

# SIMAC

SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CALDAS



## BOLETÍN EXTRAORDINARIO CALIDAD DEL AIRE MANIZALES 2020: CUARENTENA POR COVID – 19.

\*Instituto de Estudios Ambientales,  
Universidad Nacional de Colombia Sede  
Manizales

\*\*Subdirección de Evaluación y Seguimiento  
Ambiental CORPOCALDAS

### RESUMEN

Se presenta en este informe los resultados y análisis comparativos del monitoreo de contaminantes atmosféricos realizado en la ciudad de Manizales durante el período comprendido entre enero hasta los primeros días de cuarentena decretado por la alcaldía municipal el pasado 16 de marzo 2020. Se realizó el seguimiento de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y los gases monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Se muestran las gráficas resumen obtenidas y tablas de estadísticos básicos (promedio, mínimo, máximo y desviación estándar). Asimismo, se presentan los resultados obtenidos para los índices de calidad del aire.

**\*Angel David Gálvez Serna, \*Jesús Alberto Angulo Cuero, \*Carlos Mario González Duque, \*Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga, \*\*Mauricio Velasco García.**

## TABLA DE CONTENIDO

1. EL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES (SVCA) .....	2
2. ANÁLISIS METEOROLÓGICO.....	4
3. RESULTADOS MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO: PM <sub>10</sub> Y PM <sub>2.5</sub> DURANTE EL AÑO 2020.....	5
3.1. EQUIPOS AUTOMÁTICOS PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> : ANÁLISIS DE PROMEDIOS Y COMPORTAMIENTO EN LA CIUDAD.....	5
3.1. EQUIPOS AUTOMÁTICOS: INDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM <sub>10</sub> Y PM <sub>2.5</sub> .....	8
4. RESULTADOS MONITOREO DE GASES .....	9
4.1. MONITOREO DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ) .....	9
4.2. MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	11
4.3. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA SO <sub>2</sub> Y CO .....	12
5. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS .....	13
5.1. EMISIONES VOLCÁNICAS.....	13
6. REFERENCIAS.....	14

## 1. EL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES (SVCA)

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 subsistema del IDEAM: SISAIRE. El CDIAC, por medio de la página web **<http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/index>**, 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 dos (2) equipos automáticos (nefelómetros) que miden simultáneamente  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  y una estación automática para el monitoreo de los gases  $O_3$ ,  $SO_2$  y  $CO$ , además se cuenta con cinco (5) equipos manuales de  $PM_{10}$  y uno (1) de  $PM_{2.5}$ . Los equipos automáticos se encuentran actualmente en funcionamiento, mientras que los equipos manuales se encuentran en receso operativo debido a la cuarentena. 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.

El seguimiento de material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) en Manizales se realiza mediante técnicas de monitoreo activas. Los equipos automáticos de ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) y el seguimiento de gases ( $O_3$ ,  $SO_2$  y  $CO$ ) permiten la obtención de registros cinco minútales, a partir de los cuales se obtienen registros promedio horario (media aritmética) y registros promedio octohorario (media móvil a partir de registros horarios). Todos los registros obtenidos de partículas y gases en aire ambiente son útiles para comparar los límites máximos permisibles definidos en la normativa colombiana: Resolución 2254 de 2017 (MADS, 2017).

