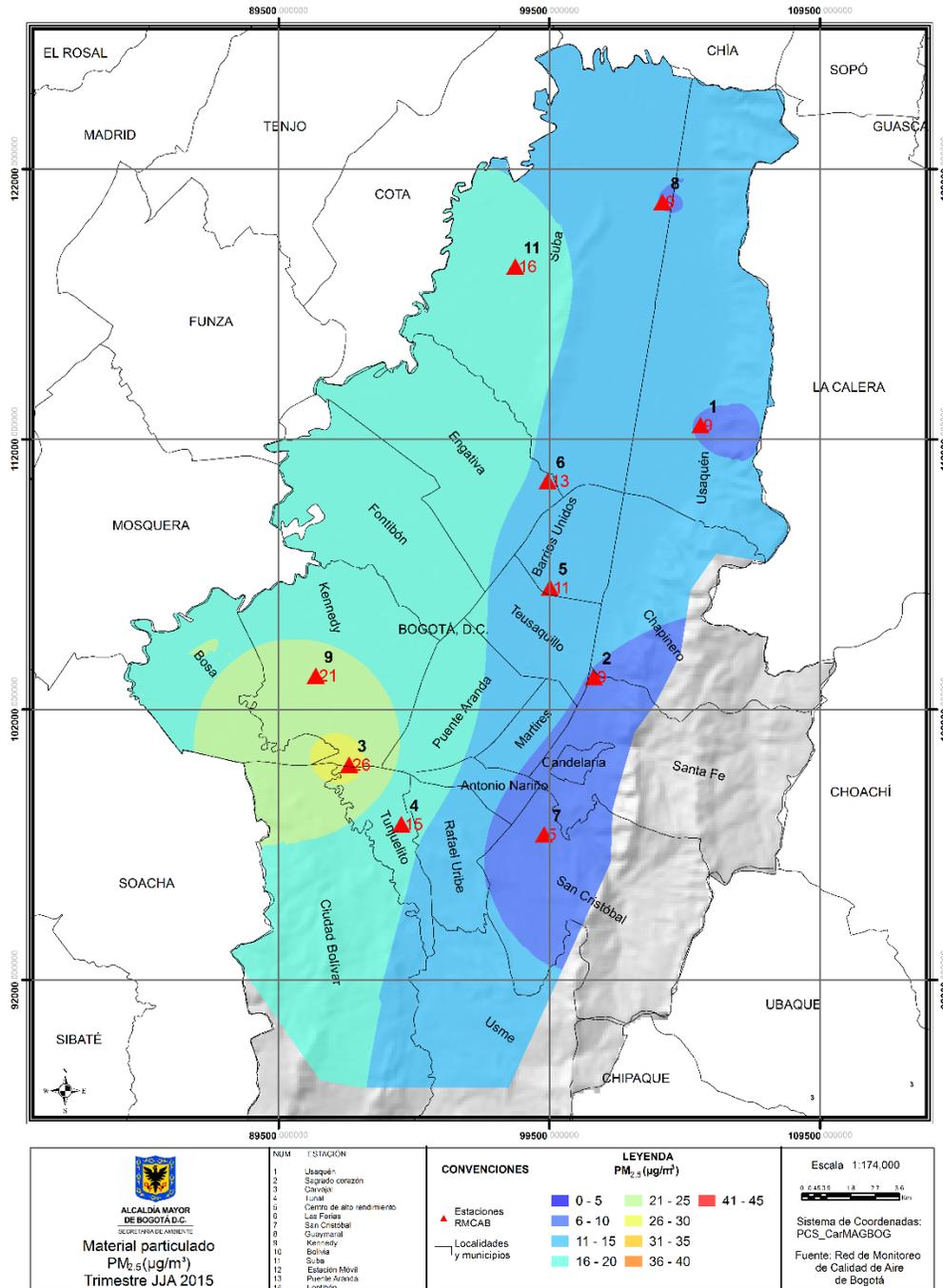


Figura 3-7 que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM<sub>2.5</sub> (basado en promedios diarios) en las estaciones durante el periodo JJA 2015. Los resultados muestran que la zona occidental de Bogotá está sujeta a niveles más altos de este contaminante, especialmente el suroccidente de la ciudad.



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

---

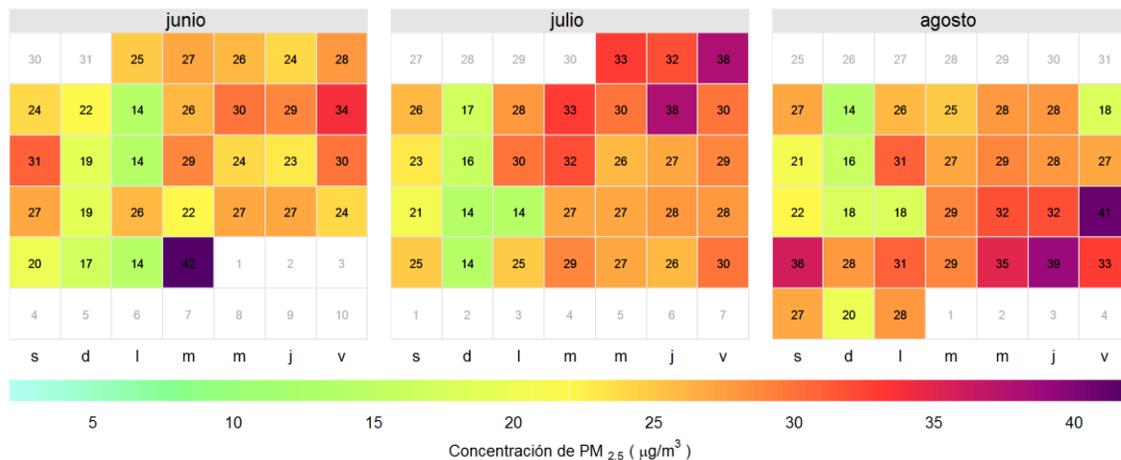


**Figura 3-17.** Material particulado (PM<sub>2.5</sub>) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios de las estaciones con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre JJA 2015.

### Calendario de contaminación por PM<sub>2.5</sub> durante el periodo JJA 2015

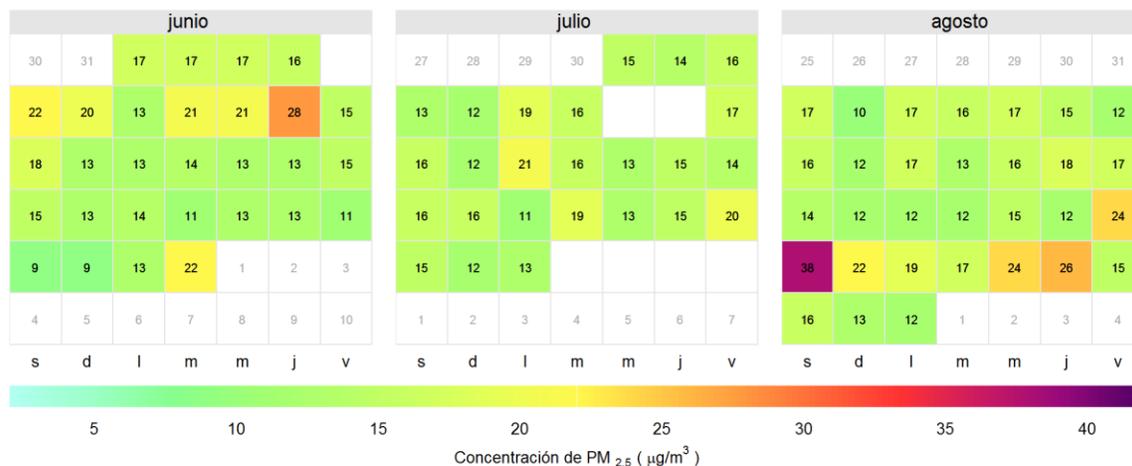
Las Figura 3-18, Figura 3-19 y Figura 3-20 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> durante el periodo JJA 2015 en estaciones con concentraciones altas (Carvajal), concentraciones en rangos medios (Suba) y concentraciones bajas (San Cristóbal) mostrando el contraste en la variación espacial de las mediciones de este contaminante en la ciudad. En los tres diagramas calendario se observa que en las últimas semanas de agosto se presentaron las mayores concentraciones, de igual manera se muestra el máximo obtenido para Carvajal en Junio y para Suba en Agosto (42 µg/m<sup>3</sup> y 38µg/m<sup>3</sup> respectivamente)

Car. - Sev. 2015 Junio - Julio - Agosto



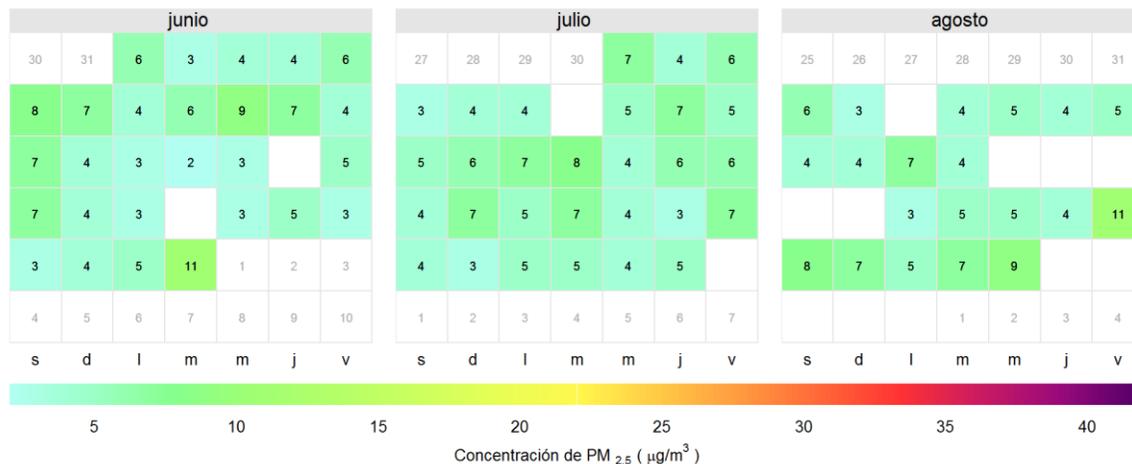
**Figura 3-18.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las 2 excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m<sup>3</sup>) en el trimestre.

Suba 2015 Junio - Julio - Agosto



**Figura 3-19.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> durante el trimestre JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

S. Cristóbal 2015 Junio - Julio - Agosto



**Figura 3-20.** Diagrama calendario para PM<sub>2.5</sub> para el trimestre JJA 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

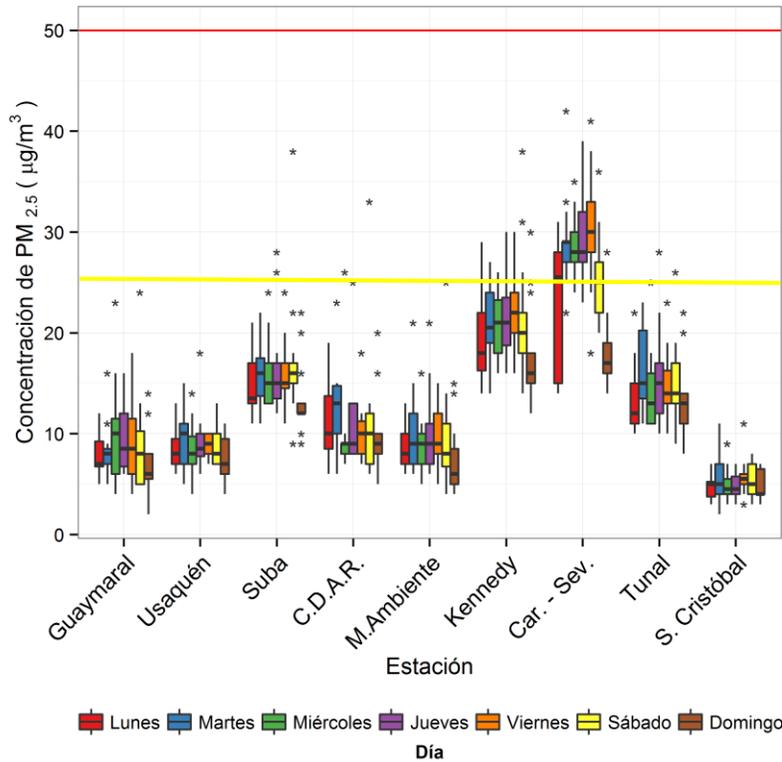
### Diagramas de caja con el comportamiento temporal de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>

La Figura 3-21 contiene la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. En las estaciones analizadas se observa que los domingos se presentan las menores concentraciones, hecho inusual dado que tradicionalmente este día el flujo vehicular es inferior al de otros días; se observa también que el lunes es en general el segundo días menos contaminado y a diferencia del PM<sub>10</sub>, donde el día viernes es el de mayores concentraciones, aquí no hay un día que destaque dentro de la semana laboral y las concentraciones son variables por día al cambiar de estación. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma diaria existente muestra que no se superan los 50µg/m<sup>3</sup> en ninguna estación a través del trimestre. Frente a la norma anual (25µg/m<sup>3</sup>), la gráfica muestra que se presentan excedencias recurrentes en Kennedy y Carvajal y excedencias por valores atípicos en Suba, CDAR y Tunal; para las demás estaciones no se presentan excedencias a la norma anual. Tomando la mediana como medida de tendencia central, sólo Carvajal supera la norma para los días laborales.

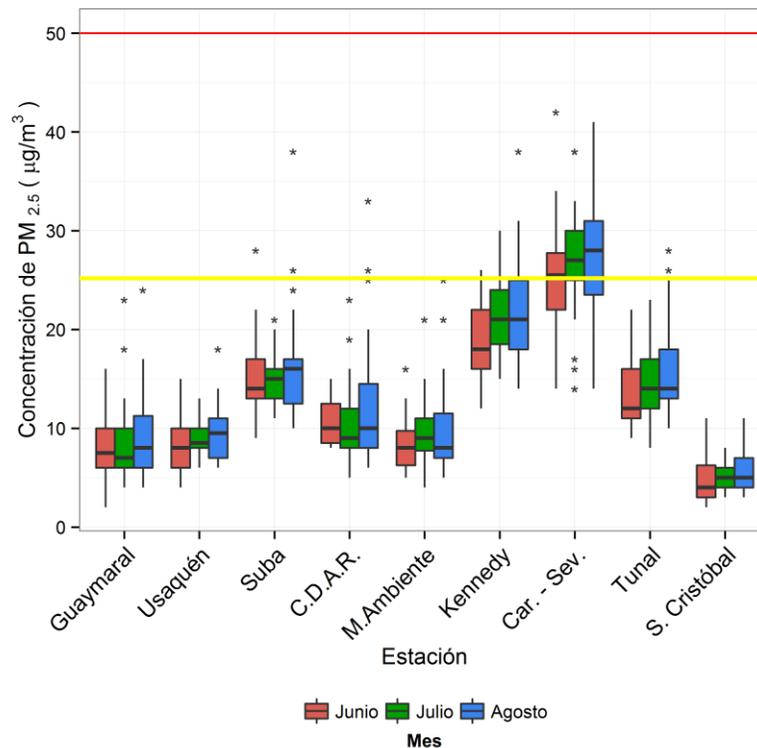
En términos de dispersión de datos, las menores variabilidades se observaron en Suba y San Cristóbal mientras que las mayores en Carvajal-Sevillana y Kennedy en especial para los lunes y sábados. Las características de los alrededores de las estaciones influyen en el grado de distribución de las concentraciones medidas.

El comportamiento en función de los meses de junio, julio y agosto de 2015 se observa en la Figura 3-22. Se observa que en general, para junio se presentaron los menores niveles de concentración (excepto para para Guaymaral y CDAR) y en agosto los mayores (excepto minAmbiente). La norma diaria no es superada en ningún momento, incluso por valores extremos, mientras que la norma anual es excedida de manera recurrente en Kennedy y

Carvajal y solo por valores extremos en Suba, CDAR y Tunal. Analizando la mediana como medida de tendencia central, se puede concluir que solo Carvajal supera la norma en todos los meses; el resto de medianas están por debajo de este valor.



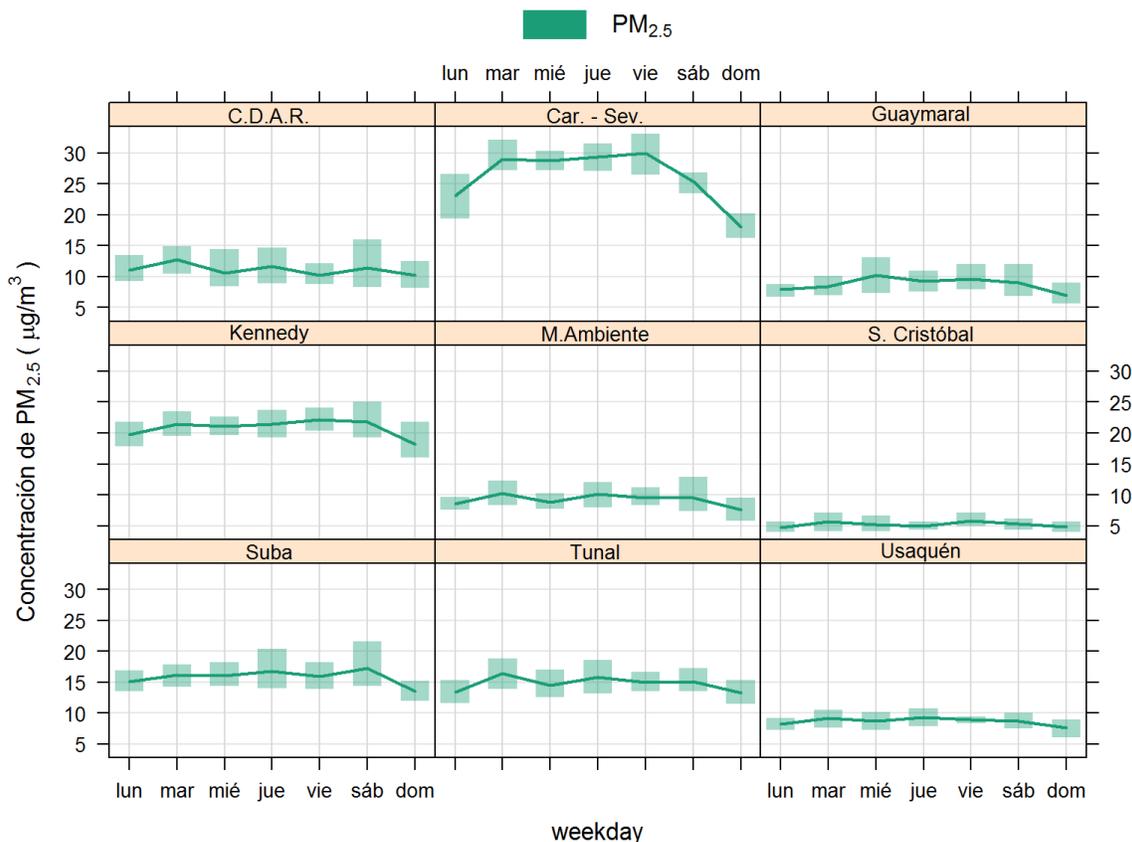
**Figura 3-21.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  en función de días de la semana del trimestre JJA 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año



**Figura 3-22.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015 y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>

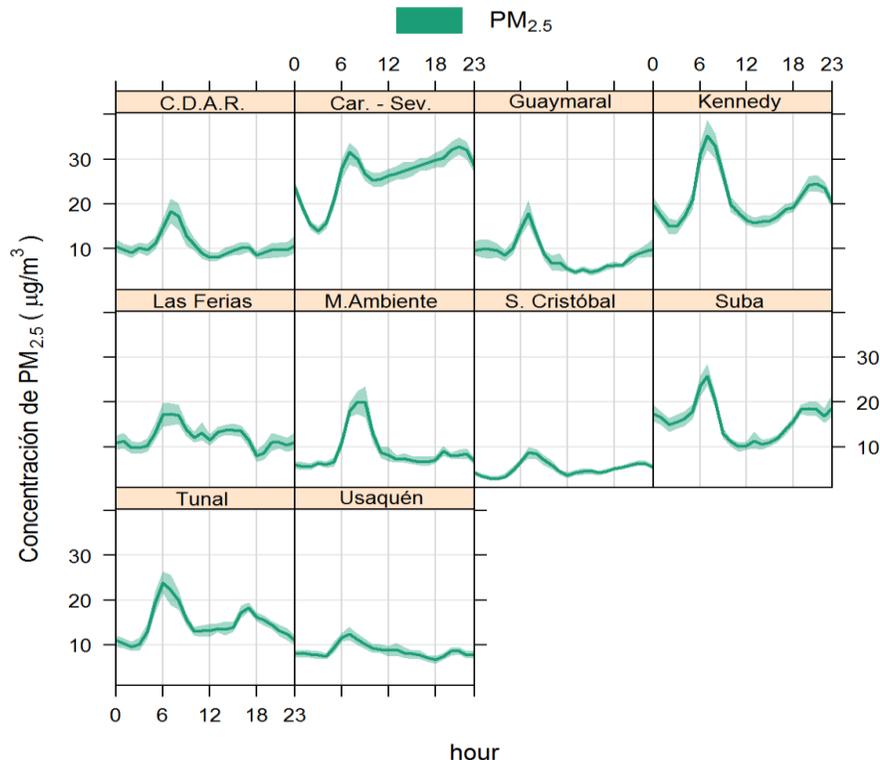
La Figura 3-23 presenta el perfil semanal de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en los monitores con cobertura temporal superior a 75%. Para todos los monitores se registraron las menores concentraciones los días domingo y en general los días martes a viernes, son los más contaminados. Carvajal-Sevillana presentan las mayores variabilidades inter días, mientras que, San Cristóbal y Usaquén presentan las concentraciones más estables, lo cual concuerda con una influencia más marcada respecto a fuentes móviles en estas últimas frente a Carvajal y Kennedy que también además de fuentes móviles tienen influencia industrial. Es de resaltar que los intervalos de confianza para la mayoría de estaciones, exceptuando Carvajal y CDAR, son pequeños, lo cual indica una baja dispersión de datos.



**Figura 3-23.** Comportamiento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en el ciclo semanal. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-24 presenta los ciclos diarios por estación de las concentraciones horarias de PM<sub>2.5</sub>. En todos los sitios de monitoreo a excepción de Usaqué y San Cristóbal se observa un aumento pronunciado de concentración entre las 6:00 a.m. y las 8:00 a.m.; el aumento es más significativo en estaciones como Carvajal y Kennedy. Este comportamiento se atribuye a la influencia de las fuentes móviles durante la hora pico. Para MinAmbiente se presenta un corrimiento del pico hacia las 9 de la mañana, probablemente por tratarse de un punto en el centro de la ciudad de llegada de empleados, lo cual hace que la medida de restricción vehicular que va hasta las 8:30a.m., pueda influir en el máximo de concentración. 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., pero este no disminuye hacia medio día y por el contrario tiende a aumentar en horas de la tarde y noche, lo cual sugiere aumento de actividad de las fuentes de emisión (industriales o móviles) en su zona de influencia durante dichos momentos. En Tunal 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 y para Usaqué y San Cristóbal este pico de la tarde es inexistente, probablemente por influencia meteorológica que altera el origen de contaminantes que captan los monitores; para Suba, el pico de las concentraciones se da alrededor de las 8 de la noche, lo cual puede estar asociado las dinámicas de fuentes móviles en la localidad después de la restricción vehicular. 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 3-24.** Ciclos diarios de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  por estación en el periodo JJA 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

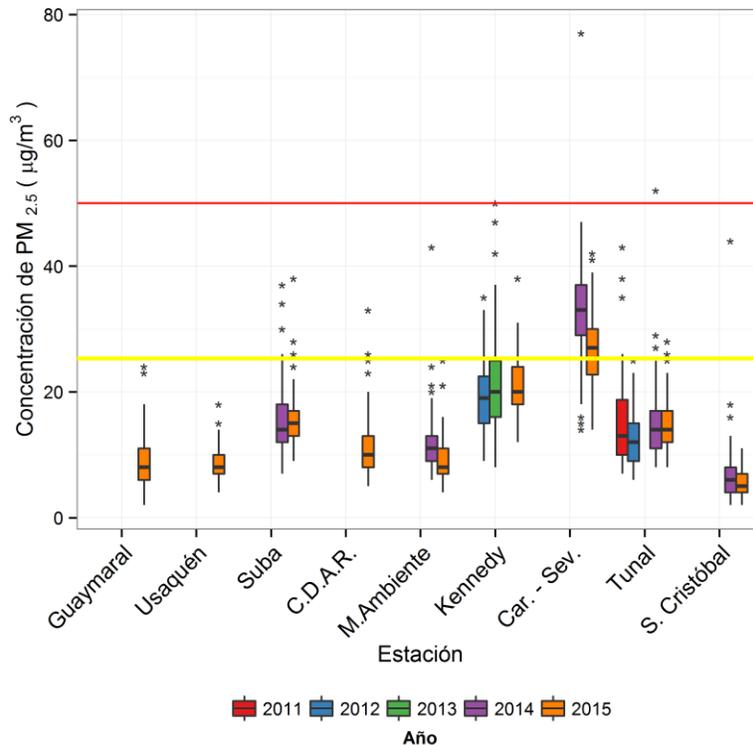
### Comportamiento histórico de promedios de $PM_{2.5}$

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos JJA 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que los trimestres 2014 y 2015 corresponden al análisis de 6 y 10 estaciones con cobertura temporal suficiente, teniendo en cuenta que desde octubre de 2013 se iniciaron gradualmente la operación de monitores adicionales.

La Figura 3-25 corresponde a un gráfico de *boxplot* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  en los meses de junio, julio y agosto. La baja representatividad en 2014 y la falta de cobertura espacial antes de 2013 impiden establecer un comportamiento del contaminante para el trimestre de análisis. Una comparación de los valores de concentración trimestrales obtenidos para los últimos 5 años, frente a la norma existente, muestra que existen excedencias a la norma diaria ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), solo en Carvajal y Tunal por valores extremos; ninguna estación supera la norma al emplear la mediana como medida de tendencia central. Frente a la norma anual ( $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), para evaluar el trimestre JJA, se observa que se presentan excedencias a la norma en todas las estaciones y de manera recurrente en Carvajal, estas excedencias se dan exceptuando Guaymaral y San

Cristóbal; sin embargo, observando el valor de la mediana como medida de tendencia central, se puede establecer que la norma solo se supera en, Carvajal.<sup>12</sup>

La Tabla 3-10 contiene un resumen histórico de promedios y máximos en el trimestre JJA para los años 2011 a 2015. Es importante reiterar que en los periodos 2011 a 2013 solamente existieron mediciones válidas en Kennedy. El máximo valor histórico reportado en la RMCAB fue  $77\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2011, el cual establece una diferencia notable con respecto a los máximos de los demás trimestres, que oscilan entre  $42\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La tabla también permite observar un descenso en la concentración de este contaminante como promedio ciudad, es decir como promedio aritmético de los valores obtenidos a través del trimestre JJA para todas las estaciones con representatividad adecuada.



**Figura 3-25.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{2.5}$  en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% para el trimestre JJA 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

<sup>12</sup> El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

**Tabla 3-10.** Resumen histórico de concentraciones máximas de PM<sub>2.5</sub> en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015. Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013.

Periodo JJA	Promedio µg/m <sup>3</sup>	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	15	43	16/07/2011	Kennedy
2012	19	35	05/06/2012	Kennedy
2013	22	50	10/08/2013	Kennedy
2014	16	77	28/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	13	42	30/06/2015	Carvajal-Sevillana

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

La Tabla 3-11 muestra la relación de concentraciones promedio trimestrales entre material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en las estaciones que midieron ambos contaminantes durante el periodo JJA 2015 y que tienen una cobertura temporal superior a 75%. Nueve (9) estaciones cumplieron este criterio.

La relación entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  muestra la fracción de  $PM_{10}$  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, Tunal, Suba y Usaquén, 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 3-11.** Relación de concentraciones entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  para las estaciones de la RMCAB que midieron ambos contaminantes durante el periodo JJA 2015 y que tienen cobertura temporal superior a 75%.

Estación	$PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$PM_{10}$	Relación de concentraciones $PM_{2.5}/PM_{10}$
		( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Guaymaral	9	22	0.41
Usaquén	9	20	0.45
Suba	16	36	0.44
Centro de Alto Rendimiento	11	17	0.65
MinAmbiente	9	24	0.38
Kennedy	21	51	0.41
Carvajal - Sevillana	26	78	0.33
Tunal	15	32	0.47
San Cristóbal	5	14	0.36

### 3.2. Gases contaminantes

La RMCAB, además de medir el material particulado, realiza el monitoreo de otros contaminantes tanto primarios como secundarios presentes en el aire. Éstos son el ozono ( $O_3$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) 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  $O_3$  es un gas azul pálido que existe en las capas altas (estratosfera) y capas bajas de la atmósfera, pero mientras el estratosférico es de tipo natural y benéfico para la vida, actuando como un filtro protector de la radiación ultravioleta, el segundo (llamado ozono troposférico) es perjudicial en los seres vivos, ya que es un oxidante fuerte e irritante en altas concentraciones en el sistema respiratorio de animales y humanos y causa toxicidad en plantas. Este ozono troposférico no es emitido directamente a la atmósfera, más sí es producido por la reacción química entre el oxígeno natural del aire y los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, los cuales actúan como precursores o facilitadores de la reacción química en presencia de la luz solar. Estos precursores sí son emitidos directamente a la atmósfera y por tanto a mayor concentración de estos, mayor es la producción de ozono, siempre y cuando exista la radiación solar.

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

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

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

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

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

La RMCAB contó con once (11) equipos para monitorear ozono durante el trimestre JJA 2015, los cuales se encuentran ubicados según se reporta en la Tabla 1-1.

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

Durante el Trimestre JJA 2015 se obtuvieron 22265 promedios horarios válidos de O<sub>3</sub> (frente a 17837 del trimestre MAM), lo que representa un porcentaje de recuperación global de los datos de 92%; al tomar las estaciones representativas, se recuperaron 21136 datos, correspondientes al 77% del total posible. La representatividad temporal, el número de excedencias de la norma horaria (120 µg/m<sup>3</sup> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010) y las concentraciones máximas con su respectiva fecha y hora de ocurrencia por estación se presentan en la Tabla 3-12. La Figura 3-26 condensa la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

**Tabla 3-12.** Resumen descriptivo de los datos horarios de O<sub>3</sub> por estación para el periodo JJA – 2015.

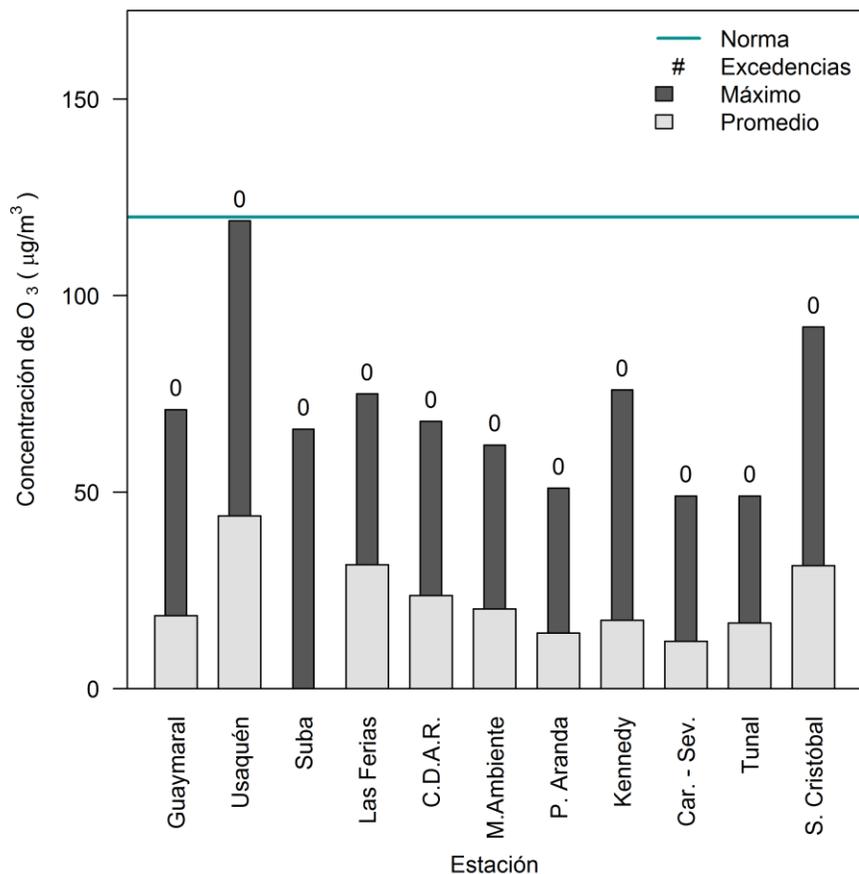
Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m <sup>3</sup>	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>13</sup>	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma <sup>14</sup>
Guaymaral	95	0	71	21/08/2015 02:00	0
Usaquén	98	0	119	21/08/2015 03:00	4
Suba	51	0	66	05/07/2015 17:00	0
Las Ferias	98	0	75	21/08/2015 05:00	0
Centro de Alto Rendimiento	91	0	68	21/08/2015 02:00	0
MinAmbiente	99	0	62	21/08/2015 02:00	0
Puente Aranda	95	0	51	21/08/2015 02:00	0
Kennedy	96	0	76	27/08/2015 13:00	0
Carvajal - Sevillana	93	0	49	27/08/2015 12:00	0
Tunal	99	0	49	21/08/2015 02:00	0
San Cristóbal	94	0	92	21/08/2015 02:00	0

En todas las estaciones se presentó una cobertura temporal superior a 75%, con excepción de Suba, cuya representatividad fue de 51%, debido a fallas operacionales del respectivo monitor. Ningún dato durante el trimestre JJA 2015, supero la norma horaria. La concentración máxima reportada en la RMCAB fue 119 µg/m<sup>3</sup> en Usaquén el 21 de agosto

<sup>13</sup> En informes anteriores las concentraciones de los gases contaminantes (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>) se reportaban en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb) según el caso. Sin embargo, con fines de comparar con los límites máximos permisibles de la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010) y de acuerdo al Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del MAVDT, las concentraciones se reportarán en mg/m<sup>3</sup> y µg/m<sup>3</sup> acordemente.

<sup>14</sup> Mayor o a 108 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 120 µg/m<sup>3</sup>.

de 2015 a las 3:00 a.m. En esta misma fecha y entre las 2:00a.m y 5:00a.m., se presentaron máximos en la estación de Guaymaral, Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, MinAmbiente, Puente Aranda y San Cristóbal, un hecho que sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel de la ciudad. El 25 de marzo de 2015 también se presentó coincidencia para los datos de Kennedy y Guaymaral.



**Figura 3-26.** Promedios trimestrales, máximos y excedencias de la norma de O<sub>3</sub> en base horaria por estación durante el periodo JJA 2015.

A diferencia de las tendencias observadas para el material particulado, los sitios de medición ubicados en el sur y sur occidente de la ciudad (Carvajal-Sevillana Tunal), tienden a registrar niveles menores de ozono, un comportamiento que puede deberse a dinámicas climatológicas y de concentración de precursores de contaminantes secundarios, pero que requiere de mayor investigación.

