



**ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.**

---

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE

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

## **Año 2015**

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

#### **Bogotá D.C. 2016**

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



**Enrique Peñalosa Londoño**  
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

**Francisco José Cruz Prada**  
Secretario Distrital de Ambiente

**Carlos Arturo Puerta Cárdenas**  
Subsecretario Distrital de Ambiente

**Oscar Ferney López Espitia**  
Directora de Control Ambiental

**Oscar Alexander Ducuara Falla**  
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

**Henry Torres Posada**  
Coordinador RMCAB

**John Freddy Grajales**  
**Nicolás Cuadros Rubio**  
**Leonardo Quiñones Cantor**  
Grupo de Validación y Análisis de la RMCAB

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

Secretaría Distrital de Ambiente  
– SDA –

© Julio de 2016, Bogotá - Colombia  
Informe anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C.

Año 2016.  
Impreso en Colombia – Printed in Colombia

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

## Informe Anual 2015

**Julio de 2016**

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

## Tabla de Contenido

Resumen ejecutivo .....	15
Introducción .....	20
1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED .....	21
1.1. Características generales .....	21
1.2. Normatividad vigente .....	24
2. Indicadores de operación y desempeño .....	25
2.1. Porcentaje de captura de datos .....	25
2.2. Porcentaje de datos válidos .....	27
3. Evaluación y análisis de contaminantes.....	29
3.1. Material particulado – MP o PM ( <i>Particulate Matter</i> ) .....	29
3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST .....	30
3.1.2. Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> .....	38
3.1.3. Comportamiento de la concentración de PM <sub>2.5</sub> .....	53
3.1.4. Relación de concentración PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> .....	69
3.2. Gases contaminantes .....	70
3.2.1. Comportamiento de la concentración de O <sub>3</sub> .....	72
3.2.2. Comportamiento de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	84
3.2.3. Comportamiento de la concentración de SO <sub>2</sub> .....	97
3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO .....	110
3.3. Índices de calidad del aire .....	118
3.3.1. Índice de Calidad del Aire - ICA.....	118
3.3.1.1. Índice de calidad del aire para PM <sub>10</sub> .....	118
3.3.1.2. Índice de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> .....	121
3.3.1.3. 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> ). .....	123
3.3.2. Índice Bogotano de Calidad del Aire - IBOCA.....	125
3.3.2.1. IBOCA para PM <sub>10</sub> .....	125
3.3.2.2. Índice de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> .....	127
3.3.2.3. Índice de calidad del aire para ozono (O <sub>3</sub> ), dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ), monóxido de carbono (CO).....	129
3.4. Síntesis de resultados .....	131
4. Evaluación y análisis de variables meteorológicas.....	143
4.1. Precipitación.....	143

---

4.2. Vientos .....	149
4.3. Temperatura Superficial.....	155
4.4. Radiación solar .....	160
4.5. Presión Atmosférica.....	162
4.6. Humedad Relativa .....	163
Bibliografía.....	164
Glosario .....	166
Anexos .....	171

## Índice de figuras

<b>Figura 1-1.</b> Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2015.....	22
<b>Figura 2-1.</b> Porcentaje de captura de datos agrupados por instrumento de medición. Año 2015. ....	25
<b>Figura 2-2.</b> Porcentaje de captura de datos agrupados por estación de medición. Año 2015. ....	26
<b>Figura 2-3.</b> Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2015. ....	27
<b>Figura 2-4.</b> Porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. Año 2015. ....	28
<b>Figura 3-1.</b> Concentración máxima de PST durante el año 2015. Base diaria.....	31
<b>Figura 3-2.</b> Calendario de concentración con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el.....	32
<b>Figura 3-3.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. Año 2015. ....	33
<b>Figura 3-4.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los meses del año 2015.....	34
<b>Figura 3-5.</b> Comportamiento de la concentración de PST anual en el en el ciclo horario, ciclo semanal y ciclo horario desagregado por días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. ....	35
<b>Figura 3-6.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para PST multianual en el año 2015. ....	36
<b>Figura 3-7.</b> Gráfico de <i>cajas</i> para PST multianual años 2011-2015.....	37
<b>Figura 3-8.</b> Concentración anual de PM <sub>10</sub> durante el año 2015 por estación de monitoreo .....	39
<b>Figura 3-9.</b> Concentración de Material particulado (PM <sub>10</sub> ) con base en la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios anuales de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015.....	40
<b>Figura 3-10.</b> Máximos y excedencias de PM <sub>10</sub> en base diaria para al año 2015.....	42
<b>Figura 3-11.</b> Calendario de concentración para PM <sub>10</sub> durante el año 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> . ....	44
<b>Figura 3-12.</b> Calendario de concentración para PM <sub>10</sub> durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. ....	45
<b>Figura 3-13.</b> Calendario de concentración para PM <sub>10</sub> durante el año 2015 en la estación San Cristobal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.....	46
<b>Figura 3-14.</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 año 2015. ....	48
<b>Figura 3-15.</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 año 2015. ....	49
<b>Figura 3-16.</b> Comportamiento de la concentración de PM <sub>10</sub> en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen captura de datos superior a 75%. ....	50
<b>Figura 3-17.</b> Ciclo diario de PM <sub>10</sub> para 11 estaciones de la RMCAB en el año.....	51
<b>Figura 3-18.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para las concentraciones diarias de PM <sub>10</sub> por estación de monitoreo en el para los años 2011 a 2015. ....	52

<b>Figura 3-19.</b> Promedios anuales de PM <sub>2.5</sub> durante el año 2015 por estación de monitoreo.	54
<b>Figura 3-20.</b> Concentración 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 captura de datos superior a 75%. Año 2015.	55
<b>Figura 3-21.</b> Máximos y excedencias de PM <sub>2.5</sub> en base diaria para al año 2015.	56
<b>Figura 3-22.</b> Calendario de concentración para PM <sub>2.5</sub> durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita las excedencias del respectivo límite máximo permisible (50 µg/m <sup>3</sup> ).	59
<b>Figura 3-23.</b> Calendario de concentración para PM <sub>2.5</sub> durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.	60
<b>Figura 3-24.</b> Calendario de concentración para PM <sub>2.5</sub> para el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.	61
<b>Figura 3-25.</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 año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%.	63
<b>Figura 3-26.</b> Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de los meses del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%.	63
<b>Figura 3-27.</b> Comportamiento de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> en el ciclo semanal para el año 2015. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.	64
<b>Figura 3-28.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por estación en el año 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.	65
<b>Figura 3-29.</b> Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM <sub>2.5</sub> en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% para el año 2015.	68
<b>Figura 3-30.</b> Máximos y excedencias de la norma de O <sub>3</sub> en base horaria por estación durante el año 2015.	73
<b>Figura 3-31.</b> 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 año 2015.	76
<b>Figura 3-32.</b> Concentración de ozono en Bogotá a partir de la interpolación espacial por el método <i>Kriging</i> de los promedios móviles de 8 horas en cada una de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Año 2015.	77
<b>Figura 3-33.</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 el año 2015.	78
<b>Figura 3-34.</b> Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del año y captura de datos superior a 75% para 2015.	79
<b>Figura 3-35.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. Año 2015	80
<b>Figura 3-36.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día. Año 2015.	81
<b>Figura 3-37.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> de O <sub>3</sub> en función de las estaciones de monitoreo en el año 2015 entre los años 2011 y 2015 (con base en promedios móviles de 8 horas).	82
<b>Figura 3-38.</b> Promedios anuales de NO <sub>2</sub> basados en datos diarios durante el año 2015 por estación de monitoreo.	85
<b>Figura 3-39.</b> Máximos y excedencias de los datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación durante el año 2015.	86

<b>Figura 3-40.</b> Excedencias y concentraciones máximas de NO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el año 2015.....	87
<b>Figura 3-36.</b> Calendario de concentración para NO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> .....	89
<b>Figura 3-37.</b> Calendario de concentración para NO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> .....	90
<b>Figura 3-38.</b> Calendario de concentración para NO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Guaymaral. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m <sup>3</sup> .....	91
<b>Figura 3-44.</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 captura de datos superior a 75%. Año 2015.....	93
<b>Figura 3-45.</b> Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO <sub>2</sub> en función de los meses del año 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con captura de datos mayor a 75%.....	94
<b>Figura 3-46.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para cada uno de los monitores con captura de datos temporal igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.....	95
<b>Figura 3-47.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de NO <sub>2</sub> para los monitores con captura de datos igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.....	95
<b>Figura 3-48.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para NO <sub>2</sub> por estaciones en base diaria para el periodo 2011 a 2015. ....	96
<b>Figura 3-46.</b> Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con captura de datos igual o superior a 75% durante el año 2015.....	98
<b>Figura 3-50.</b> Máximos y número de excedencias de SO <sub>2</sub> con base en promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2015. ....	99
<b>Figura 3-51.</b> Concentraciones máximas y número de excedencias de SO <sub>2</sub> en base diaria por estación para el año 2015.....	100
<b>Figura 3-52.</b> Calendario de concentración para SO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m <sup>3</sup> .....	101
<b>Figura 3-53.</b> Calendario de concentración para SO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Kennedy Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m <sup>3</sup> . ....	102
<b>Figura 3-54.</b> Calendario de concentración para SO <sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m <sup>3</sup> . ....	103
<b>Figura 3-55.</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 año 2015.....	105
<b>Figura 3-56.</b> Comportamiento de las concentraciones diarias de SO <sub>2</sub> en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.....	105
<b>Figura 3-57.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%. ....	106

<b>Figura 3-58.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de SO <sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	107
<b>Figura 3-59.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para SO <sub>2</sub> en base diaria por estación de monitoreo en el periodo 2011-2015	108
<b>Figura 3-60.</b> Presentación del Gráfico de <i>cajas</i> para SO <sub>2</sub> en base diaria como promedio para el periodo 2011 a 2015	108
<b>Figura 3-61.</b> Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2015.	110
<b>Figura 3-62.</b> Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2015.	112
<b>Figura 3-63.</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 año 2015.	113
<b>Figura 3-64.</b> Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.	114
<b>Figura 3-65.</b> Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	115
<b>Figura 3-66.</b> Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2015 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.	115
<b>Figura 3-67.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo a través de los años 2011 a 2015.	116
<b>Figura 3-68.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> para CO en base diaria como promedio 8 horas para el periodo 2011 a 2015	117
<b>Figura 3-69.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM <sub>10</sub> por estación. Año 2015	120
<b>Figura 3-70.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM <sub>10</sub> por mes. Año 2015.	120
<b>Figura 3-71.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM <sub>10</sub> por días de la semana. Año 2015.	120
<b>Figura 3-72.</b> Índice de Calidad del Aire promedio de PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para año 2015.	120
<b>Figura 3-73.</b> Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> por estación para el año 2015.	122
<b>Figura 3-74.</b> Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM <sub>2.5</sub> en el año 2015.	122
<b>Figura 3-75</b> Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana para el año 2015	122
<b>Figura 3-76.</b> Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM <sub>2.5</sub> en el año 2015	122
<b>Figura 3-77.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O <sub>3</sub> ). Base de 8 horas. ...	124
<b>Figura 3-78.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Base diaria.	124
<b>Figura 3-79.</b> Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.	124
<b>Figura 3-80.</b> Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para pm <sub>10</sub> por estación. Año 2015	126

<b>Figura 3-81.</b> Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm <sub>10</sub> por mes. Año 2015	126
<b>Figura 3-82.</b> Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm <sub>10</sub> por días de la semana. Año 2015	126
<b>Figura 3-83.</b> IBOCA promedio de PM <sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para año 2015.	126
<b>Figura 3-84.</b> Proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM <sub>2.5</sub> por estación para el año 2015.	128
<b>Figura 3-85.</b> Proporción relativa del IBOCA por meses para PM <sub>2.5</sub> en el año 2015.	128
<b>Figura 3-86.</b> IBOCA de PM <sub>2.5</sub> por día de la semana para el año 2015	128
<b>Figura 3-87.</b> IBOCA promedio por estación para PM <sub>2.5</sub> en el año 2015	128
<b>Figura 3-88.</b> IBOCA promedio para ozono (O <sub>3</sub> ). Base de 8 horas.	129
<b>Figura 3-89.</b> IBOCA promedio para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Base 1 hora.	129
<b>Figura 3-90.</b> IBOCA promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.	130
<b>Figura 4-1</b> Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 2000-2014, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.	144
<b>Figura 4-2.</b> Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 2000 hasta 2015.	145
<b>Figura 4-3.</b> Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.	146
<b>Figura 4-4.</b> Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.	147
<b>Figura 4-5.</b> Mapa de acumulado de precipitación de las estaciones de la RMCAB en periodo. Anomalía de precipitación en la ciudad de Bogotá.	148
<b>Figura 4-6.</b> Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA.	149
<b>Figura 4-7.</b> Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.	150
<b>Figura 4-8</b> Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto EIDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM.	151
<b>Figura 4-9.</b> Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año	152
<b>Figura 4-10.</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.	153
<b>Figura 4-11.</b> Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá.	154
<b>Figura 4-12.</b> Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2015.	155
<b>Figura 4-13.</b> Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2015.	156
<b>Figura 4-14.</b> Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000 - 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015.	157
<b>Figura 4-15</b> Temperatura promedio horario de las estaciones en 2015.	158
<b>Figura 4-16.</b> Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2015.	159
<b>Figura 4-17.</b> Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015.	161
<b>Figura 4-18.</b> Radiación trimestral de los últimos años.	162
<b>Figura 4-19.</b> Radiación mensual de los últimos años.	162
<b>Figura 4-20.</b> Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.	163

---

<b>Figura 0-1.</b> Presentación del gráfico de <i>cajas</i> con una descripción de sus componentes.	171
<b>Figura 0-2.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>10</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.	173
<b>Figura 0-3.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM <sub>2.5</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.	174
<b>Figura 0-4.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de O <sub>3</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.	174
<b>Figura 0-5.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO <sub>2</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.	175
<b>Figura 0-6.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO <sub>2</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.	176
<b>Figura 0-7.</b> Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015.	176

## Índice de tablas

<b>Tabla 1-1.</b> Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para año 2015.	23
<b>Tabla 1-2.</b> Técnicas de medición automáticas de los equipos de la RMCAB y métodos de referencia EPA.	24
<b>Tabla 1-3.</b> Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. Resolución 610 de 2010.	24
<b>Tabla 3-1.</b> Resumen de la captura de datos de PST para el año 2015.	30
<b>Tabla 3-2.</b> Resumen de promedios históricos de PST	37
<b>Tabla 3-3.</b> Concentración anual de PM <sub>10</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m <sup>3</sup>	38
<b>Tabla 3-4.</b> Resumen de la captura de datos diarios de PM <sub>10</sub> durante el año 2015.	43
<b>Tabla 3-5.</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 año 2015.	43
<b>Tabla 3-6.</b> Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de PM <sub>10</sub>	52
<b>Tabla 3-7.</b> Concentración anual de PM <sub>2.5</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m <sup>3</sup>	53
<b>Tabla 3-8.</b> . Resumen de la captura de datos diarios de PM <sub>2.5</sub> para el año 2015. Base de tiempo diaria.	57
<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.	57
<b>Tabla 3-10.</b> Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de PM <sub>2.5</sub>	68
<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 año 2015 y que tienen captura de datos superior a 75%.	69
<b>Tabla 3-12.</b> . Resumen de la captura de datos horarios de O <sub>3</sub> por estación para el año 2015.	72
<b>Tabla 3-13.</b> . Resumen de las concentraciones de O <sub>3</sub> en base 8 horas durante el año 2015.	75
<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 año 2015.	75
<b>Tabla 3-15.</b> Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de O <sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas	83
<b>Tabla 3-16.</b> Concentración anual de NO <sub>2</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m <sup>3</sup>	84
<b>Tabla 3-17.</b> . Resumen de la captura de datos horarios de NO <sub>2</sub> por estación para el año 2015.	86
<b>Tabla 3-18.</b> . Resumen de la captura de datos diarios de NO <sub>2</sub> por estación para el año 2015	88
<b>Tabla 3-19.</b> Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de NO <sub>2</sub> en base diaria.	96
<b>Tabla 3-20.</b> Concentraciones promedio anuales de SO <sub>2</sub> con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años.	97

<b>Tabla 3-21.</b> . Resumen de la captura de datos de SO <sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para año 2015.....	99
<b>Tabla 3-22.</b> . Resumen de la captura de datos diarios de SO <sub>2</sub> por estación para el año 2015. ....	100
<b>Tabla 3-23.</b> Resumen estadístico de los máximos diarios de SO <sub>2</sub> en los años 2011 a 2015. ....	109
<b>Tabla 3-24.</b> . Resumen de la captura de datos horarios de CO por estación para el año 2015 .....	111
<b>Tabla 3-25.</b> Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el año 2015 .....	112
<b>Tabla 3-26.</b> Resumen histórico de los promedios y máximos de concentración de CO en promedios móviles de 8 horas .....	117
<b>Tabla 3-27.</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). ....	118
<b>Tabla 3-28.</b> Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015 ....	125
<b>Tabla 3-29.</b> Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), Año 2015. ....	132
<b>Tabla 3-30.</b> Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ). Año 2015.....	133
<b>Tabla 3-31.</b> Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ). Año 2015. ....	134
<b>Tabla 3-32.</b> Consolidado de los promedios horarios de O <sub>3</sub> , Año 2015. ....	135
<b>Tabla 3-33.</b> Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O <sub>3</sub> . Año 2015.....	136
<b>Tabla 3-34.</b> Consolidado de los promedios horarios de NO <sub>2</sub> . Año 2015.....	137
<b>Tabla 3-35.</b> Consolidado de los promedios diarios de NO <sub>2</sub> . Año 2015. ....	138
<b>Tabla 3-36.</b> Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO <sub>2</sub> . Año 2015 .....	139
<b>Tabla 3-37.</b> Consolidado de los promedios diarios de SO <sub>2</sub> . Año 2015. ....	140
<b>Tabla 3-38.</b> Consolidado de los promedios horarios de CO. Año 2015.....	141
<b>Tabla 3-39.</b> Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Año 2015.....	142
<b>Tabla 4-1.</b> Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2015. ....	144
<b>Tabla 4-2.</b> Acumulados de los años 2000 a 2015 por estación.....	145
<b>Tabla 4-3.</b> valores de velocidad promedio, máxima y de dirección del viento predominante en las estaciones de la RMCAB.....	149
<b>Tabla 4-4.</b> Promedio de velocidad del viento para las estaciones de la RMCAB desde 2000 hasta 2015.....	150
<b>Tabla 4-5.</b> Promedios de temperatura media anual de las estaciones de la RMCAB 2000 a 2015. ....	156
<b>Tabla 4-6.</b> Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica. ....	157
<b>Tabla 4-7.</b> Radiación acumulada promedio mensual y anual de la RMCAB .....	160
<b>Tabla 4-8</b> Presión atmosférica trimestral multianual de las estaciones de la RMCAB....	163
<b>Tabla 4-9.</b> Porcentaje de representatividad de los datos de humedad relativa en el año. ....	163
<b>Tabla 0-1.</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. ....	172

**PAGINA DEJADA EN BLANCO  
INTENCIONALMENTE**

## Resumen ejecutivo

Para el año 2015, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) estuvo conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil; once monitorean contaminantes y variables meteorológicas y una monitorea exclusivamente variables meteorológicas (Bolivia). Estas estaciones están ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos automáticos que permiten registrar continuamente las concentraciones de los siguientes 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 las variables meteorológicas: precipitación, velocidad y dirección del viento, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica.

Los valores límites permisibles adoptados por la Secretaría de Ambiente de Bogotá son los estipulados por 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.

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2015 es 92% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el 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).

### Comportamiento de la concentración de PST

La máxima concentración diaria de partículas suspendidas totales (PST) fue de 225 µg/m<sup>3</sup>, del 01 de julio de 2015, sin embargo, la concentración promedio (104 µg/m<sup>3</sup>) se mantuvo por debajo del límite máximo permisible (300 µg/m<sup>3</sup>). Los meses de mayor concentración son febrero, marzo y abril y el más limpio fue junio. En la estación Carvajal-Sevillana se observa que los domingos y lunes presentan las menores concentraciones y los miércoles las mayores concentraciones. Las menores concentraciones para el ciclo diario promedio se presentaron en horas de la madrugada y las mayores en la mañana, entre 7:30 a.m. y 8:30 a.m. Los resultados evidencian el descenso paulatino de las concentraciones de este contaminante en los últimos cinco (5) años, siendo el año 2011 el de mayor concentración (130µg/m<sup>3</sup>) y el 2015 el de menor concentración (104µg/m<sup>3</sup>).

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

Con relación a la concentración de partículas inferiores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), el 27% de las estaciones (Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana), superan el límite anual permisible. Las mayores concentraciones anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana (86 µg/m<sup>3</sup>) y Kennedy (66 µg/m<sup>3</sup>). Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario (100 µg/m<sup>3</sup>), se presentaron un total de 135 excedencias las cuales tuvieron lugar en las estaciones: Puente Aranda (6), Kennedy con (29), Carvajal-Sevillana (98) y Tunal (2). Los días domingos presentan las menores concentraciones de PM<sub>10</sub>. En Los menores niveles de concentración se presentan en los meses junio, julio y agosto. Febrero es el mes con mayor número de días con excedencias de la norma diaria. En general, se observa que los meses con las mayores concentraciones

de PM<sub>10</sub> corresponden al inicio y final de año. En los ciclos diarios se observa que los picos de concentración de PM<sub>10</sub> ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 9:00 a.m., aunque los valores más altos se manifiestan en las estaciones Carvajal-Sevillana, Kennedy y Puente Aranda y Suba, y las menores en Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral, San Cristóbal y Usaquén.

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

Las mayores concentraciones promedio anuales de partículas inferiores a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) se presentan en las estaciones Carvajal-Sevillana (31 µg/m<sup>3</sup>) y Kennedy (27 µg/m<sup>3</sup>) y superan el límite anual permisible (25 µg/m<sup>3</sup>), comportamiento similar al obtenido para PM<sub>10</sub>. Con respecto al año anterior (2014), en cuatro (4) estaciones hay disminución de la concentración promedio anual. Mientras la estación Usaquén permanece invariable; la concentración anual de Suba supera en la unidad (1 µg/m<sup>3</sup>) el límite máximo permisible y es la única estación de la RMCAB, que presenta un incremento de este contaminante. Carvajal-Sevillana y Kennedy reportaron el mayor número de excedencias diarias (7), Tunal (4), Centro de Alto Rendimiento (1) y Ministerio de Ambiente (1). En la estación Carvajal-Sevillana se observa que los meses febrero, marzo, octubre y noviembre tuvieron las mayores concentraciones de contaminantes, en Suba se presentaron las mayores concentraciones en los meses febrero y marzo. En el ciclo anual se observa que en general, los meses junio, julio y agosto se presentaron los menores niveles de concentración, siendo junio el mes más favorable.

En el comportamiento semanal, las menores concentraciones se manifiestan los días domingo y en general los días martes a viernes, son los más contaminados. Carvajal-Sevillana presenta las mayores variabilidades diarias, mientras que, San Cristóbal y Usaquén presentan las concentraciones más estables. En todos los sitios de monitoreo a excepción de Usaquén 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-Sevillana, Kennedy y Tunal. 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.

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que a partir del año 2014 2015 se cuenta con disponibilidad de datos de 6 y 10 estaciones, respectivamente. Este incremento en el número de estaciones se debe a que desde octubre de 2013 se inició gradualmente la operación de monitores adicionales para este contaminante.

La baja captura de datos en 2014 y la falta de cobertura espacial antes en 2013 impiden establecer un comportamiento del PM<sub>2.5</sub> para todos los años analizados. Sin embargo, se observa una disminución en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en Kennedy comparado con años anteriores, en especial el año 2014; en Carvajal-Sevillana y Tunal también se observa un descenso en los niveles de concentración, mientras que en Suba se presenta un ligero aumento.

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 77µg/m<sup>3</sup> en el

año 2014, seguido por  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2011, muy superior a lo registrado para los demás años de análisis que oscilan entre  $55\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $66\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En general, se observa un descenso en la concentración de este contaminante como promedio ciudad, es decir como promedio aritmético de los valores obtenidos a través de los años.

#### Comportamiento de la concentración de $\text{O}_3$

La concentración máxima horaria de ozono ( $\text{O}_3$ ) reportada por la RMCAB fue  $176\mu\text{g}/\text{m}^3$  en Usaquén el 31 de octubre de 2015 a las 3:00 p.m. En esta misma fecha a las 2:00 p.m. se presentaron máximos en las estaciones de MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana, y San Cristóbal. De otra parte, en ocho (8) de las once (11) estaciones con analizadores de ozono se presentaron excedencias a la norma horaria ( $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y a la norma de 8 horas ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El máximo promedio móvil de 8 horas registrado en la RMCAB fue  $125\mu\text{g}/\text{m}^3$  en Usaquén el 13 de septiembre de 2015 a las 4:00 p.m. Se observa que febrero, septiembre y octubre abarcan el 68% de las excedencias anuales. En junio y julio no se presentaron excedencias. Las menores concentraciones fueron observadas en general para los meses mayo y junio, coincidiendo con los demás contaminantes. Las concentraciones más altas de ozono se presentan los días domingos y lunes.

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 y Tunal), tienden a registrar niveles bajos de ozono. 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.

En ocho (8) estaciones de las once (11) activas que registran la concentración de este contaminante se presentaron excedencias a la norma de 8 h ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para destacar, la estación de Usaquén presentó el 75% de las excedencias de la RMCAB, seguida por Centro de Alto Rendimiento y Kennedy con 6% cada una. La estación Usaquén 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 elevados en horas de la noche.

En los periodos estudiados las concentraciones más altas se han observado en la estación Usaquén mientras que las más bajas se manifiestan en Carvajal-Sevillana y se nota un incremento apreciable en San Cristóbal y Las Ferias con relación a años anteriores. En los 5 años estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto es de  $26\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al año 2015.

#### Concentración de $\text{NO}_2$

Se observa que las mayores concentraciones anuales de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) se presentan en Carvajal-Sevillana ( $53\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Las ferias ( $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Puente Aranda se presentó una disminución de  $7\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en Guaymaral un leve aumento de  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el año 2015 no se registraron excedencias de la norma horaria ( $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de  $\text{NO}_2$ , y para un tiempo de exposición de 24 horas ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De igual manera se determina el cumplimiento de la norma anual ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Guaymaral, los meses con las mayores concentraciones corresponden a febrero y marzo en el primer semestre y a octubre y noviembre en el segundo semestre; las menores concentraciones de NO<sub>2</sub> se presentan en enero y junio.

Se observa que los domingos y lunes reportaron las concentraciones más bajas del año. En el ciclo diario, se observan dos picos de concentración correspondientes a la mañana (6:00 a.m. y 8:00 a.m.) y a la noche (8:00 a.m. y 10:00 a.m.). Al medio día ocurre una reducción significativa.

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

Con respecto a 2014, todas las estaciones redujeron la concentración anual bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Kennedy presentó el promedio anual de SO<sub>2</sub> más alto de la RMCAB con un valor de 5,4 µg/m<sup>3</sup> (frente a 7,3 µg/m<sup>3</sup> de Suba en el 2014), el cual establece un contraste con las otras tres estaciones que se encuentran en el rango comprendido entre 1,1 µg/m<sup>3</sup> (San Cristóbal) y 3,4 µg/m<sup>3</sup> (Centro de Alto Rendimiento). El límite máximo permisible anual de SO<sub>2</sub> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 80 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es notablemente superior a las concentraciones anuales registradas en la RMCAB.

Ningún máximo supero la norma para 3 horas, equivalente a 750 µg/m<sup>3</sup>. La máxima concentración reportada en la RMCAB fue 261 µg/m<sup>3</sup> en la estación Suba.

Los máximos monitoreados estuvieron por debajo del nivel establecido para la norma diaria (250 µg/m<sup>3</sup>). La máxima concentración diaria para las estaciones correspondió a 48,2 µg/m<sup>3</sup> el 26 de octubre de 2015 en la estación Carvajal-Sevillana y 24,4 µg/m<sup>3</sup> el 24 de octubre de 2015 en la estación Kennedy.

En general se puede ver un comportamiento muy estable de los valores de este contaminante a través de los días de la semana, siendo los días domingo, los que presentan valores de concentración ligeramente más bajos.

Los menores niveles de concentración se observan los domingos, seguidos de los lunes. Los días comprendidos entre martes y viernes mantienen niveles similares de concentración. Los perfiles diarios muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m.

Todas las estaciones cumplen la norma diaria y anual (250 µg/m<sup>3</sup> y 80 µg/m<sup>3</sup> respectivamente). La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados (2011 a 2015) fue 98 µg/m<sup>3</sup> en la estación Carvajal-Sevillana el 28 de marzo de 2011. Las concentraciones de los demás años se encuentran entre 32 µg/m<sup>3</sup> y 48 µg/m<sup>3</sup>.

#### Comportamiento de la concentración de CO

No se presentan excedencias de concentración de monóxido de carbono (CO) a la norma horaria (40 mg/m<sup>3</sup>) en el periodo de estudio. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB (Estación Carvajal-Sevillana) para el periodo 2015 fue 7,1 mg/m<sup>3</sup>.

Se observa que no se presentaron excedencias a la norma 8 horas ( $10\text{mg}/\text{m}^3$ ) y los máximos 8 horas del año están muy por debajo del valor límite. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio anuales fueron observadas en San Cristóbal y Usaqué, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. Los días domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menores valores de CO; seguido por los días lunes.

En general, en el ciclo horario, se observa un pico de concentración en la mañana, 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, pero los niveles de concentración de CO son notablemente inferiores a la norma ( $40000\text{ mg}/\text{m}^3$ ).

Se observó una reducción de los niveles de concentración entre los años 2011 a 2014, y hay un comportamiento estable entre 2014 y 2015. En general, se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones de este contaminante, y se reduce la dispersión estadística de los datos.

## 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 año 2015, la RMCAB estuvo conformada por 12 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil; las estaciones de monitoreo se dividen en once que monitorean contaminantes y variables meteorológicas y una que monitorea exclusivamente variables meteorológicas (Bolivia). Las estaciones de monitoreo de contaminantes están 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 promedios obtenidos a lo largo del año para cada uno de los contaminantes frente a las normas establecidas en la normatividad (Res 610 de 2010 del MAVDT). 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 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 año 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 consolidados de los análisis de las mediciones de concentraciones de contaminantes criterio para el año 2015, que corresponden a una síntesis por medio de tablas que permiten observar 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 (12) 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 de monitoreo de contaminantes 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 cambios de nombres en estaciones, que se han presentado en los últimos años: 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. Adicionalmente, la estación Fontibón tampoco reporta registros por cuanto está en proceso 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.

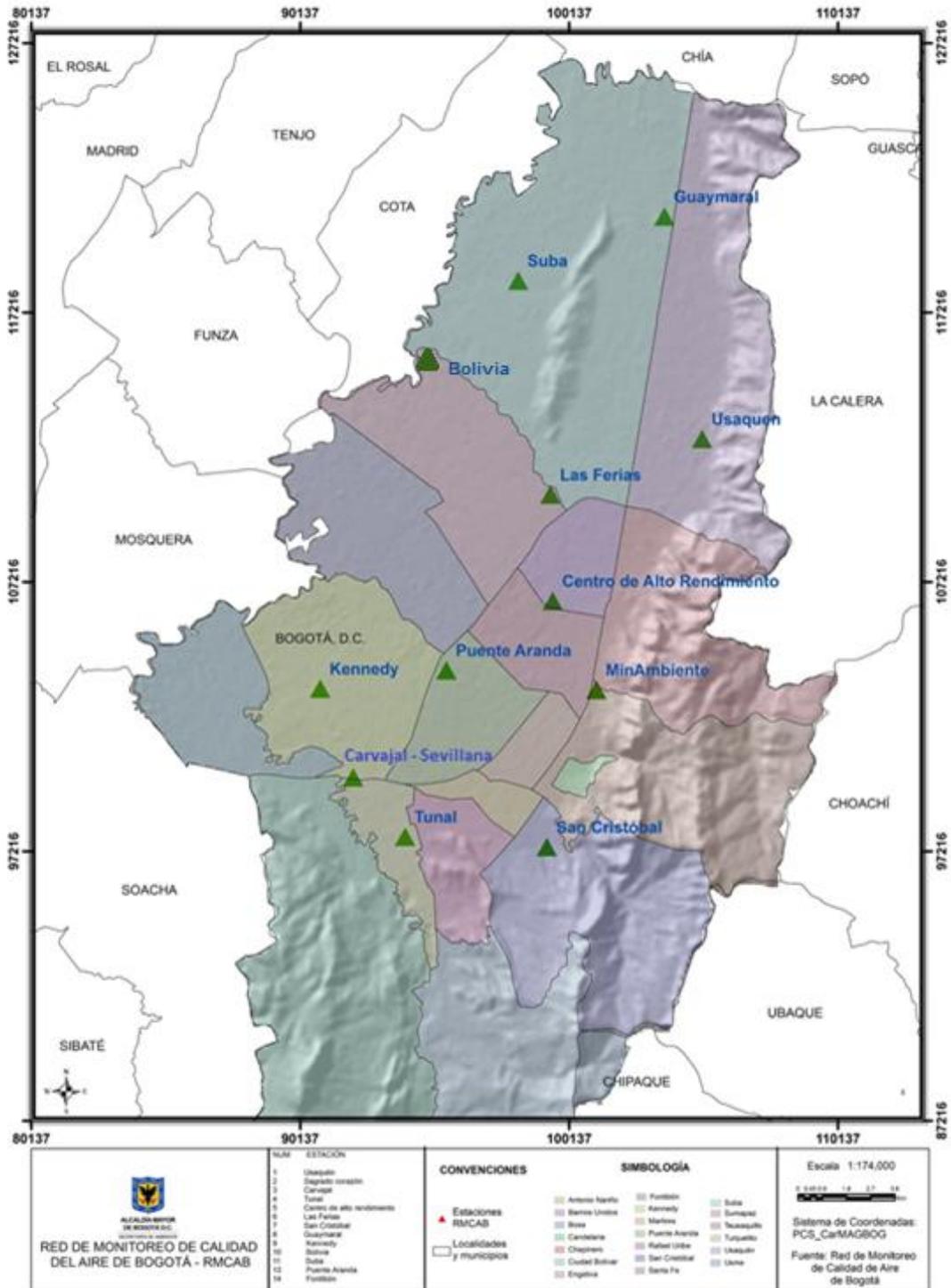


Figura 1-1. Distribución de las estaciones de monitoreo de contaminantes de la RMCAB en el año-2015

**Tabla 1-1.** Estaciones de monitoreo de la RMCAB y variables monitoreadas para año 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°47'15.2"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	X	
	O <sub>3</sub>	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	NO <sub>2</sub>	X				X	X		X	X	X	X	X	
	CO		X			X	X		X	X	X	X	X	
	SO <sub>2</sub>			X		X	X		X	X	X	X	X	
Var. Meteorológicas	V. Viento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	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	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 Alm.	X				X				X			X	

**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	EQQA-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

## 1.2. Normatividad vigente.

La normatividad de calidad del aire adoptada 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 permitidos 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 geométrico de las concentraciones diarias en 365 días.
	300	24 horas	Concentración promedio en 24 horas.
PM <sub>10</sub>	50	Anual	Promedio aritmético 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

Los indicadores de operación y desempeño permiten evaluar la calidad del servicio que prestan los sensores meteorológicos, los equipos de medición, las estaciones donde se instalan estos instrumentos y en general de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para registrar de datos. En esta sección se presentan los indicadores de operación y desempeño para el año 2015. En la primera parte se determina el porcentaje de datos capturados por instrumento (sensor, analizador, monitor) y por estación de monitoreo. De otra parte, en la segunda sección se determina el porcentaje de datos por instrumento y por estación de monitoreo.

### 2.1. Porcentaje de captura de datos

La Figura 2-1 presenta el porcentaje de captura de datos agrupados por instrumentos de medición de la RMCAB para el año 2015<sup>1</sup>, los 17 instrumentos tienen un estadístico superior al 75%. Los instrumentos meteorológicos tienen el mayor valor de datos capturados (>93%), mientras que para los instrumentos de medición de contaminantes los registros son del orden del 80%. La medición de SO<sub>2</sub> es el más débil de todos, causado por malfuncionamiento del analizador de la estación Tunal.

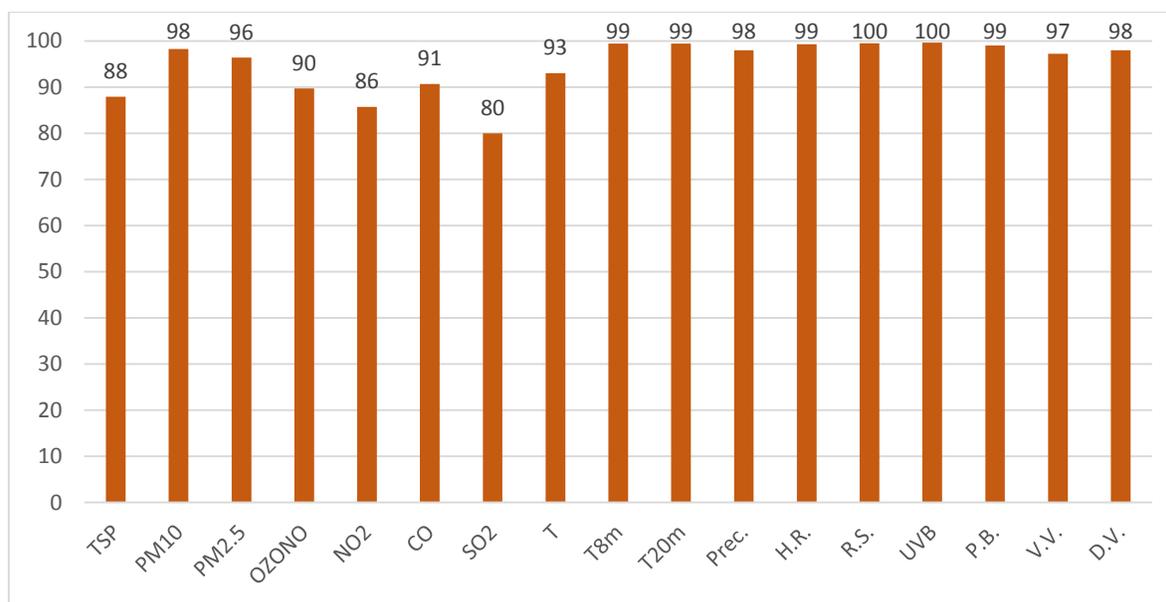


Figura 2-1. Porcentaje de captura de datos agrupados por instrumento de medición. Año 2015.

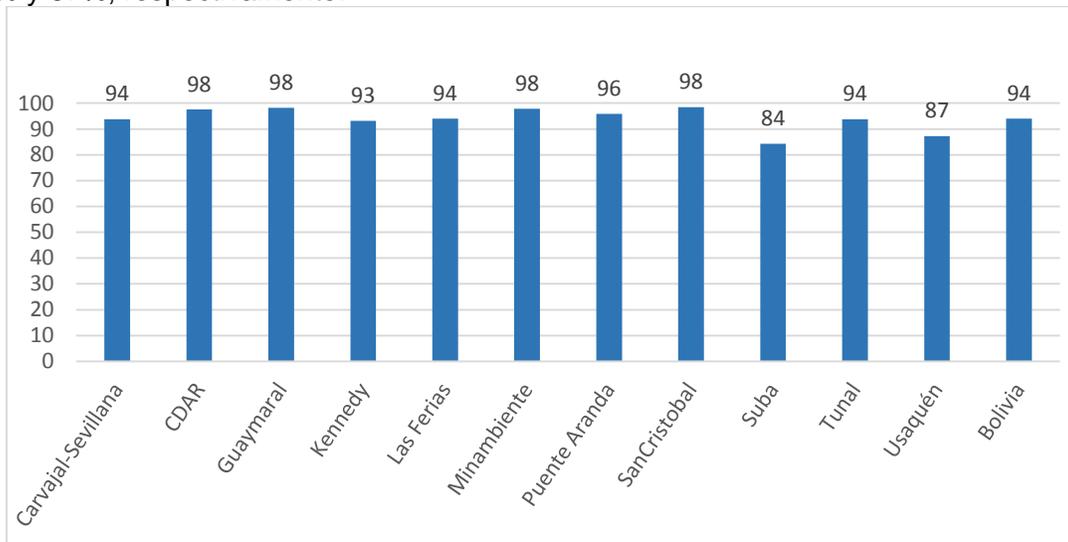
La pérdida de datos es superior al 10%, especialmente para 3 de los 17 tipos de instrumentos de medición en la RMCAB. Estas pérdidas se presentan generalmente por las

<sup>1</sup> T: temperatura a 2 metros; T8m: temperatura a 8 metros; T20m: temperatura a 20 metros; Prec.: precipitación; H.R.: humedad relativa; R.S.: radicación solar; UVB: radiación ultravioleta B; P.B.: presión barométrica; V.V.: velocidad del viento; D.V.: dirección del viento.

siguientes causas: 1) fallas mayores en alguno de los monitores, 2) falla en suministro de energía, 3) incorporación de nuevos equipos de monitoreo en el transcurso del año.

En la

**Figura 2-2** se presenta el porcentaje de datos capturados de los instrumentos de medición, agrupados por estación de monitoreo. Se aprecia que las estaciones en promedio tienen captura de datos superior al 90%, con excepción de las estaciones de Suba y Usaquén con 86% y 87%, respectivamente.



**Figura 2-2.** Porcentaje de captura de datos agrupados por estación de medición. Año 2015.

Las anteriores gráficas han sido elaboradas con los datos de la Tabla 2-11 que agrupa los registros por instrumento de medición y por estación de monitoreo de la RMCAB para el año 2015. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del equipo de medición en la respectiva estación.

**Tabla 2-1.** Porcentaje de datos capturados agrupados por estación de monitoreo y por instrumento de medición, año 2015.

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
<b>Carvajal-Sevillana</b>	88	97	97	94	98	94	69	99			99					99	99	<b>94</b>
<b>CDAR</b>		98	99	92	95	95	95	100			100	100		100		100	100	<b>98</b>
<b>Guaymaral</b>		99	98	96	91			99	99	99	99	99	99		99			<b>98</b>
<b>Kennedy</b>		100	99	59	88	83	88	99			99	99	99		99	99	99	<b>93</b>
<b>Las Ferias</b>		98	89	97	92	72	91	98			98	98			98	98	98	<b>94</b>
<b>Min Ambien</b>		100	99	89							100					100	100	<b>98</b>
<b>Puente Aranda</b>		97		93	95	98	98	97			89					98	97	<b>96</b>
<b>San Cristobal</b>		99	96	96		98	98	99			99	99	99			99	99	<b>98</b>
<b>Suba</b>		97	93	75	30		73	97			97					97	97	<b>86</b>

<b>Tunal</b>		99	100	100	99	100	29	100			100	100	100			100	100	<b>94</b>
<b>Usaquén</b>		98	95	96		85		41			98					88	97	<b>87</b>
<b>Bolivia</b>											99					91	91	<b>94</b>
<b>Promedio</b>	<b>88</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>90</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>80</b>	<b>93</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>95</b>

## 2.2. Porcentaje de datos válidos

El porcentaje de datos válidos de la RMCAB para el año 2015 es 92% en promedio, valor superior al porcentaje mínimo recomendado (75%,) por el 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).

La Figura 2-3 presenta el porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición. A continuación se comparan estos valores con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-1 como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de calidad. En el caso de los instrumentos meteorológicos, la reducción de datos oscila entre el 0% y 4%, mientras que para el caso de los instrumentos de medición de contaminantes material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) el porcentaje de reducción de datos oscila entre 5% y 12%. De otra parte, en las partículas suspendidas totales (TSP) la reducción es más pronunciada hasta llegar a datos válidos del 76%, causado por problemas de ajustes de contacto de la boquilla con la cinta de muestreo, la consecuente pérdida de muestra, pérdida de datos y también por fallas recurrentes en la bomba de succión del equipo.

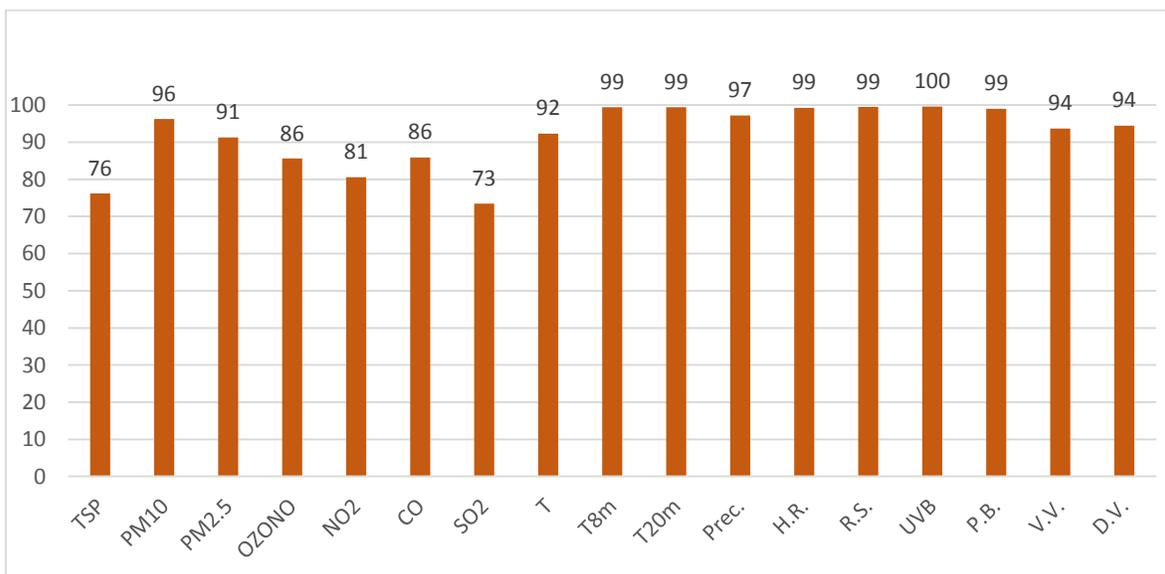
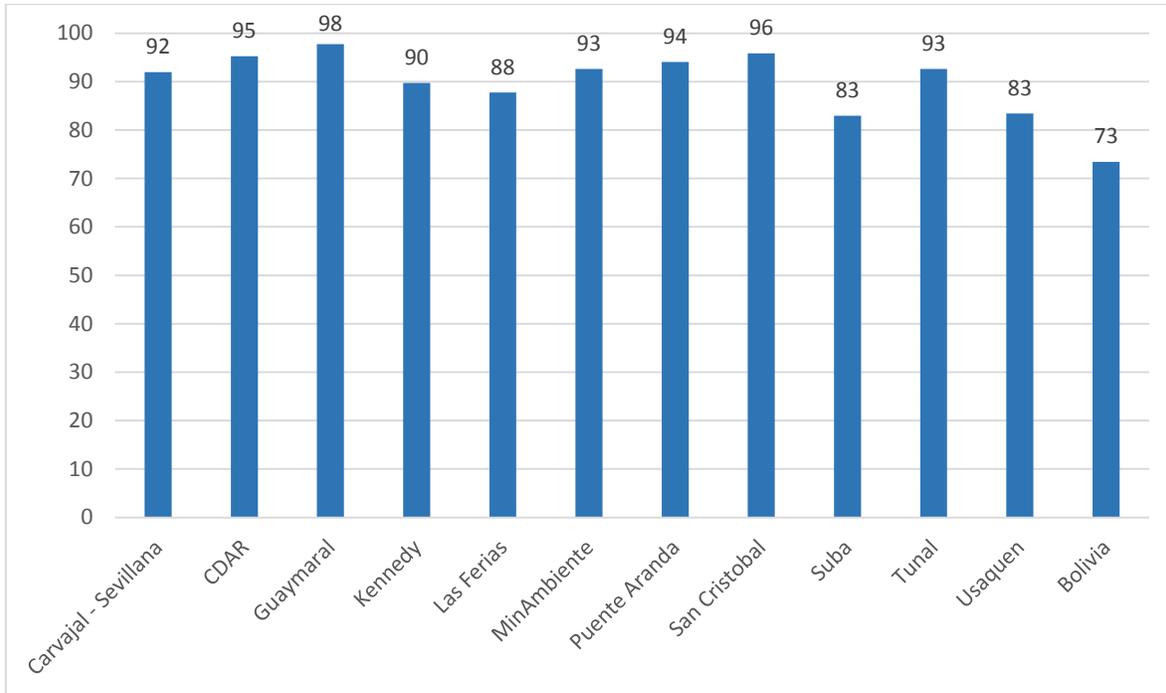


Figura 2-3. Porcentaje de datos válidos por parámetro. Año 2015.

La Figura 2-4 presenta el porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. A continuación se comparan estos registros con los porcentajes de captura de datos de la Figura 2-2 como resultado de la validación, revisión y procedimiento de aseguramiento de

calidad. Con excepción de la estación Bolivia que tiene una pérdida de datos de 21%, debido a fallas en el rodamiento del sensor de velocidad y dirección del viento, las demás estaciones tienen pérdida de datos entre 0 y 6%.



**Figura 2-4.** Porcentaje de datos válidos agrupados por estación de medición. Año 2015.

El consolidado del porcentaje de datos válidos agrupados por instrumento de medición y datos válidos agrupados por estación de medición del año 2015 se exponen en la Tabla 2-12. Las celdas vacías en esta tabla indican que no se dispone del instrumento de medición en la respectiva estación de medición. El consolidado de los datos capturados válidos para los monitores activos durante el 2015 es de 92%.

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

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total	
<b>Carvajal - Sevillana</b>	76	97	95	93	94	96	68	98			98					98	98	<b>92</b>	
<b>CDAR</b>		96	91	89	88	87	90	100			100	100	99	100		100	100	<b>95</b>	
<b>Guaymaral</b>		98	94	95	93			99	99	99	99	99	99		99			<b>98</b>	
<b>Kennedy</b>		99	98	59	60	78	87	99			99	99			99	99	99	<b>90</b>	
<b>Las Ferias</b>		92	74	94	87	64	53	98			98	98			98	98	98	<b>88</b>	
<b>MinAmbiente</b>		100	98	59							100					100	99	<b>93</b>	
<b>Puente Aranda</b>		95	N.D.	92	97	96	98	97			89						94	89	<b>94</b>
<b>San Cristobal</b>		97	90	94		95	91	99			99	99	99			91	99	<b>96</b>	
<b>Suba</b>		90	92	73	30		72	97			97					97	97	<b>83</b>	

	TSP	PM10	PM2.5	O3	NO2	CO	SO2	T2m	T8m	T20m	Prec.	H.R.	R.S.	UVB	P.B.	V.V.	D.V.	Total
Tunal		99	95	98	96	97	29	100			100	100	100			100	100	93
Usaquen		97	86	96		75		35			97					84	97	83
Bolivia											90					69	61	73
Promedio	76	96	91	86	81	86	73	92	99	99	97	99	99	100	99	94	94	92

### 3. Evaluación y análisis de contaminantes

Este numeral 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: 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 año 2015 contó con 12 estaciones (incluyendo la estación móvil) que monitorearon las concentraciones de material particulado y gases contaminantes (presentados en la Tabla 1-1), permitiendo establecer la calidad del aire en el Distrito Capital.

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.

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

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 la resuspensión de partículas, 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.

El PM<sub>10</sub> representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas (de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10 µm) como las finas (de menos de 2,5 µm, PM<sub>2.5</sub>) que se considera contribuyen a efectos adversos en la salud observados en entornos urbanos. Las primeras se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como obras de construcción, resuspensión del polvo en vías y el viento, mientras que las segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión. En la mayor parte de los entornos urbanos están presentes ambos tipos de partículas, gruesas y finas, pero la proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños es probable que varíe de manera sustancial entre ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de material particulado de cada lugar.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

### 3.1.1. Comportamiento de la concentración de PST

Para el año 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).

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 de la contaminante  $i$

#### Comportamiento de las concentraciones anuales de PST

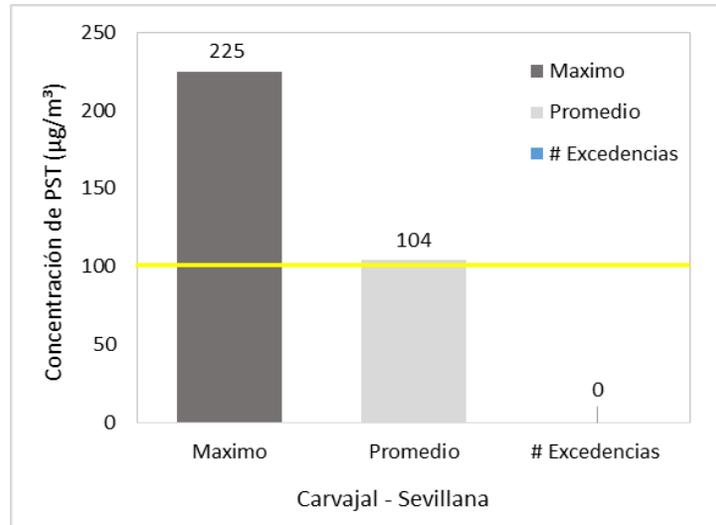
Con respecto a la captura de datos para el periodo de análisis en la estación Carvajal-Sevillana, se registró un porcentaje de recuperación de 75%. La máxima concentración de este contaminante entre los días monitoreados fue de 225  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , registrado el 01 de julio de 2015, sin embargo, este valor se mantuvo por debajo del límite normativo (300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La tabla 3.1 presenta un resumen de estos datos.

**Tabla 3-1.** Resumen de la captura de datos de PST para el año 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>3</sup>
272	75	0	104	225	01/07/2015	0

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

<sup>3</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 durante el año 2015. Base diaria.

La **Figura 3-1** presenta los datos de la **Tabla 3-1** en forma gráfica. La **Figura 3-2** corresponde a un Calendario de concentración con las concentraciones diarias de PST medidas durante el año 2015. El Calendario de concentración consiste en una representación gráfica de los días de la semana señalados con colores en una escala preestablecida, donde se muestra la concentración de los contaminantes. El diagrama muestra en blanco los días con datos no disponibles o no recuperados y se puede observar que en julio 01 se presentó el día con mayor concentración de PST en la estación Carvajal-Sevillana. El Calendario de concentración también permite ver que los meses de mayor concentración de contaminantes son febrero, marzo y abril y el más limpio fue junio.