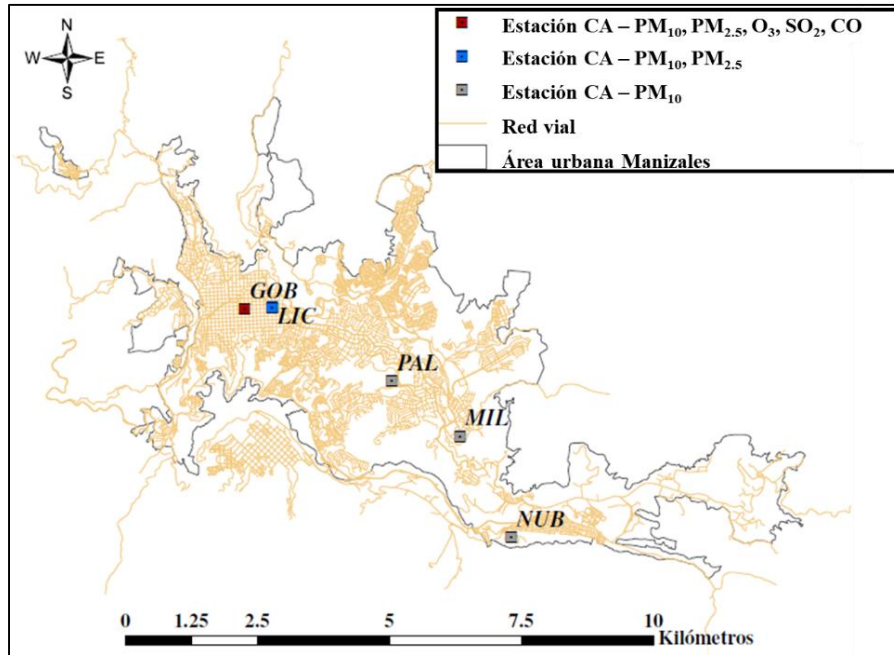


Figura 1. Mapa de Manizales con ubicación de las estaciones de calidad del aire.

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

Estación	Características y fuentes de contaminantes*	Equipos	Propietario	Año Instalación	Año de óptima operación – histórico	Estado actual	Latitud / Longitud	Altitud msnm
Gobernación	CU, SC – MTV, PAI	PM <sub>10</sub> – Manual <sup>a</sup>	Corpocaldas	2009	2009	Detenido tras cuarentena	N 5° 4' 6.53" W 75° 31' 1.54"	2155
		PM <sub>2.5</sub> - Manual <sup>a</sup>	Corpocaldas	2009	2009	Detenido tras cuarentena		
		SO <sub>2</sub> - Automático	UN	2014	Desde el 2020, problemas de estabilización.	Operación óptima		
		O <sub>3</sub> - Automático	UN	2014	Salió de operación durante los años 2016-2017 por fallas.	Operación óptima.		
		CO - Automático	Corpocaldas	2014	2018 – Múltiples fallas durante sus primeros años.	Operación óptima.		
		PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> - Automático <sup>b</sup>	Corpocaldas	2019	2019	Operación óptima.		
Palogrande	ZC, SR – ATV, SAI	PM <sub>10</sub> - Manual <sup>c</sup>	UN	2009	2009	Detenido tras cuarentena	N 5° 3' 22.4" W 75° 29' 31.3"	2154
Nubia	ZSE, SR – BTV, AZI	PM <sub>10</sub> - Manual <sup>c</sup>	UN	2009	2017 – En la red.	Detenido tras cuarentena	N 5° 1' 47.0" W 75° 28' 18"	2091
Liceo	CU, SC – ATV, PAI	PM <sub>10</sub> - Manual <sup>c</sup>	Corpocaldas	2000	2010 – En la red.	Detenido tras cuarentena.	N 5° 4' 5.01" W 75° 30' 37.58"	2156
		PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> - Automático <sup>b</sup>	Corpocaldas	2019	2019	Operación óptima.		
Milán	ZC, SR – MAI, MTV	PM <sub>10</sub> - Manual <sup>c</sup>	Corpocaldas	2012	2012	Detenido tras cuarentena	N 5° 2' 48.5" W 75° 28' 48.68"	2188

<sup>a</sup>- Equipo de bajo volumen (Low-Vol). <sup>b</sup>- Equipo automático de PM (Técnica nefelométrica). <sup>c</sup>- Equipo de alto volumen (Hi-Vol).

\*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. ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Las condiciones climáticas juegan un papel importante en la dinámica de los contaminantes en el aire. Existen contaminantes secundarios como el ozono troposférico ( $O_3$ ) que dependen de la radiación directa del sol para formarse en el aire a partir de contaminantes primarios, emitidos directamente por fuentes antropogénicas y naturales. La humedad en el aire y la lluvia también tiene una influencia importante en la contaminación, especialmente con el material particulado, el aumento de la humedad relativa se asocia al aumento en la humedad de las partículas, por consiguiente, el aumento de peso, lo cual influye en la velocidad de caída de las partículas suspendidas en el aire y en la disminución de partículas resuspendidas (Loosmore y Cederwall, 2004). En el mismo sentido, la precipitación hace un lavado de la atmósfera, arrastrando hacia el suelo el material particulado del aire, este fenómeno se conoce como scavenging (Akyüz y Cabuk, 2009). Finalmente, la velocidad del viento influencia la concentración de contaminantes de forma inversa, ya que a mayor velocidad del viento la dispersión de los contaminantes será mayor y su concentración en la atmósfera disminuirá.

