

## BOLETÍN CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES AÑO 2018

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental CORPOCALDAS.

Camilo Zapata Mora<sup>a</sup>, Angel David Gálvez Serna<sup>a</sup>, Carlos Mario González Duque<sup>a</sup>, Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga<sup>a</sup>, Mauricio Velasco García

<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> Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas.

### 1. RESUMEN

Se presentan en este informe los resultados del monitoreo en aire ambiente de contaminantes atmosféricos realizado en Manizales durante el periodo de enero a diciembre de 2018. Se realizó el seguimiento de material particulado ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ), y los gases ozono troposférico ( $O_3$ ) y monóxido de carbono (CO). Se muestran las gráficas resumen obtenidas y tablas de estadísticos básicos (promedio, mínimo, máximo y desviación estándar). Asimismo, se muestran los resultados obtenidos del índice de calidad el aire para cada contaminante.

### 2. EL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES

El crecimiento poblacional y las actividades industriales han incrementado considerablemente las emisiones de contaminantes y sus niveles en aire ambiente. Entre los contaminantes de interés en zonas urbanizadas se destacan el material particulado (PM), además de gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y ozono troposférico ( $O_3$ ). Estos contaminantes generan impactos sobre el recurso aire en ecosistemas naturales y centros urbanos.

El seguimiento a los fenómenos de contaminación del aire en Manizales y la información entregada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), es un sustento para tomar acciones que permitan controlar aquellas zonas donde se superen las normas de calidad del aire, además un insumo para establecer medidas de 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, de calidad del aire, sismos y aguas subterráneas de la ciudad de Manizales y el departamento de Caldas.

Actualmente en la ciudad de Manizales se cuenta con un SVCA conformado por 6 equipos para el monitoreo de material particulado (5 de  $PM_{10}$ , 1 de  $PM_{2.5}$ ), aplicando técnicas de monitoreo activo. El SVCA de Manizales también cuenta con una estación automática para el monitoreo de los gases  $SO_2$ ,  $O_3$  y CO. Esta red es operada actualmente por el Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en convenio con la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS). La Figura 1 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo sobre el área urbana de la ciudad y la Tabla 1 presenta las características principales de cada estación.

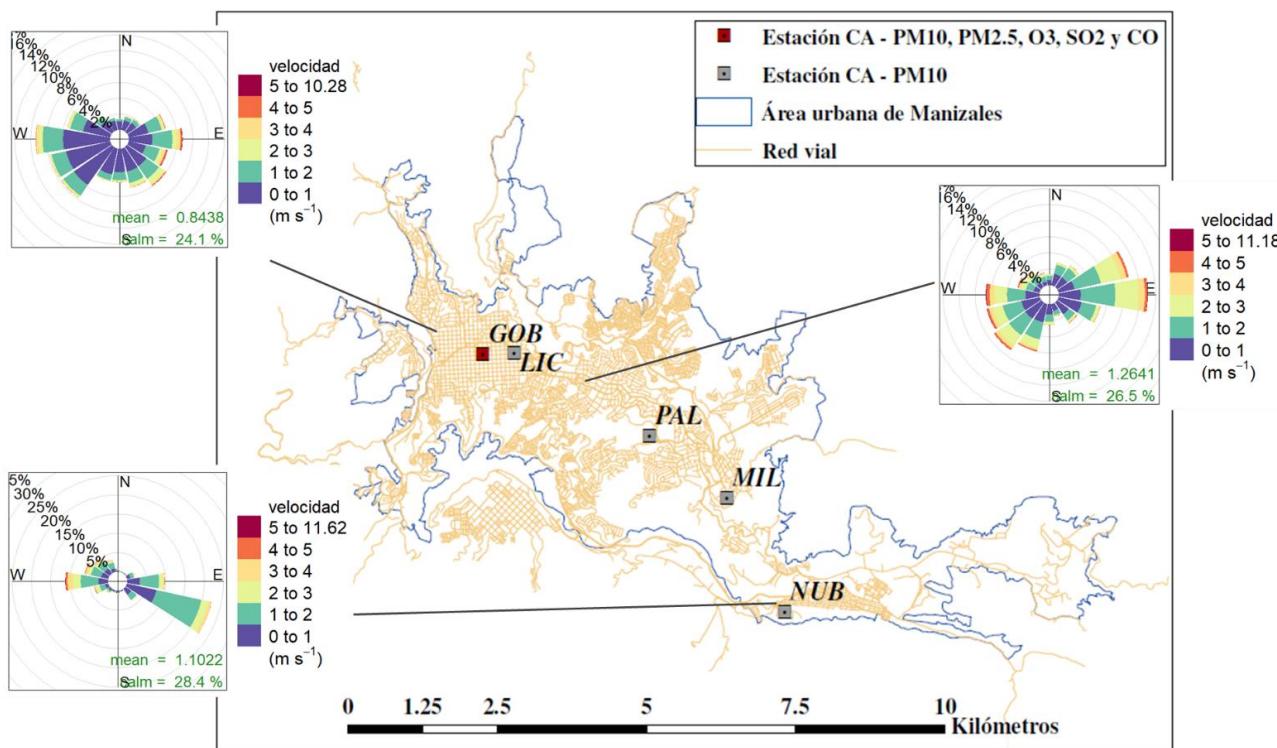


Figura 1. Mapa de Manizales con ubicación de las estaciones de calidad del aire y rosas de viento de estaciones meteorológicas representativas para el año 2018.

Tabla 1. Características de las estaciones de calidad del aire de Manizales

Estación – Contaminante	Características y fuentes de contaminantes*	Año Instalación	Latitud / Longitud	Altitud msnm
Gobernación - PM <sub>10</sub>		2009		
Gobernación - PM <sub>2.5</sub>		2009		
Gobernación - SO <sub>2</sub>	CU, SC – MTV, PAI	2014	N 5° 4' 6.53" W 75° 31' 1.54"	2125
Gobernación - O <sub>3</sub>		2014		
Gobernación - CO		2018		
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, PAI	2000	N 5° 4' 5.01" W 75° 30' 37.58"	2156
Milán - PM <sub>10</sub>	ZC, SR – MAI, MTV	2012	N 5° 2' 48.5" W 75° 28' 48.68"	2188

\*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.