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

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 22379

(frente a 17903 del periodo MAM 2015), promedios que representan el 92% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el periodo JJA 2015, de estos, se tienen 21242 datos de las estaciones con representatividad superior al 75%, lo cual corresponde al 87% de los datos totales posibles. El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia se presenta en la Tabla 3-13. 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.

Sólo 22 promedios móviles de 8 horas excedieron el límite máximo permisible de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  todos pertenecientes a la estación Usaquéen las cuales representan el 0.1% del total de datos válidos del trimestre. 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. Todas las excedencias se concentraron en el mes de agosto de 2015.

El promedio trimestral más alto se presentó en Usaquéen con  $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (muy similar a los  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  obtenidos para el trimestre MAM en esta misma estación), el cual es seguido en magnitud por Las Ferias con  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y San Cristóbal con  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo un resultado atípico, pues esta estación se caracteriza por bajas concentraciones de este contaminante. En contraste, los valores más bajos fueron observados en Carvajal-Sevillana, Kennedy y Tunal con  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para la primera y  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las otras dos estaciones. 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. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{CO}$ , 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 de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar.

El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue  $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Usaquéen el **21 de agosto de 2015** a las 7:00 a.m. En la misma fecha Las Guaymaral, Tunal y San Cristóbal reportaron sus máximos, lo cual indica un evento adicional de altas concentraciones a nivel ciudad. Es importante mencionar que un promedio móvil de 8 horas reportado a las 7:00 p.m. incluye las concentraciones registradas entre las 12:00 a.m. y las 7:00 p.m. lo cual abarca las horas usuales de alta concentración de ozono.

**Tabla 3-13.** Porcentaje de datos válidos, promedios trimestrales, excedencias, máximos y respectivas fechas y horas de ocurrencia, de las concentraciones de O<sub>3</sub> en base 8 horas durante el trimestre JJA 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )	Excedencias norma (8h) 80 µg/m <sup>3</sup>	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de concentración máxima
Guaymaral	96	19	0	55	21/08/2015 05:00
Usaquén	98	44	22	105	21/08/2015 07:00
Suba	52	22	0	59	05/07/2015 18:00
Las Ferias	99	32	0	67	17/08/2015 15:00
Centro de Alto Rendimiento	91	24	0	61	29/08/2015 15:00
MinAmbiente	100	20	0	48	05/07/2015 17:00
Puente Aranda	95	14	0	41	29/08/2015 15:00
Kennedy	96	17	0	50	17/08/2015 16:00
Carvajal - Sevillana	94	12	0	37	17/08/2015 16:00
Tunal	100	17	0	42	21/08/2015 07:00
San Cristóbal	94	31	0	79	21/08/2015 06:00

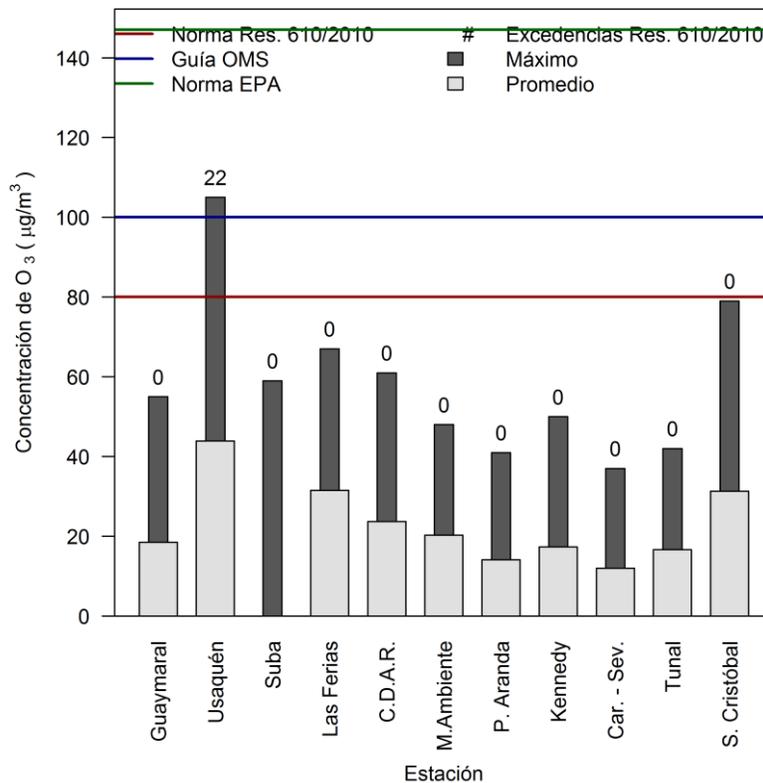
La Tabla 3-14 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 µg/m<sup>3</sup>) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que las 22 excedencias se distribuyeron en un total de 2 días de los cuales el total correspondieron al mes de agosto. La ocurrencia de excedencias sólo en el mes de agosto, comprueba la ocurrencia de un episodio de contaminación en ese mes. Como se discutió previamente, la totalidad de excedencias se concentraron en la estación Usaquén.

**Tabla 3-14.** Número de excedencias y días de excedencias de la norma de 8 horas de O<sub>3</sub> (80 µg/m<sup>3</sup>) por estación y por mes durante el trimestre JJA 2015.

Mes	Junio	Julio	Agosto	Total
Guaymaral	0	0	0	0
Usaquén	0	0	22	22
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	0	0	0	0
Kennedy	0	0	0	0
Carvajal - Sevillana	0	0	0	0
Tunal	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0
<b>Total de excedencias</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>Días de excedencias</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

La Figura 3-27 presenta el resumen en forma gráfica de máximos y excedencias del límite máximo permisible de la Resolución 610 de 2010 ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) así como la comparación de los valores máximos con la guía de la Organización Mundial de la Salud de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Organización Mundial de la Salud, 2006) y con el límite normativo de los *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) de Estados Unidos y acogido por la US-EPA correspondiente a 75 ppb o  $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (U.S. Environmental Protection Agency, 2012).

La comparación con el nivel recomendado por la OMS indica que solo una (1) estación (Usaquén) presenta excedencias frente al valor sugerido por esta entidad. Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue  $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la RMCAB no presentó excedencias del límite normativo de los NAAQS. Con respecto a la normatividad europea que establece  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (European Commission - Environment, 2014), no se presentaron excedencias.



**Figura 3-27.** Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de la norma de  $\text{O}_3$  ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el trimestre JJA 2015.

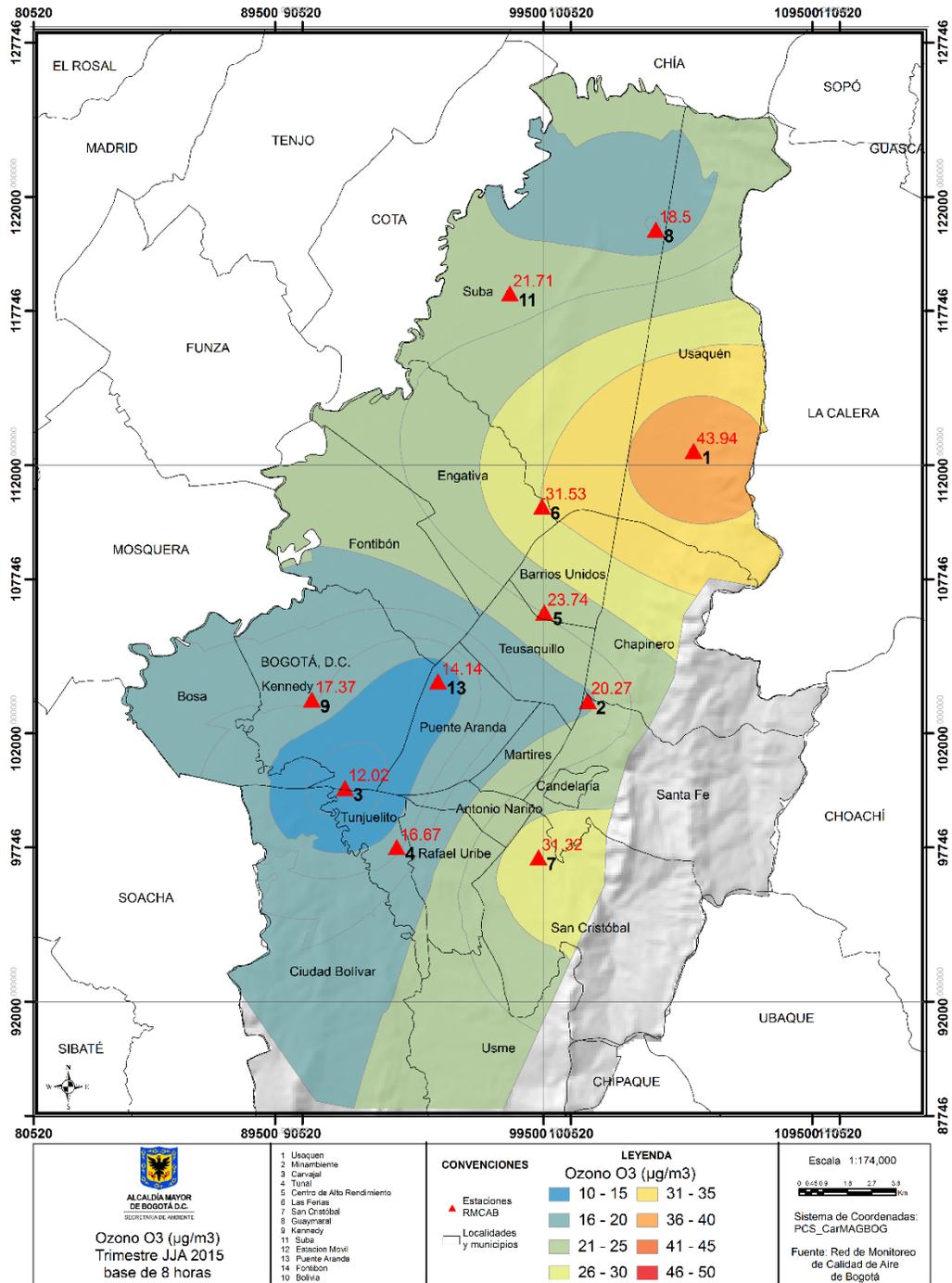
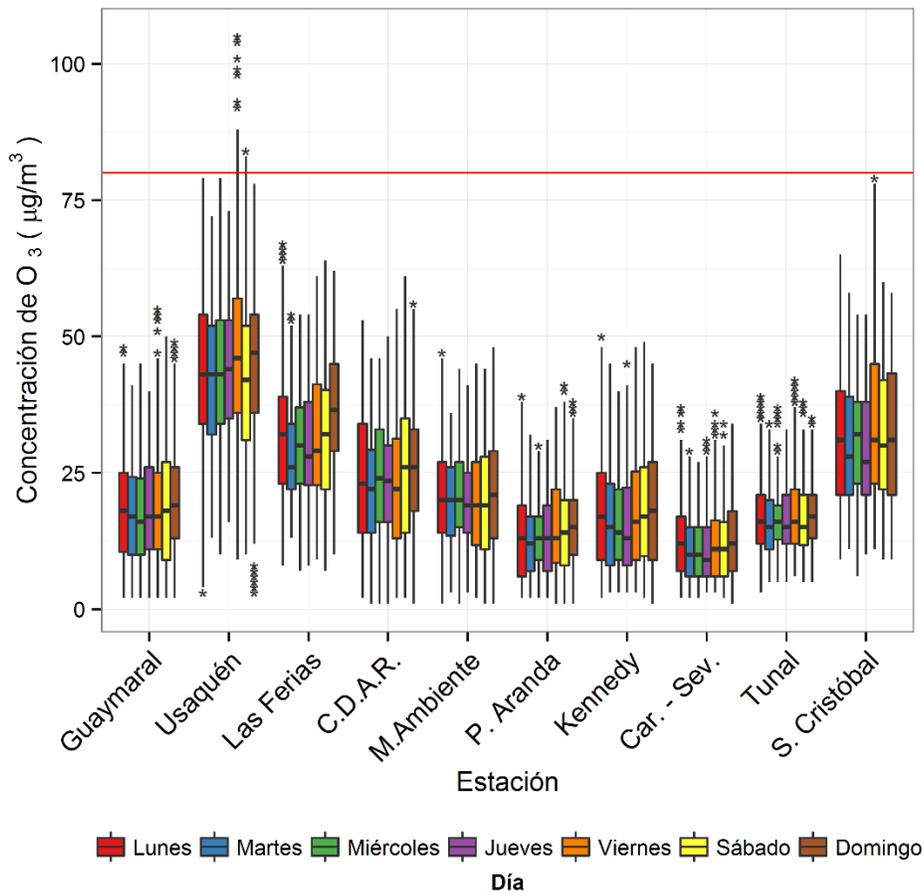


Figura 3-28. Superficie de concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre JJA 2015.

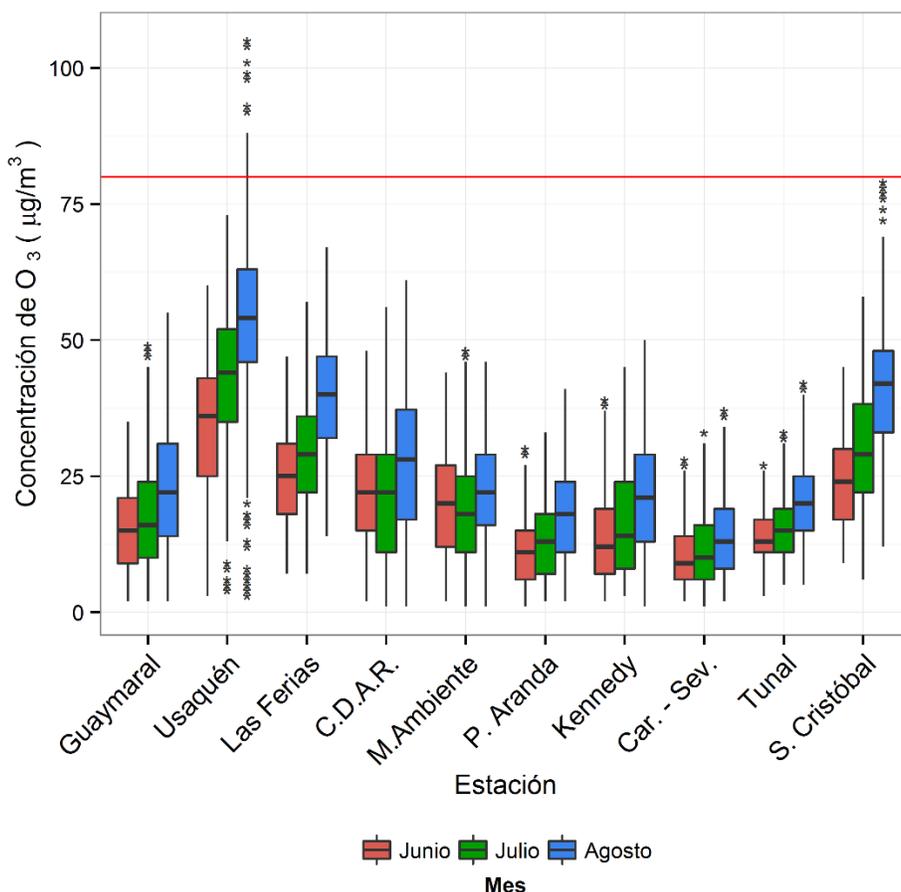
### Diagramas de caja con el comportamiento temporal del O<sub>3</sub>

La Figura 3-29 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 de acuerdo con la mediana como medida de tendencia central son los domingos y los viernes son los días que presentan mayor variabilidad en los datos; las concentraciones de este contaminante de acuerdo a la mediana, son muy similares para todos los días laborales. Las estaciones localizadas al norte de la ciudad, especialmente Usaquén, mostraron mayor grado de dispersión y mayores valores de concentración de O<sub>3</sub> en comparación con aquellas localizadas al sur, aunque para este trimestre el comportamiento en San Cristóbal se presenta como inusual al tener valores de concentración altos frente a otras estaciones como Carvajal y Tunal. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma 8 horas (80µg/m<sup>3</sup>), muestra que las excedencias solo se presentan en Usaquén el día viernes y sábado.



**Figura 3-29.** 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 trimestre JJA 2015. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas

La distribución de las concentraciones móviles de 8 horas de ozono en función de los meses de junio, julio y agosto de 2015 se presenta en la Figura 3-30. Las menores concentraciones fueron observadas en general para el mes de junio, coincidiendo con los demás contaminantes y el mes de agosto fue el de mayor concentración. Se destaca el diagrama de caja de Usaquén del mes de agosto en el cual la magnitud de las concentraciones y el grado de dispersión es notablemente mayor en comparación con los demás meses, presentándose este mismo comportamiento pero en menor medida para las demás estaciones. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma 8 horas ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que solo se presentan excedencias en Usaquén para el mes de agosto de 2015 por datos pertenecientes al último cuartil y datos extremos.

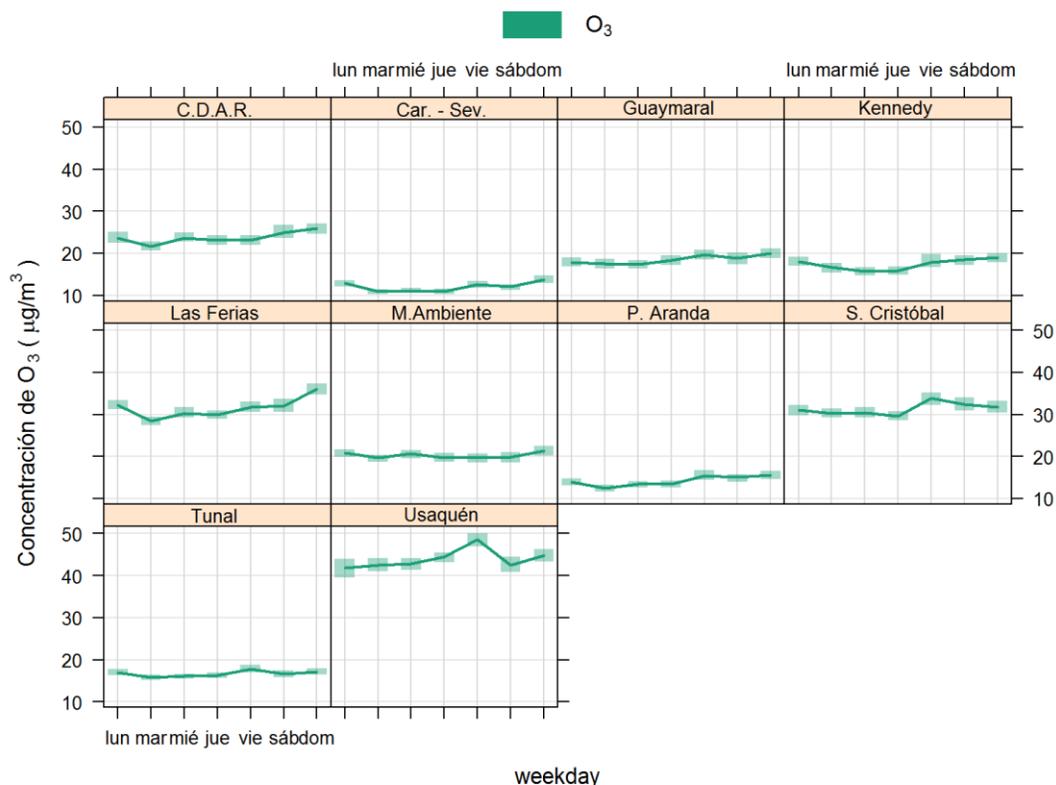


**Figura 3-30.** Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del trimestre y cobertura temporal superior a 75% para el trimestre JJA 2015. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de $\text{O}_3$

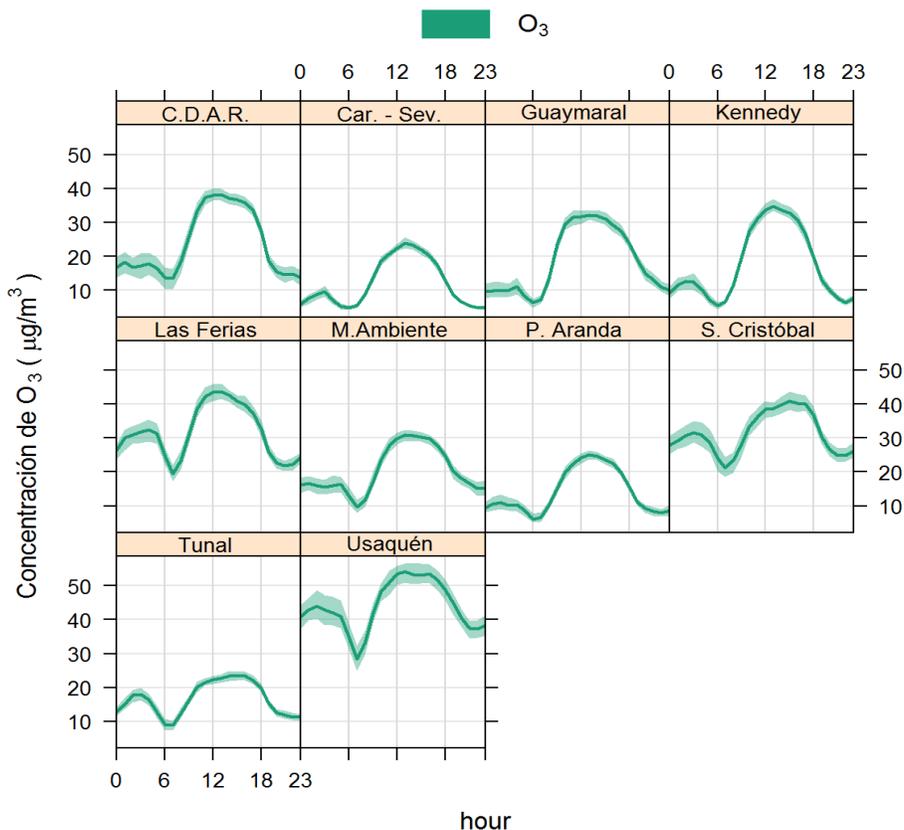
La Figura 3-31 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Como se mencionó en la sección previa, se observa que las mayores

concentraciones fueron observadas los días domingo con excepción de San Cristóbal, Tunal y Usaquén donde las mayores concentraciones corresponden al día viernes, sin embargo se observa un comportamiento bastante homogéneo a través de la semana para la concentración de este contaminante, en especial para los días laborales. . La variabilidad de los ciclos depende de la estación a analizar, sin embargo Los ciclos más homogéneos se observaron en Guaymaral y CDAR, MinAmbiente, Puente Aranda y Tunal. En esta figura también es posible observar que las estaciones ubicadas al norte y centro-oriente de la ciudad registran los niveles más altos de ozono. San Cristóbal representa un caso especial de alta concentración al ser históricamente una zona de baja presencia de este contaminante.



**Figura 3-31.** Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana.

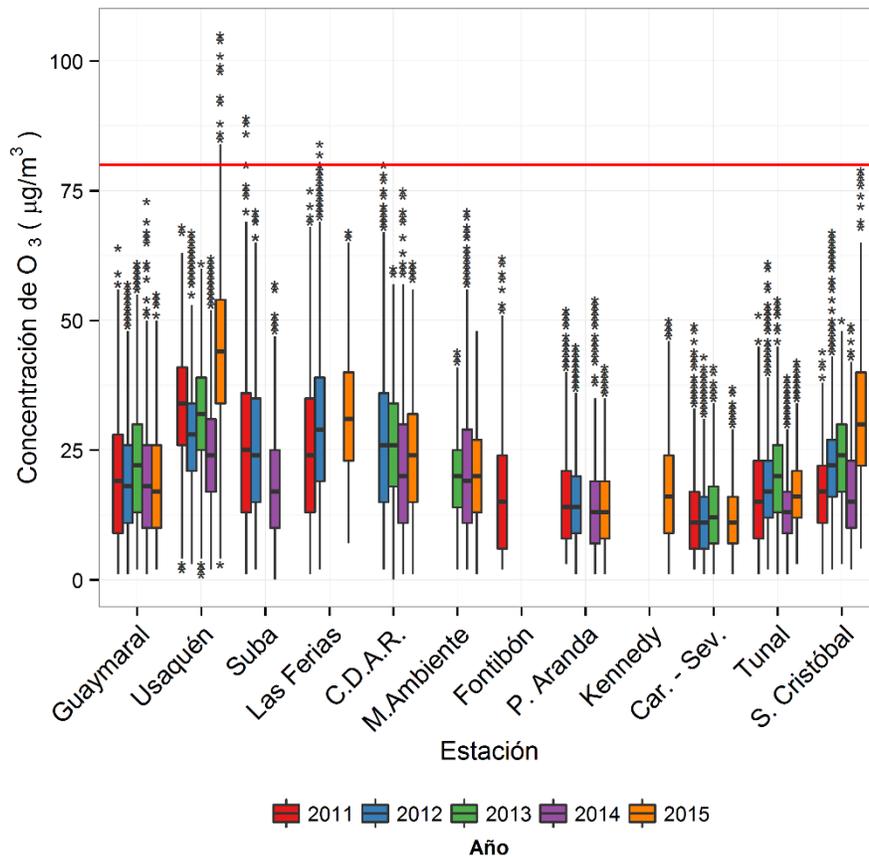
Los ciclos diarios de la Figura 3-32 confirman la naturaleza del ozono como contaminante secundario ya que en general las concentraciones se incrementan en horas cercanas al medio día como consecuencia del aumento de la radiación solar. Usaquén, Las Ferias y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, un tema que requiere de una investigación más profunda.



**Figura 3-32.** Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día.

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

La Figura 3-33 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 el trimestre JJA de los años 2011 a 2015. En los periodos estudiados las concentraciones más altas se han observado en la estación Usaquén mientras que las más bajas se han observado en Carvajal. Con respecto al trimestre. En general se denota un aumento consistente en la concentración de ozono a través de los años de estudio, esto indica que puede existir mayor concentración de precursores secundarios y radiación solar. En los trimestres comprendidos entre 2011 y 2014 las concentraciones se han mantenido estables para Carvajal, MinAmbiente, Puente Aranda y han aumentado de manera notoria para Usaquén y San Cristóbal. En términos de dispersión se observa que las estaciones localizadas al norte presentan mayores distribuciones, en contraste con el sur y el occidente de la ciudad a excepción de San Cristóbal. Una comparación de los valores de concentración por estación a través del trimestre frente a la norma 8 horas ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que solo Usaquén, Suba y Las Ferias presentan excedencias, sin embargo, ninguna mediana superó el valor establecido por norma. Las excedencias son en general datos extremos a excepción de Usaquén para el año 2015, donde datos en el último cuartil, superaron la norma.



**Figura 3-33.** Gráfico de *boxplot* de O<sub>3</sub> en función de las estaciones de monitoreo en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas). La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

La Tabla 3-15 es un resumen histórico de las concentraciones promedio y máximas de ozono con base en promedios móviles de 8 horas en el periodo JJA para los años 2011 a 2015. En los 5 años estudiados para el trimestre JJA el promedio móvil de 8 horas más alto fue 23 µg/m<sup>3</sup>, lo que evidencia un leve incremento de la concentración de este contaminante a nivel ciudad. Con respecto a los máximos, el mayor valor obtenido fue de 105µg/m<sup>3</sup> en la estación Usaquén para el año 2015 a las 7:00a-m, lo que corrobora lo expresado para el año 2015 con respecto al aumento en la concentración de O<sub>3</sub> en la ciudad. Para los años 2011, 2013 y 2014 los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche, consecuente con la exposición de contaminantes primarios a la radiación solar durante el día, sin embargo para 2012 y 2015 los máximos se presentaron en horas de la mañana, hecho que requiere una mayor investigación.

**Tabla 3-15.** Resumen histórico de las concentraciones máximas de O<sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas en el trimestre JJA para los años 2011-2015.

Periodo JJA	Promedio µg/m <sup>3</sup>	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	20	89	01/08/2011 20:00	Suba
2012	22	84	28/08/2012 06:00	Las Ferias
2013	22	61	04/07/2013 19:00	Guaymaral
2014	18	75	30/08/2014 18:00	Centro de Alto Rendimiento
2015	23	105	21/08/2015 07:00	Usaquén

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

En el periodo JJA 2015, se contó con 7 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 NO<sub>2</sub>

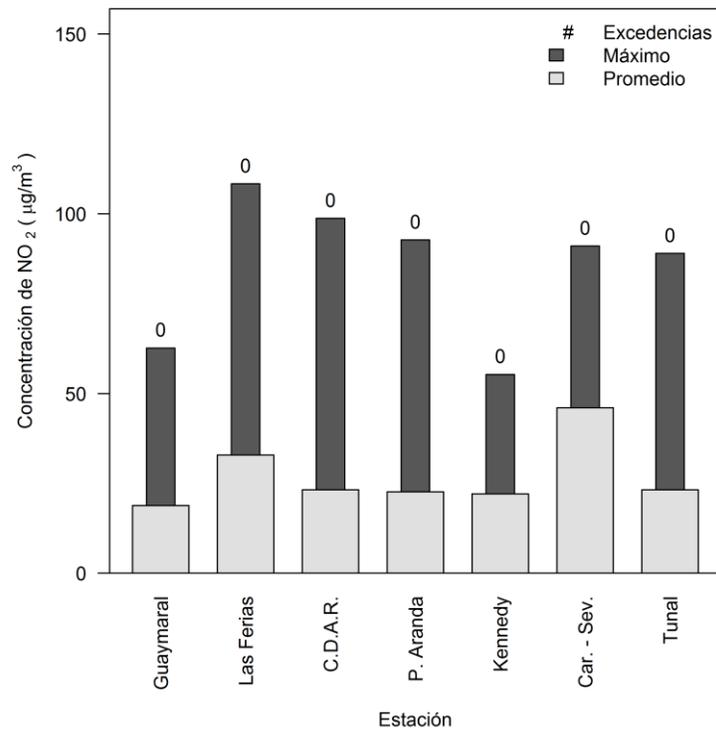
Durante el periodo analizado se obtuvieron 14671 promedios horarios validos (1.2% más que en el periodo MAM 2015 en el que se obtuvieron 14506 datos), que corresponden a una representatividad temporal global de 95% entre las siete estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con representatividad superior al 75%, se encuentra que las siete (7) estaciones se encuentran por encima de este porcentaje, con lo cual, los 14671 datos pueden emplearse. 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 3-16. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma horaria (200 µg/m<sup>3</sup>), no tampoco para el 75% de la misma (150 µg/m<sup>3</sup>). Figura 3-34 contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, en base de tiempo horaria

La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en el periodo de análisis fue 108µg/m<sup>3</sup> el 26 de agosto de 2015 a las 09:00a.m. en la estación Las Ferias. No se presentaron eventos de máxima concentración parra esta fecha en otras estaciones, pero si se presentan máximos para el 22 de agosto, lo cual indica que se presentó un episodio generalizado de altas concentraciones por agentes secundarios en este día.

**Tabla 3-16.** Resumen de datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos entre el 75% y el 100% de la norma <sup>15</sup>
Guaymaral	95	63	22/08/2015 22:00	0
Las Ferias	99	108	26/08/2015 09:00	0
Centro de Alto Rendimiento	93	99	27/08/2015 12:00	0
Puente Aranda	92	93	22/08/2015 10:00	0
Kennedy	98	55	22/08/2015 10:00	0
Carvajal - Sevillana	90	91	22/08/2015 20:00	0
Tunal	99	89	27/08/2015 12:00	0

<sup>15</sup> Mayor a 150 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 200 µg/m<sup>3</sup>



**Figura 3-34.** Promedios trimestrales, máximos y excedencias de los datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015

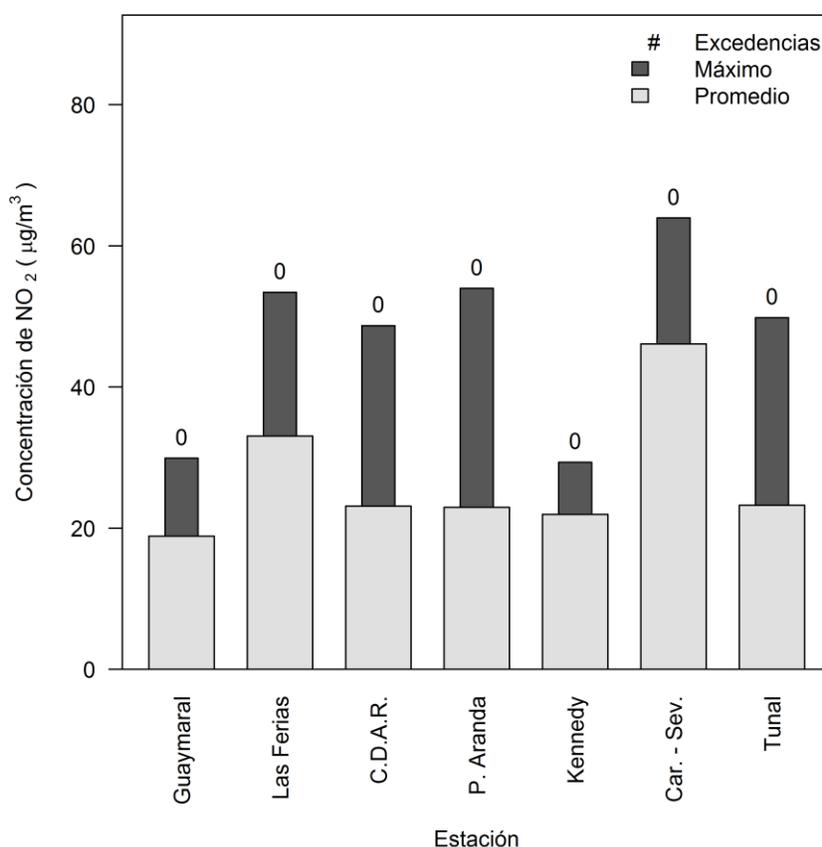
### Comportamiento de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub>

Se obtuvieron 602 valores diarios de NO<sub>2</sub>, cuya representatividad temporal global corresponde al 93% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición. Al igual que con los datos horarios, todas las estaciones cuentan con una representatividad superior al 75%. En la Tabla 3-17 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<sub>2</sub> para un tiempo de exposición de 24 horas (150µg/m<sup>3</sup>) como se observa en la Figura 3-34. Tampoco observaron valores que superaran el 50% de la norma (75 µg/m<sup>3</sup>). La Figura 3-34 contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, en base de tiempo diaria

**Tabla 3-17.** Resumen de datos diarios de NO<sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo	Número de datos superior al 50% de la norma diaria <sup>16</sup>
Guaymaral	93	19	30	28/08/2015	0
Las Ferias	100	33	53	28/08/2015	0
Centro de Alto Rendimiento	92	23	49	28/08/2015	0
Puente Aranda	90	23	54	23/08/2015	0
Kennedy	97	22	29	14/08/2015	0
Carvajal - Sevillana	89	46	64	28/08/2015	0
Tunal	100	23	50	28/08/2015	0

La máxima concentración diaria reportada en la RMCAB fue 64µg/m<sup>3</sup> (frente a 90µg/m<sup>3</sup> del trimestre MAM), en la estación Carvajal el 28 de agosto de 2015. Esta fecha coincide con los máximos de concentración horaria del 22 de agosto de 2015, lo que sugiere un evento momentáneo en base horaria.