Car. - Sev. 2015

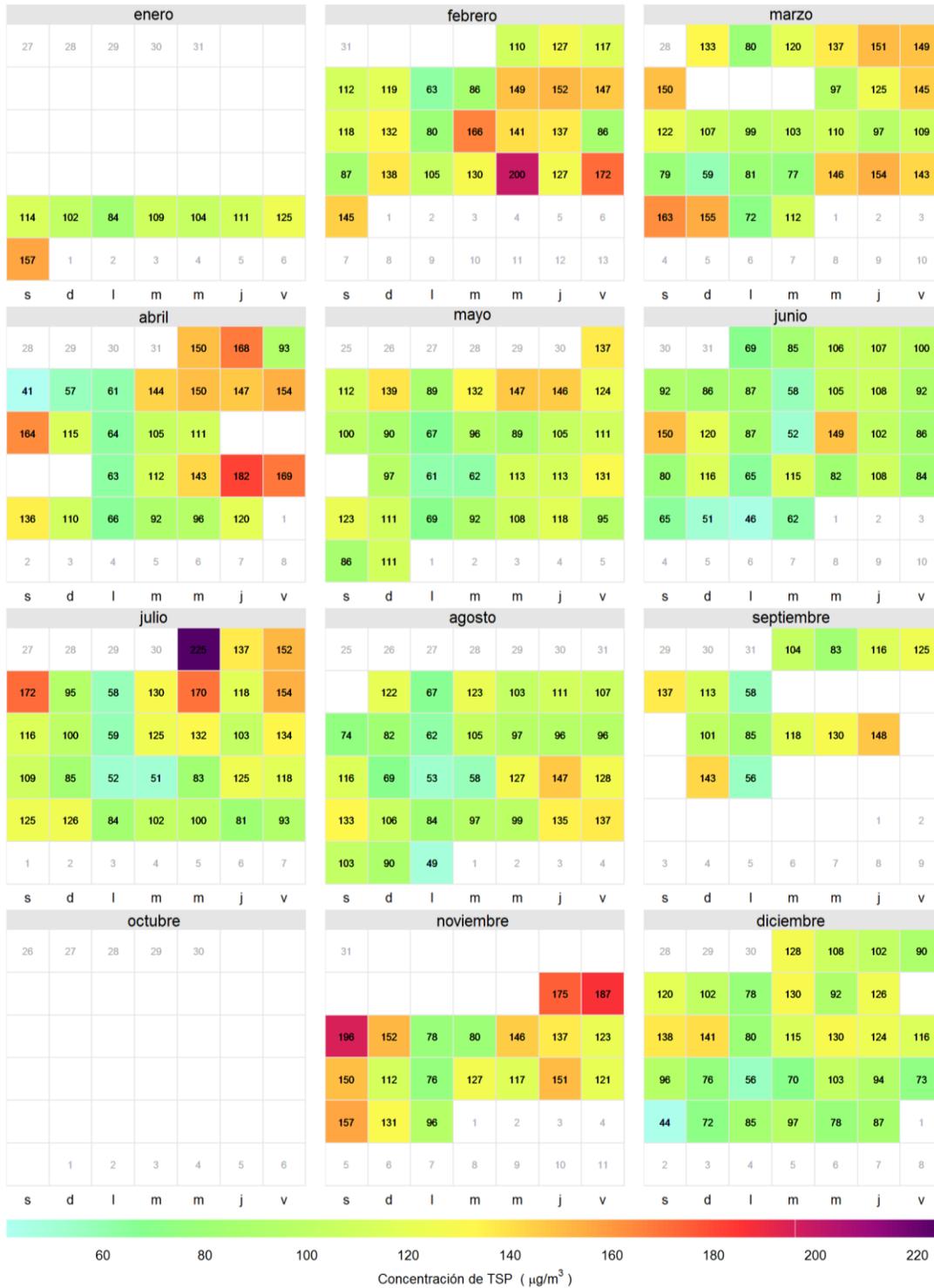
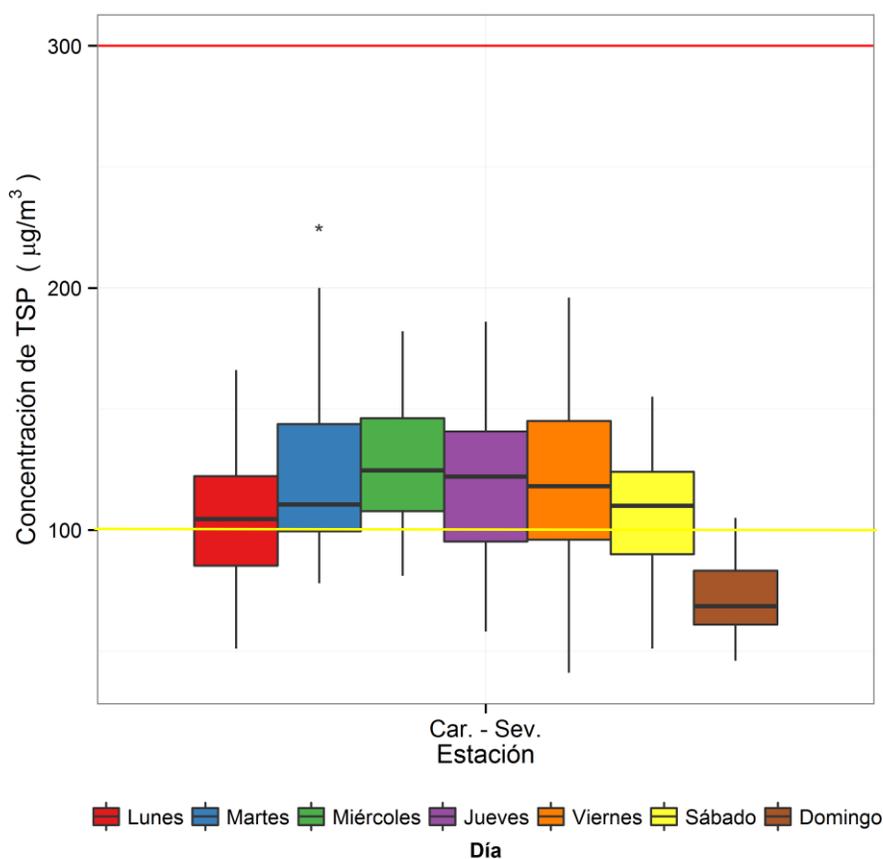


Figura 3-2. Calendario de concentración con las concentraciones diarias de material particulado total PST en el año 2015.

### Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de PST.

La Figura 3-3 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de PST (24h) agrupado por días de la semana. En la estación Carvajal-Sevillana se observa que de los días hábiles, los lunes presentan las menores concentraciones y los miércoles las mayores, cabe tener en cuenta que los lunes festivos pueden disminuir los promedios para ese día. El domingo es el día con menores concentraciones de este contaminante, lo cual es congruente con la disminución del flujo vehicular y actividad productiva, teniendo en cuenta que se trata de una estación urbana de tráfico e industrial. Una comparación de la mediana de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma, muestra a excepción del día domingo, todos los días de la semana incumplen el valor establecido de  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

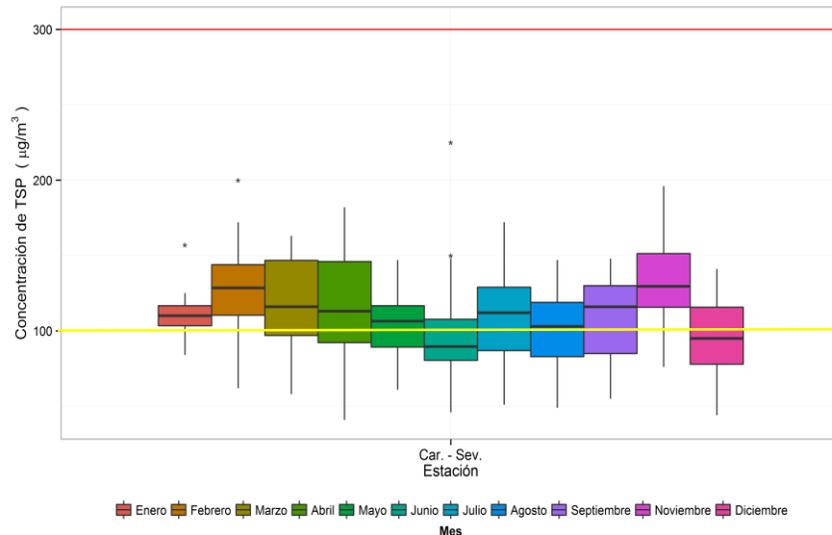


**Figura 3-3.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana. Año 2015.

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

La distribución de las concentraciones diarias de PST en función de los meses de 2015 se observa en la Figura 3-4. Se puede observar que todos los meses del año, a excepción de junio y diciembre, exceden la norma anual ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las menores concentraciones obtenidas para los meses de junio y diciembre son concordantes con el comportamiento

bimodal de la meteorología de la ciudad, donde a mediados y finales de año se presentan las condiciones más favorables para la dispersión de contaminantes atmosféricos.<sup>4</sup>

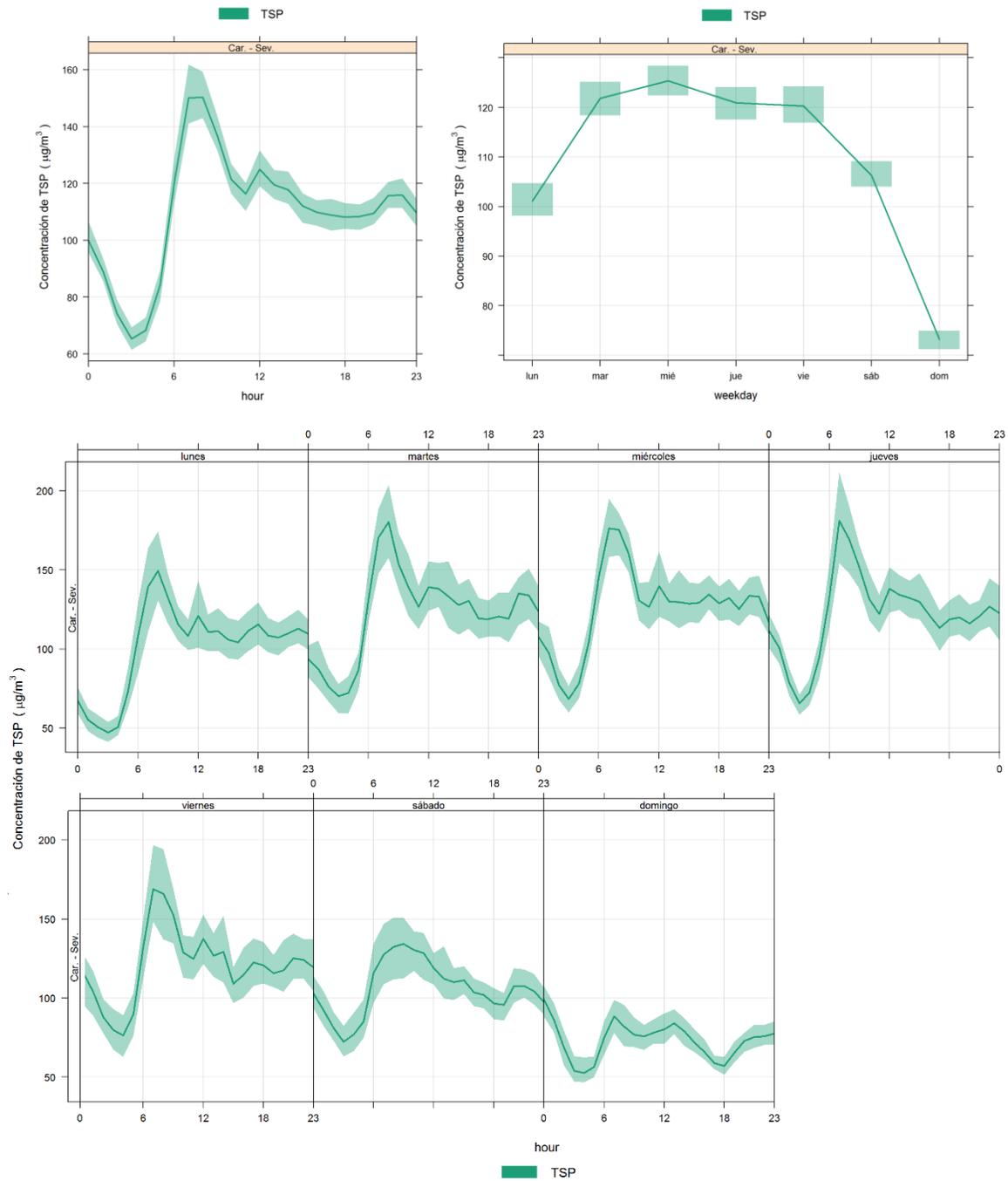


**Figura 3-4.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PST en función de los meses del año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

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

La Figura 3-5 presenta el ciclo diario promedio, el ciclo semanal y el ciclo semanal desagregado de las concentraciones de PST para la estación Carvajal-Sevillana en el año 2015. Las menores concentraciones para el ciclo diario promedio se presentaron en horas de la madrugada y las mayores en la hora pico de la mañana, comprendida entre 7:30 a.m. y 8:30 a.m.; en horas de la tarde la influencia de la hora pico no se hace tan evidente, esto es consistente con los patrones de circulación de la zona donde la densidad vehicular y tráfico de flota pesada es mayor en horas de la mañana, además, puede presentarse influencia de los vientos, que usualmente son más intensos en la tarde y pueden facilitar 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. El ciclo diario desagregado y semanal evidencia que domingos se presentaron los menores valores de concentración para este contaminante, lo cual es un hecho usual por la dinámica de la ciudad. Los sábados también presentan menores concentraciones frente a los días laborales. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).

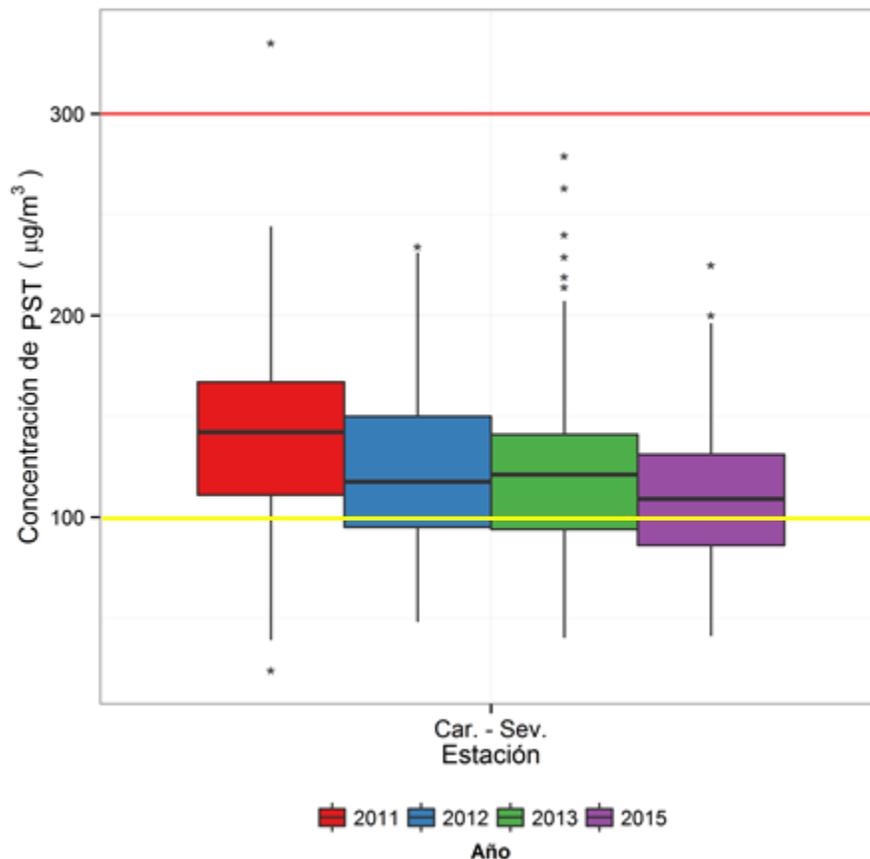
<sup>4</sup> El lector debe tener en cuenta que no existen regulaciones para periodos mensuales o trimestrales, por tanto, las comparaciones frente a normas establecidas se toma solo como por motivos de gestión e intercomparación.



**Figura 3-5.** Comportamiento de la concentración de PST anual en el en el ciclo horario, ciclo semanal y ciclo horario desagregado por días de la semana para la estación Carvajal-Sevillana.

### Comportamiento histórico de las concentraciones de PST.

La distribución de los datos de PST para el año 2015 se presenta en la Figura 3-6. Los datos de los años 2011, 2012 y 2013 se presentan a manera de seguimiento, pues tienen una captura de datos inferior a 75%. Se toman datos con captura de datos superior al 60% por tanto no se cuenta con datos para año 2014 para el análisis. La grafica muestra en general, una reducción moderada de la concentración de PST del año 2015 frente a los 3 años anteriores, pero con incumplimiento de la norma anual establecida ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para los años analizados.



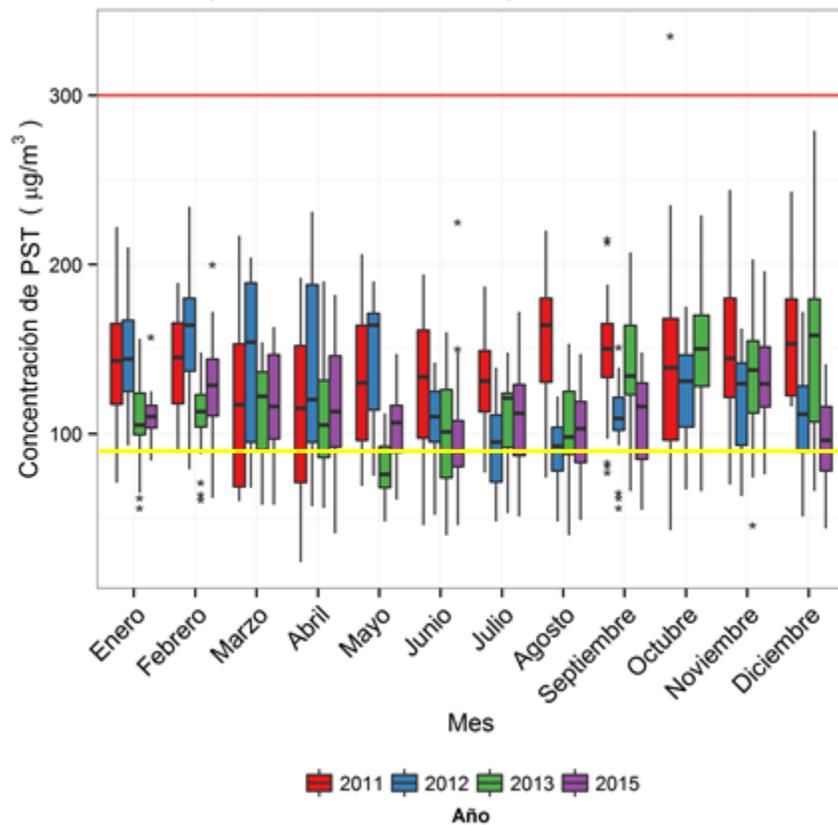
**Figura 3-6.** Presentación del gráfico de *cajas* para PST multianual en el año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

Las concentraciones promedio históricas de PST durante los últimos 5 años se muestran en la Tabla 3-2. Los resultados evidencian nuevamente el descenso paulatino de las concentraciones de este contaminante siendo el año 2011 el de más concentración con  $130\mu\text{g}/\text{m}^3$  y el 2015 el de menor concentración con  $104\mu\text{g}/\text{m}^3$  (promedio geométrico del año).

**Tabla 3-2.** Resumen de promedios históricos de PST

Año	Promedio geométrico PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
2011	130
2012	116
2013	115
2014	127
2015	104

En la Figura 3-7. Gráfico de *cajas* para PST multianual años 2011-2015. se puede apreciar el comportamiento de la concentración de PST en función del mes. Se observa de manera general una reducción leve en la concentración para el año 2015 frente a sus similares de 2011, 2012 y 2013, con concentraciones ligeramente más altas para los meses de enero, febrero, abril, mayo y agosto comparados con el año 2013 y los meses de julio, agosto, septiembre y octubre comparados con el año 2012. No se presentan valores atípicos para 2015, pero tomando a la mediana como medida de tendencia de los datos mensuales, se evidencia un continuo sobrepaso a la norma anual para el histórico de meses.<sup>5</sup>



**Figura 3-7.** Gráfico de *cajas* para PST multianual años 2011-2015. La línea roja representa la norma diaria y la amarilla la norma anual

<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 se toma solo como indicativos e intercomparación.

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

La RMCAB contó en el año 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**. Se obtuvieron 3861 datos válidos diarios que corresponden a una captura de datos global del 96% entre las estaciones que registraron mediciones.

#### Comportamiento anual de las concentraciones de PM<sub>10</sub>

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010 del MAVDT, el máximo nivel admitido de concentración para PM<sub>10</sub> en un tiempo de exposición de un año es de 50 µg/m<sup>3</sup>. La Tabla 3-3 presenta las concentraciones anuales de PM<sub>10</sub> para los años 2014 y 2015, con base en valores diarios en las estaciones con captura de datos superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes para aquellos sitios de medición que tienen captura de datos suficiente en los dos años. La Figura 3-8 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en valores diarios) que monitorearon este contaminante durante 2015.

La Tabla 3-3 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de PM<sub>10</sub> por estación y permite establecer que de las once estaciones, el 27% es decir tres estaciones, superan el límite anual permisible, siendo estas Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana, ubicadas en el suroccidente y en el sur de la ciudad, lo cual demuestra que esta zona representa altos niveles de contaminación en comparación con otros sectores de la ciudad. La concentración anual de Suba marca una diferencia relativamente leve (3 µg/m<sup>3</sup>) respecto al límite máximo permisible. Las mayores concentraciones anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 87 µg/m<sup>3</sup> y Kennedy con 66 µg/m<sup>3</sup>.

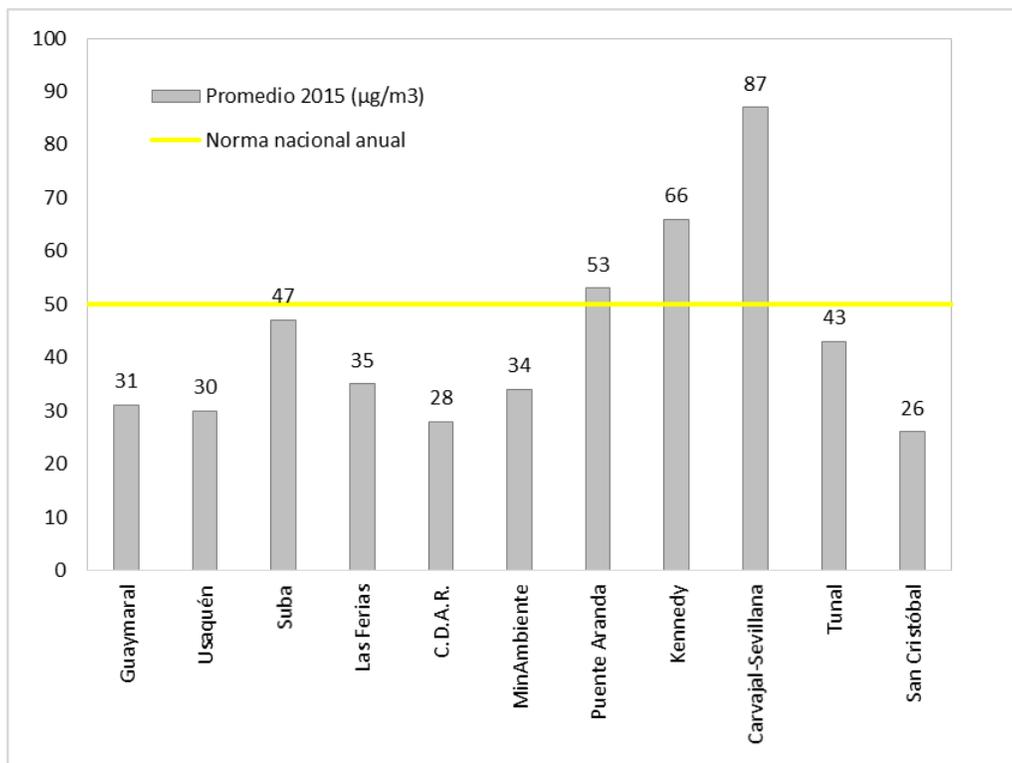
**Tabla 3-3.** Concentración anual de PM<sub>10</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m<sup>3</sup>

Estación	Promedio 2014 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2015 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m <sup>3</sup> )
Guaymaral	N.R.	31	N.A.
Usaquén	37	30	-7
Suba	<b>51</b>	47	-4
Las Ferias	32	35	3
Centro de Alto Rendimiento	40	28	-12
Ministerio de Ambiente	43	34	-9
Puente Aranda	<b>62</b>	<b>53</b>	-9
Kennedy	<b>71</b>	<b>66</b>	-5
Carvajal-Sevillana	<b>91</b>	<b>87</b>	-4
Tunal	<b>53</b>	43	-10
San Cristóbal	41	26	-15

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En comparación con el año 2014, para el año 2015, todas las estaciones, a excepción de las Ferias, presentaron reducciones apreciables en la concentración de PM<sub>10</sub>, en

concordancia con lo mostrado para PST en cuanto a reducción en la concentración de material particulado. La Figura 3-8. Concentración anual de PM<sub>10</sub> durante el año 2015 por estación de monitoreo muestra las tendencias por estación donde se ve claramente que las estaciones del suroccidente de la ciudad (Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana) presentan concentraciones más altas que las presentadas en el centro (C.D.A.R., MinAmbiente), sur (Tunal, San Cristóbal) y nororiente de la ciudad) Suba, las Ferias).



**Figura 3-8.** Concentración anual de PM<sub>10</sub> durante el año 2015 por estación de monitoreo

La distribución espacial de la concentración de PM<sub>10</sub> en la ciudad puede verse en la **Figura 3-9** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de PM<sub>10</sub> (basado en concentraciones diarias) en las 11 estaciones durante el año 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. La localidad de Fontibón puede presentar valores que difieren de reportes de años como 2012 o 2013, por las bajas concentraciones presentadas durante 2015 y además, la falta de la estación de monitoreo. Los comportamientos a nivel de localidad, muestran que es importante no generalizar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales; es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis (ver numeral 3.4).

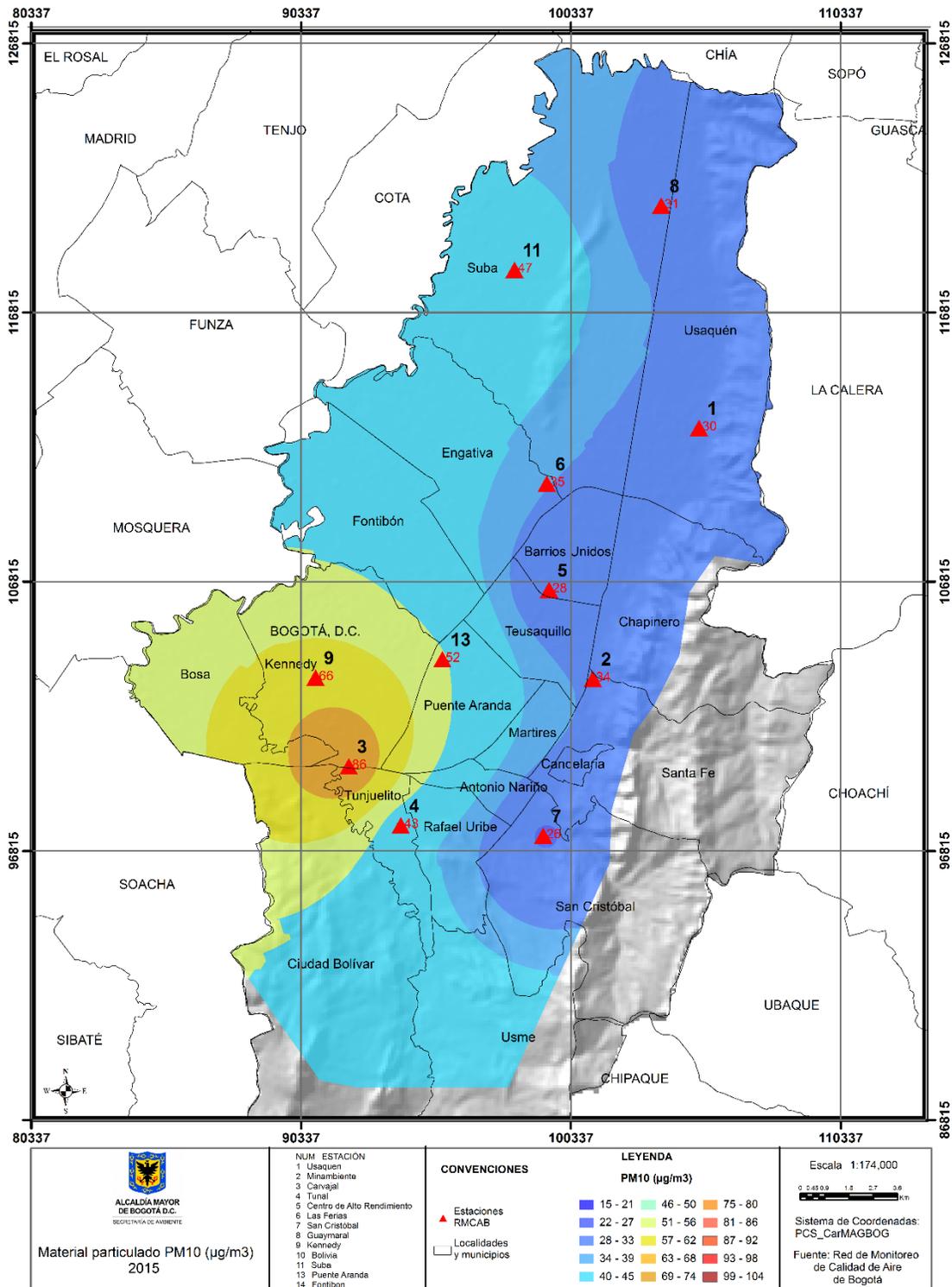


Figura 3-9. Concentración de Material particulado (PM<sub>10</sub>) con base en la interpolación espacial por el método *Kriging* de los promedios anuales de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015

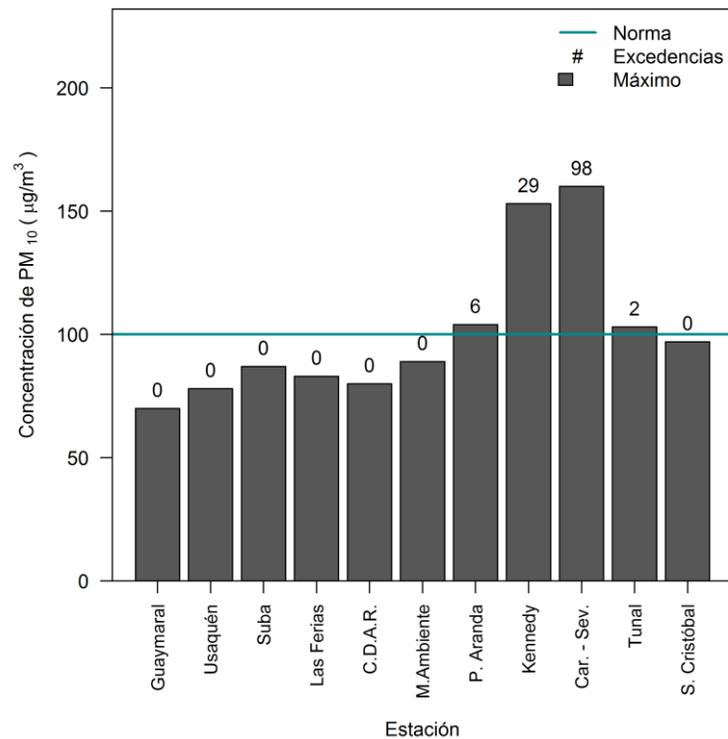
### **Comportamiento de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> (24 h)**

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 captura de datos temporal de 75%, es decir, un mínimo de 18 concentraciones horarias por día para que el dato diario sea tenido en cuenta.

Cabe destacar que todas las estaciones tuvieron una captura de datos de 90% o superior. Las concentraciones máximas y número de excedencias se presentan en la Figura 3-10. La Tabla 3-4 resume los datos diarios de PM<sub>10</sub>, excedencias a la norma y máximos para cada una de las estaciones de la RMCAB

Teniendo en cuenta el límite máximo permisible para un tiempo de exposición diario, que es de 100 µg/m<sup>3</sup>, se presentaron un total de 135 excedencias a este valor las cuales tuvieron lugar en las estaciones de Puente Aranda con seis (6), Kennedy con veintinueve (29), Carvajal-Sevillana con noventa y ocho (98) y Tunal con dos (2) corresponden al 2%, 8%, 28% y 1% de los datos validos en cada estación para el año. Este comportamiento es consistente con los promedios anuales, donde la estación Carvajal-Sevillana presenta el mayor promedio de concentración para el año y es la que presenta más probabilidades de superar la norma de acuerdo con los resultados de datos entre el 90% y 100% de la norma.

Se observa que la mayoría de las concentraciones máximas se presentan para el mes de febrero; siendo el 18 y 24 de este mes los días con más repeticiones por estación de monitoreo. El 24/02/2015 se presentan máximos de concentración en las estaciones del sur occidente (Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana), lo cual puede indicar un evento específico en esta zona para esa fecha. También se presentan coincidencias en las estaciones Suba, Las Ferias, MinAmbiente y San Cristóbal para el 18/02/2015; Guaymaral y Usaquen presentan sus máximos en la segunda mitad del año. Lo anterior deja ver que pudieron presentarse episodios de contaminación de área en Febrero, ya que este fue uno de los meses más contaminados del periodo analizado.



**Figura 3-10.** Máximos y excedencias de PM<sub>10</sub> en base diaria para al año 2015.

La Tabla 3-5 muestra que para el año 2015 se presentaron 105 días de excedencia. Febrero presenta el mayor número de días de excedencias y Junio presenta la menor cantidad, lo cual puede atribuirse al cambio de la dinámica meteorológica de la ciudad por estacionalidad bimodal y también al fenómeno del niño que implicó menores tasas de aireación urbana al comienzo del año y una mejora de las mismas para la mitad del año 2015. 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.

**Tabla 3-4.** Resumen de la captura de datos diarios de PM<sub>10</sub> durante el año 2015

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio Anual (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>6</sup>	Máximo (µg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del máximo
Guaymaral	356	98	31	0	0	0	70	30/10/2015
Usaquén	347	95	30	0	0	0	78	20/11/2015
Suba	330	90	47	0	0	0	87	18/02/2015
Las Ferias	333	91	35	0	0	0	83	18/02/2015
Centro de Alto Rendimiento	355	97	28	0	0	0	80	07/02/2015
MinAmbiente	364	100	34	0	0	0	89	18/02/2015
Puente Aranda	345	95	53	6	2	9	104	24/02/2015
Kennedy	362	99	66	29	8	15	153	24/02/2015
Carvajal-Sevillana	355	97	87	98	28	52	160	24/02/2015
Tunal	362	99	43	2	1	4	103	10/02/2015
San Cristóbal	352	96	26	0	0	4	97	18/02/2015

**Tabla 3-5.** 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 año 2015

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>Guaymaral</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Usaquén</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Suba</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Las Ferias</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C.D.A.R.</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>MinAmbiente</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Puente Aranda</b>	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	6
<b>Kennedy</b>	1	13	5	0	5	0	0	0	2	3	0	0	29
<b>Carvajal-Sevillana</b>	5	15	10	10	4	3	6	4	10	16	12	3	98
<b>Tunal</b>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<b>San Cristóbal</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total de excedencias</b>	8	30	16	10	10	3	6	4	13	19	13	3	135
<b>Días de excedencias</b>	6	18	11	10	5	3	6	4	10	17	12	3	105

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

Calendario de contaminación por PM<sub>10</sub> durante el año 2015

Car. - Sev. 2015

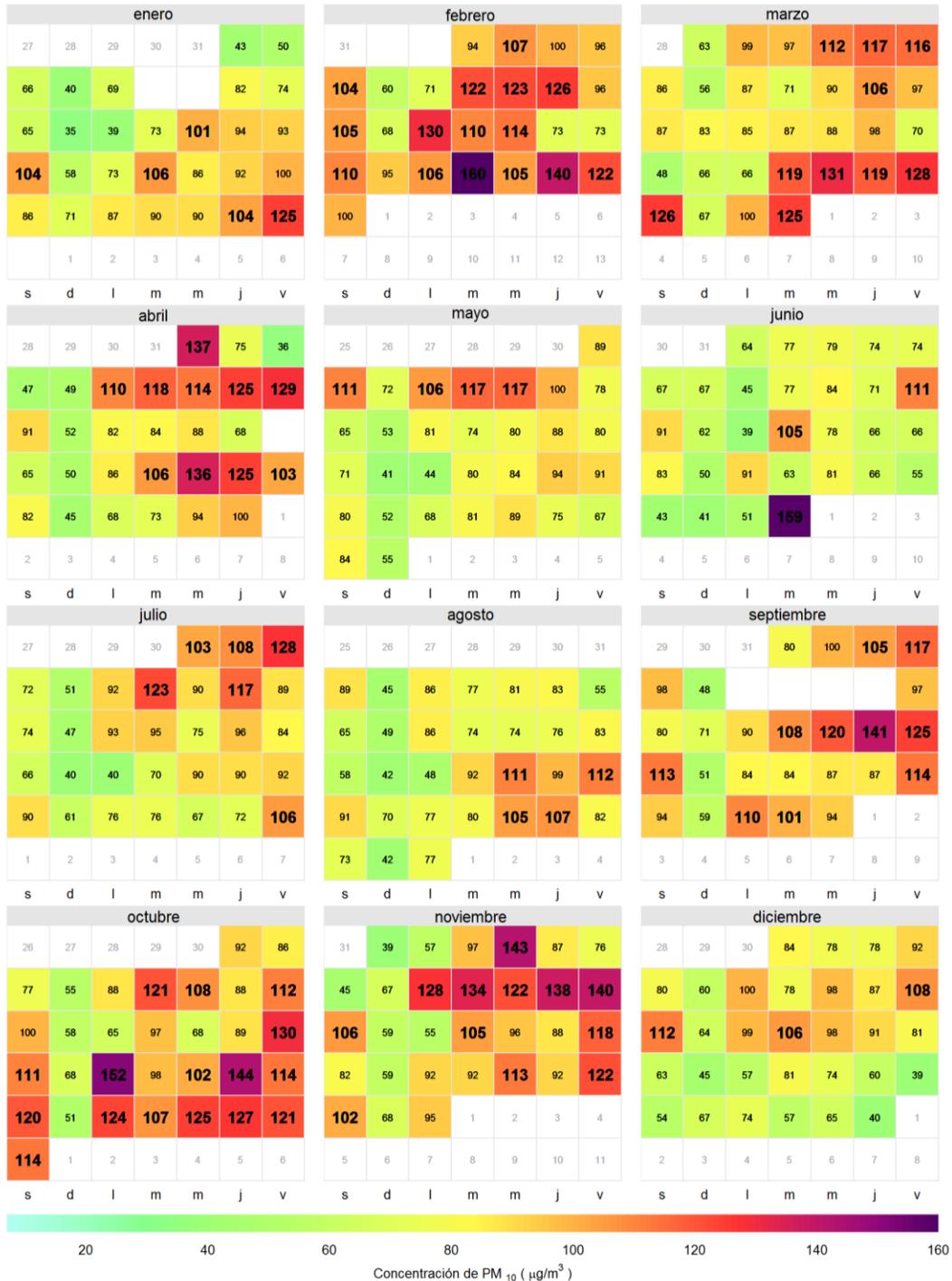
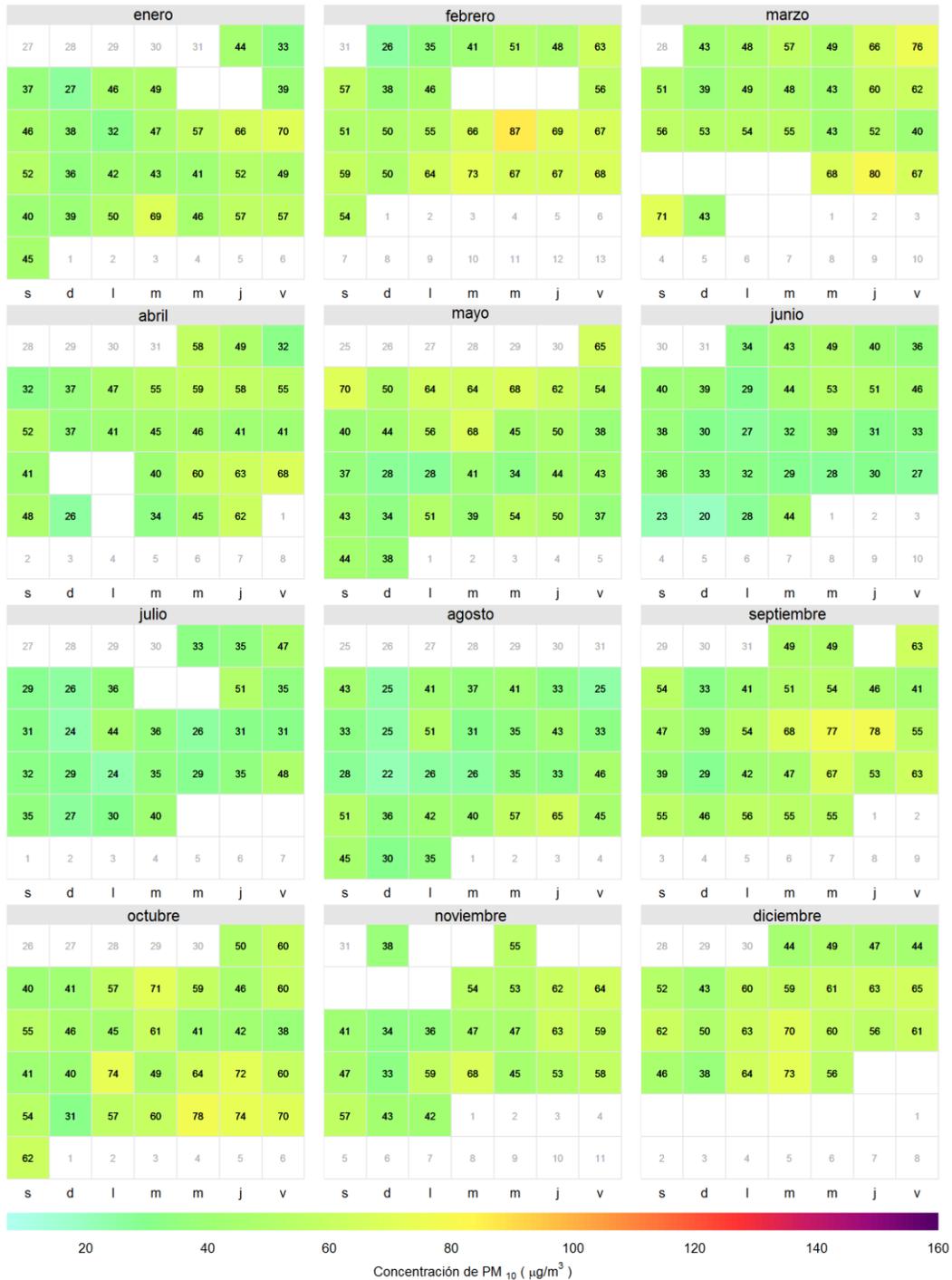
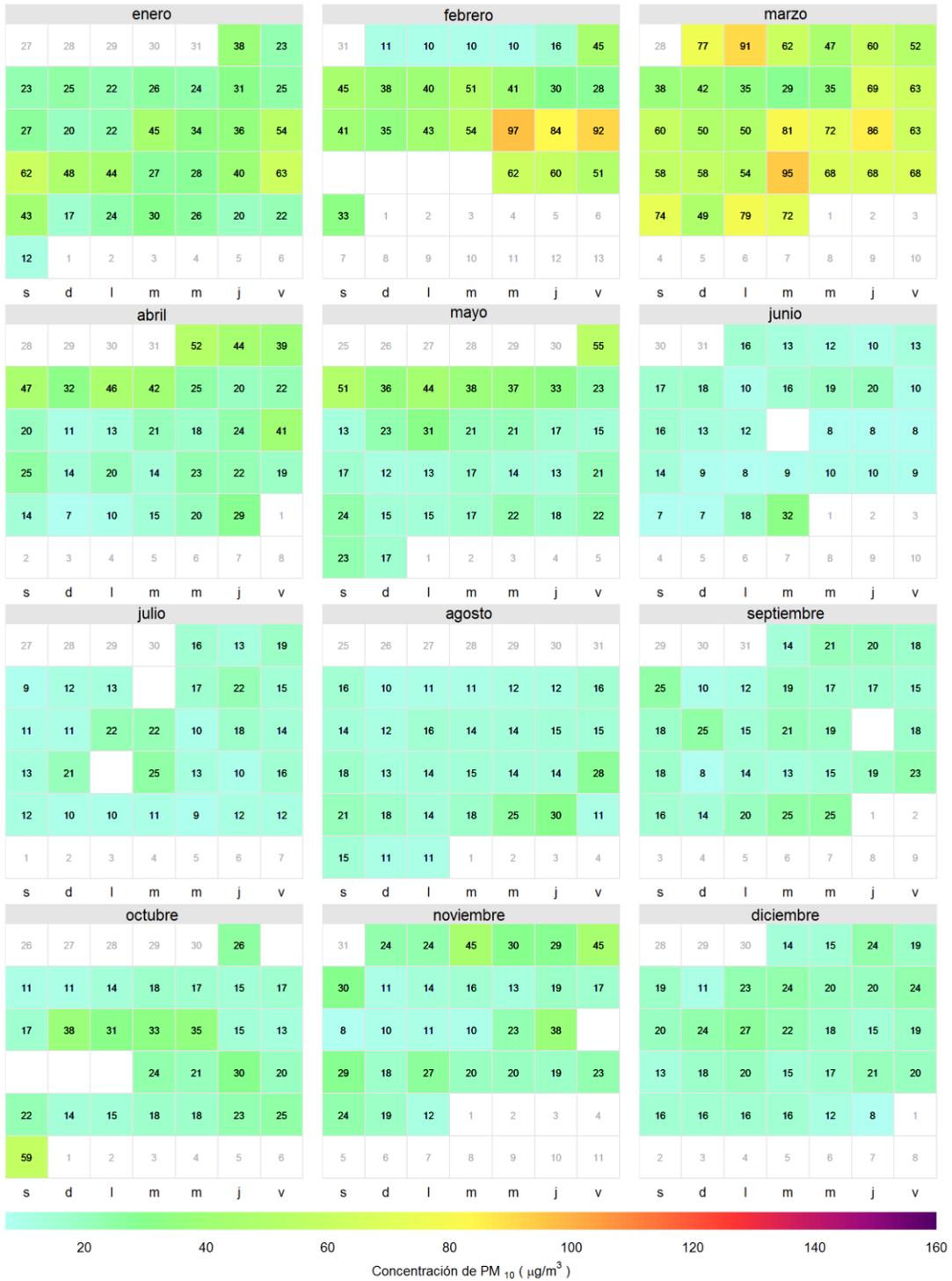


Figura 3-11. Calendario de concentración para PM<sub>10</sub> durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. Se resaltan en negrita los días que superaron el límite normativo de 100 µg/m<sup>3</sup>.

Suba 2015



S. Cristóbal 2015

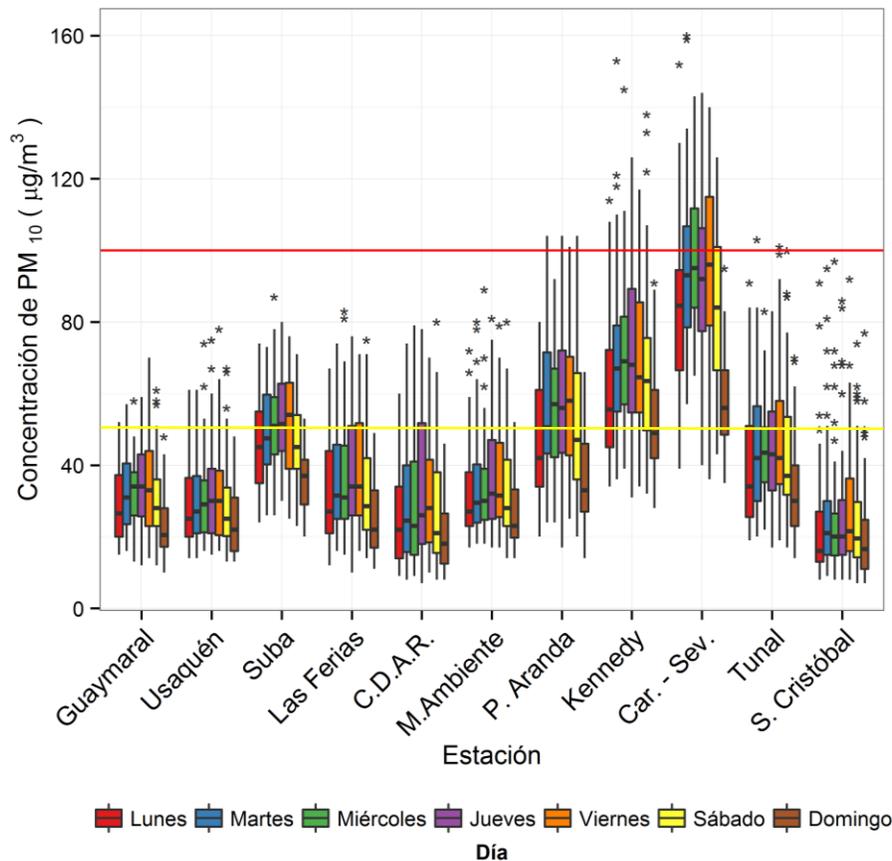


La Figura 3-11, la Figura 3-12 y la Figura 3-13 corresponden a los diagramas calendario para las estaciones Carvajal-Sevillana, Suba y San Cristóbal, respectivamente, mostrando el contraste en las concentraciones diarias entre estaciones con niveles altos, medios y bajos. En Carvajal Sevillana se observa que las mayores concentraciones y excedencias que se presentan en febrero, en especial la última semana y en los meses de octubre y noviembre; para Suba se presentan en febrero, marzo, octubre y diciembre y para San Cristóbal en los meses de febrero y marzo.

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

La Figura 3-14 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de PM<sub>10</sub> (24h) agrupado por días de la semana. En las estaciones analizadas se observa que los domingos presentan las menores concentraciones, lo cual se atribuye fundamentalmente a la dinámica de la ciudad, especialmente en lo relacionado con la actividad industrial y de movilidad en ese día. Los días lunes presentan los valores más bajos de concentración, excepto en la estación Tunal y San Cristóbal; entre martes y jueves se mantienen niveles de concentración más elevados; los sábados presentan unos valores de concentración inferiores a la semana laboral, debido probablemente a que las industrias disminuyen su actividad y las fuentes móviles dominantes son las de transporte particular de pasajeros más que la de carga.

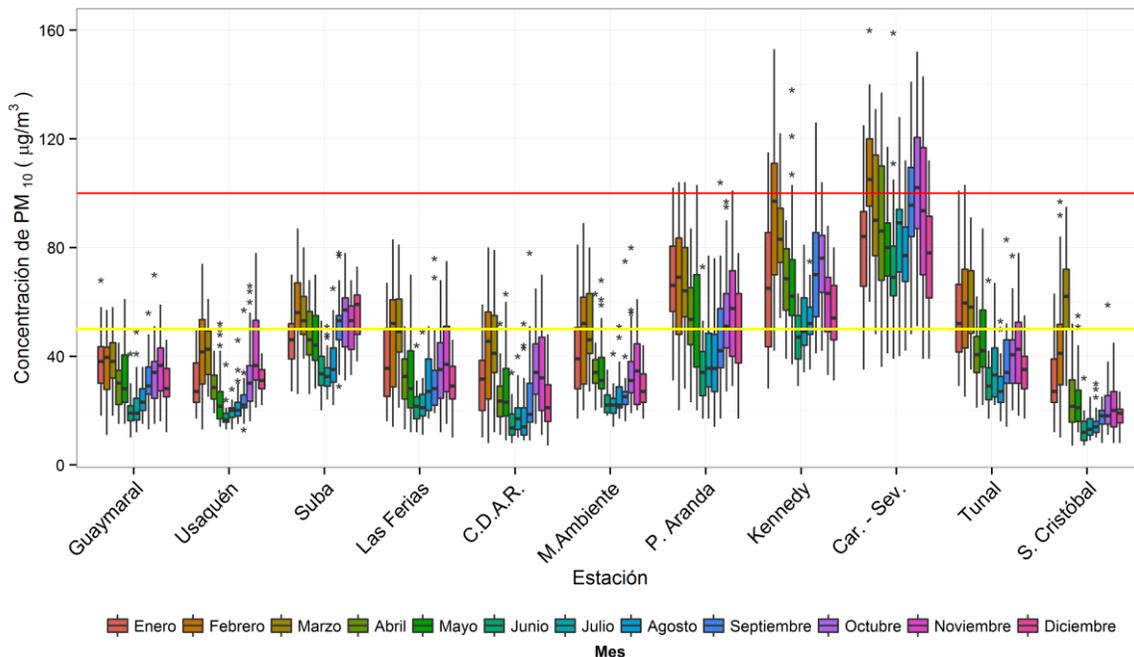
Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria, permite ver excedencias recurrentes en las estaciones de Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal.



**Figura 3-14.** 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 año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en función de los meses del año 2015, y de las estaciones de monitoreo se observa en la Figura 3-15. En Todas las estaciones se observa que los menores niveles de concentración se presentan en los meses de junio, julio y agosto. En general, se observa que los meses con las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> corresponden a los de inicio y final de año. Estas diferencias de comportamiento se pueden atribuir en cierto grado, al aumento de la velocidad de los vientos a mitad de año permitiendo mayor ventilación y, por tanto, menores concentraciones.

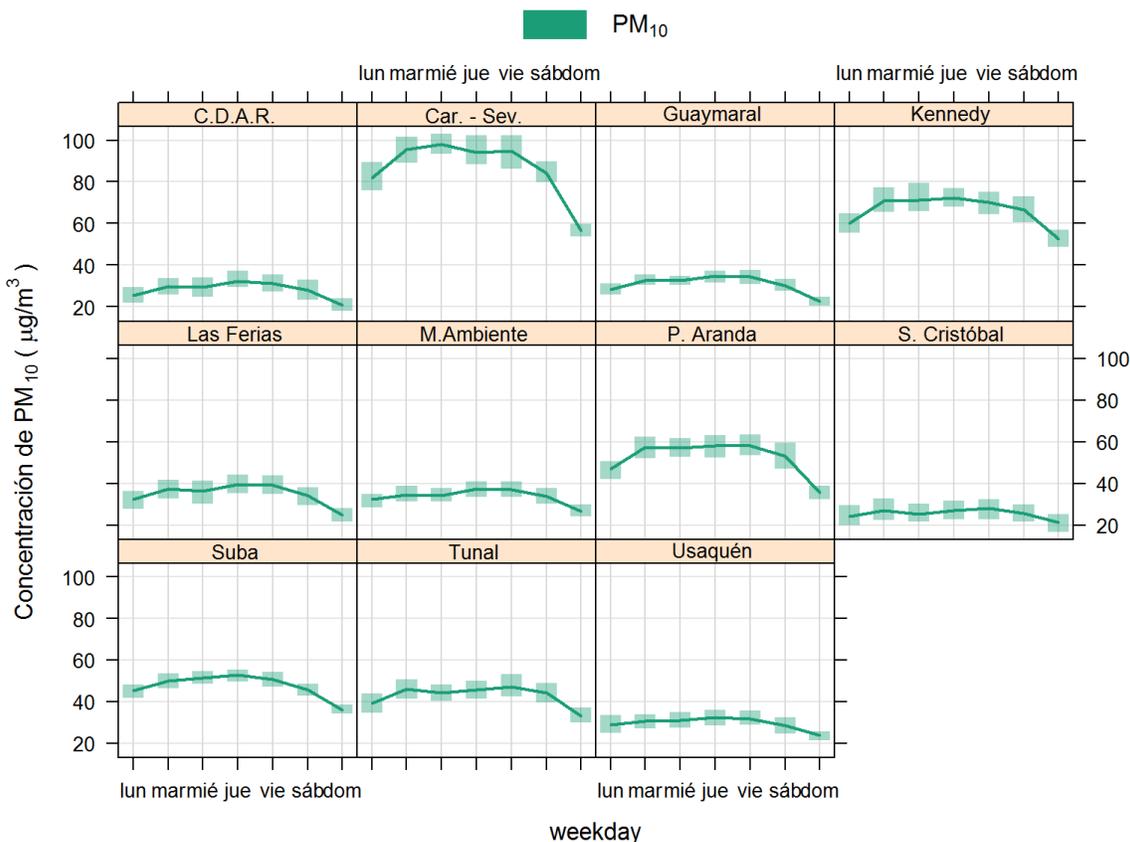
De manera similar a lo que ocurre con el análisis por día de la semana, una comparación de los valores de concentración por mes a través del año frente a la norma diaria (100µg/m<sup>3</sup>), muestra que sólo en Puente Aranda, Kennedy, Carvajal-Sevillana ésta es superada.



**Figura 3-15.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  en función de las estaciones de monitoreo y de los meses del año 2015.  
La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

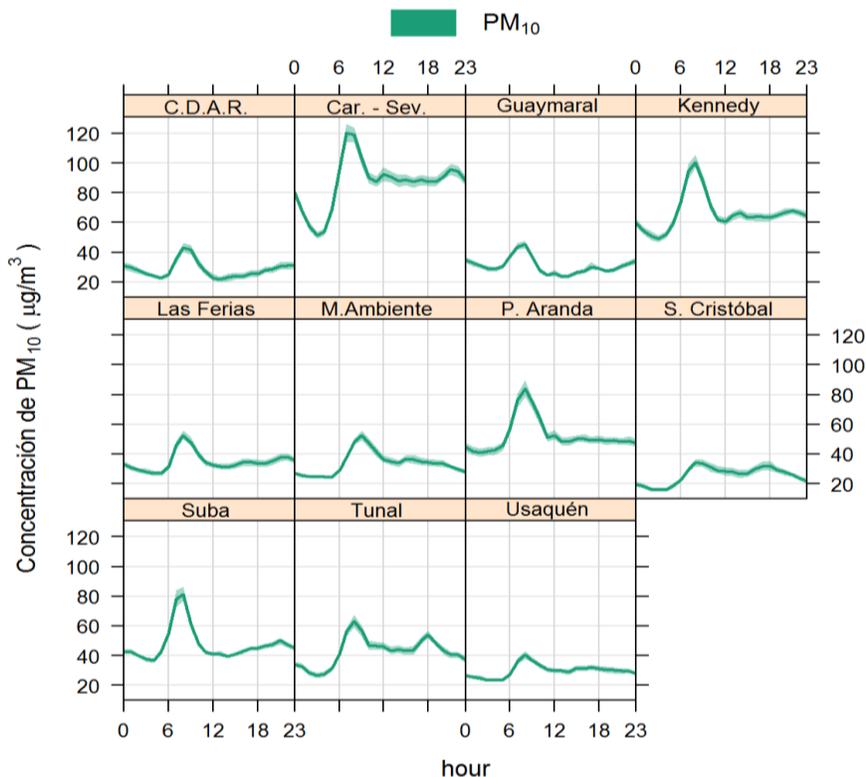
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de $PM_{10}$

La Figura 3-16 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de  $PM_{10}$  por estación para el año 2015. Como complemento a la Figura 3-17. Se pueden ver de manera clara los ciclos por estación y establecer que la mayor variabilidad de los datos (segmentos verdes por día), se presentan en la estación Carvajal-Sevillana y Kennedy, probablemente por ser influenciadas tanto por fuentes industriales como móviles. Así mismo, estas estaciones muestran cambios más pronunciados durante la semana en comparación con estaciones como C.D.A.R y Usaquén, que son estaciones influenciadas básicamente por fuentes móviles y la estación San Cristóbal, que es una estación de fondo. Con esto, se puede inferir que el comportamiento de los niveles de  $PM_{10}$  en función de los días de la semana puede estar asociado a las diferencias en el nivel de actividad de las fuentes de emisión y probablemente la meteorología. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).



