

## BOLETIN DE CALIDAD DEL AIRE MUNICIPIOS DE CALDAS AÑO 2017

**Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales**  
**Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental Corpocaldas.**

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>, Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga<sup>a</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 e infartos no letales. Estos contaminantes generan impactos sobre el recurso aire en ecosistemas naturales y centros urbanos.

Como parte del convenio 221 de 2016 celebrado entre el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas) y la labor propia de Corpocaldas, en el año 2017 se realizaron campañas de monitoreo ambiental en los municipios de Caldas: Filadelfia, Neira, Supía, Riosucio y La Dorada.

Las campañas se realizaron en diferentes periodos del año, la mayoría durante 3 meses, con monitoreo de Material Particulado inferior a 10 µm de diámetro (PM<sub>10</sub>). El monitoreo de este contaminante se realizó con una frecuencia de tres días, para un total de 30 muestras en cada municipio (en algunos municipios la cantidad de datos obtenidos fue menor). Este monitoreo se basa en el método gravimétrico, que consiste en filtrar el aire ambiente sobre un filtro de fibra de vidrio (PM<sub>10</sub>) 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 instaladas.

Los datos obtenidos en la red de monitoreo de calidad del aire de Manizales, así como los datos obtenidos en las diferentes campañas realizadas en el departamento de Caldas alimentan las bases de datos del CDIAC (Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas) y el SISAIRES 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.

**Tabla 1. Estaciones de calidad del aire en diferentes municipios de Caldas**

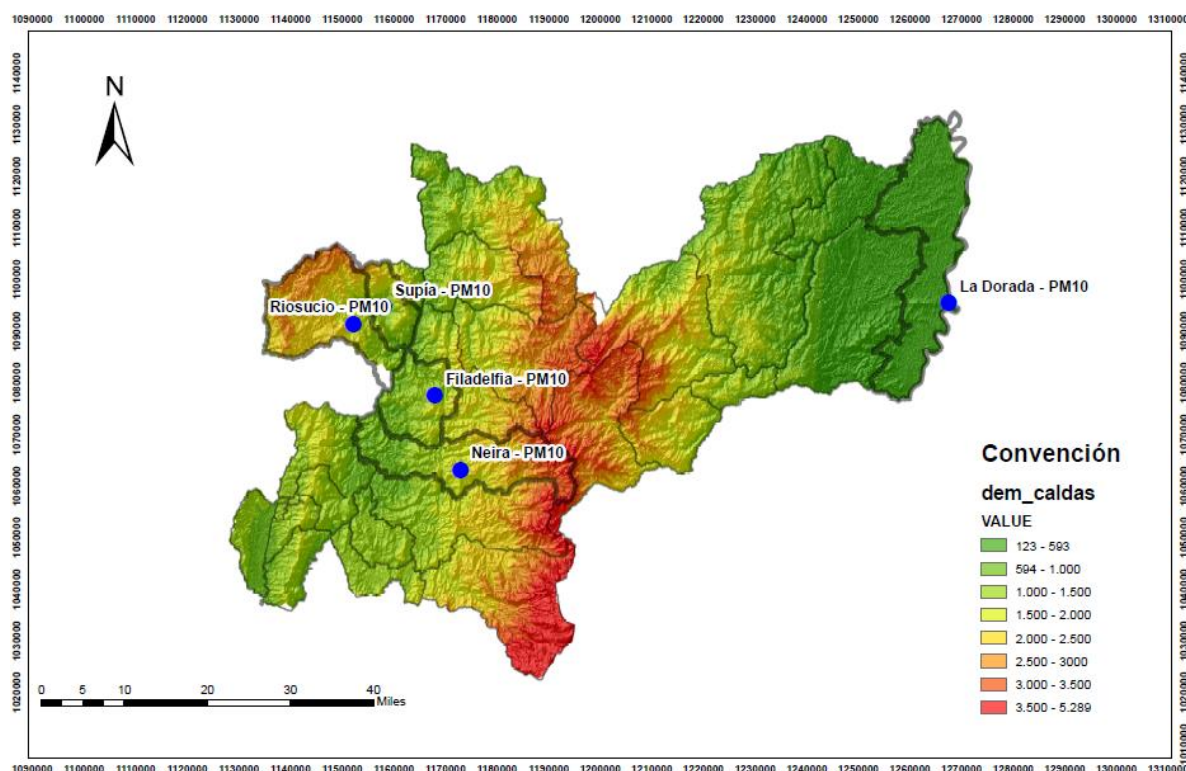
Estación - Contaminante	Características - Fuentes de contaminantes	Periodo de Muestreo	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Filadelfia - PM <sub>10</sub>	SC, CU - ATV, SAI	23/10/2016 – 16/06/2017	N 5° 17' 45.77''	W 75° 33' 45.52''	1607
Neira - PM <sub>10</sub>	SC, SR - ATV, SAI	22/06/2017 – 25/11/2017	N 5° 9' 55.64''	W 75° 31' 5.70''	1944
Supía - PM <sub>10</sub>	SR - ATV, MAI	14/09/2017 – 15/12/2017	N 5° 27' 5.652''	W 75° 39' 6.228''	1183