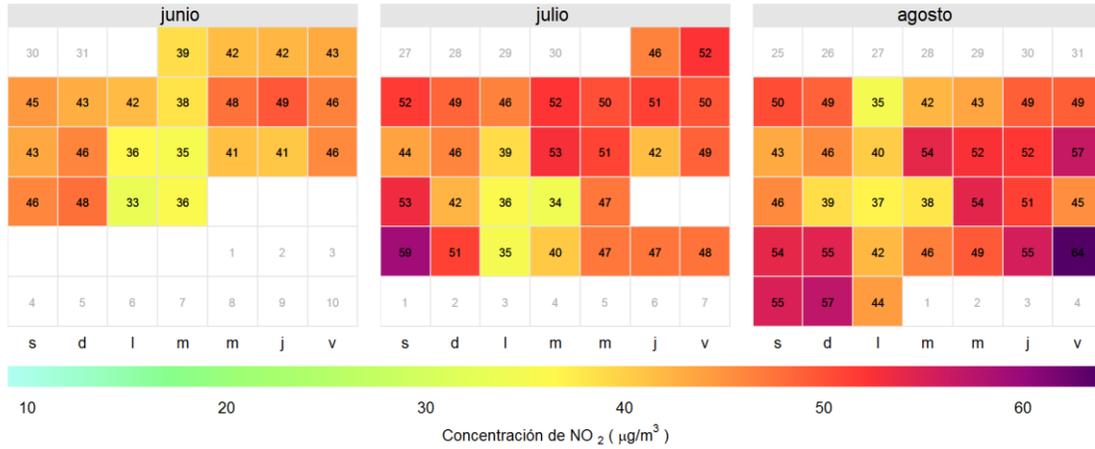


**Figura 3-35.** Promedios trimestrales, excedencias y concentraciones máximas de NO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el periodo JJA 2015.

<sup>16</sup> Mayores a 75 µg/m<sup>3</sup>.

**Calendario de contaminación por NO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015**

Car. - Sev. 2015 Junio - Julio - Agosto

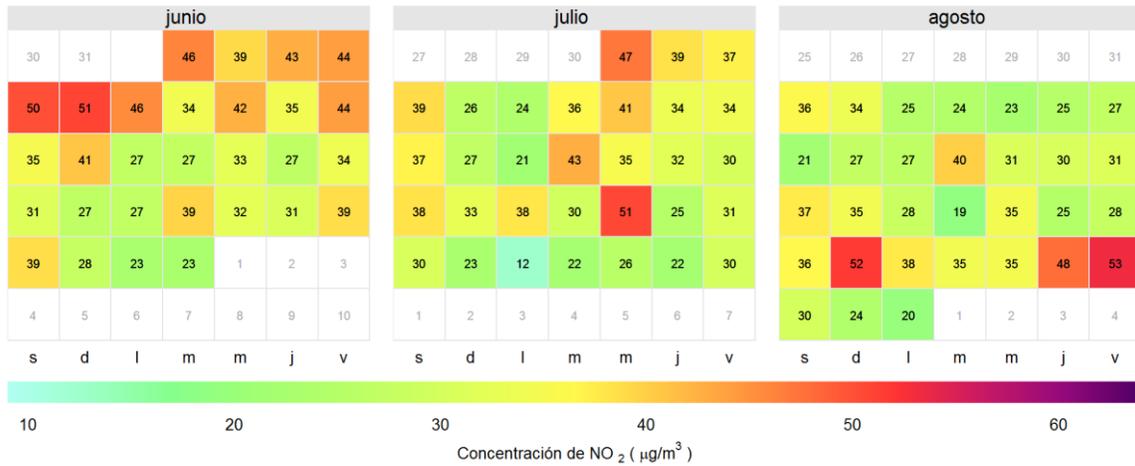


La  
Figura

**3-36,**

la

Las Ferias 2015 Junio - Julio - Agosto



Figura

**3-37**

y

la

Guaymaral 2015 Junio - Julio - Agosto



Figura 3-38 corresponden a diagramas calendario de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> para las estaciones Carvajal, Las Ferias y Guaymaral, que registraron, de acuerdo a promedios trimestrales representativos, concentraciones en rangos altos, medios y bajos, respectivamente. En Carvajal se observa el valor máximo registrado en la RMCAB, correspondiente a 64µg/m<sup>3</sup> y que los días con las mayores concentraciones corresponden a agosto y las menores concentraciones de NO<sub>2</sub> se encuentran en Junio. Los diagramas calendario de las tres estaciones permiten evidenciar el contraste espacial en Bogotá en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante.

Car. - Sev. 2015 Junio - Julio - Agosto

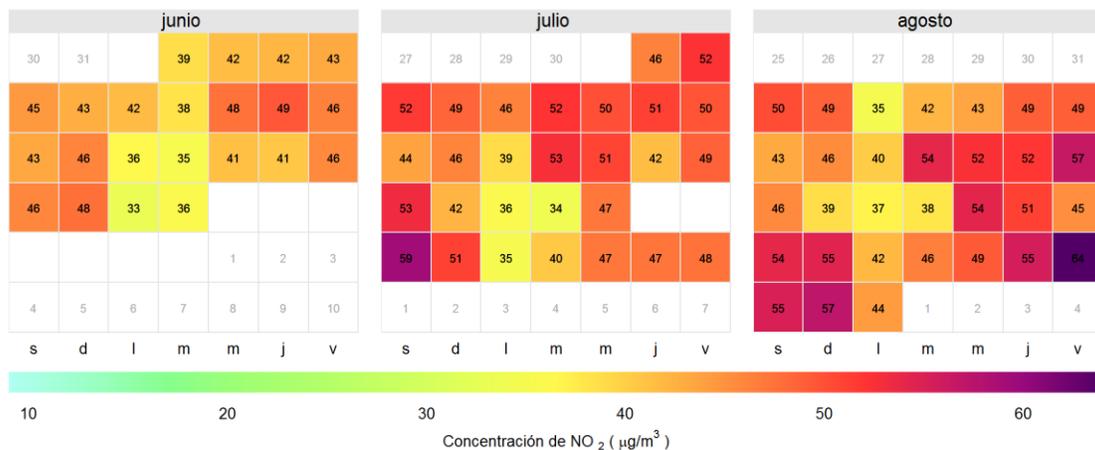


Figura 3-36. Diagrama calendario para NO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m<sup>3</sup>.

Las Ferias 2015 Junio - Julio - Agosto

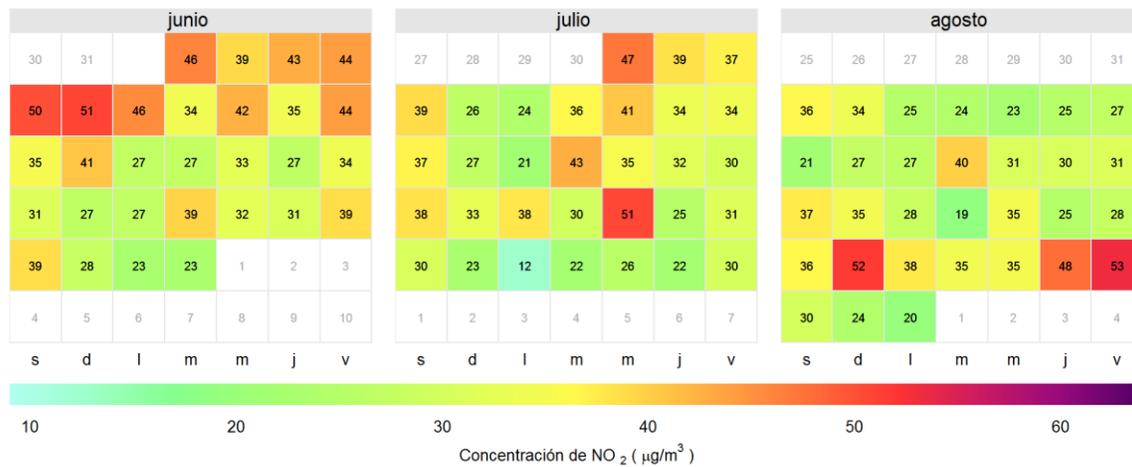


Figura 3-37. Diagrama calendario para NO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m<sup>3</sup>.

Guaymaral 2015 Junio - Julio - Agosto

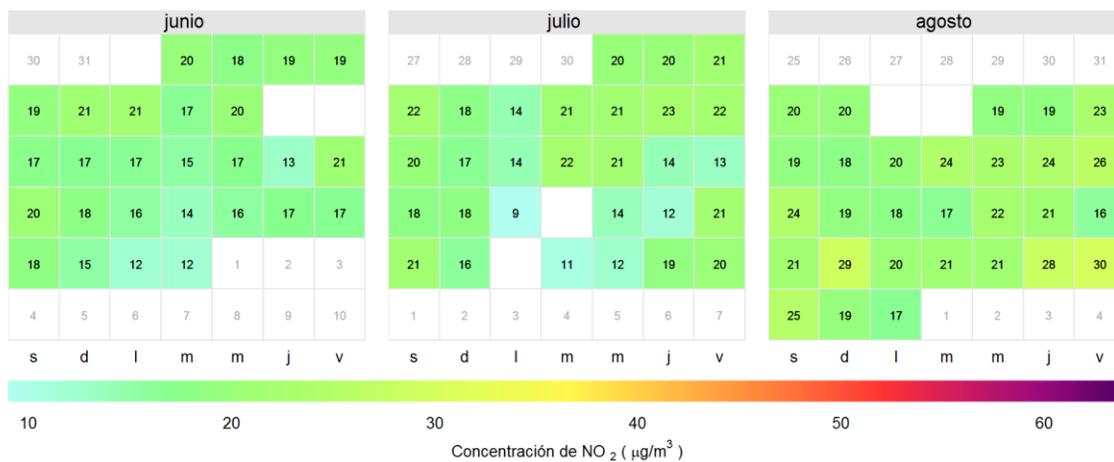


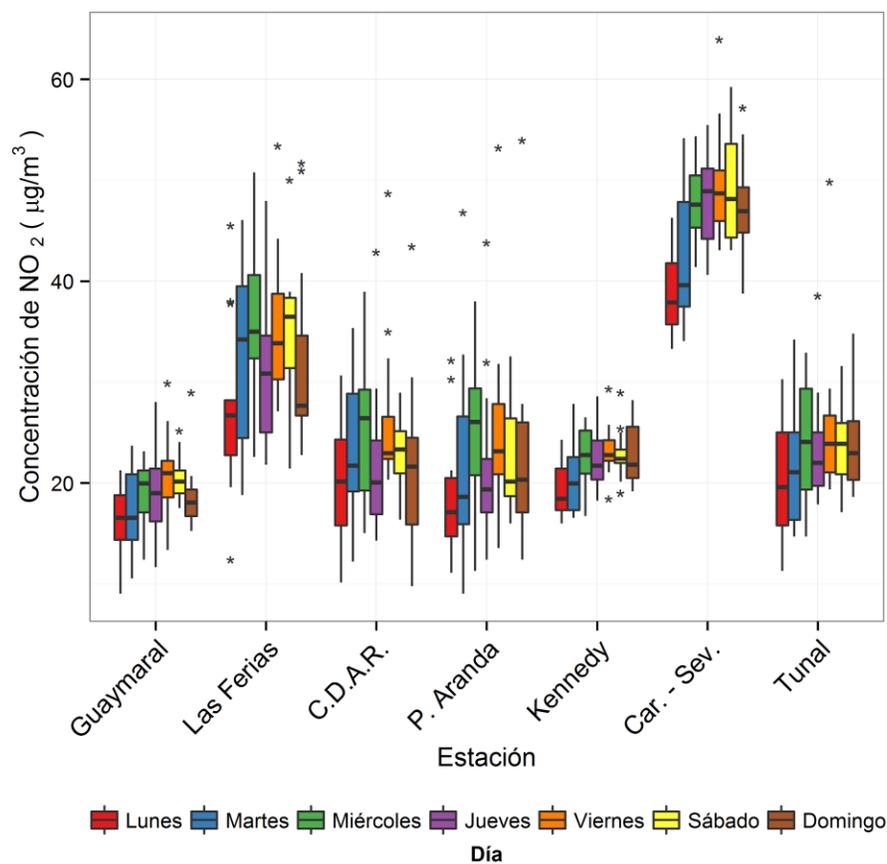
Figura 3-38. Diagrama calendario para NO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m<sup>3</sup>.

### Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub>

La Figura 3-39 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% y de los días de la semana. Se observa que los domingos reportaron las concentraciones más bajas del trimestre, esto como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, especialmente en relación a las fuentes móviles. Se observa también que en general, los viernes y sábados tienden a presentar mayores magnitudes en sus concentraciones frente a los otros días de la semana. 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. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma horaria ( $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la norma diaria ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y la norma anual ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que ninguno de los valores registrados en las estaciones son excedidas por ninguna estación a través del trimestre.<sup>17</sup>

La Figura 3-40 presenta el análisis de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función de los meses del trimestre JJA 2015, y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75%. Para todas las estaciones se observa un aumento progresivo en las magnitudes de las concentraciones diarias de este contaminante en el transcurrir del trimestre excepto las Ferias, donde también se presentan una disminución desde el mes de junio a agosto de 2015. Este ciclo de aumento es normal debido al inicio de un nuevo ciclo meteorológico.

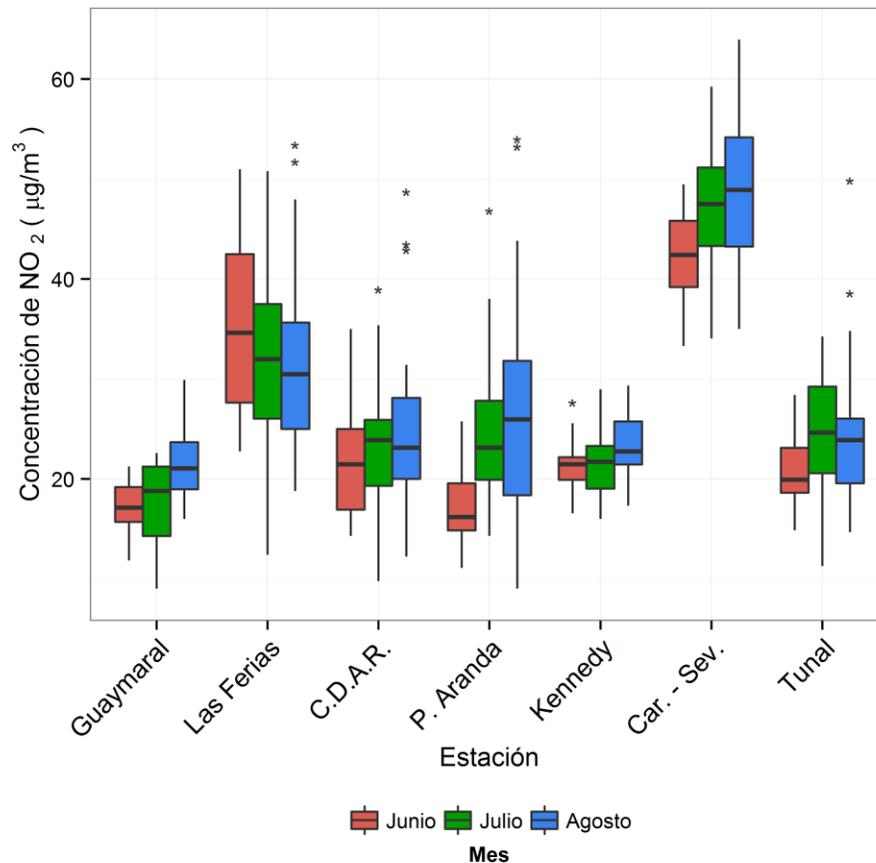


**Figura 3-39.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. Trimestre JJA 2015. La norma aplicable es de  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$

La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año

<sup>17</sup> el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

En cuanto a la comparación de los valores de concentración mensual a través del trimestre frente a la norma horaria, diaria y anual, se encuentra que ninguna estación supera estos valores límites a través del trimestre<sup>18</sup>.



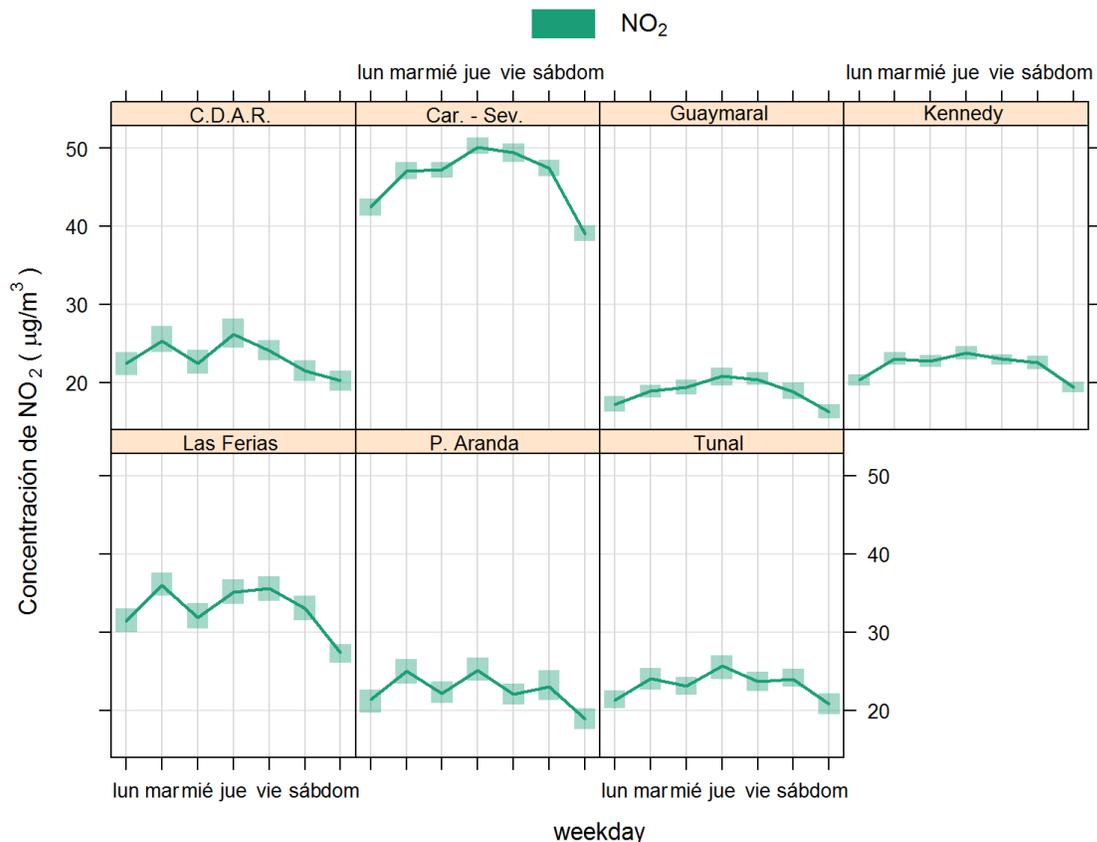
**Figura 3-40.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con cobertura temporal mayor a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año

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

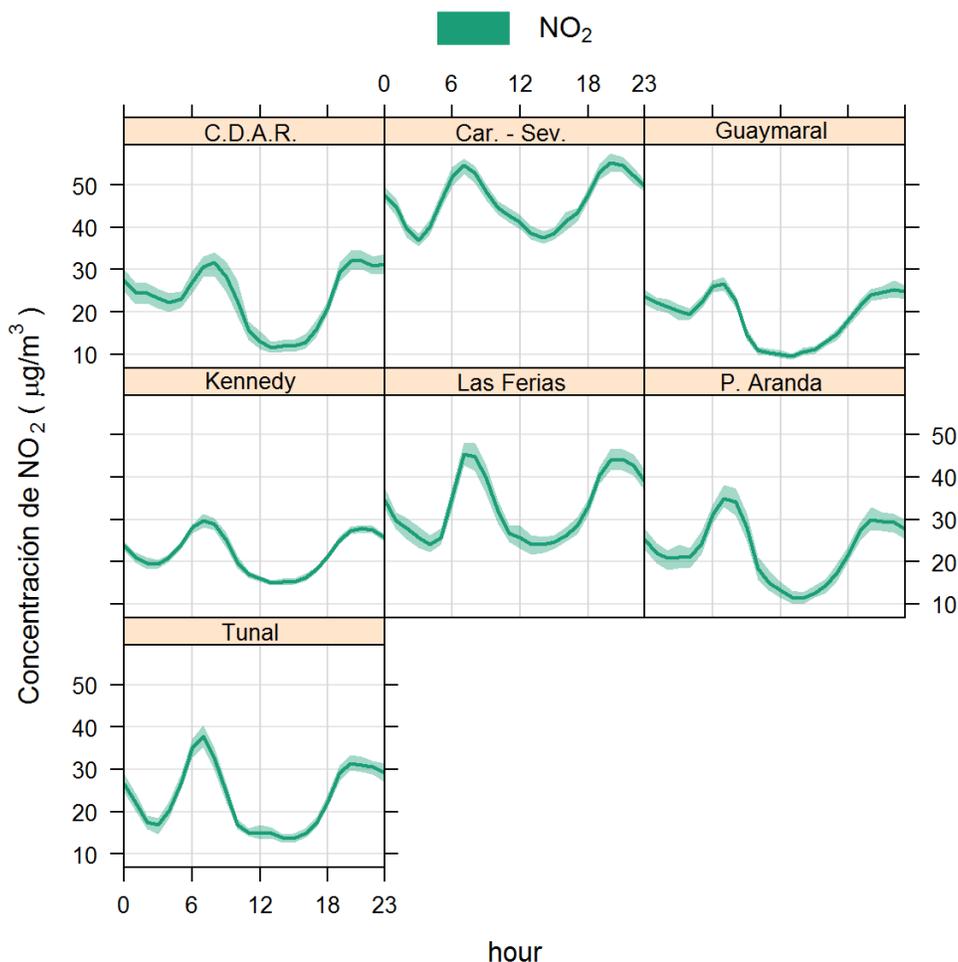
Los ciclos semanales de la Figura 3-41 muestran que el domingo es el día con los menores valores de concentración a través del trimestre y el jueves es, en general, el día con las mayores concentraciones (a excepción de Las Ferias y y Puente Aranda, donde es el día martes). Los días laborales presentan las mayores concentraciones debido a la dinámica industrial y de movilidad de la ciudad. CDAR, Carvajal, Las Ferias y Puente Aranda presentan los ciclos más variables y con mayores magnitudes.

<sup>18</sup> El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.

La Figura 3-42 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 noche. Al medio día ocurre una reducción significativa, estableciendo un mínimo, el cual es producto del consumo de NO<sub>2</sub> y de compuestos orgánicos volátiles a favor de la producción de ozono en presencia de radiación solar y la menor actividad vehicular. El pico de la mañana se presenta entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. mientras que el de la tarde inicia a las 6:00 p.m. y termina a las 10:00 p.m. Este retardo en el inicio del pico de la tarde puede deberse al consumo de este contaminante hasta finales del día por efecto de la radiación y presencia de COVs en favor de la producción de O<sub>3</sub>.



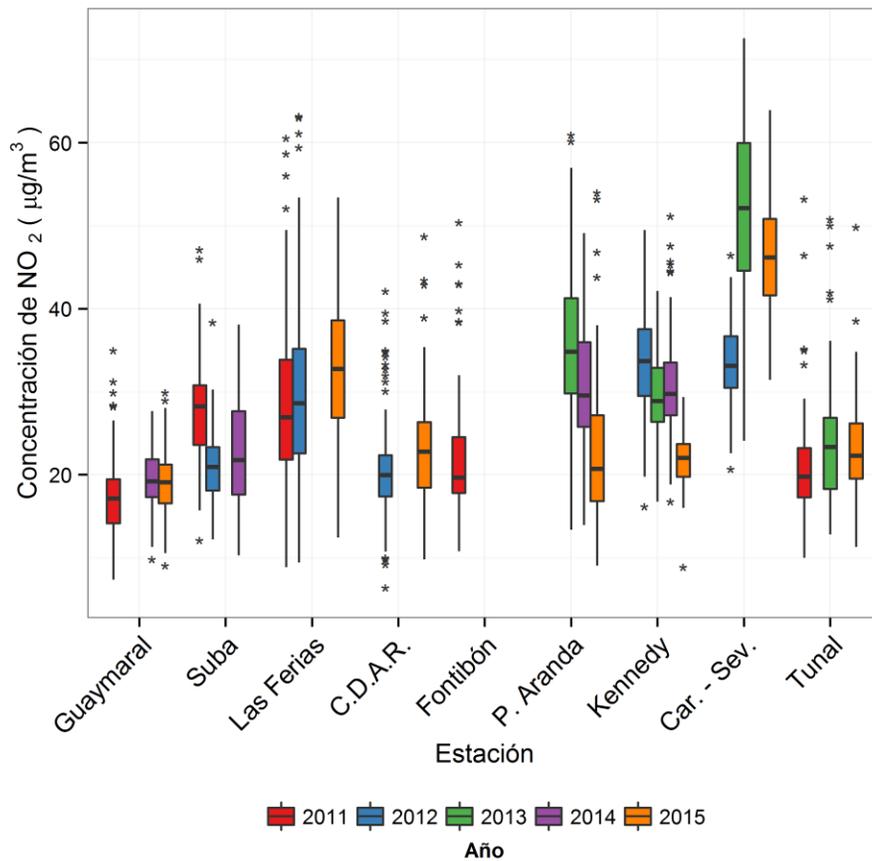
**Figura 3-41.** Ciclos semanales de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para cada uno de los monitores con representatividad temporal igual o superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.



**Figura 3-42.** Ciclos diarios de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para los monitores con cobertura temporal igual o superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

### Comportamiento histórico de los promedios diarios de NO<sub>2</sub>.

La Figura 3-43 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% en los periodos comprendidos por el trimestre JJA 2015. Con los datos históricos disponibles se observa una tendencia al aumento de este contaminante para las estaciones Guaymaral, Las Ferias y CDAR; concentraciones estables en la estación Tunal y disminución de las concentraciones para Puente Aranda y Kennedy; la tendencia no es clara para la estación Carvajal.



**Figura 3-43.** Gráfico de *boxplot* para NO<sub>2</sub> por estaciones en base diaria para el periodo JJA entre los años 2011 y 2015.

La Tabla 3-18 es un resumen histórico de promedios aritmético y máximos de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en el trimestre JJA para los años 2011 y 2015. Los promedios para el trimestre muestran una tendencia estable en la concentración de este contaminante. Todos los máximos fueron reportados en las estaciones Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Kennedy. 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 73µg/m<sup>3</sup> el 04 de julio de 2013 en Carvajal-Sevillana, concentración por debajo de lo establecido como concentración anual límite (100µg/m<sup>3</sup>). Para los demás trimestres las concentraciones se mantienen en el rango comprendido entre 51µg/m<sup>3</sup> y 54µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-18.** Resumen histórico de promedios y máximos de las concentraciones de NO<sub>2</sub> en base diaria en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015.

Periodo JJA	Promedio µg/m <sup>3</sup>	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	24	61	16/07/2011	Las Ferias
2012	28	63	13/07/2012	Las Ferias
2013	35	73	04/07/2013	Carvajal-Sevillana
2014	26	51	28/06/2014	Kennedy
2015	27	64	28/08/2015	Carvajal-Sevillana

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

La RMCAB contó con 7 analizadores de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) ubicados según la configuración mostrada en la Tabla 1-1. Los datos obtenidos en cada una de las estaciones con representatividad adecuada, 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 SO<sub>2</sub>. Promedios móviles de 3 horas.

Durante el periodo analizado se obtuvieron 12132 promedios horarios validos (4.8% menos que en el periodo MAM 2015 que fue de 12741 datos, teniendo en cuenta que en ese trimestre se contaba con Tunal como estación de monitoreo adicional), que corresponden a una representatividad temporal global de 79% entre las siete estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con representatividad superior al 75%, es decir cinco (5) estaciones (Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal – Sevillana, San Cristóbal), se obtuvieron 10449 datos (68% más que en el trimestre MAM), que corresponden a una representatividad global del 69%.

En la Tabla 3-19 se muestra un resumen de la cobertura temporal por estación en base temporal 3 horas (promedio móvil), así como los días y las horas de ocurrencia de los máximos. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 97µg/m<sup>3</sup> en la estación Suba y se presentan coincidencias en la ocurrencia de estos máximos el 18/07/2015 en estaciones distantes como Suba<sup>19</sup> y Kennedy entre las 8:00 y 9:00 de la mañana, lo cual hace descartar un fenómeno de contaminación a nivel ciudad por causa de este contaminante. En las demás estaciones los valores de concentración oscilan entre 4µg/m<sup>3</sup> en San Cristóbal y 59µg/m<sup>3</sup> en Carvajal. De acuerdo al valor máximo de 97µg/m<sup>3</sup>, no se presentaron excedencias del límite máximo permisible para un tiempo de exposición de 3 horas (750 µg/m<sup>3</sup>).

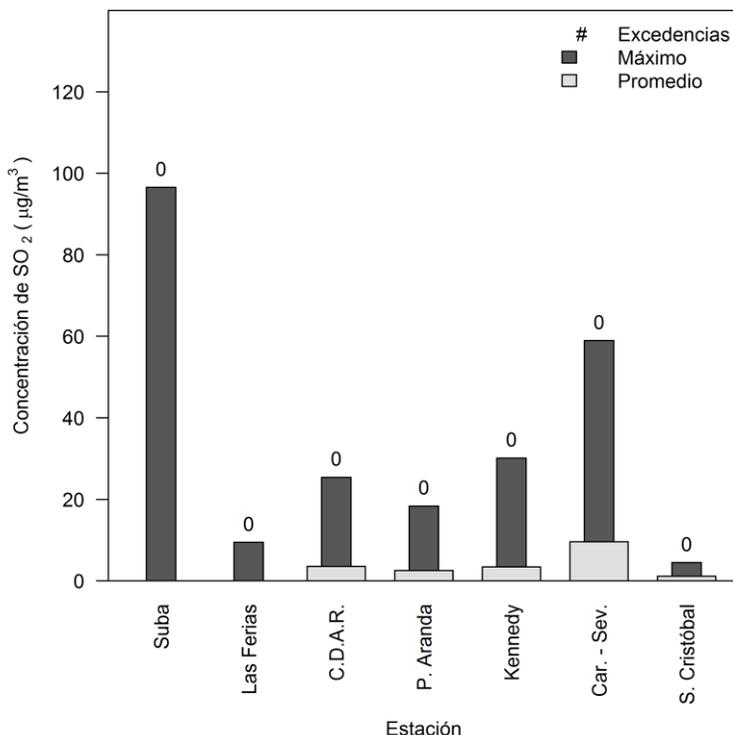
**Tabla 3-19.** Resumen de datos de SO<sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para el periodo JJA 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	70	97	18/07/2015 08:00
Las Ferias	6	9	07/06/2015 10:00
Centro de Alto Rendimiento	97	25	18/07/2015 08:00
Puente Aranda	94	18	27/08/2015 10:00
Kennedy	93	30	18/07/2015 09:00
Carvajal - Sevillana	98	59	31/07/2015 22:00
San Cristóbal	91	4	14/07/2015 09:00

En la Figura 3-44 se visualizan los promedios trimestrales con base en promedios móviles 3 horas, las concentraciones máximas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma, graficándose solo datos de excedencias para las estaciones no

<sup>19</sup> Se toma en cuenta por estar cercana al 75% de representatividad

representativas. Como se mencionó anteriormente, ningún promedio supero la norma para 3 horas.



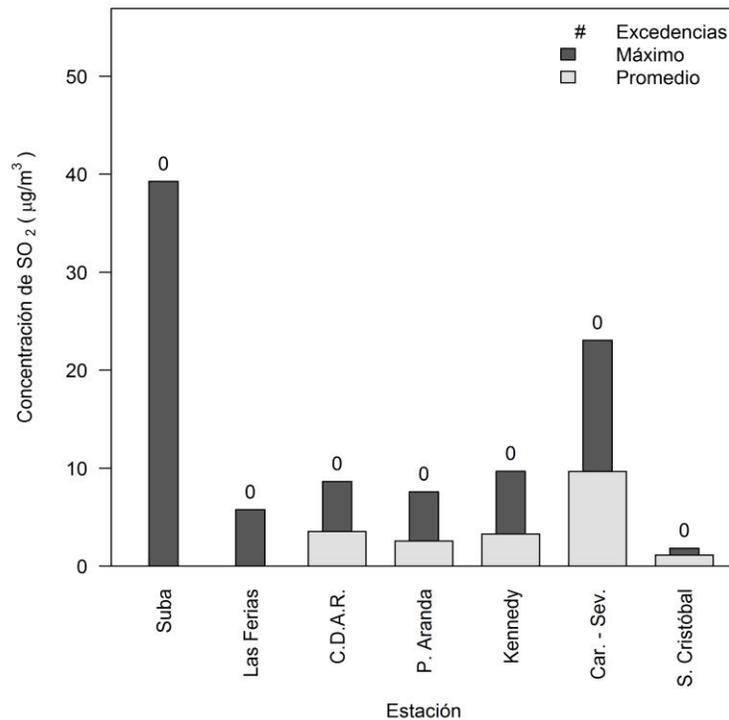
**Figura 3-44.** Promedios trimestrales, máximos y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base de promedios móviles de 3 horas por estación durante el periodo JJA 2015.

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

Se capturaron un total de 508 valores diarios cuya representatividad temporal global es 79% entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año y 438 datos para las cinco estaciones con representatividad superior al 75%, es decir un porcentaje de recuperación de datos del 68% sobre el total posible sobre las 7 estaciones. Todos los promedios obtenidos estuvieron por debajo del nivel máximo permisible establecido (250 µg/m<sup>3</sup>) y ningún dato superó el valor del 50% de la norma (125 µg/m<sup>3</sup>). La Tabla 3-20 y la Figura 3-45 y presentan un resumen de promedios trimestrales y concentraciones máximas diarias de SO<sub>2</sub>.

La máxima concentración diaria para las estaciones representativas correspondió a 39 µg/m<sup>3</sup> el 12 de junio de 2015 en la estación Suba<sup>20</sup> y no se presentaron otros máximos para esa fecha. Las tendencias observadas son concordantes con las observadas en cuanto a los promedios móviles de 3 horas donde Suba y Carvajal se mantienen como las estaciones con mayores registros y San Cristóbal con los menores.