La Tabla 2 presenta el consolidado mensual de las variables meteorológicas de la estación Hospital de Caldas de la ciudad de Manizales para lo corrido del año 2020. Esta estación es elegida como punto de referencia debido a que es una estación que ha presentado registros estables durante el tiempo de medición y su ubicación a más de 10m de altura (sobre la terraza del edificio del Hospital de Caldas), además de su ubicación en el centro geográfico de Manizales, se puede considerar una estación de tipo sinóptico representativa para la mayoría de las variables meteorológicas. No obstante, se aclara que todas las concentraciones estimadas para las estaciones de calidad del aire de la red se calculan con base en los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas.

Del presente año, se puede observar que los niveles de precipitación aumentaron a medida que transcurren los meses del año, un comportamiento típico característico al régimen bimodal de la ciudad, siendo además el mes de marzo (hasta la fecha del 23) el mes con mayores precipitaciones con un valor de 112.8 mm de lluvia, siendo este un posible indicador del inicio de los períodos de lluvias altas. Por su parte las demás variables meteorológicas: temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica, la humedad relativa y la radiación solar se han mantenido con variaciones no mayores al 5%. Se destaca que la ciudad cuenta con patrones de viento estables identificados por el fenómeno de valle – montaña en donde las masas de aire se calientan a causa de la radiación solar y ascienden hacia la parte alta de la cordillera durante el día, durante la noche este patrón se invierte cuando las masas de aire se enfrían ocasionado su descenso hacia la ciudad, adicionalmente las velocidades de viento bajas impiden una rápida dispersión de los contaminantes.

**Tabla 2. Estadísticos promedio mensuales para las variables de la estación meteorológica Hospital de Caldas durante el año 2020.**

Mes	Temperatura del Aire [°C]	Velocidad de Viento [m/s]	Dirección Viento [°]	Presión Atmosférica [mm Hg]	Humedad Relativa [%]	Precipitación Acumulada* [mm]	Radiación Solar** [W/m <sup>2</sup> ]	Max. Rad. solar [W/m <sup>2</sup> ]
Enero	18.8	1.4	156	594.7	77	61.8	364.7	1164
Febrero	19	1.3	141	594.5	77.7	86.2	326.6	1202
Marzo (Hasta 23)	18.7	1.4	186	595.3	80.3	112.8	327.3	1306

\* Suma de la precipitación registrada en cada mes de monitoreo

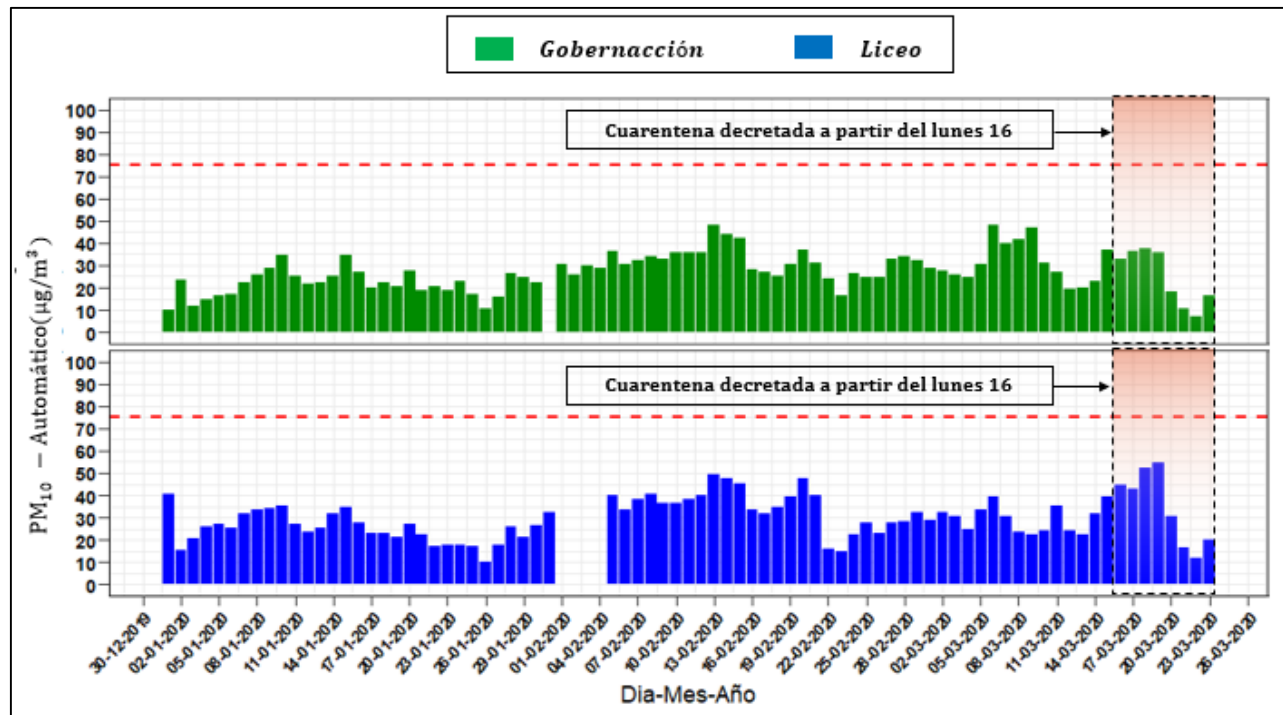
\*\* Correspondiente al promedio comprendido entre las 6 am y 5 pm (periodo de luz solar).