**Figura 3-16.** Comportamiento de la concentración de  $PM_{10}$  en el ciclo semanal para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen captura de datos superior a 75%.

Los ciclos diarios de las concentraciones de  $PM_{10}$  por estación se presentan en la Figura 3-17. Se observa que los picos de concentración ocurren generalmente entre las 6:00 a.m. y 9:00 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 son coincidentes con la denominada “hora pico” de la mañana. No para todas las estaciones se presenta un pico de concentración 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-Sevillana, donde después de la hora pico los niveles de contaminación se mantienen mucho más elevados que en el resto de estaciones.

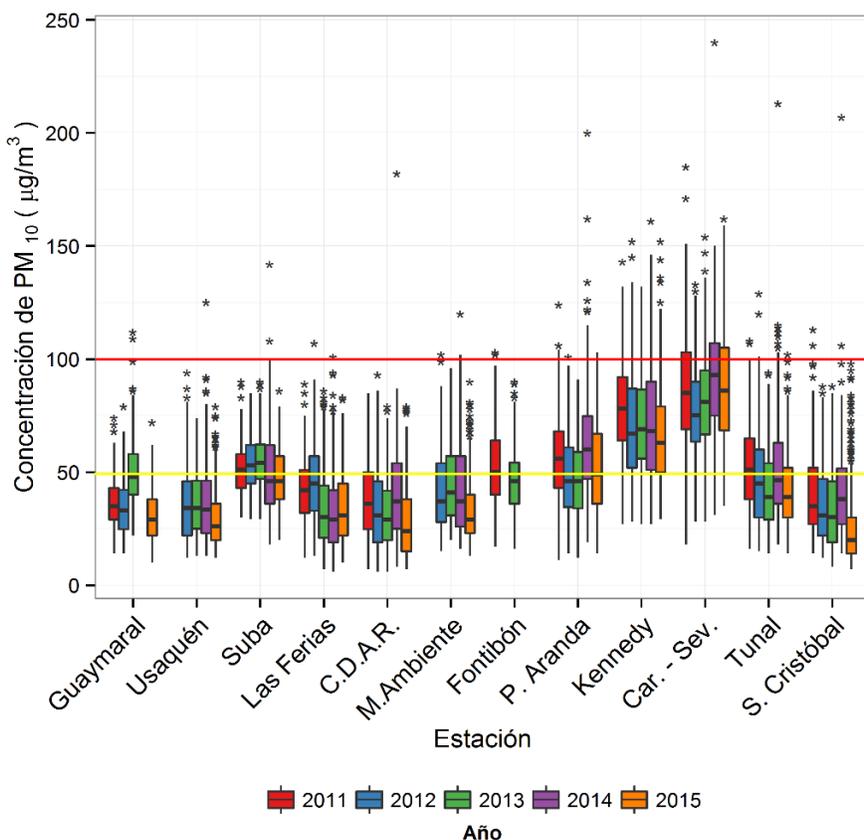


**Figura 3-17.** Ciclo diario de PM<sub>10</sub> para 11 estaciones de la RMCAB en el año 2015, las cuales tienen una captura de datos superior al 75%. Se muestra el promedio y el intervalo de confianza de 95%.

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

La Figura 3-18 presenta la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en los periodos comprendidos por los años 2011 a 2015. En general se observa que en las estaciones Carvajal-Sevillana y Kennedy, localizadas en el suroccidente de la ciudad, las concentraciones han sido más altas a través de los años. Como se ha mencionado previamente, las zonas de influencia de estas estaciones se caracterizan por alta actividad de fuentes de emisión. Se observa la paulatina disminución de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en todas las estaciones a través de los años, sin embargo, esto no es tan claro para las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, donde se observan concentraciones variables a través del tiempo.

Una comparación de los valores de concentración 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>) para las estaciones ubicadas en el suroccidente, pero ninguna mediana superó el valor normativo. Se observa también que la cantidad de datos extremos en estaciones como San Cristóbal MinAmbiente y Usaquén han aumentado frente a 2014, lo que refleja el efecto de días con concentraciones elevadas, probablemente debido a fuentes móviles por la localización de las mismas y efectos meteorológicos.



**Figura 3-18.** Presentación del gráfico de cajas para las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  por estación de monitoreo en el para los años 2011 a 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

La Tabla 3-6 contiene un resumen de los promedios y máximos históricos para el periodo 2011-2015. Se observa que el promedio de concentración a nivel ciudad (promedio 24 horas de las estaciones con captura de datos superior al 75%), ha disminuido considerablemente (exceptuando el año 2014, por diversos sucesos meteorológicos y eventos globales como arenas del Sahara, hecho analizado en el informe anual de calidad del aire de la RMCAB de dicho año) y que las estaciones que históricamente se caracteriza por presentar máximos en este periodo están ubicadas en el occidente y suroccidente de la ciudad.

**Tabla 3-6.** Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de  $PM_{10}$

Año	Promedio ciudad $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	52	186	03/07/2011	Kennedy
2012	48	152	04/08/2012	Carvajal-Sevillana
2013	48	154	07/08/2013	Kennedy
2014	52	243	28/06/2014	Fontibón
2015	44	160	24/02/2015	Carvajal-Sevillana

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

Durante el año 2015, diez (10) estaciones monitorearon este contaminante, como se describe en la tabla 1-1. Se obtuvieron 3049 datos válidos diarios que corresponden una recolección de datos del 93% entre las estaciones que registraron mediciones.

#### Comportamiento anual de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible de concentración para PM<sub>2.5</sub> en un tiempo de exposición de un año es de 25 µg/m<sup>3</sup>. La Tabla 3-7 presenta las concentraciones anuales de PM<sub>2.5</sub> para los años 2014 y 2015, con base en promedios diarios en las estaciones con captura de datos superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes para el año vigente y año anterior. La Figura 3-19 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB que monitorearon este contaminante durante 2015.

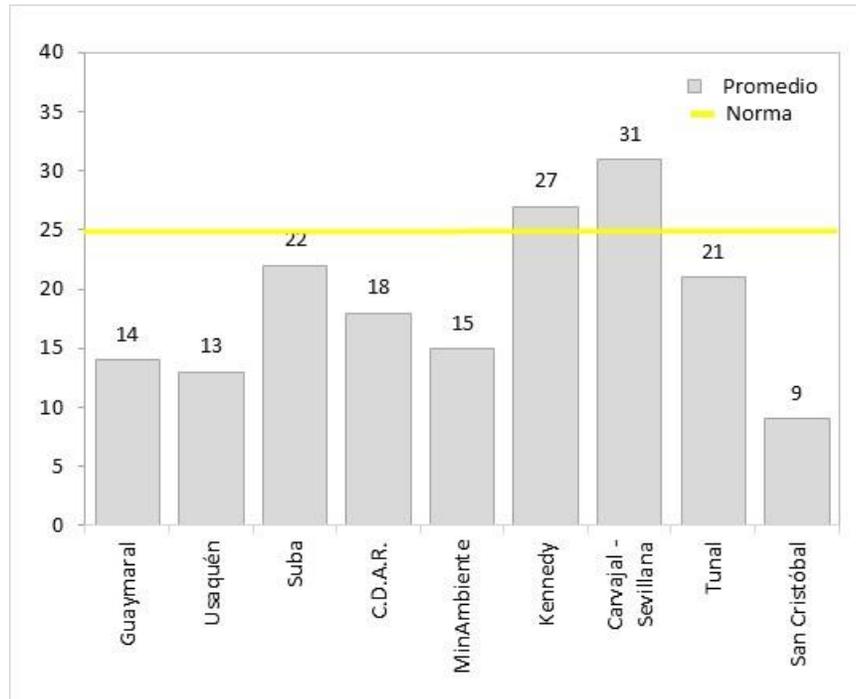
La Tabla 3-7 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de PM<sub>2.5</sub> por estación y permite establecer que las mayores concentraciones promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal-Sevillana con 31 µg/m<sup>3</sup> y Kennedy con 27 µg/m<sup>3</sup> y superan el límite anual permisible, lo cual está en concordancia con lo obtenido para PM<sub>10</sub> (ver Tabla 3-3) y comprueba que la zona suroccidental de la ciudad ésta afectada por niveles superiores de contaminación en comparación con otros sectores de la ciudad. Se destaca que de las estaciones con información disponible para 2014 y 2015, cuatro (4) presentan disminución en la concentración promedio anual reportada; la estación Usaquén permanece invariable; la concentración anual de Suba marca una diferencia (1 µg/m<sup>3</sup>) respecto al límite máximo permisible y es la única estación de la RMCAB con datos disponibles, que presenta un incremento de este contaminante comparado con el 2014.

**Tabla 3-7.** Concentración anual de PM<sub>2.5</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 25 µg/m<sup>3</sup>

Estación	Promedio 2014 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2015 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m <sup>3</sup> )
Guaymaral	N.A.	14	N.A.
Usaquén	13	13	0
Suba	21	22	1
Centro de Alto Rendimiento	20	18	-2
Ministerio de Ambiente	N.A.	15	N.A.
Kennedy	<b>32</b>	<b>27</b>	-5
Carvajal-Sevillana	<b>35</b>	<b>31</b>	-4
Tunal	23	21	-2
San Cristóbal	N.A.	9	N.A.

N.A.: Datos no disponibles.

La Figura 3-19 muestra gráficamente lo reportado en la tabla anterior, se aprecia la variación que presentan concentraciones más altas que las presentadas en el centro, sur y nororiente de la ciudad.



**Figura 3-19.** Promedios anuales de PM<sub>2.5</sub> durante el año 2015 por estación de monitoreo.

La distribución espacial de la concentración de PM<sub>2.5</sub> en la ciudad puede verse en la **Figura 3-20** 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 10 estaciones durante el año 2015. El método de *Kriging* con el cual se ha obtenido el mapa, confirma que las localidades que estuvieron más afectadas por niveles de PM<sub>2.5</sub> fueron Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar y Tunjuelito localizadas en el sur y en el suroccidente de la ciudad. La localidad de Fontibón puede presentar valores que difieren de reportes de años como 2012 o 2013, por las bajas concentraciones presentadas durante 2015 y además, la falta de datos por traslado de la estación de monitoreo en el año 2014 y 2015. Los comportamientos a nivel de localidad, muestran que es importante no generalizar el comportamiento de las concentraciones de contaminantes para toda la ciudad con promedios globales; es más recomendable su sectorización para los respectivos análisis (ver numeral 3.4).

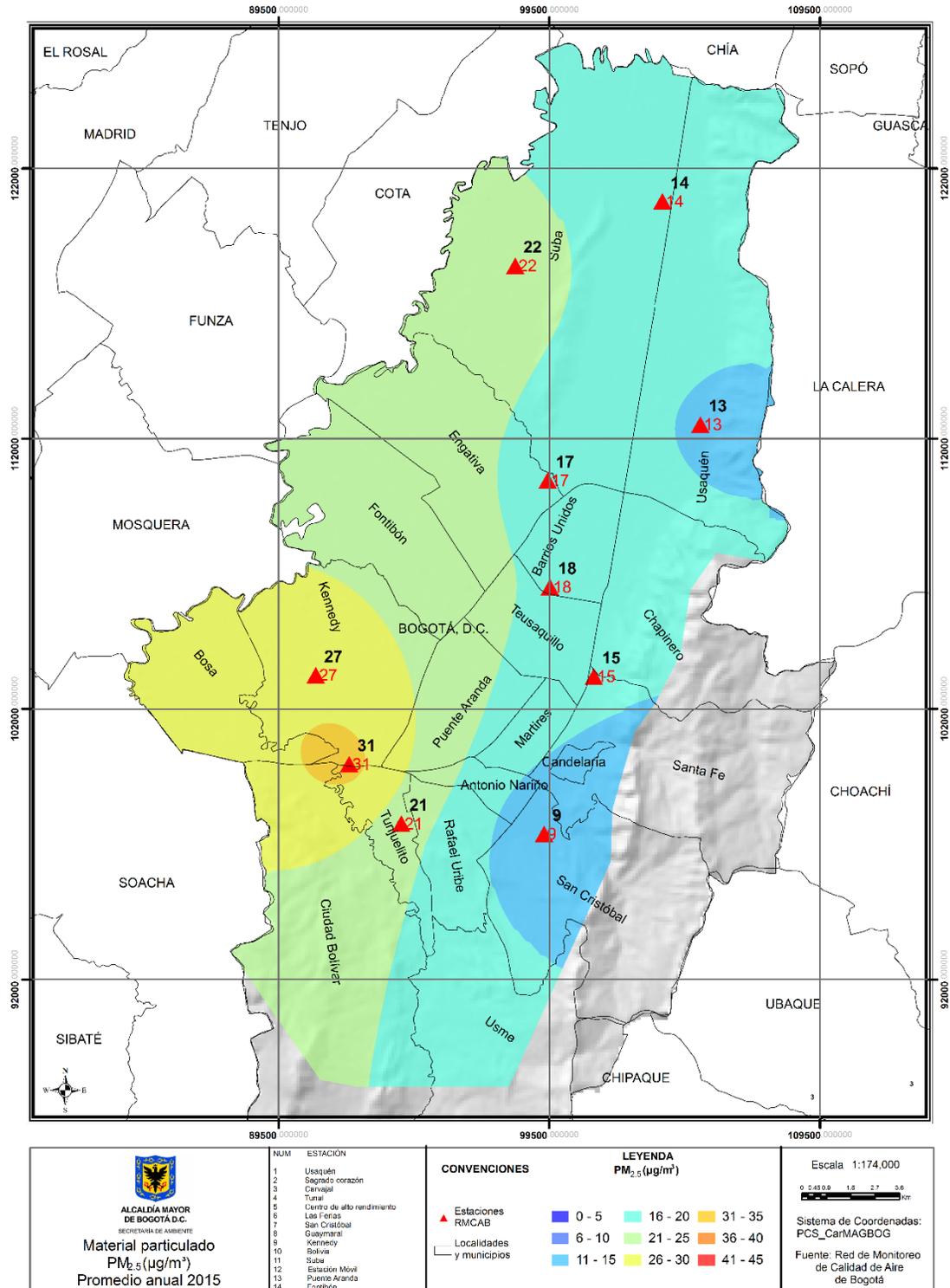
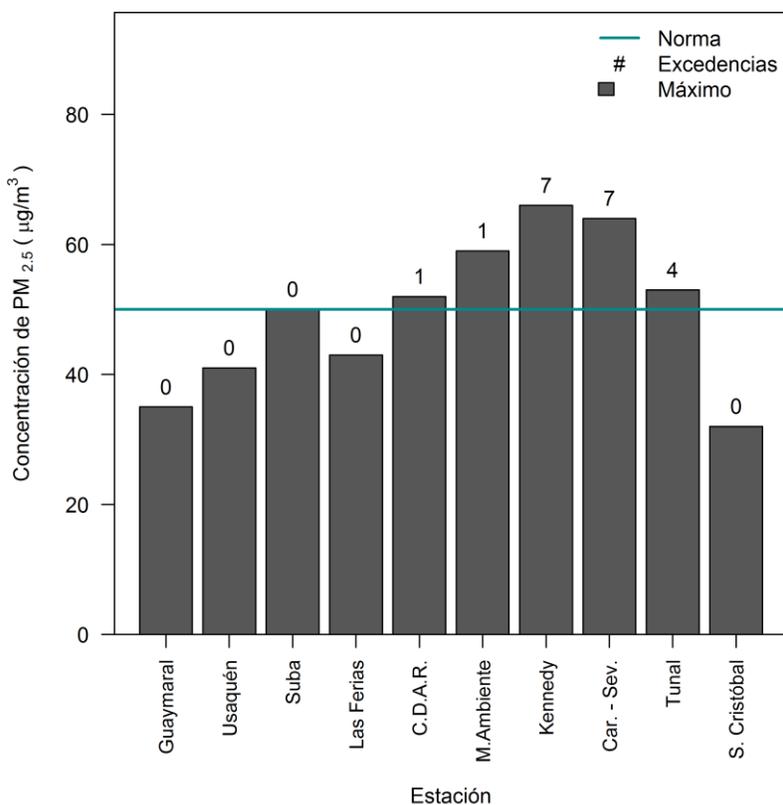


Figura 3-20. Concentración material particulado (PM<sub>2.5</sub>) con base en la interpolación espacial por el método Kriging de los promedios de las estaciones con captura de datos superior a 75%. Año 2015.

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

La Figura 3-21 y la Tabla 3-8 contienen un resumen de concentraciones máximas y número de excedencias de la norma diaria para PM<sub>2.5</sub> en el año 2015. Se observa que no se presentaron excedencias a la norma diaria de 50 µg/m<sup>3</sup>, en las estaciones Guaymaral, Usaquén, Suba, ubicadas en el norte de la ciudad, y San Cristóbal, localizada el suroriente, en las demás estaciones, se presentaron excedencias del límite máximo permisible. Carvajal-Sevillana y Kennedy reportaron el mayor número de excedencias normativas con 7, Tunal con cuatro (4) Excedencias, Centro de Alto Rendimiento y Ministerio de Ambiente presentaron 1 excedencia cada una. Es importante tener en cuenta la captura de datos de la estación de las Ferias que está por debajo del 75%



**Figura 3-21.** Máximos y excedencias de PM<sub>2.5</sub> en base diaria para al año 2015.

El máximo registro diario se presentó en la estación Kennedy con 66µg/m<sup>3</sup>, seguido muy de cerca por Carvajal-Sevillana con 64µg/m<sup>3</sup> con los registros más bajos en San Cristóbal, siendo esto consistente con lo que ocurre con el PM<sub>10</sub>. Estos valores indican 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 Anuales.

**Tabla 3-8.** . Resumen de la captura de datos diarios de PM<sub>2.5</sub> para el año 2015. Base de tiempo diaria.

Estación	Número de datos válidos	% datos válidos	Promedio anual (µg/m <sup>3</sup> )	Excedencias de la norma 50 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	345	95	14	0	0	0	35	16/01/2015
Usaquén	301	82	13	0	0	0	41	19/03/2015
Suba	330	90	22	0	0	2	50	26/03/2015
Las Ferias	257	70	18	0	0	0	43	25/03/2015
Centro de Alto Rendimiento	322	88	18	1	0.31	0	52	17/09/2015
MinAmbiente	361	99	15	1	0.28	0	59	31/10/2015
Kennedy	359	98	27	7	1.95	9	66	17/09/2015
Carvajal-Sevillana	341	93	31	7	2.05	8	64	24/02/2015
Tunal	361	99	21	4	1.11	6	53	10/02/2015
San Cristóbal	329	90	9	0	0	0	32	31/10/2015

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 PM<sub>10</sub> excepto para Carvajal-Sevillana, lo que es indicio de orígenes diferentes para la fracción más gruesa de material particulado. Una revisión de los datos del IBOCA muestra que pudo presentarse un episodio de contaminación local de interés el 24/02/2015 por valores reportados en Kennedy y Carvajal-Sevillana.

El análisis de las concentraciones diarias en el rango comprendido entre el 90% y el 100% del límite normativo, es decir, entre 45 µg/m<sup>3</sup> y 50 µg/m<sup>3</sup>, muestra que la estación Suba tiene tendencia a superar la norma con más frecuencia en caso de aumentos leves en la concentración de este contaminante.

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 excedencias en el mes de abril y diciembre y en especial a mitad del año 2015 (junio a agosto), coincidente con los cambios meteorológicos de la zona urbana de Bogotá.

**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.

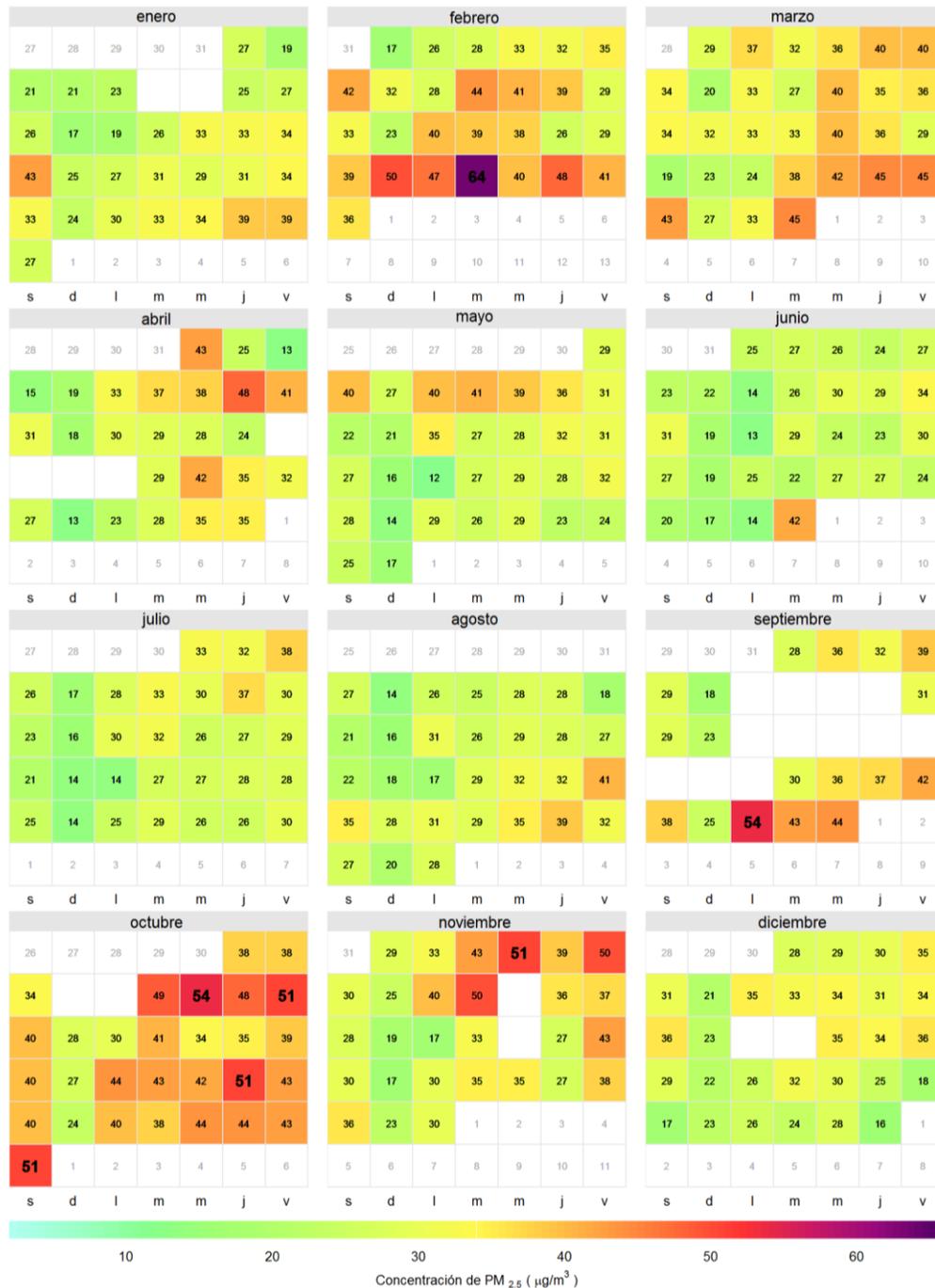
<sup>7</sup> Mayor a 90 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 100 µg/m<sup>3</sup>.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Guaymaral	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Usaquén	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Suba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Las Ferias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centro de Alto Rendimiento	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Kennedy	1	2	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	7
Carvajal-Sevillana	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4	1	0	7
Tunal	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de excedencias	2	5	1	0	1	0	0	0	4	6	1	0	20
Días de excedencias	2	4	1	0	1	0	0	0	2	4	1	0	15

La distribución espacial de la concentración de este contaminante en la ciudad puede verse en la **Figura 3-20** que corresponde a un mapa resultado de la interpolación espacial por el método *Kriging* de las concentraciones promedio anuales de  $PM_{2.5}$  (basado en promedios diarios) en las estaciones durante el año 2015. Los resultados muestran que la zona occidental de Bogotá está afectada por la presencia de este contaminante, especialmente el suroccidente de la ciudad, situación similar a lo observado en  $PM_{10}$  (Ver **Tabla 3-5**).

### Calendario de contaminación por $PM_{2.5}$ durante el año 2015

Car. - Sev. 2015



Suba 2015

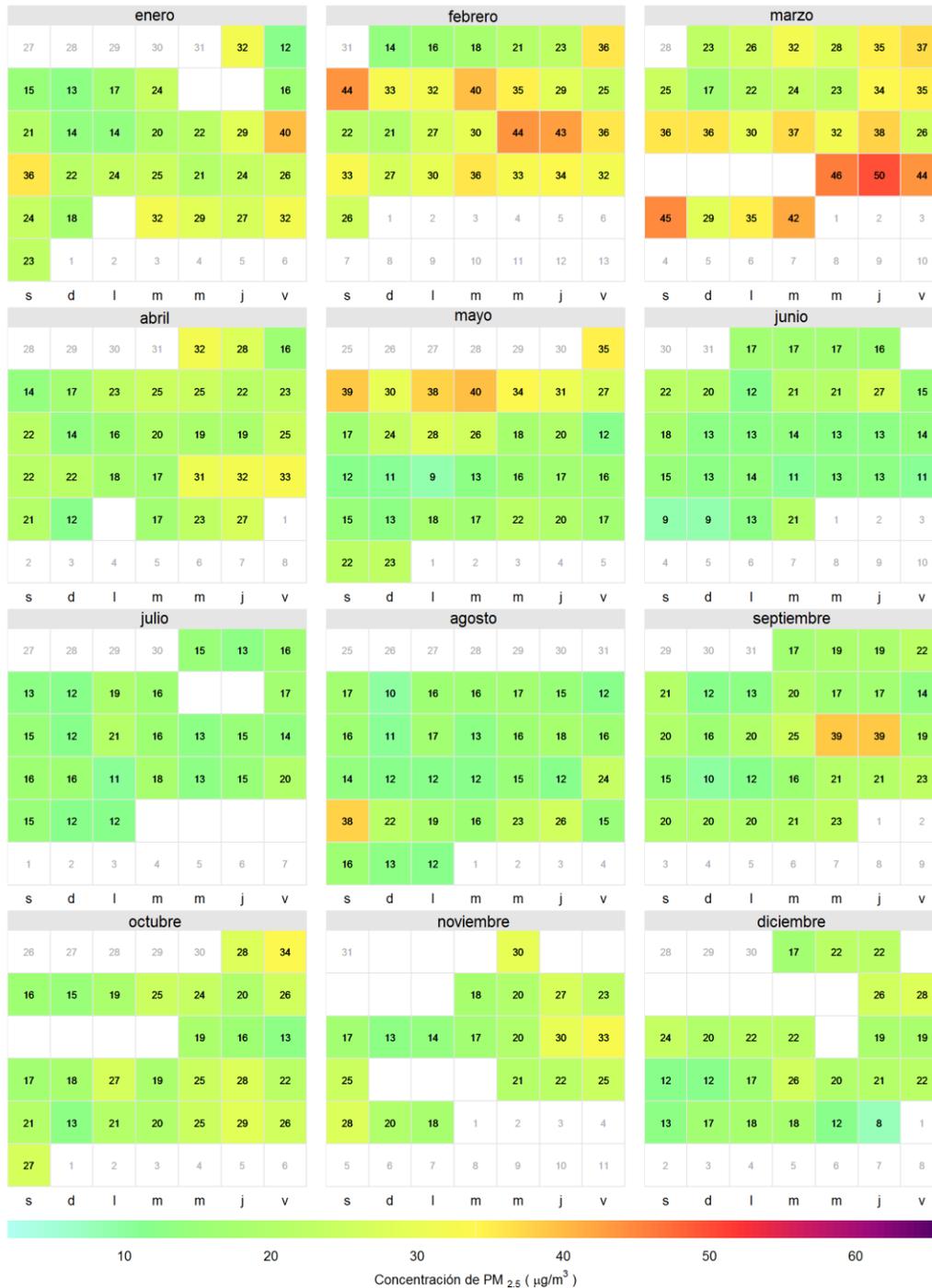


Figura 3-23. Calendario de concentración para PM<sub>2.5</sub> durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

S. Cristóbal 2015

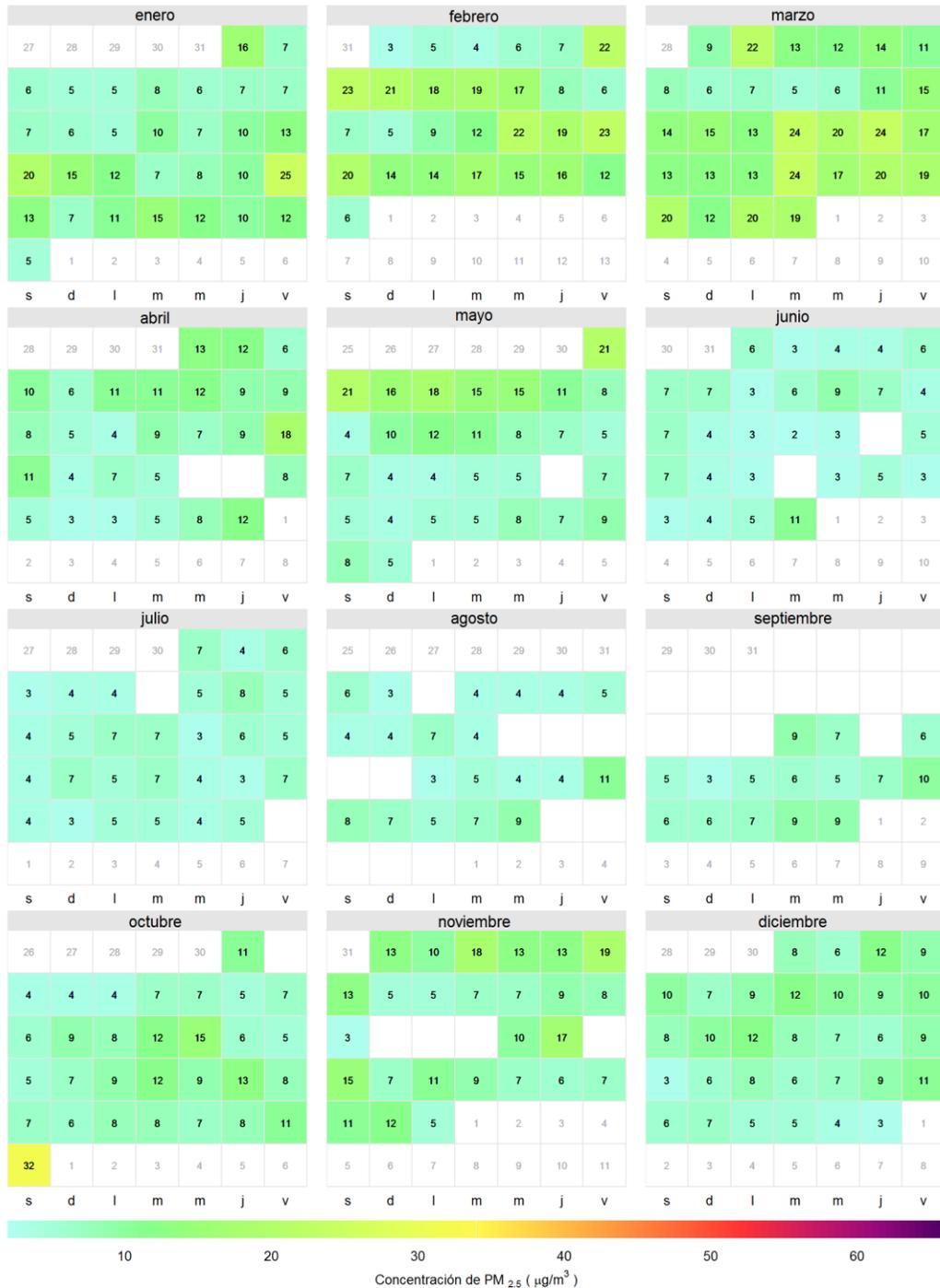


Figura 3-24. Calendario de concentración para PM<sub>2.5</sub> para el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración.

Las Figura 3-22, Figura 3-23 y Figura 3-24 corresponden a calendarios de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  durante el año 2015 en estaciones con concentraciones altas (Carvajal-Sevillana), 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.

Para Carvajal-Sevillana se observa que los meses de febrero, marzo, octubre y noviembre tuvieron las mayores concentraciones de contaminantes, para Suba se presentaron las mayores concentraciones en los meses de febrero y marzo y de igual manera ocurre con la estación San Cristóbal.

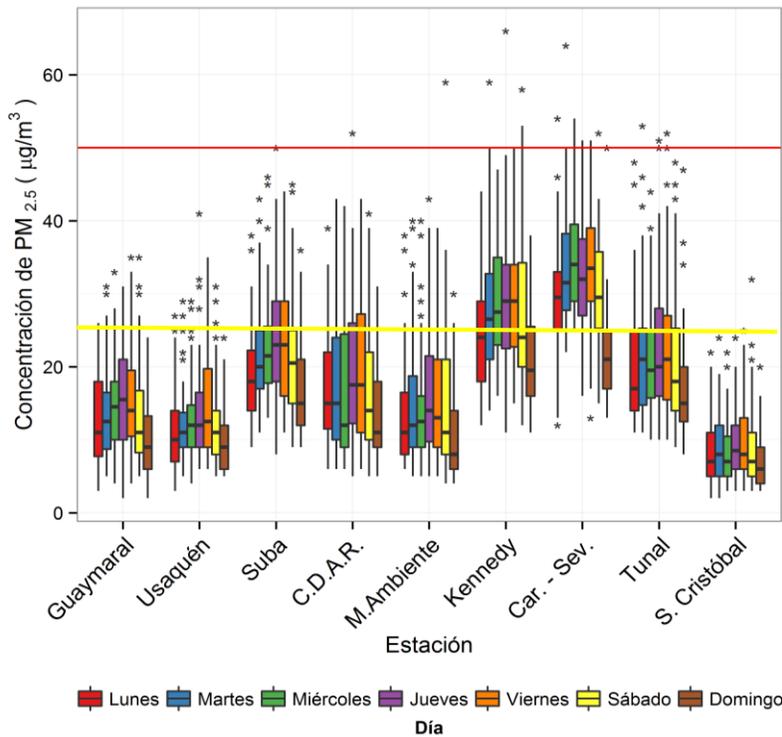
### **Comportamiento temporal de las concentraciones de $PM_{2.5}$**

La Figura 3-25 contiene la distribución de las concentraciones diarias de  $PM_{2.5}$  en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. En las estaciones analizadas se observa que los domingos se presentan las menores concentraciones, hecho acorde con la dinámica de la ciudad, dado que tradicionalmente este día el flujo vehicular es inferior al de otros días; se observa también que el sábado y lunes le siguen al domingo respecto a menores concentraciones. En las estaciones ubicadas en la zona central de la ciudad el sábado presenta menores valores que el lunes y en las estaciones del norte como Suba y Usaquén el lunes presenta menores valores de concentración.

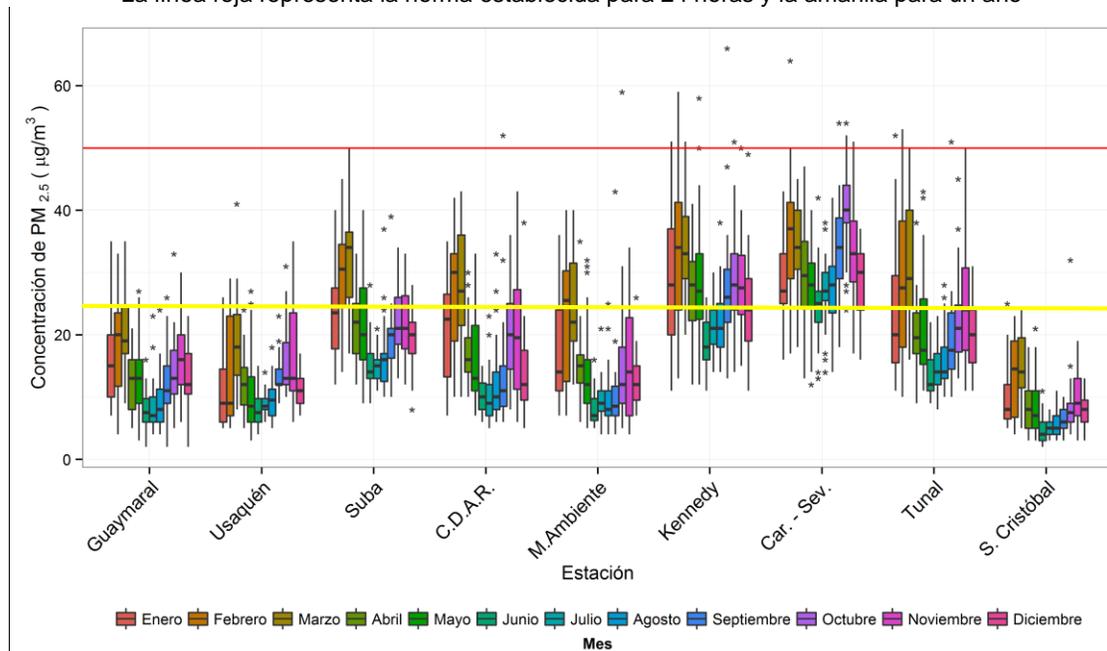
Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria existente muestra que las estaciones que tradicionalmente presentan mayores concentraciones, exceden la norma ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con datos contenidos en el cuarto cuartil y con datos extremos.

En términos de dispersión de datos, las menores variabilidades se observaron en Usaquén y San Cristóbal mientras que las mayores en C.D.A.R. y Kennedy en especial para los lunes y sábados.

El comportamiento en función de los meses de 2015 se presenta en la Figura 3-26. Se observa que en general, para junio, julio y agosto se presentaron los menores niveles de concentración, siendo junio el mes de menores valores a excepción de Guaymaral y C.D.A.R. Febrero y marzo presentan las mayores concentraciones en todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana y Usaquén. (ver numeral 4y 5).



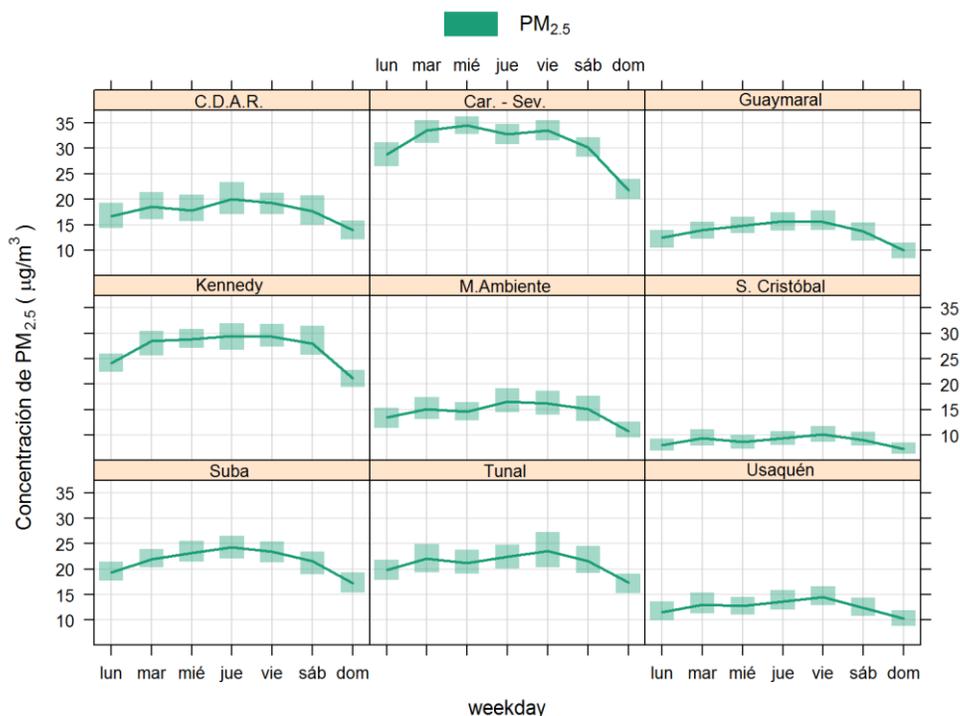
**Figura 3-25.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de días de la semana del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año



**Figura 3-26.** Diagramas de caja con la distribución de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de los meses del año 2015 y de las estaciones de monitoreo con captura de datos 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>

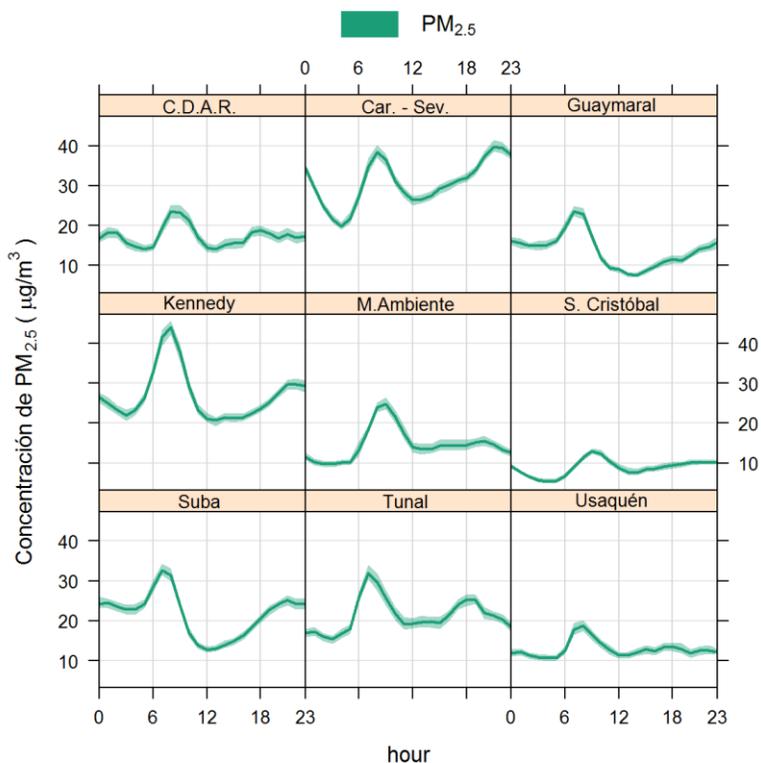
La Figura 3-27 presenta el perfil semanal de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en los monitores con captura de datos superior a 75%. Para todos los monitores se registraron las menores concentraciones los días domingo y en general los días martes a viernes, son los más contaminados. Carvajal-Sevillana presentan las mayores variabilidades diarias, mientras que, San Cristóbal y Usaquéen presentan las concentraciones más estables, lo cual concuerda con una influencia más marcada respecto a fuentes móviles en estas últimas frente a Carvajal-Sevillana 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 C.D.A.R., Kennedy y Tunal, son acotados, lo cual indica una baja dispersión de datos. Cada promedio en la figura se presenta con un intervalo de 95% de confianza (recuadros verdes de cada dato).



**Figura 3-27.** Comportamiento de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en el ciclo semanal para el año 2015. Cada promedio diario se presenta con un intervalo de 95% de confianza.

La Figura 3-28 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 Usaquéen 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-Sevillana, Kennedy y Tunal. Este comportamiento se puede atribuir 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.

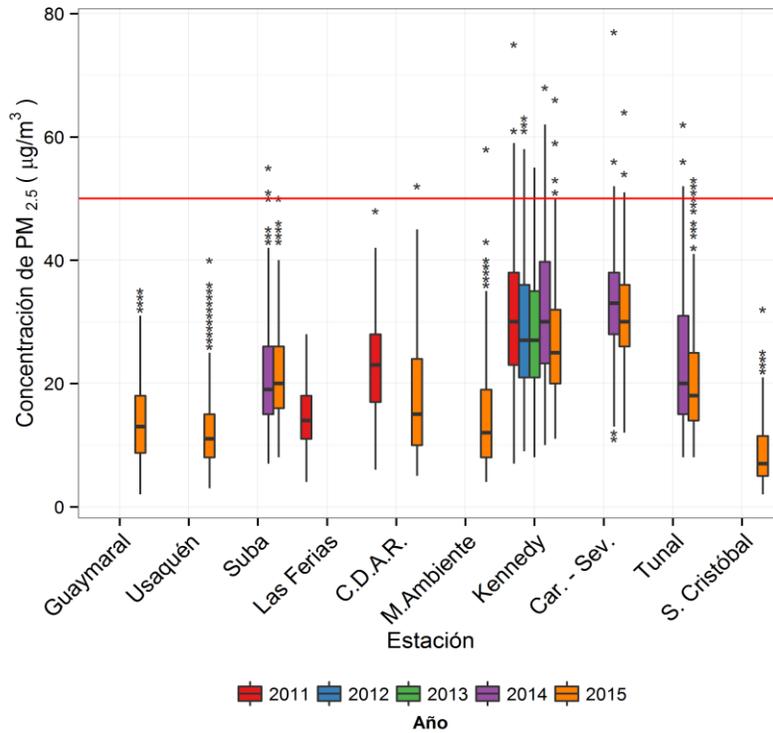
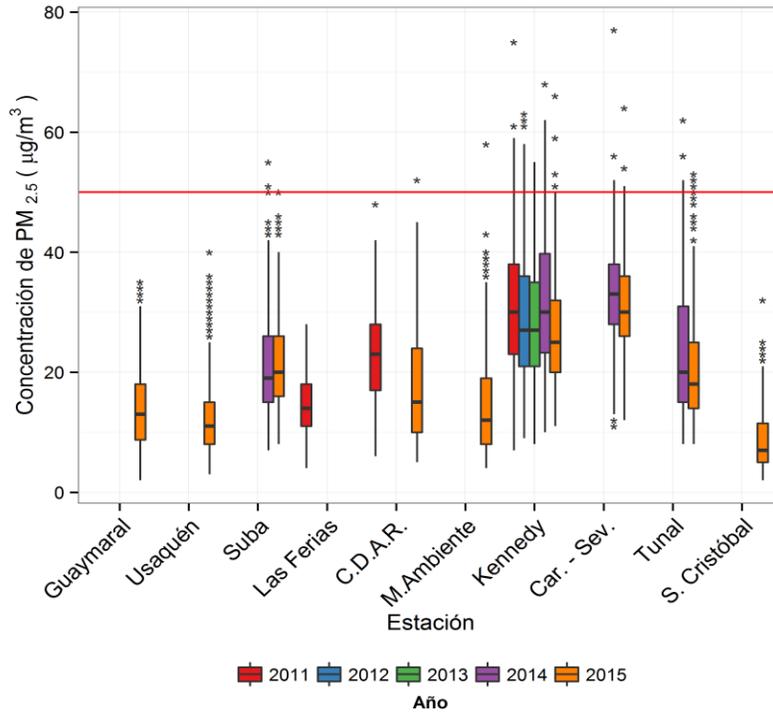
En Carvajal-Sevillana se observa un comportamiento particular ya que el pico de máxima concentración en el ciclo diario se ubica entre 8:00 p.m. y 9:00 p.m., pero este no tiende a aumentar en horas de la tarde y sí en la noche, lo cual sugiere aumento de actividad de las fuentes de emisión (industriales 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 Usaquén 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 3-28.** Ciclos diarios de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> por estación en el año 2015. Se muestra el intervalo de 95% de confianza.

### Comportamiento histórico de promedios de PM<sub>2.5</sub>

En el análisis de las tendencias históricas, es importante aclarar que los periodos 2011 a 2013 solamente reportan información para la estación Kennedy, mientras que a partir del año 2014 2015 se cuenta con disponibilidad de datos de 6 y 10 estaciones, respectivamente. Este incremento en el número de estaciones se debe a que desde octubre de 2013 se inició gradualmente la operación de monitores adicionales para este contaminante.



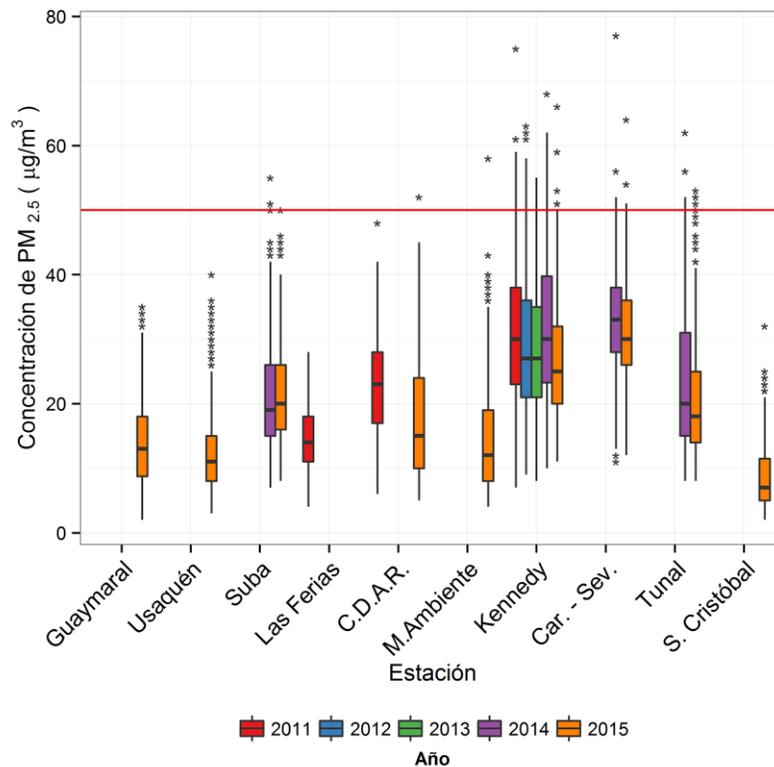
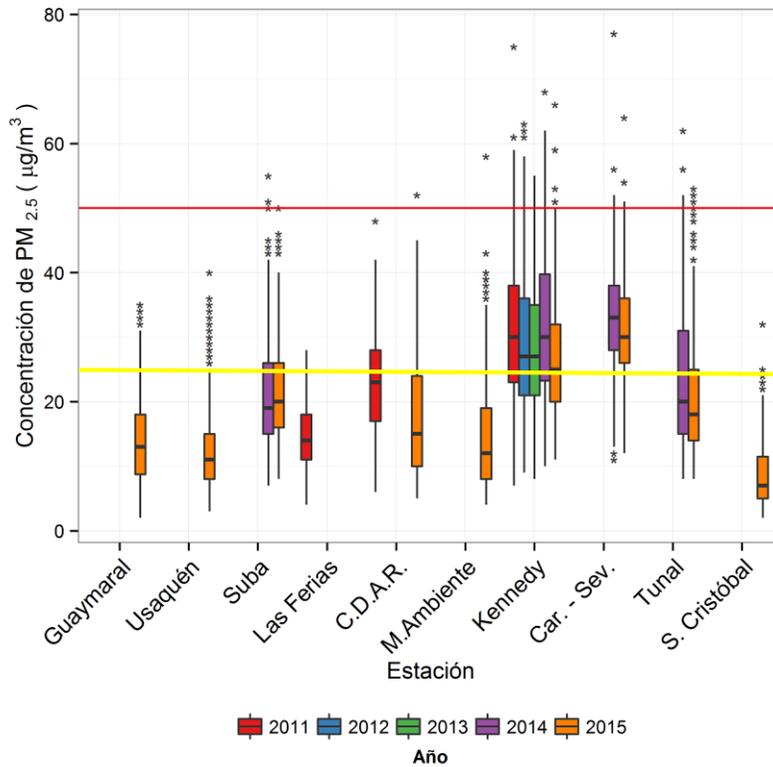


Figura 3-29 corresponde a un gráfico de *cajas* con el comportamiento histórico de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> para el año 2015.

La baja captura de datos en 2014 y la falta de cobertura espacial antes de 2013 impiden establecer un comportamiento del contaminante para todos los años analizados. Sin embargo, se observa una disminución en las concentraciones de este contaminante para Kennedy comparado con los años anteriores, en especial el año 2014; para Carvajal-Sevillana y Tunal también se observa un descenso en los niveles de concentración, mientras que para Suba se presenta un ligero aumento; otro aspecto interesante del año 2015 frente al año 2014 es la disminución en la dispersión de contaminantes debido probablemente al ajuste de equipos y a concentraciones más homogéneas como promedio diario. Una comparación de los valores de concentración, muestra que se supera la norma diaria ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de manera recurrente en Kennedy, para el cuarto rango intercuartil de Carvajal-Sevillana, por valores extremos en suba y tunal.

La Tabla 3-10 contiene un resumen histórico de promedios y máximos de PM<sub>2.5</sub> 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 2014, seguido por  $75\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2011, muy superior a lo registrado para los demás años de análisis que oscilan entre  $55\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $66\mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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 de los años con captura de datos adecuada.



**Figura 3-29.** Diagramas de caja de las concentraciones diarias de PM<sub>2.5</sub> en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% para el año 2015. La línea roja representa la norma establecida para 24 horas y la amarilla para un año

**Tabla 3-10.** Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de PM<sub>2.5</sub>

Año	Promedio ciudad µg/m <sup>3</sup> *	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación máximo
2011	31	75	17/03/2011	Kennedy
2012	28	63	17/02/2012	Kennedy
2013	28	55	16/01/2013	Kennedy
2014	24	77	27/06/2014	Carvajal-Sevillana
2015	19	66	17/09/2015	Kennedy

\* Solamente se considera la estación Kennedy entre 2011 y 2013.

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

La Tabla 3-11 muestra la relación de concentraciones promedio del año 2015 entre material particulado  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en las estaciones que midieron ambos contaminantes y que tienen una captura de datos superior al 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, Las ferias, Tunal y Suba, lo cual indica que en el área cubierta por estas habría una mayor influencia por parte de las fuentes de combustión. Por el contrario San Cristóbal, Carvajal-Sevillana y Kennedy registraron los menores valores lo que puede ser indicativo de 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 año 2015 y que tienen captura de datos 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	14	31	0.45
Usaquén	13	30	0.43
Suba	22	47	0.47
Las Ferias	18	35	0.51
Centro de Alto Rendimiento	18	28	0.64
MinAmbiente	15	34	0.44
Puente Aranda	N.A.	53	N.A.
Kennedy	27	66	0.41
Carvajal - Sevillana	31	87	0.36
Tunal	21	43	0.49
San Cristóbal	9	26	0.35

### 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. A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas<sup>8,9</sup>

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 ~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. Es 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

<sup>8</sup> Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.

<sup>9</sup> DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE.UU., Servicio de Salud Pública Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. RESUMEN DE SALUD PÚBLICA – Monóxido de Carbono. 2012

Informe anual de Calidad del Aire

Año 2015

Página 70 de 181

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

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 de años 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 año 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 año 2015 se obtuvieron 84544 promedios horarios válidos de O<sub>3</sub> (frente a 82620 del año 2014), lo que representa un porcentaje de captura datos de 88% para toda la red; al tomar las estaciones representativas, se recuperaron 73426 datos, correspondientes al 76% del total posible. La captura de datos, 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 3-30 condensa la información de esta tabla con un resumen gráfico de promedios, máximos y número de excedencias.