Estación - Contaminante	Características - Fuentes de contaminantes	Periodo de Muestreo	Latitud	Longitud	Altitud msnm
Riosucio - PM <sub>10</sub>	SC, CU - ATV, SAI	14/09/2017 – 15/12/2017	N 5° 25' 18.804''	W 75° 42' 18.54''	1812
La Dorada - PM <sub>10</sub>	SC, CU - ATV, SAI	10/10/2017 – 30/11/2017	N 5° 27' 14.65''	W 75° 39' 54.58''	176

*Características: SR: Sector residencial, SC: Sector comercial, CU: Centro urbano, Fuentes de contaminación: ATV: Alto tráfico vehicular, AAI: Alta actividad industrial, MAI: Moderada actividad industrial, SAI: Sin actividad industrial.*

## 2. Ubicación de las estaciones

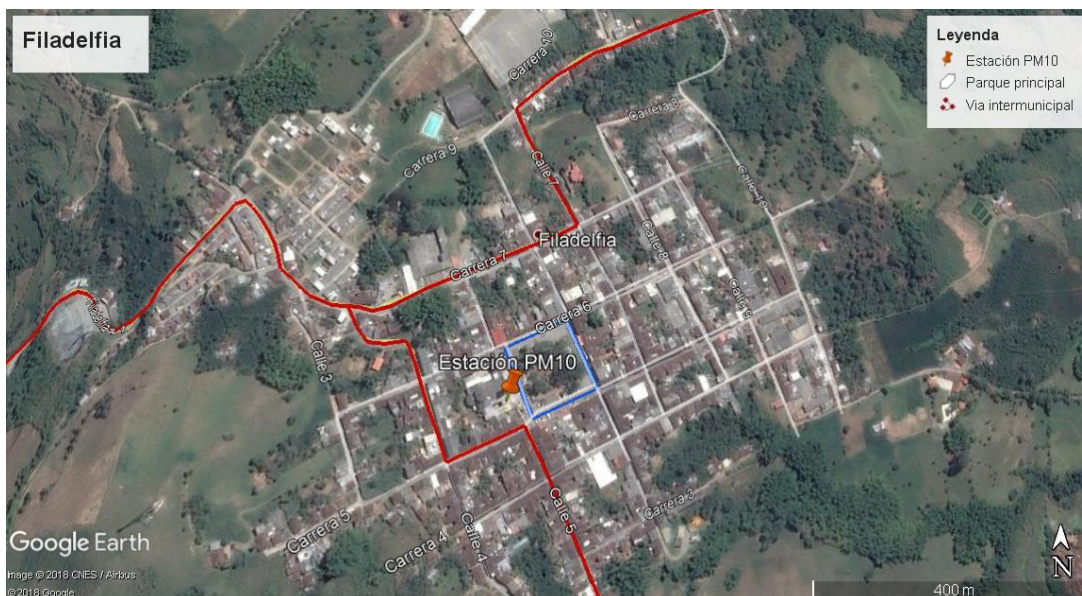
Para la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire se evaluaron las características de cada municipio, especialmente las principales fuentes de contaminación atmosférica. La Figura 1 presenta la ubicación de las estaciones en el departamento de Caldas, en las Figuras de la 2 a la 5 se presentan la ubicación de las estaciones en cada municipio.