### **3. RESULTADOS MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO: PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> DURANTE EL AÑO 2020**

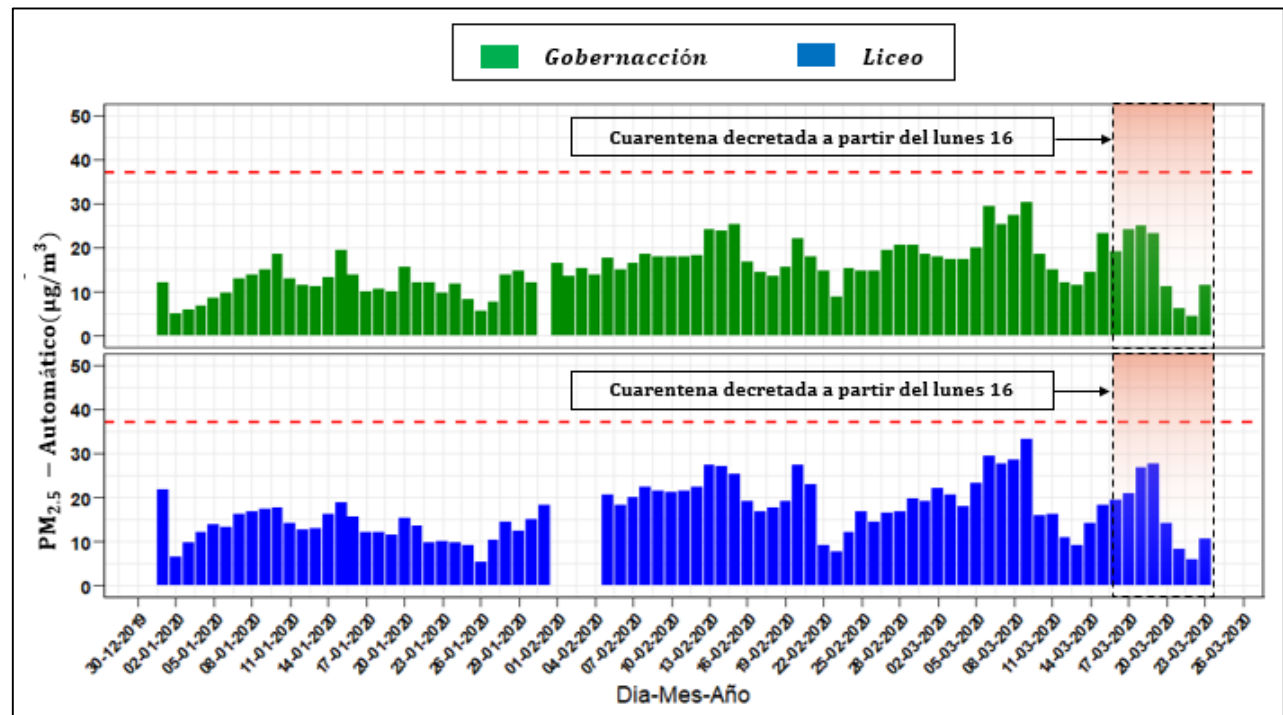
#### **3.1. EQUIPOS AUTOMÁTICOS PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>: ANÁLISIS DE PROMEDIOS Y COMPORTAMIENTO EN LA CIUDAD.**

La Figura 2 presenta el comportamiento temporal de las concentraciones de los equipos automáticos (promedio diario) durante lo corrido del año 2020 para las estaciones Gobernación y Liceo, se destaca allí el período de las medidas restrictivas tomadas por las autoridades para enfrentar el COVID-19 que iniciaron el lunes 16 de marzo con restricciones de movilidad nocturna y se modificaron a toques de queda obligatorios a partir del viernes 20 de marzo. Se identifica inicialmente que las medidas nocturnas de restricción no tuvieron un impacto significativo en las concentraciones obtenidas, no obstante, a partir de la medida de cuarentena obligatoria (20, 21, 22 y 23 de marzo) las concentraciones se redujeron notablemente con porcentajes cercanos al 50%.