**Tabla 3-12.** . Resumen de la captura de datos horarios de O<sub>3</sub> por estación para el año 2015.

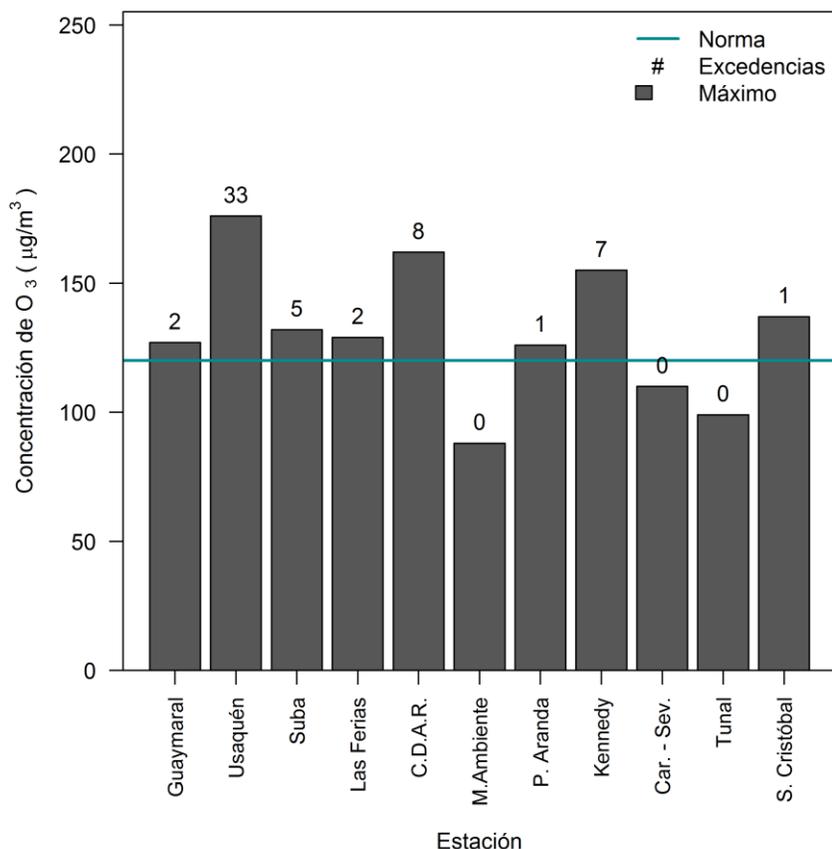
Estación	% de datos válidos	Excedencias norma 120 µg/m <sup>3</sup>	Máximo [µg/m <sup>3</sup> ] <sup>10</sup>	Fecha/hora de ocurrencia del Máximo	Cantidad de datos entre el 90% y el 100% de la norma <sup>11</sup>
Guaymaral	95	2	127	25/03/2015 15:00	10
Usaquén	96	33	176	31/10/2015 15:00	58
Suba	68	5	132	02/05/2015 14:00	6
Las Ferias	94	2	129	02/05/2015 14:00	3
Centro de Alto Rendimiento	89	8	162	02/05/2015 13:00	10
MinAmbiente	59	0	88	31/10/2015 14:00	0
Puente Aranda	92	1	126	24/02/2015 14:00	6
Kennedy	86	7	155	31/10/2015 14:00	11
Carvajal-Sevillana	93	0	110	31/10/2015 13:00	1
Tunal	98	0	99	08/05/2015 12:00	0
San Cristóbal	94	1	137	31/10/2015 14:00	2

En nueve (9) de las once (11) estaciones las estaciones se presentó una captura de datos superior a 75%, siendo Suba y MinAmbiente las estaciones con capturas menores debido a fallas operacionales del respectivo monitor. La concentración máxima reportada en la

<sup>10</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>.

<sup>11</sup> Mayor o igual a 108 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 120 µg/m<sup>3</sup>.

RMCAB fue  $176 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Usaquéen el 31 de octubre de 2015 a las 3:00 p.m. En esta misma fecha a las 2:00 p.m. se presentaron máximos en las estaciones de MinAmbiente, Kennedy, Carvajal-Sevillana, y San Cristóbal, un hecho que sugiere la ocurrencia de un episodio de alta concentración a nivel de la ciudad. El 02 de mayo de 2015 también se presentaron máximos para Suba, Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento entre 1:00 y 2:00 p.m.



**Figura 3-30.** Máximos y excedencias de la norma de  $\text{O}_3$  en base horaria por estación durante el año 2015.

De las once (11) estaciones con monitores de ozono, ocho (8) presentaron excedencias a la norma horaria. 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 los menores niveles de ozono.

### 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 determinar de forma más clara aquellos episodios generalizados de concentración a nivel ciudad. En un tiempo de exposición de 8 horas se obtuvieron 84724 datos (frente a 82146 del año 2014), promedios que representan el 88% del número máximo de datos que podrían calcularse en las estaciones que monitorearon este contaminante en el año 2015, de estos, se tienen 73578 datos de las estaciones con captura de datos superior al 75%, lo cual corresponde al 76% de los datos totales posibles. El resumen de porcentaje de datos válidos, promedios anuales, excedencias y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia se presenta en la Tabla 3-13. Los promedios anuales que se muestran en la tabla son 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 anual.

Ocho (8) estaciones de las once (11) activas para este contaminante presentaron excedencias a la norma de 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; es de destacar la estación de Usaquén que tuvo el 75% de las excedencias de la RMCAB, seguida por Centro de Alto Rendimiento y Kennedy con 6% cada una. La estación Usaquén 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.

El promedio anual más alto se presentó en Usaquén con 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (por encima de los 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  registrados en el año 2014), el cual es seguido en magnitud por Las Ferias con 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y San Cristóbal con 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo un resultado atípico, pues esta estación se caracteriza por bajas concentraciones de este contaminante (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el año 2014). En contraste, los valores más bajos fueron observados en Carvajal-Sevillana, Puente Aranda, Kennedy, Tunal y Suba. 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 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual puede deberse 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 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en Usaquén el 13 de septiembre de 2015 a las 4:00 p.m. En la misma fecha solo Las Ferias reportó sus máximos, lo cual no da evidencia de un evento adicional de altas concentraciones a nivel ciudad. Carvajal-Sevillana y Tunal, dos estaciones cercanas, presentaron máximos el 02 de mayo de 2015 a las 5:00p.m., lo cual evidencia un fenómeno local de contaminación. Es importante mencionar que un promedio móvil de 8 horas incluye las concentraciones registradas entre las ocho horas previas al momento de interés con lo cual, el pico de Usaquén abarca horas con importante concentración de este contaminante.

**Tabla 3-13.** . Resumen de las concentraciones de O<sub>3</sub> en base 8 horas durante el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio * anual (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	22	20	95	18/02/2015 18:00
Usaquén	96	47	561	125	13/09/2015 16:00
Suba	68	21	31	105	04/05/2015 18:00
Las Ferias	94	33	19	94	13/09/2015 16:00
Centro de Alto Rendimiento	89	26	48	119	02/05/2015 18:00
MinAmbiente	59	22	0	72	20/10/2015 18:00
Puente Aranda	93	17	10	90	18/02/2015 18:00
Kennedy	86	22	42	115	31/10/2015 19:00
Carvajal-Sevillana	94	15	0	80	02/05/2015 17:00
Tunal	98	20	0	67	02/05/2015 17:00
San Cristóbal	94	30	21	92	26/10/2015 19:00

\* Promedios con base en media 8 horas, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

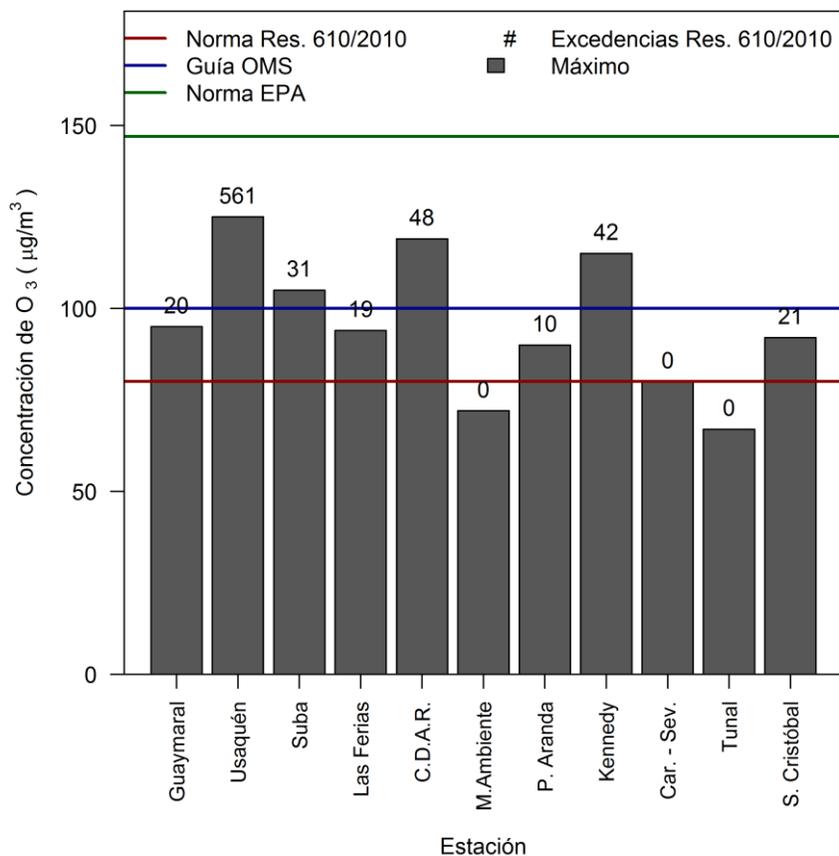
La Tabla 3-14 corresponde a un resumen de las excedencias del límite máximo permisible de 8 horas de ozono (80 µg/m<sup>3</sup>) discriminado por mes y por estación de monitoreo. Se observa que febrero, septiembre y octubre abarcan el 68% de las excedencias anuales. En junio y julio no se presentaron excedencias, probablemente debido al comportamiento meteorológico de la ciudad, lo cual es coincidente con la disminución de la concentración de los contaminantes primarios. Los promedios anuales 8 horas se muestran solo a manera de intercomparación ya que no hay norma anual para este contaminante

**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 año 2015.

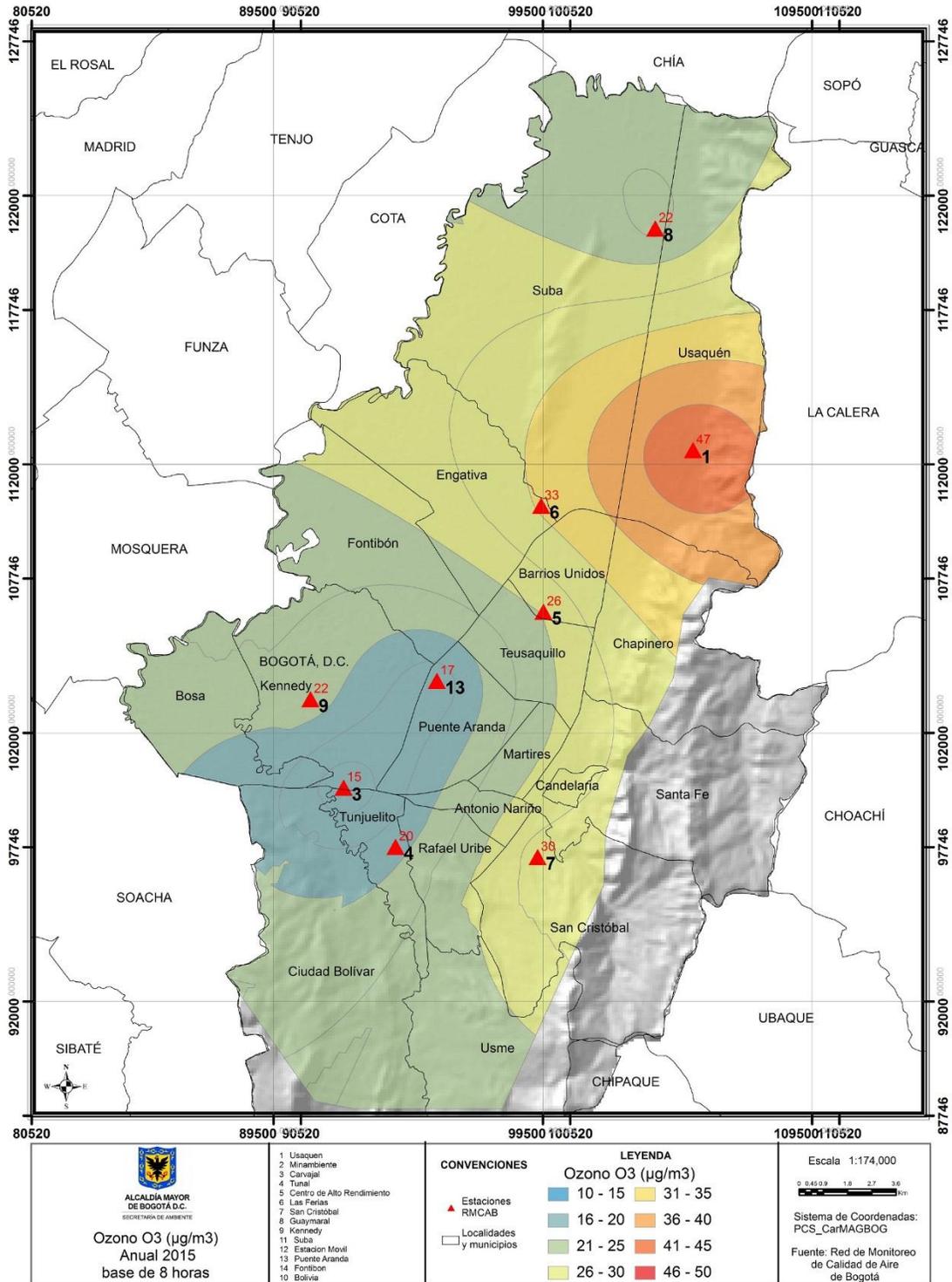
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Guaymaral	0	10	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	20
Usaquén	11	108	33	29	44	0	0	22	134	169	11	0	561
Suba	0	0	0	0	21	0	0	0	0	9	1	0	31
Las Ferias	0	6	0	0	3	0	0	0	10	0	0	0	19
C.D.A.R.	1	16	1	0	19	0	0	0	7	4	0	0	48
MinAmbiente	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Puente Aranda	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Kennedy	9	0	0	0	19	0	0	0	6	8	0	0	42
Carvajal-Sevillana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tunal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
San Cristóbal	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	3	0	21
<b>Total de excedencias</b>	<b>21</b>	<b>150</b>	<b>38</b>	<b>29</b>	<b>112</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22</b>	<b>165</b>	<b>200</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>752</b>
<b>Días de excedencias</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>70</b>

La Figura 3-31 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 cuatro (4) estaciones (Usaquén, Suba, C.D.A.R. y Kennedy) presentan excedencias frente al valor sugerido por esta entidad. Teniendo en cuenta que la concentración máxima fue  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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), solo Usaquén presentó excedencias.



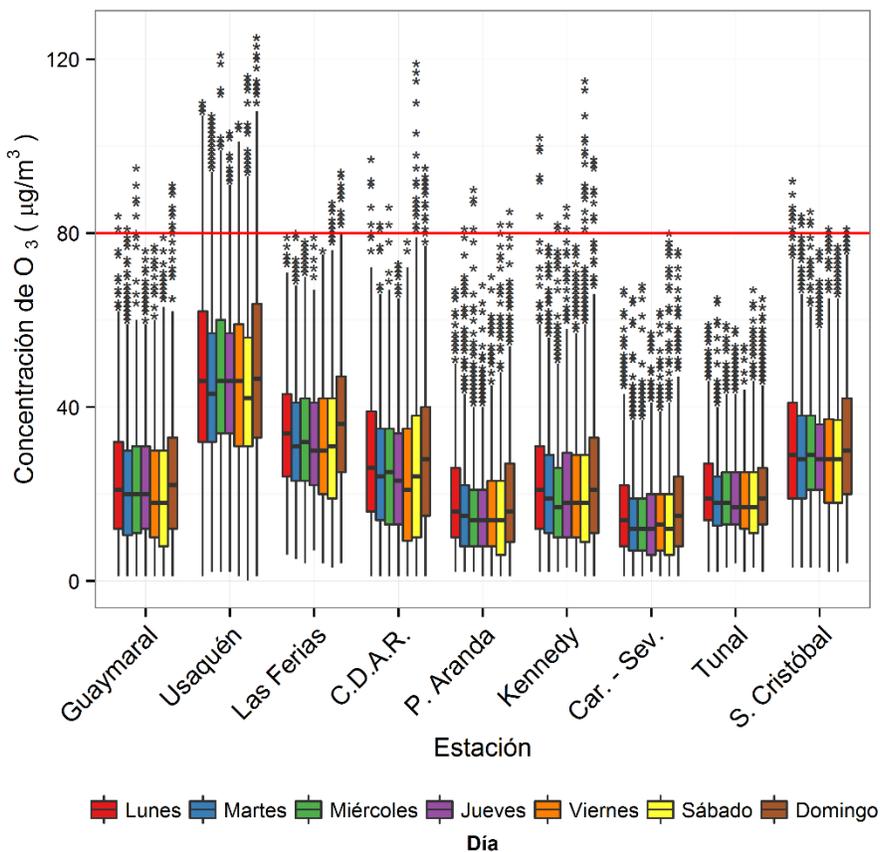
**Figura 3-31.** Concentraciones máximas y excedencias de la norma de  $\text{O}_3$  ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en base de promedios móviles de 8 horas por estación durante el año 2015.



**Figura 3-32.** 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 captura de datos superior a 75%. Año 2015

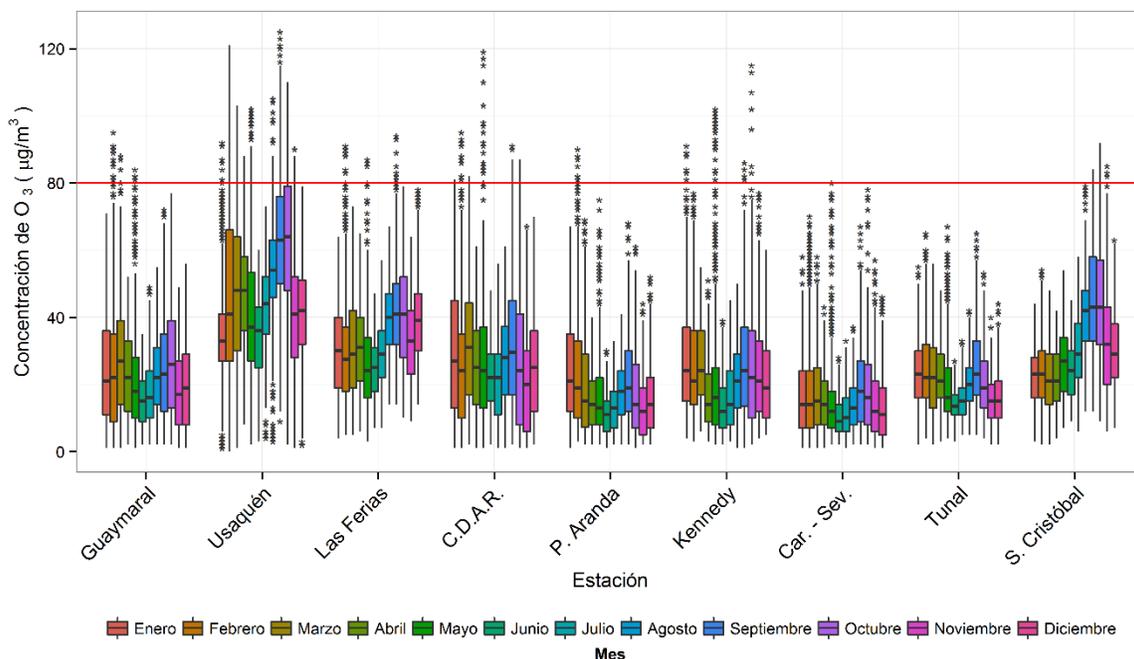
### Comportamiento temporal del O<sub>3</sub>

La Figura 3-33 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de O<sub>3</sub>, agrupado por días de la semana y estaciones de monitoreo (promedios móviles de 8 horas). Las distribuciones con los niveles más altos de concentración de acuerdo con la mediana como medida de tendencia central son los domingos, seguidos de los lunes. 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 año el comportamiento en San Cristóbal difiere del 2014 al tener valores de concentración altos frente a otras estaciones como Carvajal-Sevillana y Tunal, sin embargo, se mantiene comparable a los valores registrados por C.D.A.R. Una comparación de los valores de concentración por días de la semana del año 2015 frente a la norma 8 horas (80µg/m<sup>3</sup>), muestra que todas las estaciones a excepción de Carvajal-Sevillana y Tunal, en ocasiones exceden la norma. Para la estación de Usaquén y Kennedy se presentan excedencias todos los días, para otras estaciones como Las Ferias se puede ver que en los días laborales se encuentra al límite del incumplimiento de la norma, ocurriendo esto mismo para Carvajal-Sevillana en los fines de semana.



**Figura 3-33.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones de ozono (promedios móviles de 8 horas) en función de los días de la semana y de las estaciones de monitoreo para el año 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 2015 se presenta en la Figura 3-34. Las menores concentraciones fueron observadas en general para el mes de mayo y junio, coincidiendo con los demás contaminantes. En Usaquén y San Cristóbal la segunda mitad del año presenta mayores valores de concentración de ozono a diferencia de las otras estaciones donde las concentraciones de los primeros meses del año y la mitad del segundo semestre son comparables. 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. Se observa también que a mayores valores de concentración por mes, la dispersión de los datos es mayor.

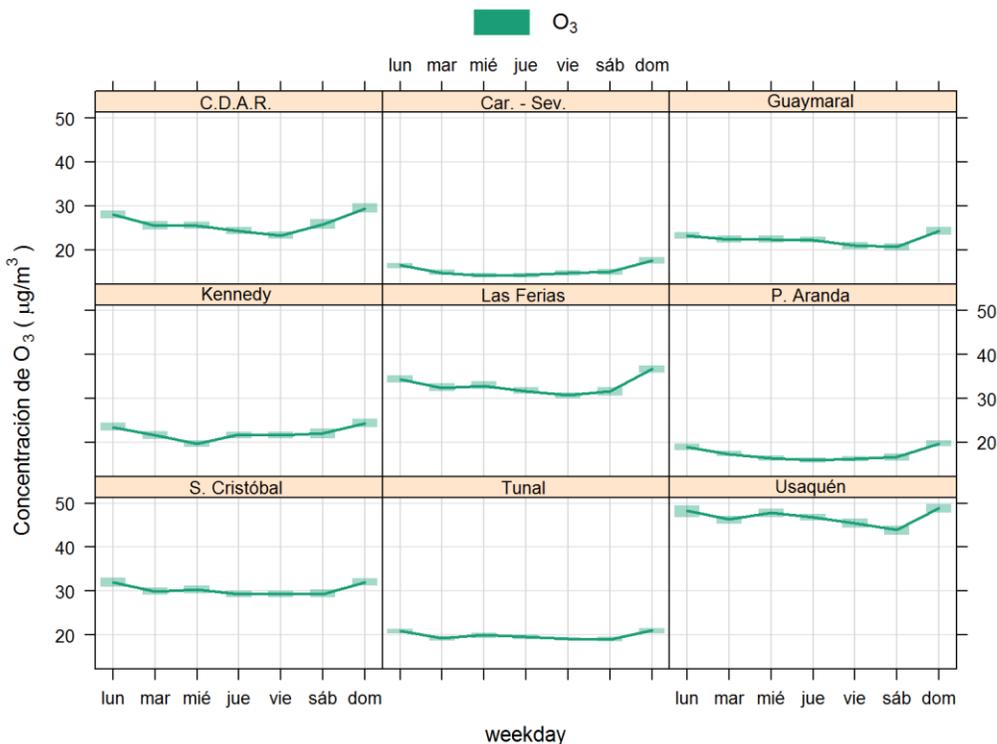


**Figura 3-34.** Diagramas de caja de las concentraciones de ozono (promedios móviles 8 horas) en función de los meses del año y captura de datos superior a 75% para 2015. La línea roja representa la norma establecida para 8 horas.

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

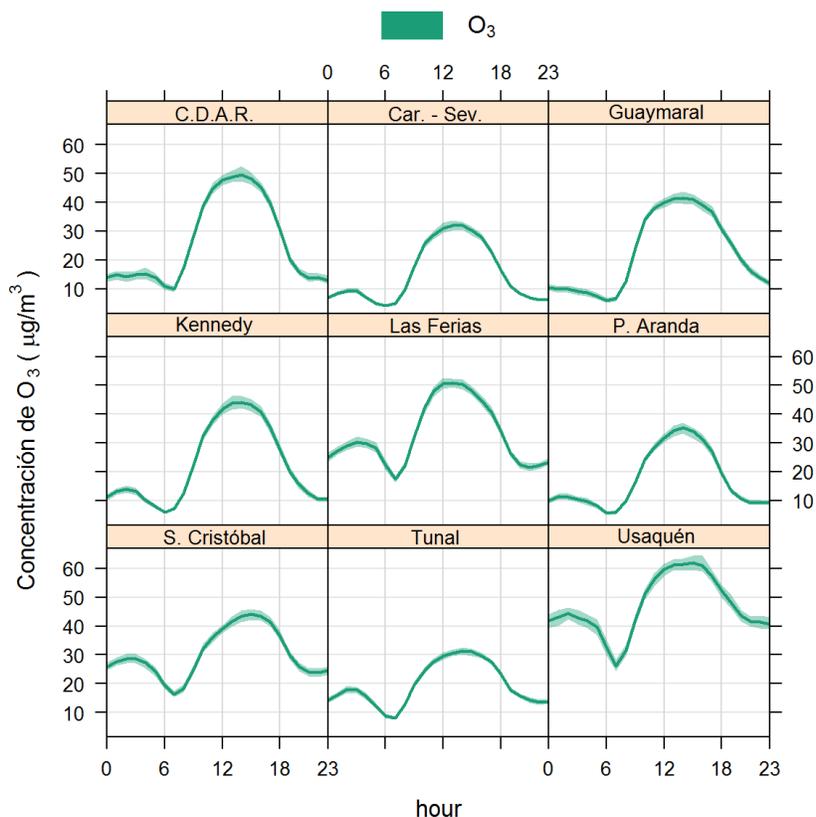
La Figura 3-35 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo. Como se mencionó en la sección previa, se observa que las mayores concentraciones fueron observadas los días domingo, sin embargo se observa un comportamiento bastante homogéneo a través de la semana 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 Tunal y San Cristóbal. 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 3-35.** Ciclos semanales de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por día de la semana. Año 2015

Los ciclos diarios de la Figura 3-36 muestran 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. Usaqué, Las Ferias y San Cristóbal mantienen concentraciones relativamente altas en horas de la noche y de la madrugada, Usaqué presenta un residual más grande que el resto de las estaciones en horas debido a las altas concentraciones del día anterior, sin embargo es un tema que requiere de una investigación más profunda.



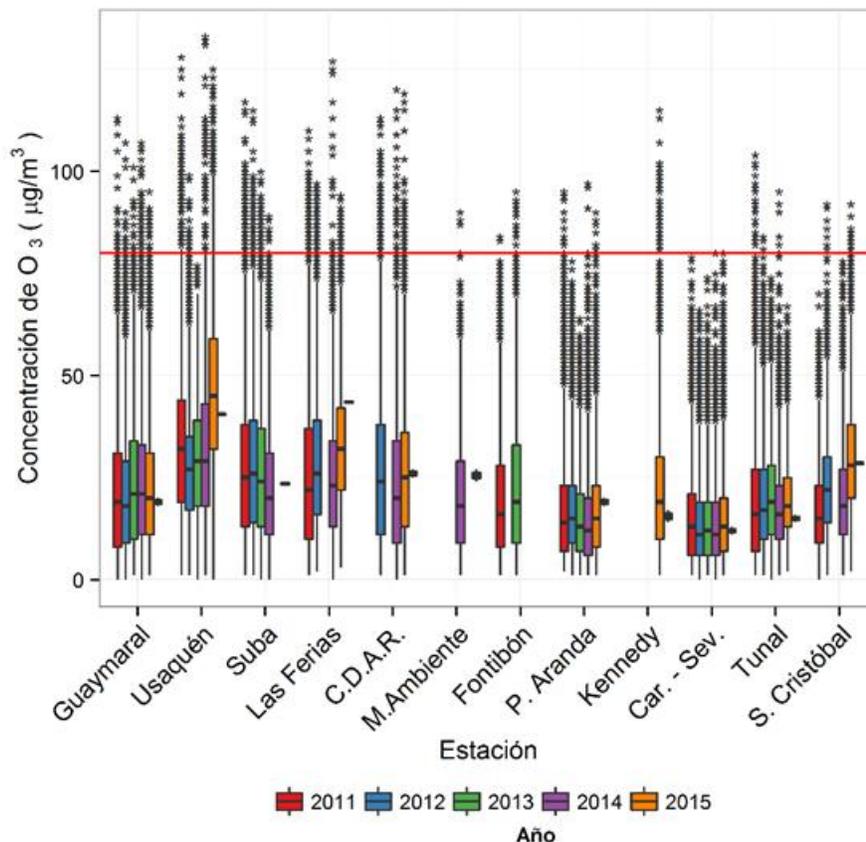
**Figura 3-36.** Ciclos diarios de las concentraciones de ozono por estación de monitoreo y por hora del día. Año 2015

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

La Figura 3-37 es un diagrama *cajas* que muestra la distribución de las concentraciones de ozono en promedios móviles de 8 horas en función de las estaciones de monitoreo para 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-Sevillana y se observa un incremento apreciable en San Cristóbal y Las Ferias Con respecto a años anteriores. 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, lo que convierte a este contaminante en asunto de interés en el futuro cercano. Entre 2011 y 2014 las concentraciones se han mantenido estables para Guaymaral, Carvajal-Sevillana, Puente Aranda y Tunal; no es posible establecer el comportamiento de estaciones como Suba y MinAmbiente por falta de captura de datos en el año 2015.

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, sin embargo, la dispersión ha disminuido para todas las estaciones frente a años anteriores a excepción de Carvajal-Sevillana y San Cristóbal. Una comparación de los valores de concentración por

estación a través del año frente a la norma 8 horas ( $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra ninguna mediana superó el valor establecido por norma y las excedencias son en general, datos extremos <sup>12</sup>



**Figura 3-37.** Presentación del gráfico de *cajas* de  $\text{O}_3$  en función de las estaciones de monitoreo en el año 2015 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 comprendidos por los años 2011 a 2015. En los 5 años estudiados, el promedio móvil de 8 horas más alto es de  $26\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondiente al año 2015; el máximo correspondió a  $133\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Guaymaral para el año 2014 a las 7:00 p.m. Para todos los años, los mayores valores de concentración se presentaron en horas de la tarde y noche donde el efecto de radiación a través del día es más notorio; se debe tener en cuenta que por ser medias móviles, se presenta un corrimiento natural de los valores máximos, frente a lo reportado en los datos horarios.

El aumento de los promedios de concentración, indican que se han aumentado las fuentes de emisión de precursores y que las excedencias a la norma pueden llegar a ser aún más

<sup>12</sup> Se debe tener en cuenta que no existen normas anuales de  $\text{O}_3$  y la comparación se realiza a manera de referencia entre estaciones y años

frecuentes. Los promedios se muestran a manera de comparación entre estaciones ya que no existe norma anual para este contaminante.

**Tabla 3-15.** Resumen de promedios y máximos históricos de concentración de O<sub>3</sub> en promedios móviles de 8 horas

año	Promedio ciudad µg/m <sup>3</sup> *	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación con el máximo
2011	22	128	25/01/2011 18:00	Usaquén
2012	23	132	16/02/2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	22	101	04/04/2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29/03/2014 19:00	Guaymaral
2015	26	125	13/09/2015 16:00	Usaquén

\* Promedios con base en media móvil 8 horas, incluye solo estaciones representativas

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

En el año 2015, se contó con 8 estaciones fijas 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 anual de las concentraciones de NO<sub>2</sub>

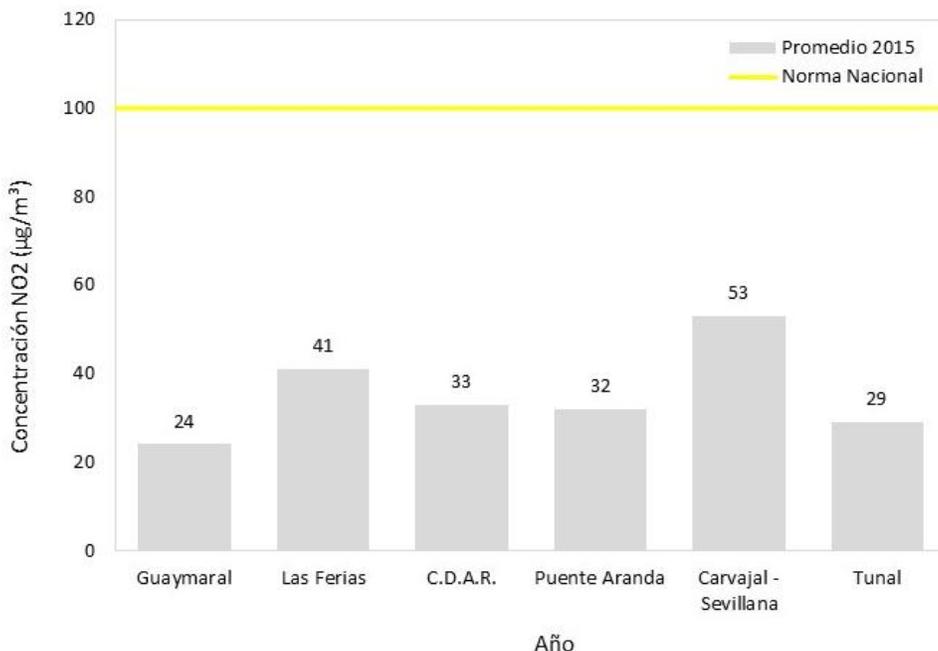
De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible de concentración para NO<sub>2</sub> en un tiempo de exposición de un año es de 100µg/m<sup>3</sup>. Tabla 3-16 presenta las concentraciones anuales de NO<sub>2</sub> para los años 2014 y 2015, con base en promedios diarios en las estaciones con captura de datos temporal superior a 75%. Adicionalmente, se presenta la comparación de estas magnitudes frente al año anterior. La Figura 3-38 presentan los valores promedio anuales para las estaciones de la RMCAB (basados en promedios diarios) que monitorearon este contaminante durante 2015.

La Tabla 3-16 muestra los promedios anuales obtenidos para la concentración de NO<sub>2</sub> por estación y permite establecer que de las ocho (8) estaciones, el 25% es decir dos estaciones, no cuentan con la captura de datos necesaria para reportar promedios anuales. Se observa que las mayores concentraciones de este contaminantes se presentan en Carvajal-Sevillana y Las ferias con 53µg/m<sup>3</sup> y 41µg/m<sup>3</sup> respectivamente y solo dos estaciones permiten calcular el cambio de los valores entre el año 2014 y 2015 por captura de datos inferior al 75%, con esto, en Puente Aranda se presentó una disminución de 7µg/m<sup>3</sup> y en Guaymaral un leve aumento de 1µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3-16.** Concentración anual de NO<sub>2</sub> durante los años 2014 y 2015 y cambio de concentración entre los dos años. Se resaltan las estaciones que superan la norma anual correspondiente a 50 µg/m<sup>3</sup>

Estación	Promedio 2014 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2015 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m <sup>3</sup> )
Guaymaral	23	24	1
Suba	26	N.R.	
Las Ferias	N.R.	41	
Centro de Alto Rendimiento	N.R.	33	
Puente Aranda	39	32	-7
Kennedy	34	N.R.	
Carvajal-Sevillana	N.R.	53	
Tunal	N.R.	29	

N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

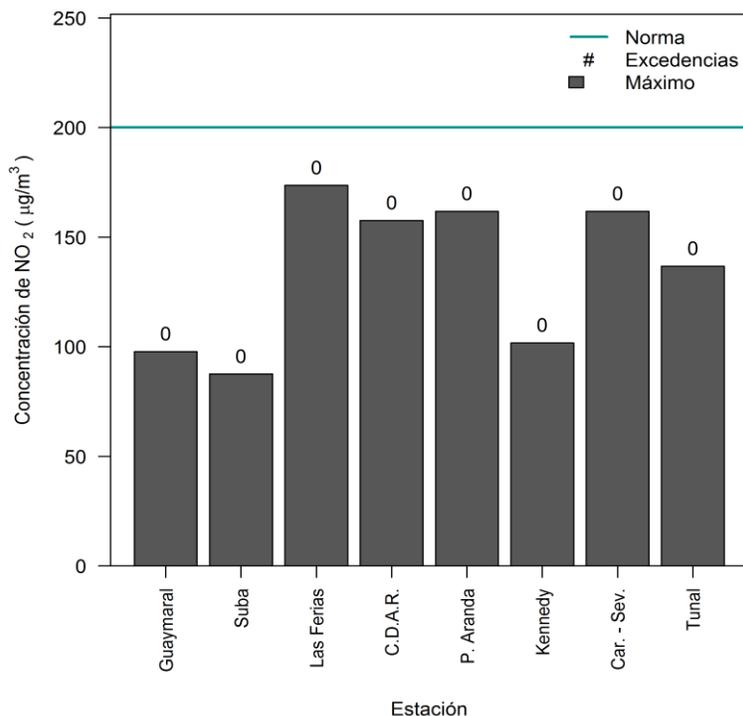


**Figura 3-38.** Promedios anuales de NO<sub>2</sub> basados en datos diarios durante el año 2015 por estación de monitoreo.

La Figura 3-38 muestra de manera gráfica el comportamiento promedio de este contaminante por estación. Se observa que a pesar de que Carvajal-Sevillana y Puente Aranda se encuentran en zona industrial, la diferencia en la concentración de NO<sub>2</sub> es notable, probablemente debido a que Carvajal-Sevillana está más influenciada por el componente local de fuentes móviles. Se observa también que ningún promedio superó la norma anual vigente.

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

Durante el periodo analizado se obtuvieron 56435 promedios horarios validos (25% más que en el año 2014 en el que se obtuvieron 45282 datos), que corresponden a una captura global de datos de 81% entre las estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con captura de datos superior al 75%, se encuentra que seis (6) de las ocho estaciones cuentan con más del 75% de los datos. La Figura 3-39 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, con base de tiempo horaria. Los valores de porcentajes de captura de datos, máximos horarios y fechas en las que ocurrieron los máximos para cada estación se presentan en la Tabla 3-17. Como se puede observar, no se registraron excedencias de la norma horaria (200 µg/m<sup>3</sup>), se presentan excedencias sobre el 75% de la norma para Las Ferias, Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda, Kennedy y Carvajal-Sevillana.



**Figura 3-39.** Máximos y excedencias de los datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación durante el año 2015

La máxima concentración horaria de este contaminante registrada por la RMCAB en el periodo de análisis fue 174µg/m<sup>3</sup> el 05 de mayo de 2015 a las 09:00a.m., en la estación Las Ferias. Para esta fecha no se presentaron eventos de máxima concentración en otras estaciones, tampoco se presentaron coincidencia para otros días del año, lo cual significa que no hubo episodios generalizados de altas concentraciones por este contaminante

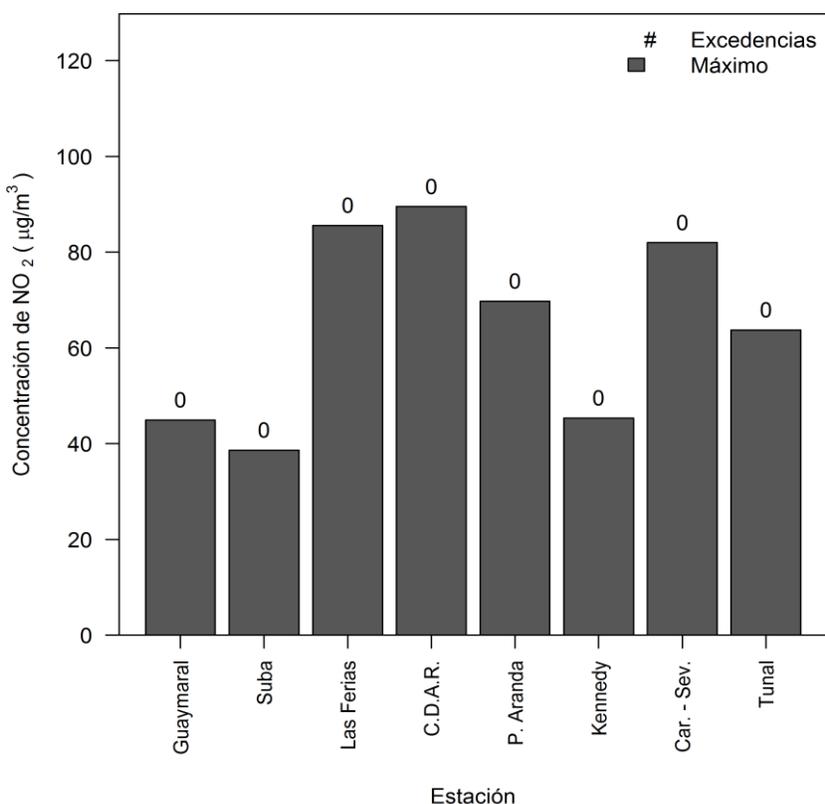
**Tabla 3-17.** Resumen de la captura de datos horarios de NO<sub>2</sub> por estación para el año 2015.

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>13</sup>
Guaymaral	93	98	16/09/2015 22:00	0
Suba	30	88	30/03/2015 18:00	0
Las Ferias	87	174	05/05/2015 08:00	3
Centro de Alto Rendimiento	87	158	04/05/2015 09:00	2
Puente Aranda	97	162	29/10/2015 09:00	1
Kennedy	60	102	24/02/2015 10:00	0
Carvajal-Sevillana	94	162	24/02/2015 10:00	1
Tunal	96	137	22/10/2015 09:00	0

<sup>13</sup> Mayor a 150 µg/m<sup>3</sup> y menor o igual a 200 µg/m<sup>3</sup>

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

Se obtuvieron 2335 valores diarios de NO<sub>2</sub>, cuya captura de datos corresponde al 93% del total de datos posibles entre las estaciones que reportaron alguna medición. Al igual que con los datos horarios, seis (6) estaciones cuentan con capturas superiores al 75%. La Figura 3-40 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para NO<sub>2</sub>, en base de tiempo diaria. En la Tabla 3-18 se reportan los porcentajes de datos válidos, promedios anuales 8 horas, 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>).



**Figura 3-40.** Excedencias y concentraciones máximas de NO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el año 2015.

La máxima concentración diaria reportada en la RMCAB fue 90µg/m<sup>3</sup> en la estación Centro de Alto Rendimiento el 01 de mayo de 2015 (frente a 93µg/m<sup>3</sup> del año 2014 en Las Ferias y Puente Aranda), No hay coincidencia entre fechas y lugares de ocurrencia de los máximos diarios para este contaminante, por lo cual se puede inferir que no se presentaron episodios de contaminación relevantes para la salud, conforme a la normativa nacional.

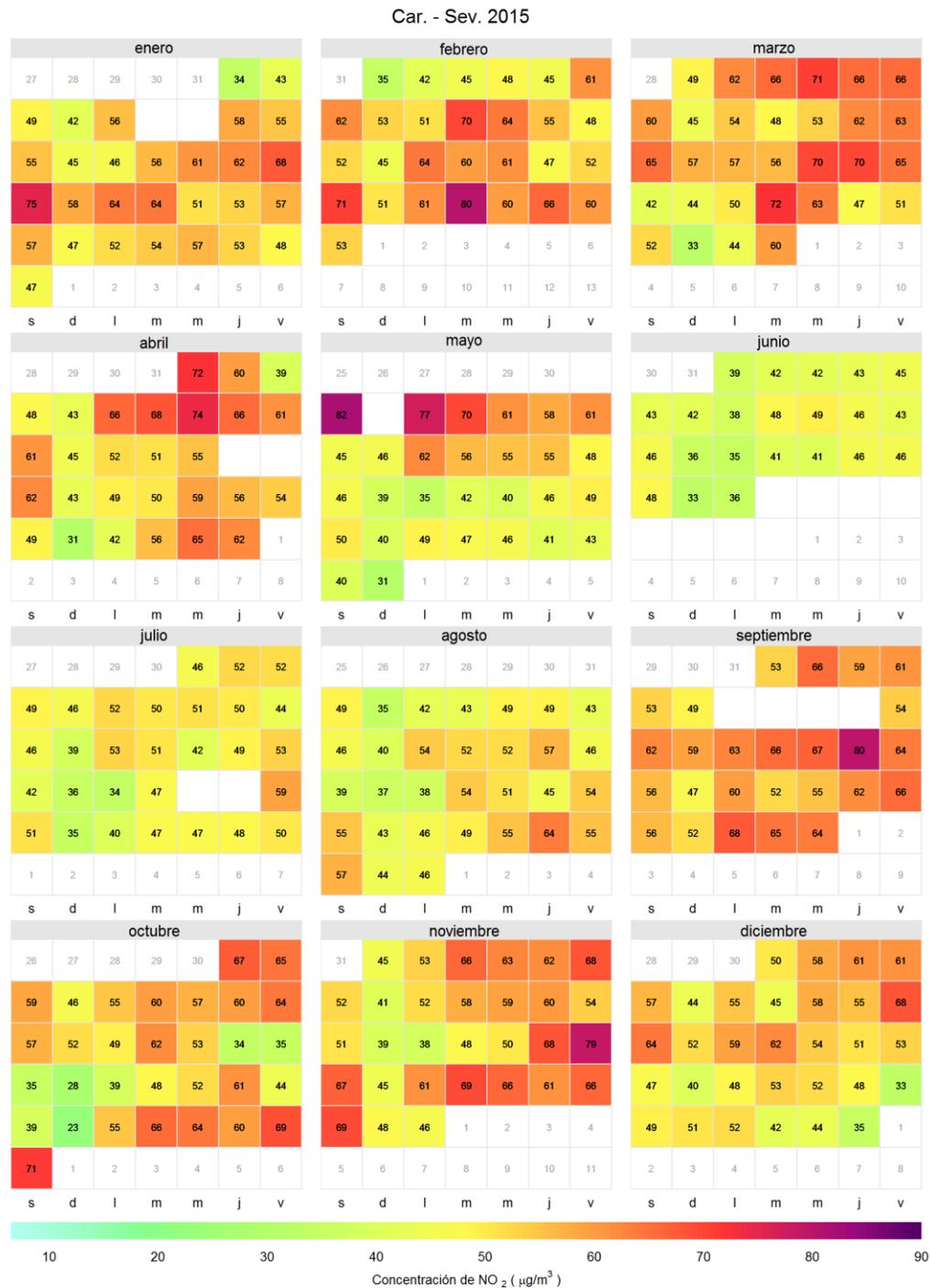
**Tabla 3-18.** . Resumen de la captura de datos diarios de NO<sub>2</sub> por estación para el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio (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>14</sup>
Guaymaral	92	24	45	05/11/2015	0
Suba	29	22	39	19/03/2015	0
Las Ferias	86	41	86	04/05/2015	6
Centro de Alto Rendimiento	86	33	90	01/05/2015	4
Puente Aranda	97	32	70	17/01/2015	0
Kennedy	58	25	45	03/03/2015	0
Carvajal-Sevillana	95	53	82	02/05/2015	6
Tunal	96	28	64	17/04/2015	0

\* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

<sup>14</sup> Mayores a 75 µg/m<sup>3</sup>.

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



**Figura 3-41.** Calendario de concentración para NO<sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Carvajal-Sevillana. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m<sup>3</sup>.

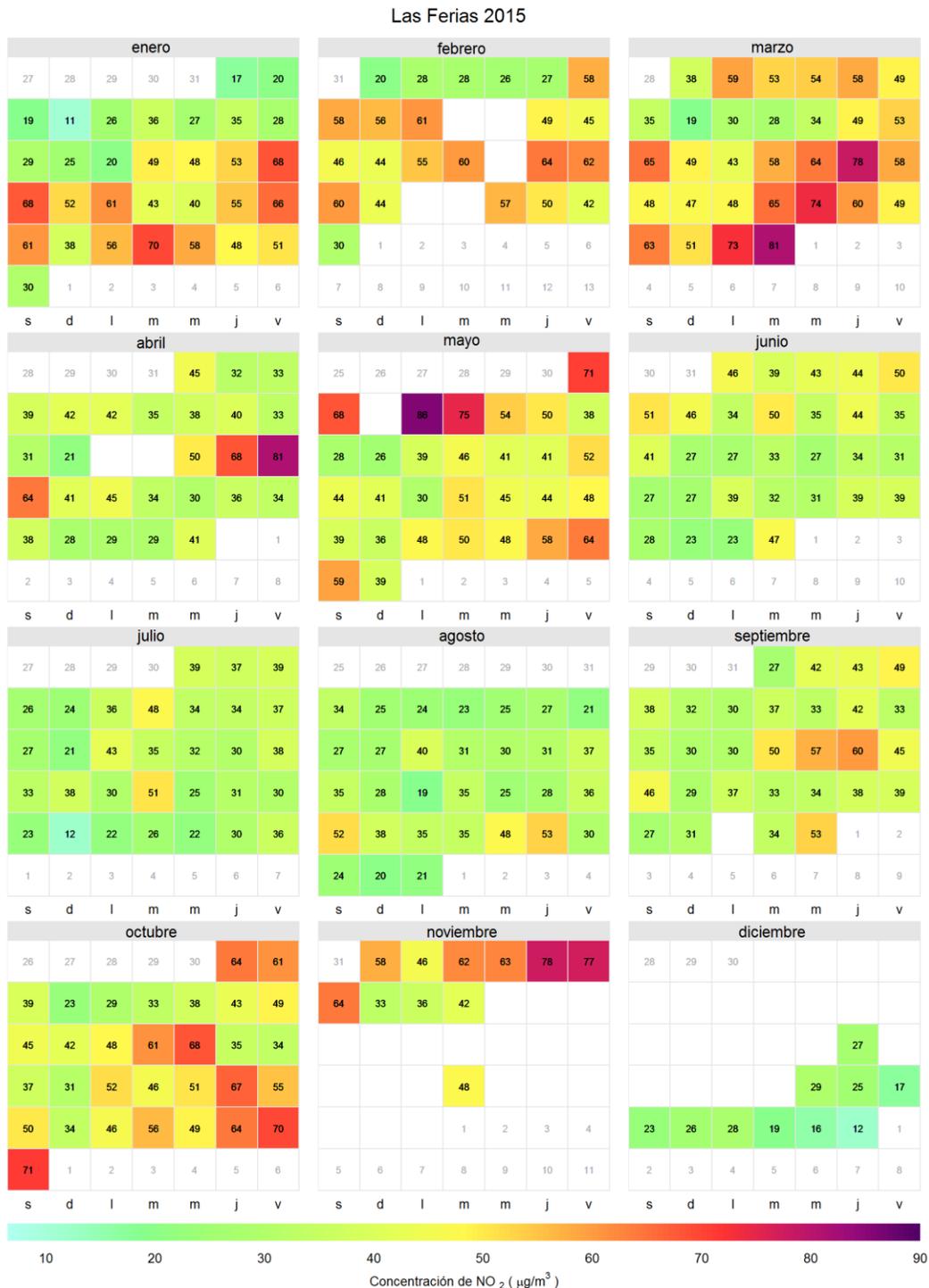
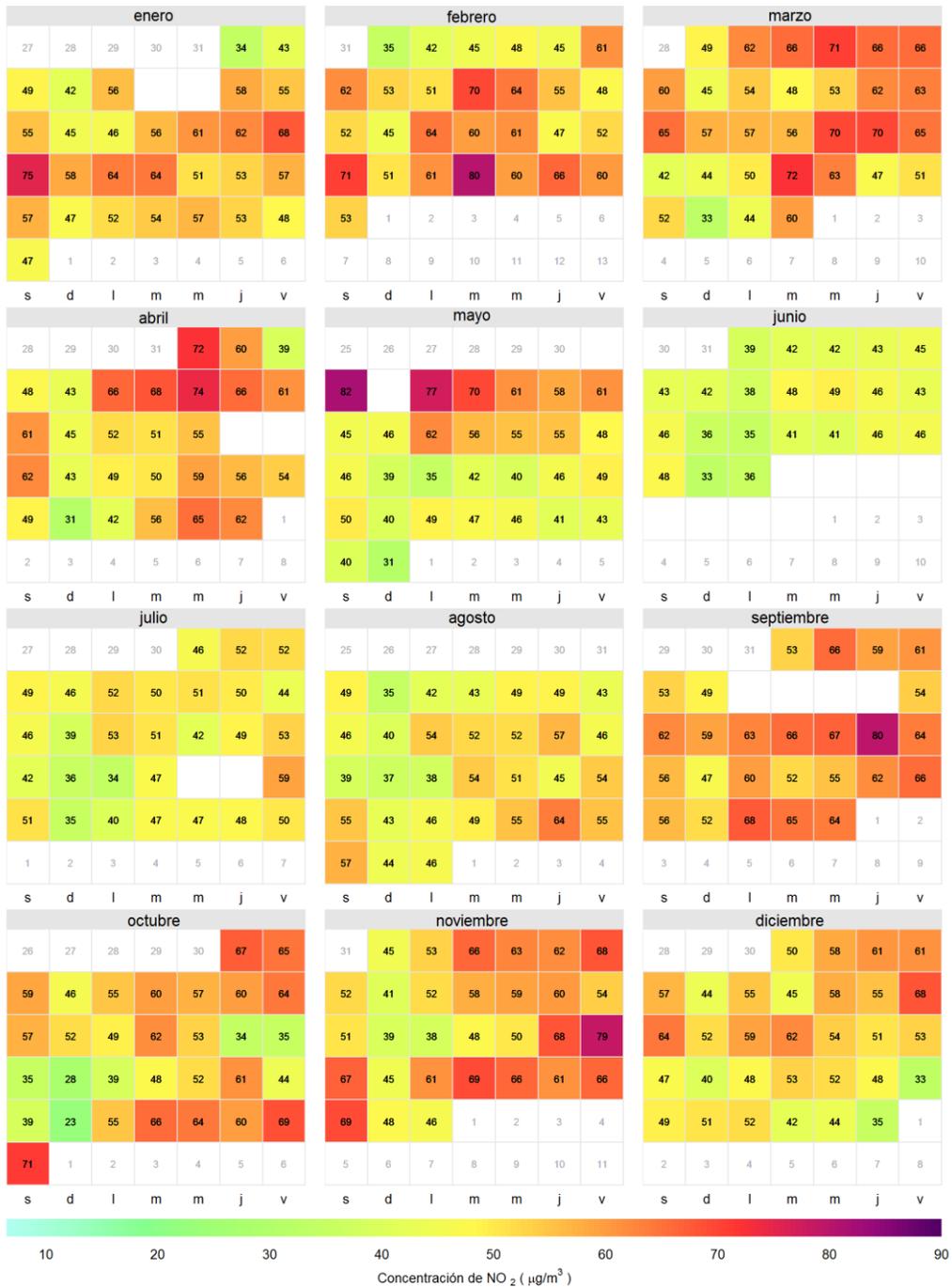


Figura 3-42. Calendario de concentración para NO<sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Las Ferias. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite normativo es 150 µg/m<sup>3</sup>.