<sup>20</sup> Se toma en cuenta por estar cercana al 75% de representatividad



**Figura 3-45.** Concentraciones máximas y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el periodo JJA 2015.

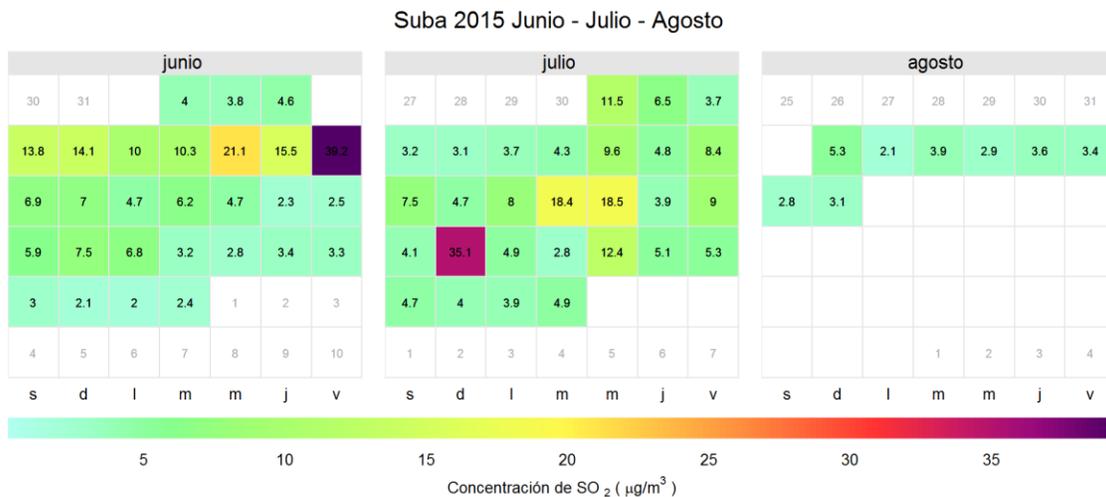
Como se observa en la gráfica y la tabla que se reportan anteriormente, no se presentaron excedencias para un tiempo de exposición de 24 horas. Carvajal presentó el mayor promedio con 10µg/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que los promedios trimestrales no son comparables con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010 al no considerarse un tiempo de exposición de tres meses, sirviendo solo para fines de gestión.

**Tabla 3-20.** Resumen de los datos diarios de SO<sub>2</sub> por estación para el periodo JJA 2015.

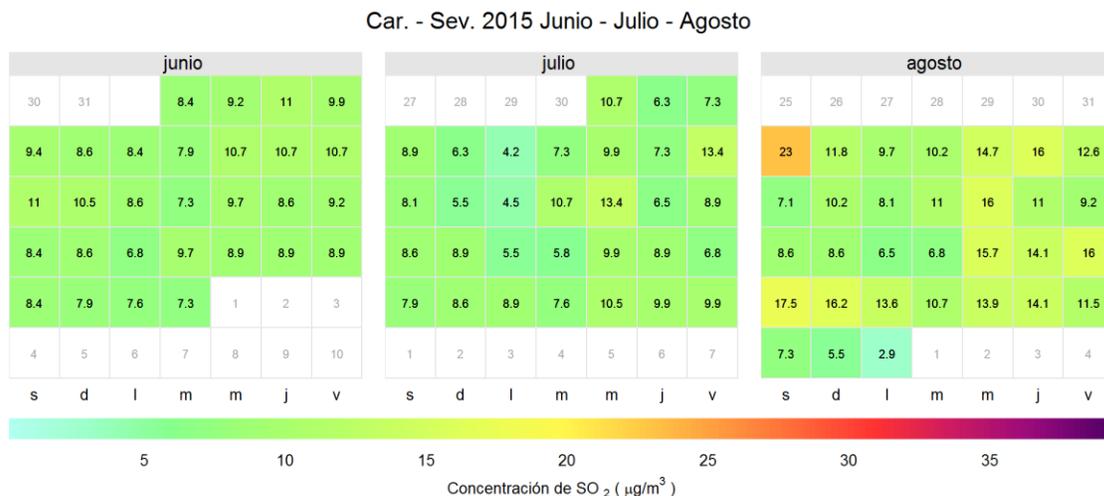
Estación	% de datos válidos	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	64	7	39	12/06/2015
Las Ferias	6	4	6	06/06/2015
Centro de Alto Rendimiento	89	4	9	27/08/2015
Puente Aranda	86	3	8	28/08/2015
Kennedy	88	3	10	15/07/2015
Carvajal - Sevillana	91	10	23	01/08/2015
San Cristóbal	84	1	2	17/07/2015

### Calendario de contaminación por SO<sub>2</sub> durante el trimestre JJA 2015

La Figura 3-46, la Figura 3-47 y la Figura 3-48 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en los meses del trimestre JJA 2015, para tres estaciones de la RMCAB con mediciones representativas. 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 39 µg/m<sup>3</sup> contrasta con los reportados en los demás días de junio, en julio también se encuentra un máximo de 35 µg/m<sup>3</sup>, como dato extremo del mes. Para Carvajal se observa un comportamiento más homogéneo y mayores concentraciones en el día a día frente a Suba, lo cual concuerda con un mayor promedio en el trimestre. En San Cristóbal los datos son homogéneos y con valores de concentración mucho más bajos que las dos estaciones anteriores,



**Figura 3-46.** Diagrama calendario para SO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es de 250 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 3-47.** Diagrama calendario para SO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación Carvajal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es 250 µg/m<sup>3</sup>.

S. Cristóbal 2015 Junio - Julio - Agosto

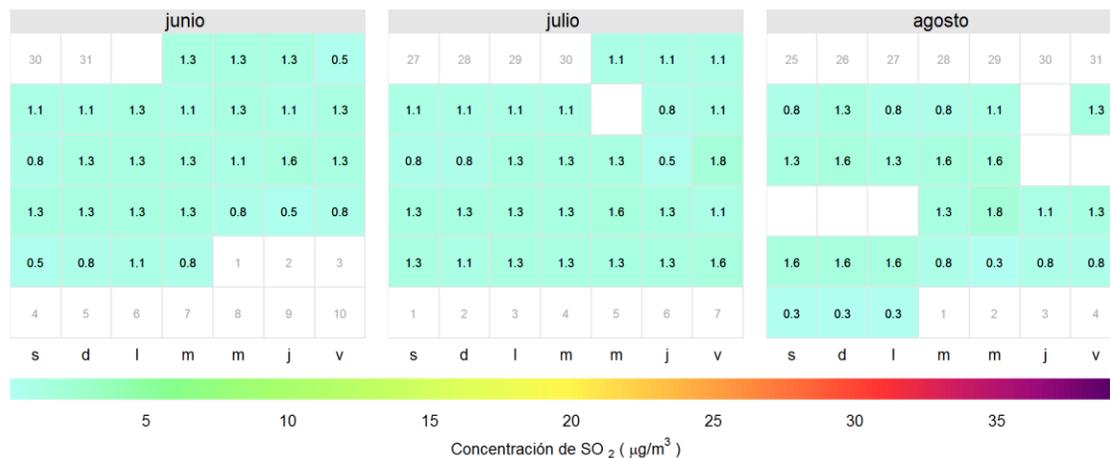


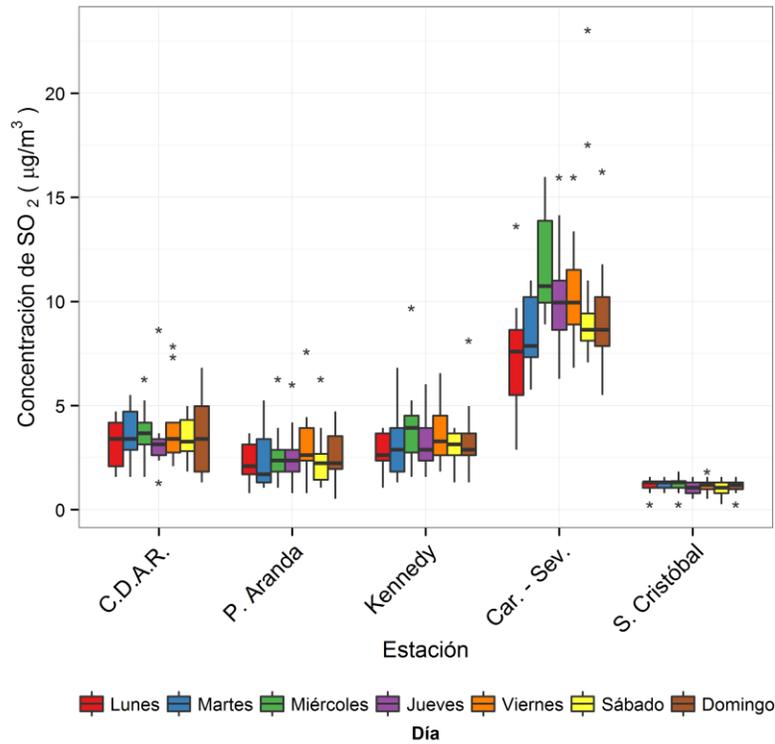
Figura 3-48. Diagrama calendario para SO<sub>2</sub> durante el periodo JJA 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo diario permisible es 250 µg/m<sup>3</sup>.

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

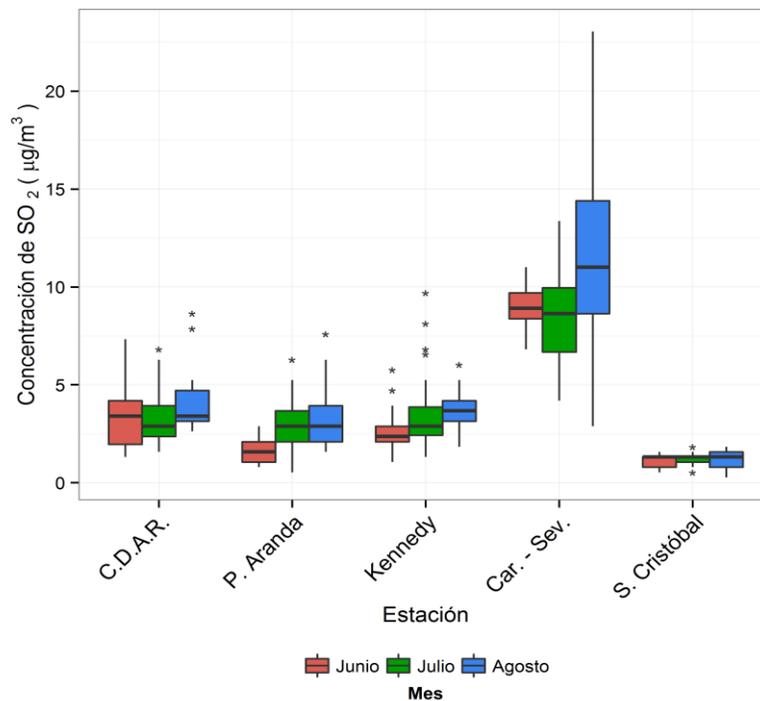
La Figura 3-49 describe el comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo. En comparación con las demás estaciones, Carvajal presenta los mayores valores de concentración y las mayores dispersiones de los datos durante todos los días de la semana para el trimestre JJA 2015, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia e industriales. El caso contrario sucede en la estación San Crstobal y San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del trimestre frente a la norma diaria y anual (250µg/m<sup>3</sup> y 80µg/m<sup>3</sup>), muestra que ningún valor supera estos valores.<sup>21</sup>

La Figura 3-50 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias en función de los meses del trimestre JJA 2015 por estación de monitoreo. Al igual que para los demás contaminantes, se observa un aumento en su concentración a medida que avanza el trimestre para todas las estaciones. Dado que solo se muestran las estaciones con representatividad superior a 75%, Carvajal es la estación con mayores valores e concentración a través de todo el trimestre, siendo agosto el mes con más presencia de SO<sub>2</sub> en el ambiente. Para las demás estaciones los las concentraciones son mucho más homogéneas a través de los meses del trimestre JJA 2015.

<sup>21</sup> el lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, razón por la cual las comparaciones frente a normas establecidas para 1h, 8h, 24h o anuales, es comparativa y un referente de gestión.



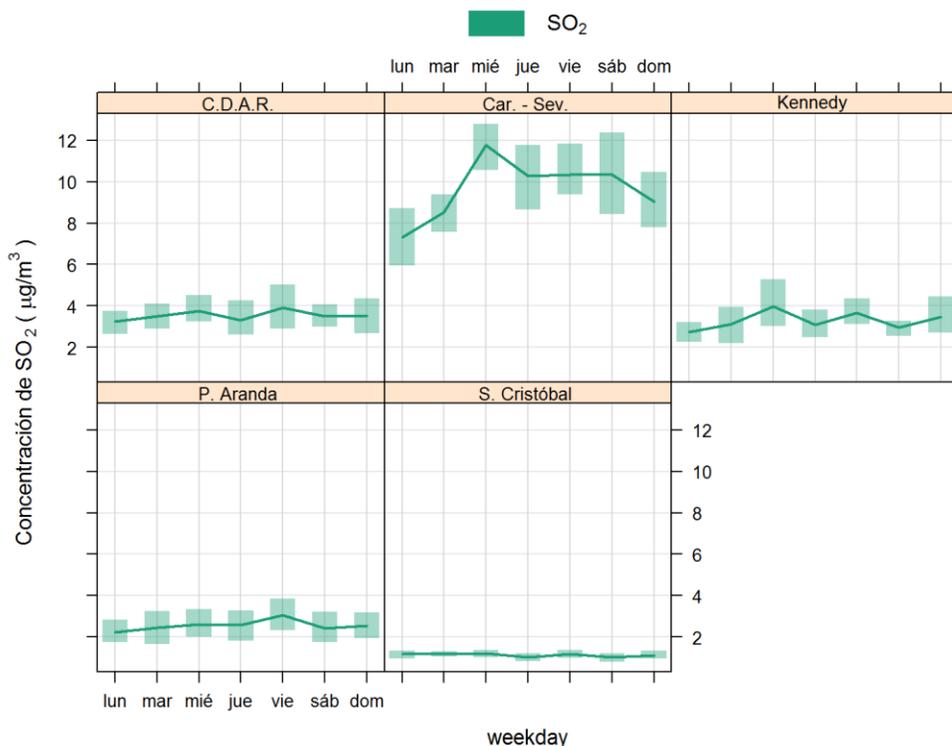
**Figura 3-49.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el trimestre JJA 2015.



**Figura 3-50.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los meses del trimestre JJA 2015 por estación de monitoreo.

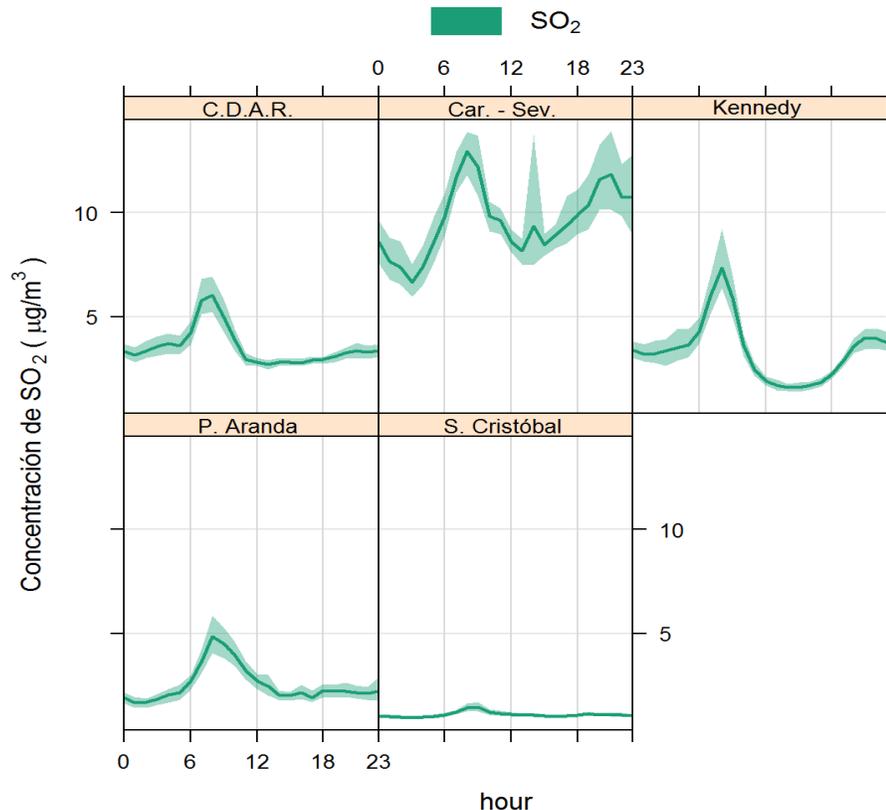
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO<sub>2</sub>

La Figura 3-51 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo que tienen una cobertura temporal superior a 75% en el periodo JJA 2015. En general las variaciones de concentración en el contaminante por día de la semana en el trimestre JJA 2015, son muy bajas, a excepción de Carvajal, alcanzándose a observar que para esta última los miércoles son los días con mayor concentración. En cuanto a variabilidad semanal y de datos diarios, Carvajal tiene los mayores valores.



**Figura 3-51.** Ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los perfiles diarios de la Figura 3-52 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 Carvajal se observa un pico de concentración pronunciado y posteriormente un descenso significativo de magnitudes en horas del mediodía y de la tarde, para subir nuevamente en la noche con un pico alrededor de las 9:00p.m.. Este perfil es similar al correspondiente a PM<sub>2.5</sub>, un hecho que indica que este tamaño de material particulado tiene una asociación particular con las fuentes de combustión.



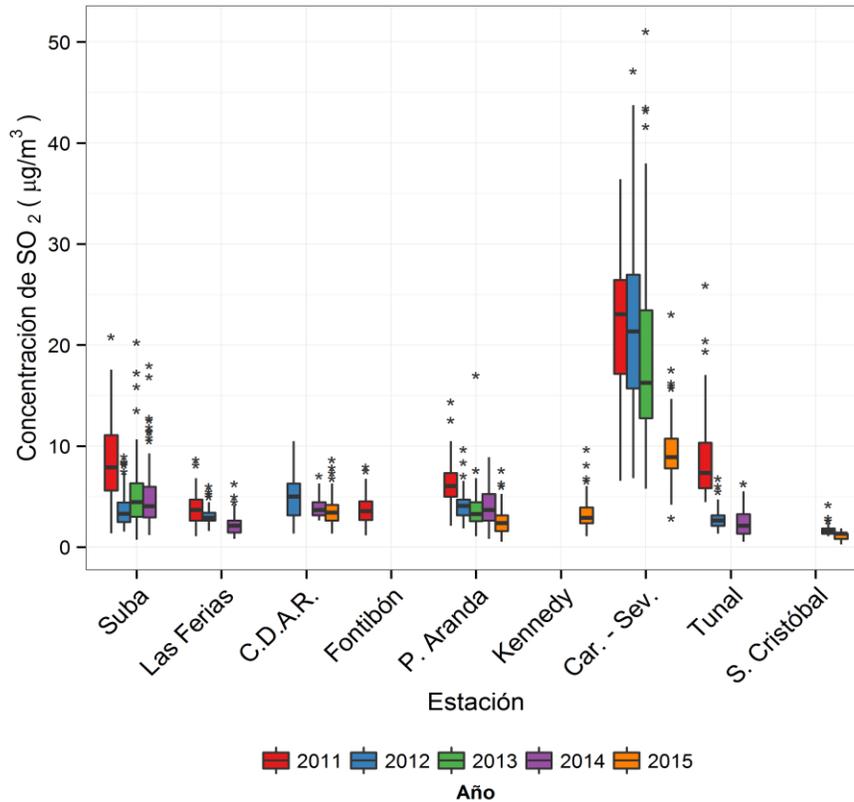
**Figura 3-52.** Ciclos diarios de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  para las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75% en el trimestre JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

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

La Figura 3-53 presenta la distribución de las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en los periodos comprendidos por el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015 en función de las estaciones de monitoreo. Debido a la falta de representatividad de algunas estaciones, no es posible establecer una tendencia general para el contaminante, sin embargo, se puede ver que como CDAR, Puente Aranda (similar al trimestre MAM) y Carvajal la tendencia es decreciente; las demás estaciones muestran un comportamiento estable en las concentraciones de este contaminante.

La estación Carvajal presenta una dispersión más alta frente a las demás estaciones, lo que puede indicar fuentes de combustión que influyen de manera importante en valores extremos en ésta. Las menores variabilidades se presentan en San Cristóbal y Las Ferias. 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.

Una comparación de los valores de concentración por estación a través del trimestre frente a la norma diaria y anual ( $250\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que todas las estaciones están por debajo del valor permitido.



**Figura 3-53.** Gráfico de *boxplot* para  $\text{SO}_2$  en base diaria por estación de monitoreo en los meses del trimestre JJA, en el periodo 2011-2015

La Tabla 3-21 es el resumen de los promedios aritméticos con base en los datos diarios y los datos máximos reportados en el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015. Se observa una disminución de las concentraciones trimestrales de  $\text{SO}_2$  a través de los años en especial desde el año 2013 hasta 2015. La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados fue  $51\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Carvajal – Sevillana el 14 de junio de 2013; las concentraciones de los demás trimestres se encuentran entre  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $47\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Al no excederse el límite normativo inferior (norma anual) por ningún valor extremo, se infiere que el  $\text{SO}_2$  representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.

**Tabla 3-21.** Resumen estadístico de los máximos diarios de SO<sub>2</sub> en los periodos comprendidos por el trimestre JJA entre los años 2011 y 2015.

Periodo JJA	Promedio µg/m <sup>3</sup>	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	9	36	02/07/2011	Carvajal - Sevillana
2012	7	47	06/06/2012	Carvajal - Sevillana
2013	9	51	14/06/2013	Carvajal - Sevillana
2014	3	18	01/08/2014	Suba
2015	4	23	01/08/2015	Carvajal - Sevillana

### 3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el periodo JJA 2015 se contó con promedios horarios y móviles de 8 horas de monóxido de carbono (CO) para nueve (9) estaciones, 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 las concentraciones horarias de CO

Durante el periodo analizado se obtuvieron 16471 promedios horarios validos (19% más que en el periodo MAM 2015 que correspondió 13810 datos, fruto de la mejora en la captura de datos), que corresponden a una representatividad temporal global de 93% entre las ocho (8) estaciones que registraron mediciones (La móvil no es publicable). De las ocho (8) estaciones con datos registrados, las ocho (8) tuvieron una representatividad superior al 75%.

En la Tabla 3-22 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio trimestral, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal – Sevillana y Kennedy, asociadas a captura de datos con preponderancia de fuentes móviles. Las menores concentraciones promedio trimestrales fueron observadas en Usaquén y San Cristóbal, ubicadas el norte y sur de la ciudad la ciudad, respectivamente. Es importante destacar que los promedios trimestrales de la Tabla 3-22 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.

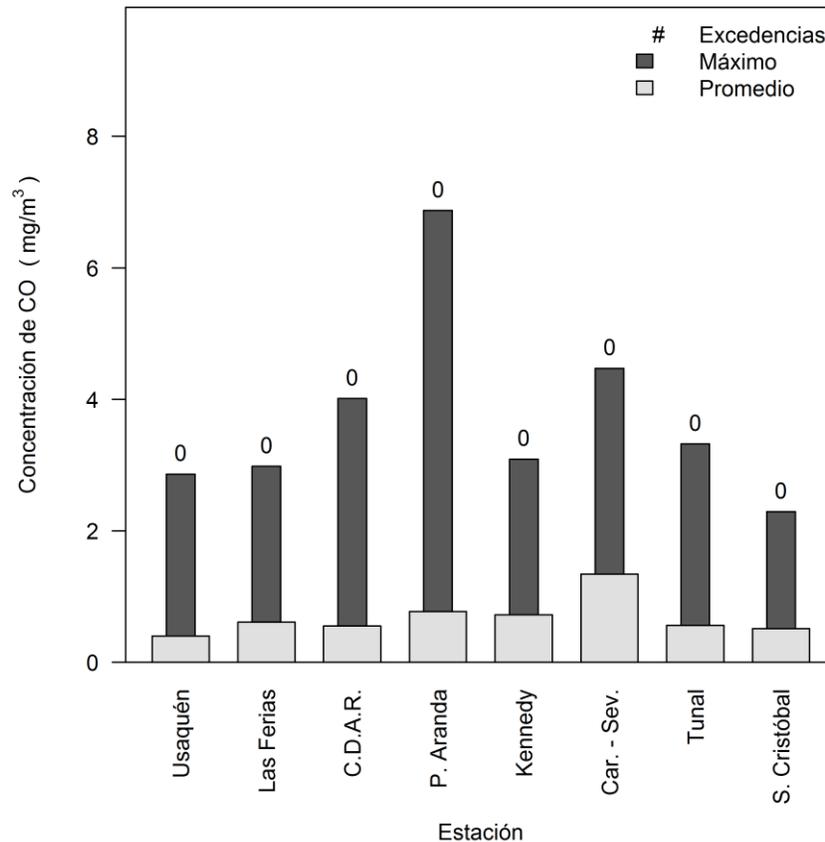
**Tabla 3-22.** Resumen de datos horarios de CO por estación para el trimestre JJA 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	88	0.4	2.9	10/08/2015 07:00
Las Ferias	98	0.6	3.0	10/08/2015 07:00
Centro de Alto Rendimiento	91	0.6	4.0	25/08/2015 10:00
Puente Aranda	95	0.8	6.9	19/07/2015 07:00
Kennedy	98	0.7	3.1	10/08/2015 07:00
Carvajal - Sevillana	93	1.3	4.5	25/08/2015 19:00
Tunal	96	0.6	3.3	26/08/2015 07:00
San Cristóbal	87	0.5	2.3	14/07/2015 09:00

El 10 de agosto de 2015 a las 7:00 a.m. las estaciones Usaquén, Las Ferias y Kennedy coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas sugiriendo un episodio de concentración en el corredor central de la ciudad probablemente asociado a tráfico y residual del día anterior. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB para el periodo JJA 2015 fue de 4.5 mg/m<sup>3</sup> en la estación Puente Aranda. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de una hora es 40 mg/m<sup>3</sup>, durante el trimestre analizado no se presentaron excedencias.

Se destaca que todos los datos horarios se registraron por debajo del 50% del límite (20 mg/m<sup>3</sup>).

La **Figura 3-54** contiene un resumen de promedios trimestrales, máximos y excedencias por estación para CO, en base de tiempo horaria. Se observa que no se presentan excedencias a la norma horaria en el periodo de estudio



**Figura 3-54.** Promedios trimestrales, concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el periodo JJA 2015.

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

Durante el periodo analizado se obtuvieron 16461 promedios móviles de 8 horas validos (24% más que en el periodo MAM 2015 que correspondió 13257 datos, que corresponden a una representatividad temporal global de 93% entre las ocho (8) estaciones que registraron mediciones (La móvil no es publicable). De las ocho (8) estaciones con datos registrados, las ocho (8) tuvieron una representatividad superior al 75%.

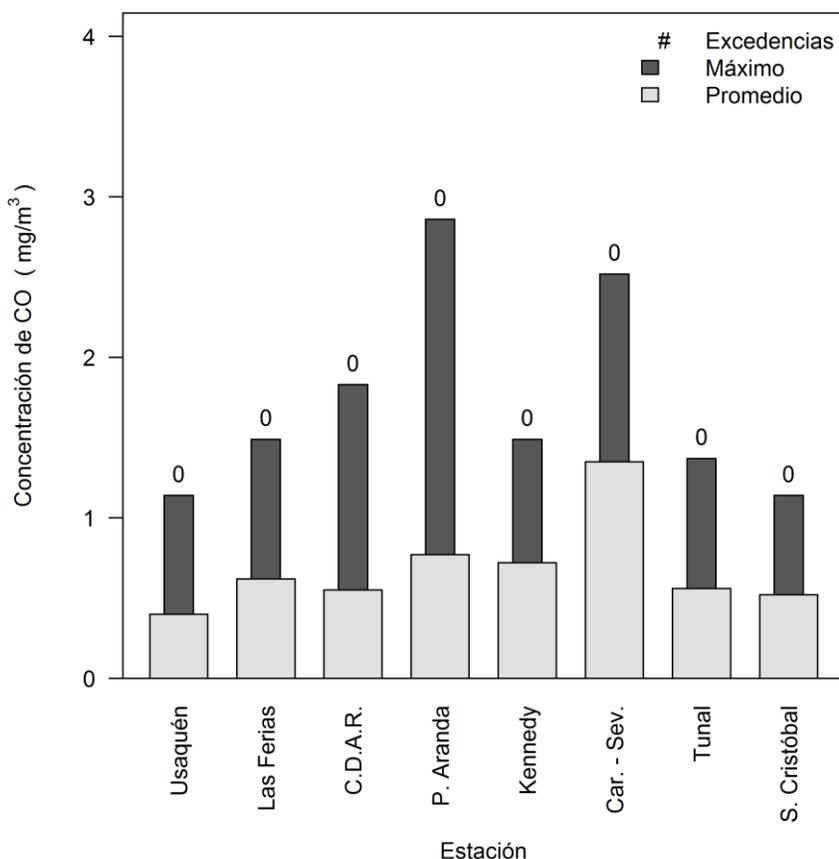
La Tabla 3-23 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos, los promedios para 8 horas con base en promedios móviles y los máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio trimestrales fueron

observadas en Usaquén y San Cristóbal, ubicadas el nororiente y suroriente de la ciudad, respectivamente. El máximo promedio móvil de 8 horas de CO reportado en la RMCAB durante el periodo analizado fue 2.9mg/m<sup>3</sup> en Puente Aranda el 30 de junio de 2015 a las 6:00 a.m. No se presentaron concentraciones elevadas fechas y horas coincidentes, por lo cual se descartan máximos generalizados a nivel ciudad para el 10 de agosto de 2015 teniéndose que lo reportado en la **Tabla 3-22**. Resumen de datos horarios de CO por estación para el trimestre JJA 2015 corresponde a un episodio momentáneo y localizado en el corredor central de la ciudad.

**Tabla 3-23.** Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el trimestre JJA 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	88	0.4	1.1	10/08/2015 12:00
Las Ferias	98	0.6	1.5	21/07/2015 20:00
Centro de Alto Rendimiento	91	0.6	1.8	25/08/2015 10:00
Puente Aranda	95	0.8	2.9	30/06/2015 06:00
Kennedy	98	0.7	1.5	12/06/2015 23:00
Carvajal - Sevillana	93	1.4	2.5	25/08/2015 23:00
Tunal	97	0.6	1.4	01/06/2015 13:00
San Cristóbal	86	0.5	1.1	13/06/2015 13:00

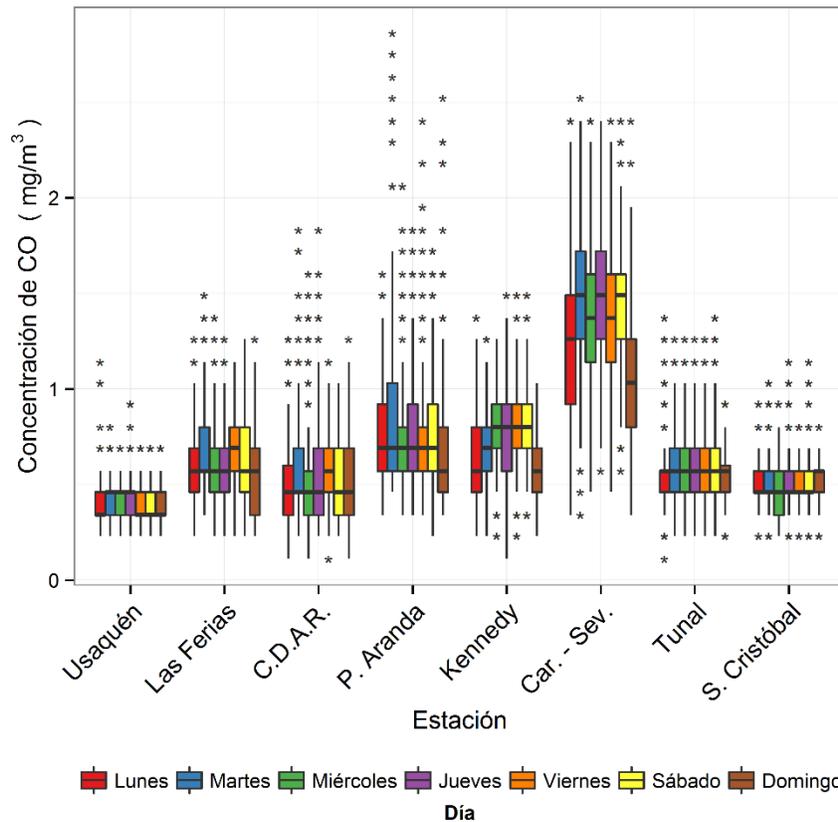
La Figura 3-55 muestra los valores de promedios trimestrales, máximos y número de excedencias del límite máximo permisible en forma gráfica. Se observa que no se presentaron excedencias a la norma 8 horas (10mg/m<sup>3</sup>) y los promedios 8 horas del trimestre están muy por debajo de este valor. El promedio más alto se presentó en Carvajal y el menor en San Cristóbal



**Figura 3-55.** Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el trimestre JJA 2015.

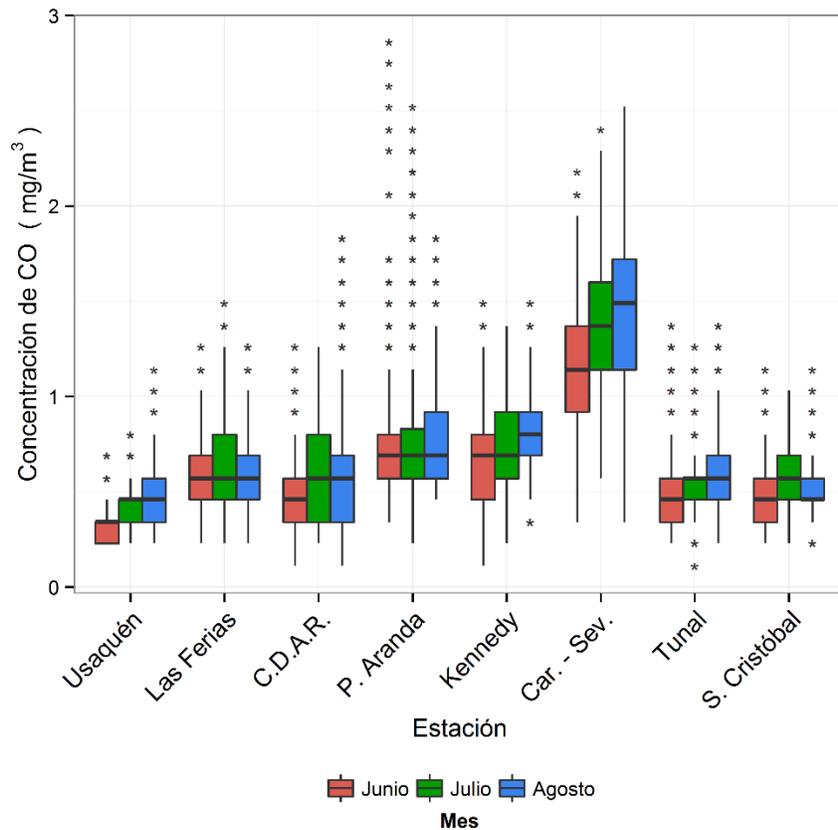
### Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-56 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%. Para las estaciones Puente Aranda Kennedy, Carvajal el domingo es el día con menores concentraciones de CO; La estación San Cristóbal es la única que registra mayores concentraciones para el día domingo y para las restantes estaciones, la concentración a través de los días de la semana es muy homogénea. Los valores más altos para los días de la semana, incluidos valores extremos se presentan para Puente Aranda y Carvajal, así como la mayor variabilidad en los datos. Una comparación con la norma de 10mg/m<sup>3</sup> para 8 horas, muestra que ninguna estación con sus datos más extremos a través del histórico supera su valor.