En la Tabla 3 y Tabla 4 se presentan los estadísticos descriptivos comparativos de los contaminantes en ambas estaciones durante el período de análisis, donde se observa que durante todo el año 2020 los promedios de gobernación PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se encuentran alrededor de los 27.1 µg/m<sup>3</sup> y 15.5 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, una vez comenzaron las medidas nocturnas de restricción, este promedio no presentó una mejora significativa, mientras que para el período donde se dio inicio a la cuarentena obligatoria estos promedios disminuyeron en un 55% y 51% para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> respectivamente. Para el caso de la estación Liceo el promedio anual acumulado se encuentra alrededor de los 30.2 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> y 17.1 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub> observándose una disminución del 41% y 50% respectivamente debido a las medidas tomadas para afrontar el COVID-19.



(a)



(b)

Figura 2. Evolución temporal de concentraciones diarias de los equipos  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  - Automáticos durante el año 2020 en el SVCA de Manizales. (a)  $PM_{10}$  (b)  $PM_{2.5}$ . La línea punteada roja hace referencia a los límites máximos permisibles de promedio diario de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  respectivamente establecidos en la Resolución 2254 de 2017 de MADS:  $75 \mu g/m^3$  para  $PM_{10}$  y  $37 \mu g/m^3$  para  $PM_{2.5}$ .



**Tabla 3. Estadísticos comparativos para la concentración de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) entre los registros del año 2020 y el período de inicio de las medidas contra el COVID-19.**

Datos diarios	Acumulado Año 2020	Mes de Marzo 2020	Restricción de movilidad nocturna a partir del 16 de marzo	Cuarentena obligatoria a partir del 20 de marzo	Porcentaje de variación del período de cuarentena obligatoria sobre el promedio de 2020
<b>GOBERNACIÓN</b>					
<b>Promedio</b>	<b>27.1</b>	<b>29.1</b>	<b>24.8</b>	<b>12.4</b>	↓ 55 %
Desv. Est.	8.9	10.7	12.7	4.3	
Min.	7.3	7.3	7.3	7.3	
Max.	47.8	36.9	35.9	17.1	
N° de días	83	23	8	4	
<b>LICEO</b>					
<b>Promedio</b>	<b>30.2</b>	<b>31.3</b>	<b>34.3</b>	<b>17.8</b>	↓ 41 %
Desv. Est.	9.7	10.3	16.6	4.4	
Min.	10	12.2	12.2	12.2	
Max.	54.6	54.6	54.6	22.3	
N° de días	30	23	8	4	

**Tabla 4. Estadísticos comparativos para la concentración de PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) entre los registros del año 2020 y el período de inicio de las medidas contra el COVID-19.**

Datos diarios	Acumulado Año 2020	Mes de Marzo 2020	Restricción de movilidad nocturna a partir del 16 de marzo	Cuarentena obligatoria a partir del 20 de marzo	Porcentaje de variación del período de cuarentena obligatoria sobre el promedio de 2020
<b>GOBERNACIÓN</b>					
<b>Promedio</b>	<b>15.5</b>	<b>18.4</b>	<b>15.6</b>	<b>7.6</b>	↓ 51 %
Desv. Est.	5.6	6.9	8.3	3.3	
Min.	4.4	4.4	4.4	4.4	
Max.	30.1	25	25	12	
N° de días	83	23	8	4	