Car. - Sev. 2015



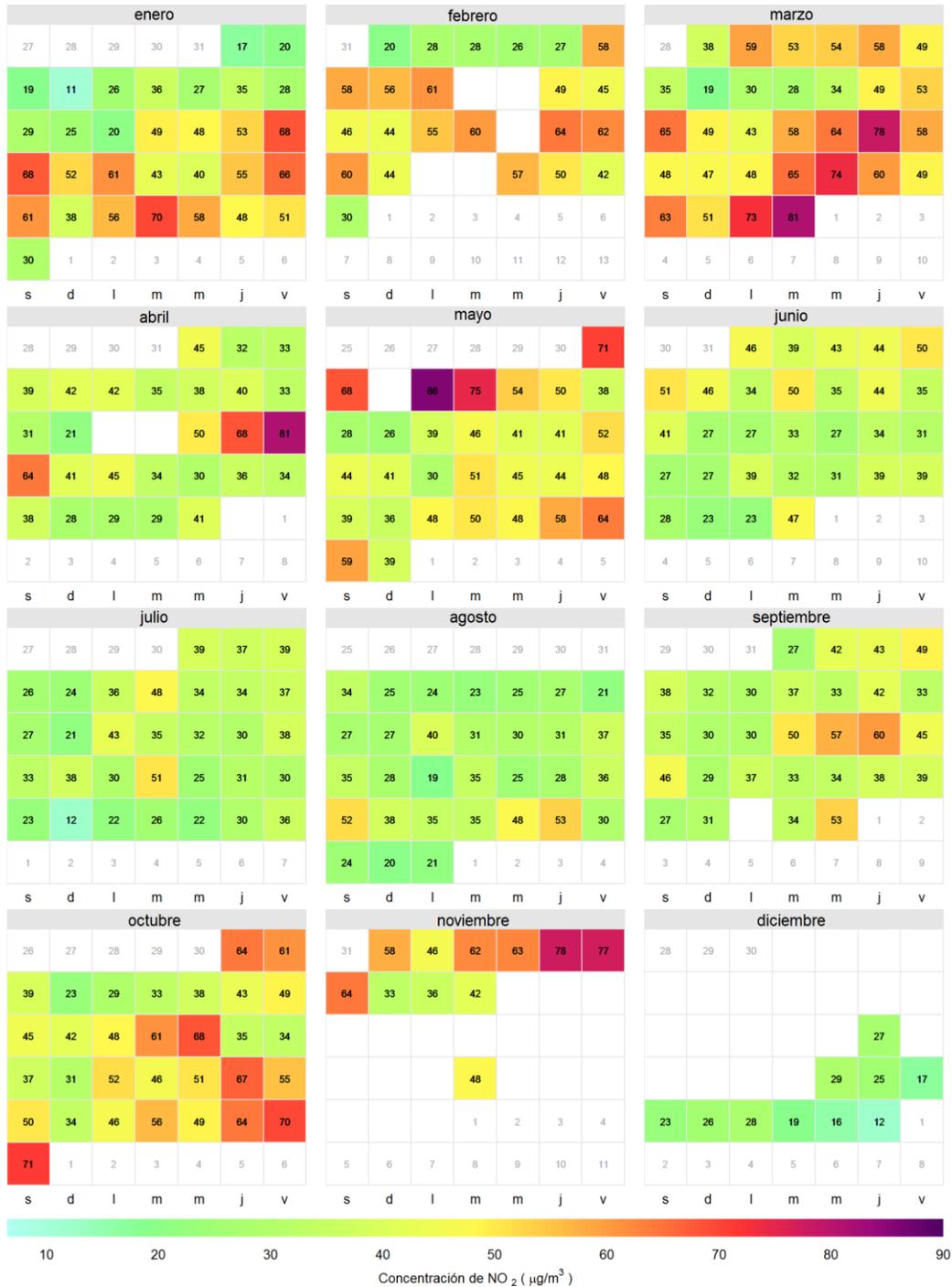
La

Figura

3-41,

la

Las Ferias 2015



Figura

3-42

y

la

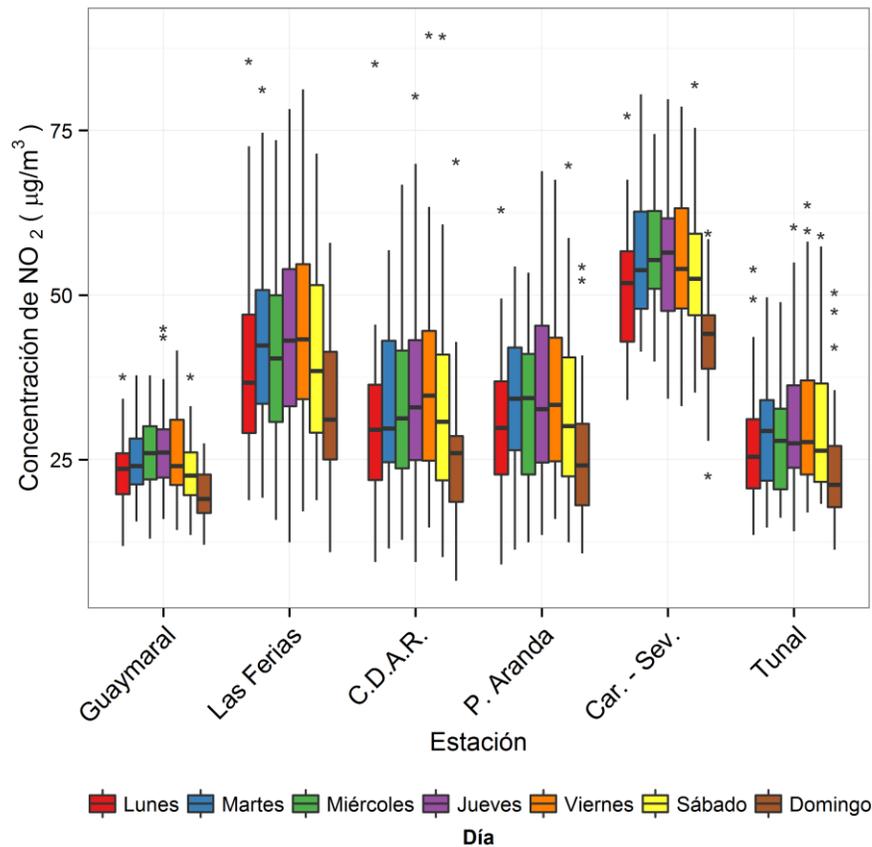
Guaymaral 2015



**Figura 3-43** corresponden a calendarios de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  para las estaciones Carvajal-Sevillana, Las Ferias y Guaymaral, que registraron, de acuerdo a promedios anuales representativos, concentraciones en rangos altos, medios y bajos, respectivamente. Se observa que para las tres estaciones, los meses con las mayores concentraciones corresponden a Febrero y marzo en el primer semestre y a Octubre y noviembre en el segundo; las menores concentraciones de  $\text{NO}_2$  se encuentran en Junio, lo cual es coincidente con el comportamiento general de los contaminantes en la ciudad debido a la meteorología. Los calendarios de las tres estaciones permiten evidenciar el contraste espacial en Bogotá en cuanto a los niveles de concentración de este contaminante.

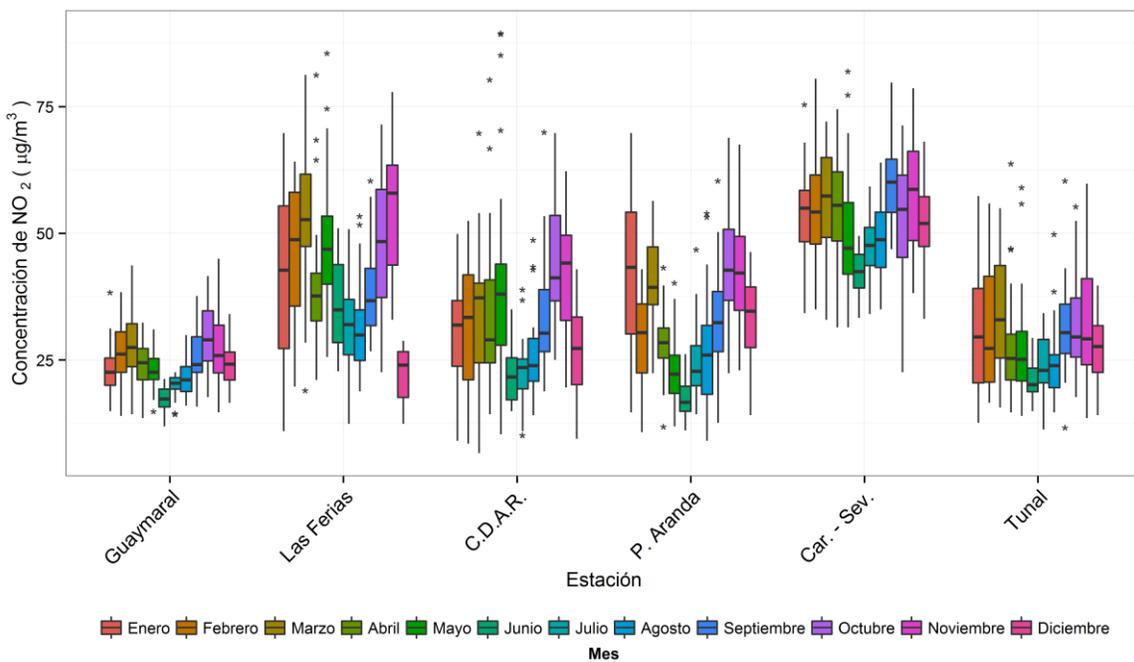
### Comportamiento temporal de las concentraciones diarias de $\text{NO}_2$

La Figura 3-44 presenta la distribución de las concentraciones diarias de  $\text{NO}_2$  en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% y de los días de la semana. Se observa que los domingos reportaron las concentraciones más bajas del año, esto, probablemente como consecuencia de la reducción de la actividad en la ciudad, en relación a las fuentes móviles y coincidentes con el comportamiento del material particulado como contaminante primario. Los días lunes siguen a los domingos en esta tendencia, posiblemente por la influencia de las bajas concentraciones (menor residual) de los domingos y la presencia de un mayor número de días festivos. Los rangos intercuartílicos tienden a ser mayores en Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento, 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 año 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 año.



**Figura 3-44.** 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 captura de datos superior a 75%. Año 2015. La norma aplicable es de 150µg/m<sup>3</sup>

La Figura 3-45 presenta el análisis de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de los meses del año 2015, y de las estaciones de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75%. Para todos los sitios se observa que los niveles se reducen en los meses de junio y julio, producto de la variabilidad anual de la velocidad de los vientos. En todas las estaciones se observa que el mes de enero igualmente presenta concentraciones bajas, lo cual se atribuye a la reducción de la actividad de la ciudad durante sus primeros días. Los meses con las concentraciones más altas son por lo general febrero y marzo (a excepción de Puente Aranda donde enero tuvo las mayores concentraciones), así como octubre y noviembre (excepto Carvajal-Sevillana en este último). En cuanto a la comparación de los valores de concentración mensual a través del año frente a la norma horaria, diaria y anual, se encuentra que ninguna estación supera estos valores límites a través del año.

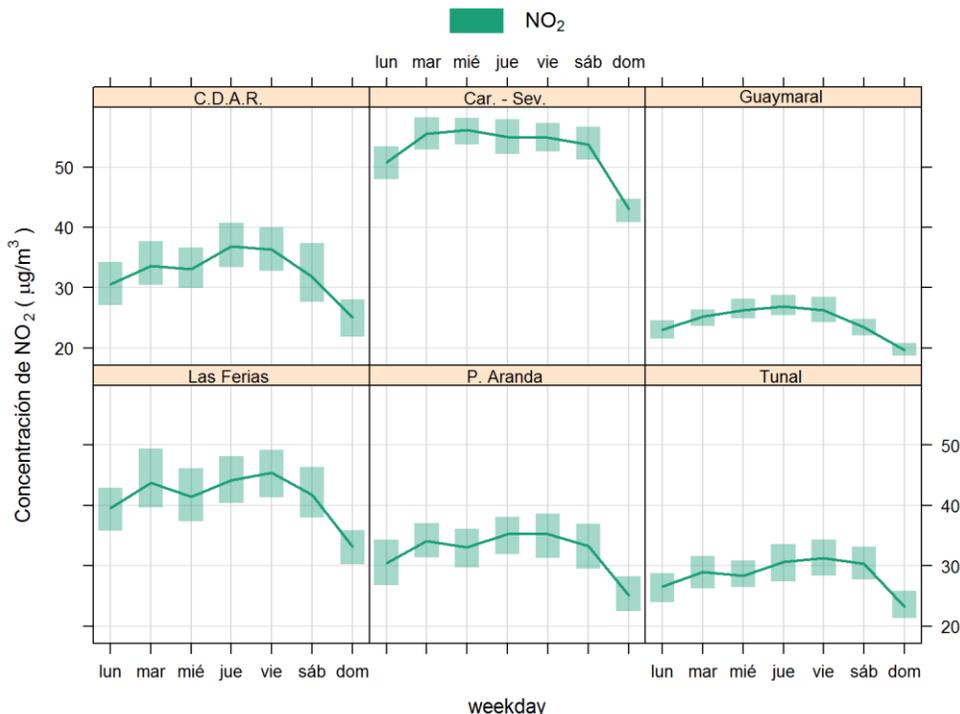


**Figura 3-45.** Diagramas de caja con el comportamiento de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> en función de los meses del año 2015. Reporte de estaciones de monitoreo con captura de datos mayor a 75%. La línea roja representa la norma establecida para 1 hora, la verde para 24h y la amarilla para 1 año

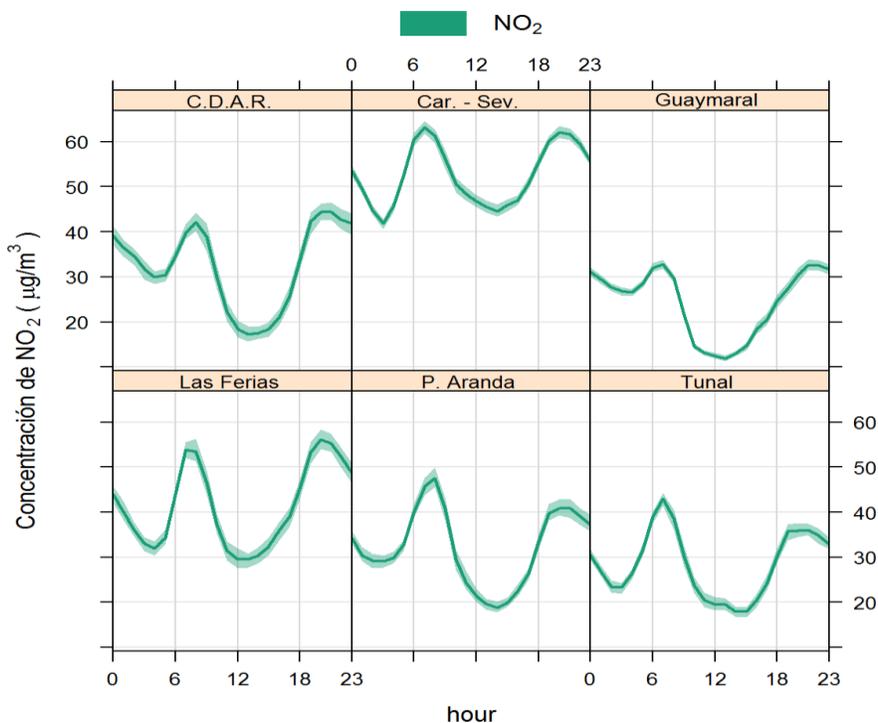
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de NO<sub>2</sub>

Los ciclos semanales de la Figura 3-46 muestran que el domingo es el día con los menores valores de concentración a través del año. Los días laborales presentan las mayores concentraciones debido a la dinámica industrial y de movilidad de la ciudad. Centro de Alto Rendimiento, Carvajal-Sevillana y Las Ferias presentan los ciclos más variables y con mayores magnitudes.

La Figura 3-47 presenta los ciclos diarios en las estaciones de monitoreo que registraron una captura de datos 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 8:00 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>.



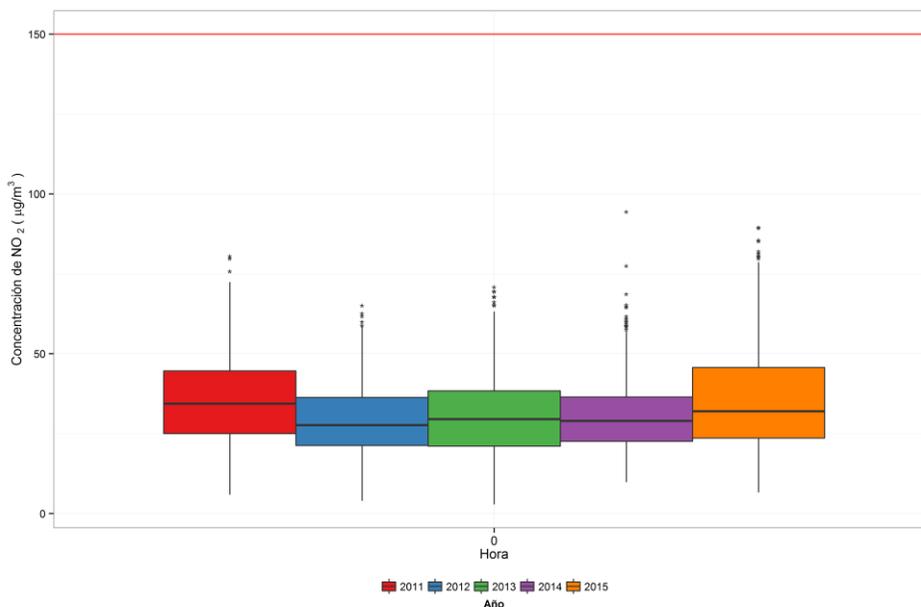
**Figura 3-46.** Ciclos semanales de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para cada uno de los monitores con captura de datos temporal igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica además el intervalo de confianza de 95%.



**Figura 3-47.** Ciclos diarios de las concentraciones de NO<sub>2</sub> para los monitores con captura de datos igual o superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

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

La Figura 3-48 presenta la distribución de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> calculada con las estaciones con captura de datos superior a 75% en el periodo 2011-2014. Con los datos históricos disponibles se observa una tendencia a un ligero aumento en la concentración si se compara con el periodo 2012-2013 y estable frente al año 2011. Para el año 2015 se observa una mayor dispersión de datos frente a los años anteriores.



**Figura 3-48.** Presentación del gráfico de cajas para NO<sub>2</sub> por estaciones en base diaria para el periodo 2011 a 2015.

La Tabla 3-19 es un resumen histórico de máximos de las concentraciones diarias de NO<sub>2</sub> entre 2011 y 2015. El máximo valor reportado por la RMCAB en los 5 años considerados fue 93 µg/m<sup>3</sup> en las estaciones Las Ferias y Puente Aranda el 20 de noviembre y el 19 de diciembre de 2014. Este valor corresponde al 62% del límite máximo permisible de 150 µg/m<sup>3</sup> establecido en la Resolución 610 de 2010. Como se observa en la tabla, Las Ferias, Puente Aranda y Carvajal-Sevillana predominan en el reporte de valores altos de este contaminante.

**Tabla 3-19.** Resumen de máximos históricos de concentración de NO<sub>2</sub> en base diaria

Año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	89	26/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	77	14/04/2012 y 29/02/2012	Las Ferias y Carvajal
2013	84	05/02/2013	Las Ferias
2014	93	20/11/2014 y 19/12/2014	Las Ferias y Puente Aranda
2015	90	01/05/2015	Centro de Alto rendimiento

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

La RMCAB contó con ocho (8) 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 captura de datos adecuada, permitieron calcular las concentraciones promedio anuales, 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 anuales de SO<sub>2</sub>

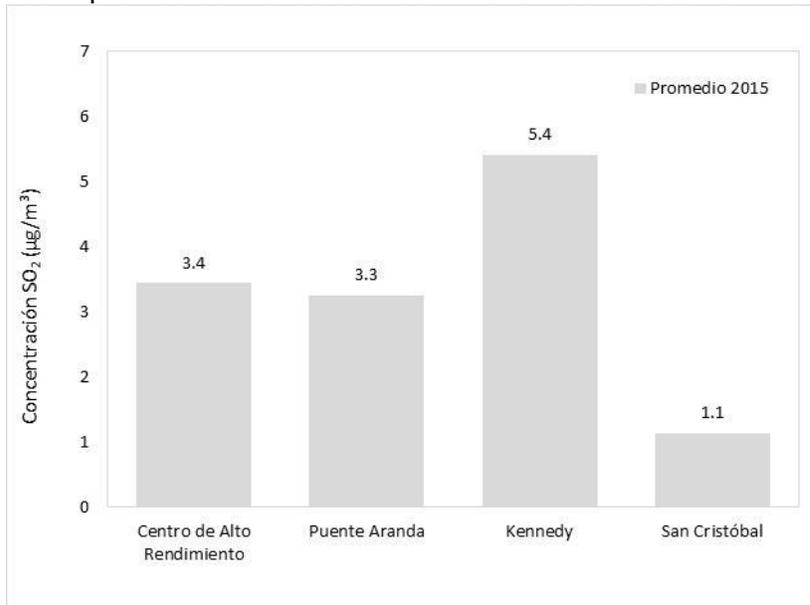
La Tabla 3-20 presenta las concentraciones promedio anuales de SO<sub>2</sub> para 2014 y 2015 así como el respectivo cambio para los analizadores con captura de datos superior a 75%. Con respecto a 2014, todas las estaciones donde es posible hacer la comparación, redujeron sus valores de concentración anual. Solo en cuatro de las ocho estaciones fue posible realizar el análisis debido a fallas en la adquisición de los datos.

**Tabla 3-20.** Concentraciones promedio anuales de SO<sub>2</sub> con base en promedios diarios para los años 2013 y 2014 y cambio entre estos dos años.

Estación	Promedio 2014 (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio 2015 (µg/m <sup>3</sup> )	Cambio de 2014 a 2015 (µg/m <sup>3</sup> )
Suba	7,3	N.R.	N.R.
Las Ferias	3,4	N.R.	N.R.
Centro de Alto Rendimiento	4,4	3,4	-0,96
Puente Aranda	4,2	3,3	-0,94
Kennedy	N.R.	5,4	N.R.
Carvajal-Sevillana	N.R.	N.R.	N.R.
Tunal	N.R.	N.R.	N.R.
San Cristóbal	1,7	1,1	-0,56

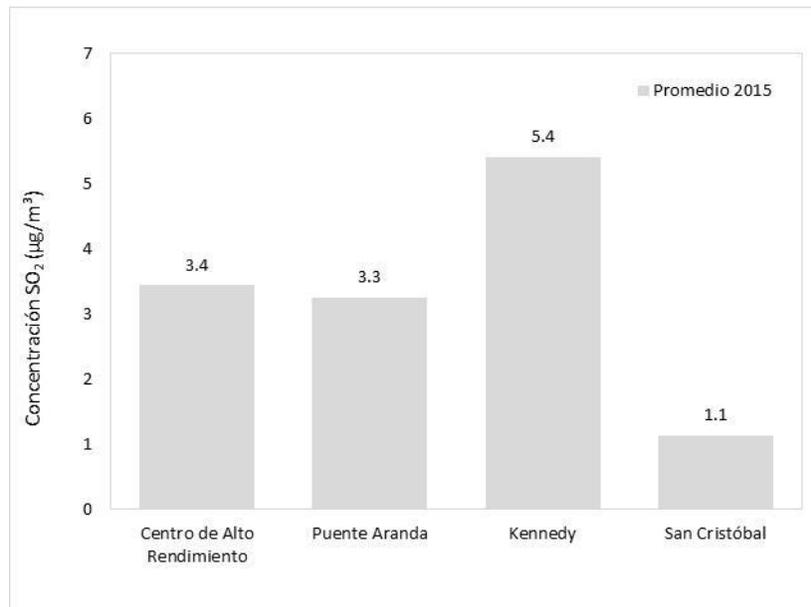
N.R.: No representativo. El número de datos disponibles para el año es inferior al 75% del máximo posible de acuerdo al Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Los promedios anuales de 2015 se observan de forma gráfica en la



**Figura 3-49.** Kennedy presentó el promedio anual de SO<sub>2</sub> más alto de la RMCAB con un valor de 5,4µg/m<sup>3</sup> (frente a 7,3µg/m<sup>3</sup> de Suba en el 2014), el cual establece un contraste con las otras tres estaciones que se encuentran en el rango comprendido entre 1,1 µg/m<sup>3</sup> (San Cristóbal) y 3,4 µg/m<sup>3</sup> (Centro de Alto Rendimiento). Como se observará en los siguientes apartes, la estación Kennedy presenta picos importantes de este contaminante en horas de la mañana.

El límite máximo permisible anual de SO<sub>2</sub> de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 es 80 µg/m<sup>3</sup>. Este valor es notablemente superior a las concentraciones anuales registradas en la RMCAB. El valor promedio máximo de 5,4µg/m<sup>3</sup> representa el 6% del límite normativo, indicando que tiene un bajo riesgo en términos de protección a la salud pública en comparación con, por ejemplo, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> e incluso ozono.



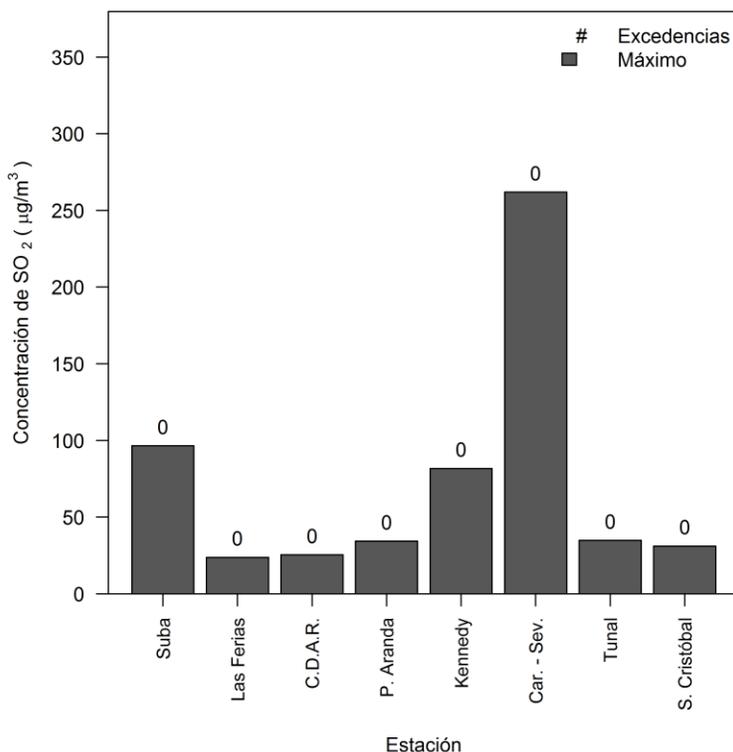
**Figura 3-49.** Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno para las estaciones de la RMCAB con captura de datos igual o superior a 75% durante el año 2015.

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

Durante el periodo analizado se obtuvieron 50557 promedios móviles 3 horas validos (5% menos que en el año 2014 que fue de 52852 datos), que corresponden a una captura de datos de 72% entre las ocho estaciones que registraron mediciones. Con respecto a las estaciones con capturas superiores al 75%, es decir cuatro (4) estaciones, se obtuvieron 31451 datos que corresponde al 89% del total posible.

En la Figura 3-50 se observan los máximos anuales basados en medias móviles de 3 horas para cada una de las estaciones y el número de excedencias a la norma, ningún máximo supero la norma para 3 horas, equivalente a 750µg/m<sup>3</sup>.

En la Tabla 3-21 se muestra un resumen de la captura de datos 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 261µg/m<sup>3</sup> en la estación Suba. Se presentan coincidencias en la ocurrencia de máximos solo en Suba y Centro de Alto rendimiento, 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 23,8 µg/m<sup>3</sup> y 96,5µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 3-50.** Máximos y número de excedencias de SO<sub>2</sub> con base en promedios móviles de 3 horas por estación durante el año 2015.

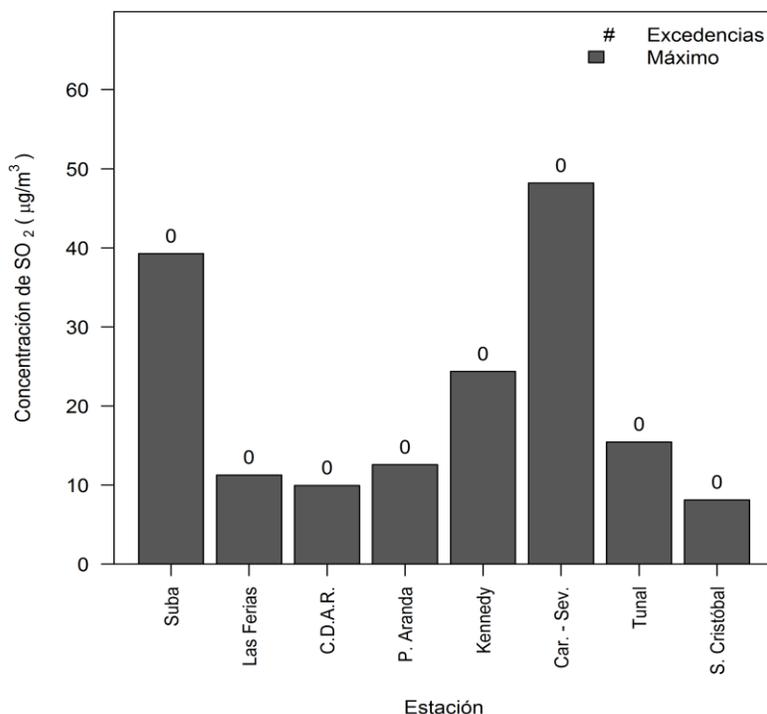
**Tabla 3-21.** . Resumen de la captura de datos de SO<sub>2</sub> en base de 3 horas por estación para año 2015.

Estación	% de datos válidos	Máximo [µg/m³]	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	70	96,5	18/07/2015 08:00
Las Ferias	52	23,8	05/11/2015 03:00
Centro de Alto Rendimiento	88	25,4	18/07/2015 08:00
Puente Aranda	97	34,3	24/10/2015 08:00
Kennedy	84	81,7	16/01/2015 03:00
Carvajal-Sevillana	67	261,9	26/10/2015 08:00
Tunal	29	34,8	07/02/2015 05:00
San Cristóbal	89	31,2	19/11/2015 03:00

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

Se obtuvieron para todos los monitores activos, 2120 valores diarios que corresponde a una captura de datos de 73% del total posible entre las estaciones que reportaron alguna medición en el año. Para las cuatro (4) estaciones con captura superior al 75%, se obtuvieron 1322 datos es decir un porcentaje de recuperación del 91% del total posible. Los máximos monitoreados estuvieron por debajo del nivel establecido por norma (250 µg/m<sup>3</sup>)

y ningún dato superó el valor del 50% de la misma ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La Figura 3-51 y la Tabla 3-22 presentan un resumen de máximos diarios a través del año, fechas de ocurrencia y excedencias.



**Figura 3-51.** Concentraciones máximas y número de excedencias de SO<sub>2</sub> en base diaria por estación para el año 2015.

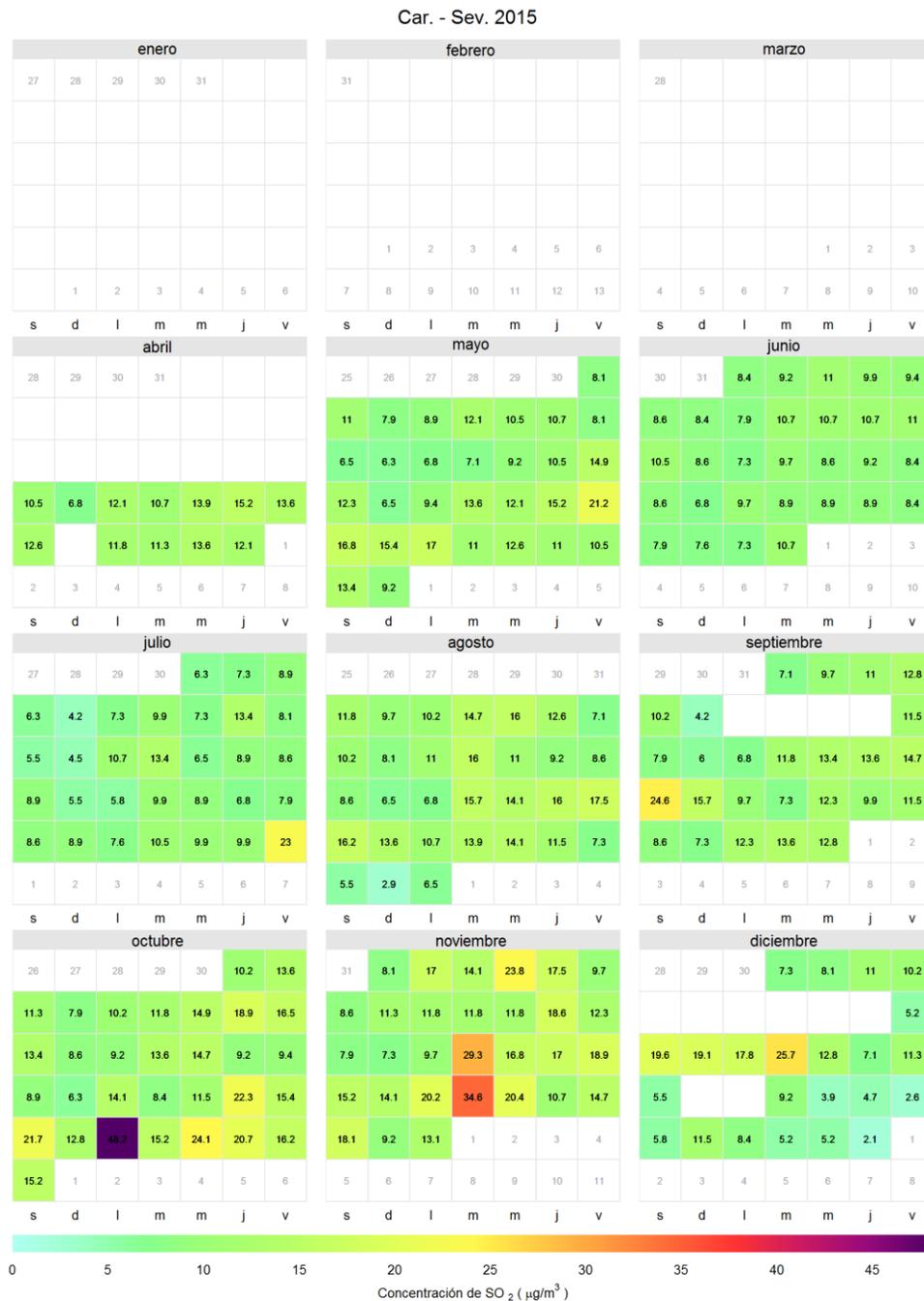
La máxima concentración diaria para las estaciones correspondió a  $48,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 26 de octubre de 2015 en la estación Carvajal-Sevillana y de  $24,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  el 24 de octubre de 2015 para la estación Kennedy entre las estaciones con captura de datos superior al 75%. Las tendencias observadas son concordantes con las observadas en cuanto a los promedios móviles de 3 horas y muestran que las concentraciones horarias registradas para Carvajal-Sevillana, fueron lo suficientemente altas y persistentes como para afectar la magnitud del correspondiente valor diario.

**Tabla 3-22.** Resumen de la captura de datos diarios de SO<sub>2</sub> por estación para el año 2015.

Estación	% de datos válidos	Promedio anual * ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Máximo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Suba	70	8,3	39,3	11/06/2015
Las Ferias	53	3,4	11,3	05/11/2015
Centro de Alto Rendimiento	90	3,4	10,0	07/02/2015
Puente Aranda	98	3,3	12,6	24/10/2015
Kennedy	85	5,4	24,4	24/10/2015
Carvajal-Sevillana	67	11,4	48,2	26/10/2015
Tunal	28	3,2	15,5	06/02/2015
San Cristóbal	89	1,1	8,1	19/11/2015

\* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

**Calendario de contaminación por SO<sub>2</sub> durante año 2015**



**Figura 3-52.** Calendario de concentración para SO<sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación Suba. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m<sup>3</sup>.



S. Cristóbal 2015

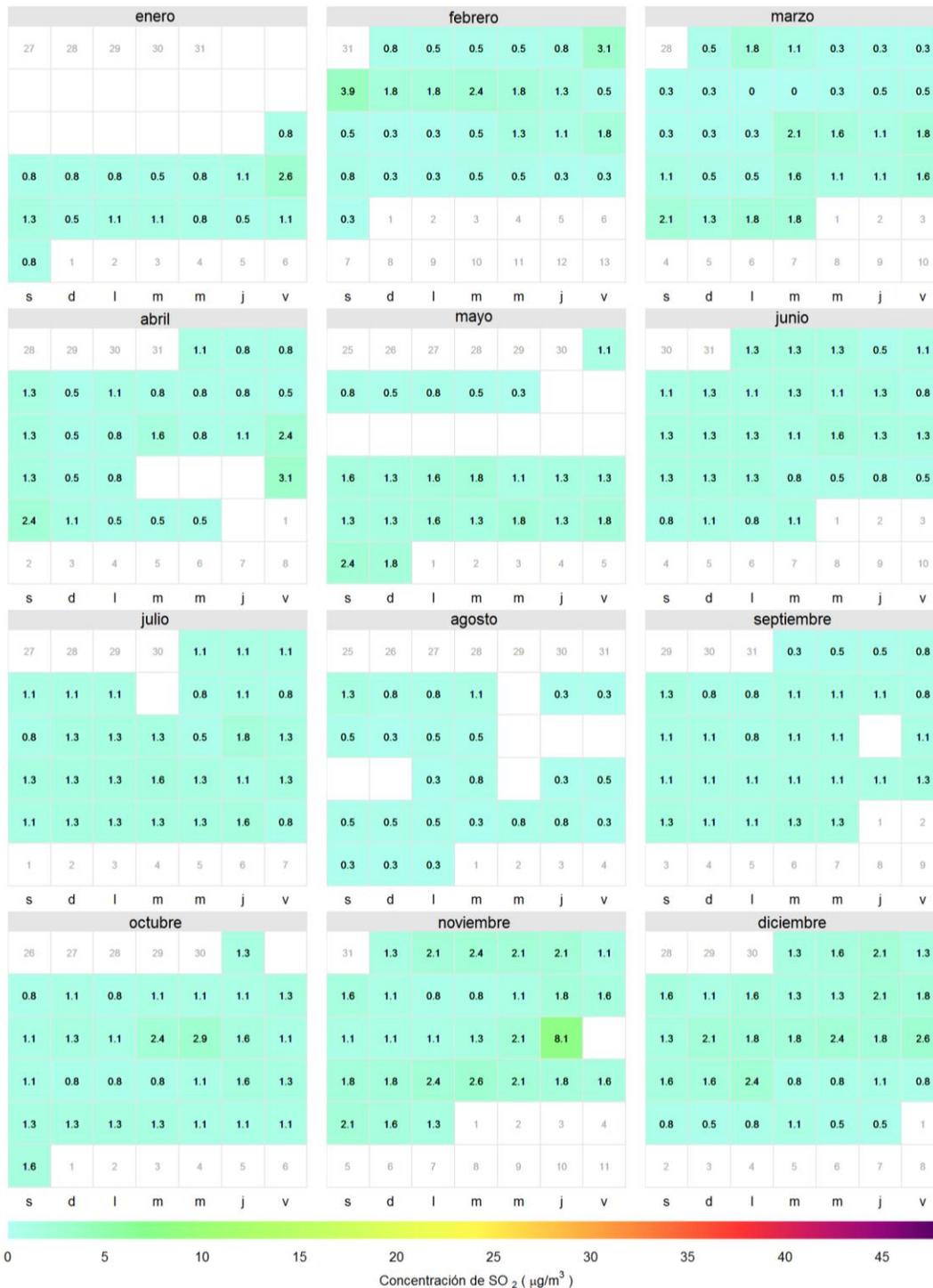


Figura 3-54. Calendario de concentración para SO<sub>2</sub> durante el año 2015 en la estación San Cristóbal. Los valores mostrados corresponden a la concentración. El límite máximo permisible es 250 µg/m<sup>3</sup>.

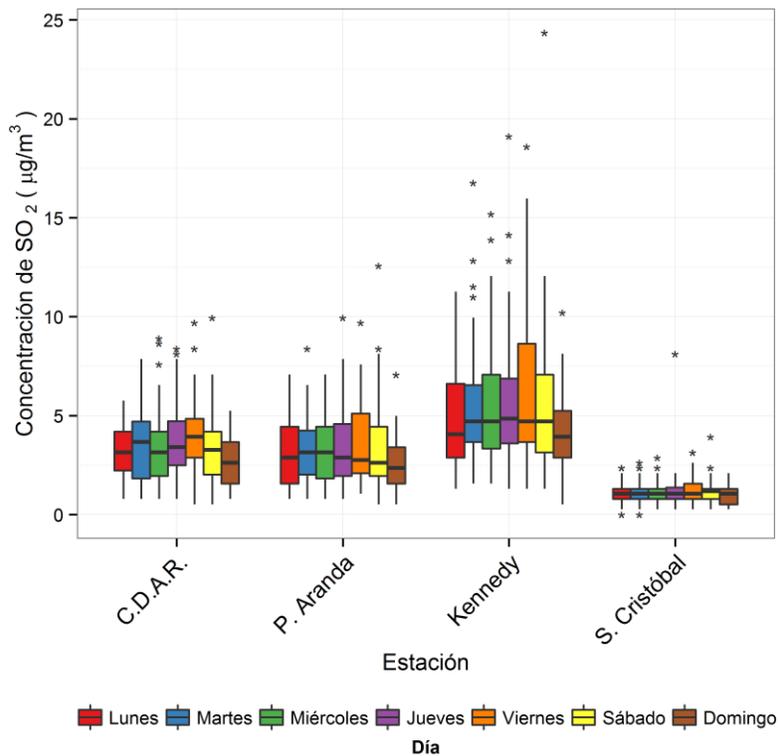
La Figura 3-52, la Figura 3-53 y la Figura 3-54 corresponden a diagramas calendario que representan las concentraciones diarias de  $\text{SO}_2$  en los meses del año 2015 para tres estaciones de la RMCAB. La diferencias en magnitudes entre estas tres es significativa, evidenciando la alta heterogeneidad espacial en el comportamiento de este contaminante en la ciudad. Para Carvajal-Sevillana se observa la ausencia de datos para los tres primeros meses del año debido a problemas operativos y se destaca octubre y noviembre como los meses con más altos índices de contaminación; para Kennedy los meses con valores más elevados son Febrero, octubre y noviembre; San Cristóbal presenta un comportamiento más homogéneo durante todo el año, caracterizado por bajas concentraciones de  $\text{SO}_2$ .

### **Comportamiento temporal de las concentraciones de $\text{SO}_2$**

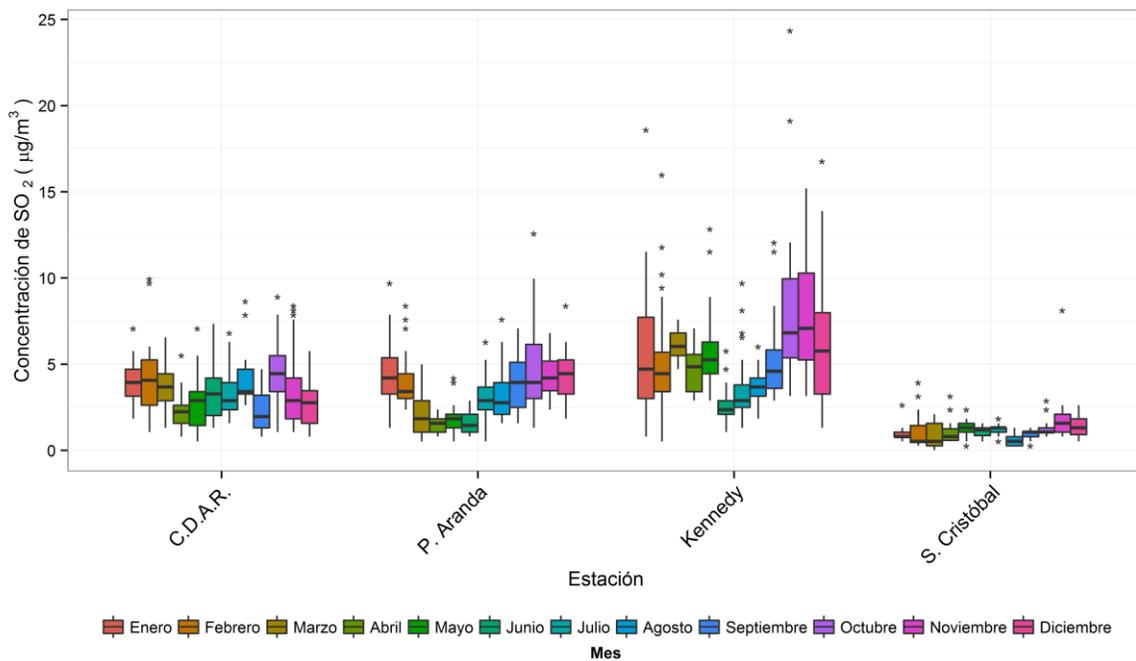
La Figura 3-55 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de  $\text{SO}_2$  (24h) agrupado por días de la semana y estación de monitoreo con captura de datos superior a 75%. En general se puede ver un comportamiento muy estable de los valores de este contaminante a través de los días de la semana, siendo los días domingo, los que presentan valores de concentración ligeramente más bajos.

En comparación con las demás estaciones, Kennedy mantiene notablemente los mayores valores de concentración y las mayores dispersiones de los datos durante todos los días de la semana, posiblemente por actividades asociadas a emisiones de vehículos de carga pesada en su zona de influencia. El caso contrario sucede en la estación San Cristóbal, donde sus bajos valores impiden establecer una diferenciación clara en el comportamiento semanal. Una comparación de los valores de concentración por día de la semana a través del año frente a la norma diaria y anual ( $250\mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), muestra que ningún valor supera la norma.

La Figura 3-56 presenta el comportamiento de las concentraciones diarias en función de los meses de año 2015 por estación de monitoreo. El comportamiento del  $\text{SO}_2$  por estación no es homogéneo y difiere de los otros contaminantes; pues se observa que, por ejemplo, para la estación Centro de Alto Rendimiento, los meses de menor concentración son abril y septiembre, teniendo en cuenta que tradicionalmente para otros contaminantes es junio o julio el mes de menor concentración; en cambio para Puente Aranda, los meses menos contaminados corresponden a mayo, junio y julio; Para Kennedy los meses de menores valores corresponden a junio, julio y agosto y para San Cristóbal las tendencias impiden establecer con claridad variaciones presentadas durante el año 2015.



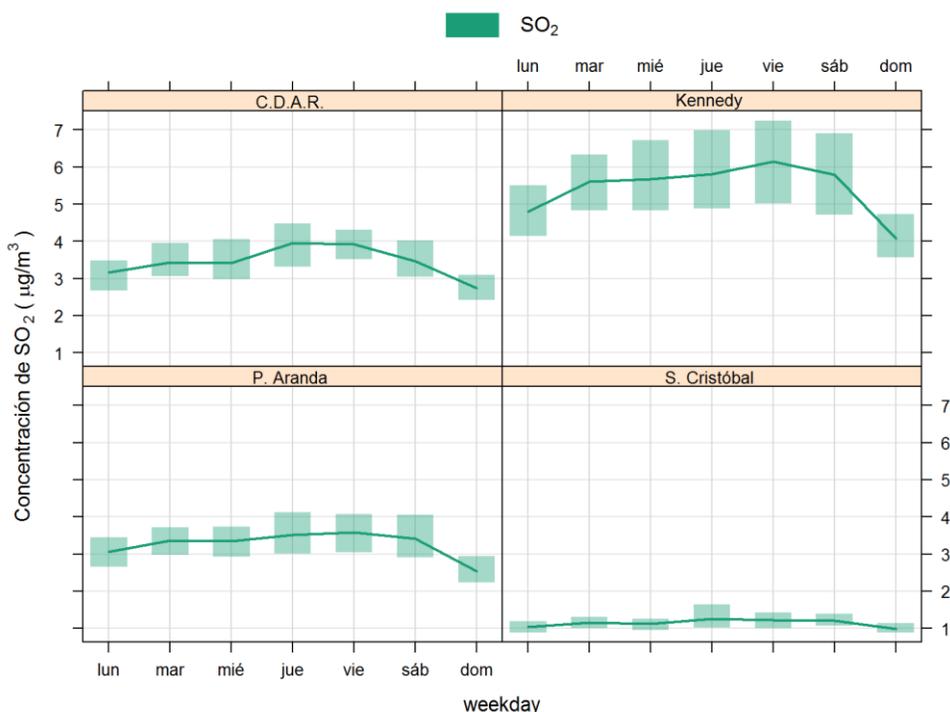
**Figura 3-55.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los días de la semana por estación de monitoreo para el año 2015.



**Figura 3-56.** Comportamiento de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.

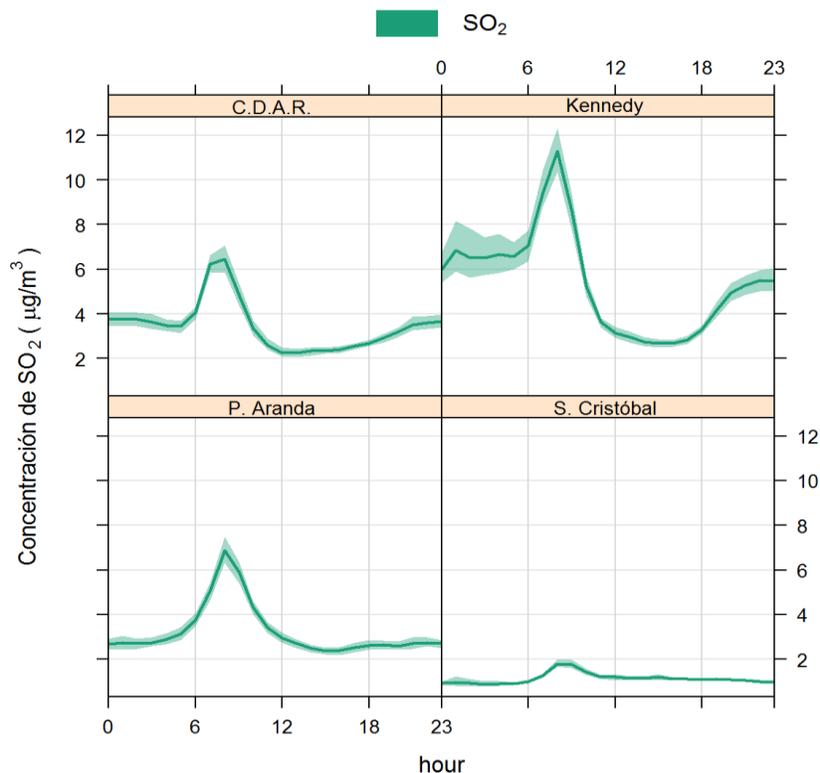
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de SO<sub>2</sub>

La Figura 3-57 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo que tienen una captura de datos superior a 75% en el año 2015. En general las variaciones de concentración en el contaminante por día de la semana, son bajas; conforme a las observaciones dadas en el aparte anterior, los menores niveles de concentración se observan los domingos, seguidos de los lunes. Los días comprendidos entre martes y viernes mantienen niveles similares de concentración. Kennedy establece una diferencia plausible con respecto a las demás estaciones al mantener concentraciones e intervalos de confianza en niveles relativamente más altos. El ciclo semanal de la estación San Cristóbal no permite evidenciar cambios sustanciales a través de la semana.



**Figura 3-57.** Ciclos semanales de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

Los perfiles diarios de la Figura 3-58 muestran que en general las concentraciones más altas se presentan entre las 7:00 a.m. y las 9:00 a.m. lo que sugiere que las fuentes móviles tienen una influencia considerable en la presencia de niveles altos de este contaminante. En Kennedy se observa un pico de concentración pronunciado y posteriormente un descenso significativo de magnitudes en horas del mediodía y de la tarde, las cuales son inferiores incluso a las observadas en horas de la madrugada y de la noche, este perfil es similar al correspondiente a PM<sub>2.5</sub>, un hecho que indica que este tamaño de material particulado tiene una asociación particular con las fuentes de combustión; San Cristóbal muestra bajos valores de concentración aún en horas pico, lo que puede significar una baja influencia de fuentes móviles en su área de cobertura, teniendo en cuenta la similitud de comportamiento del SO<sub>2</sub> con el PM<sub>2.5</sub>.



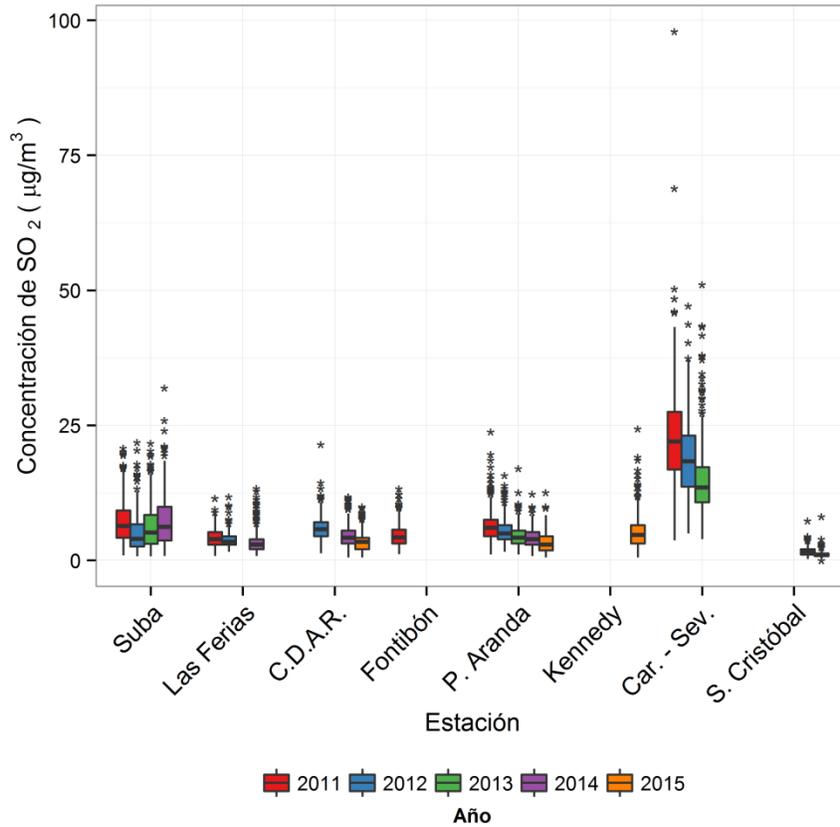
**Figura 3-58.** Ciclos diarios de las concentraciones de SO<sub>2</sub> para las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75% en el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

### Comportamiento histórico de los promedios diarios de SO<sub>2</sub>

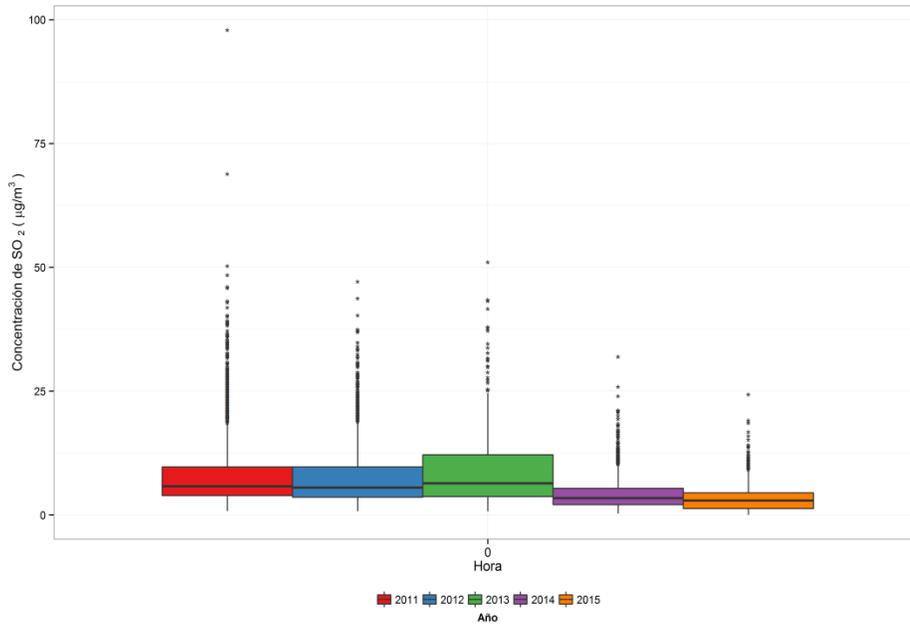
La Figura 3-59 presenta la distribución de las concentraciones diarias de SO<sub>2</sub> en el periodo 2011 a 2015 en función de las estaciones de monitoreo. Debido a la falta de captura de datos de algunas estaciones, no es posible establecer una tendencia general para el contaminante, sin embargo, se puede ver para las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Puente Aranda y San Cristóbal, un leve descenso en los valores de concentración frente a los años anteriores disponibles.

Puente Aranda es la única estación con datos representativo a través del periodo de interés y es la que permite observar de manera más clara la tendencia al descenso en este contaminante, también se observa una disminución en la dispersión de los datos, lo que indica unos niveles más homogéneos de concentración a través del año, tal como se conservaba en las gráficas de ciclos semanales del contaminante.

Una comparación de los valores de concentración por estación a través del año frente a la norma diaria a y anual (250µg/m<sup>3</sup> y 80µg/m<sup>3</sup>), muestra que todas las estaciones cumplen la norma.



**Figura 3-59.** Presentación del gráfico de *cajas* para SO<sub>2</sub> en base diaria por estación de monitoreo en el periodo 2011-2015



**Figura 3-60.** Presentación del Gráfico de *cajas* para SO<sub>2</sub> en base diaria como promedio para el periodo 2011 a 2015

La Figura 3-60 muestra el diagrama de cajas para el SO<sub>2</sub> como promedio diario para toda la ciudad con las estaciones representativas por cada año de interés. Aquí se observa la tendencia a la disminución en las concentraciones de este contaminante a nivel ciudad y la disminución en la dispersión de los datos. Debe tenerse cuidado en el análisis de este consolidado, teniendo en cuenta que al igual que con otros contaminantes, la ciudad presenta heterogeneidad en el comportamiento de los valores de inmisión.

La Tabla 3-23 es el resumen de los máximos reportados entre los años 2011 a 2015. La concentración máxima diaria registrada en los 5 periodos estudiados fue 98µg/m<sup>3</sup> en la estación Carvajal-Sevillana el 28 de marzo de 2011. Las concentraciones de los demás años se encuentran entre 32µg/m<sup>3</sup> y 48µg/m<sup>3</sup>. Al no excederse el límite normativo inferior (norma anual) por ningún valor extremo, se infiere que el SO<sub>2</sub> representa un riesgo menor en términos de protección a la salud pública, en comparación con otros contaminantes considerados como criterio.