**Figura 3-56.** 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 trimestre JJA 2015.

La Figura 3-57 muestra los datos de concentración en función de los meses del trimestre JJA 2015. Para todas las estaciones junio (al igual que con PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), fue el mes con las más bajas concentraciones y se observa una tendencia general en la RMCAB de aumento de las concentraciones de CO a medida que avanza el trimestre. Una comparación con la norma de 10mg/m<sup>3</sup> para 8 horas, muestra que ninguna estación, aun con los datos más extremos, supera su valor.

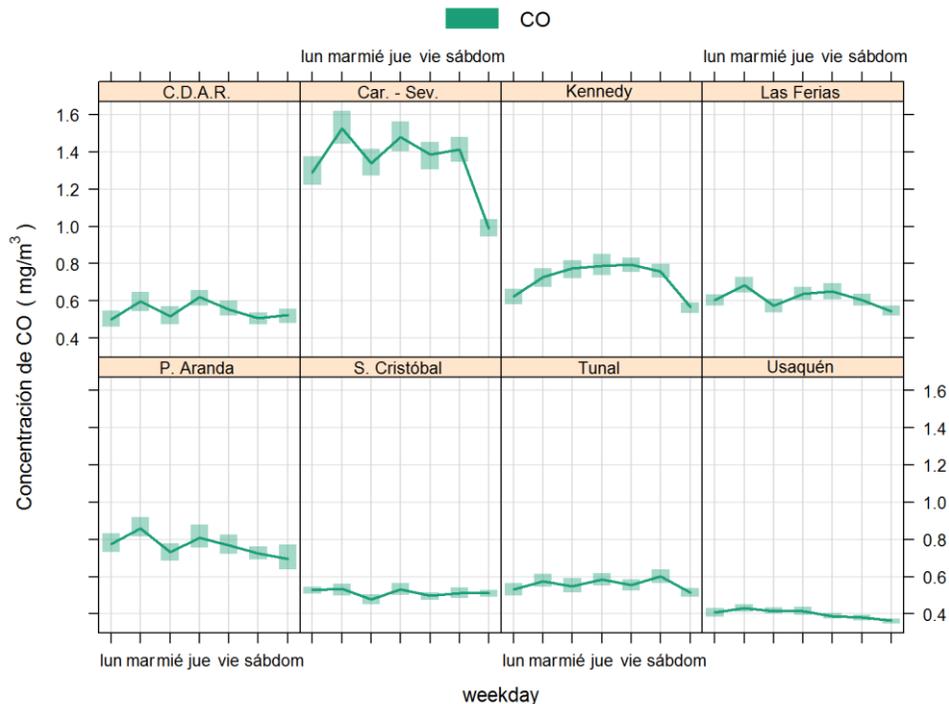


**Figura 3-57.** Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del trimestre JJA 2015 por estación de monitoreo.

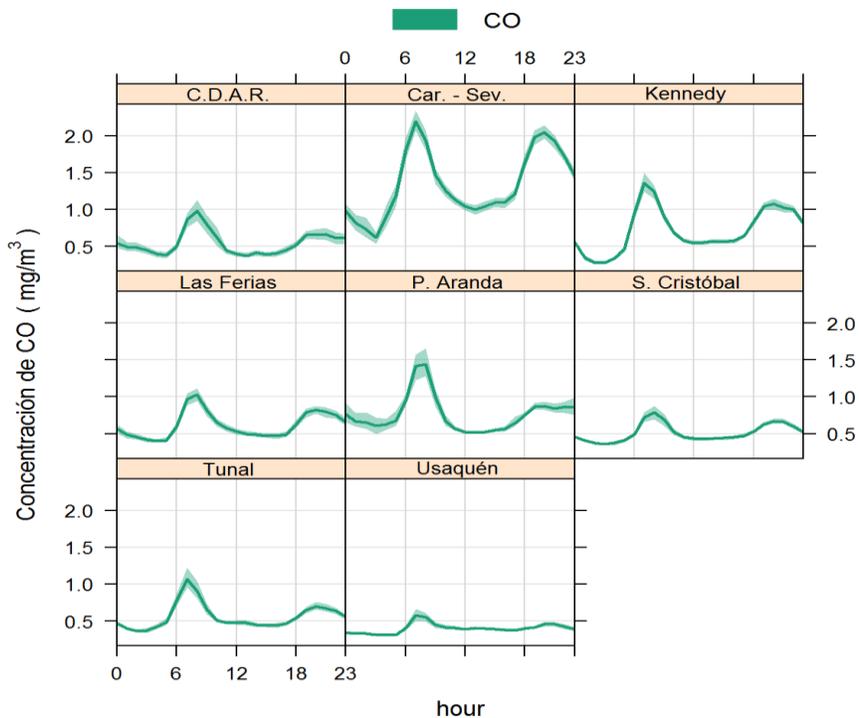
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de CO

La Figura 3-58 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. El domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menores valores de CO, excepto en San Cristóbal; los martes tienden a ser los días con mayores valores de concentración en estaciones como Carvajal: IAs Ferias, Puente Aranda y San Cristóbal.

La Figura 3-59 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 bastante pronunciado en la estación Carvajal y atenuado en el resto de las estaciones, probablemente por la distribución del tráfico en un periodo más prolongado, en especial de fuentes generadoras de altas concentraciones de este contaminantes como las motocicletas.



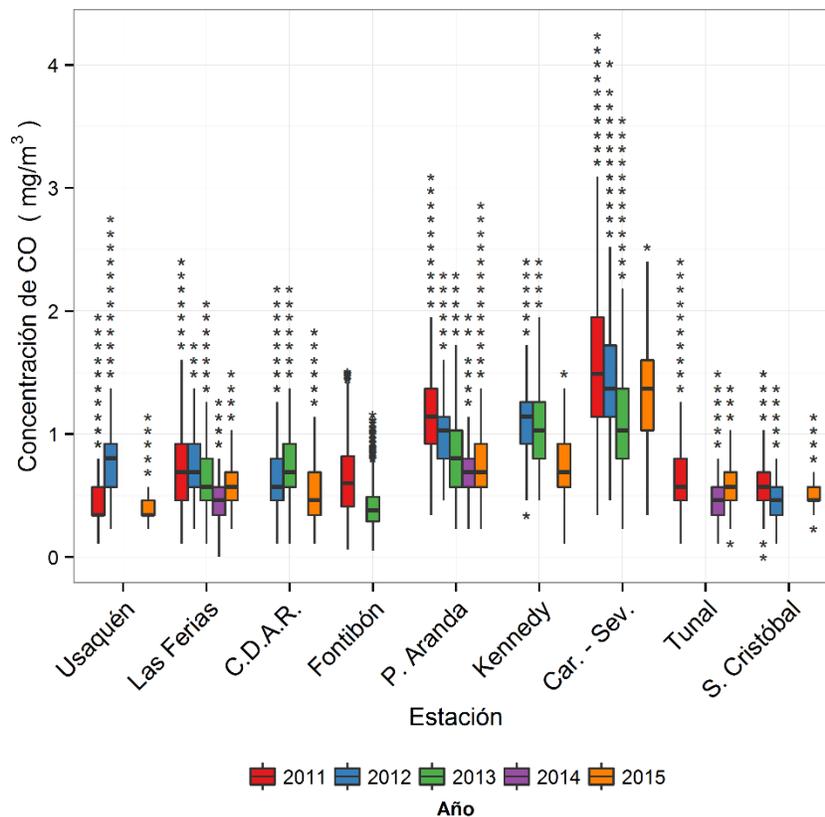
**Figura 3-58.** Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con cobertura temporal igual o superior a 75% para el periodo JJA 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.



**Figura 3-59.** Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el periodo JJA 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 3-60 se encuentra la tendencia histórica de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas en las estaciones de la RMCAB para el trimestre JJA en el periodo 2011 a 2015. Con una diferencia importante, las mayores concentraciones (máximos y medianas) se han observado históricamente en la estación Carvajal – Sevillana, lo cual sugiere una mayor influencia de las fuentes móviles en esta zona, sin embargo Puente Aranda presenta los valores extremos más altos para el año 2015. Para la estación Carvajal y Puente Aranda se observa una reducción de los niveles de concentración en los años 2011 a 2014 y un aumento significativo para el trimestre JJA 2015 en la primera estación y un estancamiento frente a 2014 para la segunda; este comportamiento es similar a lo encontrado para el periodo MAM 2015, lo cual evidencia un incremento de este contaminante en el año 2015 frente a 2014 para las dos estaciones analizadas. Para las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Kennedy, se presenta una reducción en la concentración de CO a través del periodo de estudio y en el resto de estaciones el comportamiento no es concluyente. Una comparación con la norma más restrictiva (10mg/m<sup>3</sup> para 8 horas), muestra que ninguna estación aún con los datos más extremos a través del histórico, supera su valor.



**Figura 3-60.** Gráfico de *boxplot* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo en el periodo comprendido por el trimestre JJA a través de los años 2011 a 2015.

El resumen de promedios y máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas en el trimestre JJA para los años 2011 a 2015 se presenta en la Tabla 3-24. Con respecto a los promedios ciudad, se evidencia lo mencionado en la gráfica anterior, en relación con una disminución sostenida entre 2011 y 2014 y un aumento de la concentración de CO para el año 2015. La máxima concentración de monóxido de carbono de los trimestres estudiados fue 4.2mg/m<sup>3</sup> en la estación Carvajal-Sevillana el 20 de agosto de 2011. 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/m<sup>3</sup>, se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y O<sub>3</sub>.

**Tabla 3-24.** Resumen histórico de las concentraciones máximas de CO en promedios móviles de 8 horas en el trimestre JJA para los años 2011 a 2015.

Periodo JJA	Promedio mg/m <sup>3</sup>	Máximo mg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación donde se presenta el máximo
2011	0.8	4.2	20/08/2011 07:00	Carvajal - Sevillana
2012	0.9	4.0	15/06/2012 05:00	Carvajal - Sevillana
2013	0.81	3.6	10/08/2013 05:00	Carvajal - Sevillana
2014	0.6	2.0	04/08/2014 10:00	Puente Aranda
2015	0.7	2.9	30/06/2015 06:00	Puente Aranda

### 3.3. Índices de calidad del aire

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

La metodología de cálculo se basa en la definida 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 3-25.

**Tabla 3-25.** Puntos de corte del ICA según la EPA. Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

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

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

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

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

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

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

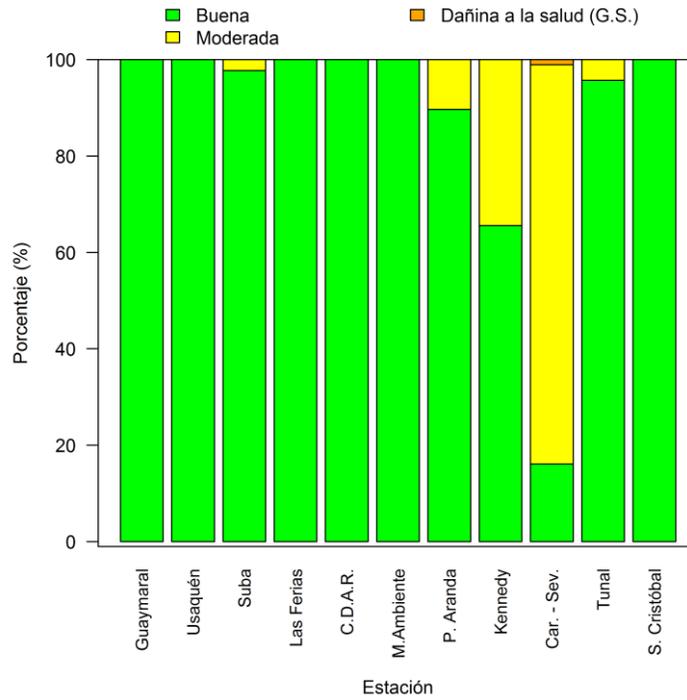
### 3.3.1. Índice de calidad del aire para PM<sub>10</sub>.

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a PM<sub>10</sub> puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-61 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de PM<sub>10</sub> 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 respecto al trimestre JJA se muestra una notable mejoría en los índices ICA, en especial para las estaciones de la zona centro y sur de la ciudad. La estación Carvajal mantiene la preponderancia de ICA moderado, con la aparición de la categoría dañina para la salud, coincidente con ser la estación con mayor promedio de PM<sub>10</sub> en el trimestre y los máximos de concentración presentados en esta estación en junio y los valores fuera de norma para julio y agosto. Cabe aclarar que La zona que representa esta estación, está sujeta a alta actividad de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada, esto también aplica para la estación Kennedy y Puente Aranda, donde también hace presencia notoria la categoría moderada. La categoría “moderada” en PM<sub>10</sub> 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 las estaciones del centro y norte de la ciudad.

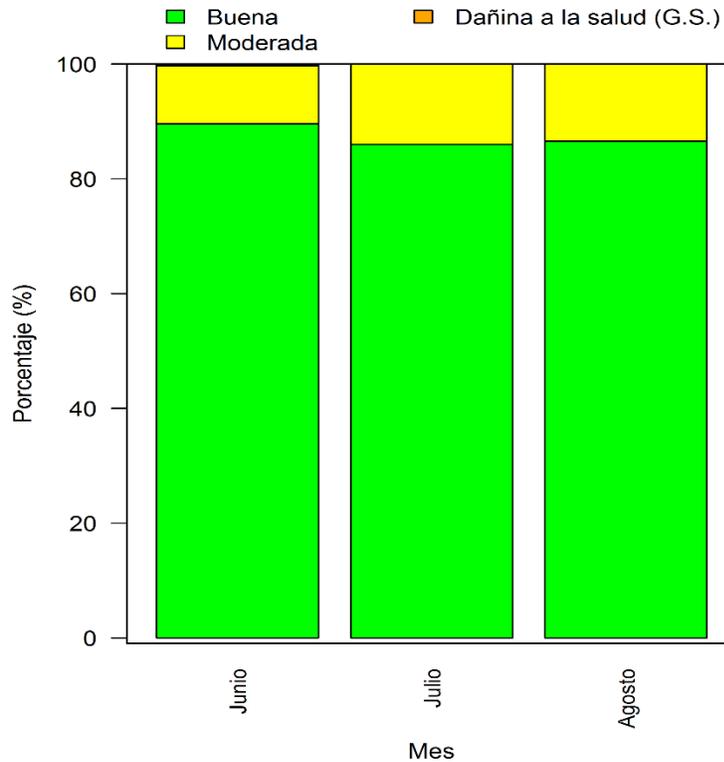
La Figura 3-62 muestra la discriminación del ICA de PM<sub>10</sub> en función de los meses del trimestre jja 2015. El mes con la mejor calidad del aire en términos de ICA para PM<sub>10</sub> fue junio y tiende a desmejorar para los meses subsiguientes, lo cual es coherente con lo reportado en relación con valores de concentración de PM<sub>10</sub>.

La Figura 3-63 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Como se pudo observar e los análisis boxplot para este contaminante, de lunes a viernes se presentan las condiciones menos favorables de concentración y por ende mayores valores de ICA con un porcentaje mayor de la condición “moderado” y los días domingo presentan las condiciones más favorables.

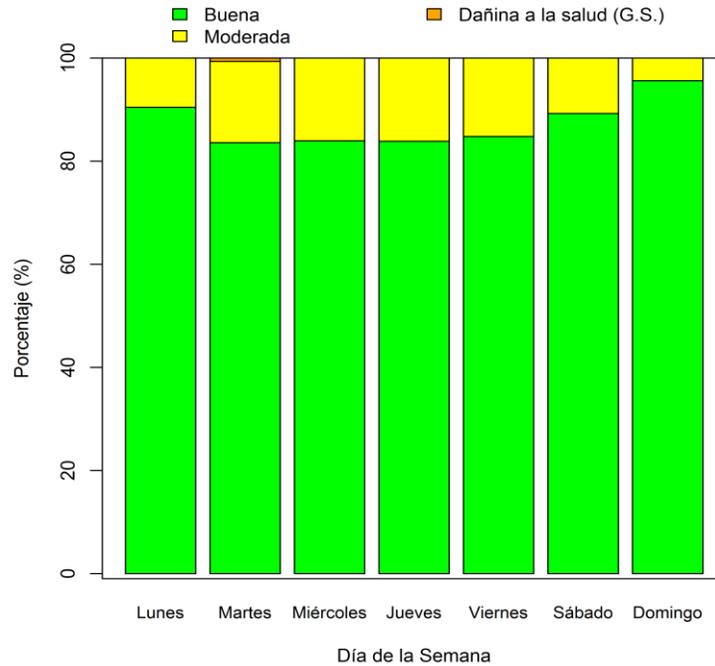
La Figura 3-64 muestra las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para PM<sub>10</sub> durante el periodo JJA 2015. La categoría “Buena” se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Toda las estaciones a excepción de una, Carvajal-Sevillana, se encuentran en la categoría “Buena”, dato que corrobora la mejora en la calidad del aire frente al trimestre MAM, donde se dos estaciones estuvieron en la categoría “Moderada”. El mayor valor promedio de ICA correspondió a 61 en la estación de Carvajal-Sevillana (66 para el trimestre MAM 2015), mientras que el menor fue observado en San Cristóbal un valor de 13 frente a 29 del trimestre MAM, observado en la estación Centro de Alto Rendimiento.



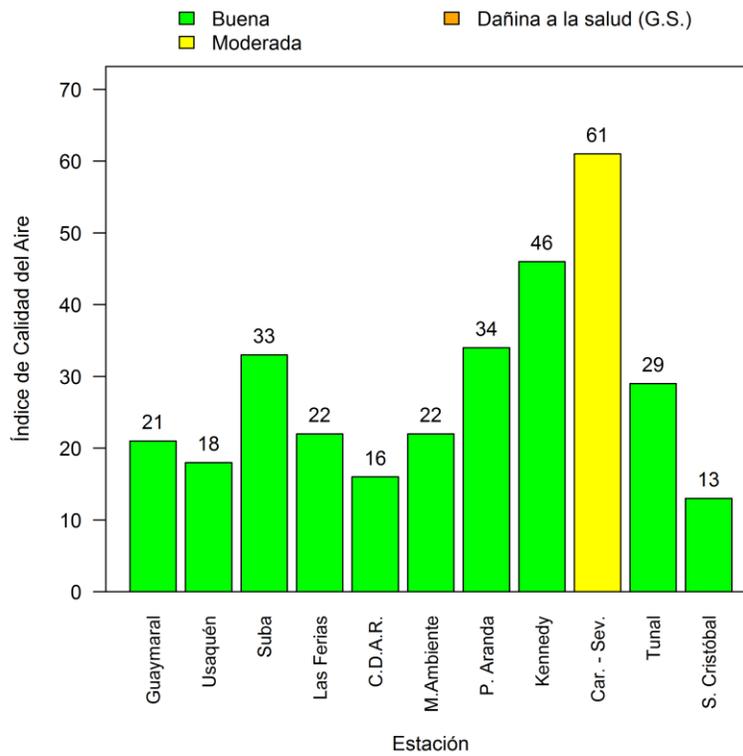
**Figura 3-61.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para  $pm_{10}$  por estación. Trimestre JJA 2015



**Figura 3-62.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para  $pm_{10}$  por mes. Trimestre JJA 2015



**Figura 3-63.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para pm<sub>10</sub> por días de la semana. Trimestre JJA 2015



**Figura 3-64.** Índice de Calidad del Aire promedio de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para el periodo JJA 2015.

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

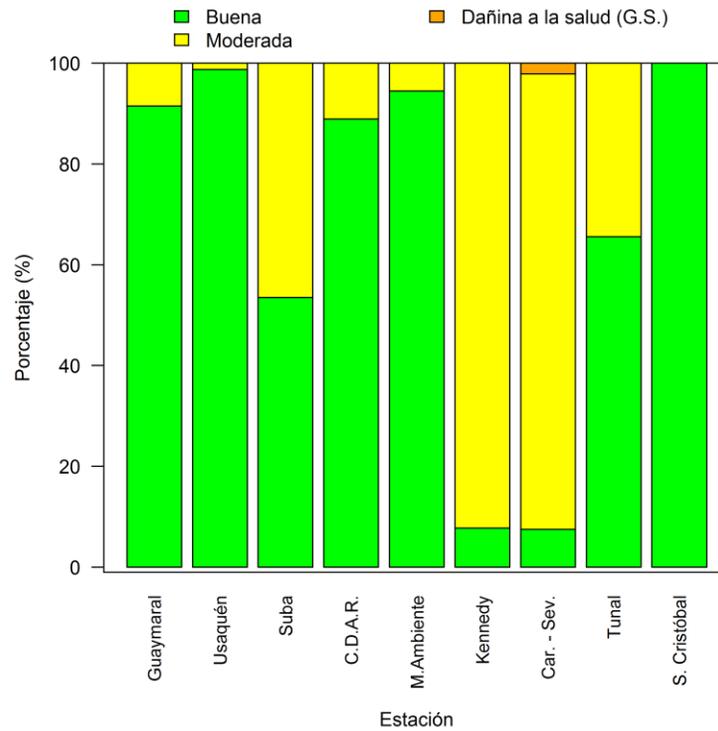
Debido a su tamaño, las partículas finas de diámetro inferior a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>) pueden alojarse profundamente en los pulmones causando altos riesgos para la salud, especialmente en lo concerniente a las enfermedades respiratorias. La Figura 3-65 muestra la proporción del Índice de Calidad del Aire para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. De acuerdo con el índice, la calidad del aire en términos de este contaminante se presentaron tres categorías en el trimestre: “buena”, “moderada”, “dañina a la salud para grupos sensibles, las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. En concordancia con el análisis realizado para PM<sub>10</sub>, las estaciones con la calidad del aire más crítica fueron Carvajal – Sevillana y Kennedy, las cuales, como se ha mencionado previamente, se localizan el suroccidente de la ciudad, donde es mayor la afectación por fuentes fijas, móviles y de área.

Al comparar los resultados obtenidos para el presente trimestre JJA frente al trimestre MAM 2015, se observa una mejoría en la calidad del aire, haciendo referencia a este contaminante, para todas las estaciones, especialmente las ubicadas en el norte y centro de la ciudad. Una comparación de las gráficas de los dos trimestres muestra que se pasó de 6 estaciones con reportes ICA “dañinos a la salud para grupos especiales” a solo una.

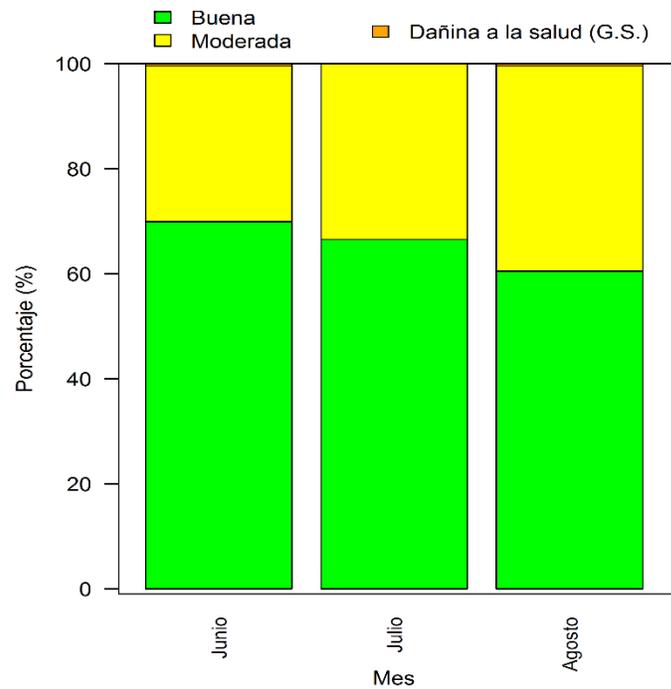
Al tratarse de promedios móviles de 24 horas, los efectos de concentraciones altas determinados por la categoría “dañina para la salud (G.S.) en los valores del ICA, impactan al día siguiente teniéndose una exposición aguda fuerte el 2% del tiempo para Carvajal-Sevillana. Las estaciones con una mejor calidad del aire en términos de PM<sub>2.5</sub> fueron Usaqué, San Cristóbal y MinAmbiente en las cuales participaron únicamente las categorías “buena” y “moderada” con mayor proporción de la primera.

La Figura 3-66 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses del periodo JJA 2015. En los tres meses se observa la participación de las categorías “buena”, “moderada” y “dañina a la salud para grupos sensibles”, mostrándose agosto como el más contaminado desde el punto de vista de este contaminante y el índice ICA. Los niveles más saludables de calidad del aire en términos de este contaminante fueron observados en mayo.

En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-67 muestra la participación de las categorías “buena” y “moderada” en todos los días. El domingo, de manera concordante con el comportamiento del material particulado, es el único día que no muestra valores “Buenos”.



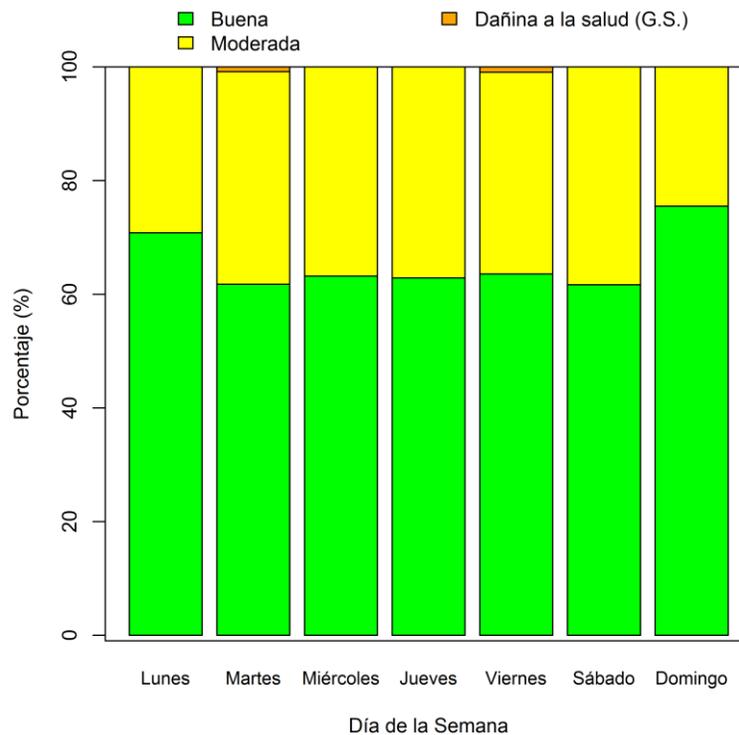
**Figura 3-65.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> por estación para el trimestre JJA 2015.



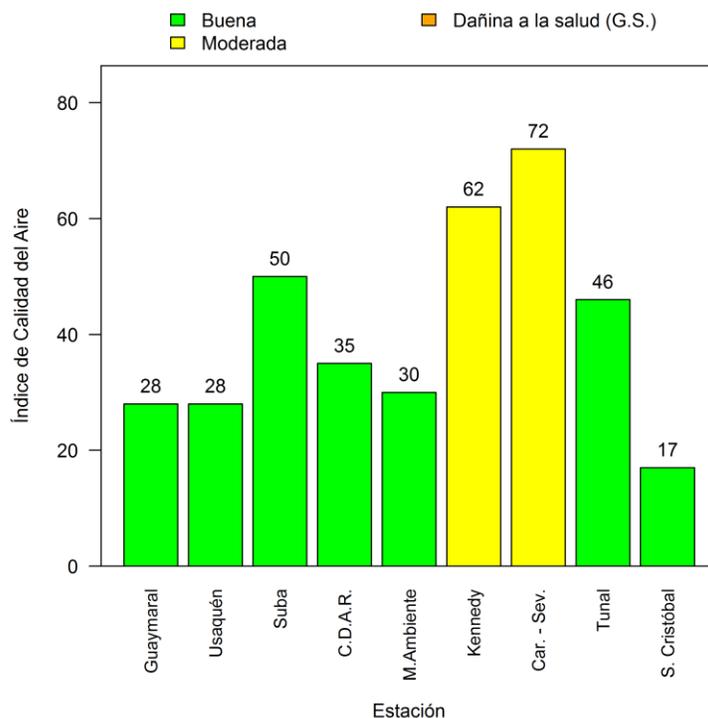
**Figura 3-66.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> en los meses del trimestre JJA 2015

Los valores de ICA de la Figura 3-68 muestran que, con excepción de Carvajal y Kennedy, todas las estaciones presentaron valores promedio de ICA por debajo de las 50 unidades, lo que las clasifica en la categoría “Buena”. 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  $PM_{2.5}$ , en el trimestre MAM 2015, se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de  $PM_{2.5}$  en el periodo JJA 2015 demostraron una menor afectación.



**Figura 3-67** Índice de Calidad del Aire (ICA) de  $PM_{2.5}$  por día de la semana para el trimestre JJA 2015



**Figura 3-68.** Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM<sub>2.5</sub> en el trimestre JJA 2015

Los datos ICA, así como los valores de concentración y el análisis realizado a través de este informe, permiten concluir que el material particulado PM<sub>2.5</sub> se constituye en un contaminante de alto interés desde el punto de vista ambiental y de salud, dados sus valores de concentración elevados y el impacto que tiene sobre población sensible o vulnerable.

### 3.3.3. Índice de calidad del aire para ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

La Figura 3-69, la Figura 3-70 y la Figura 3-71 presentan los índices de calidad del aire promedio por estación para el trimestre JJA 2015 en los contaminantes O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> 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/m<sup>3</sup> en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de NO<sub>2</sub> medida por la RMCAB en el periodo JJA 2015 fue 108µg/m<sup>3</sup> en la estación Las Ferias, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

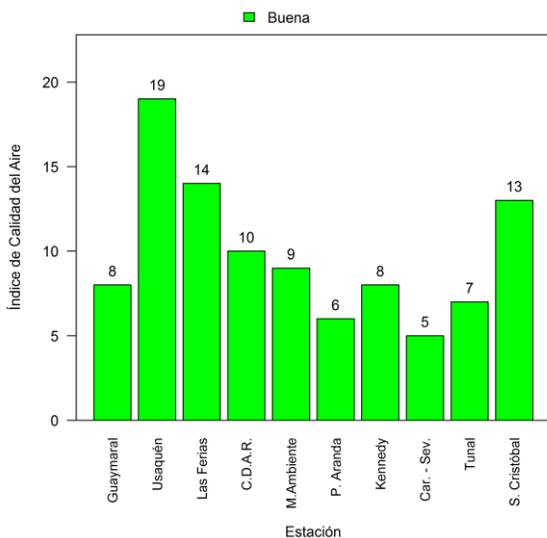
La categoría “Moderada” se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría “Buena” en el trimestre. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es SO<sub>2</sub> teniendo en cuenta su bajo índice ICA.

El máximo valor de ICA para ozono fue 19 en la estación Usaquén y es seguido por Las Ferias con 14 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, y los valores más bajos en el suroccidente, en las estaciones Carvajal y Puente Aranda. En general todas las estaciones se mantuvieron en promedio en la categoría “Buena”.

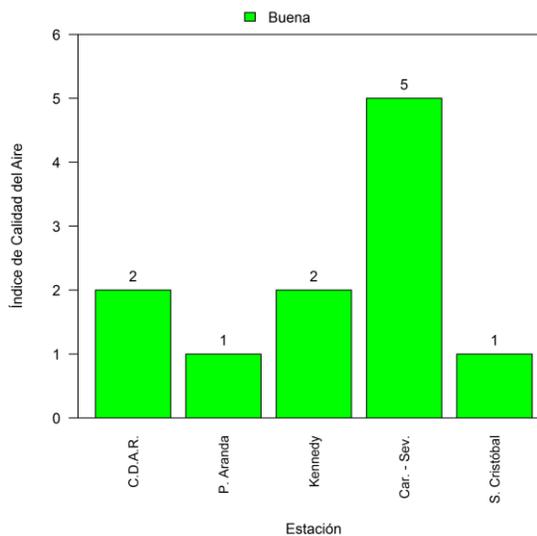
Los índices de calidad del aire para el dióxido de azufre muestran un valor máximo de 5 en la estación Carvajal-Sevillana, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría “Buena” y “Moderada”. Este valor es seguido por 2 en Centro de Alto Rendimiento y Kennedy, por lo cual este contaminante no representa un riesgo para la salud en Bogotá.

En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 13 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 8 en Puente Aranda y 7 en Kennedy, demostrando un 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”.

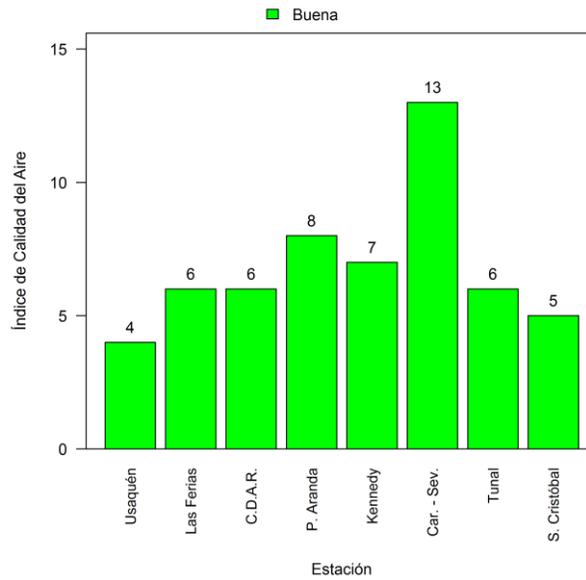
En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 3-69.** Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O<sub>3</sub>). Base de 8 horas.



**Figura 3-70.** Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Base diaria.



**Figura 3-71.** 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 JJA 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 75% y van hasta el 100% del valor de la norma, 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; la octava columna tiene la misma finalidad pero informando las excedencias entre el 50% y el 75. 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.