El seguimiento de material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) en Manizales se realiza mediante técnicas de monitoreo activas que permiten la obtención de registros promedio diario de la concentración en aire ambiente de dichos contaminantes (muestras de 24 horas cada tres días). De otra parte, el seguimiento de gases ( $O_3$ ,  $SO_2$  y  $CO$ ) es realizado actualmente en la estación automática de calidad del aire Gobernación (GOB), permite la obtención de registros cinco minútulas. A partir de los registros 5 minútulas se obtienen registros promedio horario (media aritmética) y registros promedio octohorario (media móvil a partir de registros horarios). Todos los registros obtenidos tanto de partículas como de gases en aire ambiente son útiles además, para comparar los límites máximos permisibles definidos en la normativa colombiana, actualmente mediante la Resolución 2254 de 2017 (MADS, 2017).

Para el presente informe, se muestran los resultados obtenidos para  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y los gases  $O_3$ ,  $CO$ . Se aclara que el equipo de monitoreo de  $SO_2$  está en reparación y no se tiene información para el año 2018. Para el caso del  $CO$ , se tuvieron algunos meses con problemas en el equipo, sin embargo, los datos obtenidos permiten generar resultados de concentración en aire ambiente de  $CO$  en Manizales.

### 3. RESULTADOS MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO, $PM_{10}$ Y $PM_{2.5}$

#### ANÁLISIS DE CONCENTRACIONES OBTENIDAS DURANTE EL AÑO 2018

En la Figura 2 se presentan los diagramas de caja obtenidos para cada estación, en donde es posible observar la distribución de los datos durante el periodo de análisis (enero-diciembre de 2018). Estos diagramas dan información gráfica del primer, segundo y tercer cuartil, es decir, indica el valor máximo alcanzado para cada estación en el 25%, 50% y 75% de los datos organizados en orden ascendente. Además, estos gráficos también presentan valores considerados como atípicos. Los cálculos y gráficos fueron realizados con el software R y su librería de análisis para datos de calidad del aire, Openair.

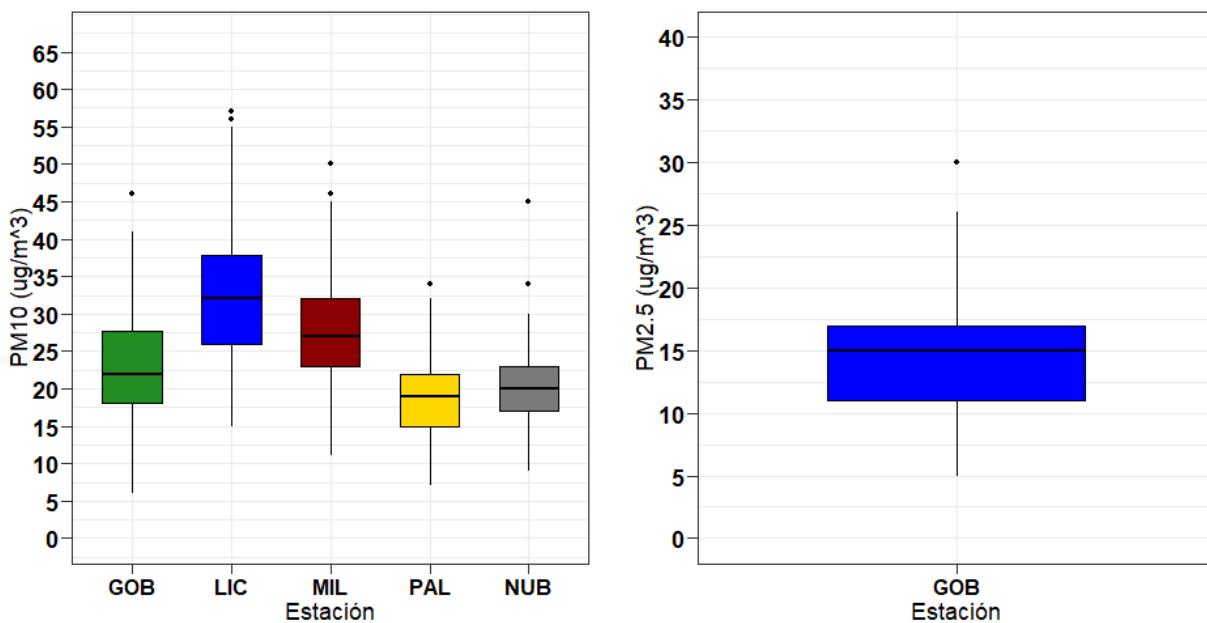


Figura 2. Distribución de los datos para  $PM_{10}$  (Izquierda) y  $PM_{2.5}$  (derecha) entre enero y diciembre del 2018.

Los resultados muestran que la estación Liceo registró los valores más altos de  $PM_{10}$ , con un promedio aritmético para el periodo de análisis de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (desv. std =  $9.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el 25% de los datos por encima de  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un 95% por debajo de los  $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con máximos de  $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Seguida se encuentra la estación Milán con un promedio aritmético

de  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (desv. std =  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el 75% de los datos por debajo de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el 95% debajo de  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , además presenta máximos de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Estos niveles de contaminación mayores en la estación del Liceo pueden estar influenciados por el tráfico vehicular característico de esta zona. Por otro lado, en Milán la influencia de la actividad industrial y el tráfico vehicular presentado en este sector sugiere también su incidencia en los niveles de  $\text{PM}_{10}$  obtenidos.

Con respecto a las estaciones Gobernación, Nubia y Palogrande, se observó que en general estas estaciones registraron las menores concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  durante el periodo evaluado, con promedios de  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Gobernación (desv. std =  $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Nubia (desv. std =  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Palogrande (desv. std =  $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El 75% de los datos de estas estaciones está por debajo de  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Gobernación,  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Nubia y  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para Palogrande; las mayores y menores concentraciones que fueron obtenidos en estas estaciones son de  $46$  y  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente en Gobernación,  $45$  y  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente en Nubia y  $34$  y  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente en Palogrande. Los niveles de material particulado  $\text{PM}_{10}$  alcanzados en estas estaciones se relacionan principalmente con influencia de tráfico vehicular. En las estaciones Gobernación y Nubia se presenta además posible influencia por la presencia de algunas industrias cercanas.