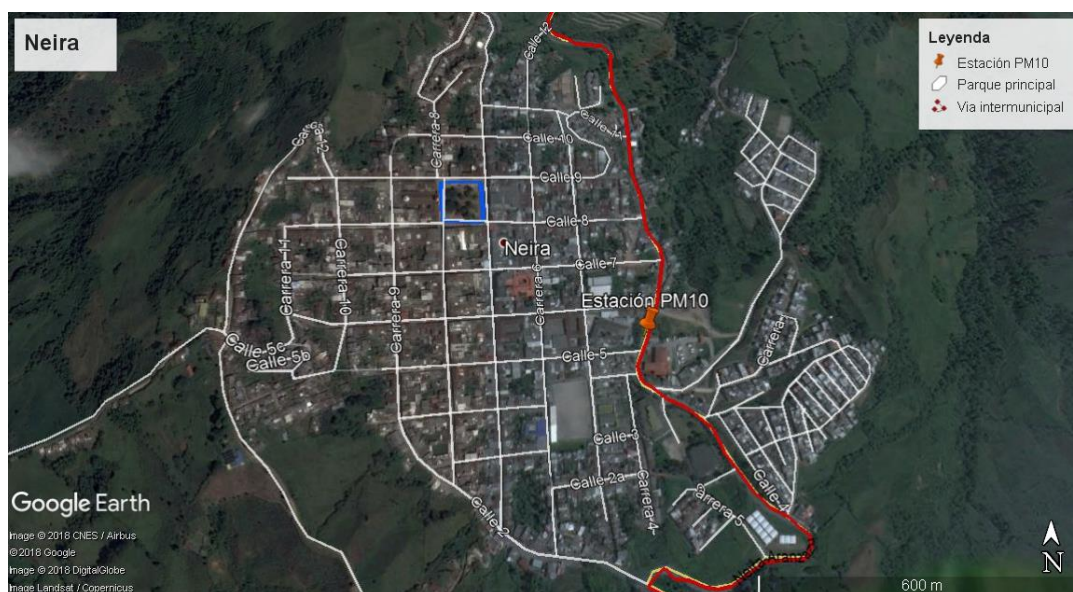
**Figura 1. Ubicación de estaciones de PM<sub>10</sub> en municipio de Caldas durante el año 2017.**

El municipio de Filadelfia (Figura 2), está ubicado al norte del departamento de Caldas. Para el año 2017 tendrían una población cercana a los 11,000 habitantes, con 4,000 habitantes en su cabecera municipal [1]. Una importante vía intermunicipal con alto tráfico vehicular atraviesa el municipio, lo que se podría considerar una fuente importante de contaminación del aire.

En la Figura 3 se muestra el municipio de Neira, ubicado en el sector centro-sur del departamento. Para el año 2017 tendrían una población cercana a los 30,800 habitantes, con 16,320 habitantes en su cabecera municipal [1]. Una importante vía intermunicipal, con alto tráfico vehicular, atraviesa el municipio, lo que se considera una importante fuente de contaminación para el presente monitoreo.



**Figura 2. Ubicación de estación de PM<sub>10</sub> en municipio de Filadelfia. Se muestra la ubicación del parque principal y vía intermunicipal de alto flujo vehicular.**



**Figura 3. Ubicación de estación de PM<sub>10</sub> en municipio de Neira. Se muestra la ubicación del parque principal, la vía intermunicipal de alto flujo vehicular y la plaza principal.**

En la Figura 4 se muestra el municipio de Supía, ubicado en el occidente del departamento. Para el año 2017 tendrían una población cercana a los 36,500 habitantes, con 19,800 en la cabecera municipal [1]. El centro urbano es atravesado por una vía intermunicipal de alto tráfico vehicular, además presenta una importante actividad industrial relacionada con la producción de ladrillo, lo cual se considera una importante fuente de contaminación del aire producto de emisión por fuentes estacionarias puntuales.

En la Figura 5 se encuentra el municipio de Riosucio, ubicado en el occidente del departamento, Para el año 2017 tendrían una población cercana a los 60,500 habitantes, con 18,700 en su cabecera



municipal [1]. Por el municipio pasa una vía intermunicipal importante, con alto tráfico vehicular, lo que se considera la principal fuente de contaminación para el presente monitoreo.