**Tabla 3-23.** Resumen estadístico de los máximos diarios de SO<sub>2</sub> en los años 2011 a 2015.

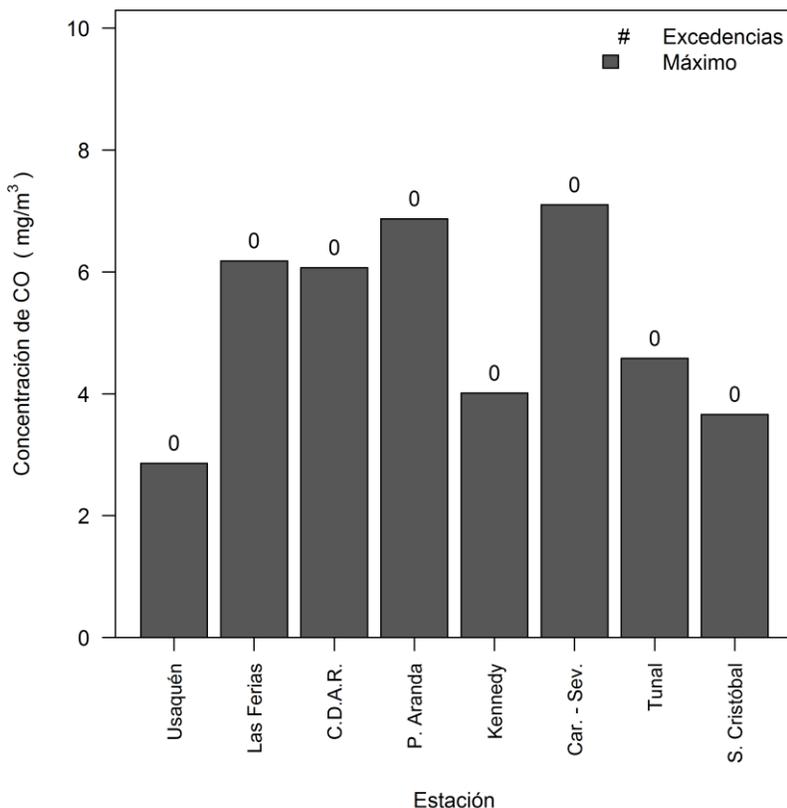
Año	Máximo µg/m <sup>3</sup>	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	98,0	25/02/2011	Carvajal-Sevillana
2012	47,1	05/06/2012	Carvajal-Sevillana
2013	51,1	13/06/2013	Carvajal-Sevillana
2014	32,2	13/12/2014	Kennedy
2015	48,2	26/10/2015	Carvajal-Sevillana

### 3.2.4. Comportamiento de la concentración de CO

En el año 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 60.200 promedios horarios validos (34% más que en el año 2014 que correspondió 44.851 datos, fruto de la mejora en la captura de datos), que corresponden a una captura de datos temporal global de 86% entre el total de estaciones con mediciones. De las ocho (8) estaciones con datos registrados, siete (7) tuvieron una captura superior al 75%. La Figura 3-61 contiene un resumen de máximos y excedencias por estación para CO, en base de tiempo horaria. Se observa que no se presentan excedencias a la norma horaria ( $40\text{mg}/\text{m}^3$ ) en el periodo de estudio.



**Figura 3-61.** Concentraciones máximas y excedencias de CO en base horaria para el año 2015.

En la Tabla 3-24 se presenta, por estación, el porcentaje de datos válidos, el promedio anual, el valor máximo horario y el día y hora en que ocurrieron. Se contó con siete (7) estaciones con datos representativos, que son útiles para el cálculo de promedio ciudad. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda, asociadas a captura de datos en zonas con predominancia de fuentes móviles e industriales. Las menores concentraciones promedio fueron observadas en Usaquén y San Cristóbal.

**Tabla 3-24.** . Resumen de la captura de datos horarios de CO por estación para el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio anual * (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	75	0,5	2,9	10/08/2015 07:00
Las Ferias	64	0,7	6,2	20/11/2015 19:00
Centro de Alto Rendimiento	87	0,8	6,1	20/11/2015 21:00
Puente Aranda	96	0,9	6,9	19/07/2015 07:00
Kennedy	78	0,8	4,0	28/01/2015 07:00
Carvajal-Sevillana	96	1,4	7,1	26/10/2015 13:00
Tunal	96	0,8	4,6	12/09/2015 07:00
San Cristóbal	95	0,6	3,7	23/01/2015 09:00

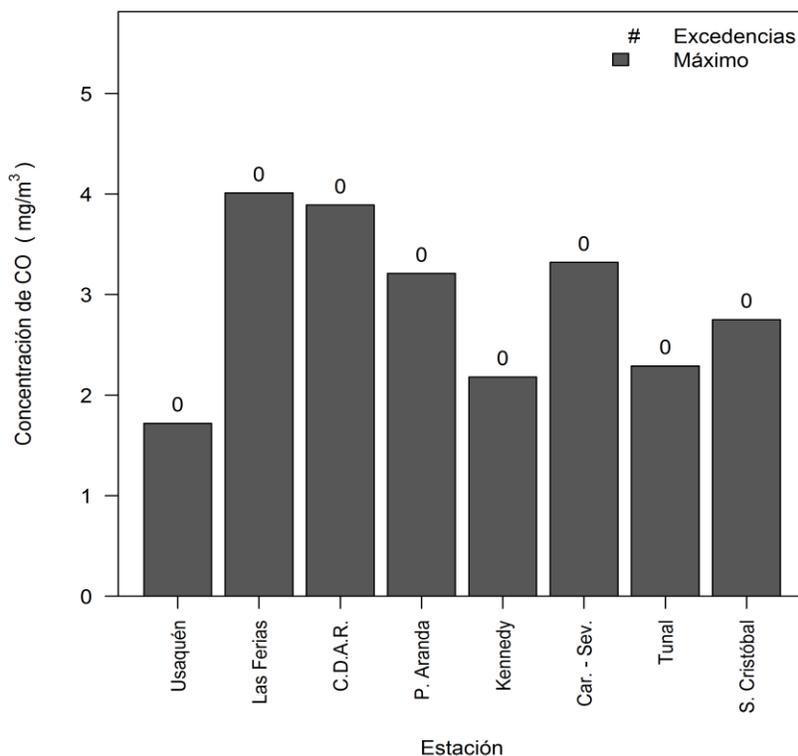
\* Promedios con base en datos diarios, incluye estaciones no representativas con fines de intercomparación y revisión.

El 20 de noviembre de 2015 entre 7:00 las y 9:00 p.m. las estaciones las estaciones Las Ferias y Centro de Alto Rendimiento coincidieron en el reporte de sus concentraciones máximas sugiriendo un episodio de alta concentración en el centro de la ciudad de la ciudad. La máxima concentración horaria de monóxido de carbono reportada en la RMCAB para el periodo 2015 fue de 7,1mg/m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que el límite máximo permisible para un tiempo de exposición de una hora es 40mg/m<sup>3</sup>, durante el año 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>).

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

En el año 2015 se calcularon 60.153 promedios móviles de 8 horas de CO (35% más que en el año 2014, que correspondió a 44.560 datos), equivalentes al 86% de los datos posibles a capturar en el año, entre las estaciones que reportaron mediciones. Se cuenta con 54.539 datos de las estaciones con captura de datos superior a 75%, lo que equivale al 89% de los datos posibles a capturar.

La Figura 3-62 muestra los valores 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 máximos 8 horas del año están muy por debajo de este valor.



**Figura 3-62.** Concentraciones máximas y número de excedencias en base de 8 horas para CO por estación durante el año 2015.

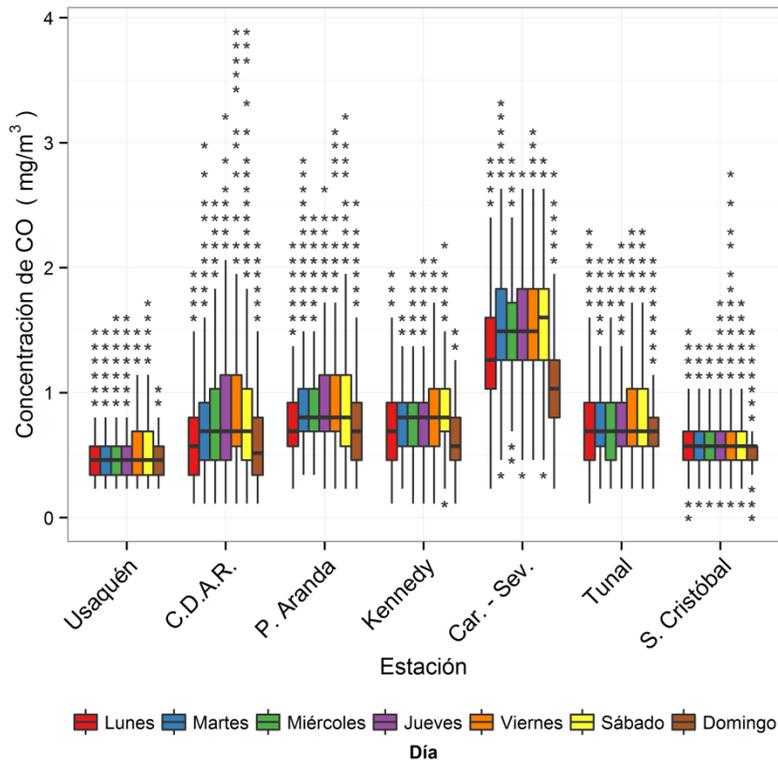
La Tabla 3-25 presenta un resumen por estación del porcentaje de datos válidos y máximos con sus respectivas fechas de ocurrencia. Los mayores promedios fueron observados en las estaciones Carvajal-Sevillana y Puente Aranda y las menores concentraciones promedio anuales fueron observadas en San Cristóbal y Usaquén, ubicadas el suroriente y nororiente de la ciudad, respectivamente. El máximo promedio móvil de 8 horas de CO reportado en la RMCAB durante el periodo analizado fue 4,0mg/m<sup>3</sup> en Las ferias el 20 de noviembre de 2015 a las 8:00 p.m. No se presentaron concentraciones elevadas en fechas y horas coincidentes, por lo cual se descartan máximos generalizados por zona o a nivel ciudad.

**Tabla 3-25.** Resumen de promedios móviles de 8 horas para CO por estación en el año 2015

Estación	% de datos válidos	Promedio anual* (mg/m <sup>3</sup> )	Máximo (mg/m <sup>3</sup> )	Fecha de ocurrencia del Máximo
Usaquén	75	0.5	1.7	17/01/2015 01:00
Las Ferias	64	0.7	4.0	20/11/2015 20:00
Centro de Alto Rendimiento	87	0.8	3.9	20/11/2015 02:00
Puente Aranda	96	0.9	3.2	21/11/2015 00:00
Kennedy	77	0.8	2.2	12/09/2015 11:00
Carvajal-Sevillana	96	1.4	3.3	10/02/2015 10:00
Tunal	96	0.8	2.3	23/01/2015 11:00
San Cristóbal	95	0.6	2.8	23/01/2015 14:00

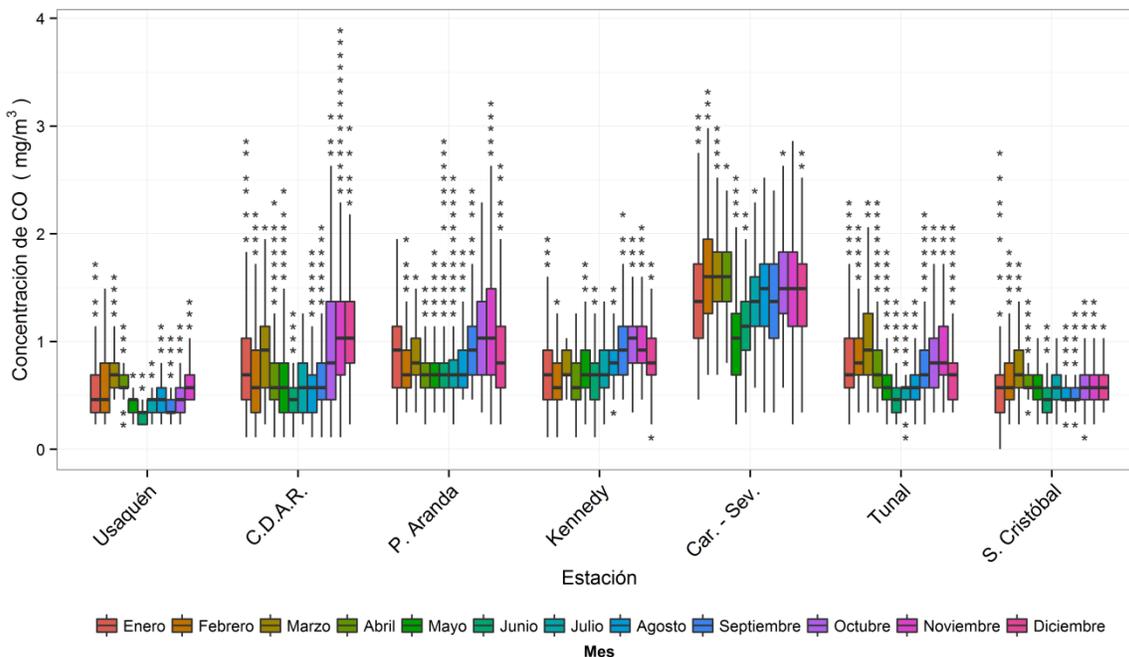
### Comportamiento temporal de las concentraciones de CO

La Figura 3-63 presenta el diagrama de cajas de las concentraciones de CO, agrupado por días de la semana y estaciones de monitoreo (promedios móviles de 8 horas). Los domingos se caracterizaron por presentar las concentraciones más bajas del año, probablemente por la reducción de la actividad vehicular; para el resto de días dados los bajos valores, estos tienden a mantenerse estables. La estación Carvajal-Sevillana presenta los valores más altos registrados en la RMCAB, sin embargo, Centro de Alto rendimiento presenta la mayor variabilidad y gran número de datos extremos. La estación San Cristóbal tiene un número importante de datos extremos a pesar de registrar concentraciones notoriamente más bajas que en Carvajal-Sevillana. Una comparación con la norma de 10mg/m<sup>3</sup> para 8 horas, muestra que ninguna estación aún con sus datos más extremos a través del año la supera.



**Figura 3-63.** 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 año 2015.

La Figura 3-64 muestra los datos de concentración en función de los meses del año 2015. Las menores concentraciones fueron observadas en los meses de mayo, junio, julio y agosto, consecuencia de la variabilidad en la velocidad de los vientos; adicional a estos meses, en Centro de Alto rendimiento, Puente Aranda y Kennedy se observaron bajas concentraciones en febrero probablemente por efectos meteorológicos. Una comparación con la norma de 10mg/m<sup>3</sup> para 8 horas, muestra que ninguna estación con sus datos más extremos la supera.

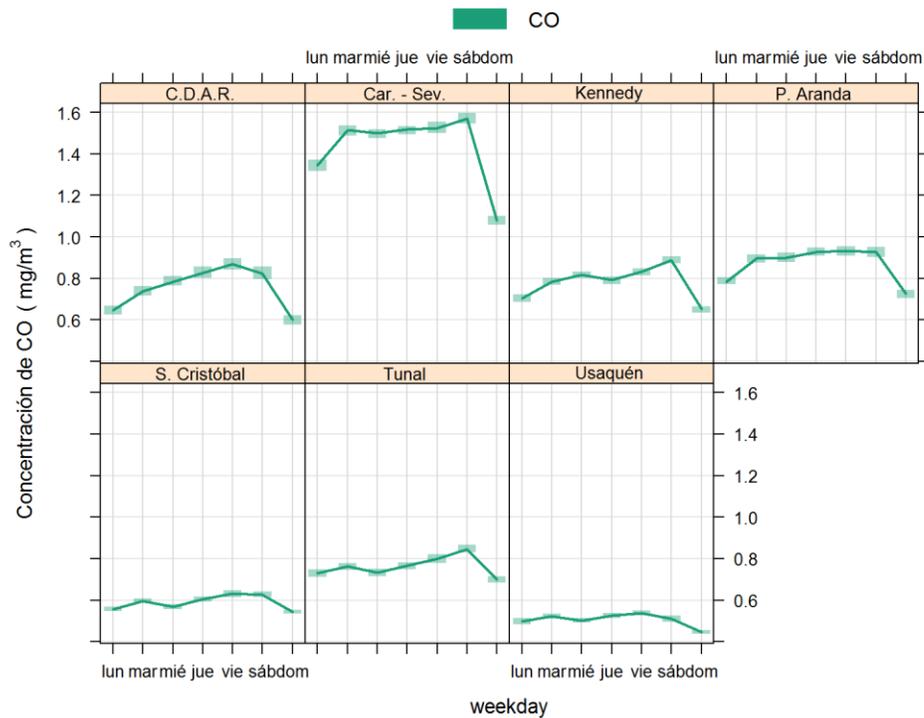


**Figura 3-64.** Comportamiento de las concentraciones de CO en base de 8 horas (móvil) en función de los meses del año 2015 por estación de monitoreo.

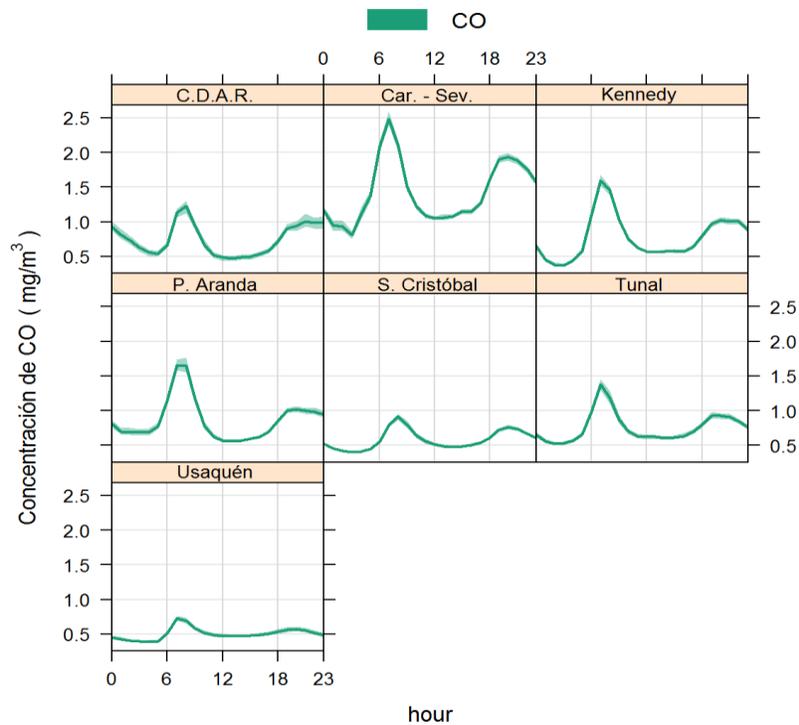
### Ciclos semanales y diarios de las concentraciones de CO

La Figura 3-65 presenta los ciclos semanales de las concentraciones de monóxido de carbono en los monitores con captura de datos 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. Los días domingo se muestran un descenso significativo de las concentraciones, siendo el día de menores valores de CO; los días lunes le siguen a los domingos, siendo los días martes a viernes más estables en términos de concentraciones.

La Figura 3-66 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, sin embargo los niveles de concentración de CO son notablemente inferiores.



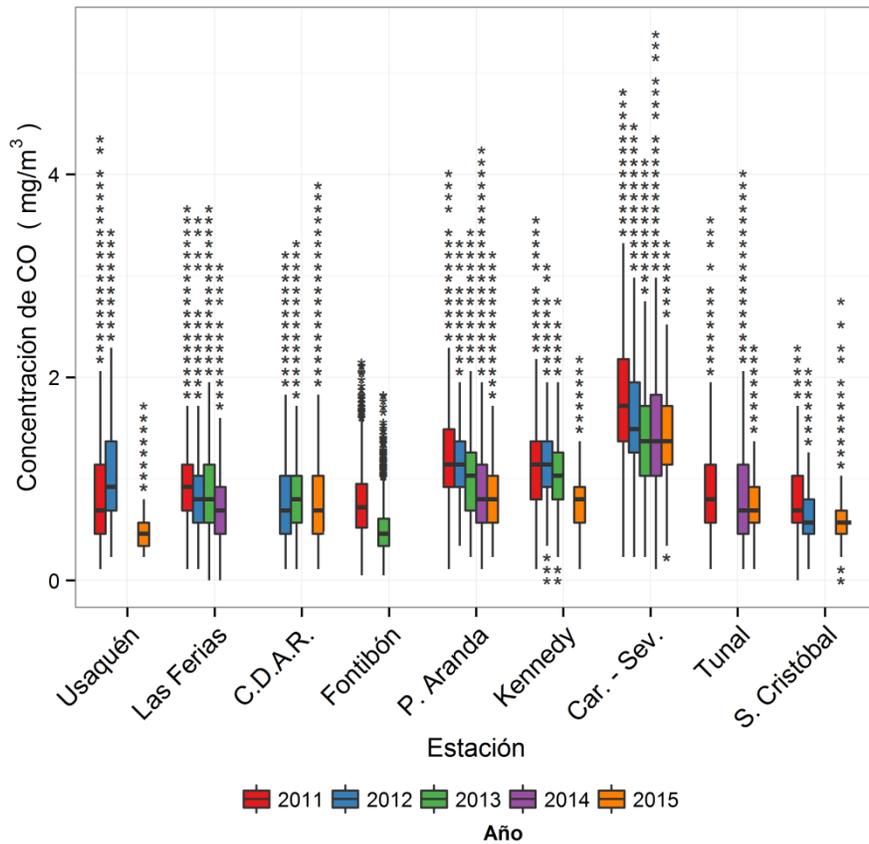
**Figura 3-65.** Ciclos semanales de las concentraciones de CO por estación de monitoreo con captura de datos igual o superior a 75% para el año 2015. Se indica el intervalo de confianza de 95%.



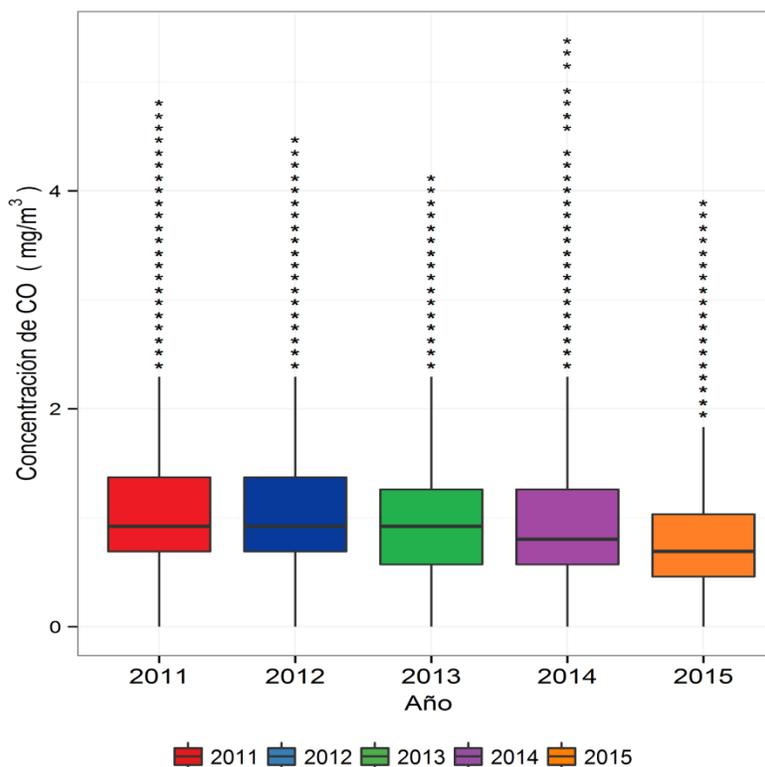
**Figura 3-66.** Ciclos diarios de las concentraciones de CO para el año 2015 para los monitores con captura de datos igual o superior a 75%. Se indica el intervalo de confianza de 95%.

**Comportamiento histórico de las concentraciones de monóxido de carbono.**

En la Figura 3-67 se encuentra la tendencia histórica de las concentraciones de CO en promedios móviles de 8 horas en las estaciones de la RMCAB para el periodo 2011 a 2015. Con una diferencia importante, las mayores concentraciones se han observado en la estación Carvajal-Sevillana, seguida de Puente Aranda y Kennedy lo cual sugiere una mayor influencia de las fuentes móviles. Para estas estaciones se observó una reducción de los niveles de concentración en los años 2011 a 2014 un comportamiento estable entre 2014 y 2015. La falta de captura de datos de todas las estaciones impide una visualización adecuada de las tendencias, sin embargo, la Figura 3-68 muestra el diagrama de cajas para el CO como promedio de la media móvil 8 horas para toda la ciudad con las estaciones representativas por cada año de interés. Aquí se observa la tendencia a la disminución en las concentraciones de este contaminante a nivel ciudad y la disminución en la dispersión de los datos. Una comparación con la norma más restrictiva (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 3-67.** Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base de 8 horas (promedios móviles) por estación de monitoreo a través de los años 2011 a 2015.



**Figura 3-68.** Presentación del gráfico de *cajas* para CO en base diaria como promedio 8 horas para el periodo 2011 a 2015

El resumen de máximos históricos en términos de promedios móviles de 8 horas en el para los años 2011 a 2015 se presenta en la Tabla 3-26. La máxima concentración de monóxido de carbono en los años estudiados fue de  $5,4\text{mg/m}^3$  en la estación Carvajal-Sevillana el 10 de octubre de 2014. Un análisis de los máximos obtenidos muestra lo expresado por la gráfica anterior y es un descenso general en las concentraciones de este contaminante. Teniendo en cuenta que el límite normativo en base de 8 horas es  $10\text{ mg/m}^3$ , se puede afirmar que el monóxido de carbono no es un contaminante crítico en términos de protección de la salud pública a diferencia del  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{O}_3$ .

**Tabla 3-26.** Resumen histórico de los promedios y máximos de concentración de CO en promedios móviles de 8 horas

Año	Máximo $\text{mg/m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2011	5,2	05/03/2011 02:00	Centro de Alto Rendimiento
2012	4,5	11/05/2012 05:00	Carvajal-Sevillana
2013	4,1	24/12/2013 06:00	Carvajal-Sevillana
2014	5,4	10/10/2014 06:00	Carvajal-Sevillana
2015	4,0	20/11/2015 20:00	Las Ferias

### 3.3. Índices de calidad del aire

#### 3.3.1. Índice de Calidad del Aire - ICA

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 U.S.-EPA, mediante el documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)”, versión 2012, 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 3-27.

**Tabla 3-27.** 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, además de ofrecer un criterio para comparar la calidad entre diferentes ciudades y países.

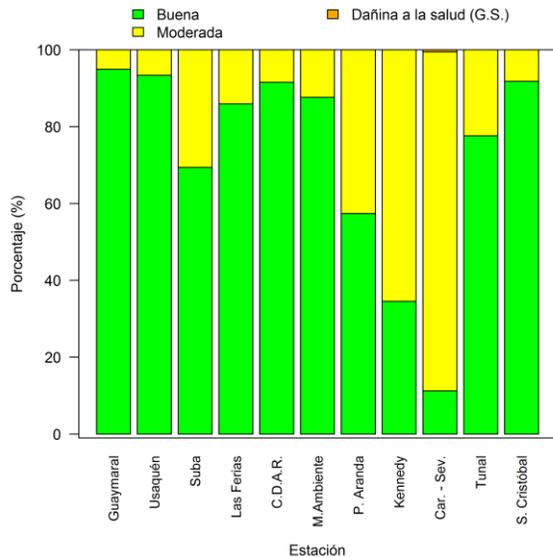
#### 3.3.1.1. Índice de calidad del aire para $PM_{10}$ .

Los estudios sugieren que la exposición a corto plazo a  $PM_{10}$  puede estar vinculada a muertes prematuras y al incremento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La Figura 3-69 muestra el comportamiento del Índice de Calidad del Aire para los promedios móviles de 24 horas de  $PM_{10}$  en función de las estaciones de monitoreo con captura de datos superior a 75%. Las diferencias en la proporción del ICA entre los sitios de monitoreo muestra la alta variabilidad en las características de sus zonas de influencia. Con excepción de San Cristóbal, en las estaciones localizadas en el sur y suroccidente de la ciudad predomina la categoría “moderada” para  $PM_{10}$  presentándose incluso, la categoría “dañina para la salud en grupos sensibles” para Carvajal-Sevillana, esto debido a los máximos presentados el 24/02/2015 y 30/06/2015 producto de fenómenos de contaminación localizados, tal como se describió en el apartado para  $PM_{10}$ . La zona que representan estas estaciones está sujeta a alta actividad de emisiones de fuentes fijas industriales y móviles, especialmente carga pesada. En las demás estaciones se observa la predominancia de la categoría “buena”, entre las que se destacan Guaymaral y Usaqué, ubicadas al norte de la ciudad.

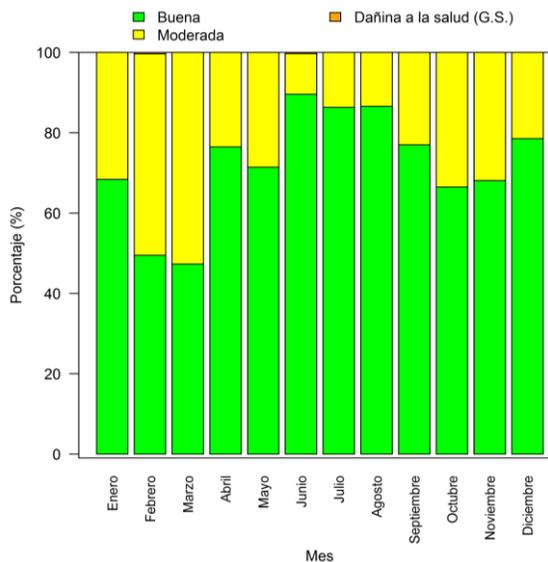
La Figura 3-70 muestra la discriminación del ICA de  $PM_{10}$  en función de los meses del año 2015. Los meses con la mejor calidad del aire en términos de ICA para  $PM_{10}$  fueron mayo, junio y julio, coincidente con lo presentado conforme a valores de concentración de  $PM_{10}$  y acorde con las dinámicas meteorológicas de la ciudad en esos meses. Los meses de Enero y Diciembre, también muestran proporciones altas de tiempo donde la calidad del aire es “Buena”, esto probablemente debido a la influencia de la dinámica de la ciudad en estos meses donde las vacaciones de fin de año influyen positivamente en las concentraciones de contaminantes.

La Figura 3-71 discrimina el Índice de Calidad del Aire por día de la semana. Como se pudo observar e los análisis cajas para este contaminante, de lunes a viernes se presentan las condiciones menos favorables de concentración y por ende mayores valores de ICA moderado.

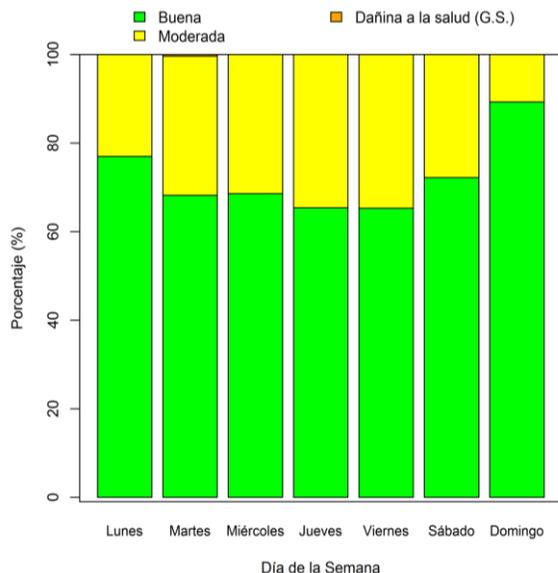
La Figura 3-72 clasifica las estaciones de acuerdo al valor promedio del Índice de Calidad del Aire para  $PM_{10}$  durante el año 2015. La categoría “Buena” se define cuando el ICA se encuentra entre 0 y 50 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría con excepción de Kennedy y Carvajal-Sevillana. El mayor valor promedio de ICA correspondió a 66 en la estación de Carvajal-Sevillana (68 para el año 2014), mientras que el menor fue observado en San Cristóbal con un valor de 23.



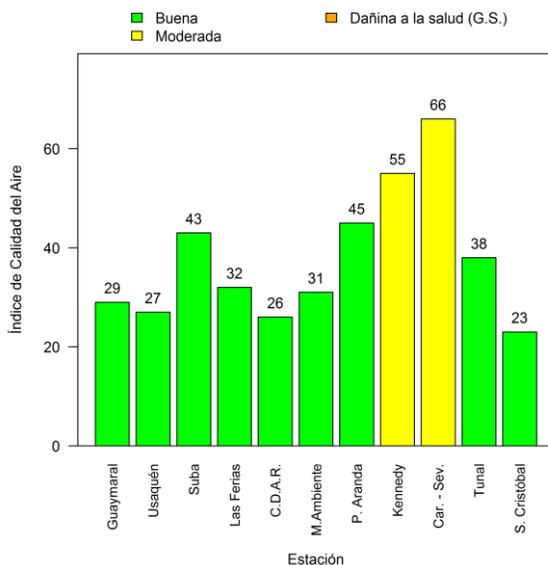
**Figura 3-69.** Proportión relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM<sub>10</sub> por estación. Año 2015



**Figura 3-70.** Proportión relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM<sub>10</sub> por mes. Año 2015



**Figura 3-71.** Proportión relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA), para PM<sub>10</sub> por días de la semana. Año 2015



**Figura 3-72.** Índice de Calidad del Aire promedio de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para año 2015.

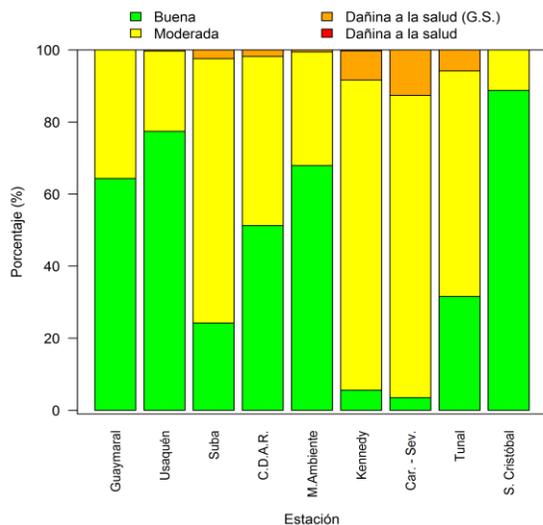
### 3.3.1.2. Índice de calidad del aire para PM<sub>2.5</sub>

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 3-73** 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 este contaminante mostró tres categorías: “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 al sur y suroccidente fueron Kennedy, Carvajal-Sevillana y Tunal las cuales, donde es mayor la afectación por fuentes fijas, móviles y de área. Hacia el centro y norte de la ciudad también se evidencia un porcentaje de tiempo considerable en calidad moderada de aire en estaciones como Centro de Alto rendimiento, Las Ferias, en menor grado MinAmbiente. La estación de suba presenta resultados muy similares a los de Tunal, lo cual indica la influencia considerable de fuentes móviles, en especial aquellas que funcionan con diésel.

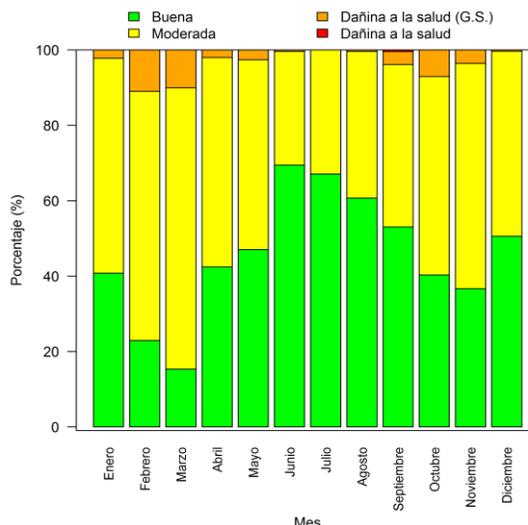
Al tratarse de promedios móviles de 24 horas, los efectos de concentraciones altas determinados por la categoría “dañina para la salud en grupos sensibles” en los valores del ICA, impactan al día siguiente teniéndose una exposición aguada fuerte el 12% del tiempo para para Carvajal-Sevillana, 8% para Kennedy y 6% Tunal; cabe mencionar que se presentó un ICA “Dañino para la Salud” el 17/09/2015 para la estación Kennedy, concordante con el máximo presentado para 24 horas. Las estaciones con una mejor calidad del aire en términos de PM<sub>2.5</sub> fueron Usaquén, San Cristóbal y Guaymaral en las cuales participaron primordialmente las categorías “buena” y “moderada” con mayor proporción de la primera. En Suba, Centro de Alto Rendimiento y MinAmbiente se observó también una participación leve de la categoría “dañina a la salud para grupos sensibles” (con participación del 2%, 2% y 1% respectivamente), pero mayor proporción de una calidad del aire “moderada”.

La Figura 3-74 corresponde a la desagregación del Índice de Calidad del Aire diario en función de los meses del año 2015. Se observa que los meses de junio, julio y agosto tienen una mayor participación de la categoría “Buena”. Las razones son similares a las dadas para los valores ICA de PM<sub>10</sub>, Debe prestarse especial atención a la calidad del aire en los meses de febrero y marzo, donde el mayor porcentaje de tiempo se tuvo como resultado un ICA con condición “moderado” y las mayores proporciones de ICA “Dañino para la salud en grupos sensibles”. En septiembre se puede observar el único ICA “Dañino para la salud”, correspondiente a la estación Kennedy, tal como se describió en el párrafo anterior.

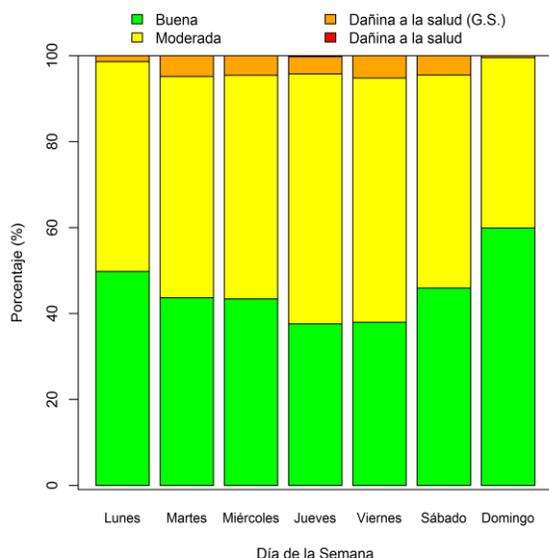
En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-75 muestra la participación de las categorías “buena”, “moderada” y “dañina a la salud para grupos sensibles” en todos los días. Los domingos y lunes son los días con menor proporción de este ICA y los días laborales se muestran como los más afectados con la aparición mayoritaria del índice “Moderado”, en especial los jueves y viernes.



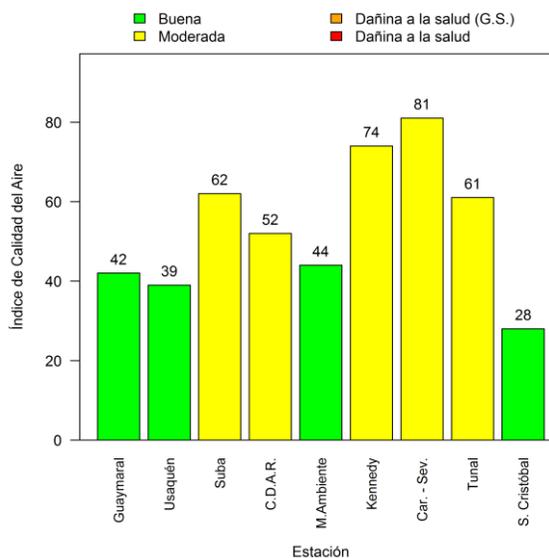
**Figura 3-73.** Proporción relativa de las categorías del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> por estación para el año 2015.



**Figura 3-74.** Proporción relativa del Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> en el año 2015.



**Figura 3-75** Índice de Calidad del Aire (ICA) de PM<sub>2.5</sub> por día de la semana para el año 2015



**Figura 3-76.** Índice de calidad del aire (ICA) promedio por estación para PM<sub>2.5</sub> en el año 2015

Los valores de ICA promedio para el año 2015 de la Figura 3-76 muestran que cuatro de las nueve estaciones analizadas (Guaymaral, Usaquén MinAmbiente y San Cristóbal) se mantuvieron dentro de la categoría “Buena”, por debajo de las 50 unidades de ICA; las restantes cinco (5) presentaron valores promedio por encima de las 50 unidades, lo que las clasifica en la categoría “moderada”. El valor promedio de ICA más alto fue 81 (frente a 85 del año 2014) en la estación Carvajal-Sevillana y de 74 (frente a 83 del año 2014) para la estación Kennedy. A manera de contraste, en Usaquén y San Cristóbal se observaron las

magnitudes más bajas con valores de 39 y 28, respectivamente (frente a 41 de Usaquén en 2014).

En comparación con los resultados obtenidos para  $PM_{10}$ , se puede afirmar que en términos de salud pública, los niveles de  $PM_{2.5}$  en el año 2015 indican una mayor afectación y por tanto se debe prestar especial atención a las magnitudes generales de sus concentraciones así como a la ocurrencia de episodios de alta contaminación. Los datos ICA, así como los valores de concentración y el análisis realizado a través de este informe, permiten concluir que el material particulado  $PM_{2.5}$  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.

### 3.3.1.3. Índice de calidad del aire para ozono ( $O_3$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ).

Las Figura 3-77, Figura 3-78 y la Figura 3-79 presentan los índices de calidad del aire promedio por estación para año 2015 en los contaminantes  $O_3$ ,  $SO_2$  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  $1222 \mu g/m^3$  en un tiempo de exposición de 1 hora. La máxima concentración horaria de  $NO_2$  medida por la RMCAB en el año 2015 fue  $90 \mu g/m^3$  en la estación Centro de Alto Rendimiento, lo cual evidencia que no se alcanzan las 200 unidades de ICA.

La categoría “Moderada” se considera únicamente si el valor del ICA supera las 50 unidades. En promedio, todas las estaciones presentaron valores debajo de este límite en los tres contaminantes demostrando la predominancia de la categoría “Buena” en el año de análisis. En términos de protección a la salud pública, el contaminante con menor afectación es  $SO_2$  teniendo en cuenta su bajo índice ICA.

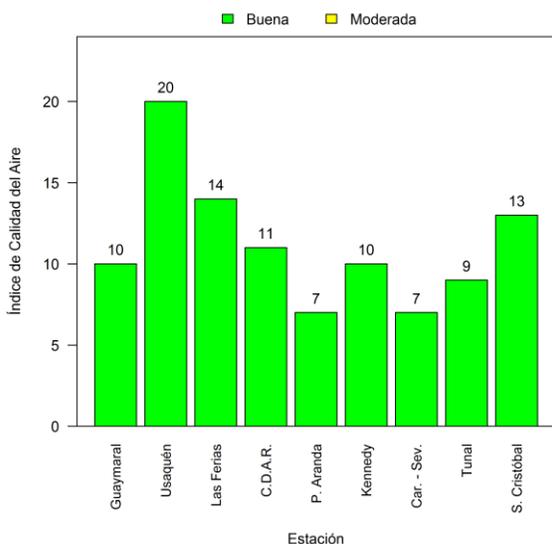
El máximo valor de ICA para ozono fue 20 en la estación Usaquén y es seguido por Las Ferias con 14 unidades. Estos resultados son concordantes con los análisis llevados a cabo en apartados anteriores, teniendo en cuenta que las concentraciones más altas fueron observadas en el norte de la ciudad y los valores más bajos en el suroccidente, en las estaciones Carvajal-Sevillana 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 3 en la estación Kennedy, el cual está significativamente alejado de 50 que establece el límite entre la categoría “Buena” y “Moderada”. Este valor es seguido por 2 en Puente Aranda y Centro de Alto rendimiento, por lo cual este contaminante no representa un riesgo para la salud en Bogotá.

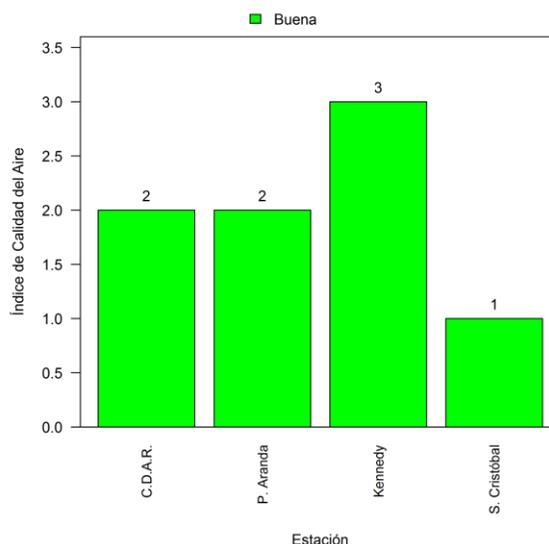
En lo referente al monóxido de carbono, el máximo valor promedio de ICA fue 14 en la estación Carvajal-Sevillana. Como se ha mencionado previamente, en la zona de influencia de esta estación predomina alta actividad relacionada con la emisión de fuentes industriales y móviles cuyos procesos de combustión favorecen la emisión de monóxido de carbono. Este valor de ICA es seguido por 9 en Puente Aranda y en último lugar se tiene Usaquén

con 5 unidades, demostrando un contraste en las tendencias de la calidad del aire en la ciudad. Todos los promedios móviles de 8 horas del año se enmarcaron en la categoría “Buena”.

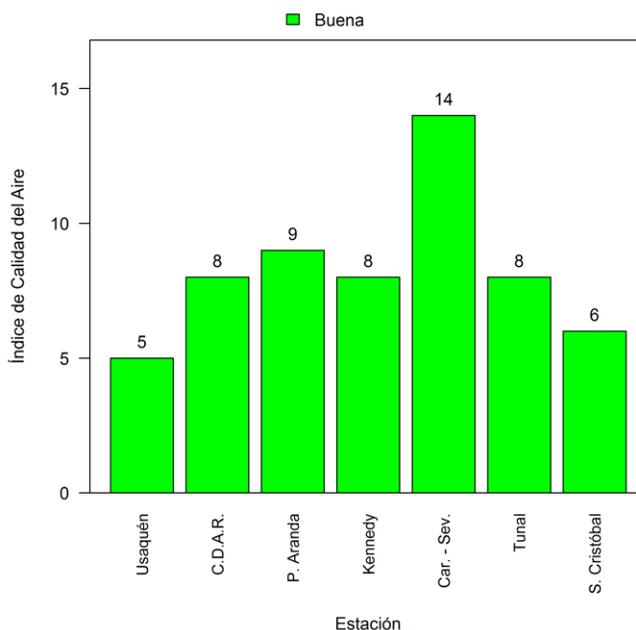
En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que sus concentraciones representan un riesgo menor para la salud en comparación con el material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.



**Figura 3-77.** Índice de Calidad del Aire promedio para ozono (O<sub>3</sub>). Base de 8 horas.



**Figura 3-78.** Índice de Calidad del Aire promedio para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Base diaria.



**Figura 3-79.** Índice de Calidad del Aire promedio para monóxido de carbono (CO). Base de 8 horas.

### 3.3.2. Índice Bogotano de Calidad del Aire - IBOCA

Esta sección presenta el índice Bogotano de Calidad del Aire (IBOCA), adoptado mediante la Resolución conjunta 2410 de 2015 de la Secretaría Distrital de Ambiente y de la Secretaría Distrital de Salud. El IBOCA es un indicador multipropósito adimensional, que oscila entre 0 y 100, calculado a partir de las concentraciones de contaminantes atmosféricos criterio ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  y  $SO_2$ ) que se registran en las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire, y comunica de forma sencilla, oportuna y clara el riesgo ambiental por contaminación atmosférica, el estado de la calidad del aire de Bogotá, las afectaciones y recomendaciones en salud y las medidas voluntarias para que la ciudadanía contribuya a mantener o mejorar la calidad del aire de la ciudad.

El IBOCA también funciona como indicador de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el marco del Sistema Distrital de Alertas del Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Este indicador está basado en la ecuación y umbrales del ICA de la US-EPA, de acuerdo al documento “Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality –”, Versión 2013, y es susceptible de mejora mediante estudios locales. Además cuenta con recomendaciones en salud revisadas para el contexto local, de modo que mantiene o mejora las del ICA para cada nivel de concentración de los contaminantes criterios, lo cual tiende a disminuir la vulnerabilidad de la población bogotana, y además tiene recomendaciones para disminuir las emisiones atmosféricas, lo que contribuye a disminuir la amenaza asociada. Siendo así, el IBOCA obedece a una estrategia de disminución del riesgo ambiental, que se refuerza y consolida con los protocolos específicos de actuación y respuesta que la ciudad defina de forma interinstitucional e intersectorial, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 595 del 2015. La Tabla 3-28 Muestra los rangos de concentración de contaminantes del aire y los diferentes atributos del IBOCA

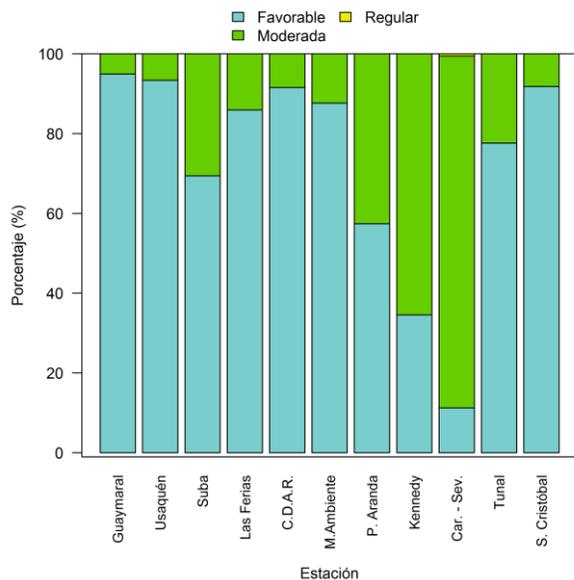
**Tabla 3-28.** Puntos de corte del IBOCA de acuerdo con la resolución 2410 de 2015

Atributos del IBOCA				Rangos de concentración y tiempo de exposición para cada contaminante <sup>1</sup>					
Rangos numéricos	Color	Estado de calidad del aire	Estado de actuación y respuesta <sup>2</sup>	$PM_{10}$ , 24h ( $\mu g/m^3$ )	$PM_{2.5}$ , 24h ( $\mu g/m^3$ )	$O_3$ , 8h ( $\mu g/m^3$ ) [ppb]	$CO$ , 8h ( $\mu g/m^3$ ) [ppm]	$SO_2$ , 1h ( $\mu g/m^3$ ) [ppb]	$NO_2$ , 1h ( $\mu g/m^3$ ) [ppb]
0 - 10	Azul claro	Favorable	Prevención	(0-54)	(0-12)	(0-116) [0-59]	(0-5038) [0.0-4.4]	(0-93) [0-35]	(0-100)
10,1 - 20	Verde	Moderada	Prevención	(55-154)	(12.1-35.4)	(117-148) [60-75]	(5039-10762) [4.5-9.4]	(94-198) [36-75]	(101-188)
20,1 - 30	Amarillo	Regular	Alerta Amarilla	(155-254)	(35.5-55.4)	(149-187) [76-95]	(10763-14197) [9.5-12.4]	(199-486) [76-185]	(189-677) [101-360]
30,1 - 40	Naranja	Mala	Alerta Naranja	(255-354)	(55.5-150.4)	(188-226) [96-115]	(14198-17631) [12.5-15.4]	(487-797) [186-304]	(678-1221) [361-649]
40,1 - 60	Rojo <sup>3</sup>	Muy Mala	Alerta Roja <sup>3</sup>	(355-424)	(150.5-250.4)	(227-734) [116-374]	(17632-34805) [15.5-30.4]	(798-1583) [305-604]	(1221-2349) [650-1249]
60,1 - 100 <sup>4</sup>	Morado	Peligrosa	Emergencia	(425-604)	(250.5-500.4)	(734-938) [374-938]	(34806-57703) [30.5-50.4]	(1584-2630) [605-1004]	(2350-3853) [1250-2049]

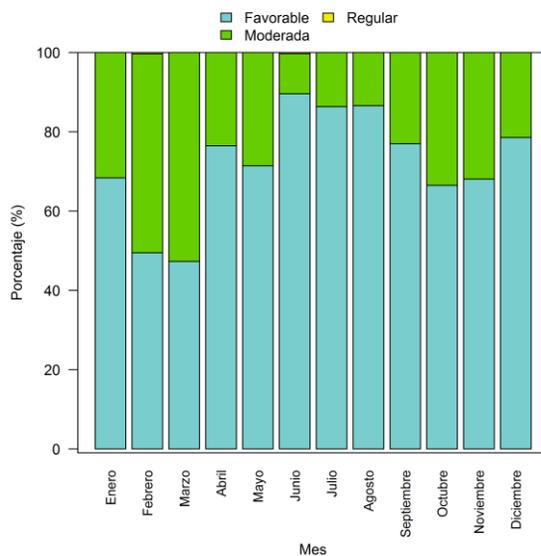
#### 3.3.2.1. IBOCA para $PM_{10}$ .

La Figura 3-80 muestra el comportamiento del IBOCA para los promedios móviles de 24 horas de  $PM_{10}$  en función de las estaciones de monitoreo con cobertura temporal superior a 75%. El comportamiento es muy similar al establecido para el ICA debido a los rangos de

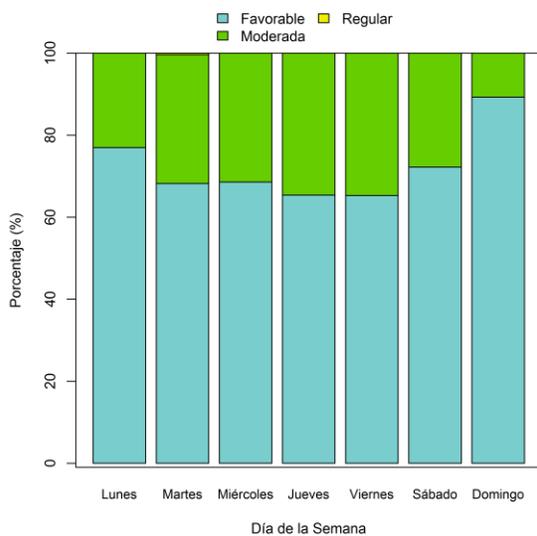
corte empleados, pero da una pauta para la actuación y respuesta de ciudad desde la categoría “regular”, de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2410 de 2015. Se aprecian lo máximos del 24/02/2015 y 30/06/2015 que generan una categoría de calidad del aire regular debido a este contaminante. Predominan las categorías “favorable” y “moderada” para todas las estaciones, para las cuales pueden seguirse las recomendaciones del IBOCA publicadas en la página web de la RMCAB, en relación a los cuidados en salud y a la disminución voluntaria de emisión de contaminantes.



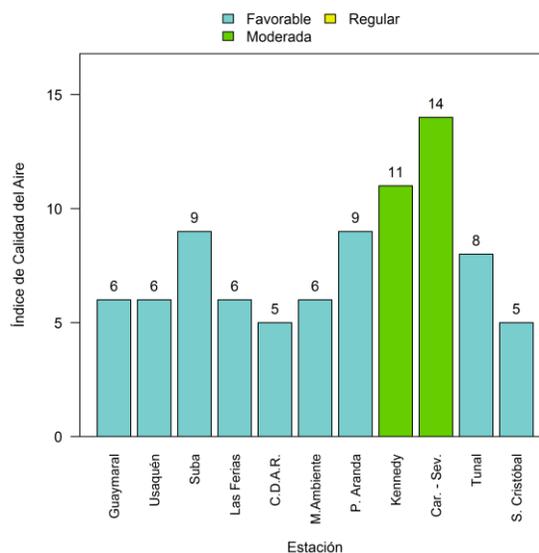
**Figura 3-80.** Proporción relativa de las categorías del IBOCA, para pm<sub>10</sub> por estación. Año 2015



**Figura 3-81.** Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm<sub>10</sub> por mes. Año 2015



**Figura 3-82.** Proporción relativa de las categorías del IBOCA para pm<sub>10</sub> por días de la semana. Año 2015



**Figura 3-83.** IBOCA promedio de PM<sub>10</sub> para las estaciones de la RMCAB para año 2015.

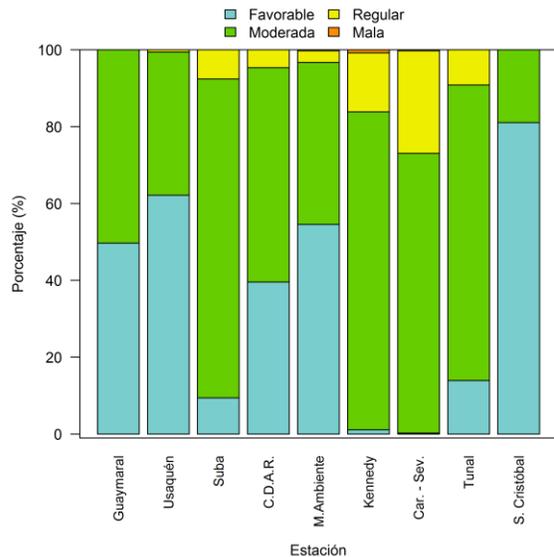
La Figura 3-81 muestra la discriminación del IBOCA de  $PM_{10}$  en función de los meses del año 2015. El comportamiento es similar al presentado con el ICA, donde los meses de mitad de año son los que presentan condiciones más favorables. Este comportamiento se repite con el IBOCA por día de la semana (La Figura 3-82) y el IBOCA promedio para  $PM_{10}$  durante el año 2015 (Figura 3-83). Para esta última figura, la categoría “Favorable” se define cuando el IBOCA se encuentra entre 0 y 10 unidades. Se observa que, en promedio, todas las estaciones se enmarcaron en esta categoría, con excepción de Kennedy y Carvajal-Sevillana. El mayor valor promedio de IBOCA correspondió a 14 en la estación de Carvajal-Sevillana, mientras que el menor fue observado en San Cristóbal con un valor de 5. En ningún caso, a excepción del máximo presentado en Carvajal-Sevillana, la ciudad estuvo en alerta amarilla por  $PM_{10}$ .