En términos de las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  obtenidas en la estación Gobernación, se presentó un promedio aritmético de  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (desv. std =  $4.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), el 75% de sus datos se encuentran entre  $10$  y  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con valores máximos y mínimos de  $30$  y  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente.

Para garantizar la confiabilidad de los datos reportados, se estimó la incertidumbre en las mediciones de material particulado de cada estación. La Tabla 2 presenta las incertidumbres expandidas alcanzadas para cada estación en el periodo de análisis. Se tuvieron en cuenta las variables asociadas al pesaje: repetitividad y exactitud de la balanza, así como la repetitividad del analista, también se consideró la incertidumbre asociada a las verificaciones de flujo, efectuadas periódicamente. Para los equipos de bajo volumen (Gobernación  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) se consideran además de las variables asociadas al pesaje, las incertidumbres asociadas a los sensores de temperatura, presión y flujo de cada equipo, así como la incertidumbre asociada a las verificaciones periódicas realizadas a estos sensores. Los valores de incertidumbre rondan entre los  $0.01$  y  $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo tanto se considera que los datos reportados tiene una variación dentro de un rango aceptable (Eurachem, 2012).

**Tabla 2. Incertidumbre expandida para estaciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en Manizales durante el año 2018**

Estación	Incertidumbre expandida [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Gobernación $\text{PM}_{10}$	$\pm 1.8771$
Gobernación $\text{PM}_{2.5}$	$\pm 1.2816$
Liceo	$\pm 0.0114$
Milán	$\pm 0.0110$
Palogrande	$\pm 0.0120$
Nubia	$\pm 0.0065$

## ANÁLISIS DE REGISTROS VÁLIDOS Y COMPARACIÓN CON LA NORMA NACIONAL

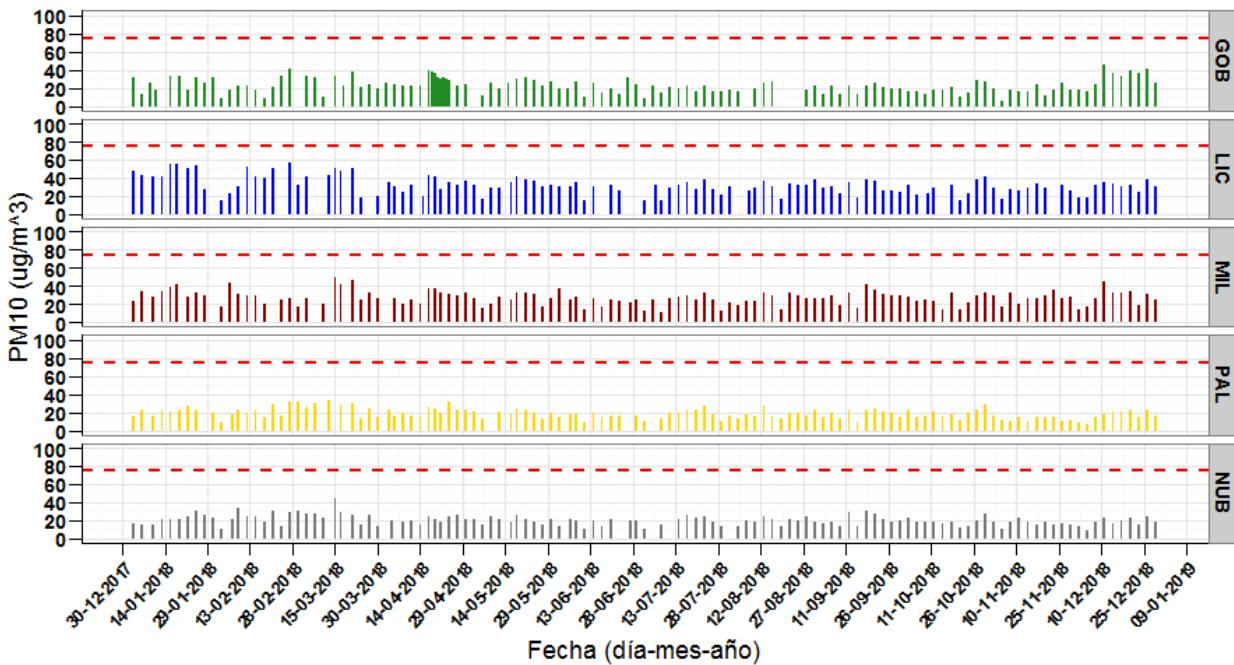
La Tabla 3 expone el porcentaje de datos validos totales para el periodo de análisis. En todas las estaciones se cumple con el 75% mínimo de datos para el año 2018, según lo establecido en el “Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire” del MADS. Sumado a esto se presentan las figuras de evolución temporal de concentraciones diarias para  $\text{PM}_{10}$  (Figura 3) y  $\text{PM}_{2.5}$  (Figura 4). En términos de  $\text{PM}_{10}$ , se observa la diferencia entre las mayores concentraciones obtenidas en Liceo y Milán, entre 15% y 40% mayores con respecto a aquellas obtenidas

en las estaciones Palogrande, Nubia y Gobernación. Asimismo, se destaca que en ninguna de las estaciones de monitoreo se superó el límite máximo diario para PM<sub>10</sub> (75 µg/m<sup>3</sup>) y PM<sub>2.5</sub> (37 µg/m<sup>3</sup>) establecido en la Resolución 2254 de 2017 (MADS, 2017).