Figura 4. Ubicación de estación de PM<sub>10</sub> en municipio de Supía. Se muestra la ubicación de principales fuentes de contaminación industrial y vía intermunicipal.



Figura 5. Ubicación de estación de PM<sub>10</sub> en municipio de Riosucio, ubicación de los parques principales y vía intermunicipal de alto flujo vehicular.

En la Figura 6 se encuentra el municipio de La Dorada, situado en el sector centro-sur del departamento, Para el año 2017 tendría una población cercana a los 77,735 habitantes, con 69,764 habitantes en su cabecera municipal [1]. Por el municipio pasa una importante vía intermunicipal, con alto tráfico vehicular, lo que se considera una importante fuente de contaminación para el presente monitoreo.

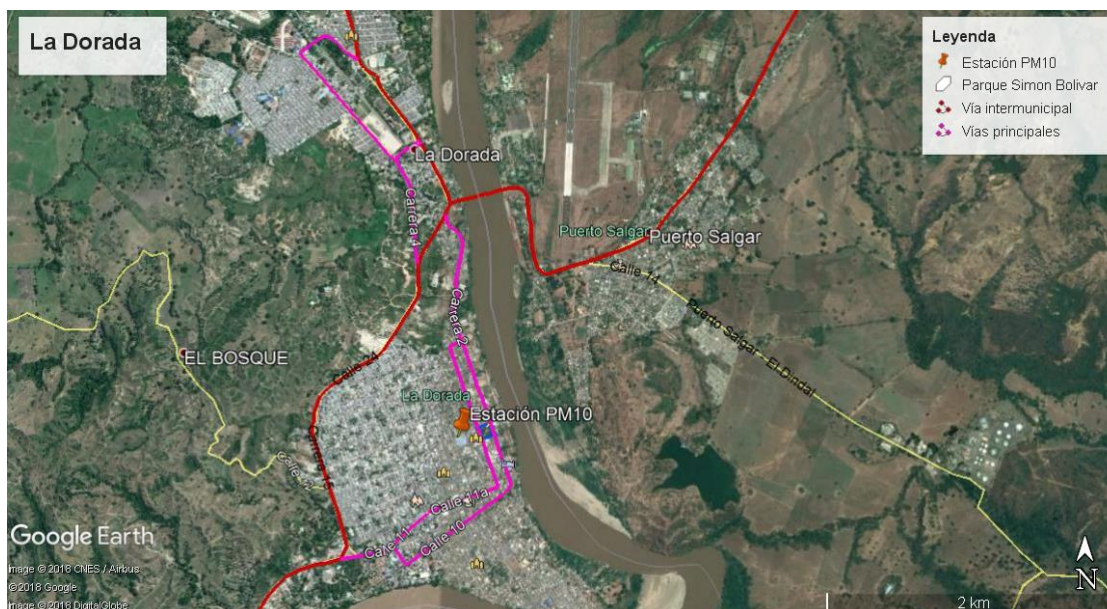


Figura 6. Ubicación de estación de PM<sub>10</sub> en municipio de La Dorada. Se muestra la ubicación del parque principal, vías intermunicipales y principales vías de alto flujo vehicular.

### 3. Resultados de estadísticos descriptivos y distribución temporal del PM<sub>10</sub> durante las campañas realizadas en cada municipio en el año 2017

En la Tabla 2 se presentan los estadísticos descriptivos para las concentraciones de PM<sub>10</sub> obtenidas durante el monitoreo de cada municipio en el año 2017, el promedio aritmético, desviación estándar, concentración mínima, concentración máxima, el percentil 95 y el número 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.

Los resultados muestran que el municipio de Supía presenta los mayores niveles de contaminación, con un promedio aritmético de 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los demás municipios alcanzaron concentraciones promedio entre 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Mayores niveles de contaminación en Supía se relacionan con la actividad industrial enfocada a la alfarería que se desarrolla en este municipio, estas empresas cuentan con emisiones constantes producto del consumo de combustibles, como el carbón para el calentamiento de sus hornos. El tráfico vehicular también se considera una fuente de contaminación importante. La vía intermunicipal que atraviesa la cabecera municipal de Supía presenta alto tráfico de vehículos que funcionan con diésel, considerados como uno de los más contaminantes en términos de emisión de PM. Otro factor importante que aporta a los niveles de contaminación atmosférica podría ser el polvo resuspendido, especialmente por calles sin pavimentar.