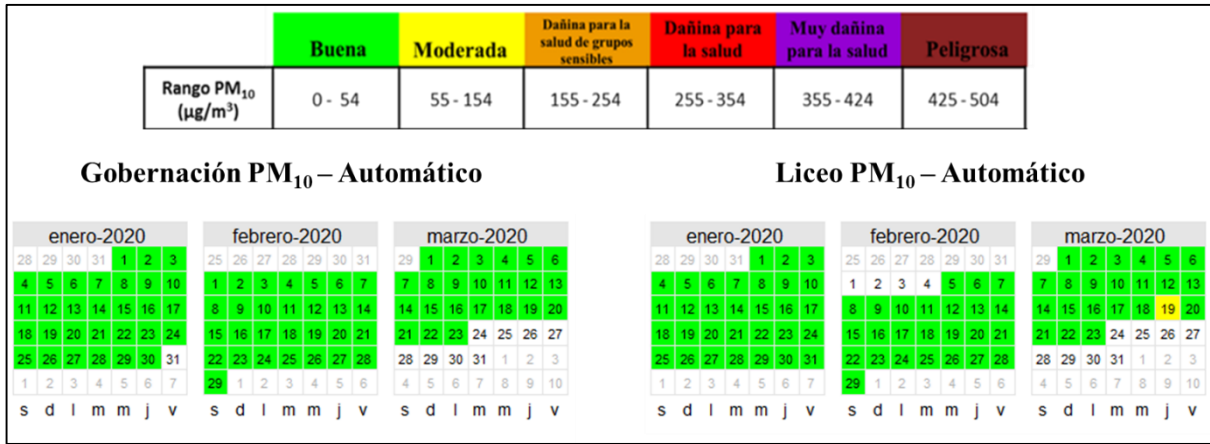


Datos diarios	Acumulado Año 2020	Mes de Marzo 2020	Restricción de movilidad nocturna a partir del 16 de marzo	Cuarentena obligatoria a partir del 20 de marzo	Porcentaje de variación del periodo de cuarentena obligatoria sobre el promedio de 2020
<i>LICEO</i>					
Promedio	17.1	19.2	16.7	8.6	↓ 50 %
Desv. Est.	6.1	7.3	8.3	2.1	
Min.	5.5	5.8	5.8	5.8	
Max.	33.3	27.6	27.6	10.8	
N° de días	30	23	8	4	

### 3.1. EQUIPOS AUTOMÁTICOS: INDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>

La Figura 3 presenta los índices de calidad del aire (ICA) obtenidos en las estaciones de monitoreo de PM – Automático. El ICA representa mediante un indicador de color, el estado de la calidad del aire de acuerdo con la concentración de material particulado y su posible afectación a la salud. Para el cálculo de este indicador (ICA) se utiliza la metodología propuesta por la resolución 2254 de 2017 (capítulo IV artículo 18 al 21) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS 2017).

Se destaca que la calidad del aire se clasificó como buena en la mayoría de las estaciones de PM<sub>10</sub>, con un atípico con calidad moderada en la estación Liceo el día 19 de marzo. De otra parte, para el caso de PM<sub>2.5</sub> en ambas estaciones se tuvo un promedio del 70% de calidad del aire en estado moderado, al ser una fracción del PM más pequeña posee mayor afectación a salud humana, se destaca la importancia de continuar con medidas que permitan identificar escenarios de riesgo para la ciudadanía. De igual manera se identifica el aporte al mejoramiento de la calidad del aire en material particulado PM<sub>2.5</sub> por las medidas de restricción para enfrentar el COVID-19, las cuales iniciaron desde el lunes 16 de marzo cuando se decretó toque de queda nocturno y posteriormente cuarentena total (24 horas) la cual inició desde el sábado 21 de marzo, generando como resultado una calidad del aire buena para los primeros tres días (entre el 21 y 23 de marzo) de la cuarentena total obligatoria.



(a)



(b)

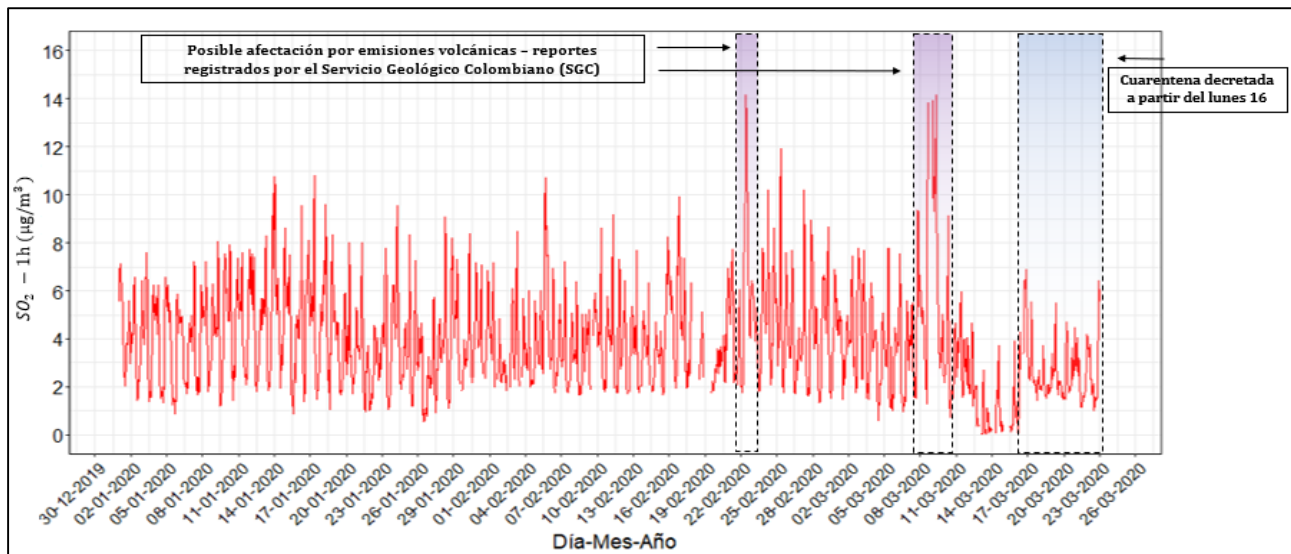
**Figura 3. Índice de Calidad del Aire (ICA) para (a) PM<sub>10</sub> – Automático (b) PM<sub>2.5</sub> – Automático en las estaciones Gobernación y Liceo durante el año 2020. Basado en la resolución 2254 de 2017 de MADS.**

