

## BOLETIN DE CALIDAD DEL AIRE PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2017

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental Corpocaldas.

Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga<sup>a</sup>, Camilo Zapata Mora<sup>a</sup>, Carlos Alberto Giraldo Villa<sup>a</sup>, Carlos Mario González Duque<sup>a</sup>, Mauricio Velasco García<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.

<sup>b</sup> Profesional especializado, Corpocaldas.

### 1. Introducción y aspectos metodológicos

El crecimiento poblacional y las actividades industriales han incrementado considerablemente las emisiones de contaminantes, entre los cuales se destacan gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>); además del material particulado (PM), contaminante de especial interés en centros urbanos debido a su relación con enfermedades como asma, bronquitis crónica, infartos no letales. Estos contaminantes generan impactos sobre el recurso aire en ecosistemas naturales y centros urbanos.

Actualmente en la ciudad de Manizales se cuenta con un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire conformado por 8 estaciones para el monitoreo de material particulado, aplicando técnicas de monitoreo activo (5 de PM<sub>10</sub>, 1 de PM<sub>2.5</sub> y 2 de PST). Este monitoreo se basa en el método gravimétrico, que consiste en filtrar el aire ambiente sobre un filtro de micro cuarzo (PM<sub>10</sub>) o fibra de vidrio (PST), donde las partículas son retenidas. Posteriormente las muestras son desecadas en condiciones controladas y pesadas para determinar la cantidad de partículas que se encuentran en el aire. La Tabla 1 muestra las características de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

La red de monitoreo de calidad del aire de Manizales también cuenta con una estación automática para el monitoreo de los gases SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO. Actualmente la estación se encuentra en proceso de mantenimiento. El seguimiento a los fenómenos de contaminación del aire en Manizales y la información entregada por la red de vigilancia, es un sustento para tomar acciones que permitan controlar aquellas zonas donde se superen las normas de calidad del aire, además un insumo para prevención donde la calidad del aire sea catalogada como perjudicial para la salud. Los datos obtenidos en la red de monitoreo de calidad del aire alimentan las bases de datos del CDIAC (Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas) y el SISAIRE del Ideam. El CDIAC, por medio de la página web <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>, pone a disposición de la comunidad información meteorológica y de calidad del aire de la ciudad de Manizales.

Este boletín presenta los resultados obtenidos durante el seguimiento de niveles de concentración de los contaminantes monitoreados en la red de calidad del aire de la ciudad de Manizales, para el primer semestre del año (periodo de enero a junio de 2017). Esta red es operada actualmente por la Autoridad Ambiental (Corpocaldas) con el apoyo del Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Durante este primer semestre del año se realizó el seguimiento de los contaminantes: Partículas Suspendidas Totales (PST) y partículas respirables con diámetros menores a 10 µm (PM<sub>10</sub>), cuyas fuentes se asocian al tráfico vehicular (emisiones y polvo en resuspensión), emisiones industriales y fenómenos naturales como las emisiones de ceniza del volcán nevado del Ruíz.

**Tabla 1. Estaciones de calidad del aire de Manizales**

Estación - Contaminante	Características - Fuentes de contaminantes	Año Instalación	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Gobernación - PM <sub>10</sub>	CU, SC – MTV, PAI	2009	N 5° 4' 6.5"	W 75° 31' 1.7"	2161
Gobernación - PM <sub>2.5</sub>		2009			
Gobernación - SO <sub>2</sub>		2014			
Gobernación - O <sub>3</sub>		2014			
Gobernación - CO		2014			
Palogrande - PM <sub>10</sub>	ZC, SR - ATV, SAI	2009	N 5° 3' 22.4"	W 75° 29' 31.3"	2154
La Nubia - PM <sub>10</sub>	ZSE, SR - BTV, AZI	2009	N 5° 1' 47.0"	W 75° 28' 18"	2091
Liceo - PM <sub>10</sub>	CU, SC - ATV, SAI	2000	N 5° 4' 15.8"	W 75° 30' 51.7"	2156
Liceo - PST		2000			
Milán - PM <sub>10</sub>	ZC, SR - MAI, MTV	2012	N 5° 2' 58.6"	W 75° 29.2' 12"	2256
Maltería - PST	ZI, SR - AAI, MTV	1997	N 5° 2' 31.4"	W 75° 25' 53.1"	2343