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

Estadístico	Filadelfia PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estándar)	Neira PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estándar)	Supía PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estándar)	Riosucio PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estándar)	La Dorada PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ estándar)
Promedio	16	19	36	20	16
Desviación Estándar	7.3	6.3	10.5	5.6	5.2
Min. – Max.	9 – 37	9 - 30	20 - 57	11 - 35	6 - 24
Percentil 75%	19	24	44	23	21
Percentil 95%	29	29	51	30	21
# Datos obtenidos	16	39	30	29	21



En cuanto a los demás municipios evaluados, la contaminación atmosférica se asocia principalmente al tráfico vehicular que atraviesa las vías intermunicipales, sin descartar el aporte del resto de vehículos que recorren diariamente las cabeceras municipales, el polvo resuspendido y las construcciones.

En la Figura 7 se muestran los diagramas de cajas generados para cada estación. 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 concentraciones obtenidas en Supía con las de los demás municipios. También se resalta que en Supía se tuvo mayor variabilidad en las concentraciones obtenidas. Los demás municipios presentan baja variabilidad, sin embargo, en Filadelfia y Riosucio se presentaron algunos días con concentraciones clasificadas como atípicamente altas, lo que se asocia a acumulación de contaminantes a lo largo de la semana, especialmente en periodos de poca lluvia.

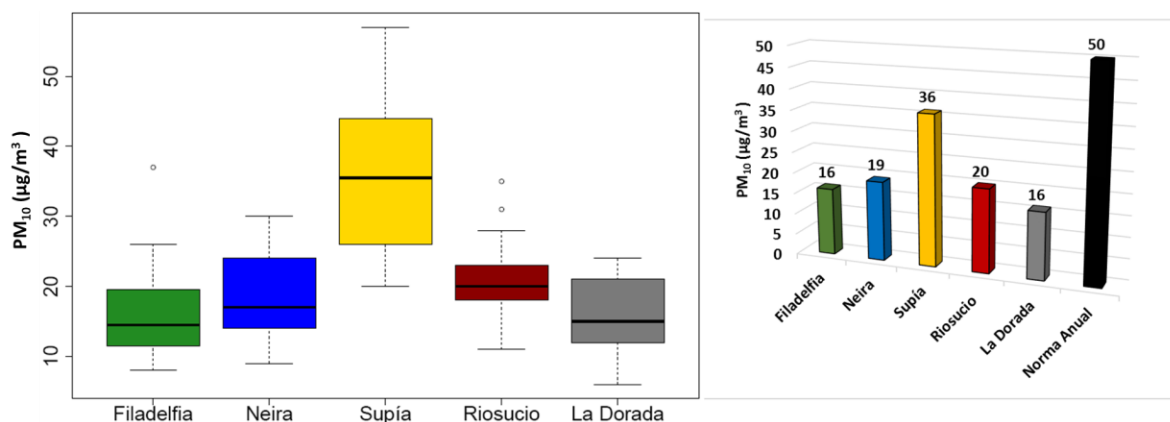


Figura 7. Diagrama de cajas y concentración promedio en las estaciones de monitoreo comparada con norma anual colombiana y la recomendación de la OMS.