## 4. RESULTADOS MONITOREO DE GASES

### 4.1. MONITOREO DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

La Figura 4 muestra la evolución de concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> durante lo corrido del año 2020, se destaca allí el periodo de las medidas restrictivas tomadas por las autoridades para enfrentar el COVID-19 que iniciaron el lunes 16 de marzo con restricciones de movilidad nocturna y se modificaron a toques de queda diarios a partir del viernes 20 de marzo. En la Tabla 5 se presentan los estadísticos descriptivos para tener un comparativo durante el periodo de análisis. Se observa que las concentraciones horarias promedio para todo el año 2020 se encuentran alrededor de los de 3.9 µg/m<sup>3</sup>, observándose que para los días donde comenzó la restricción de movilidad el promedio fue de 2.6 µg/m<sup>3</sup> reflejando una disminución correspondiente al 36 %, posiblemente debido a las medidas restrictivas de movilidad en la ciudad para afrontar el COVID-19. Se destaca que en ningún caso la concentración de SO<sub>2</sub> superaron el límite máximo establecido en la normativa colombiana (100 µg/m<sup>3</sup> para 1 hora).

Finalmente, gracias al apoyo de los registros reportados por el servicio geológico colombiano (SGC) a través de sus boletines semanales acerca de la actividad relacionada con el volcán nevado del Ruiz ubicado a 28 km al sureste de la ciudad, ver sección 5.1, se identificó un posible aumento de las concentraciones máximas horarias registradas para SO<sub>2</sub> durante dos días del año en los meses de febrero y marzo relacionados directamente a la altura de la columna de gases volcánicos observados por el SGC, particularmente cuando ésta superó los 1200 metros de altura desde la boca del volcán y la dirección del viento predominante se dirigió hacia el occidente y noroccidente.



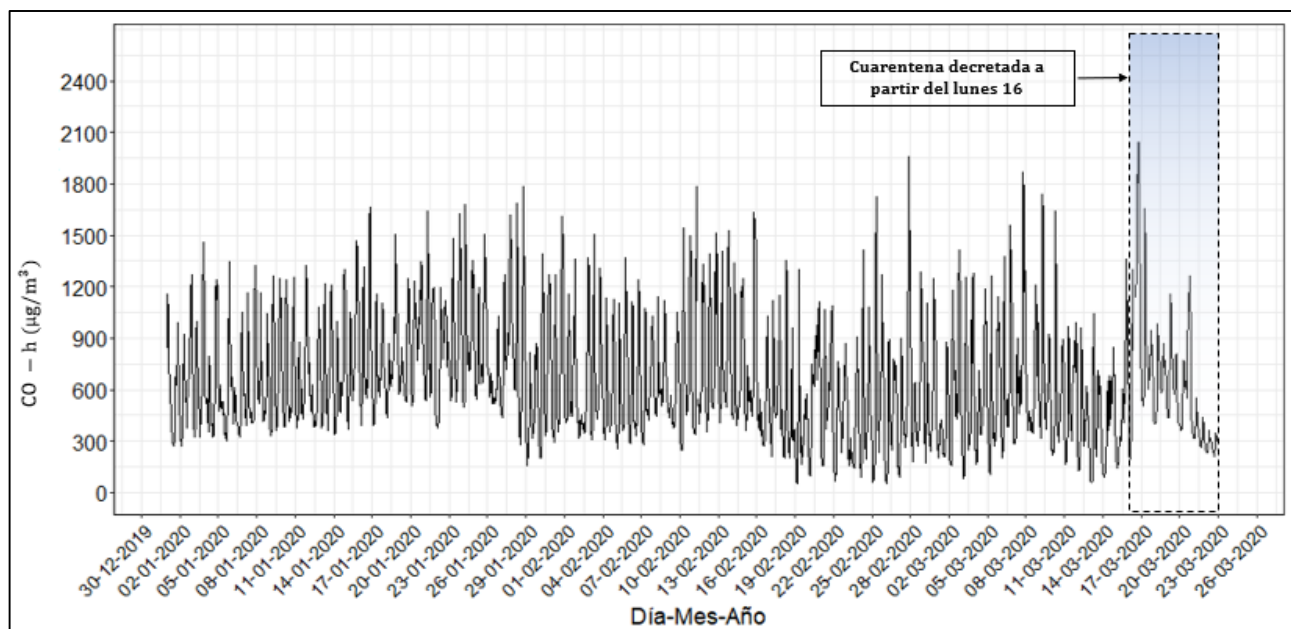
**Figura 4. Variación de concentración promedio horario de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) durante lo corrido del mes de marzo. El nivel máximo permisible horario de la Resolución 2254 de 2017 (100 µg/m<sup>3</sup>) no fue superado en ningún día.**