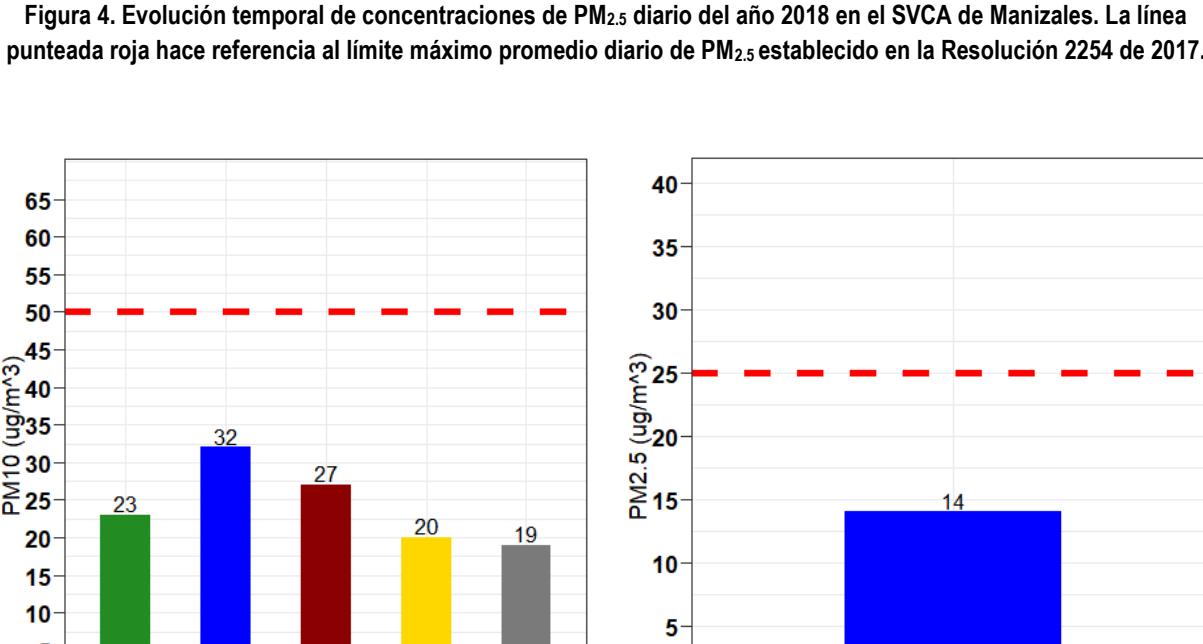
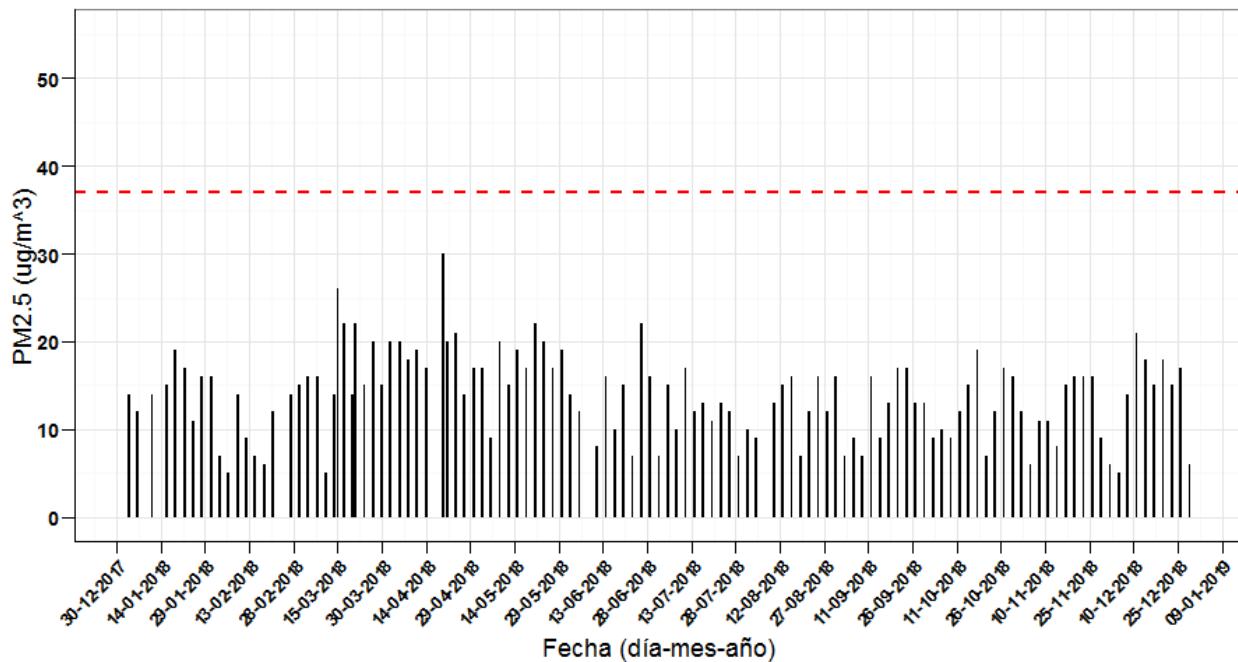
**Tabla 3. Porcentaje de datos válidos para las estaciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) en Manizales durante el año 2018.**

Estación	Nº de datos obtenidos	Porcentaje datos validos
Gobernación PM <sub>10</sub>	118	98 %
Gobernación PM <sub>2.5</sub>	117	97 %
Liceo	110	91 %
Milán	116	96 %
Palogrande	115	96 %
Nubia	115	96 %

Se realizó comparación del promedio aritmético de las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (Figura 5) para el periodo completo de análisis (enero – diciembre de 2018). Lo anterior con el fin de analizar de forma preliminar las diferencias respecto a los límites normativos anuales establecidos en la Resolución 2254 de 2017 para PM<sub>10</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) y PM<sub>2.5</sub> (25 µg/m<sup>3</sup>). En ninguna de las estaciones se ha superado la norma anual colombiana. Sin embargo, es importante destacar que en el caso de PM<sub>10</sub>, los promedios obtenidos en todas las estaciones superan la recomendación propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 20 µg/m<sup>3</sup> para promedio anual. Lo mismo sucedió con el PM<sub>2.5</sub>, para el cual se supera la recomendación de promedio anual de la OMS establecida en 10 µg/m<sup>3</sup>.