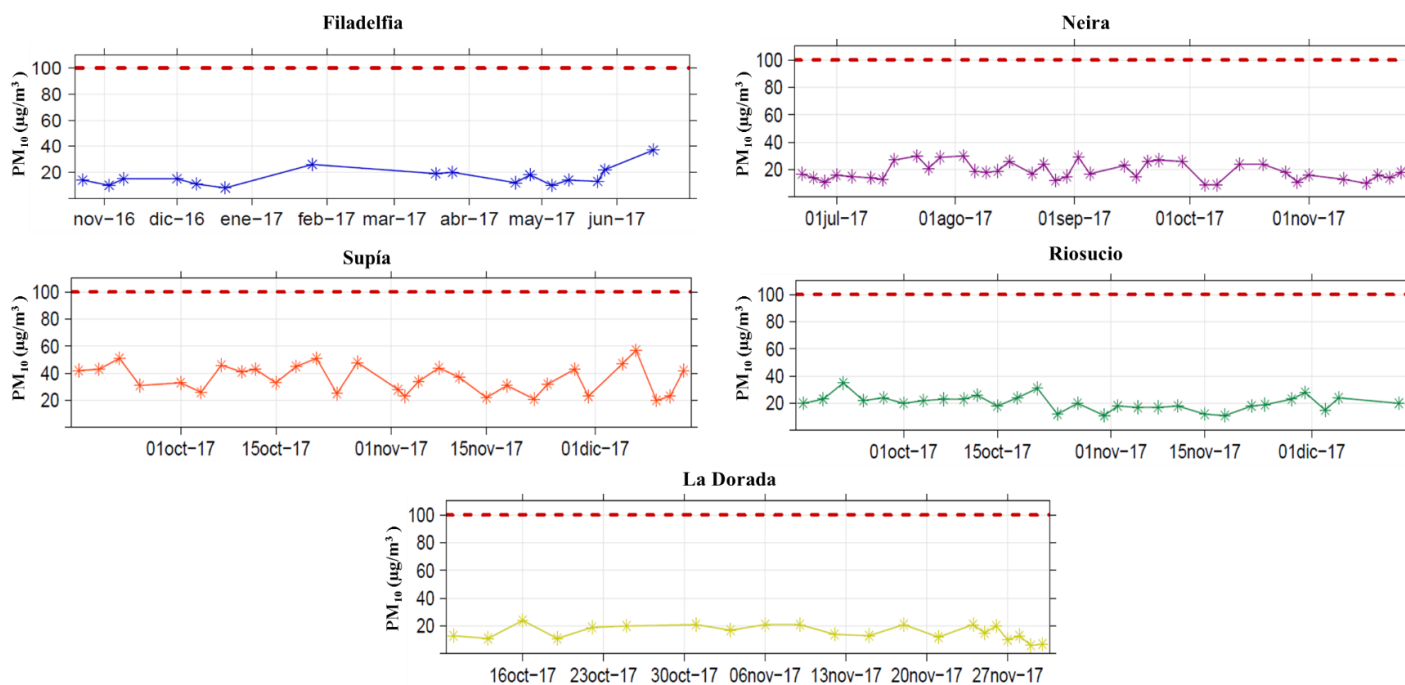
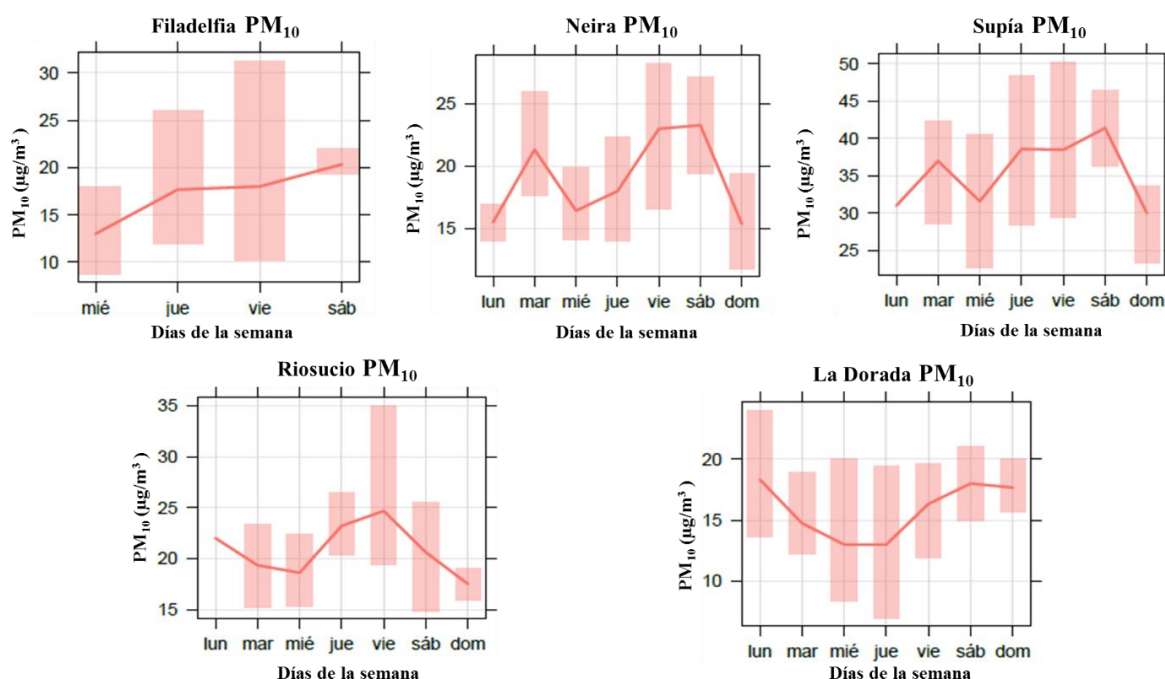