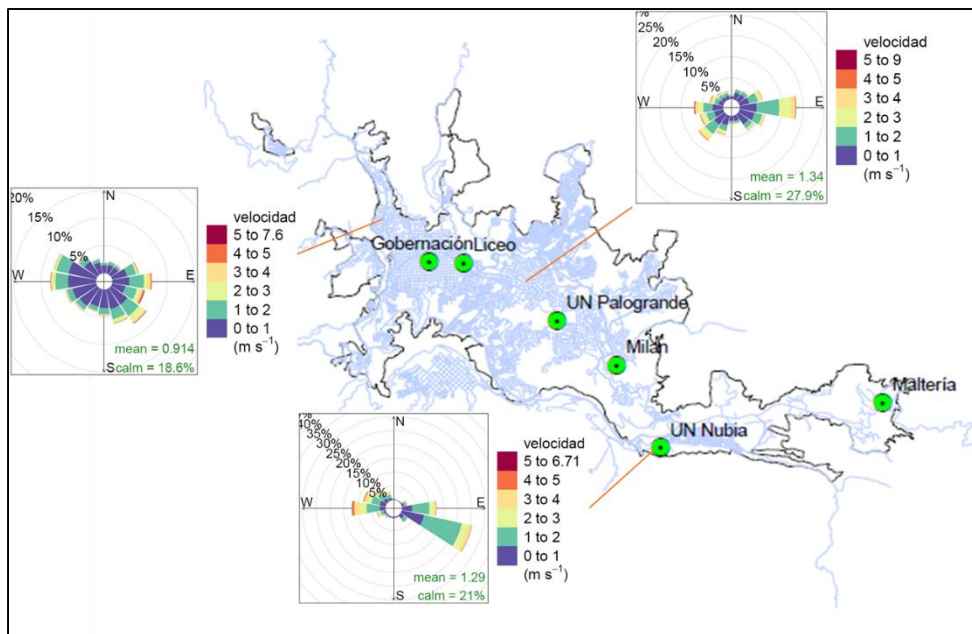
*Características: SR: Sector residencial, SC: Sector comercial, ZSE: Zona sureste, CU: Centro urbano, ZC: Zona central, ZI: Zona industrial. Fuentes de contaminación: ATV: Alto tráfico vehicular, MTV: Moderado tráfico vehicular, BTV: Bajo tráfico vehicular AAI: Alta actividad industrial, MAI: Moderada actividad industrial, PAI: Pequeña actividad industrial, AZI: Adyacente a zona industrial, SAI: Sin actividad industrial.*

## 2. Ubicación de las estaciones

La Figura 1 presenta la ubicación de las estaciones de la Red de Calidad del Aire en Manizales, incluyendo la rosa vientos generada durante el periodo evaluado para tres estaciones representativas en la ciudad de Manizales y cercanas a las estaciones de calidad del aire. Manizales se caracteriza por vientos de baja velocidad, alrededor de 1.3 m/s. Considerando la topografía de la zona, los vientos están asociados principalmente al fenómeno valle-montaña, donde durante el día los vientos ascienden hacia la parte alta de la Cordillera Central y en la noche se invierte este comportamiento con un descenso de las masas de aire. Este comportamiento se demuestra con direcciones predominantes de vientos que provienen principalmente del oriente y suroriente, y en menor proporción vientos provenientes del occidente y noroccidente.