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

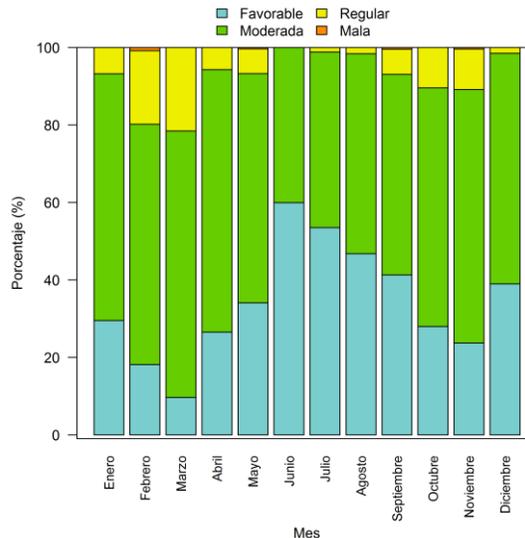
La Figura 3-84 muestra la proporción del IBOCA para este contaminante por estación con base en promedios móviles de 24 horas. De acuerdo con el IBOCA, este contaminante mostró cuatro categorías: “favorable”, “moderada”, “regular” y “mala”, las cuales se distribuyen en proporciones variadas en función de las estaciones de monitoreo. Se observa que en las estaciones del suroccidente la categoría “regular” es frecuente, presentándose el 15% del tiempo en Kennedy y el 25% del tiempo en Carvajal; esto indica que la zona de influencia de las estaciones pudo estar en alerta amarilla, lo cual deberá validarse en futuras ocasiones de acuerdo a la mesa técnica definida en la Resolución 2410 de 2015. Otras estaciones que estuvieron al menos el 5% del tiempo o menos en categoría “regular” son Tunal, Las ferias, Subas, Centro de Alto rendimiento y MinAmbiente. En cuanto a la categoría “mala”, que correspondería a una alerta naranja de calidad del aire si ha sido validada por la mesa técnica, se evidenció en Kennedy los días 24/02/2015, 02/05/2015 y 17/09/2015 (correspondiente al máximo presentado por la RMCAB), para Carvajal el día 24/02/2015 y para MinAmbiente el 31/10/2015. La categoría mala del 24/02/2015 coincide en Kennedy y Carvajal, lo cual pudo corresponder a un episodio local de contaminación.

La Figura 3-85 corresponde a la desagregación del IBOCA diario en función de los meses del año 2015. Se observa que los meses de junio, julio y agosto tienen una mayor participación de la categoría “favorable”. Sin embargo, para este contaminante la categoría “moderada” predomina a lo largo del año. Se pueden observar los episodios de contaminación con categoría “mala” o alerta naranja para calidad del aire en los meses de febrero, septiembre y octubre.

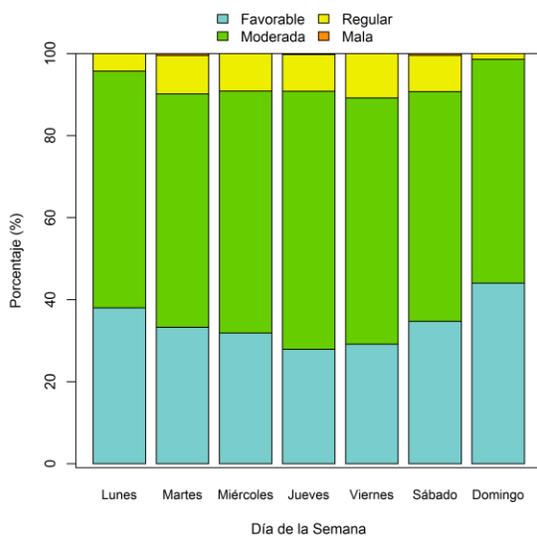
En lo referente al comportamiento por día de la semana, la Figura 3-86 se observa que los domingos y los lunes son los días con mayor proporción del IBOCA en la categoría “favorable”, y los días laborales son los más afectados con una aparición importante de la categoría “regular”, en especial los viernes, con una proporción de tiempo del 5%. Es interesante notar que la categoría “dañina para la salud en grupos sensibles” del ICA, que se veía en baja proporción, ahora es reemplazada por la categoría “Regular” del IBOCA, la cual se ve aumentada, indicando que la calidad del aire conforme a este nuevo indicador merece mayor atención respecto a  $PM_{2.5}$ , ya que las proporciones de tiempo a través de la semana en las que las personas se ven sometidas o condiciones adversas es superior.



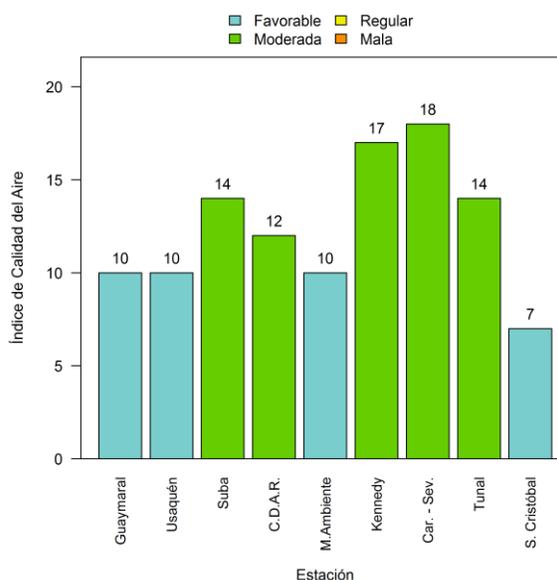
**Figura 3-84.** Proporción relativa de las categorías del IBOCA para PM<sub>2.5</sub> por estación para el año 2015.



**Figura 3-85.** Proporción relativa del IBOCA por meses para PM<sub>2.5</sub> en el año 2015.



**Figura 3-86.** IBOCA de PM<sub>2.5</sub> por día de la semana para el año 2015

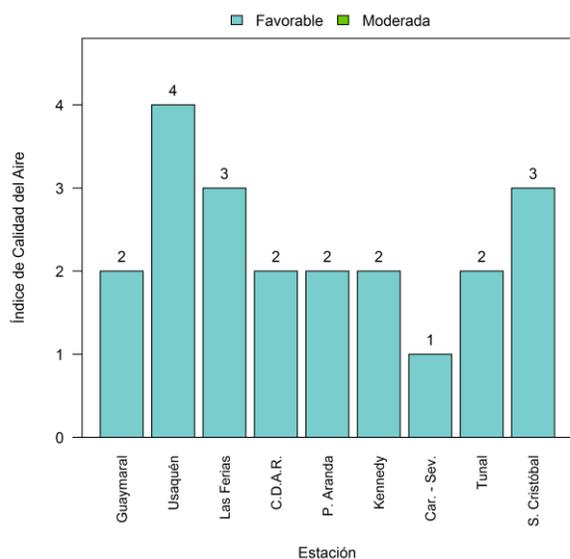


**Figura 3-87.** IBOCA promedio por estación para PM<sub>2.5</sub> en el año 2015

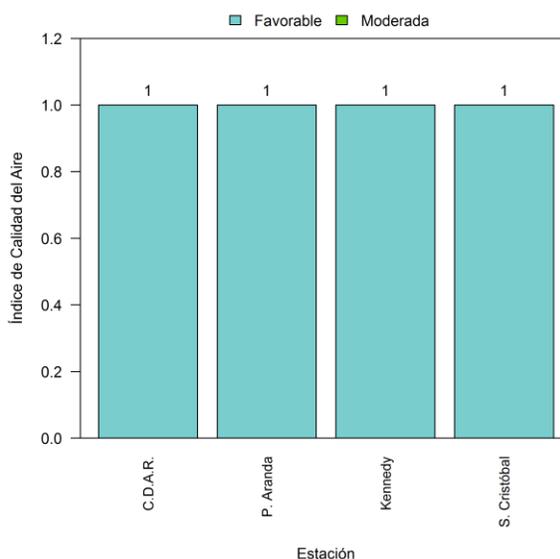
Los valores de IBOCA promedio para el año 2015 de la Figura 3-87 muestran que, con cuatro (4) de las nueve estaciones representativas se mantienen en categoría “favorable” y cinco (5) en “moderada” con un valor máximo de 18 para Carvajal-Sevillana, lo cual indica que en promedio todas las estaciones se encuentran lejos de la categoría “regular” o alerta amarilla.

### 3.3.2.3. Índice de calidad del aire para ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO).

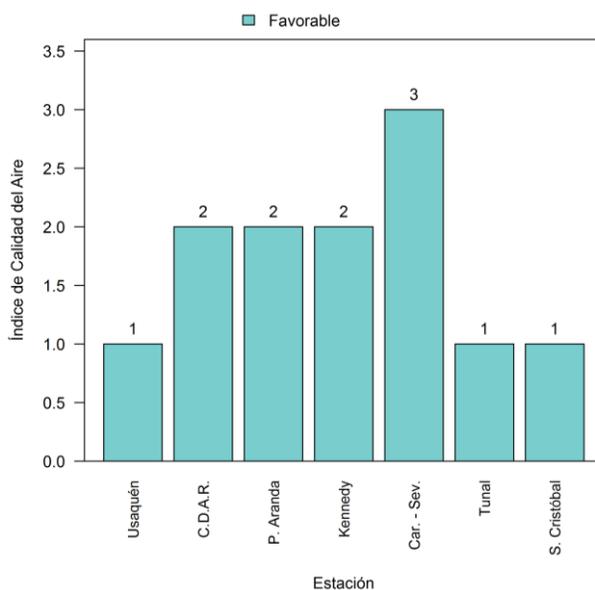
Las Figura 3-88, Figura 3-89 y la Figura 3-90 presentan los IBOCA promedio por estación para año 2015 con base en los contaminantes O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> y CO en tiempos de exposición de 8 horas, 1 hora y 8 horas respectivamente. En general, los resultados para estos gases permiten afirmar que 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>. Siendo así, el mayor factor de riesgo ambiental por contaminación atmosférica en el año 2015 en Bogotá es el PM<sub>2.5</sub>, lo cual hace necesario enfocar la atención y los esfuerzos distritales en controlar las fuentes de emisión que emiten partículas de menor tamaño, tales como las fuentes de combustión.



**Figura 3-88.** IBOCA promedio para ozono (O<sub>3</sub>). Base de 8 horas.



**Figura 3-89.** IBOCA promedio para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Base 1 hora.



**Figura 3-90.** IBOCA 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 año 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 o datos obtenidos con los datos recolectados en el periodo reportado. La cuarta columna indica el porcentaje de captura de datos, que se establece como la cantidad de promedios obtenidos en el periodo reportado sobre la cantidad de promedios posibles en el mismo periodo. 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 establecer las estaciones que se encuentran en ese último rango de 25% próximo a sobrepasar la norma, mientras que la octava columna tiene la misma idea pero 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 anuales los cuales, en algunos casos son indicativos al no estar regulados en la Resolución 610 de 2010.

**Tabla 3-29.** Consolidado de los promedios diarios de partículas suspendidas totales (PST), Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Suroccidente	Carvajal-Sevillana	272	75	0	0	0	25	225	0.75	104

\* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010. Promedio geométrico para PST

**Tabla 3-30.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>). Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	356	98	0	0	0	24	70	0.7	31
	Usaquén	347	95	0	0	1	28	78	0.78	30
	<b>Subtotal</b>	<b>703</b>	<b>97</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>52</b>	<b>74</b>	<b>0.7</b>	<b>31</b>
Noroccidente	Suba	330	90	0	0	6	123	87	0.87	47
	Las Ferias	333	91	0	0	3	59	83	0.83	35
	<b>Subtotal</b>	<b>663</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>182</b>	<b>85</b>	<b>0.9</b>	<b>41</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	355	97	0	0	4	41	80	0.8	28
	MinAmbiente	364	100	0	0	6	53	89	0.89	34
	<b>Subtotal</b>	<b>719</b>	<b>99</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>94</b>	<b>85</b>	<b>0.8</b>	<b>31</b>
Suroccidente	Puente Aranda	345	95	6	1.74	46	112	104	1.04	53
	Kennedy	362	99	29	8.01	79	161	153	1.53	66
	Carvajal-Sevillana	355	97	98	27.61	134	91	160	1.6	87
	<b>Subtotal</b>	<b>1062</b>	<b>97</b>	<b>133</b>	<b>12</b>	<b>259</b>	<b>364</b>	<b>139</b>	<b>1.4</b>	<b>69</b>
Sur	Tunal	362	99	2	0.55	18	84	103	1.03	43
	San Cristóbal	352	96	0	0	9	28	97	0.97	26
	<b>Subtotal</b>	<b>714</b>	<b>98</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>112</b>	<b>100</b>	<b>1.0</b>	<b>35</b>

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

**Tabla 3-31.** Consolidado de los promedios diarios para material particulado inferior a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>). Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	344	94	0	0	0	23	35	0.7	14
	Usaquén	309	85	0	0	1	18	40	0.8	13
	<b>Subtotal</b>	<b>653</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>41</b>	<b>38</b>	<b>0.8</b>	<b>14</b>
Noroccidente	Suba	328	90	0	0	17	70	50	1	22
	Las Ferias	258	71	0	0	10	37	43	0.86	17
	<b>Subtotal</b>	<b>586</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>107</b>	<b>47</b>	<b>0.9</b>	<b>20</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	321	88	1	0.31	12	58	52	1.04	18
	MinAmbiente	361	99	1	0.28	8	38	58	1.16	15
	<b>Subtotal</b>	<b>682</b>	<b>94</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>96</b>	<b>55</b>	<b>1.1</b>	<b>17</b>
Suroccidente	Kennedy	359	98	6	1.67	42	129	66	1.32	27
	Carvajal-Sevillana	341	93	7	2.05	69	181	64	1.28	31
	<b>Subtotal</b>	<b>700</b>	<b>96</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>111</b>	<b>310</b>	<b>65</b>	<b>1.3</b>	<b>29</b>
Sur	Tunal	359	98	4	1.11	24	57	53	1.06	21
	San Cristóbal	327	90	0	0	0	1	32	0.64	9
	<b>Subtotal</b>	<b>686</b>	<b>94</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>58</b>	<b>43</b>	<b>0.9</b>	<b>15</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anuales de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-32.** Consolidado de los promedios horarios de O<sub>3</sub>, Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	8350	95	2	0.02	42	237	127	1.06	22
	Usaquén	8436	96	33	0.39	348	1881	176	1.47	47
	<b>Subtotal</b>	<b>16786</b>	<b>96</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>390</b>	<b>2118</b>	<b>152</b>	<b>1.3</b>	<b>35</b>
Noroccidente	Suba	5972	68	5	0.08	22	112	132	1.1	21
	Las Ferias	8204	94	2	0.02	27	590	129	1.07	33
	<b>Subtotal</b>	<b>14176</b>	<b>81</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>49</b>	<b>702</b>	<b>131</b>	<b>1.1</b>	<b>27</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7783	89	8	0.1	60	426	162	1.35	26
	MinAmbiente	5146	59	0	0	0	32	88	0.73	22
	<b>Subtotal</b>	<b>12929</b>	<b>74</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>60</b>	<b>458</b>	<b>125</b>	<b>1.0</b>	<b>24</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8101	92	1	0.01	25	119	126	1.05	17
	Kennedy	7543	86	7	0.09	51	260	155	1.29	22
	Carvajal-Sevillana	8157	93	0	0	10	96	110	0.92	15
	<b>Subtotal</b>	<b>23801</b>	<b>90</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>86</b>	<b>475</b>	<b>130</b>	<b>1.1</b>	<b>18</b>
Sur	Tunal	8599	98	0	0	3	56	99	0.82	20
	San Cristóbal	8253	94	1	0.01	20	456	137	1.14	30
	<b>Subtotal</b>	<b>16852</b>	<b>96</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>512</b>	<b>118</b>	<b>1.0</b>	<b>25</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

Tabla 3-33. Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de O<sub>3</sub>. Año 2015.

[Norma: 80 µg/m <sup>3</sup> ]										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	8380	96	20	0.24	141	807	95	1.19	22
	Usaquén	8438	96	561	6.65	1398	3004	125	1.56	47
	<b>Subtotal</b>	<b>16818</b>	<b>96</b>	<b>581</b>	<b>3</b>	<b>1539</b>	<b>3811</b>	<b>110</b>	<b>1.4</b>	<b>35</b>
Noroccidente	Suba	5949	68	31	0.52	36	471	105	1.31	21
	Las Ferias	8226	94	19	0.23	318	2066	94	1.18	33
	<b>Subtotal</b>	<b>14175</b>	<b>81</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>354</b>	<b>2537</b>	<b>100</b>	<b>1.2</b>	<b>27</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7783	89	48	0.62	205	1224	119	1.49	26
	MinAmbiente	5197	59	0	0	11	319	72	0.9	22
	<b>Subtotal</b>	<b>12980</b>	<b>74</b>	<b>48</b>	<b>0</b>	<b>216</b>	<b>1543</b>	<b>96</b>	<b>1.2</b>	<b>24</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8106	93	10	0.12	68	346	90	1.12	17
	Kennedy	7536	86	42	0.56	150	675	115	1.44	22
	Carvajal-Sevillana	8250	94	0	0	43	229	80	1	15
	<b>Subtotal</b>	<b>23892</b>	<b>91</b>	<b>52</b>	<b>0</b>	<b>261</b>	<b>1250</b>	<b>95</b>	<b>1.2</b>	<b>18</b>
Sur	Tunal	8596	98	0	0	10	314	67	0.84	20
	San Cristóbal	8263	94	21	0.25	306	1480	92	1.15	30
	<b>Subtotal</b>	<b>16859</b>	<b>96</b>	<b>21</b>	<b>0</b>	<b>316</b>	<b>1794</b>	<b>80</b>	<b>1.0</b>	<b>25</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-34.** Consolidado de los promedios horarios de NO<sub>2</sub>. Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Guaymaral	8124	93	0	0	0	0	98	0.49	24
	<b>Subtotal</b>	<b>8124</b>	<b>93</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>98</b>	<b>0.5</b>	<b>24</b>
Noroccidente	Suba	2599	30	0	0	0	0	87.5	0.44	22
	Las Ferias	7617	87	0	0	3	83	173.57	0.87	41
	<b>Subtotal</b>	<b>10216</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>83</b>	<b>131</b>	<b>0.7</b>	<b>32</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7659	87	0	0	2	76	158	0.79	33
	<b>Subtotal</b>	<b>7659</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>76</b>	<b>158</b>	<b>0.8</b>	<b>33</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8468	97	0	0	1	34	162	0.81	32
	Kennedy	5251	60	0	0	0	1	102	0.51	26
	Carvajal-Sevillana	8269	94	0	0	1	41	162	0.81	53
	<b>Subtotal</b>	<b>21988</b>	<b>84</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>76</b>	<b>142</b>	<b>0.7</b>	<b>37</b>
Sur	Tunal	8448	96	0	0	0	19	137	0.68	28
	<b>Subtotal</b>	<b>8448</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19</b>	<b>137</b>	<b>0.7</b>	<b>28</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-35.** Consolidado de los promedios diarios de NO<sub>2</sub>. Año 2015.

<b>Información de los promedios diarios de concentración de NO<sub>2</sub></b>										
<b>[Norma: 150 µg/m<sup>3</sup>; Resolución 610 de 2010]</b>										
<b>Zona</b>	<b>Nombre de la Estación</b>	<b>No de promedios</b>	<b>Captura de datos (%)</b>	<b>No de datos que exceden la norma</b>	<b>% de datos que exceden la norma</b>	<b>No. datos entre el 75% y el 100% de la norma</b>	<b>No. de datos entre el 50% y el 75% norma</b>	<b>Máximo [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Max/Norma</b>	<b>Promedio anual (µg/m<sup>3</sup>)*</b>
<b>Norte</b>	Guamaral	335	92	0	0	0	0	45	0.3	24
	<b>Subtotal</b>	<b>335</b>	<b>92</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45</b>	<b>0.3</b>	<b>24</b>
<b>Noroccidente</b>	Suba	107	29	0	0	0	0	38.61	0.26	22
	Las Ferias	315	86	0	0	0	6	85.56	0.57	41
	<b>Subtotal</b>	<b>422</b>	<b>58</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>62</b>	<b>0.4</b>	<b>32</b>
<b>Centro</b>	Centro de Alto Rendimiento	315	86	0	0	0	4	90	0.6	33
	<b>Subtotal</b>	<b>315</b>	<b>86</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>90</b>	<b>0.6</b>	<b>33</b>
<b>Suroccidente</b>	Puente Aranda	353	97	0	0	0	0	70	0.47	32
	Kennedy	213	58	0	0	0	0	45	0.3	25
	Carvajal-Sevillana	345	95	0	0	0	6	82	0.55	53
	<b>Subtotal</b>	<b>911</b>	<b>83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>66</b>	<b>0.4</b>	<b>37</b>
<b>Sur</b>	Tunal	352	96	0	0	0	0	64	0.42	28
	<b>Subtotal</b>	<b>352</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>64</b>	<b>0.4</b>	<b>28</b>

\* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-36.** Consolidado de los promedios móviles de 3 horas de SO<sub>2</sub>. Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Noroccidente	Suba	6171	70	0	0	0	0	96.5	0.13	8.4
	Las Ferias	4595	52	0	0	0	0	23.8	0.03	3.4
	<b>Subtotal</b>	<b>10766</b>	<b>61</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>60.2</b>	<b>0.08</b>	<b>5.9</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7731	88	0	0	0	0	25.4	0.03	3.5
	<b>Subtotal</b>	<b>7731</b>	<b>88</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25.4</b>	<b>0.03</b>	<b>3.5</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8516	97	0	0	0	0	34.3	0.05	3.3
	Kennedy	7398	84	0	0	0	0	81.7	0.11	5.5
	Carvajal-Sevillana	5845	67	0	0	0	0	261.9	0.35	11.3
	<b>Subtotal</b>	<b>21759</b>	<b>83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>126.0</b>	<b>0.17</b>	<b>6.7</b>
Sur	Tunal	2505	29	0	0	0	0	34.83	0.05	3.2
	San Cristóbal	7806	89	0	0	0	0	31.16	0.04	1.1
	<b>Subtotal</b>	<b>10311</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33</b>	<b>0.0</b>	<b>2.2</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-37.** Consolidado de los promedios diarios de SO<sub>2</sub>. Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Noroccidente	Suba	257	70	0	0	0	0	39.3	0.16	8.3
	Las Ferias	192	53	0	0	0	0	11.3	0.05	3.4
	<b>Subtotal</b>	<b>449</b>	<b>62</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>25.3</b>	<b>0.11</b>	<b>5.9</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	330	90	0	0	0	0	10.0	0.04	3.4
	<b>Subtotal</b>	<b>330</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10.0</b>	<b>0.04</b>	<b>3.4</b>
Suroccidente	Puente Aranda	357	98	0	0	0	0	12.6	0.05	3.3
	Kennedy	309	85	0	0	0	0	24.4	0.1	5.4
	Carvajal-Sevillana	245	67	0	0	0	0	48.2	0.19	11.4
	<b>Subtotal</b>	<b>911</b>	<b>83</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>28.4</b>	<b>0.11</b>	<b>6.7</b>
Sur	Tunal	104	28	0	0	0	0	15.45	0.06	3.2
	San Cristóbal	326	89	0	0	0	0	8.12	0.03	1.1
	<b>Subtotal</b>	<b>430</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0.0</b>	<b>2.2</b>

\* Estos promedios tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010.  
Nota. Para los promedios debe observarse que se incluyen estaciones con baja captura de datos con el fin de publicar los datos completos de la RMCAB

**Tabla 3-38.** Consolidado de los promedios horarios de CO. Año 2015.

<b>Información de los promedios horarios de concentración de CO</b>										
<b>[Norma: 40 mg/m<sup>3</sup>; Resolución 610 de 2010]</b>										
Zona	Nombre de la Estación	No de promedios	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Usaquén	6568	75	0	0	0	0	2.9	0.07	0.5
	<b>Subtotal</b>	<b>6568</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.9</b>	<b>0.07</b>	<b>0.5</b>
Noroccidente	Las ferias	5600	64	0	0	0	0	6.2	0.15	0.7
	<b>Subtotal</b>	<b>5600</b>	<b>64</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.2</b>	<b>0.15</b>	<b>0.7</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7617	87	0	0	0	0	6.1	0.15	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>7617</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.1</b>	<b>0.15</b>	<b>0.8</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8442	96	0	0	0	0	6.9	0.17	0.9
	Kennedy	6800	78	0	0	0	0	4.0	0.1	0.8
	Carvajal-Sevillana	8398	96	0	0	0	0	7.1	0.18	1.4
	<b>Subtotal</b>	<b>23640</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6.0</b>	<b>0.15</b>	<b>1.0</b>
Sur	Tunal	8414	96	0	0	0	0	4.6	0.11	0.8
	San Cristóbal	8361	95	0	0	0	0	3.7	0.09	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>16775</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.1</b>	<b>0.10</b>	<b>0.7</b>

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

**Tabla 3-39.** Consolidado de los promedios móviles de 8 horas de CO. Año 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	Captura de datos (%)	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 Anual (µg/m <sup>3</sup> )*
Norte	Usaquén	6558	75	0	0	0	0	1.72	0.2	0.5
	<b>Subtotal</b>	<b>6558</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.7</b>	<b>0.17</b>	<b>0.5</b>
Noroccidente	Las ferias	5614	64	0	0	0	0	4.01	0.4	0.7
	<b>Subtotal</b>	<b>5614</b>	<b>64</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4.0</b>	<b>0.40</b>	<b>0.7</b>
Centro	Centro de Alto Rendimiento	7589	87	0	0	0	0	3.89	0.4	0.8
	<b>Subtotal</b>	<b>7589</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.9</b>	<b>0.39</b>	<b>0.8</b>
Suroccidente	Puente Aranda	8446	96	0	0	0	0	3.21	0.3	0.9
	Kennedy	6781	77	0	0	0	0	2.18	0.2	0.8
	Carvajal-Sevillana	8406	96	0	0	0	0	3.32	0.3	1.4
	<b>Subtotal</b>	<b>23633</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.9</b>	<b>0.29</b>	<b>1.0</b>
Sur	Tunal	8430	96	0	0	0	0	2.29	0.2	0.8
	San Cristóbal	8329	95	0	0	0	0	2.75	0.3	0.6
	<b>Subtotal</b>	<b>16759</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.5</b>	<b>0.26</b>	<b>0.7</b>

\* Estos promedios no tienen referencia normativa para comparación en un tiempo de exposición anual 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 2015. 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 global y humedad relativa.

### Condiciones climatológicas y sinópticas del periodo

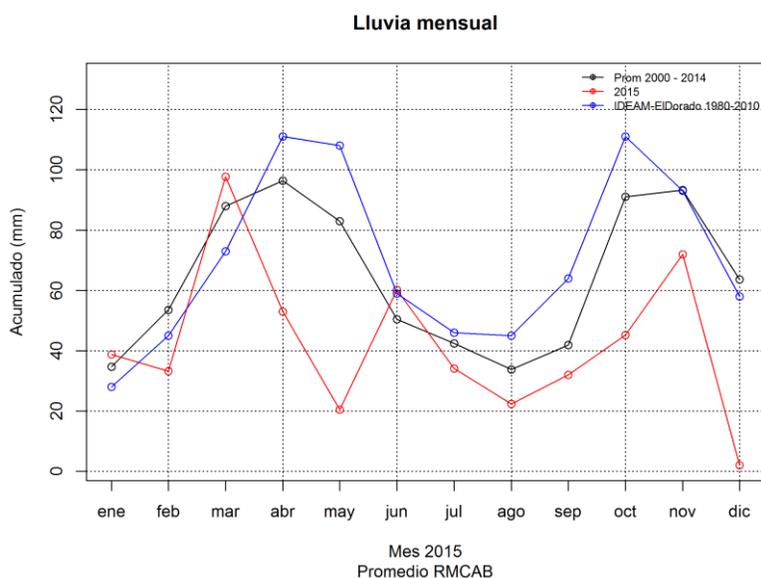
Uno de los fenómenos climáticos que presentan mayor relevancia en la modulación de las precipitaciones en Colombia corresponde al fenómeno ENOS (El Niño Oscilación Del Sur). A partir del trimestre FMA (febrero marzo abril) de 2015 fue declarado el evento El Niño cuyo índice de oceánico del niño (ONI por sus siglas en inglés) alcanzó su máximo valor en el trimestre NDE (noviembre diciembre enero) (2015 -2016) con un umbral de 2.3 (Para mayor información consulte en el National Oceanic and Atmospheric Administration) (El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Diagnostic Discussion, s.f.), Esto significa que durante el trimestre, la lluvia y otras variables meteorológicas presentaron una variación significativa comparada con la climatología local, manifestándose una reducción considerable de los acumulados de lluvia y aumentos significativos de la temperatura máxima en el periodo.

### 4.1. Precipitación

La Figura 4-1 presenta el acumulado promedio mensual de la red en el periodo 1998 – 2014, el promedio mensual de las estación del aeropuerto EIDorado (IDEAM) en el periodo 1980-2010 y el promedio de la RMCAB, en 2015. Acorde con lo esperado dada la variabilidad climática de la época, se presentó un deficit de lluvia significativo, particularmente en el mes de diciembre donde el acumulado alcanzó en promedio 2 mm, alcanzando una anomalía de -62 mm según lo esperado en el mes. Considerando el promedio histórico de la red, los meses de enero, marzo y junio fueron los únicos que presentaron lluvias por encima de lo esperado. Acorde a la información de la Tabla 4-1, la estación de San Cristóbal reportó el máximo valor del año, 131 mm en el mes de junio el cuál tradicionalmente corresponde a la segunda temporada de menos lluvias del año; por su parte la estación de Las Ferias en diciembre mostró tiempo seco, alcanzando escasos 0.5 mm acumulados. Es importante resaltar que los promedios de la red aún no representan una climatología de Bogotá; estos se muestran únicamente como comparación de lo ocurrido en los últimos años.

**Tabla 4-1.** Acumulados de precipitación de las estaciones de la RMCAB mensuales durante 2015.

Estación	ene-15	feb-15	mar-15	abr-15	may-15	jun-15	jul-15	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15
Carvajal - Sevillana	22.8	16.6	66.9	58.6	14.2	74.6	36.0	18.5	27.8	50.2	62.4	1.7
Centro de Alto Rendimiento	64.7	73.6	135.8	38.8	12.9	40.6	35.0	23.5	22.6	58.6	99.4	2.9
Guaymaral	63.3	52.3	78.6	52.0	27.4	46.0	43.0	31.6	39.5	23.8	72.5	3.8
Kennedy	32.9	17.0	70.2	53.3	15.5	65.7	55.4	19.0	41.2	26.0	54.0	3.0
Las Ferias	73.6	29.3	154.0	54.9	20.3	31.1	26.3	14.0	29.2	29.9	116.4	0.5
MinAmbiente	31.2	46.9	111.2	41.8	17.7	56.4	29.8	18.9	36.2	58.9	107.9	1.8
Puente Aranda	23.1	18.1	79.2	48.6	31.0	40.9	NA	NA	19.4	45.0	81.2	2.3
San Cristóbal	19.2	34.4	102.8	39.6	21.4	130.9	42.4	38.0	41.6	57.8	43.3	2.5
Suba	28.3	18.3	102.2	109.2	16.5	25.8	1.4	21.2	15.7	42.6	64.4	0.7
Tunal	17.0	14.1	75.3	67.5	17.2	113.4	43.0	24.6	39.6	47.6	49.0	1.2
Usaquén	50.2	44.5	98.0	18.5	31.6	36.6	28.5	13.5	39.1	57.0	41.8	1.9
Promedio	38.8	33.2	97.7	53.0	20.5	60.2	34.1	22.3	32.0	45.2	72.0	2.0



**Figura 4-1** Acumulado promedio de precipitación de las estaciones de la RMCAB del periodo 2000-2014, promedio histórico estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y el promedio registrado mensualmente en el último año por la RMCAB.

Es notable la tendencia negativa en la precipitación en los trimestres SON y MAM de 2015 (Figura 4-2). Mientras que en periodos análogos se alcanzaron valores de hasta 333 y 383 mm respectivamente en 2011 (presente evento La Niña), durante el año 2015 se reportaron valores de 149 y de 171 mm respectivamente. No obstante, los trimestres DEF y JJA mostraron una ligera tendencia al aumento con acumulados cercanos a los promedios. La estación de Centro de Alto Rendimiento presentó el mayor acumulado anual de la ciudad, obteniendo 608 mm mientras que por el contrario, la estación de Suba alcanzó a registrar 446 mm. Esta información se puede observar detalladamente en la Tabla 4-2, en donde se resalta que el acumulado promedio de 2015, 507 mm, ha sido el más bajo desde el año 2000

En la Figura 4-3, se presenta la lluvia en escala horaria y mensual, de manera que el eje de las abscisas presenta los meses de 2015, en el eje de las ordenadas la hora y los colores el acumulado de lluvia horaria durante el último año; es evidente la ausencia de precipitación en la mayoría de estaciones, concentrándose las más significativas el primer trimestre del año en las horas de la tarde, entre las 17:00 y 18:00 horas. Sorprende la ausencia de segunda temporada de lluvias en estaciones como Kennedy, Tunal y San Cristóbal donde los acumulados fueron mínimos en ese periodo.

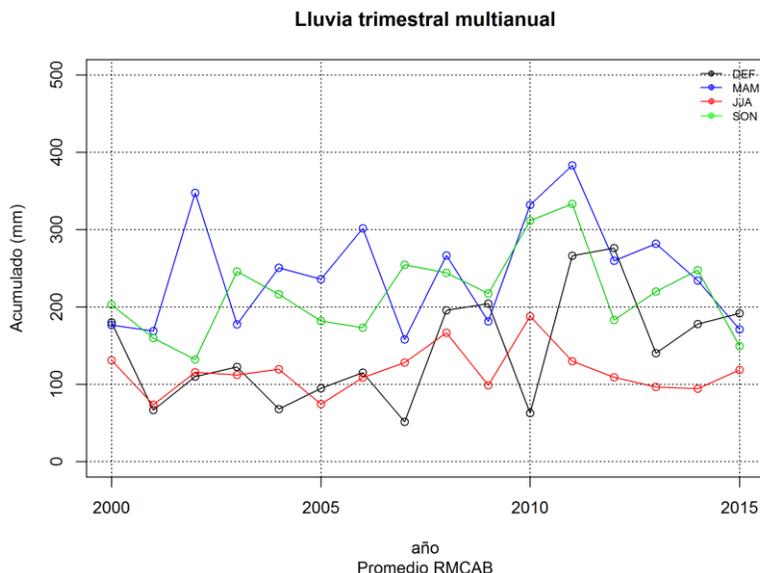
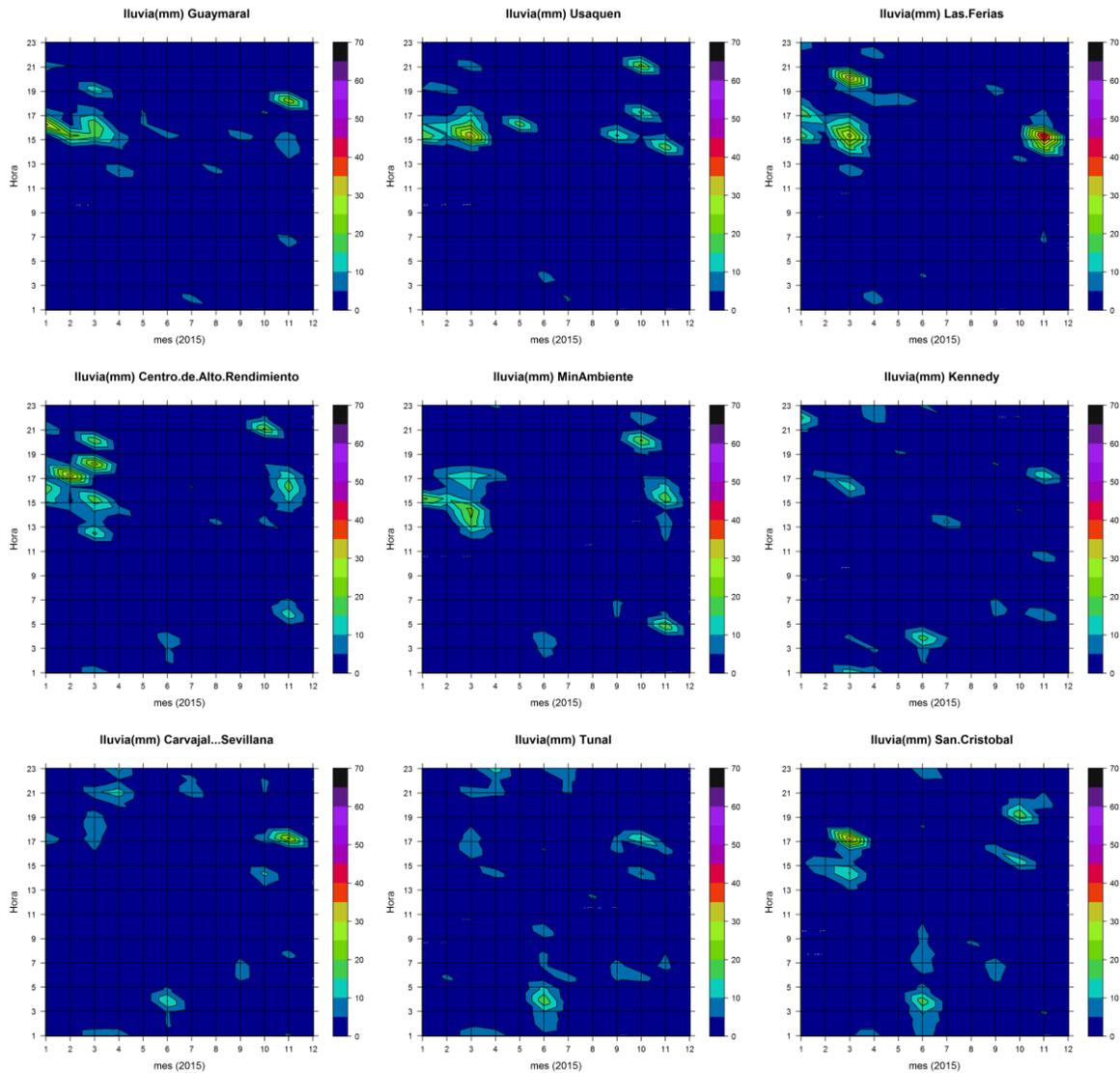


Figura 4-2. Promedio de los acumulados de precipitación trimestral desde 2000 hasta 2015.

Tabla 4-2. Acumulados de los años 2000 a 2015 por estación.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cade Energía	754	525	812	551												
Carvajal - Sevillana	585	317	580	421	577		692	669		620	970	1024	638	678	639	450
Cazuca	551	339	485	142	525	326	674	507	703							
Central de Mezclas	402	345														
Centro de Alto Rendimiento					739	752		707	848	815	1523	1710	891	964	1062	608
Chico lago (Sto Tomas)	884	588	913		756	797	1095	915	841	758	980					
Fontibón	687	471	653	574	684	545	520	559		382	522	520	350	392		
Guaymaral			578	709				646	821	656	1048	1394	639	828	836	534
Kennedy							611	546	839	559	644	587		688	689	453
Las Ferias	606	592	667			882	861	654	695	759	1321	1429	931	855	925	580
Min Ambiente	851	636	874							812			940	940	915	559
Olaya	1138															
Puente Aranda		564	901	891	248	431	580	701	1547	857	881	812	679	660	680	396
San Cristóbal													938	865	1076	574
Suba	650	496	489		1007		573	460	575	646	1023	1156	866	930	732	446
Tunal								539	686	542	1071	1066	668	711	674	510
Univ. Nacional	863	542														
Usaquén	1242	563	867	495		947	825	780	946	624	1292	1277	828	703	869	461
USME							702	553	718							
Vitelma							1087	803	839	652	922					
Promedio	768	498	711	540	648	669	747	646	838	668	1016	1098	761	768	827	507



**Figura 4-3.** Precipitación promedio acumulada mensual horaria en el último año.

Con respecto al número de días que llueve en Bogotá, a partir del mes de agosto se nota una disminución importante de los días de lluvia, aunque llama la atención que el valor del promedio de precipitación no cayó tan significativamente hasta el mes de diciembre, lo que expresa aguaceros importantes pero escasos durante esos meses (Figura 4-4). El volumen promedio de lluvia por día se encuentra generalmente por debajo de lo esperado salvo en los meses de septiembre y noviembre donde fue muy cercano a lo normal.

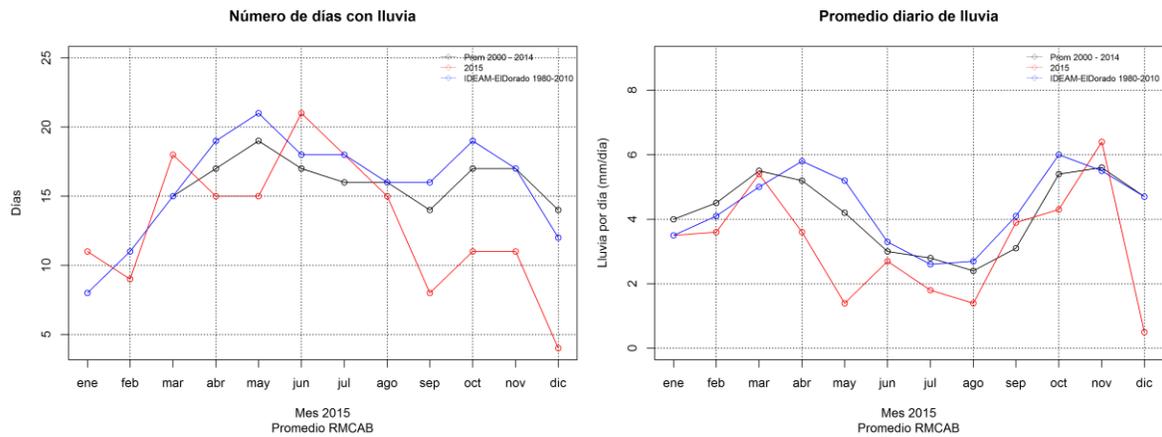


Figura 4-4. Número de días con lluvia y promedio diario de lluvia en el último año.

Los mapas de la Figura 4-5 muestran la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los acumulados de precipitación anual y las anomalías de lluvia sobre esta superficie. Como se ha mencionado durante el año predominó el déficit de lluvia y se presentó con mayor intensidad en las localidades de Kennedy y Puente Aranda, zonas en donde las anomalías de precipitación (diferencia entre 2015 y el promedio 2000-2014) reportaron una diferencia de hasta 414 mm, en la zona norte, mientras que hacia el occidente la diferencia no fue tan significativa. El comportamiento espacial de la lluvia fue relativamente normal, alcanzando los mayores acumulados en Teusaquillo, Barrios Unidos y en general hacia los cerros orientales tendiendo a disminuir hacia el occidente particularmente en la estación de Carvajal - Sevillana en la localidad de Tunjuelito y Kennedy.

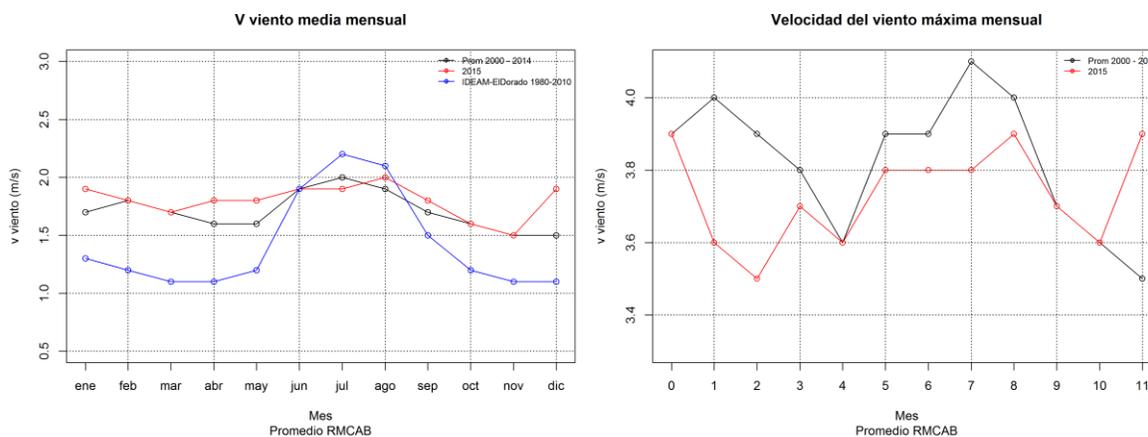


## 4.2. Vientos

La Tabla 4-3 presenta los valores promedio de velocidad y predominancia de la dirección de los vientos durante el año en grupos horarios y diarios. Como es de esperar, los valores más significativos se presentaron en horas de las tardes, particularmente en las estaciones de Kennedy (4.1 m/s), Puente Aranda (3.9 m/s) y Carvajal (3.6 m/s). Por el contrario, San Cristóbal y Guaymaral registraron promedios del viento de menor valor, 1.7 y 1.9 m/s en la tarde respectivamente, con promedios diarios de 1.2 y 1.1 m/s alcanzando valores máximos de 2.5 y 2.6 m/s.

**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 - Sevillana	1.7	2.7	3.6	2.4	2.6	4.4	180	135	180	180	180
Centro de Alto Rendimiento	0.9	1.6	2.3	1.2	1.5	3.2	90	315	90	135	90
Guaymaral	0.5	1.2	1.9	0.7	1.1	2.6	90	0	90	90	90
Kennedy	1.7	2.8	4.1	2.5	2.8	5.1	135	135	135	135	135
Las Ferias	1.5	2	2.5	1.8	2	3.7	90	45	90	135	90
Min Ambiente	1.1	1.8	2.6	1.5	1.8	4.2	90	135	90	90	90
Puente Aranda	1	2.4	3.9	2	2.3	5.2	135	315	135	135	180
San Cristóbal	0.9	1.2	1.7	1.1	1.2	2.5	90	90	90	90	90
Suba	0.9	2.3	3	1.2	1.9	4.1	45	45	0	90	45
Tunal	0.7	1.3	1.9	1	1.2	2.5	180	180	180	180	180
Usaquén	1.1	1.6	2.4	1.7	1.7	3.6	180	135	180	180	135



**Figura 4-6.** Velocidad del viento mensual promedio y máxima relativa de las estaciones de monitoreo de la SDA

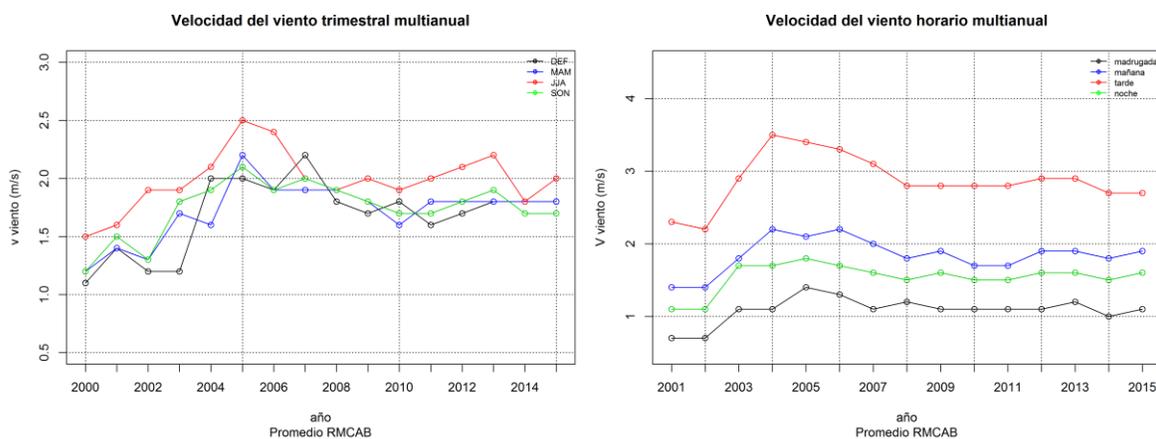
La velocidad del viento media mensual presentó un comportamiento cercano a lo esperado históricamente; en el año 2015 los meses de enero, abril, mayo, agosto y septiembre estuvieron ligeramente por encima de lo normal mientras que en el mes de diciembre se notó una diferencia más significativa, alcanzando en promedio ciudad 1.9 m/s. Los vientos máximos mostraron una condición similar, donde en los meses de enero y diciembre se observaron los valores máximos alcanzando 3.9 m/s y una diferencia en el último mes de 0.4 m/s con respecto a lo esperado históricamente. Durante el resto de los meses los datos mostraron valores inferiores o similares al promedio multianual (Figura 4-6). La Tabla 4-4 presenta los promedios anuales para cada una de las estaciones de la RMCAB desde 2000

hasta 2015; estaciones como Carvajal, Kennedy y MinAmbiente obtuvieron valores por encima de los promedios e igualaron los máximos obtenidos en los últimos años.

La Figura 4-7 presenta el comportamiento multianual de los promedios trimestrales; Salvo por el trimestre JJA, el cual mostró un incremento con respecto al año anterior, los trimestres DEF, MAM, y SON tendieron a mantenerse similares respecto a los últimos años. Desde el punto de vista horario las madrugadas, mañanas y noches mostraron un ligero aumento mientras que las tardes tendieron a disminuir ligeramente en el promedio del valor de la velocidad del viento.

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

Estación	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Cade Energía	0.7	0.9	0.7	0.8												
Carvajal - Sevilla	0.9	1.3	1.2	2.1				1.8	1.9	2.4	2.1	2.1	2.4	2.4	2.4	2.6
Cazuca	1.9	2.1	2.3		2.8	2.4	2.5	2.6	1.7							
Central de Mezclas	2															
Centro de Alto Rendimiento					0.8	1.9		1.1	1.4	1.7	1.5	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
Chico lago (Sto Tomas)	0.4	0.4	0.4													
Fontibón	2.4	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9	3.4	2.7	3	2.8	2.9	3	3		
Guaymaral			0.6					1.1	1.2	1.3		0.9	1	1	1.1	1.1
Kennedy							1.5	1.5	2.3	2.7	2.5	2.4	2.6	2.5	2.6	2.8
Las Ferias	1.7	1.7	1.6			1.5	1.4	1.4	1.9	2.1	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8	2
Min Ambiente	0.4	0.5	0.5							1.2				1.8	1.8	1.8
Olaya	1.8															
Puente Aranda	1.9	2.4	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.9	2.7	2.7	2.2	2.1	2.1	2.3
San Cristóbal											1.1	1.7	1.8	2.2	1.8	1.2
Suba	1.4	1.4	1.3		1.6		1.3	1.5	0.5	0.9	1	1.8	2	2	1.9	1.9
Tul								2.1	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1	1.2
Univ. Nacional	0.5	0.6														
Usaquén	1.2	1.1	1	1.2		1.6	2.4	1.8	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.6	1.4	1.7
USME							2.6	2.7	3.5							
Vitelma							1.6	1.5	1.7							
Promedio	1.3	1.4	1.3	1.9	2.1	2.2	2.1	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.7	1.8

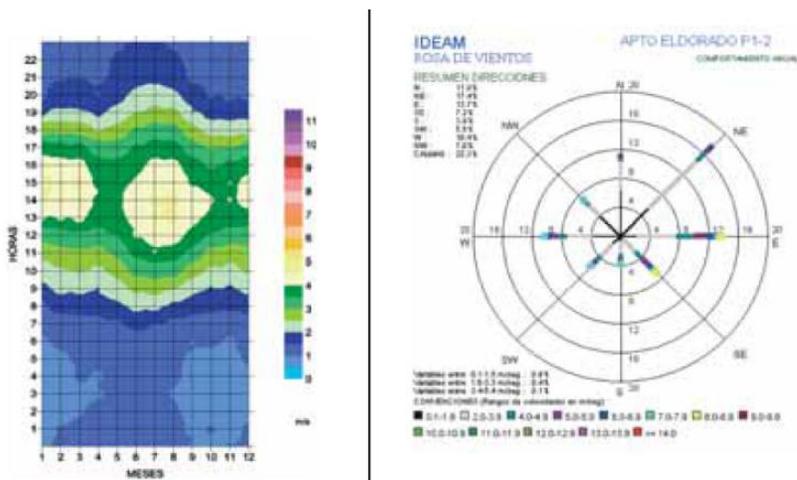


**Figura 4-7.** Velocidad del viento multianual promedio por trimestre y horario multianual de las estaciones de monitoreo de la SDA.

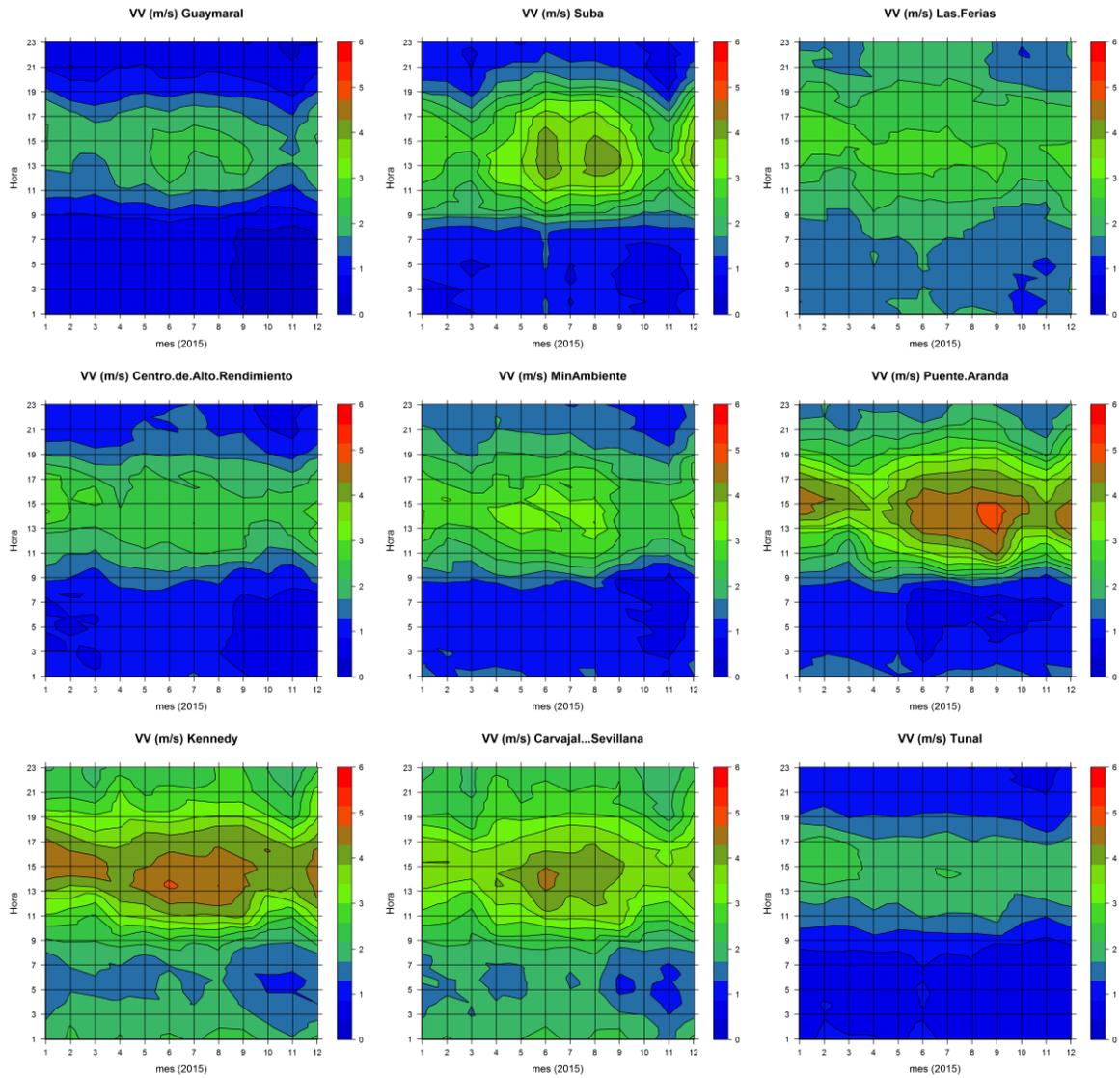
La Figura 4-9 presenta las condiciones de viento en 2015 para cada estación, discriminado por mes y por hora; como referencia se presenta el comportamiento climatológico de la

estación del aeropuerto ElDorado (Figura 4-8), en donde se observa la cresta de velocidad del viento luego de mitad de año, particularmente en horas de las tardes; la estación de Kennedy presentó los mayores promedios de velocidad del viento durante las tardes de mediados del año. Este comportamiento fue similar en la mayoría de las estaciones del sur; Puente Aranda alcanzó el máximo valor a la misma hora en el mes de septiembre mientras que Suba presentó dos picos, en el mes de junio y agosto. Estaciones como Las Ferias, Guaymaral, Centro de alto Rendimiento y Tunal no tuvieron gradientes de viento significativos durante el año.