Figura 8. Evolución temporal de concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> en estaciones de monitoreo. El límite máximo permisible diario (100 µg/m<sup>3</sup>) según la Resolución 610 de 2010 se muestra en la línea punteada roja.

Con el fin de comparar el límite máximo permisible anual definido en la Resolución 610 de 2010, se muestran en la Figura 7 (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  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Asimismo, el límite máximo diario no ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no fue superado en ninguna de las estaciones, como se observa en la Figura 8, que presenta la evolución de las concentraciones de cada estación durante el periodo evaluado, comparados con el límite máximo permisible diario definido en la Resolución 610 de 2010 para  $\text{PM}_{10}$  ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sin embargo, con respecto al límite máximo anual recomendado por la Organización Mundial de la Salud para  $\text{PM}_{10}$  de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [2], las estaciones de Filadelfia, Neira y La Dorada se encuentran por debajo del límite, Riosucio justo en el límite y Supía lo ha superado por casi el doble.

Para identificar tendencias en la concentración del contaminante, se presentan en la Figura 9 los promedios de concentración por días de la semana. Se alcanzaron concentraciones máximas: en Filadelfia un viernes ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Neira un sábado ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Supía un jueves ( $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), Riosucio un viernes ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y La Dorada un lunes ( $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En Neira, Supía y Riosucio se obtuvieron concentraciones mínimas los domingos, en La Dorada y Filadelfia se obtuvieron concentraciones mínimas los días miércoles. Sin embargo, en Filadelfia no se tomaron muestras en todos los días de la semana para hacer una comparación representativa.



**Figura 9. Promedios de concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  por día de la semana. Para todo el periodo evaluado en cada municipio. Las barras indican el intervalo de datos (min.-max.) y la línea la evolución de la concentración media.**

Se destaca el comportamiento ascendente de la concentración a medida que transcurre la semana, éste comportamiento se asocia con la acumulación de contaminantes de fuentes móviles y estacionarias, los eventos de mayor contaminación se registraron principalmente en semanas con poca lluvia, esto se debe a que las lluvias lavan la contaminación de la atmósfera y la ausencia de lluvias influencia la acumulación de dichos contaminantes. El hecho de que las concentraciones más bajas se registraran días domingos, en tres de las cinco estaciones evaluadas, se relaciona con la disminución en el tráfico vehicular y actividades industriales durante los fines de semana.

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

La Figura 10 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 todos los registros de los 5 municipios evaluados, sólo en Supía se presentó 1 día con calidad de aire moderada durante el mes de diciembre.