## 3. Resultados de estadísticos descriptivos y distribución temporal del PM<sub>10</sub> y PST durante el periodo enero-junio del año 2017

En la Tabla 2 se presentan los estadísticos descriptivos para las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PST obtenidas durante los meses de enero a junio de 2017. Se muestra el promedio aritmético, desviación estándar, concentración mínima, concentración máxima, el percentil 95 y el porcentaje de datos obtenidos. Los cálculos y gráficos fueron realizados con el software R y su librería de análisis para datos de calidad del aire: Openair.



**Figura 1. Mapa de Manizales con ubicación de las estaciones de calidad del aire y rosas de viento de estaciones meteorológicas representativas para el periodo enero-junio del 2017.**

Los resultados muestran como la estación Liceo registró los valores más altos de  $PM_{10}$ , con un promedio aritmético de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  seguida por la estación Milán con un promedio aritmético para el periodo analizado de  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estas estaciones son las que presentan la mayor variabilidad, como lo muestran sus desviaciones estándar de  $10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Liceo) y  $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Milán). Mayores niveles de contaminación en la estación del Liceo pueden estar influenciados por el tráfico vehicular característico de esta zona. De otra parte, en Milán la influencia de la actividad industrial y el tráfico vehicular presentado en este sector, sugiere también su incidencia en los niveles de  $PM_{10}$  obtenidos. Con respecto a las estaciones Gobernación, Nubia y Palogrande, se observó que en general estas estaciones registraron las menores concentraciones de  $PM_{10}$  durante el periodo evaluado, con promedio de  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La información de la Tabla 2 se complementa con las Figuras 2 y 3. En la Figura 2 se muestran los diagramas de cajas generados para cada una de las estaciones durante el primer semestre del año 2017. Este diagrama muestra los percentiles 25, 50 y 75 en el interior de las cajas y los límites mínimo y máximo del conjunto de datos por fuera de las cajas. Se observa la diferencia entre las mayores concentraciones obtenidas en Liceo y Milán con respecto a aquellas obtenidas en las estaciones Palogrande, Nubia y Gobernación. Con el fin de comparar el límite máximo permisible anual definido en la Resolución 610 de 2010, se muestran en la Figura 2 (derecha) gráficos de barras donde se comparan los promedios totales obtenidos durante el periodo evaluado con el límite anual colombiano. En ninguna de las estaciones se ha superado la norma anual establecida en  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$  y  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PST. Asimismo, los límites máximos diarios no fueron superados en ninguna de las estaciones, como se observa en la Figura 3, que presenta la evolución de las concentraciones diarias obtenidas durante el primer semestre del año 2017, comparados con el límite máximo permisible diario definido en la Resolución 610 de 2010 para  $PM_{10}$  ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Este mismo comportamiento se obtuvo en la estación Maltería, caracterizada por un flujo constante de vehículos pesados y la concentración de gran parte de la actividad industrial de la ciudad; sin embargo, en esta zona los niveles promedio geométrico de PST estuvieron por debajo del límite máximo diario de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Tabla 2. Estadísticos descriptivos mensuales para estaciones de PM<sub>10</sub> y PST.