**Figura 3. Evolución temporal de concentraciones de PM<sub>10</sub> diario del año 2018 en el SVCA de Manizales. La línea punteada roja hace referencia al límite máximo promedio diario de PM<sub>10</sub> establecido en la Resolución 2254 de 2017.**



concentración media menor a las registradas en los demás días laborales, comportamiento que se podría asociar al efecto de un remanente de atmósfera limpia producto de la disminución de concentración obtenida durante el domingo.

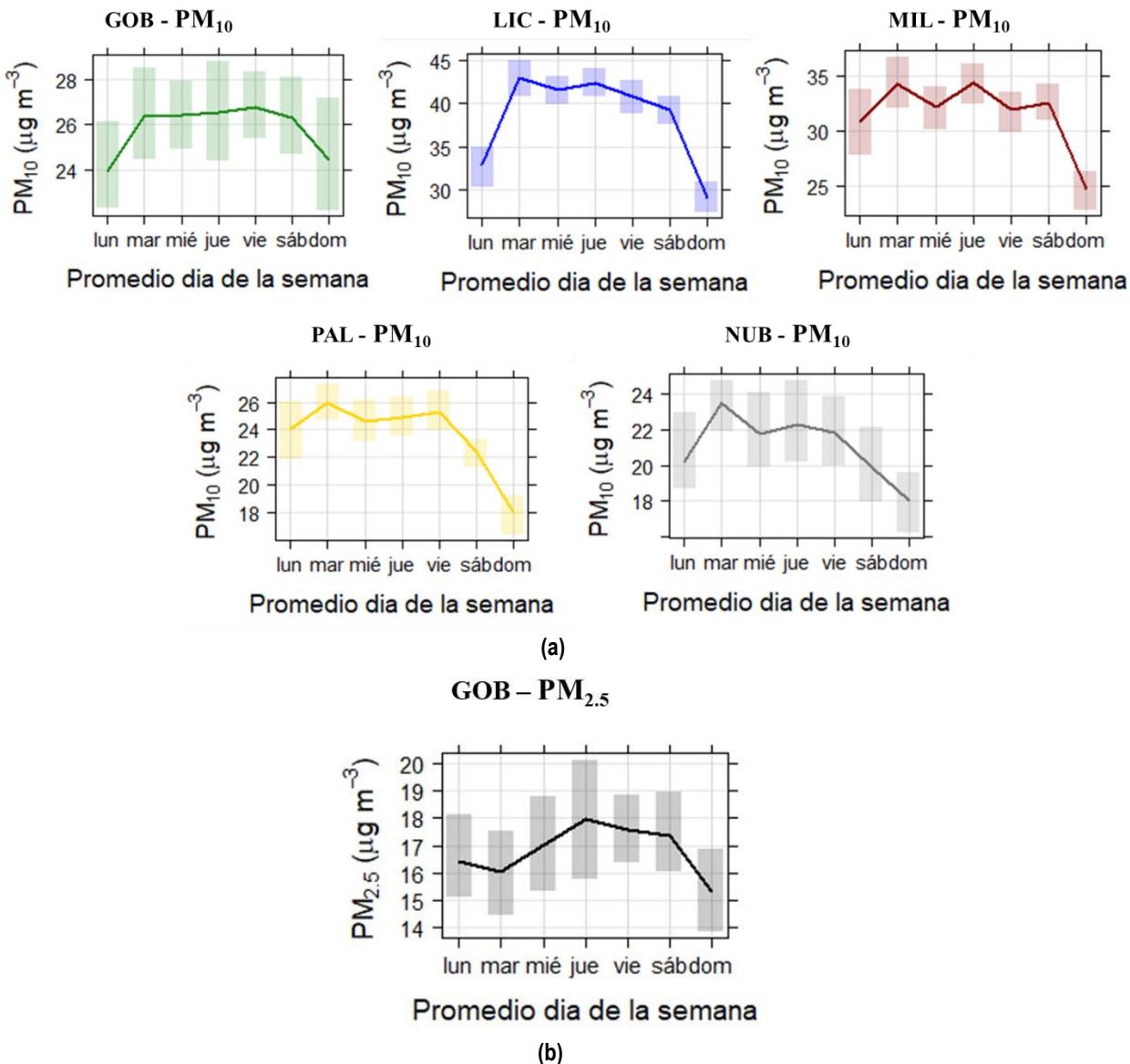


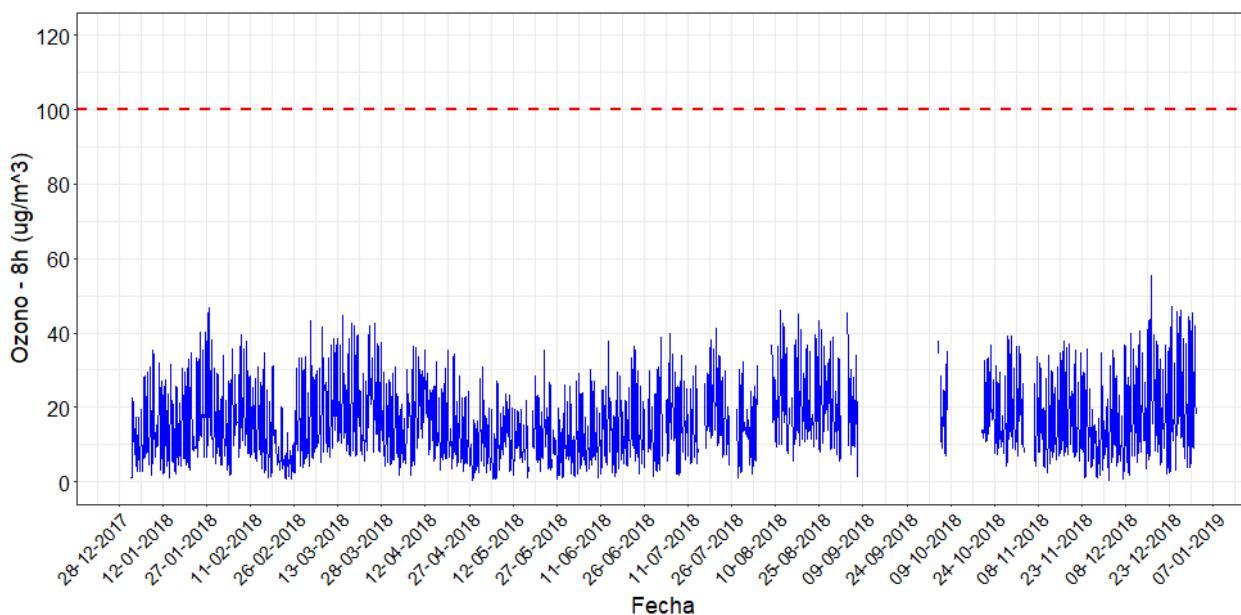
Figura 6. Variación por días de la semana de concentraciones de material particulado en 2018 para a) PM<sub>10</sub>. b) PM<sub>2.5</sub>. La barra sombreada indica la variación sobre el promedio con una confianza del 95%