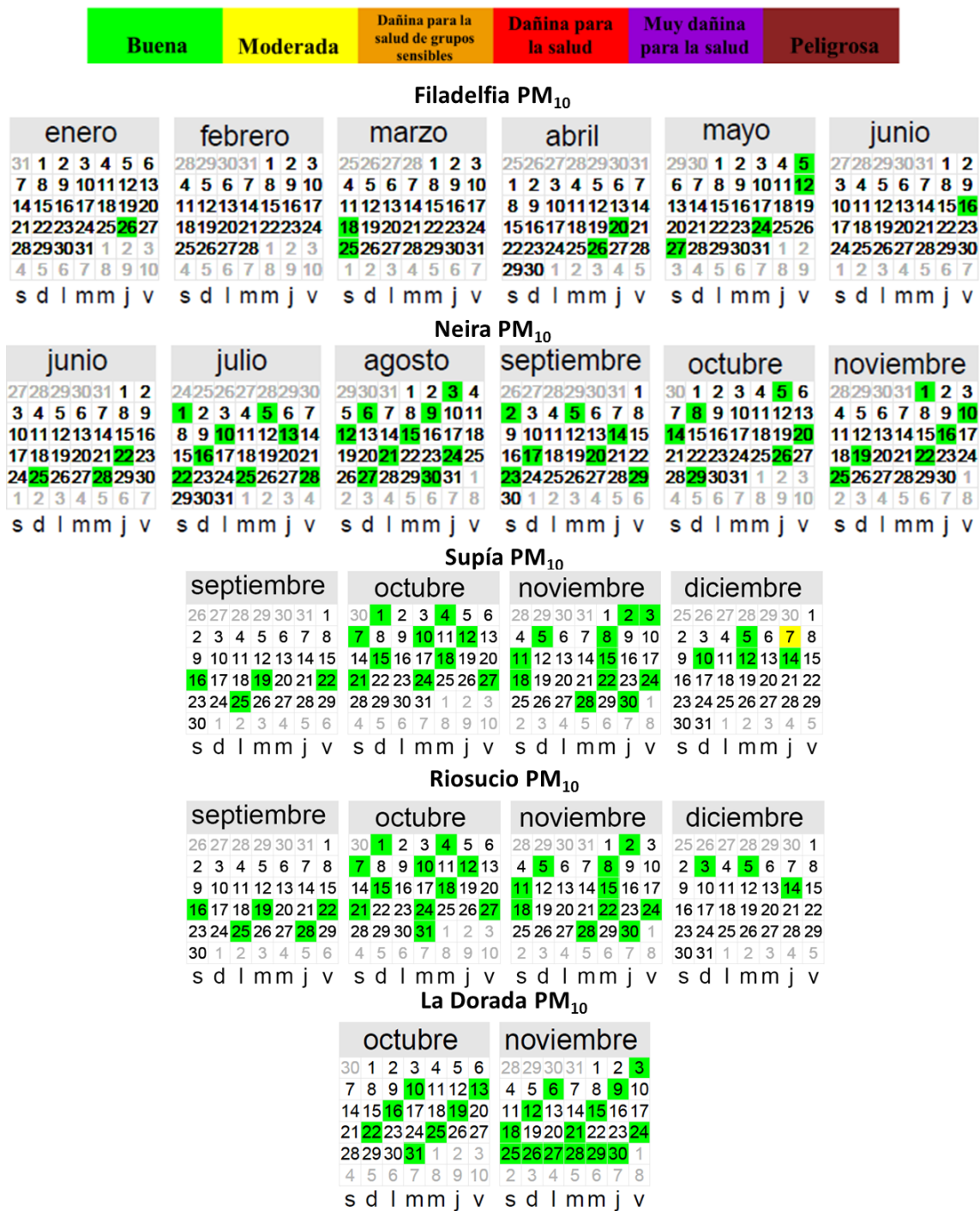


Figura 10. Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM<sub>10</sub> en municipios de Caldas durante el periodo evaluado en cada municipio.



## 5. Conclusiones

- En ninguna de las estaciones de monitoreo de PM<sub>10</sub> se superaron las normas diaria y anual colombianas, establecida en la Resolución 610 de 2010. Sin embargo, en Supía se supera 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). Riosucio se encuentra en el límite de la recomendación de la OMS y los demás municipios evaluados en 2017 se encuentran por debajo de dicha recomendación.
- La influencia por la actividad industrial es notable en el municipio de Supía, considerando que es el único de los municipios evaluados con una actividad industrial con emisiones constantes por fuentes estacionarias puntuales. Las concentraciones alcanzadas en Supía son de aproximadamente el doble que las encontradas en los demás municipios monitoreados, lo que indica el aporte de la actividad industrial presente en este municipio.

## REFERENCIAS

- [1] «DANE,» [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. [Último acceso: 2017]
- [2] OMS, «WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide,» World Health Organization, 2005.