Estadístico	Mes						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Total
<b>Gobernación PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>							
<b>Promedio<sup>a</sup></b>	--	--	22	22	21	26	<b>23</b>
<b>Desviación Estándar</b>	--	--	3.3	5.7	4.4	5.7	<b>5.1</b>
<b>Min. – Max.</b>	--	--	17 - 26	13 - 30	16 - 29	19 - 36	<b>13 - 36</b>
<b>Percentil 95%</b>	--	--	25	28	25	35	<b>32</b>
<b>% Datos válidos</b>	NM	NM	60%	60%	90%	100%	<b>52%</b>
<b>n = 31</b>	<b>Liceo PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>						
<b>Promedio<sup>a</sup></b>	30	40	40	37	31	29	<b>35</b>
<b>Desviación Estándar</b>	9.4	7.9	13.2	8.2	9.7	10.1	<b>10.4</b>
<b>Min. – Max.</b>	23 - 44	26 - 53	23 - 59	19 - 37	18 - 47	18 - 41	<b>18 - 59</b>
<b>Percentil 95%</b>	41.6	51	57.5	37	35	40	<b>53</b>
<b>% Datos válidos</b>	40%	90%	70%	50%	80%	50%	<b>63%</b>
<b>n = 35</b>	<b>Palogrande PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>						
<b>Promedio<sup>a</sup></b>	--	29	16	26	20	23	<b>23</b>
<b>Desviación Estándar</b>	--	9.1	3.8	8.9	3.7	6.9	<b>7.3</b>
<b>Min. – Max.</b>	--	16 - 40	11 - 21	11 - 35	13 - 25	13 - 33	<b>11 - 40</b>
<b>Percentil 95%</b>	--	38.4	20.4	35	22	32	<b>35</b>
<b>% Datos válidos</b>	NM	50%	40%	80%	90%	90%	<b>58%</b>
<b>n = 37</b>	<b>Milán PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>						
<b>Promedio<sup>a</sup></b>	31	39	34	--	30	30	<b>33</b>
<b>Desviación Estándar</b>	12.5	10.2	16	--	7.6	5.6	<b>9.6</b>
<b>Min. – Max.</b>	21 - 45	26 - 54	13 - 54	--	19 - 45	23 - 39	<b>13 - 54</b>
<b>Percentil 95%</b>	43.2	52.8	51.4	--	34	38	<b>52</b>
<b>% Datos válidos</b>	30%	90%	50%	NM	100%	100%	<b>62%</b>
<b>n = 32</b>	<b>Nubia PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>						
<b>Promedio<sup>a</sup></b>	--	22	17	19	19	24	<b>23</b>
<b>Desviación Estándar</b>	--	8	5.7	9.2	6.6	5.8	<b>7.3</b>
<b>Min. – Max.</b>	--	10 - 29	13 - 21	19 - 40	8 - 27	17 - 32	<b>8 - 40</b>
<b>Percentil 95%</b>	--	29	20.6	40	23	31	<b>35</b>
<b>% Datos válidos</b>	NM	50%	20%	80%	80%	90%	<b>53%</b>
<b>n = 40</b>	<b>Maltería PST (µg/m<sup>3</sup> estándar)</b>						
<b>Promedio<sup>b</sup></b>	--	74	71	70	60	70	<b>68</b>
<b>Desviación Estándar</b>	--	11	20.5	20.7	13.2	9.2	<b>15</b>
<b>Min. – Max.</b>	--	57 - 85	46 - 102	47 - 106	42 - 78	55 - 88	<b>42 - 106</b>
<b>Percentil 95%</b>	--	84.2	98.4	99	76	83	<b>91</b>
<b>% Datos válidos</b>	NM	60%	70%	60%	100%	100%	<b>67%</b>

<sup>a</sup>Para PM<sub>10</sub> se calcula el promedio aritmético

<sup>b</sup>Para PST se calcula el promedio geométrico

NM: No monitoreó el equipo en ese periodo de tiempo.

n = Número de datos obtenidos por estación para el periodo evaluado.

Con el fin de identificar tendencias en la concentración del contaminante, se presenta en la Figura 4 los promedios de concentración por días de la semana. En las estaciones Palogrande, Milán y Liceo se evidencia un descenso en la concentración de PM<sub>10</sub> los fines de semana, siendo el domingo el día de menor concentración. Este comportamiento se asocia con la disminución del tráfico vehicular en la ciudad especialmente el día domingo, ratificando la influencia del tráfico vehicular en la concentración de material particulado en la ciudad. Las estaciones Gobernación, Nubia y Maltería no presentan una tendencia definida, sugiriendo que el tráfico vehicular y la actividad industrial en esas zonas no varían considerablemente durante este periodo de la semana.