**Tabla 3-26.** Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), JJA 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PST										
[Norma: 300 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	91	99	0	0	0	5	225	0.75	102

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición trimestral de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Promedio geométrico para PST

**Tabla 3-27.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), JJA 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>10</sub>										
[Norma: 100 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal (%)	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	90	98	0	0	0	0	47	0.47	22
	Usaquén	88	96	0	0	0	0	46	0.46	20
	<b>Subtotal</b>	<b>178</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>47</b>	<b>0.5</b>	<b>21</b>
Noroccidente	Suba	86	93	0	0	0	6	65	0.65	36
	Las Ferias	72	78	0	0	0	1	52	0.52	24
	<b>Subtotal</b>	<b>158</b>	<b>86</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>59</b>	<b>0.6</b>	<b>30</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	92	100	0	0	0	0	49	0.49	17
	MinAmbiente	91	99	0	0	0	1	52	0.52	24
	<b>Subtotal</b>	<b>183</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>51</b>	<b>0.5</b>	<b>21</b>
Suroccidente	Puente Aranda	86	93	0	0	1	9	80	0.8	38
	Kennedy	89	97	0	0	3	40	80	0.8	51
	Carvajal Sevillana	92	100	13	14.13	36	30	162	1.62	78
	<b>Subtotal</b>	<b>267</b>	<b>97</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>40</b>	<b>79</b>	<b>107</b>	<b>1.1</b>	<b>56</b>
Sur	Tunal	92	100	0	0	0	5	67	0.67	32
	San Cristóbal	89	97	0	0	0	0	32	0.32	14
	<b>Subtotal</b>	<b>181</b>	<b>99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>0.5</b>	<b>23</b>

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

**Tabla 3-28.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), JJA 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de PM <sub>2.5</sub>										
[Norma diaria: 50 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. datos entre el 50% y el 75% de la norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guamaral	81	88	0	0	0	0	24	0.48	9
	Usaquén	78	85	0	0	0	0	18	0.36	9
	<b>Subtotal</b>	<b>159</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>0.4</b>	<b>9</b>
Noroccidente	Suba	85	92	0	0	1	2	38	0.76	16
	Las Ferias	63	68	0	0	0	1	32	0.64	13
	<b>Subtotal</b>	<b>148</b>	<b>80</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>35</b>	<b>0.7</b>	<b>15</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	71	77	0	0	0	2	33	0.66	11
	MinAmbiente	89	97	0	0	0	0	25	0.5	9
	<b>Subtotal</b>	<b>160</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>29</b>	<b>0.6</b>	<b>10</b>
Suroccidente	Kennedy	89	97	0	0	1	13	38	0.76	21
	Carvajal-Sevillana	92	100	0	0	5	54	42	0.84	26
	<b>Subtotal</b>	<b>181</b>	<b>99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>67</b>	<b>40</b>	<b>0.8</b>	<b>24</b>
Sur	Tunal	89	97	0	0	0	2	28	0.56	15
	San Cristóbal	77	84	0	0	0	0	11	0.22	5
	<b>Subtotal</b>	<b>166</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>20</b>	<b>0.4</b>	<b>10</b>

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

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

**Tabla 3-29.** Consolidado de los promedios horarios de O<sub>3</sub>, JJA 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de O <sub>3</sub>										
[Norma: 120 µg/m <sup>3</sup> ]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	2104	95	0	0	0	5	71	0.59	19
	Usaquén	2161	98	0	0	8	376	119	0.99	44
	<b>Subtotal</b>	<b>4265</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>381</b>	<b>95</b>	<b>0.8</b>	<b>31</b>
Noroccidente	Suba	1129	51	0	0	0	3	66	0.55	22
	Las Ferias	2172	98	0	0	0	58	75	0.62	32
	<b>Subtotal</b>	<b>3301</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>71</b>	<b>0.6</b>	<b>27</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2008	91	0	0	0	11	68	0.57	24
	MinAmbiente	2174	99	0	0	0	1	62	0.52	20
	<b>Subtotal</b>	<b>4182</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>65</b>	<b>0.5</b>	<b>22</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2093	95	0	0	0	0	51	0.42	14
	Kennedy	2108	96	0	0	0	6	76	0.63	17
	Carvajal - Sevillana	2059	93	0	0	0	0	49	0.41	12
	<b>Subtotal</b>	<b>6260</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>59</b>	<b>0.5</b>	<b>15</b>
Sur	Tunal	2192	99	0	0	0	0	49	0.41	17
	San Cristóbal	2065	94	0	0	2	40	92	0.77	31
	<b>Subtotal</b>	<b>4257</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>40</b>	<b>71</b>	<b>0.6</b>	<b>24</b>

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

Tabla 3-30. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O<sub>3</sub>, JJA 2015.

[Norma: 80 µg/m <sup>3</sup> ]										
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 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	2120	96	0	0	0	64	55	0.69	19
	Usaquén	2164	98	22	1.02	278	990	105	1.31	44
	<b>Subtotal</b>	<b>4284</b>	<b>97</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>278</b>	<b>1054</b>	<b>80</b>	<b>1.0</b>	<b>31</b>
Noroccidente	Suba	1137	52	0	0	0	42	59	0.74	22
	Las Ferias	2187	99	0	0	26	474	67	0.84	32
	<b>Subtotal</b>	<b>3324</b>	<b>76</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>26</b>	<b>516</b>	<b>63</b>	<b>0.8</b>	<b>27</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2012	91	0	0	2	182	61	0.76	24
	MinAmbiente	2198	100	0	0	0	41	48	0.6	20
	<b>Subtotal</b>	<b>4210</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>223</b>	<b>55</b>	<b>0.7</b>	<b>22</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2099	95	0	0	0	3	41	0.51	14
	Kennedy	2111	96	0	0	0	46	50	0.62	17
	Carvajal - Sevillana	2078	94	0	0	0	0	37	0.46	12
	<b>Subtotal</b>	<b>6288</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>49</b>	<b>43</b>	<b>0.5</b>	<b>15</b>
Sur	Tunal	2207	100	0	0	0	4	42	0.52	17
	San Cristóbal	2066	94	0	0	20	491	79	0.99	31
	<b>Subtotal</b>	<b>4273</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>495</b>	<b>61</b>	<b>0.8</b>	<b>24</b>

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

**Tabla 3-31.** Consolidado de los promedios horarios de NO<sub>2</sub>, JJA 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de NO <sub>2</sub>										
[Norma: 200 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	2093	95	0	0	0	0	63	0.31	19
	<b>Subtotal</b>	<b>2093</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>63</b>	<b>0.3</b>	<b>19</b>
Noroccidente	Las Ferias	2181	99	0	0	0	2	108	0.54	33
	<b>Subtotal</b>	<b>2181</b>	<b>99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>108</b>	<b>0.5</b>	<b>33</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2044	93	0	0	0	0	99	0.49	23
	<b>Subtotal</b>	<b>2044</b>	<b>93</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>99</b>	<b>0.5</b>	<b>23</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2020	92	0	0	0	0	93	0.46	23
	Kennedy	2159	98	0	0	0	0	55	0.28	22
	Carvajal-Sevillana	1981	90	0	0	0	0	91	0.46	46
	<b>Subtotal</b>	<b>6160</b>	<b>93</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>80</b>	<b>0.4</b>	<b>30</b>
Sur	Tunal	2193	99	0	0	0	0	89	0.44	23
	<b>Subtotal</b>	<b>2193</b>	<b>99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>89</b>	<b>0.4</b>	<b>23</b>

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

**Tabla 3-32.** Consolidado de los promedios diarios de NO<sub>2</sub>, JJA 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de NO <sub>2</sub>										
[Norma: 150 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	85	93	0	0	0	0	30	0.2	19
	<b>Subtotal</b>	<b>85</b>	<b>93</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>0.2</b>	<b>19</b>
Noroccidente	Las Ferias	91	100	0	0	0	0	53	0.36	33
	<b>Subtotal</b>	<b>91</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>0.4</b>	<b>33</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	84	92	0	0	0	0	49	0.32	23
	<b>Subtotal</b>	<b>84</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>49</b>	<b>0.3</b>	<b>23</b>
Suroccidente	Puente Aranda	82	90	0	0	0	0	54	0.36	23
	Kennedy	88	97	0	0	0	0	29	0.2	22
	Carvajal-Sevillana	81	89	0	0	0	0	64	0.43	46
	<b>Subtotal</b>	<b>251</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>49</b>	<b>0.3</b>	<b>30</b>
Sur	Tunal	91	100	0	0	0	0	50	0.33	23
	<b>Subtotal</b>	<b>91</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>0.3</b>	<b>23</b>

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

**Tabla 3-33.** Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO<sub>2</sub> JJA 2015

Información de los promedios móviles de 3 horas de concentración de SO <sub>2</sub>										
[Norma: 750 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Noroccidente	Suba	1542	70	0	0	0	0	97	0.13	7
	Las Ferias	141	6	0	0	0	0	9	0.01	4
	<b>Subtotal</b>	<b>1683</b>	<b>38</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>53</b>	<b>0.07</b>	<b>6</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2130	97	0	0	0	0	25	0.03	4
	<b>Subtotal</b>	<b>2130</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>0.03</b>	<b>4</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2074	94	0	0	0	0	18	0.02	3
	Kennedy	2062	93	0	0	0	0	30	0.04	3
	Carvajal - Sevillana	2173	98	0	0	0	0	59	0.08	10
	<b>Subtotal</b>	<b>6309</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>0.05</b>	<b>5</b>
Sur	San Cristóbal	2010	91	0	0	0	0	4	0.01	1
	<b>Subtotal</b>	<b>2010</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0.01</b>	<b>1</b>

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

**Tabla 3-34.** Consolidado de los promedios diarios de SO<sub>2</sub>, JJA 2015.

Información de los promedios diarios de concentración de SO <sub>2</sub>										
[Norma diaria: 250 µg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Noroccidente	Suba	64	70	0	0	0	0	39	0.16	7
	Las Ferias	6	7	0	0	0	0	6	0.02	4
	<b>Subtotal</b>	<b>70</b>	<b>39</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>0.09</b>	<b>6</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	89	98	0	0	0	0	9	0.03	4
	<b>Subtotal</b>	<b>89</b>	<b>98</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>0.03</b>	<b>4</b>
Suroccidente	Puente Aranda	86	95	0	0	0	0	8	0.03	3
	Kennedy	88	97	0	0	0	0	10	0.04	3
	Carvajal - Sevillana	91	100	0	0	0	0	23	0.09	10
	<b>Subtotal</b>	<b>265</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>	<b>0.05</b>	<b>5</b>
Sur	San Cristóbal	84	92	0	0	0	0	2	0.01	1
	<b>Subtotal</b>	<b>84</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0.01</b>	<b>1</b>

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

**Tabla 3-35.** Consolidado de los promedios horarios de CO, JJA 2015.

Información de los promedios horarios de concentración de CO										
[Norma: 40 mg/m <sup>3</sup> ; Resolución 610 de 2010]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Usaquén	1940	88	0	0	0	0	2.9	0.07	0.4
	<b>Subtotal</b>	<b>1940</b>	<b>88</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.9</b>	<b>0.07</b>	<b>0.4</b>
Noroccidente	Las ferias	2164	98	0	0	0	0	3.0	0.07	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>2164</b>	<b>98</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.0</b>	<b>0.07</b>	<b>0.6</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2008	91	0	0	0	0	4.0	0.1	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>2008</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.0</b>	<b>0.10</b>	<b>0.6</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2098	95	0	0	0	0	6.9	0.17	0.8
	Kennedy	2162	98	0	0	0	0	3.1	0.08	0.7
	Carvajal-Sevillana	2051	93	0	0	0	0	4.5	0.11	1.3
	<b>Subtotal</b>	<b>6311</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.8</b>	<b>0.12</b>	<b>0.9</b>
Sur	Tunal	2118	96	0	0	0	0	3.3	0.08	0.6
	San Cristóbal	1930	87	0	0	0	0	2.3	0.06	0.5
	<b>Subtotal</b>	<b>4048</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.8</b>	<b>0.07</b>	<b>0.5</b>

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

**Tabla 3-36.** Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO, JJA 2015.

Información de los promedios móviles de 8 horas de concentración de CO										
[Norma: 10 mg/m <sup>3</sup> ]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Representatividad Temporal	No de datos que exceden la norma	% de datos que exceden la norma	No. de datos entre el 50% y el 75% norma	No. datos entre el 75% y el 100% de la norma	Máximo [mg/m <sup>3</sup> ]	Max/Norma	Promedio trimestral (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Usaquén	1933	88	0	0	0	0	1.14	0.1	0.4
	<b>Subtotal</b>	<b>1933</b>	<b>88</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.1</b>	<b>0.11</b>	<b>0.4</b>
Noroccidente	Las ferias	2170	98	0	0	0	0	1.49	0.2	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>2170</b>	<b>98</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>0.15</b>	<b>0.6</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	2009	91	0	0	0	0	1.83	0.2	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>2009</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.8</b>	<b>0.18</b>	<b>0.6</b>
Suroccidente	Puente Aranda	2098	95	0	0	0	0	2.86	0.3	0.8
	Kennedy	2162	98	0	0	0	0	1.49	0.2	0.7
	Carvajal-Sevillana	2047	93	0	0	0	0	2.52	0.3	1.4
	<b>Subtotal</b>	<b>6307</b>	<b>95</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.3</b>	<b>0.23</b>	<b>0.9</b>
Sur	Tunal	2134	97	0	0	0	0	1.37	0.1	0.6
	San Cristóbal	1908	86	0	0	0	0	1.14	0.1	0.5
	<b>Subtotal</b>	<b>4042</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.3</b>	<b>0.13</b>	<b>0.5</b>

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

## 4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas

Este capítulo presenta el estudio de la variación de las condiciones atmosféricas durante el trimestre junio, julio y agosto (JJA) de 2015 asociado a una de las temporadas 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.

### El Niño Oscilación del Sur

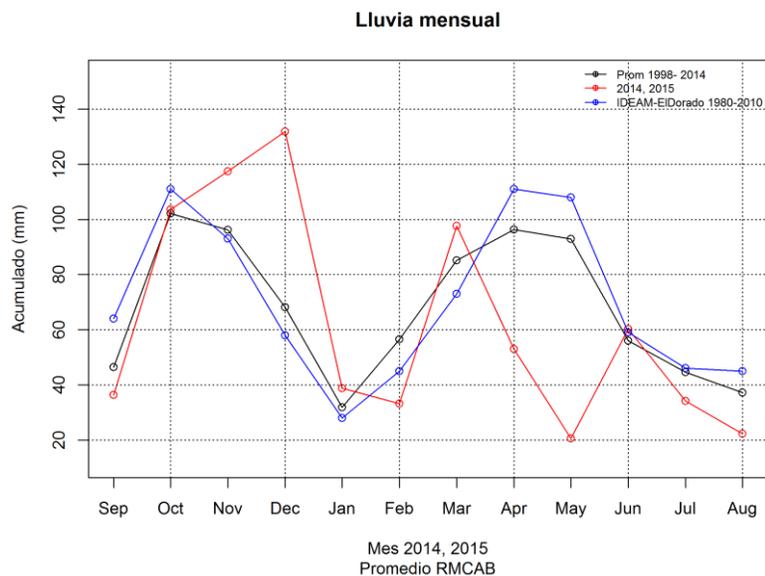
Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur). A partir del trimestre febrero, marzo, abril (FMA) y durante junio, julio y agosto (JJA) se consolidó El Niño según los informes 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 1.2 durante el trimestre. Asociado a este evento se considera una reducción significativa de los volúmenes de precipitación, condición que normalmente afecta gran parte de la sabana de Bogotá.

### 4.1. Precipitación

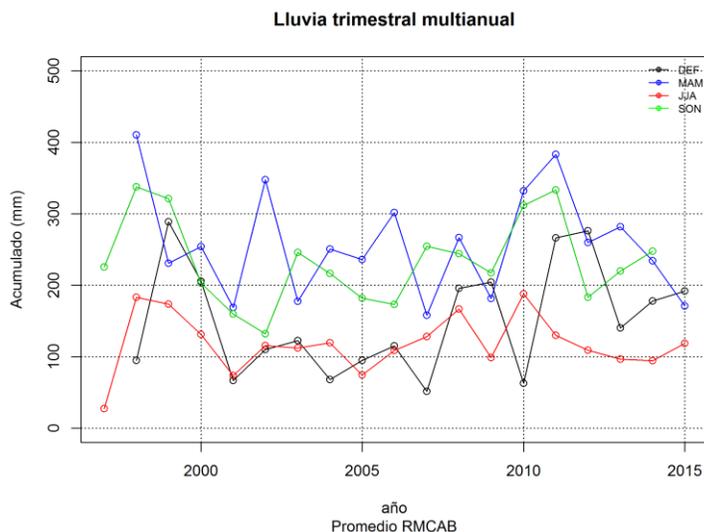
Las estaciones consideradas en el año para la variable precipitación se presentan en la tabla 1.1. La Figura 4-1 presenta el acumulado promedio mensual de la red en el periodo 1998 – 2014, el promedio mensual de la estación del aeropuerto EIDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB, partiendo desde el mes de septiembre de 2014 hasta agosto de 2015. Este año se ha caracterizado por deficiencias importantes especialmente en los meses de mayo y agosto con anomalías de -72.4 y -14.9 mm respectivamente. Las estaciones con menor volumen en el trimestre fueron Suba con 48 mm y Las Ferias con 71.4 mm mientras que las más elevadas fueron San Cristóbal con 211.3 y Kennedy con 140 mm. 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. El trimestre JJA de 2015 se encuentra dentro del promedio de la red, cerca a los valores obtenidos en los años 2004 y 2002. (Figura 4-2). La Tabla 4-2 presenta los acumulados por estación.

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

Estación	Jun-15	Jul-15	Aug-15
Carvajal	74.6	36	18.5
Centro de_Alto_Rendimiento	40.6	35	23.5
Guaymaral	46	43	31.6
Kennedy	65.7	55.4	19
Las_Ferías	31.1	26.3	14
MinAmbiente	56.4	29.8	18.9
Puente Aranda	40.9	NA	NA
San Cristóbal	130.9	42.4	38
Suba	25.8	1.4	21.2
Tunal	113.4	43	24.6
Usaquén	36.6	28.5	13.5
Promedio	60.2	34.1	22.3



**Figura 4-1** Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 1998-2014, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.

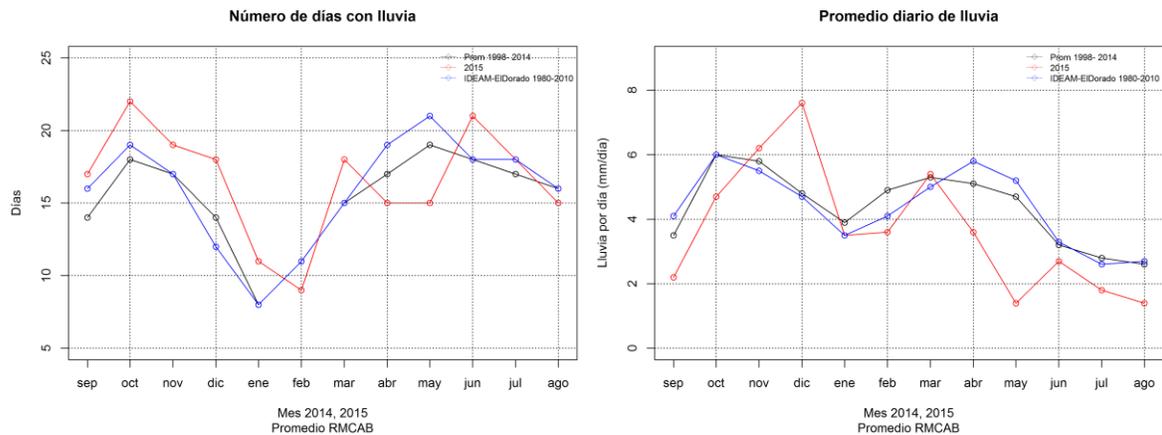


**Figura 4-2.** Promedio de los acumulados de precipitación trimestrales desde 1998.

**Tabla 4-2.** Acumulados de los trimestres junio, julio y agosto multianuales y por estación.

Estaciones	2000 JJA	2001 JJA	2002 JJA	2003 JJA	2004 JJA	2005 JJA	2006 JJA	2007 JJA	2008 JJA	2009 JJA	2010 JJA	2011 JJA	2012 JJA	2013 JJA	2014 JJA	2015 JJA
Cade_Energia	214	173	390	209	159											
Carvajal	199	95	275	130	241		302	216	304	139	246	386	278	293	204	140
Cazuca	164	86	253	69	237		279	96	228							
Centro_de_Alto_Rendimiento					224	295			204	259	529	565	301	359	385	188
Chico_lago_Sto_Tomas.	229	160	419	121	311	136	387	264		222	475					
Fontibon	177	192	308	183	288	225	319	131		100	194	153	53	158	116	
Guaymaral	353		294					119	322	164	320	429	164	338	200	158
Kennedy							178		302	143	220	384		224	235	139
Las_Ferias	124	219		195		305	377			196	409	430	331	369	299	229
MinAmbiente	229	215	369	240						232	426		315	339	231	171
Olaya	524	198														
Puente_Aranda		210	426	188		133	214	157	199	416	284	231	287	225	183	159
San_Cristobal													340		338	164
Suba	80	132			294		168			166	287	465	346	312	205	228
Tunal									269	138	343	398	148	263	160	160
Univ._Nacional	215	178														
Usaquen	544		395	264		322	240	214	203	88	456	408	295	217	256	148
USME							415	97	273							
Vitelma							442	128	363	99	128	368				
Promedio(sin coordenada)	254	169	348	178	251	236	302	158	267	182	332	383	260	282	234	171

De acuerdo a la Figura 4-3, el número de días con lluvia se mantuvo cercano a los promedios, observándose un número superior durante el mes de junio. No obstante el promedio diario de lluvia durante los tres meses permaneció por debajo de lo esperado.



**Figura 4-3.** Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.

El mapa de la Figura 4-4 (a) muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación del trimestre JJA sobre esta superficie. Se aprecia un trimestre con bajos acumulados de lluvia, concentrándose las zonas con mayor ausencia de precipitación en la localidad de Suba contrastando con la localidad de San Cristóbal donde se notó el mayor acumulado. En términos de anomalías (Figura 4-4 (b)), es notorio la diferencia entre la zona sur y el noroccidente.

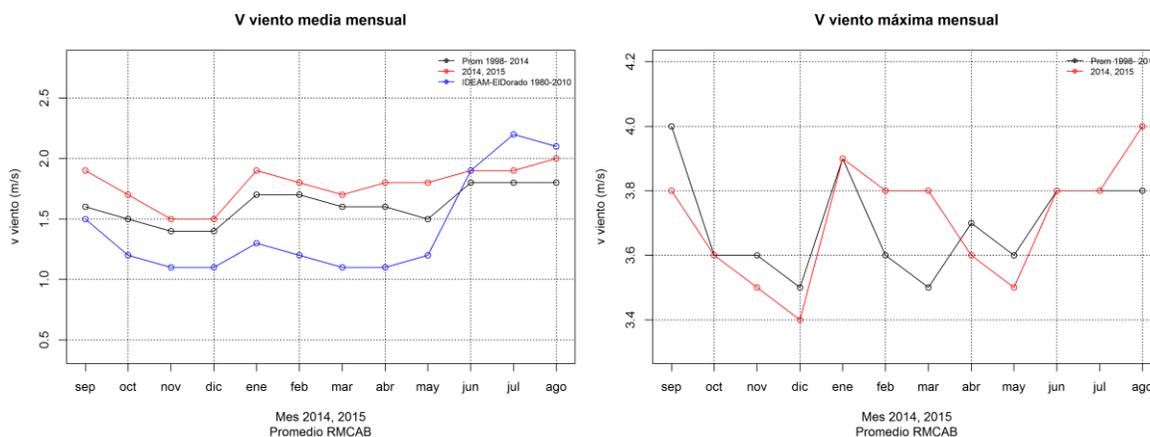


## 4.2. Vientos

Durante el trimestre JJA la dirección y velocidad del viento se registró en las estaciones según se observa en la tabla 1.1 durante el trimestre. 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 cuatro grupos horarios y en promedio diario, así como la velocidad máxima relativa obtenida en cada estación. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de las tardes, donde los mayores valores en promedio se obtuvieron en la estación de Carvajal-Sevillana y Kennedy mientras que las menores velocidades fueron registradas en San Cristóbal y Tunal. Ráfagas de viento significativas fueron observadas en Kennedy y Puente Aranda.

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

Estación	Velocidad del viento						Dirección del viento				
	Madrugada	Mañana	Tarde	Noche	Promedio	Max prom	Predominancia	madrugada	mañana	tarde	noche
Carvajal	1.9	3	3.9	2.6	2.9	4.6	180	135	135	180	180
Centro_de_Alto_Rendimiento	1.1	1.8	2.2	1.3	1.6	3.0	135	315	135	135	90
Guaymaral	0.6	1.4	2	0.7	1.2	2.8	90	0	90	90	90
Kennedy	1.8	3.2	4.3	2.7	3	5.2	135	135	135	135	135
Las_Ferías	1.7	2.1	2.5	2	2.1	3.6	90	45	135	135	90
MinAmbiente	1.1	2.1	2.9	1.6	1.9	4.3	90	135	225	180	90
Puente_Aranda	0.8	2.6	4.2	2.1	2.5	5.2	135	315	135	135	135
San_Cristobal	0.7	1.1	1.7	0.9	1.1	2.5	90	90	90	90	90
Suba	1.1	2.7	3.6	1.5	2.2	4.6	45	45	90	90	45
Tunal	0.8	1.4	1.9	1	1.3	2.4	180	180	180	180	180
Usaquen	1.3	1.7	2.5	1.7	1.8	3.5	180	135	180	180	135

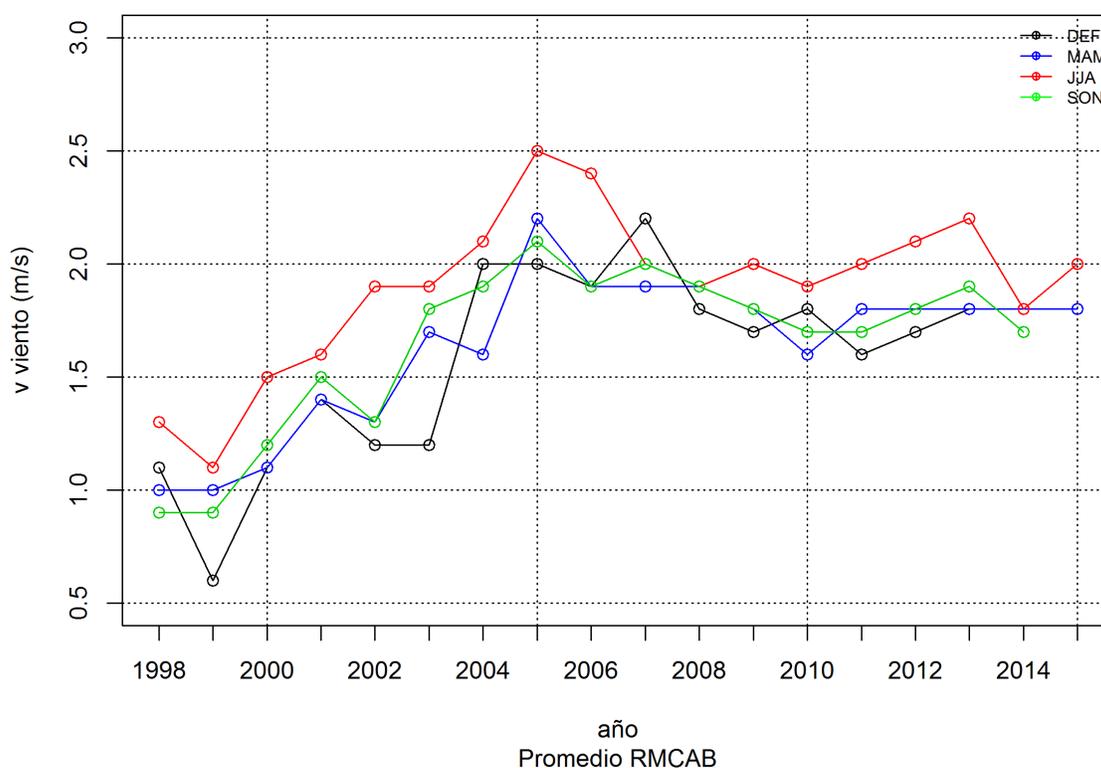


**Figura 4-5.** Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

En promedio, los vientos en el trimestre presentaron velocidades cercanas a los registros históricos, ligeramente por debajo de lo reportado en promedio en la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y por encima del promedio de la ciudad. En términos de velocidades máximas se presentaron valores muy similares, con una diferencia de 0.2 m/s en el mes de

agosto comparado con la historia de la red. (Figura 4-5). La Tabla 4-4 presenta los promedios del trimestre JJA para cada una de las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015; Las estaciones de Kennedy y Carvajal alcanzaron sus máximos históricos para el trimestre, mientras que por el contrario Puente Aranda y San Cristóbal presentaron sus mínimos valores (téngase en cuenta su corta historia). Por su parte, la Figura 4-6 presenta el comportamiento multianual de los promedios trimestrales; los últimos años de los trimestres JJA han presentado valores de velocidad del viento similares desde 2010 con un promedio de 1.8 m/s.

**V viento trimestral multianual**



**Figura 4-6.** Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.

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

Estación	2000 JJA	2001 JJA	2002 JJA	2003 JJA	2004 JJA	2005 JJA	2006 JJA	2007 JJA	2008 JJA	2009 JJA	2010 JJA	2011 JJA	2012 JJA	2013 JJA	2014 JJA	2015 JJA
Cade_Energia	0.9	0.9		0.7	1.1											
Carvajal	1	1.8	1.5	2.6				1.9		2.7	2.3	2.6	2.7	2.7		2.9
Cazuca	2.3	2.3	2.6		3.4	2.8	3	2.5	1.3							
Central_de_Mezclas	2.5		3.9													
Centro_de_Alto_Rendimiento					0.9	1.9		1	1.7	1.8	1.5	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6
Chico_lago_Sto_Tomas.	0.4	0.4	0.4		0.7					0.8	0.8					
Fontibon	3	3.2	3.1	3.1	3	3.1	3.3	3.6	2.6	3.3	2.8	3.1	3.4	3.5		
Guaymaral	1	0.6	0.7					1.1	1.3	1.5		1.1	1.2	1.2	1.3	1.2
Kennedy							1.6	1.5	2.6	2.9	2.5		2.9	2.9	2.9	3
Las_Ferías	1.8	2	2.1		2.5	1.6	1.4	1.5	2	2.4	1.7	2.1	2	2.1	2.1	2.1
MinAmbiente	0.5	0.5	0.5							1			1.6	2	1.9	1.9
Olaya	2.4	2.6														
Puente_Aranda		2.9	2.9	3.1	3.4	3.3	3.4	2.9	2.8	3.3	2.8	3	2.7	2.5		2.5
San_Cristobal											1.2	1.8	1.9	2.3	1.4	1.1
Suba	1.9	1.7	1.8	0.8			2	1.8	0.6	1.1		2.2	2.4	2.4	2.3	2.2
Tunal							1.8	2.4	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1	1.3
Univ_Nacional	0.5	0.8														
Usaquen	1.4	1.2	1.1	1.3			3.3	2.1	0.8		1.8	1.7	1.9		1.6	1.8
USME								2.3	3.6		2.3					
Vitelma							1.4	1.6	1.8							
Promedio	1.5	1.6	1.9	1.9	2.1	2.5	2.4	2	1.9	2	1.9	2	2.1	2.2	1.8	2

Durante el trimestre, las rosas de vientos en la RMCAB presentaron un comportamiento regular según su ubicación; hacia el norte y oriente vientos predominantes del este y del sureste, salvo en la estación de Usaquén la cual presenta predominancia del sureste y del sur. Por su parte, las estaciones ubicadas al centro geográfico de la ciudad como Centro de Alto rendimiento y Puente Aranda mostraron frecuencias con mayor variabilidad en sus direcciones, tendencia al este y sureste, similar a la estación de Minambiente; hacia el occidente son predominantes vientos del sureste y del sur a medida que se acercan al sur geográfico de la ciudad (Figura 4-7 (a)). Asimismo el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), muestra que hacia el occidente de la ciudad, los vientos tienden a presentar un flujo significativo la mayor parte del tiempo, a diferencia del noreste donde hasta el 30% de los datos trimestrales se presentaron en calma (Figura 4-7 (b)). Esta condición está asociada a la orografía de la ciudad y a los cambios de temperatura superficial, dando origen en algunos casos a la dispersión producto de corrientes de vientos ascendentes que también apoyan la formación de lluvias locales. Por su parte, la velocidad del viento espacialmente tiende a presentar velocidades bajas al norte, nororiental y sectores del sur de la ciudad (Figura 4-8). Predominan vientos del noreste - este y sureste - este en los extremos norte y sur de la capital aunque durante el trimestre no fue tan clara la confluencia de los vientos en sectores de las afueras de la ciudad; esta condición pudo apoyar el déficit de precipitaciones observado en el periodo. Los mayores valores de velocidad del viento se mantuvieron en el occidente, particularmente en la localidad de Kennedy, alcanzando velocidades de hasta 3.0 m/s en promedio.