Las rosas de vientos anuales de las estaciones de la RMCAB mostraron una predominancia del este, noreste y sureste, a saber: hacia el norte y oriente es común observar vientos predominantes del este y del norte - noreste como lo muestran las estaciones de Suba Usaquén y Las Ferias, salvo en la estación de Usaquén la cual presentó predominancia del sureste; por su parte Centro de Alto rendimiento presentó frecuencias con una amplia variabilidad en sus direcciones predominando el este y oeste (casos que normalmente son condicionados por la presencia o no de lluvia); hacia el occidente son predominantes vientos del sureste y del este a medida que se acercan al sureste geográfico de la ciudad (Figura 4-10 (a)). Asimismo, la Figura 4-10 (b) presenta el porcentaje de vientos en calma (menores a 0.5 m/s), en donde se observa que, hacia el occidente de la ciudad, los vientos tienden a estar la mayor parte del tiempo en movimiento, a diferencia del noreste donde hasta el 40% de los datos en el año se presentaron en calma. Esta condición obedece a la orografía de la ciudad, la cual a su vez facilita la dispersión en algunas zonas de los contaminantes y también genera corrientes de vientos ascendentes que apoyan la formación de lluvias locales.



**Figura 4-8** Velocidad del viento y rosa de los vientos en la estación del aeropuerto ElDorado de Bogotá en el periodo 1971- 2000 (el eje de las abscisas representa el mes mientras que el de las ordenadas presenta la hora). Fuente IDEAM



**Figura 4-9.** Velocidad del viento promedio de las estaciones en el último año

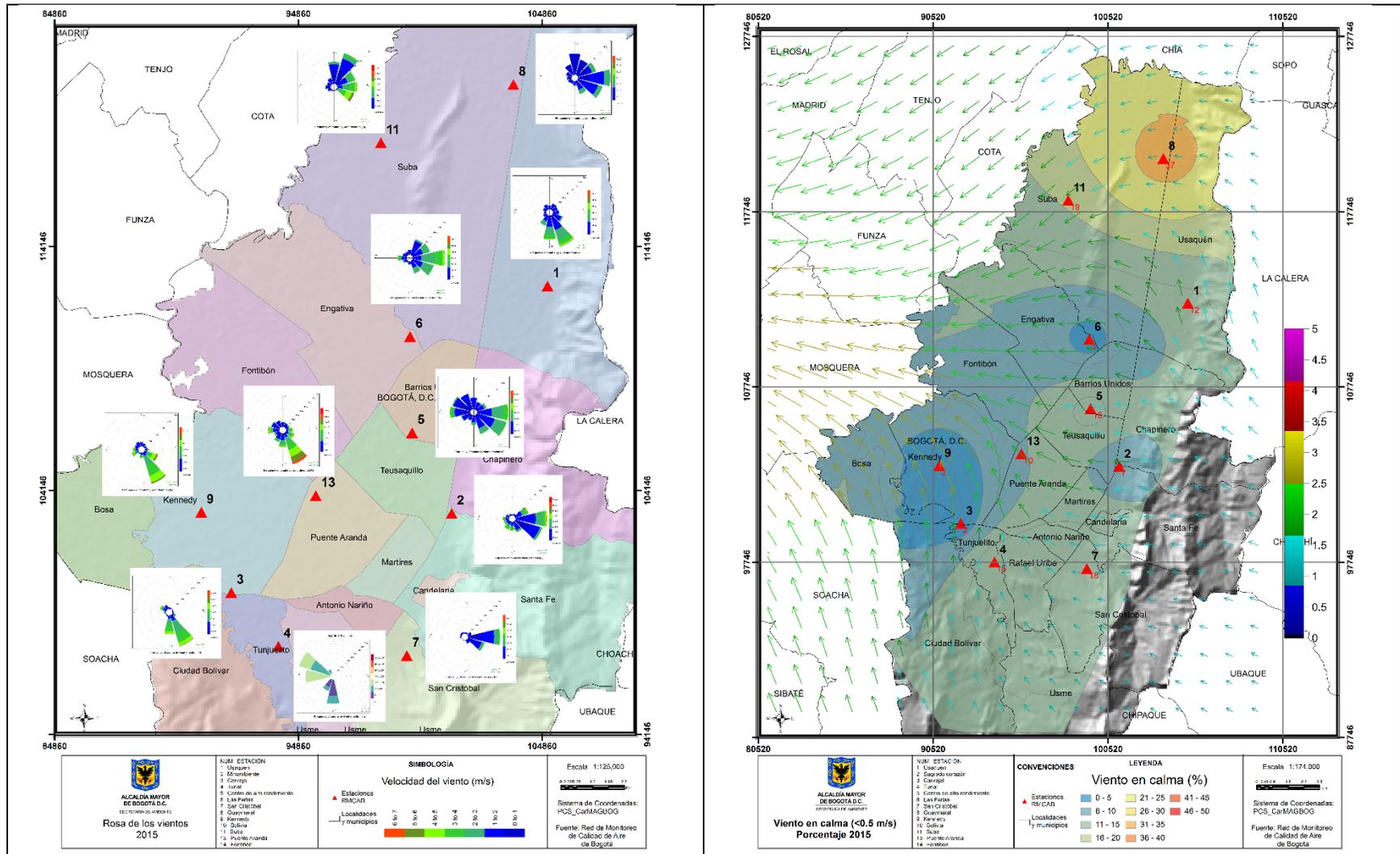
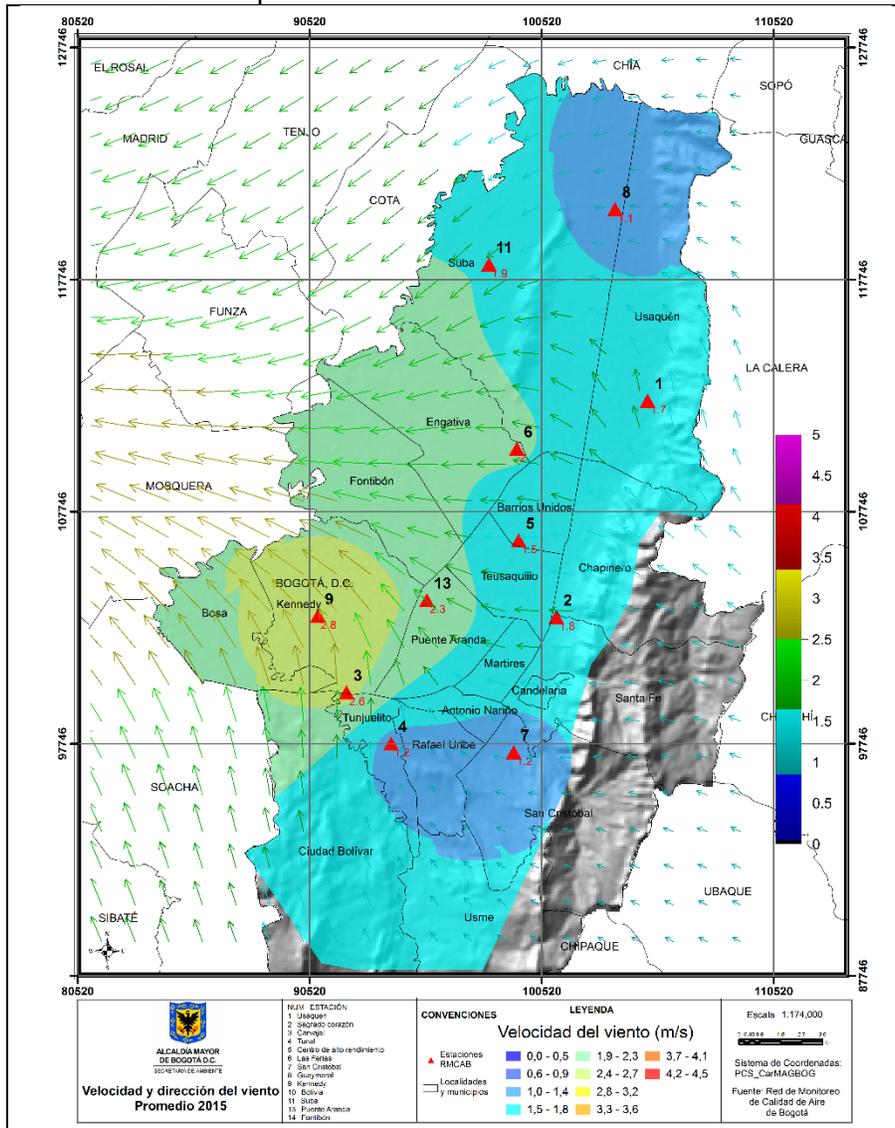


Figura 4-10. (a) Rosa de los vientos para las estaciones de la RMCAB; (b) Porcentaje de vientos en calma (<0.5 m/s), velocidad y dirección de los vientos.

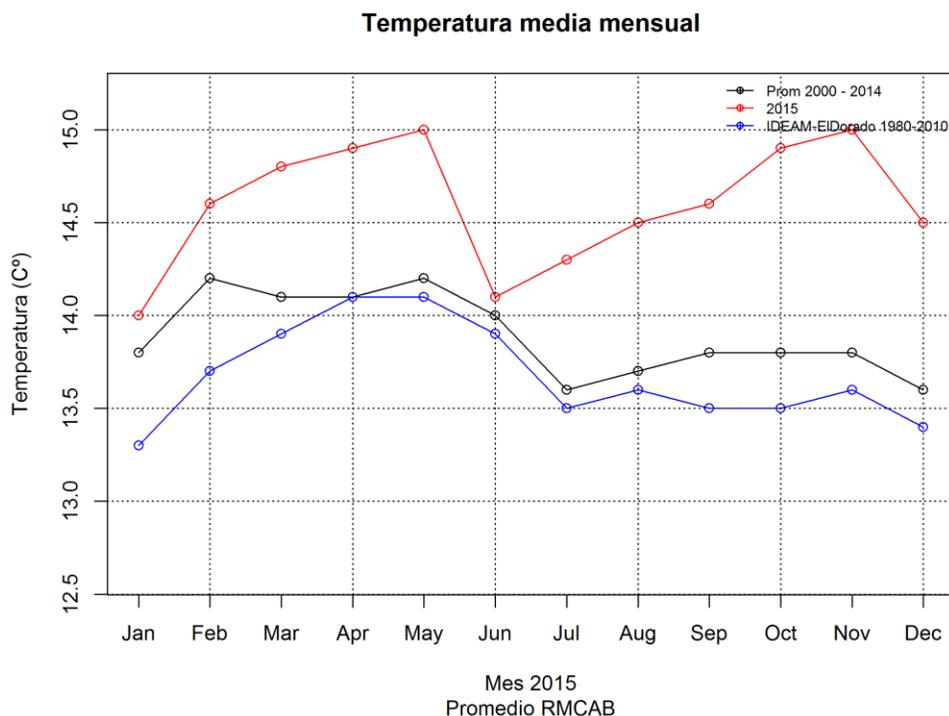
El mapa de la Figura 4-11 muestra la ciudad de Bogotá, la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de velocidad del viento en 2015. Asimismo, se presentan los vectores con las velocidades y direcciones predominantes de los vientos interpolados a partir de los datos de velocidad y dirección del viento de cada estación. Según lo descrito anteriormente, se puede observar que la tendencia de la velocidad del viento espacialmente tiene a presentar velocidades bajas al nororiente y sectores del sur de la ciudad. Predominan vientos del este y sureste en gran parte de la zona oriental de la ciudad y se observa confluencia de los vientos en sectores aledaños a Mosquera. Los mayores valores de velocidad del viento se encontraron en el occidente particularmente en la localidad de Kennedy (predominantemente sur – sureste), alcanzando velocidades de hasta 2.8 m/s promedio diario.



**Figura 4-11.** Velocidad (Superficie en colores y vectores) y dirección (vectores) del viento en Bogotá.

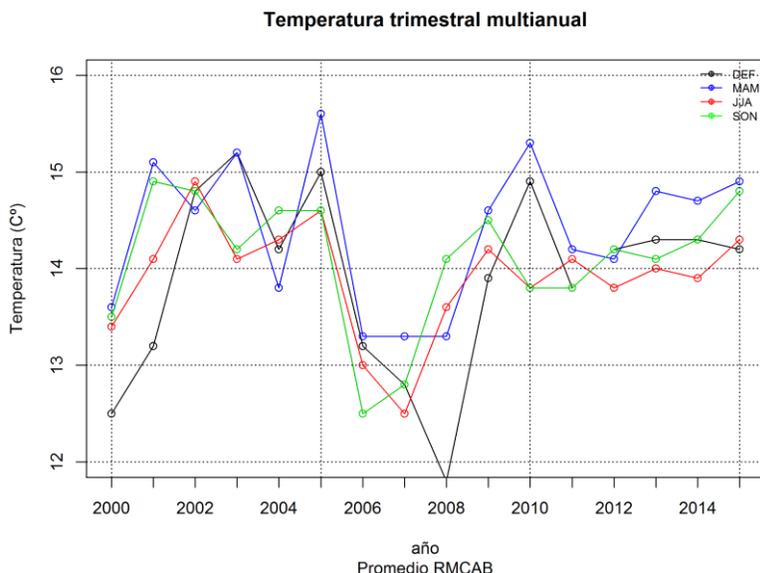
### 4.3. Temperatura Superficial

La temperatura del aire en la superficie de la ciudad mostró valores superiores a los esperados según la historia de la red. Durante el periodo se observaron valores con diferencias de hasta 0.9 °C en el mes de diciembre y de 0.8 °C en los meses de abril, mayo, agosto y septiembre. Similarmente los valores promedio fueron mayores a lo reportado climatológicamente por la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM, como se puede apreciar en la Figura 4-12, la cual muestra el valor medio de la temperatura superficial para todas las estaciones de la RMCAB que miden esta variable discriminados mensualmente, los valores de la estación del aeropuerto EIDorado del IDEAM y su comparación con el promedio de temperatura mensual.



**Figura 4-12.** Temperatura promedio mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y RMCAB 2015.

La Figura 4-13, muestra la evolución de la temperatura media de los trimestres en el periodo 2000-2015. Como se observa, los años de mayor temperatura en Bogotá se registraron en 2005 y 2010 mientras que la menor temperatura fue en 2000 - 2008. En la figura se aprecia que en 2015 los grupos de trimestres DEF- JJA y MAM - SON fueron similares entre si y distaron un grupo del otro con cerca de 0.7 °C



**Figura 4-13.** Temperatura trimestral media de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000- 2015.

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

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

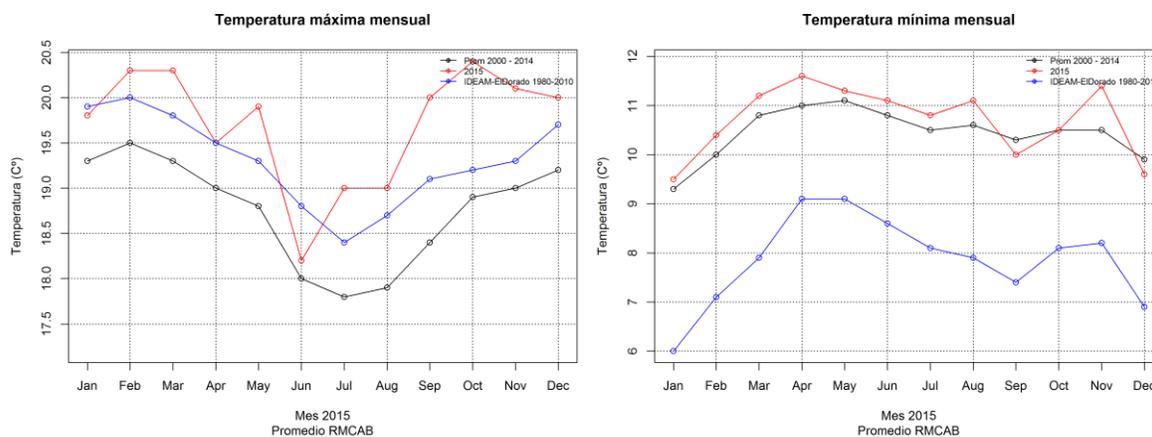
Estaciones	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Carvajal - Sevillana							12.2	11.2	14.1	15.4	15.5	15	15.2	15.5	15.5	15.8
Cazuca							12.3	11.7	13							
Centro de Alto Rendimiento									13.9	14.7	14.8	14.5	14.6	14.8	14.8	15.2
Fontibón	13.6	13.9	14.1	14.2	13.9	14.2	14.1	13.9	14.1	14.7	14.5	13.6	13.8	14.1		
Guaymaral									13.9	14.4	14.8	14.3	14.3	14.6	14.6	14.8
Kennedy									13.6	14.8	14.8	14.4	14.5	14.8	14.9	15.3
Las Ferias	15.6	16	16			15.9			13.3	14	14.2	13.7	13.9	14.2	14.2	14.4
Puente Aranda	14.1	14.5	14.6	14.7	14.5	14.8	14.6	14.6	14	14.6	14.6	14	13.8	13.7	14	14.4
San Cristóbal											13.5	13.7	13	13.1	13	13.4
Suba	10.6						12.6	13.2	13.7	12.9			14	14.3	14.3	14.6
Tunal										14.6		13.2	13.4	13	13.1	13.5
Usaquén									11.9	14.5	15.1	14.4	14.4	14.8	14.7	
USME							11.8	12.5	13.4							
Vitelma								11.7	11.5		12.9					
Promedio	13.5	14.8	14.9	14.4	14.2	14.9	12.9	12.7	13.4	14.5	14.5	14.1	14.1	14.3	14.3	14.6

Adicionalmente la Tabla 4-6 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas y mínimas relativas en cada estación, así como la amplitud térmica durante el año. En ella se observa que la estación de mayor amplitud corresponde a Guaymaral con un promedio de 11.2°C seguido de Suba con 11.0°C mientras que la estación de Puente Aranda se consolida como la de menor amplitud con 6.5 °C. Pueden asociarse estos resultados con la presencia de nubosidad que no permite el ingreso y salida de radiación en la superficie. Las temperaturas máximas tendieron a ser mayores comparadas con el promedio histórico de la red, particularmente en el mes de octubre donde se alcanzó un tope de 20.4°C; Los

meses de enero y de junio por el contrario presentaron valores menores a lo esperado. Por su parte las temperaturas mínimas presentaron un valor ligeramente por encima del promedio alcanzando los mayores valores en los meses de abril y noviembre (Figura 4-14).

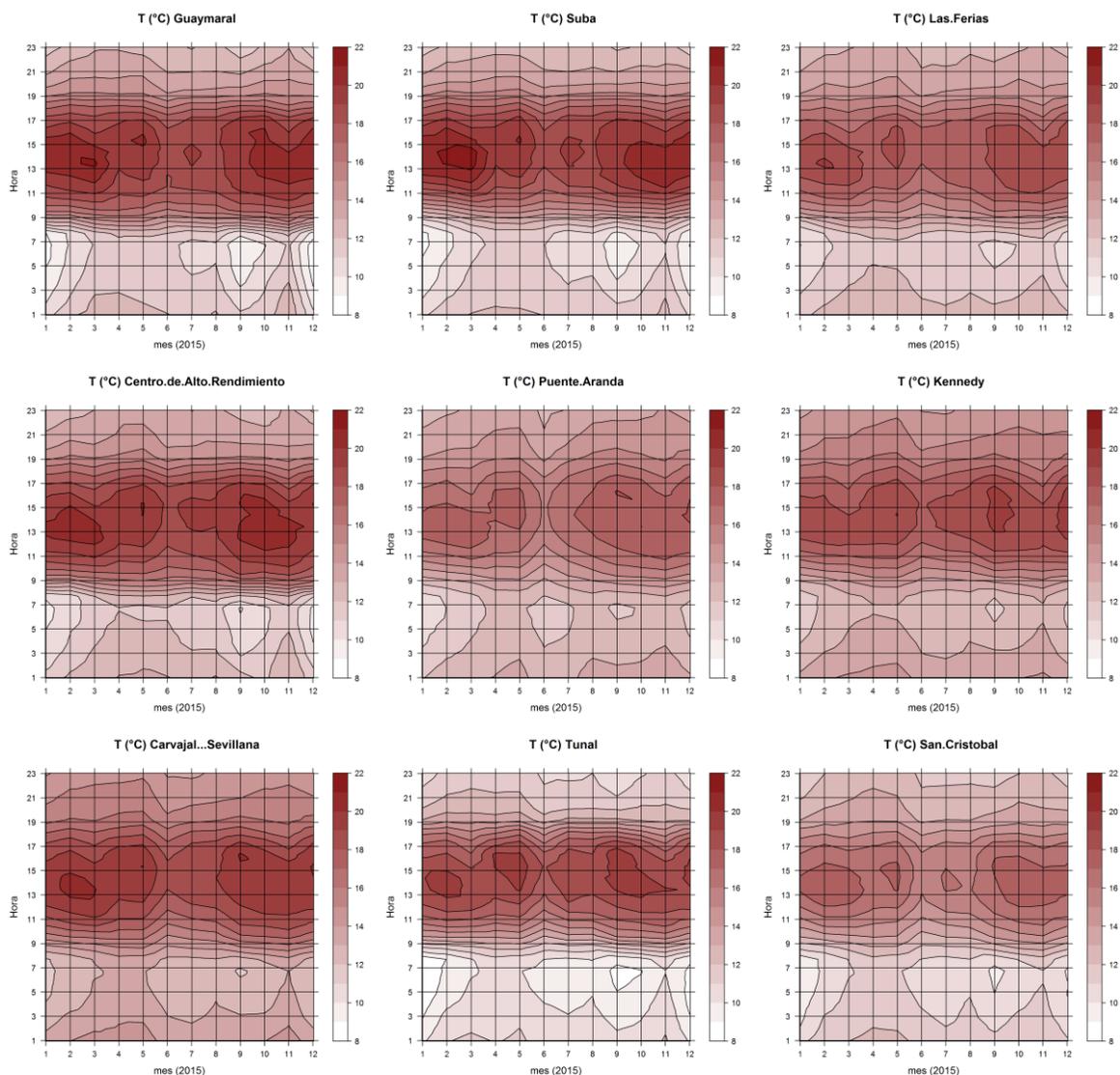
**Tabla 4-6.** Temperaturas máximas, mínimas y amplitud térmica registradas por la RMCAB en el año y su amplitud térmica.

ESTACIÓN	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	AMPLITUD TÉRMICA (°C)
Carvajal - Sevillana	20.3	12.2	8.1
Centro de Alto Rendimiento	20.9	10.4	10.5
Guaymaral	21	9.8	11.2
Kennedy	19.2	12.2	7.1
Las Ferias	19.2	10.9	8.3
Puente Aranda	18.1	11.6	6.5
San Cristóbal	17.6	10.1	7.5
Suba	21	9.9	11
Tunal	20.3	12.2	8.1



**Figura 4-14.** Temperatura máxima y mínima relativa mensual de las estaciones de la RMCAB en el periodo 2000 - 2014, IDEAM EIDorado 1980-2010 y en 2015.

De acuerdo a la Figura 4-15 se observa que las temperaturas máximas y mínimas influyen en el comportamiento promedio de algunas estaciones que no se caracterizan por tener los valores máximos promedio; es decir, estaciones como Guaymaral, Suba y Centro de alto rendimiento presentan jornadas calurosas durante el día y fríos en las madrugadas, a diferencia de estaciones como Kennedy y Carvajal que mantienen condiciones menos calurosas durante los días y más cálidas hacia las noches. En la mayoría de las estaciones de la red en horas del mediodía de los meses del primer y último trimestre presentaron un aumento de la temperatura importante. La hora de la temperatura máxima tendió a mantenerse entre la 1:00 p.m y 3:00 p.m y las mínimas tendieron a permanecer entre las 5 y 7 am.



**Figura 4-15** Temperatura promedio horario de las estaciones en 2015

La ciudad de Bogotá con la distribución de las estaciones geográficamente y la interpolación de los promedios de temperatura en el año sobre esta superficie se presenta en el mapa de la Figura 4-16. En este mapa se puede observar que la menor temperatura se encuentra al suroriente de la capital, muy cerca de los promedios más altos de la variable justo al sur de la localidad de Kennedy, donde la diferencia alcanzó los 2.1 °C en una distancia no mayor a 2.9 Km. Hacia el nororiente, los valores rondaron entre los 14.1°C y 14.6°C de manera relativamente homogénea, aunque se resaltan los 15.1°C en la zona circundante de Barrios unidos y Teusaquillo.

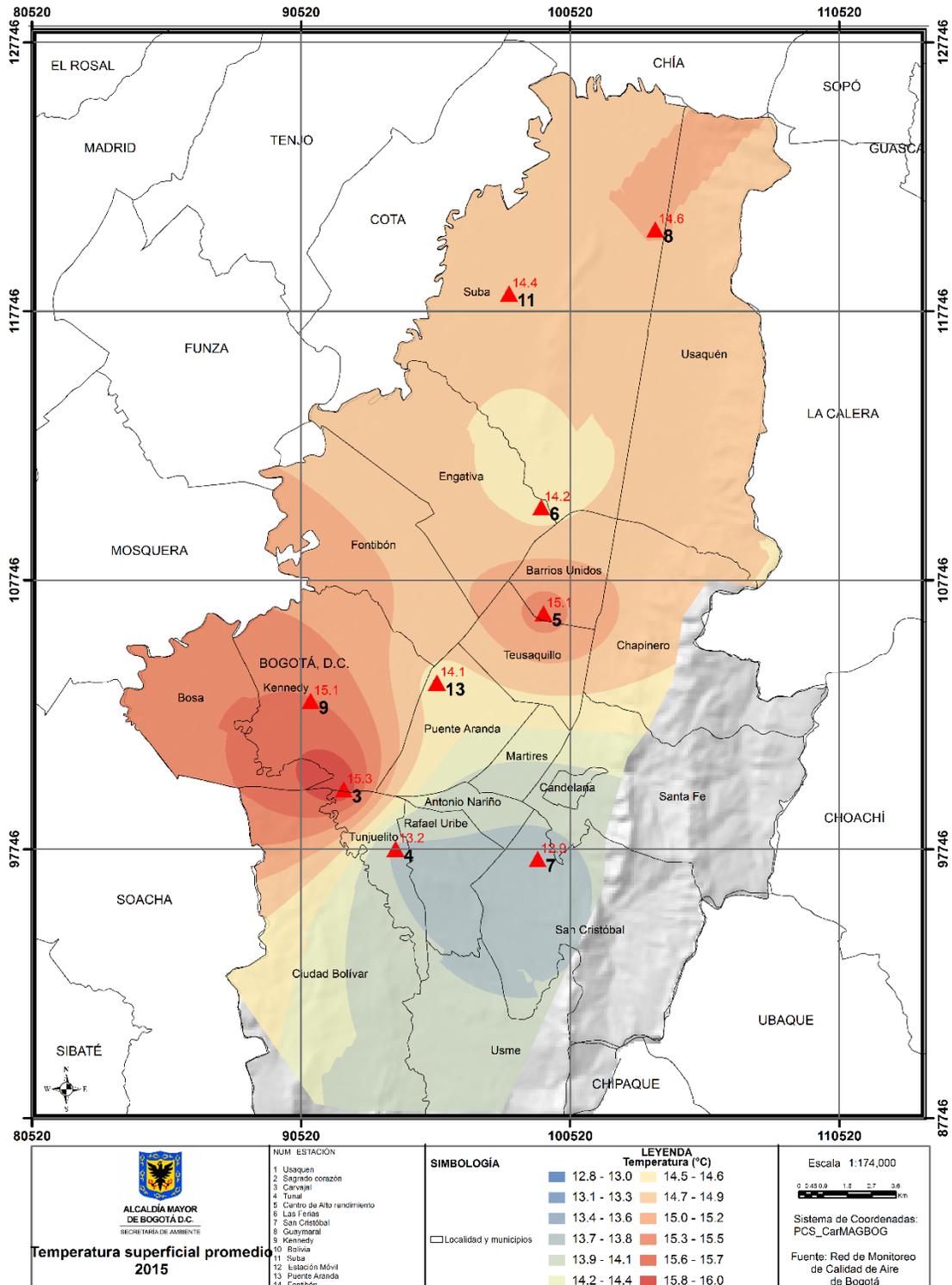


Figura 4-16. Mapa de Temperatura superficial de las estaciones de la RMCAB en 2015.

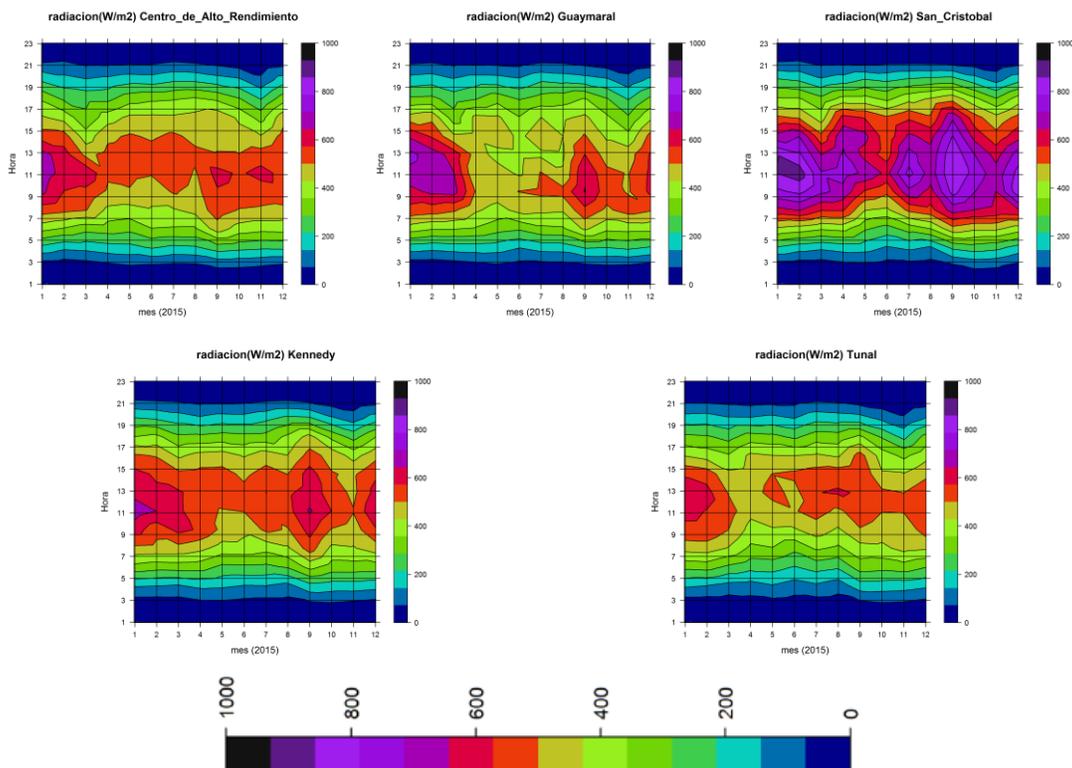
#### 4.4. Radiación solar

En el trimestre, la estación San Cristóbal se consolidó como la de mayor acumulado anual, con  $5111 \text{ W/m}^2$  significativamente por encima a Tunal donde el promedio fue de  $3785 \text{ W/m}^2$ . De la misma forma, el mes de septiembre San Cristóbal alcanzó  $6087 \text{ W/m}^2$  en contraste con la estación de Tunal en junio donde se observó el menor promedio,  $3444 \text{ W/m}^2$ . (Tabla 4-7).

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

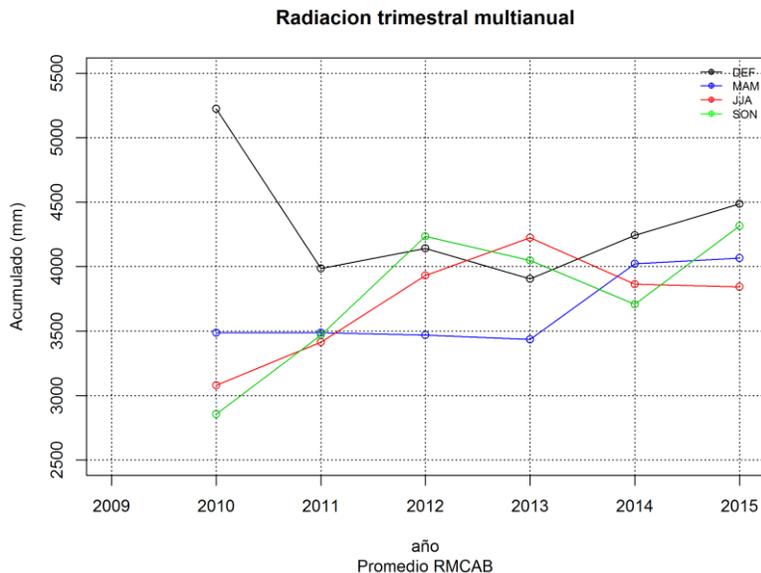
Estación	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (W/m <sup>2</sup> )
<b>Centro de Alto Rendimiento</b>	4743	4306	3844	3845	4033	4072	4226	4090	4382	4178	3925	4366	4167
<b>Guaymaral</b>	4823	4710	4230	3806	3772	3513	3878	3627	4602	3909	3675	4323	4072
<b>Kennedy</b>	4647	4374	4207	4105	3792	3637	3977	4061	4832	4086	3725	4404	4154
<b>San Cristóbal</b>	5611	5549	4631	5261	4727	4087	5119	4843	6087	5320	4673	5426	5111
<b>Tunal</b>	4217	4146	3623	3465	3648	3444	3904	3701	4220	3604	3507	3938	3785
<b>promedio</b>	4808	4617	4107	4096	3994	3751	4221	4064	4825	4219	3901	4492	4258

La Figura 4-17 muestra en el eje de las abscisas el mes y en las ordenadas la hora, entre las 6 am y las 7 pm; la gama de colores presenta el acumulado de radiación. Concordante con la Tabla 4-7, San Cristóbal presenta los mayores acumulados a lo largo del año, con valores máximos que inician entre las 11a.m y las 12m, en el mes de enero y de febrero. Estaciones como Guaymaral, Tunal y Centro de Alto Rendimiento presentaron sus mayores acumulados iniciando el año y en el mes de septiembre, en horas cercanas al medio día.

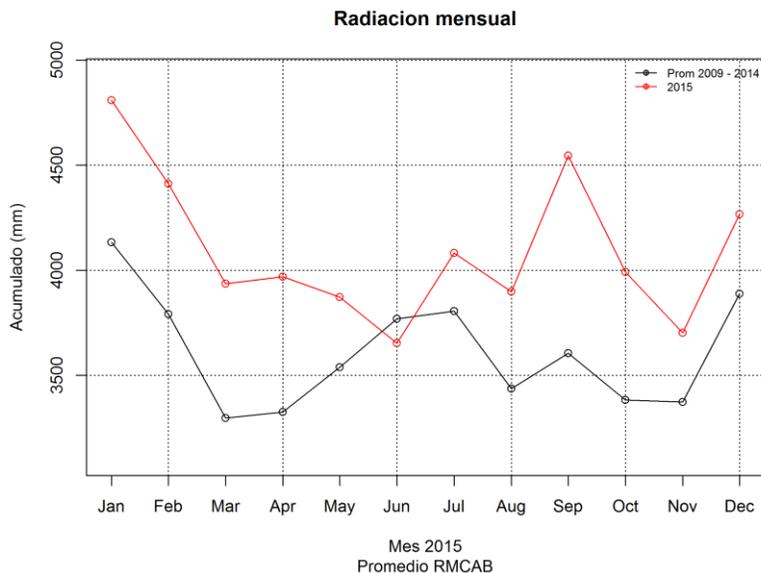


**Figura 4-17.** Acumulado promedio horario de radiación de las estaciones de las estaciones de la red, desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015.

La Figura 4-18 presenta el comportamiento de la radiación solar durante los últimos trimestres, desde 2010 hasta 2015. Los trimestres DEF, SON y MAM tendieron a incrementar sus valores en el último año, distinto a JJA el cual disminuyó ligeramente con respecto al año inmediatamente anterior. En el último año, salvo por junio, los acumulados mensuales de radiación fueron superiores al promedio de la red en especial en el mes de enero siendo el mayor de todo el periodo. (Figura 4-19).



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



**Figura 4-19.** Radiación mensual de los últimos años.

## 4.5. Presión Atmosférica

Las estaciones que miden la presión presentaron un comportamiento regular según su ubicación la cuál en general, depende de la ubicación geográfica (mayor presión en estaciones ubicadas al occidente de la ciudad). La monomodalidad característica en la ciudad de Bogotá predominó durante el último año, aunque los valores obtenidos fueron significativamente menores a lo registrado en el promedio del periodo 2009 - 2014 (Figura

4-20). En la Tabla 4-8 se presentan los datos promedios mensuales de presión por estación en el último año.

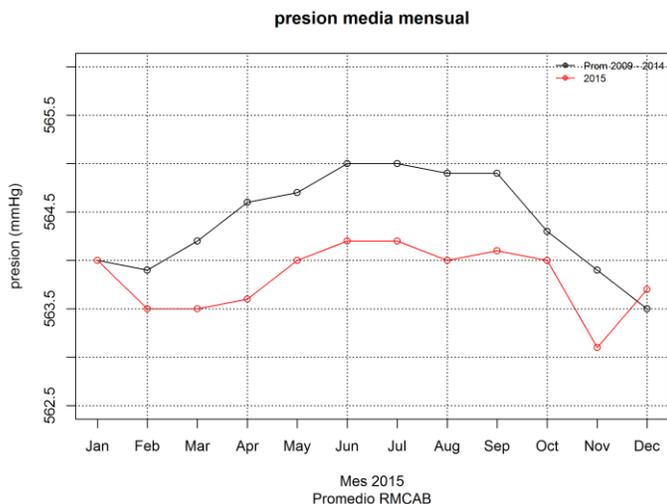


Figura 4-20. Presión atmosférica mensual de las estaciones de la RMCAB.

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

Estación	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (HPa)
Guaymaral	563.9	563.9	563.9	564	564.4	564.6	564.7	564.5	564.5	564.4	563.5	564.1	564.2
Kennedy	563.6	563.6	563.6	563.7	564.1	564.3	564.3	564.1	564.2	564.1	563.2	563.7	563.9
Las_Ferías	564.4	564.4	564.4	564.5	564.9	565.1	565.1	564.9	564.9	564.8	564	564.6	564.7
promedio	564	563.5	563.5	563.6	564	564.2	564.2	564	564.1	564	563.1	563.7	563.8

## 4.6. Humedad Relativa

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	Jan-15	Feb-15	Mar-15	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Promedio (HPa)
C.D.A. R	64.1	66.8	68.8	66.1	64.8	66.1	64.8	62.5	60.9	64.9	68.9	62.3	65.1
Guaymaral	65.0	66.6	68.3	67.2	66.1	68.3	66.6	66.7	64.2	64.8	68.1	63.7	66.3
Kennedy	61.5	63.7	66.5	62.8	61.8	64.1	62.1	60.6	56.8	61.0	66.8	57.4	62.1
Las Ferías	59.6	61.4	64.3	62.4	60.7	62.5	60.8	59.7	57.0	59.1	64.5	57.4	60.8
San Cristobal	55.7	57.0	59.8	58.2	57.6	62.0	60.3	59.0	54.4	55.0	60.0	54.5	57.8
Tunal	59.7	60.8	64.1	62.4	61.1	65.4	62.1	61.1	57.3	59.7	64.4	58.3	61.4
mean	60.9	62.7	65.3	63.2	62.0	64.7	62.8	61.6	58.4	60.8	65.5	58.9	62.2

## 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 Nina episodes (1950-present)*. Obtenido de [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)
- 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 captura de datos 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 captura de datos 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].

**Captura de datos:** 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.

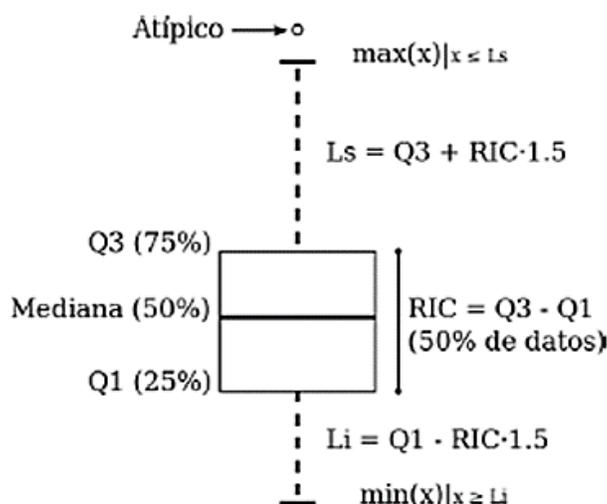
ppb: partes por billón.

**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 cajas

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



**Figura 0-1.** Presentación del gráfico de *cajas* con una descripción de sus componentes.

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

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

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

**Tabla 0-1.** 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>.

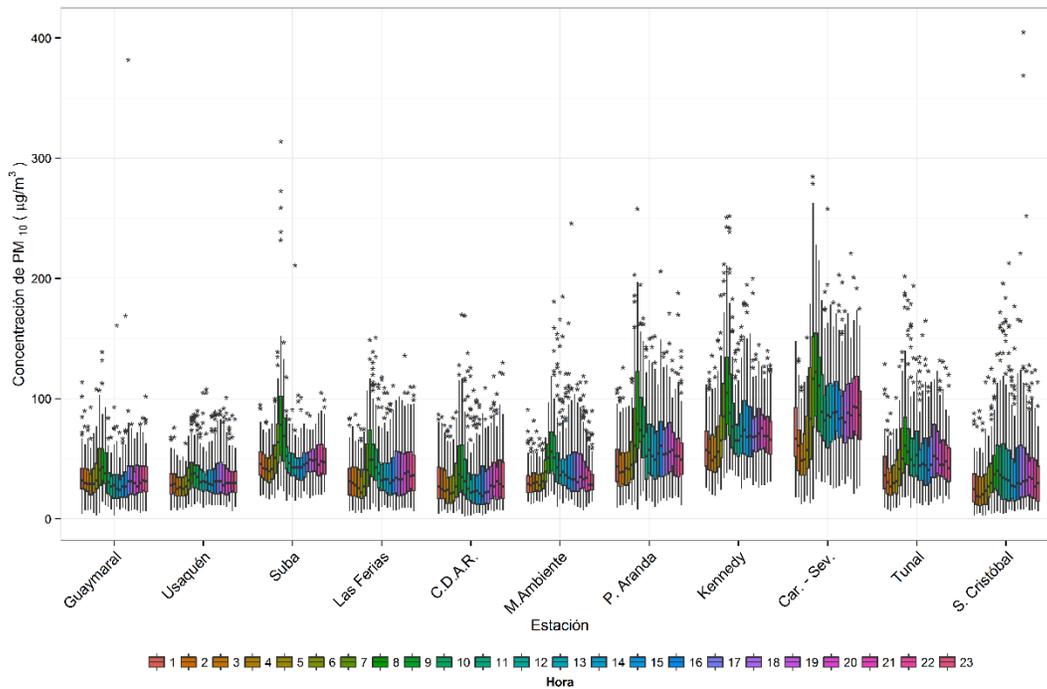
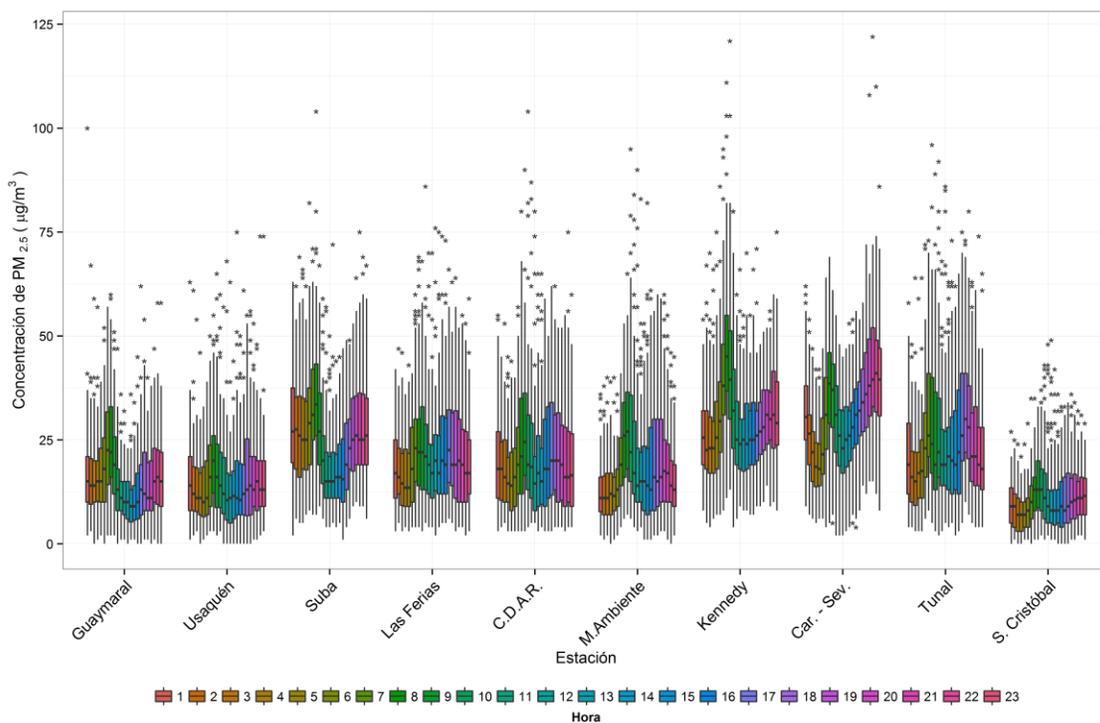
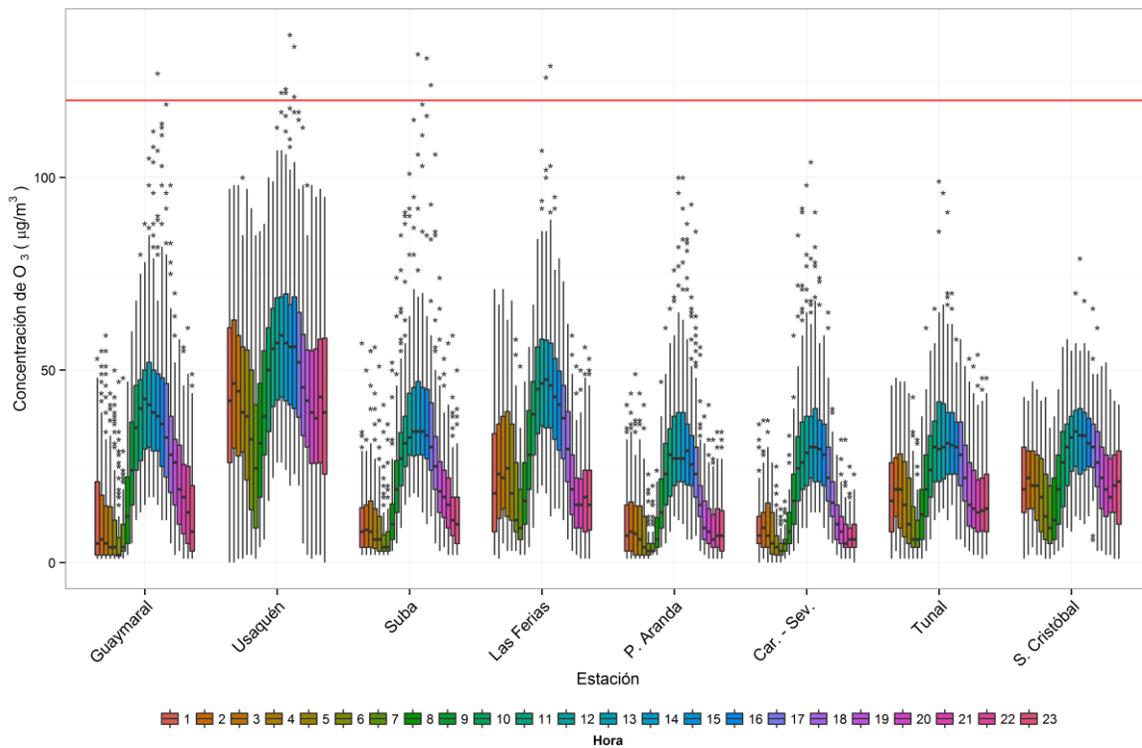


Figura 0-2. Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>10</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.



**Figura 0-3.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de PM<sub>2.5</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.



**Figura 0-4.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de O<sub>3</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.

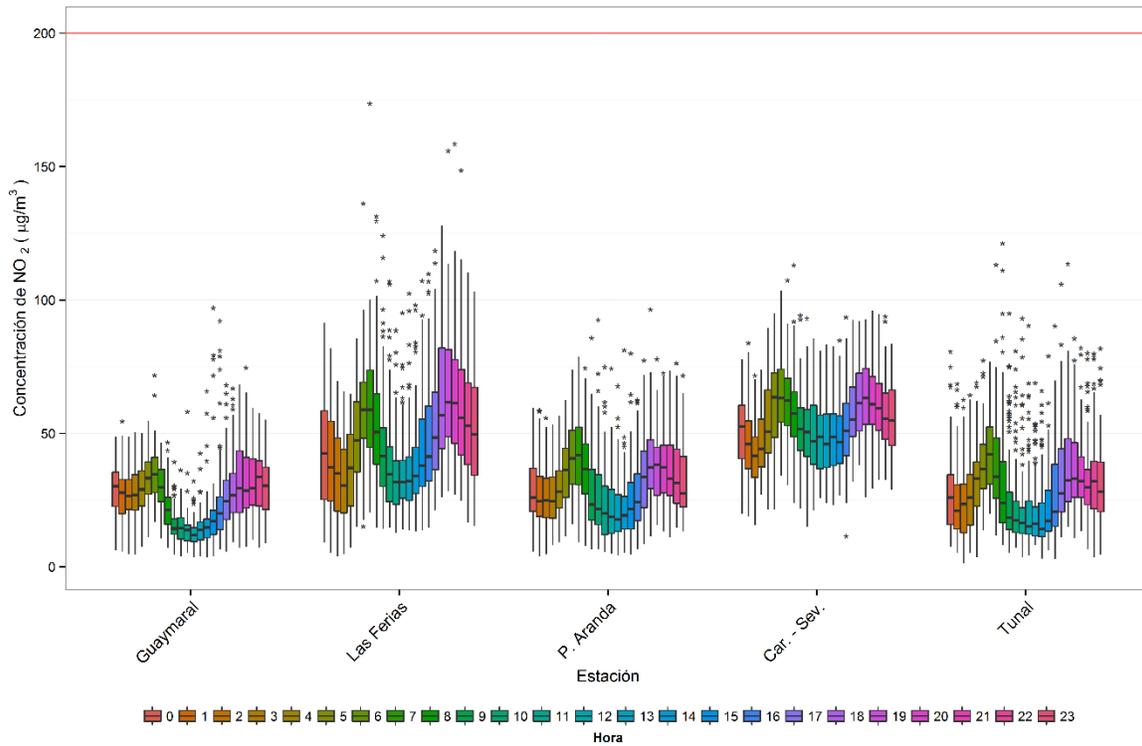
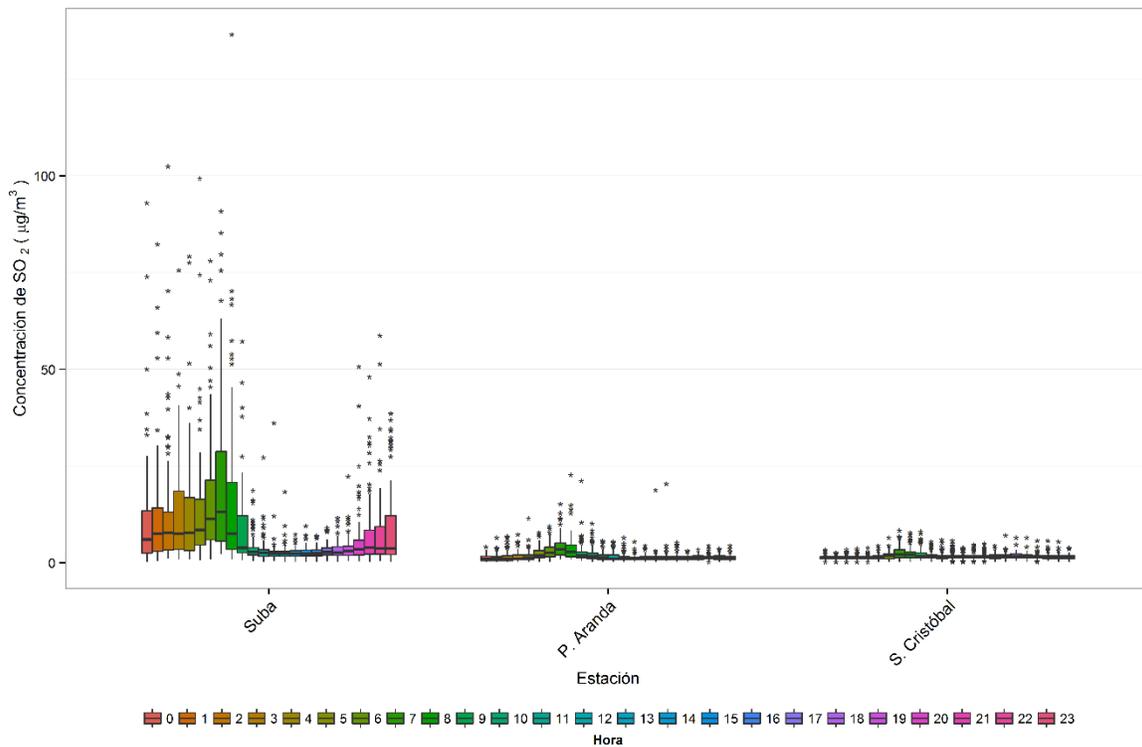
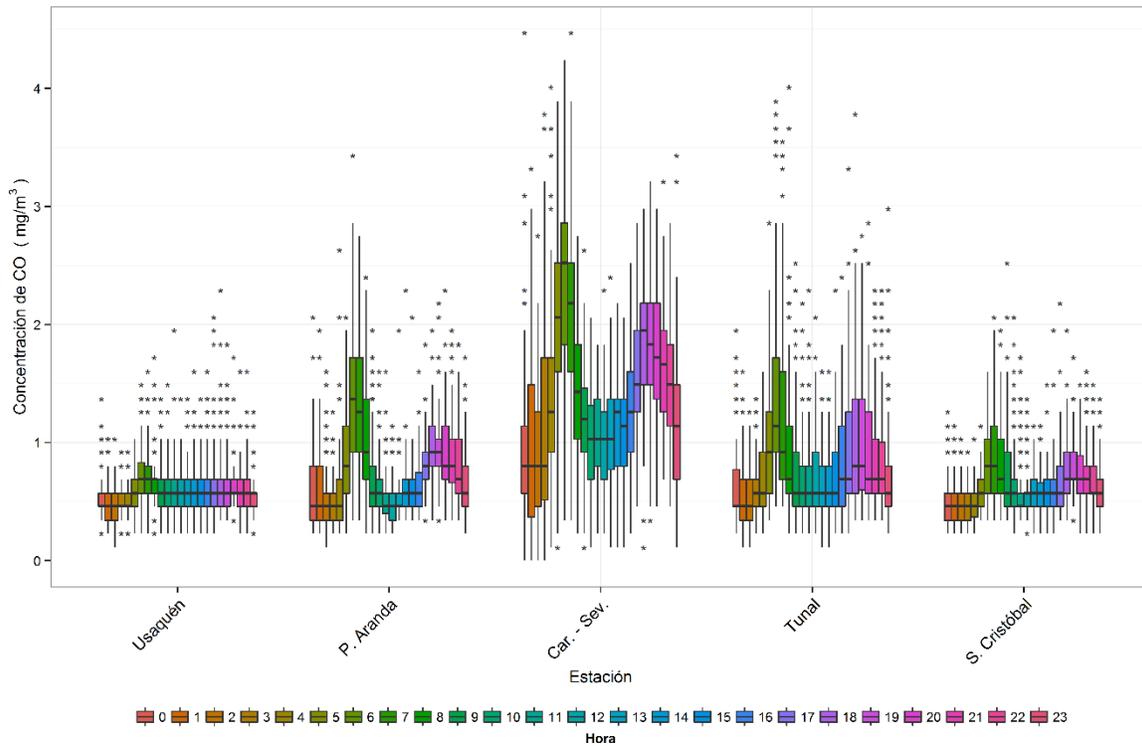


Figura 0-5. Diagrama de cajas con el ciclo diario de NO<sub>2</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.



**Figura 0-6.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de SO<sub>2</sub> por estación durante el periodo MAM 2015.



**Figura 0-7.** Diagrama de cajas con el ciclo diario de CO por estación durante el periodo MAM 2015.

ÚLTIMA PÁGINA  
FIN DEL INFORME