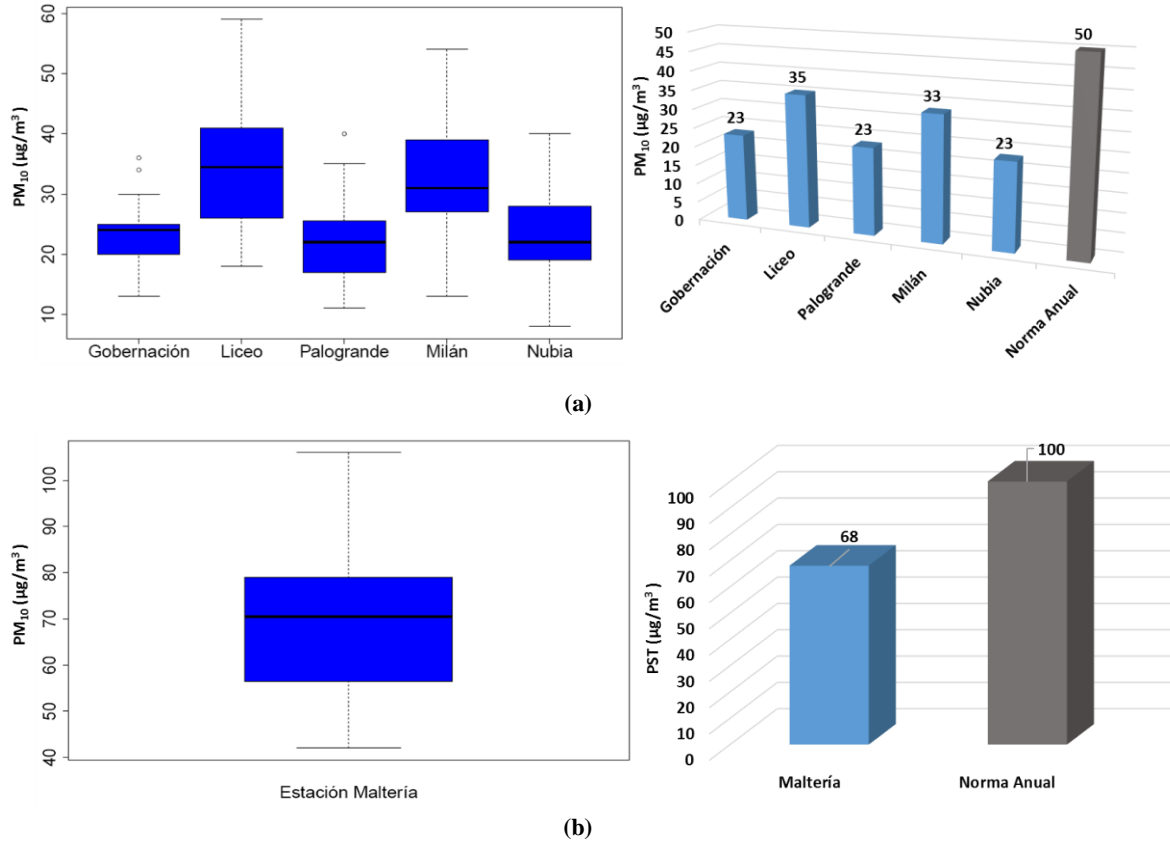


Figura 2. Diagrama de cajas y concentración promedio del primer semestre del año comparada con norma anual en las estaciones de monitoreo. a) Concentraciones promedio aritmético PM<sub>10</sub>. b) Concentraciones promedio geométrico PST.