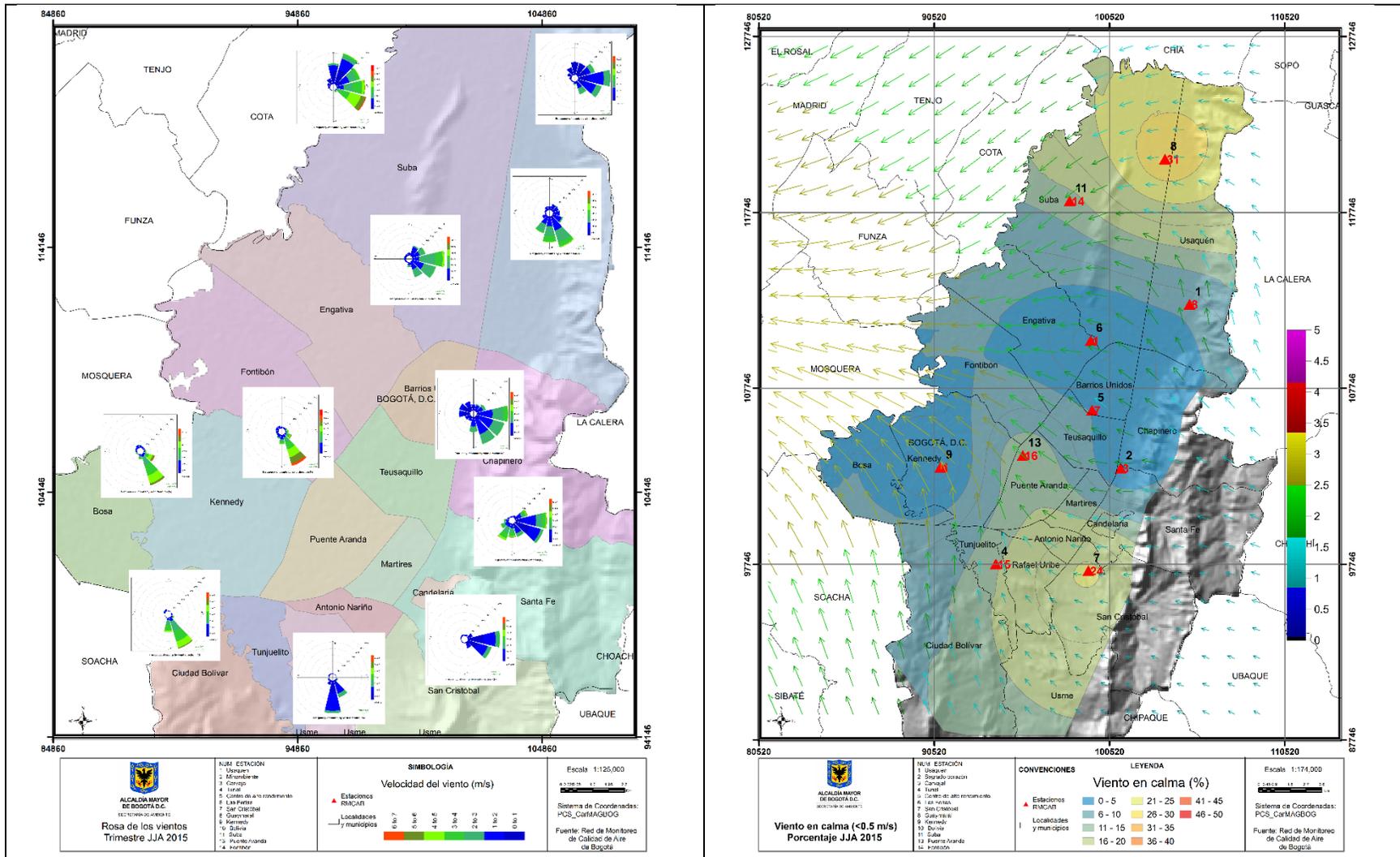
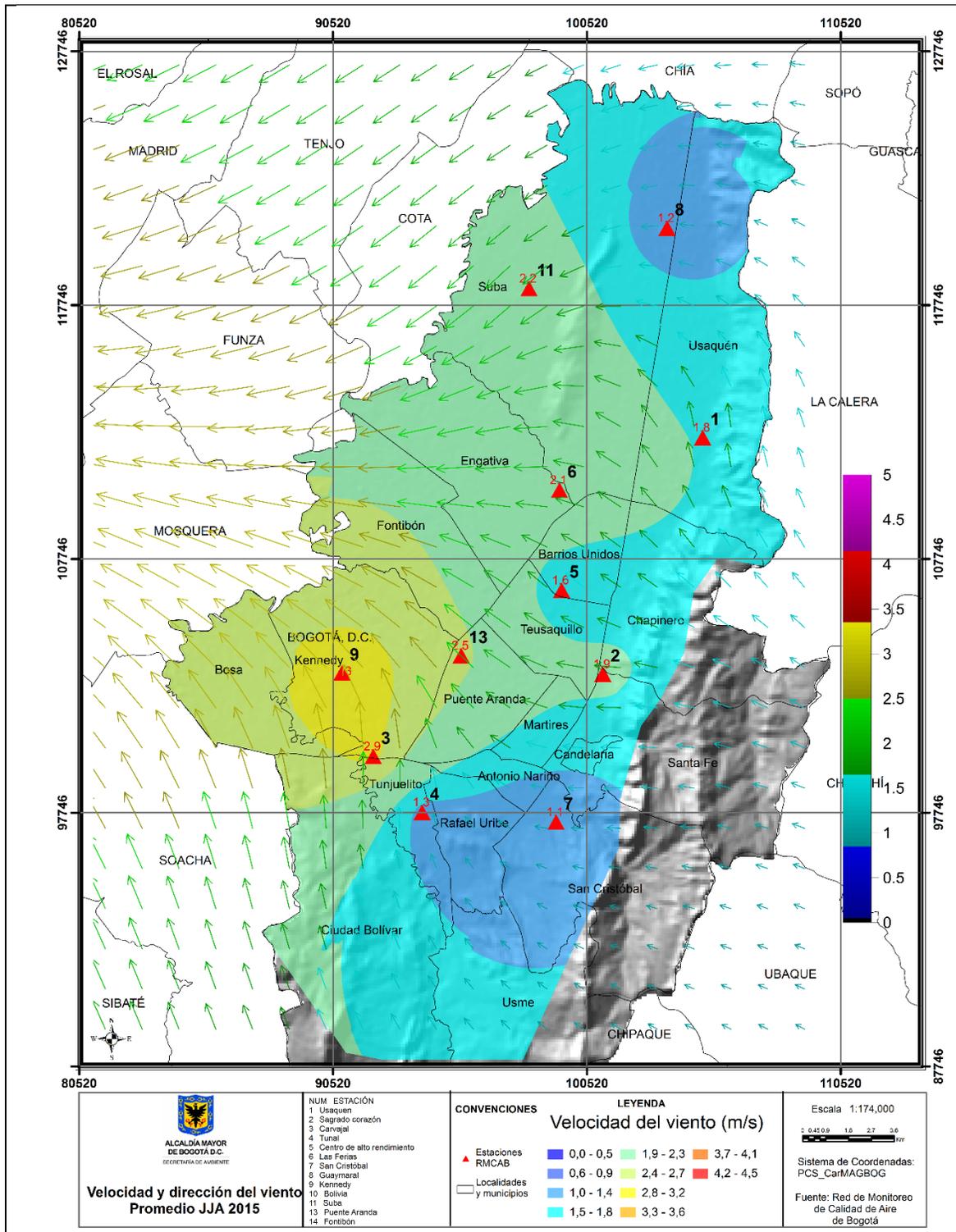


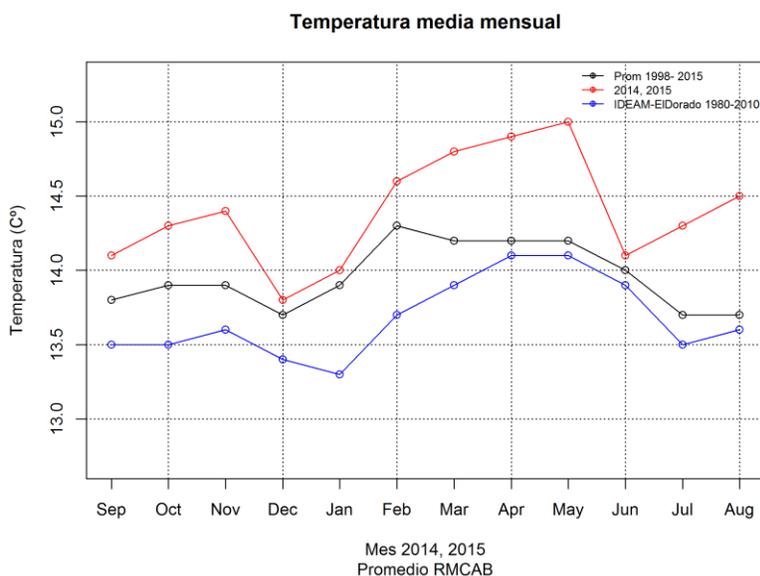
Figura 4-7. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (<0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.



**Figura 4-8.** Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá durante el trimestre JJA.

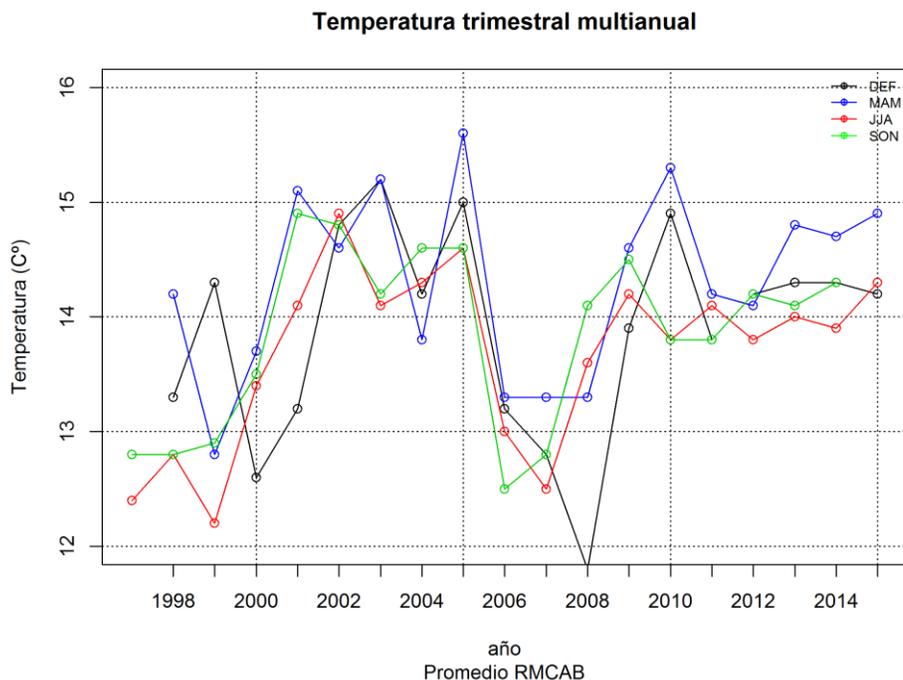
### 4.3. Temperatura Superficial

Las estaciones consideradas en el trimestre para la temperatura se presentan en la tabla 1.1. Durante el trimestre se notó un incremento importante en el promedio mensual del último trimestre, particularmente en el mes de agosto donde se alcanzó un grado de diferencia con respecto a la historia de la red. La Curva de la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM, muestra que en el mes de julio es el tercer mes más frío, significativamente por debajo de lo presentado en el promedio de la RMCAB.



**Figura 4-9.** Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2015.

La Figura 4-10, muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 1998-2015. Desde 2005 no se registraba una temperatura tan significativa para el periodo; este trimestre se obtuvo un dato muy similar al valor alcanzado en El Niño de 2009, el cual fue de 14.2 C. Estaciones como Centro de Alto Rendimiento, Kennedy y Suba alcanzaron los valores más altos de los registros históricos, como se aprecia en la Tabla 4-5.



**Figura 4-10.** Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2015.

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

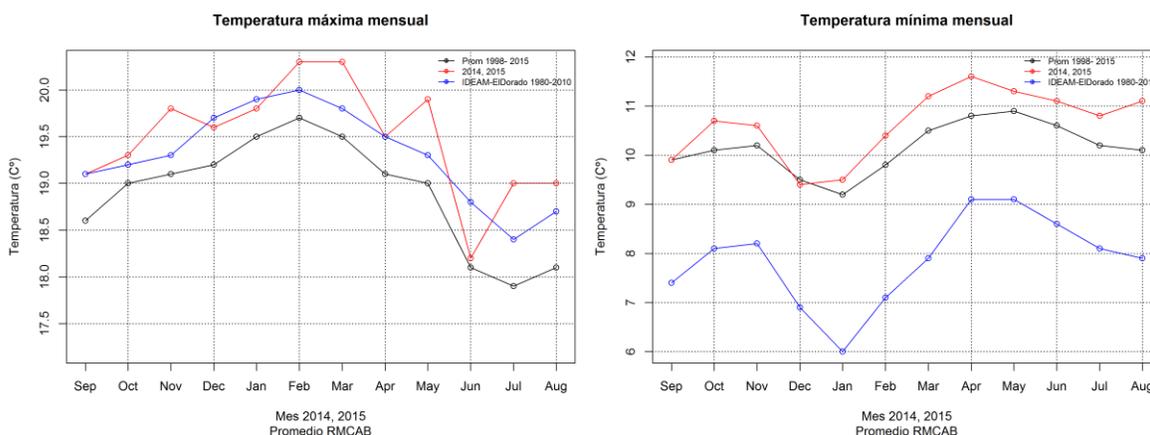
Estaciones	2000 JJA	2001 JJA	2002 JJA	2003 JJA	2004 JJA	2005 JJA	2006 JJA	2007 JJA	2008 JJA	2009 JJA	2010 JJA	2011 JJA	2012 JJA	2013 JJA	2014 JJA	2015 JJA
Carvajal							13.2	10.7	14.6	15.3	15.2	15.2	14.9	15.1		15.3
Cazuca							11.9	13.1	14.2							
Centro de Alto Rendimiento									14.3	14.8	14.6	14.7	14.5	14.7	14.7	15.1
Fontibón	13.6	13.6	13.9	13.9	13.6	14	14	13.6	14.2	14.7	14	13.8	13.7	13.9		
Guaymaral									13.5	14.3	14.6	14.3	13.9	14.3	14.2	14.6
Kennedy									14.3	14.9	14.4		14.5	14.7	14.9	15.1
Las Ferias	15.5	15.6	15.9		15.2	15.2			13.5	14	13.8	13.8	13.7	13.9	13.9	14.2
Puente Aranda	14.1	14.1	14.3	14.3	14.1	14.6	14.3	14.2	14	14.4	14.1	14	13.5	13.3	13.7	14.1
San Cristóbal											13.2	13.8	12.5	12.7	12.4	12.9
Suba	10.5	13.2					12.3	13.3	13.6	12.7	13.2		13.9	14.1	13.9	14.4
Tunal							12.3		14.2	14.5		13.3	13.2	12.8	12.9	13.2
Usaquén									10.7	14.5	14.8	14.4	14	14.4	14.3	
USME								11.2	13.8		12					
Vitelma								11.2	11.4	12.5	12.3					
Promedio	13.4	14.1	14.9	14.1	14.3	14.6	13	12.5	13.6	14.2	13.8	14.1	13.8	14	13.9	14.3

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 Suba, Tunal y Guaymaral presentan las mayores amplitudes mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 5.2°C. Las

temperaturas máximas tendieron a ser mayores comparadas con el promedio histórico de la red, particularmente en el mes de julio y agosto donde se alcanzaron los 19°C; por su parte las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio en especial en el mes de agosto (Figura 4-11).

**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	19.2	12.2	7
Centro de Alto Rendimiento	19.9	11	8.9
Guaymaral	19.8	10.5	9.3
Kennedy	18.7	12.2	6.5
Las Ferias	18.4	11	7.4
Puente Aranda	17	11.8	5.2
San Cristóbal	16.4	10.3	6.1
Suba	19.6	10.3	9.3
Tunal	19.3	9.4	10
Promedio	18.7	11	7.7



**Figura 4-11.** Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 1998- 2013, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015.

En el mapa de la Figura 4-12 puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital, muy cerca de los promedios más altos de temperatura, hacia el sur de la localidad de Kennedy donde resalta el gradiente que alcanza 2.1°C en una distancia no mayor a 2.9 Km. Similar a Kennedy, se registró un promedio de temperatura superficial elevada en zonas aledañas a los Barrios Unidos y Teusaquillo, con valor de 15.1°C.

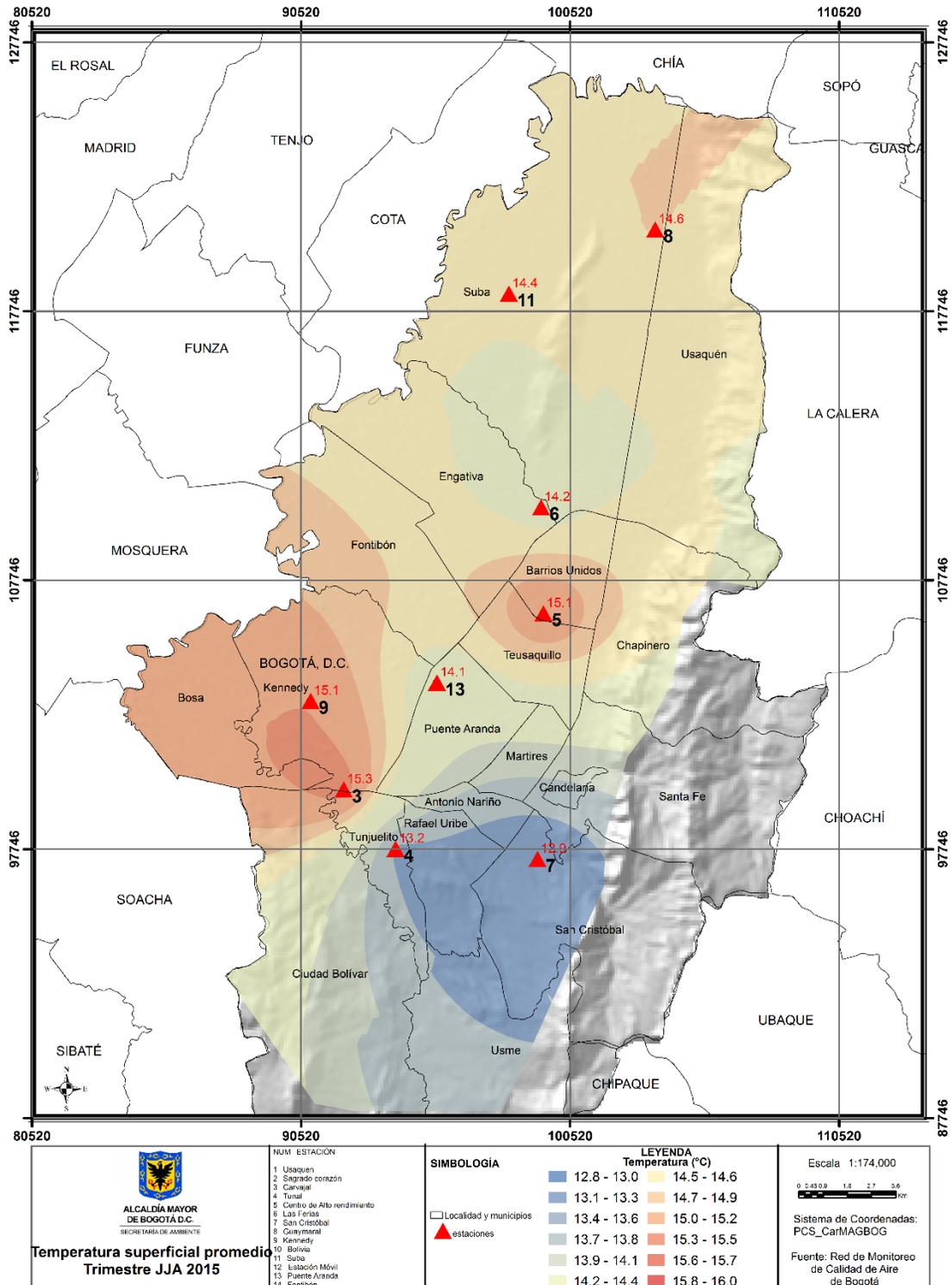


Figura 4-12. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en el trimestre JJA.

#### 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 con 4683 W/m<sup>2</sup>, significativamente mayor a Tunal donde el promedio fue de 3683 W/m<sup>2</sup>. De la misma forma, el mes de julio San Cristóbal alcanzó 5119 W/m<sup>2</sup> en contraste con la estación de Tunal donde en junio se observó el menor promedio, 3444 W/m<sup>2</sup>. (Tabla 4-7)

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

Estación	Jun.-2015	Jul.-2015	Ago.-2015	Promedio (W/m2)
Centro de Alto Rendimiento	4072	4226	4090	4129
Guaymaral	3513	3878	3627	3673
Kennedy	3637	3977	4061	3891
San Cristóbal	4087	5119	4843	4683
Tunal	3444	3904	3701	3683
promedio	3751	4221	4064	4012

La Figura 4-13 muestra los mapas de calor de las estaciones de la RMCAB, en donde en el eje de las abscisas se presenta el mes y en las ordenadas la hora, entre las 6 am y las 7 pm y la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Concordante con la Tabla 4-7, durante el último año San Cristóbal presentó los mayores acumulados con un moderado incremento en el último trimestre, cercano a lo sucedido en el trimestre DEF. Por su parte, la Figura 4-14 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2009 hasta 2015. El acumulado promedio de radiación en el trimestre JJA disminuyó de forma ligera con valor muy similar al obtenido el año inmediatamente anterior luego de una caída cercana a los 380 W/m<sup>2</sup>. Por su parte en promedio mensual se observó un incremento significativo con la media multianual periodo 2009 – 2014, en especial en lo que refiere el mes de agosto (Figura 4-15).

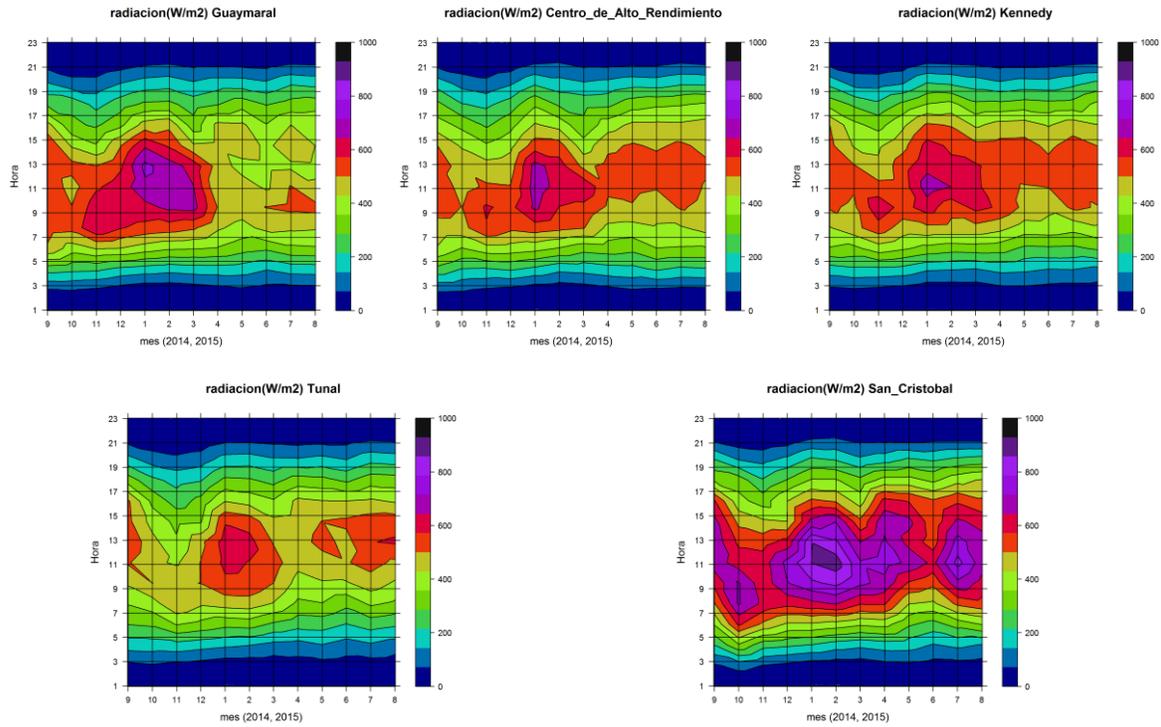


Figura 4-13. Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015.

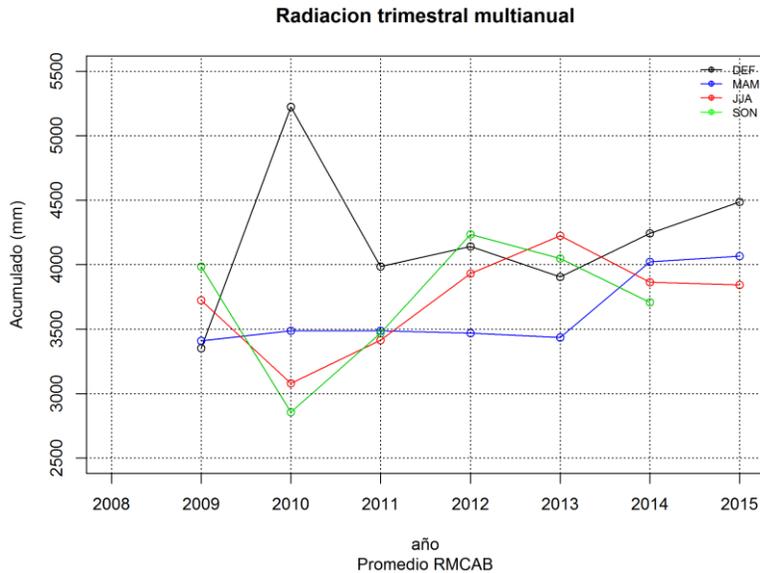
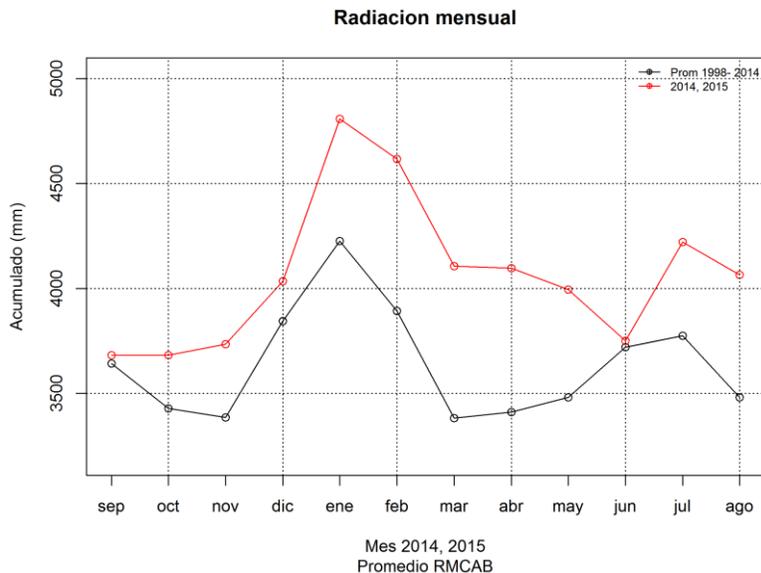


Figura 4-14. Radiación trimestral de los últimos años.



**Figura 4-15.** Radiación mensual de los últimos años.

#### 4.5. Presión Atmosférica

Los datos de presión atmosférica se registraron en las estaciones mostradas en la tabla 1.1. Los datos de presión obtenidos mostraron un comportamiento regular según su ubicación el cuál en general, depende de la posición geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad) ya que no hay variaciones significativas de este parámetro en un área como la ciudad de Bogotá. La monomodalidad característica de la capital predominó durante el periodo, aunque comparado con el promedio de la red se presentó menor variabilidad en los últimos meses. Durante el trimestre, valores ligeramente por encima de lo normal se notaron aunque no tan marcado como en el inicio del año (Figura 4-16). En la Tabla 4-8 se presentan los datos promedios mensuales de presión por estación en el trimestre.

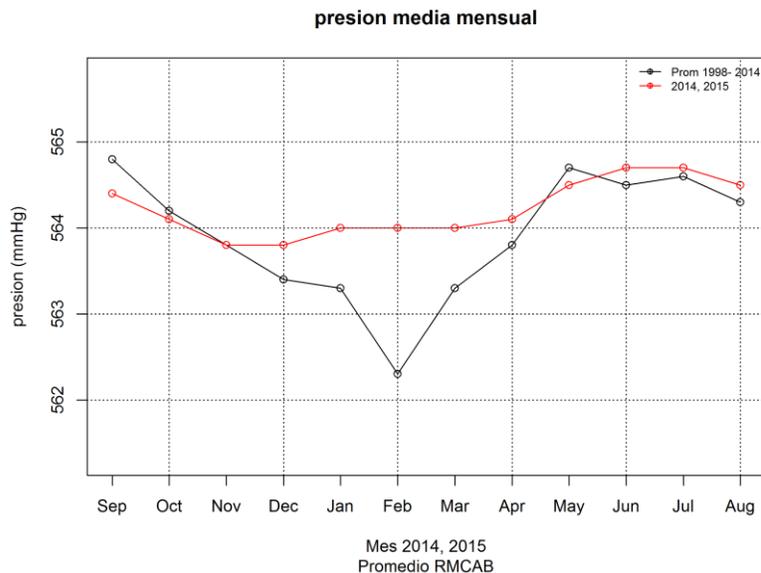


Figura 4-16. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

Tabla 4-8 Presión atmosférica durante el trimestre en las estaciones de la RMCAB.

Estación.	Jun.-2015	Jul.-2015	Ago.-2015	Promedio (mmhg)
Guaymaral	564.6	564.7	564.5	564.6
Kennedy	564.3	564.3	564.1	564.2
Las Ferias	565.1	565.1	564.9	565.0
Promedio	564.7	564.7	564.5	564.6

## 4.6. Humedad Relativa

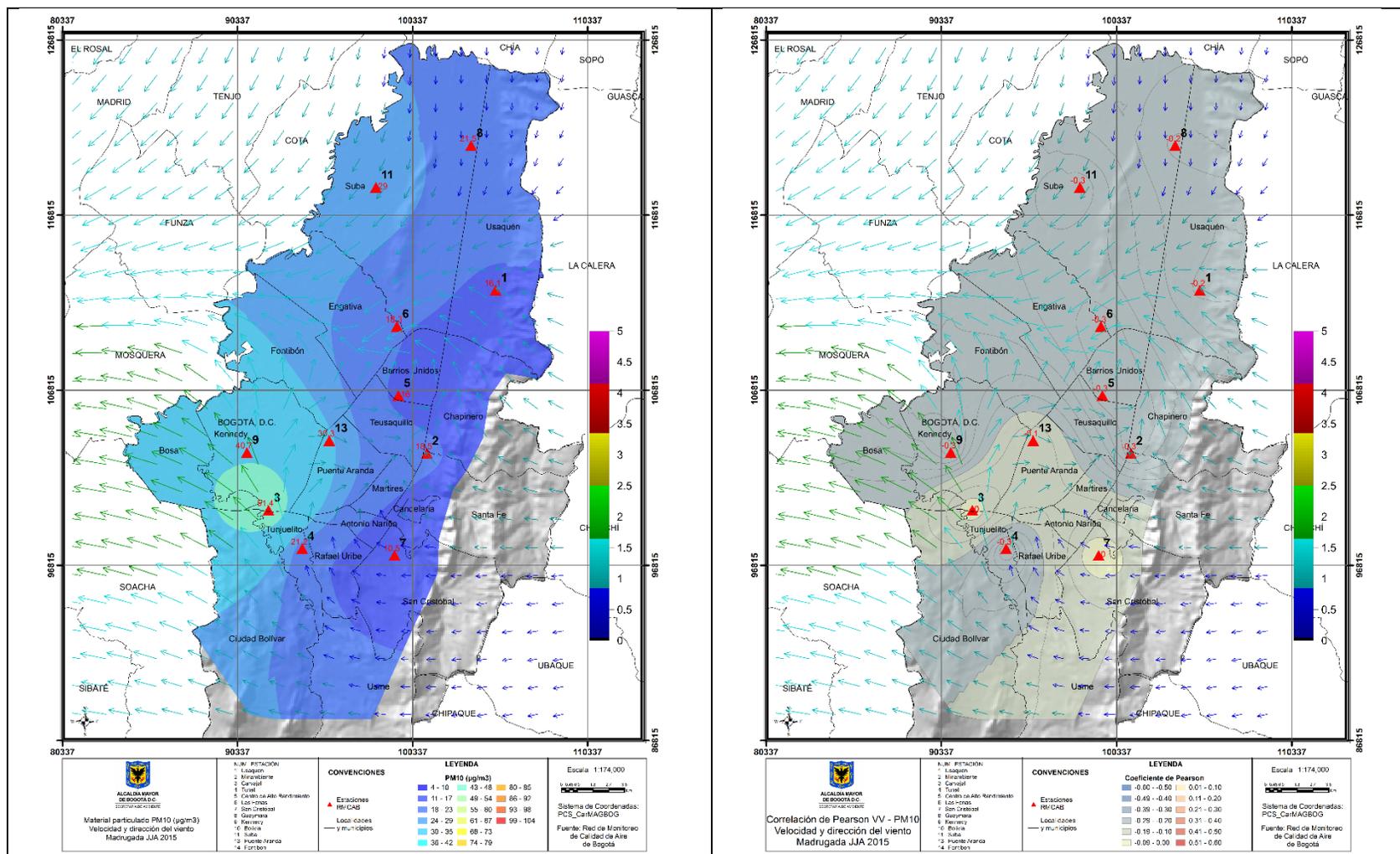
La humedad relativa fue monitoreada por las estaciones de la RMCAB que se presentan en la tabla 1.1. En la Tabla 4-9 se presentan los promedios mensuales de las estaciones de la RMCAB.

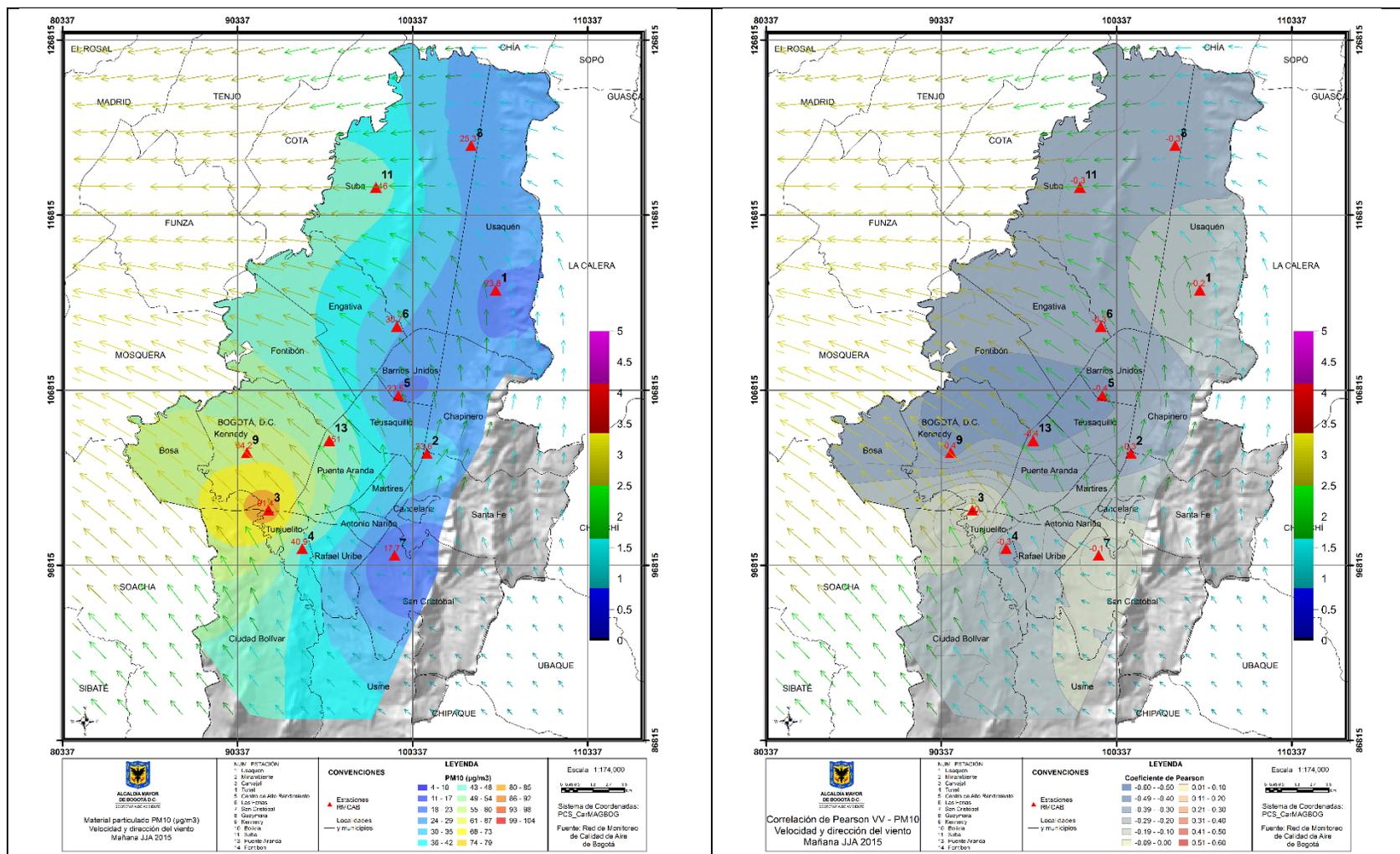
Tabla 4-9. Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año.