#### 4. RESULTADOS MONITOREO DE GASES

##### MONITOREO DE OZONO TROPOSFÉRICO, O<sub>3</sub>

La Figura 7 muestra los resultados del monitoreo de O<sub>3</sub> (promedio octohorario) durante el año 2018. Este contaminante secundario presenta un perfil diurno caracterizado por mayores niveles en períodos de máxima radiación solar (medio día), comportamiento asociado a reacciones fotoquímicas de precursores de ozono (NO<sub>x</sub> y COV. Para el cálculo de la

variación de la concentración del ozono en períodos de 8 horas, se empleó la media móvil. Al comparar los valores de ozono octohorario con el límite máximo permisible ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecido en la Resolución 2254 de 2017, se observa que la norma de ozono no fue superada durante el periodo de monitoreo.



**Figura 7. Variación de concentración de ozono troposférico entre enero y diciembre del 2018. Promedio octohorario. La línea punteada roja representa el límite máximo permisible establecido en la Res. 2254 de 2017.**

Un resumen de la variación promedio horaria, diaria y mensual presentada en la Figura 8 se observa que los datos presentan un perfil diurno coherente para este tipo de contaminante, con mayores concentraciones en horas de alta radiación solar y un descenso en horas de la noche. Muestra que los picos máximos en las concentraciones de ozono ocurren al mediodía (franja aproximada de 12 pm a 2 pm), alcanzando una concentración cercana a los  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y mínimos cercanos a los  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hacia las 6 am y 8 pm. Un comportamiento inusual observado además en este contaminante en la ciudad, corresponde a su aumento en las horas de la madrugada (aproximadamente entre la 1 y 4 am) a valores cercanos a los  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Una posible causa de este comportamiento puede estar soportada en el análisis de perfil de los vientos de la ciudad de Manizales, donde se podría presentar un arrastre del contaminante que ha sido generado en la zona urbana hacia las partes altas de la cordillera durante el día (Momento en que los vientos se calientan y ascienden las montañas). En la noche, el perfil de viento se invierte transportando el ozono remanente en la zona rural hacia el área urbana de Manizales.

Se observa además que el promedio mensual máximo ocurrió en el mes de agosto, que correspondió al mes de mayor radiación, con un promedio mensual de  $279 \text{ W}/\text{m}^2$ , mientras el mes de mayo tuvo una radiación promedio de  $203 \text{ W}/\text{m}^2$  siendo el mes con menor concentración. Con respecto a la variación de ozono durante los días de la semana, no se identifica un perfil acorde al tráfico vehicular como el material particulado. Sin embargo, se destaca que el Ozono se genera a partir de óxidos de nitrógeno, los cuales son emitidos principalmente por combustión de diésel. Se asume que el perfil diario de Ozono no coincide con la variación del tráfico vehicular ya que la generación de este contaminante es principalmente influenciada por la radiación solar y esta no depende del día de la semana.

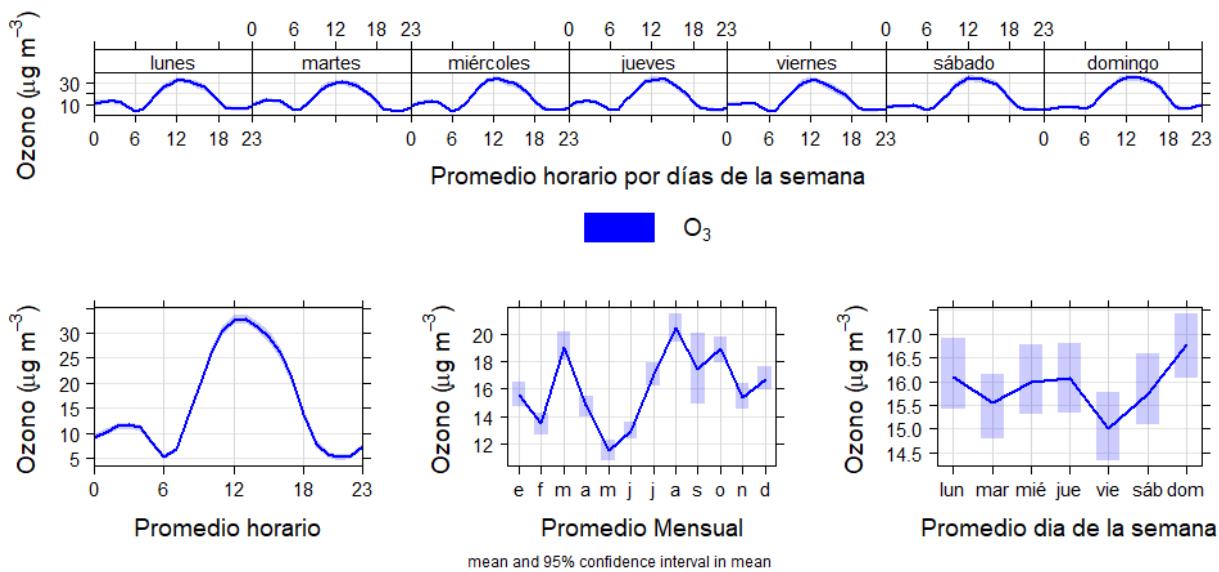


Figura 8. Variación promedio horario, diario y mensual de ozono troposférico entre enero y diciembre del 2018 ( $\text{O}_3$ ) en la estación Gobernación.

### MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO, CO

La Figura 9 muestra los resultados del monitoreo de CO durante el año 2018. Se muestran los registros de concentración octohoraria (Figura 9). El monitoreo de CO comenzó el día 04 de abril de 2018 en la estación Gobernación. Se resalta que la concentración de CO no ha superado el límite promedio máximo establecido en la Resolución 2254 de 2017 (5000  $\mu\text{g/m}^3$  para promedio de 8 horas).

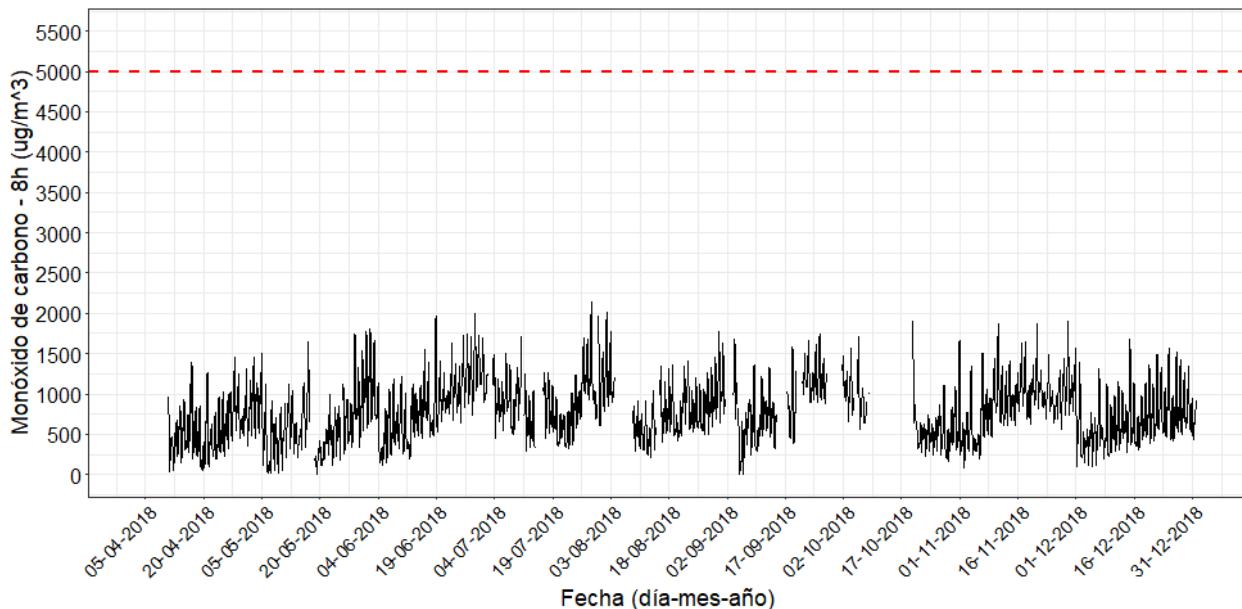


Figura 9. Variación de concentración octohoraria de monóxido de carbono obtenida durante el año 2018 en la estación Gobernación.

La variación promedio horaria, diaria y mensual presentada en la Figura 10 muestra que los picos máximos en las concentraciones del CO ocurren en las horas pico de tráfico vehicular, al inicio y fin del horario laboral (alrededor de las 7 am y las 6 pm). También se destaca que los días de la semana que presentan mayor concentración corresponden a los viernes con una concentración media alrededor de 880  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , así como los fines de semana (sábado y domingo) se presentan las menores concentraciones alrededor de 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se espera que a medida que se recopile una mayor cantidad de información, se pueda realizar un análisis más profundo del comportamiento de este contaminante, ya que algunos meses no se ha recopilado información debido a fallas técnicas del equipo.

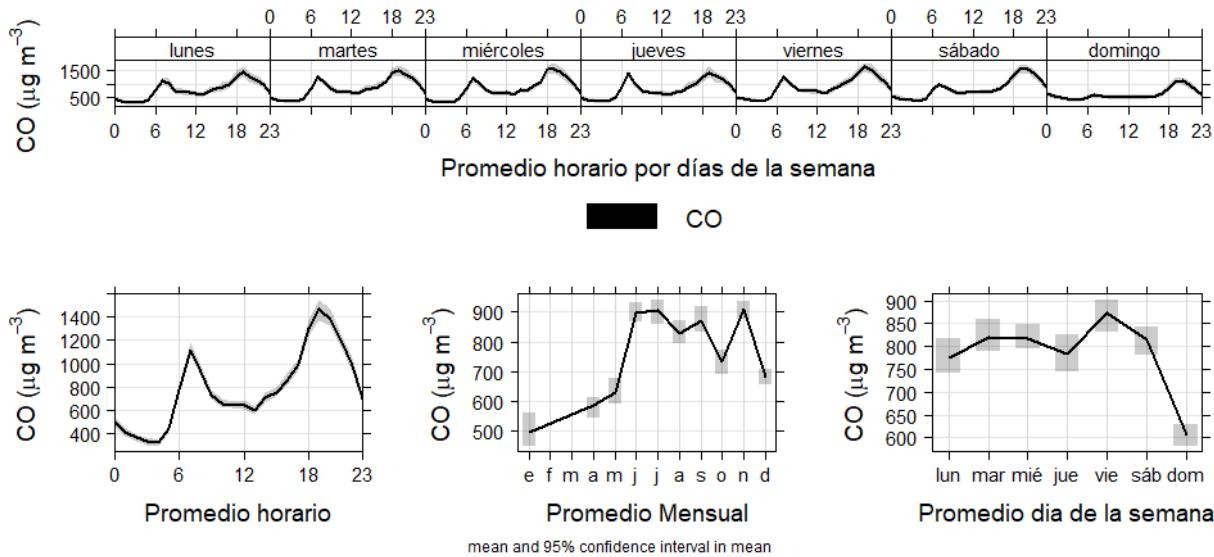


Figura 10. Variación promedio horaria, diaria y mensual de monóxido de carbono (CO) en la estación Gobernación entre diciembre y mayo del 2018.