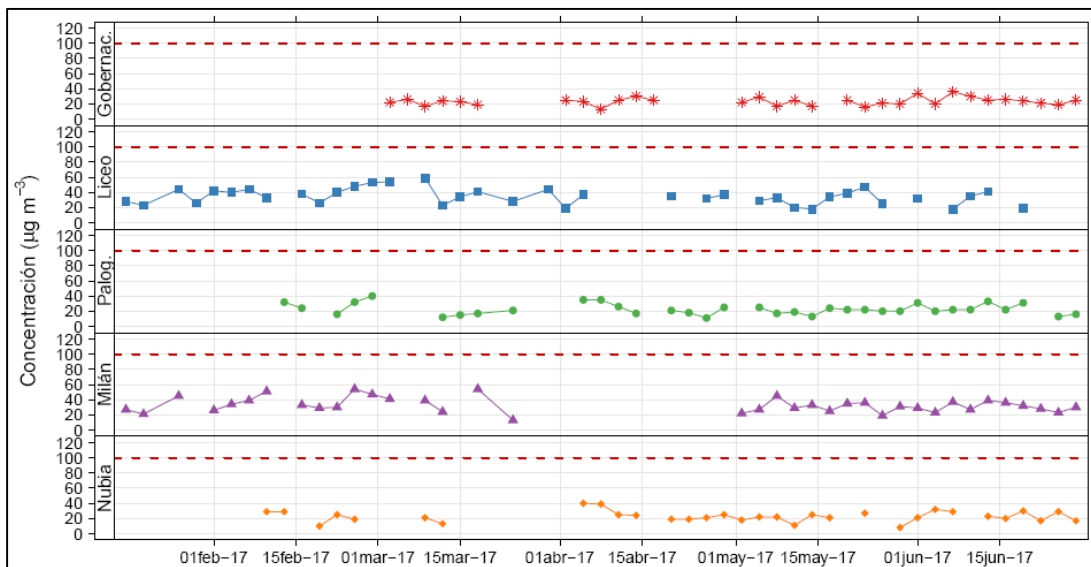


Figura 3. Evolución temporal de concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> entre enero y junio de 2017. El límite máximo permisible diario (100 µg/m<sup>3</sup>) según la Resolución 610 de 2010 se muestra en la línea punteada roja.