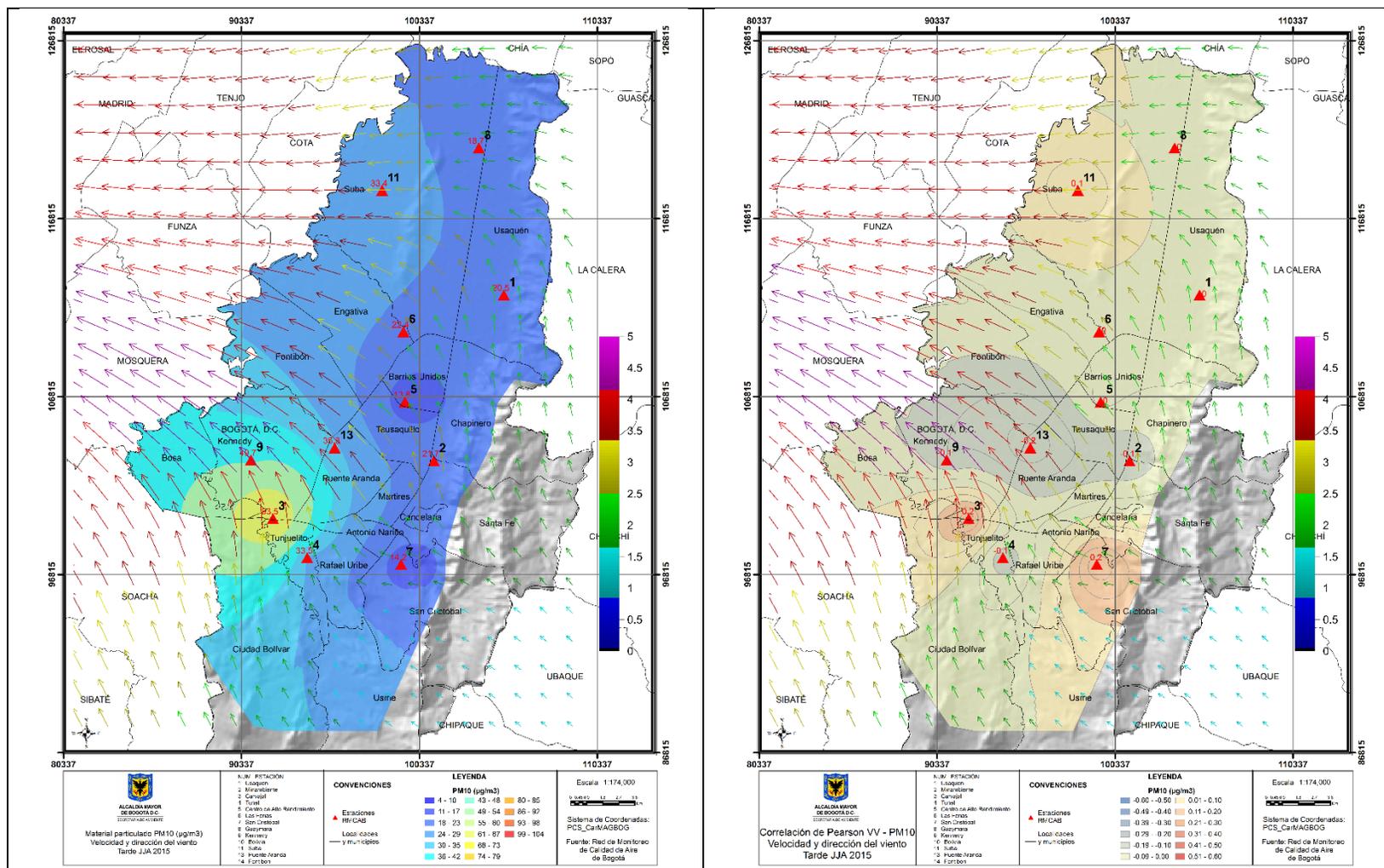
Estación	dic.-2014	ene.-2015	feb.-2015	promedio
Centro de Alto Rendimiento	68.8	66.1	64.8	66.6
Guaymaral	68.3	67.2	66.1	67.2
Kennedy	66.5	62.8	61.8	63.7
Las Ferias	64.3	62.4	60.7	62.5
San Cristóbal	59.8	58.2	57.6	58.5
Tunal	64.1	62.5	61.2	62.6
Promedio	65.3	63.2	62	63.5

## 5. Meteorología y Calidad del Aire

Este capítulo presenta de manera resumida las posibles relaciones existentes entre la concentración de material particulado  $PM_{10}$  y 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  $PM_{10}$  en estos grupos horarios con sus respectivos vectores de viento (mapas del costado izquierdo) y se presenta la interpolación del coeficiente de correlación de Pearson obtenido a partir de los valores de velocidad del viento y de material particulado  $PM_{10}$ , a los cuales se le ha sobrepuesto los vectores de viento también interpolados (mapas de la derecha). De manera general y a diferencia de otros trimestres, la dirección del viento tendió a predominar del sureste – este en los grupos horarios, en horas de la madrugada con velocidades poco significativas como es de esperarse y con correlaciones que en su mayoría apoyaban la dispersión del material particulado. Se notan valores ostensiblemente bajos de  $PM_{10}$  al oriente de la ciudad, condición que tendió a mantenerse en la mañana aunque hacia el occidente de la capital los valores se incrementaron de manera significativa, particularmente en el sur de Kennedy. En este grupo horario los coeficientes de correlación mostraron dispersión que predominó en gran parte del área salvo en el sur donde no se apreciaron valores significativos. Por la tarde, vientos de mayor intensidad con dirección SE recogían material particulado y lo transportaban a las estaciones del sur de la ciudad especialmente las de San Cristóbal y Carvajal. A esta hora es común 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. Por la noche se mantienen valores elevados de contaminación en la zona occidental, con vientos muy similares a las franjas anteriores con valores máximos de hasta 3.5 m/s. Comparado con periodos anteriores se vio una disminución importante de la concentración de material particulado, entre otras razones asociado a la prevalencia del viento del este sureste lo que facilitó el transporte de los contaminantes fuera de la ciudad.







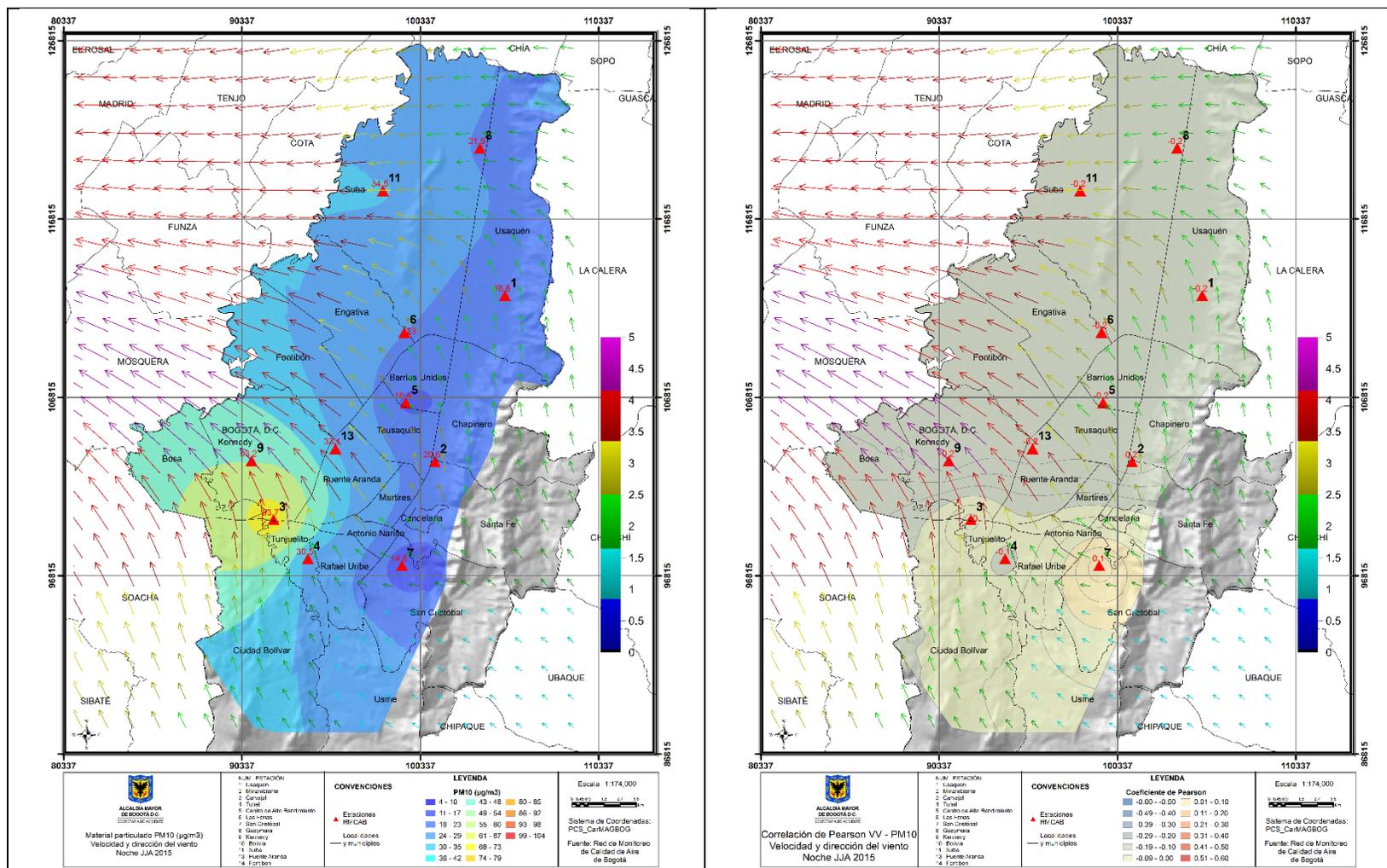


Figura 5-4. PM10 (Superficie en colores figura de la izquierda); Coeficiente de correlación de Pearson (Superficie en colores figura de la derecha) velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá, horas de la noche del trimestre JJA.

## 6. Episodio de máxima concentración

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 22 de agosto de 2015, las estaciones de la red registraron un aumento considerable en concentración de material particulado, de manera que se presentará un análisis de caso para el día.

### 22 de agosto de 2015

El 22 de agosto de 2015 se presentó el episodio de máxima concentración de material particulado del trimestre 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 siguiente (debido a la ausencia de datos para el periodo en mención) en el aeropuerto internacional EIDorado. Según los índices de estabilidad presentados en el diagrama (Lift = 3.15, CAPE = 0.0) 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 con vientos predominantes del este generando algunas precipitaciones de carácter ligero, registradas en las estaciones de la RMCAB. A la hora de la medida no había inversiones térmicas por lo cual se esperaba una corta permanencia de concentración de PM<sub>10</sub> durante las primeras horas del día. No obstante el flujo del suroeste - oeste pudo transportar contaminación de las afueras de la ciudad, en particular en la zona suroccidental en la localidad de Kennedy, como se observa en el mapa de la Figura 6-2. Esta condición pudo explicar el incremento de la concentración en particular para este día comparado con el resto de días del trimestre.

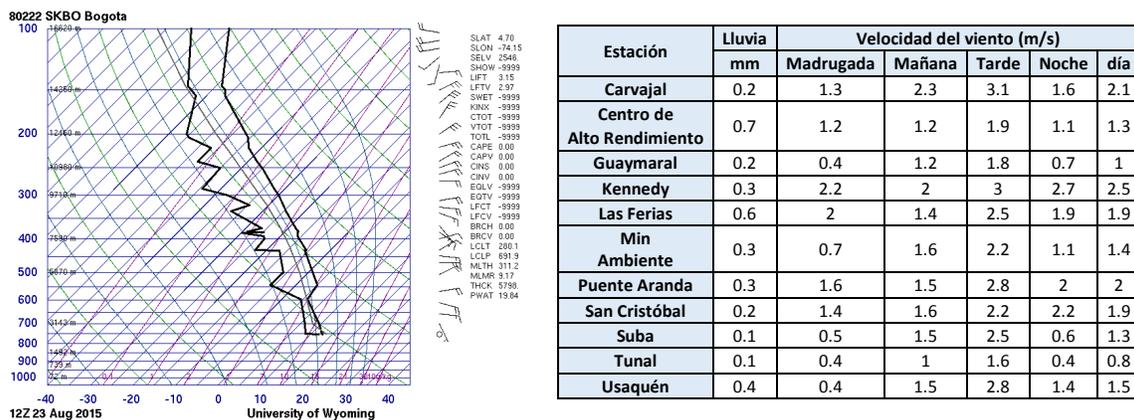


Figura 6-1. Perfil vertical atmosférico medido por la radiosonda del IDEAM el 22 de agosto de 2015, en el aeropuerto internacional EIDorado. Tomado de la Universidad de Wyoming. Acumulado de lluvia y velocidad del viento en las 24 h.

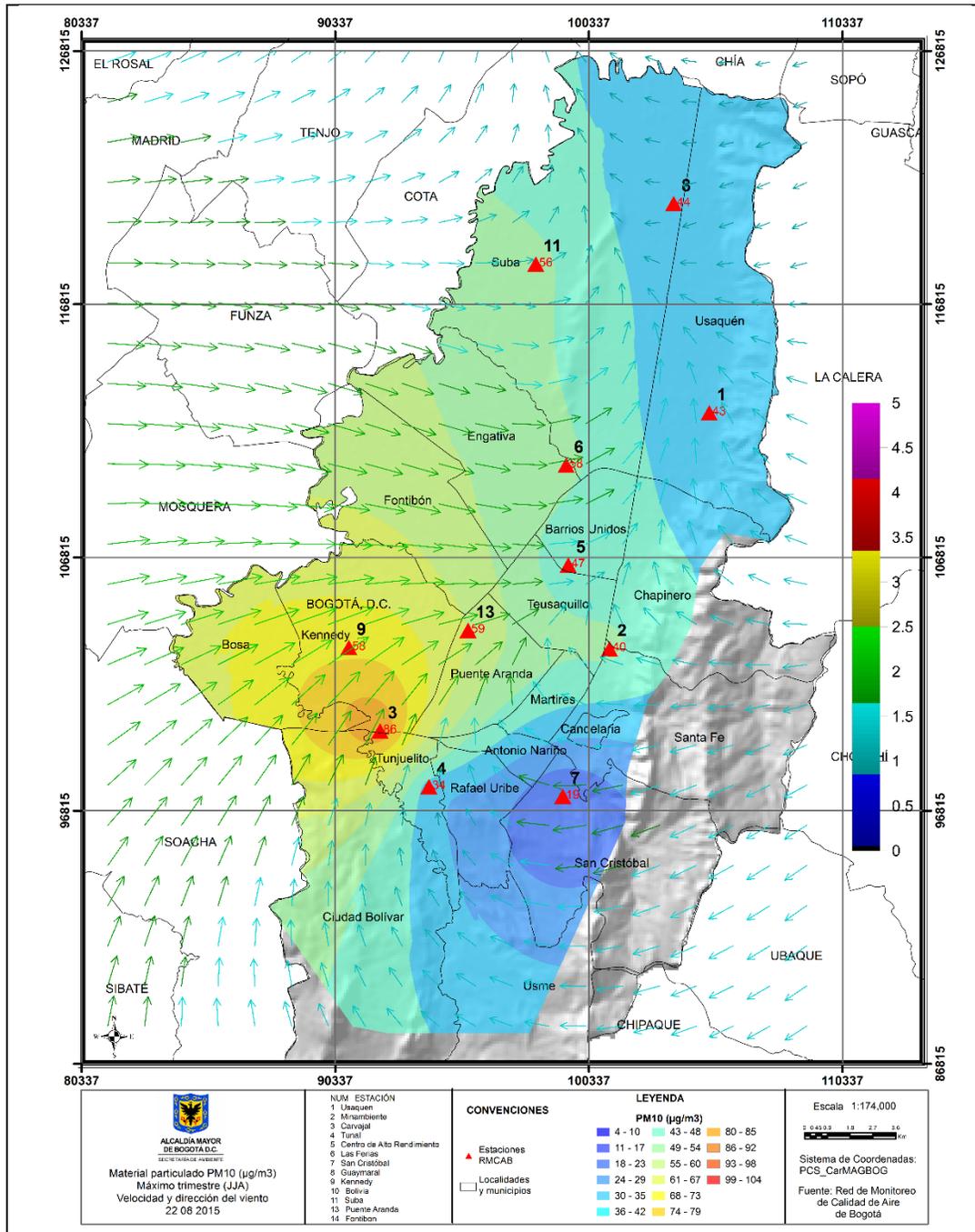


Figura 6-2 (a) PM<sub>10</sub> (Superficie en colores figura); velocidad y dirección (vectores) del viento en Bogotá para el 22 de agosto de 2015.

## Bibliografía

- Carslaw, D. (2013). *The openair manual - open source tool for analyzing air pollution data. Manual for version 0.9-0*. King's College London.
- Carslaw, D., & Ropkins, K. (2012). openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software, Volume 27-28*, 52-61.
- El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion*. (s.f.). Recuperado el febrero de 2014, de Climatic Prediction Center: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)
- European Commission - Environment. (22 de agosto de 2014). *Air Quality Standards*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
- Hurtado, G. (2000). La precipitación en Colombia. Bogotá.
- Hurtado, G. (s.f.). La precipitación en Colombia.
- IDEAM. (2004). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá, Colombia.
- IDEAM. (2013). *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*. (2013). Recuperado el junio de 2013, de sitio web de IDEAM: [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.
- 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 Niño/ La Niña episodes (1950-present)*. Obtenido de [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ppm: partes por millón.

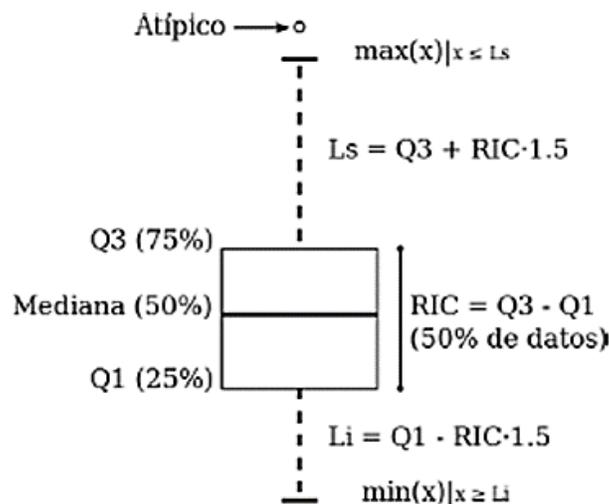
ppb: partes por billón.

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

## Anexos

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

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



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

El gráfico es construido con base en un conjunto de datos de los cuales se presume una distribución normal o gaussiana. El conjunto de datos se ordena en forma ascendente, luego los puntos presentados en el gráfico corresponden así: **mediana**, equivale al valor correspondiente al 50% de los datos. **Q1**, cuartil 1, equivale al valor correspondiente al 25% de los datos. **Q3**, cuartil 3, equivale al valor correspondiente al 75% de los datos. **Li**, límite inferior, corresponde a  $Q_1 - (RIC \times 1.5)$ , donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ( $Q_3 - Q_1$ ). **Ls**, límite superior, corresponde a  $Q_3 + (RIC \times 1.5)$ , donde RIC equivale al Rango Intercuartílico ( $Q_3 - Q_1$ ). A los puntos por fuera de los límites se les llama valores **atípicos**.

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

P: presión atmosférica [Pa]

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

T: temperatura absoluta [K]

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

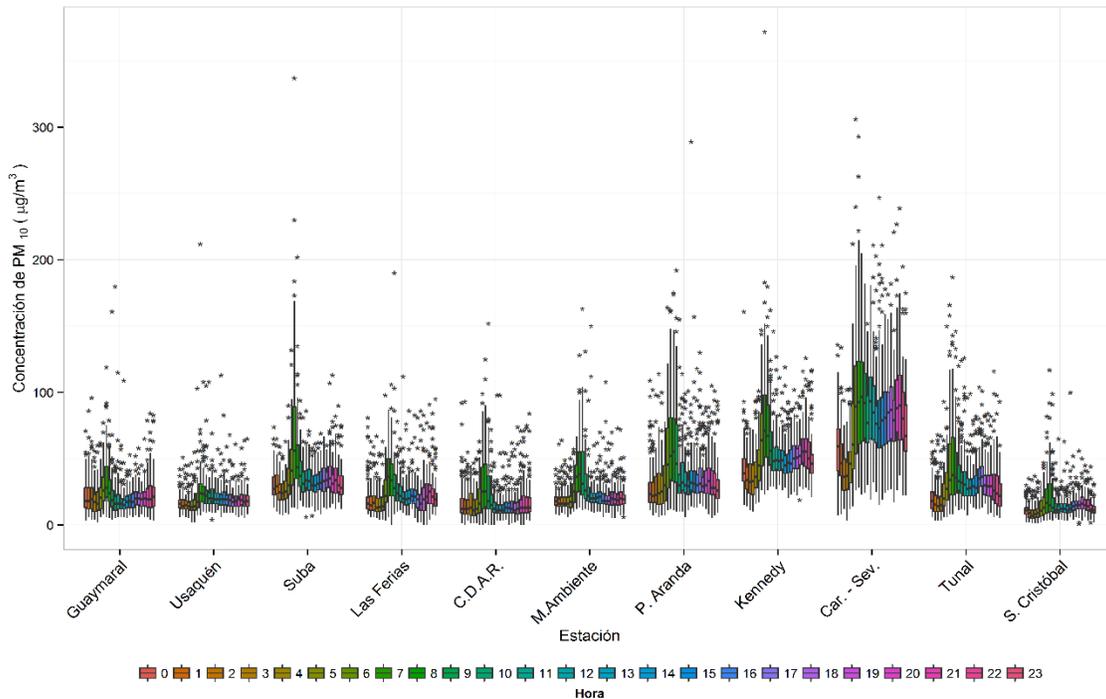


Figura B-1. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>10</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.

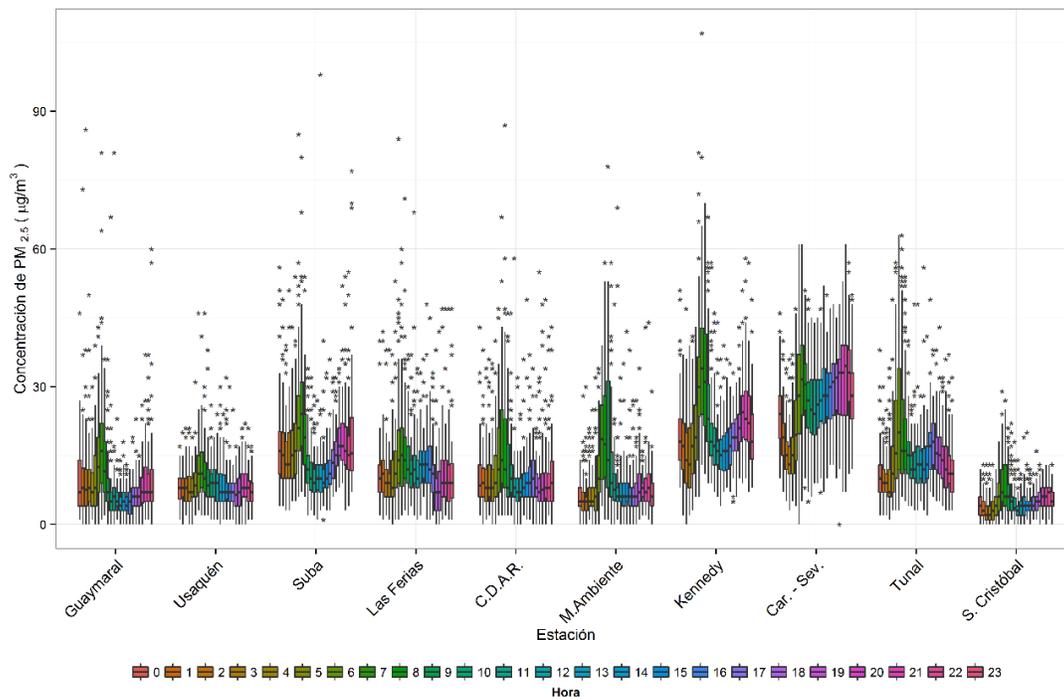
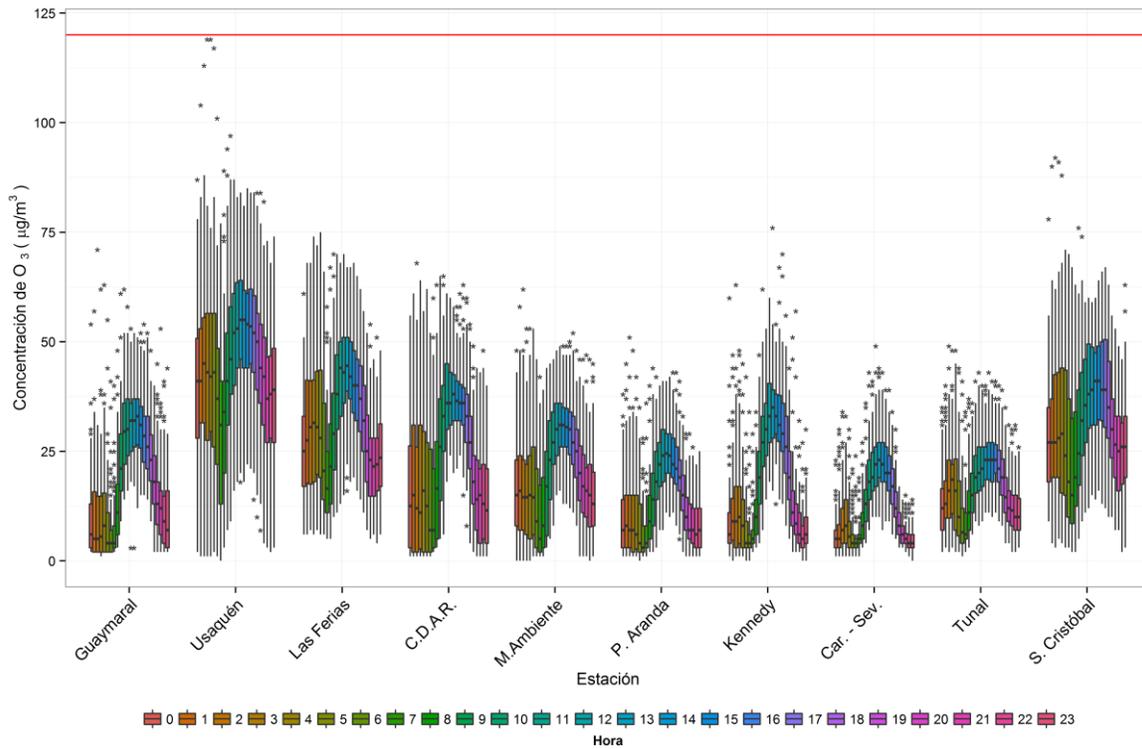
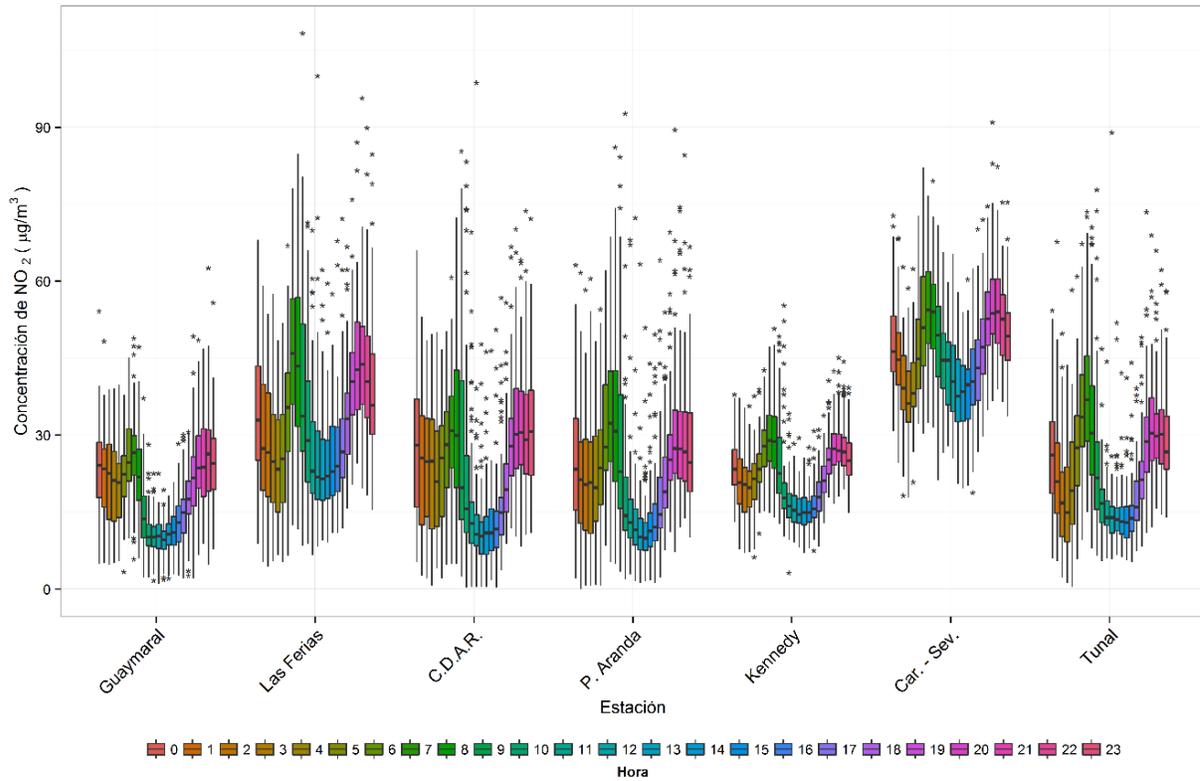


Figura B-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>2.5</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.



**Figura B-3.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de O<sub>3</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.



**Figura B-4.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO<sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.

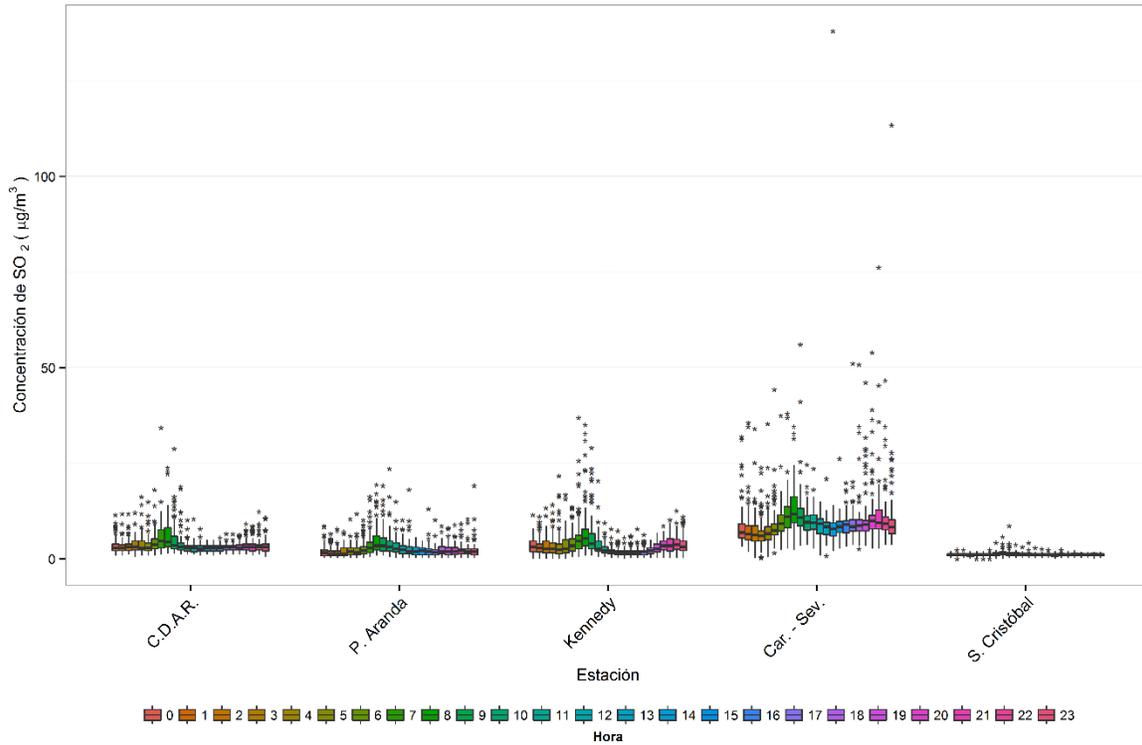
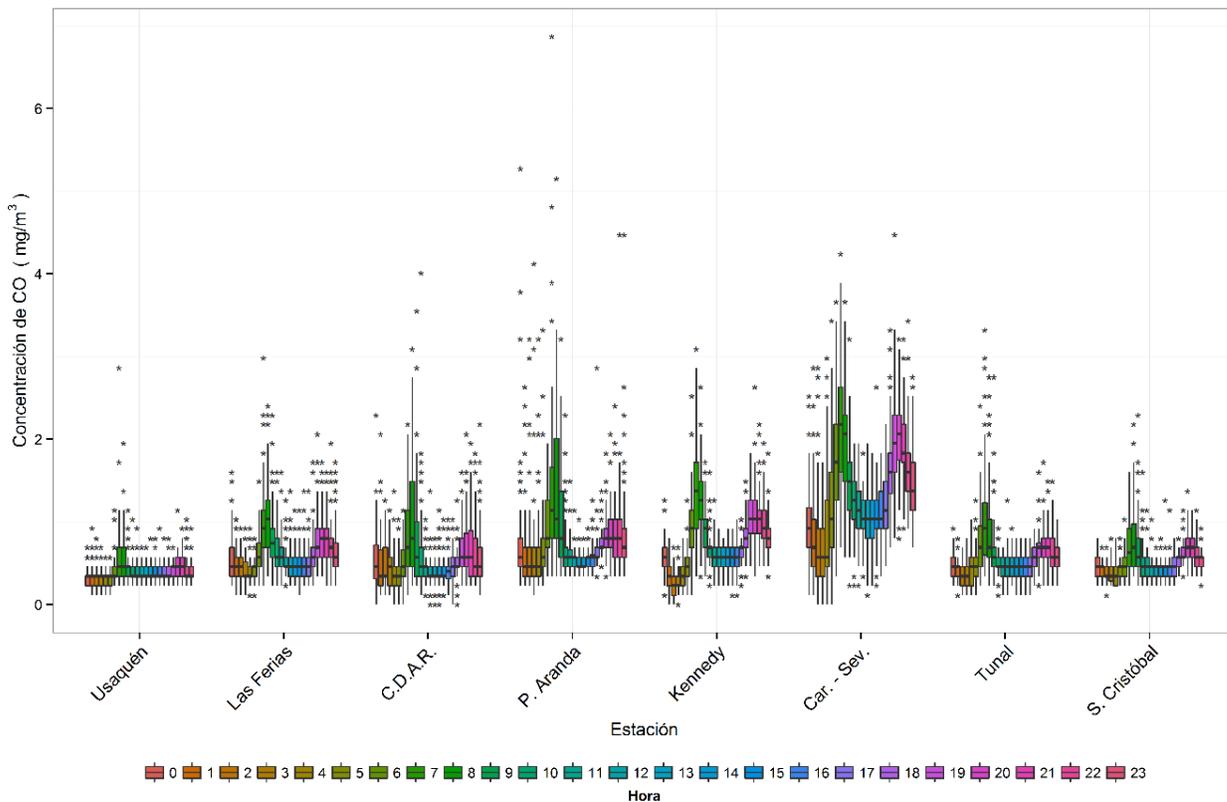


Figura B-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO<sub>2</sub> por estación durante el periodo JJA 2015.



**Figura B-6.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo JJA 2015.

ÚLTIMA PÁGINA  
FIN DEL INFORME