## 5. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE, ICA, EN EL SVCA DE MANIZALES

Las Figura 11 a Figura 13 presentan los índices de calidad del aire (ICA) obtenidos en las estaciones de monitoreo de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub> y CO. El ICA representa mediante un indicador de color, el estado de la calidad del aire de acuerdo con la concentración del contaminante y su posible afectación a la salud. Se destaca que la calidad del aire se clasificó como buena en la mayoría de las estaciones de PM<sub>10</sub>, sólo en Liceo se presentaron 3 días con calidad de aire moderada entre los meses de enero y febrero. De manera similar sucedió para el caso de los gases con una calidad buena durante todo el año 2018. Para PM<sub>2.5</sub>, se obtuvo un 65% de los días monitoreados con calidad del aire moderada, el restante 35% fue buena. Los días con calidad del aire moderada indican que el aire es aceptable, sin embargo las personas que hacen parte de grupos sensibles deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre. Los grupos sensibles corresponden a personas con enfermedades respiratorias y cardíacas, niños, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas que practican actividades deportivas al aire libre. Para el cálculo de este indicador (ICA) se utiliza la metodología propuesta por la resolución 2254 de 2017 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS).

	Buena	Moderada	Dañina para la salud de grupos sensibles	Dañina para la salud	Muy dañina para la salud	Peligrosa
Rango PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0 - 54	55 - 154	155 - 254	255 - 354	355 - 424	425 - 504

### Estación Liceo PM<sub>10</sub>



### Estación Gobernación PM<sub>10</sub>



Estación Milán PM<sub>10</sub>



Estación Palogrande PM<sub>10</sub>



Figura 11. Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>10</sub> en Manizales de enero a diciembre del año 2018. Basado en la Resolución 2254 de MADS.

Buena	Moderada	Dañina para la salud de grupos sensibles	Dañina para la salud	Muy dañina para la salud	Peligrosa	
Rango PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0-12	13-37	38-55	56-150	151-250	251-500

## Estación Gobernación PM<sub>2,5</sub>



**Figura 12. Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>2.5</sub> en Manizales de enero a diciembre del año 2018. Basado en la Resolución 2254 de MADS.**

	Buena	Moderada	Dañina para la salud de grupos sensibles	Dañina para la salud	Muy dañina para la salud	Peligrosa
Rango CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0 – 5094	5095 – 10819	10820 – 14254	14255 – 17688	17689 – 34862	34863 – 57703
Rango O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0 – 106	107 – 138	139 – 167-	168 – 207	208 – 393	>394

### Estación Gobernación O<sub>3</sub> (Octohorario)



### Estación Gobernación CO (Octohorario)



Figura 13. Índice de Calidad del Aire (ICA) para O<sub>3</sub> y CO en Manizales de enero a diciembre del año 2018. Basado en la Resolución 2254 de MADS.

## 6. CONCLUSIONES

- En ninguna de las estaciones de PM<sub>10</sub> en Manizales se superaron las normas diarias (75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y anual (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) definidas en la normativa colombiana para este contaminante. Asimismo, todas las estaciones fueron clasificadas con buena calidad de aire, a excepción de 3 días entre enero y febrero que en la estación Liceo se clasificaron con calidad del aire moderada según Índice de Calidad del Aire ICA. Se aclara que sólo en las estaciones Pologrande y Nubia no fue superada la recomendación de la OMS de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para un periodo de 1 año.

- La única estación de PM<sub>2.5</sub> (Gobernación) en Manizales, no superó las normas diarias (37 µg/m<sup>3</sup>) y anual (25 µg/m<sup>3</sup>) definidas en la normativa colombiana para este contaminante, sin embargo, según Índice de Calidad del Aire ICA, calculado según la Resolución 2254 de 2017 del MADS, el 65% de mediciones de PM<sub>2.5</sub> en la estación Gobernación se clasifican como moderadas lo que implica posibles síntomas respiratorios en poblaciones sensibles. Además, con un promedio anual de 14 µg/m<sup>3</sup> fue superada la recomendación de la OMS de 10 µg/m<sup>3</sup> para un periodo de 1 año.
- La concentración de material particulado PM<sub>10</sub> en el aire está fuertemente influenciada por el tráfico vehicular, con los niveles más bajos los fines de semana (especialmente los domingos). Los registros de mayor concentración se obtuvieron en las estaciones Liceo, con un promedio anual de 32 µg/m<sup>3</sup> (desv. std = 9.7 µg/m<sup>3</sup>) y máximos de 57 µg/m<sup>3</sup> y Milán con un promedio de 27 µg/m<sup>3</sup> (desv. std = 7.5 µg/m<sup>3</sup>) y máximos de 50 µg/m<sup>3</sup>.
- Las concentraciones de ozono troposférico en la estación Gobernación para el año 2018 se encuentran dentro de los límites permitidos por la normatividad vigente, se identifica la influencia directa de la radiación en el perfil diario de generación de dicho contaminante.
- Las concentraciones de monóxido de carbono en la estación Gobernación para el año 2018 se encuentran dentro de los límites permitidos por la normatividad vigente. Este contaminante registra un perfil diurno asociado a mayores concentraciones en periodos del día de alta actividad vehicular y una atmósfera más estable (alrededor de las 7am y 6pm).
- Se identifica mayor concentración de material particulado y monóxido de carbono en días entre semana y una disminución importante durante los fines de semana (sábado y domingo), en todas las estaciones de la ciudad, lo que ratifica la influencia del tráfico vehicular en la dinámica los contaminantes atmosféricos en Manizales.

## 7. REFERENCIAS

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017. Resolución 2254 de 2017. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D.C., Colombia.

Eurachem/CITAC., 2012. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Co-Operation on International Traceability in Analytical Chemistry. Third Edition.

Environmental Protection Agency EPA, 2009, Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2010. *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. “Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire”*