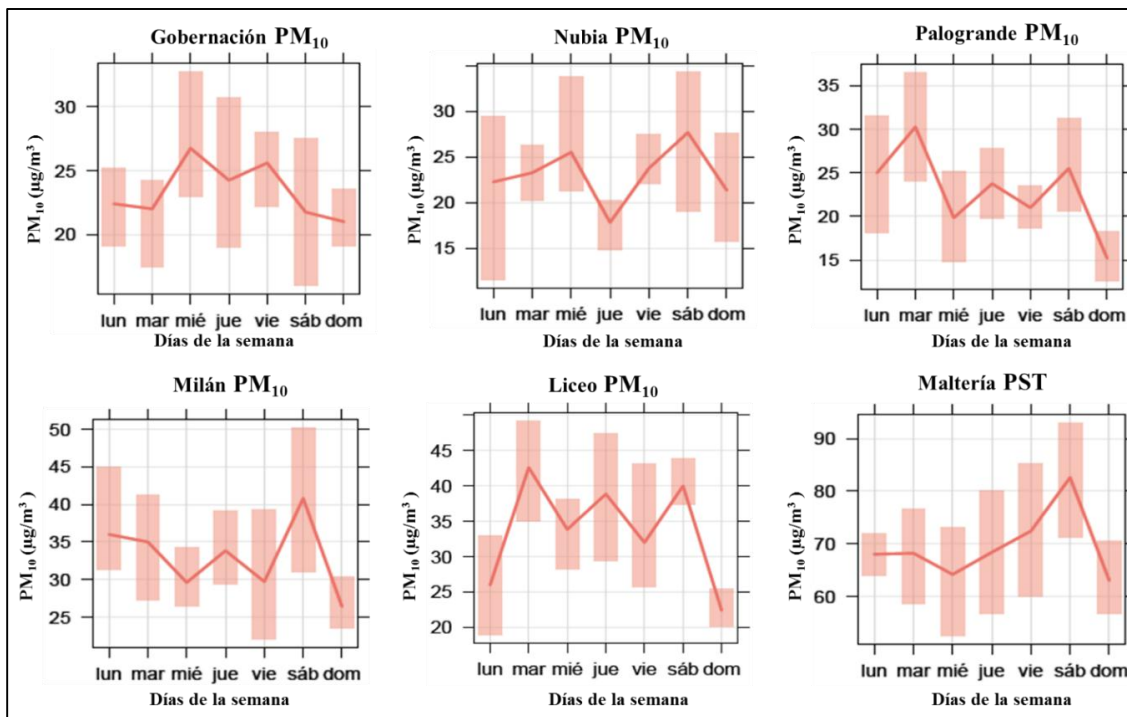


Figura 4. Promedios de concentraciones de PM<sub>10</sub> por día de la semana durante el primer semestre de 2017. Las barras indican el intervalo de datos (min.-max.) y la línea la evolución de la concentración media.

#### 4. Índice de Calidad del Aire ICA para PM<sub>10</sub> en Manizales

La Figura 5 presenta los índices de calidad del aire (ICA) obtenidos en las estaciones de monitoreo de PM<sub>10</sub>. El ICA representa mediante un indicador de color, el estado de la calidad del aire de acuerdo a la concentración de material particulado y su posible afectación a la salud. Se destaca que la calidad del aire se clasificó como buena en la mayoría de las estaciones, sólo en Liceo se presentó 1 día con calidad de aire moderada durante el mes de marzo. El ICA se calcula siguiendo la metodología propuesta en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).



Estación Liceo PM <sub>10</sub>																																									
enero					febrero					marzo					abril					mayo					junio																
31	1	2	3	4	5	6	28	29	30	31	1	2	3	25	26	27	28	1	2	3	25	26	27	28	29	30	31	29	30	1	2	3	4	5	27	28	29	30	31	1	2
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	6	7	8	9	10	11	12	3	4	5	6	7	8	9
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	11	12	13	14	15	16	17	8	9	10	11	12	13	14	13	14	15	16	17	18	19	10	11	12	13	14	15	16
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	20	21	22	23	24	25	26	17	18	19	20	21	22	23
28	29	30	31	1	2	3	25	26	27	28	1	2	3	25	26	27	28	29	30	31	22	23	24	25	26	27	28	27	28	29	30	31	1	2	24	25	26	27	28	29	30
4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	29	30	1	2	3	4	5	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7
s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v	s	d	l	m	m	j	v

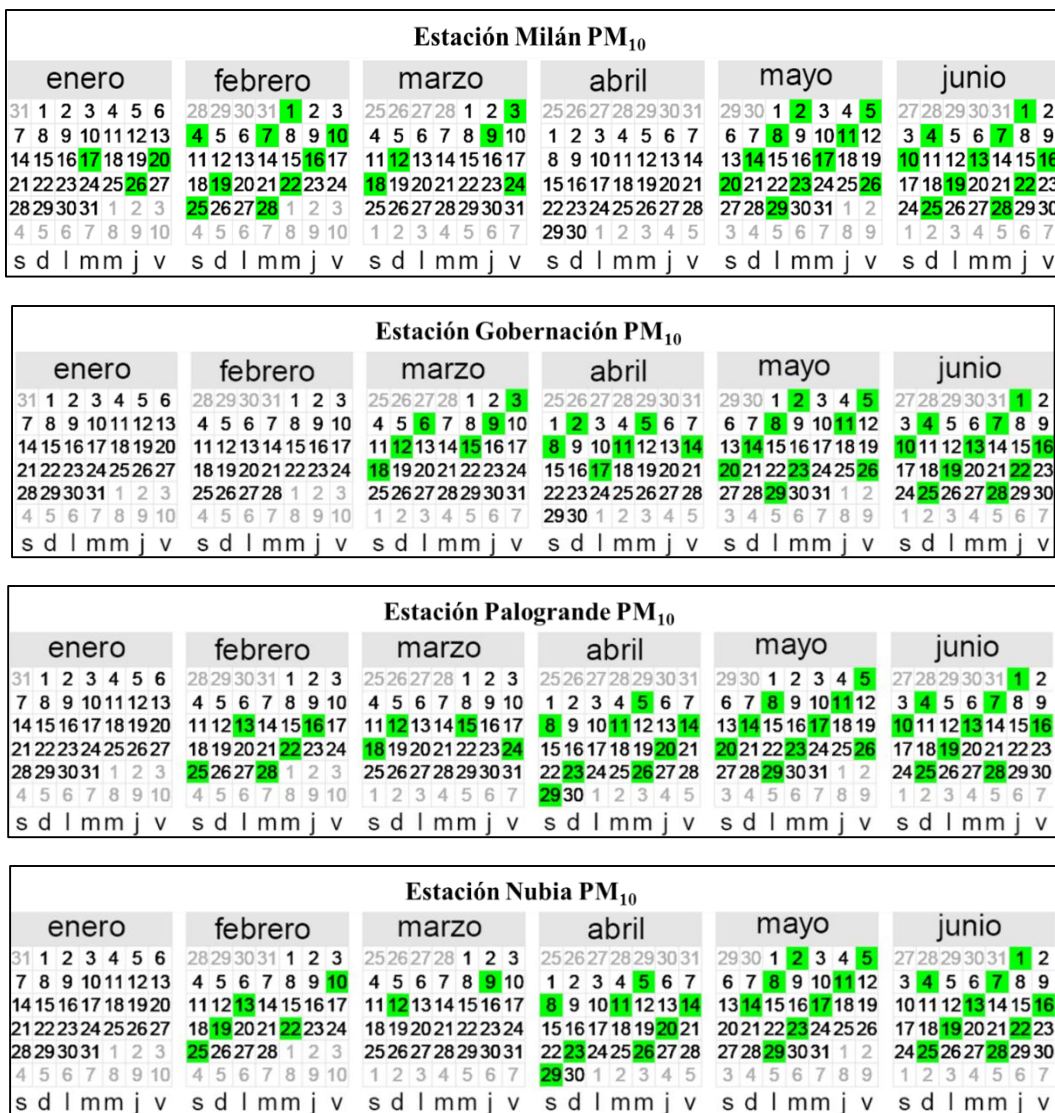


Figura 5. Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>10</sub> durante primer semestre de 2017.

## 5. Conclusiones

Los mayores niveles de concentración de PM<sub>10</sub> se obtuvieron en zonas con alta influencia de tráfico vehicular, como es el caso del sector Fundadores con la estación Liceo con la mayor concentración 35 (desv.std. 10.4) µg/m<sup>3</sup> > Milán 33 (desv.std. 9.6) µg/m<sup>3</sup> > Nubia 23 (desv.std. 7.3) µg/m<sup>3</sup> > Palogrande 23 (desv.std. 7.3) µg/m<sup>3</sup> > Gobernación 23 (desv.std. 5.1) µg/m<sup>3</sup>. La contaminación se asocia principalmente a la influencia de emisiones fuentes vehiculares, y en menor medida las emisiones industriales en la zona de Milán.

En ninguna de la estaciones de monitoreo de PM<sub>10</sub> se superó la normativa diaria y anual colombiana establecida en la resolución 610 de 2010. Sin embargo, todas las estaciones de monitoreo superan el valor promedio anual de 20 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub> recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En las estaciones Liceo y Milán se superó en algunos días el valor recomendado por la OMS para promedio diario de PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>); con valores de 53, 54 y 59 µg/m<sup>3</sup> para Liceo y 51 y 54 µg/m<sup>3</sup> para Milán.