**Tabla 5. Estadísticos comparativos para la concentración de SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) entre los registros del año 2020 y el período de inicio de las medidas contra el COVID-19.**

Datos horarios	Acumulado Año 2020	Mes de Marzo 2020	Restricción de movilidad nocturna a partir del 16 de marzo	Cuarentena obligatoria a partir del 20 de marzo	Porcentaje de variación del período de cuarentena obligatoria sobre el promedio de 2020
Promedio	3.9	4.1	2.6	2.5	<span style="color: green;">↓</span> 36 %
Desv. Est.	2.5	3.6	1.2	1.2	
Min.	0.026	0.026	0.1	0.9	
Max.	14.5	14.5	6.8	6.4	
N° de días	1869	503	165	49	

#### 4.2. MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

La Figura 5 muestra los resultados del monitoreo de CO durante lo corrido del año 2020, se destaca allí el período de las medidas restrictivas tomadas por las autoridades para enfrentar el COVID-19 que iniciaron el lunes 16 de marzo con restricciones de movilidad nocturna y se modificaron a toques de queda diarios a partir del viernes 20 de marzo. En la Tabla 6 se presentan los estadísticos descriptivos comparativos durante el período de análisis. Se observa que las concentraciones horarias promedio para todo el año 2020 se encuentran alrededor de los de  $645.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no se observó un cambio significativo debido a la restricción nocturna, mientras que a partir de la cuarentena obligatoria el promedio se encontró alrededor de los  $312.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  reflejando una disminución del 52%. Se resalta que la concentración de CO, tanto horaria como octohoraria no ha superado el límite máximo establecido en la Resolución 2254 de 2017 ( $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para promedio de ocho (8) horas y  $35000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para promedio horario).



**Figura 5. Variación de concentración promedio horario de monóxido de carbono (CO) durante lo corrido del mes de marzo. El nivel máximo permisible horario de la Resolución 2254 de 2017 ( $35000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no fue superado en ningún día.**

Tabla 6. Estadísticos comparativos para la concentración de CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre los registros del año 2020 y el período de inicio de las medidas contra el COVID-19.

Datos horarios	Acumulado Año 2020	Mes de Marzo 2020	Restricción de movilidad nocturna a partir del 16 de marzo	Cuarentena obligatoria a partir del 20 de marzo	Porcentaje de variación del período de cuarentena obligatoria sobre el promedio de 2020
Promedio	645.1	575	618	312.6	↓ 52 %
Desv. Est.	336.8	345.7	366.3	70.8	
Min.	49.8	57	196.7	213.8	
Max.	2044.4	2044	2044	552	
N° de datos	1962	525	165	49	

### 4.3. ÍNDICES DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA SO<sub>2</sub> Y CO

La Figura 6 presenta los índices de calidad del aire (ICA) obtenidos en las estaciones de monitoreo de CO, SO<sub>2</sub>. Para el cálculo de este indicador (ICA) tanto en CO y SO<sub>2</sub> se utiliza la metodología propuesta por la resolución 2254 de 2017 (capítulo IV artículo 18 al 21) del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (MADS 2017). Se destaca que la calidad del aire se clasificó como buena durante todo el período analizado para todos los contaminantes.

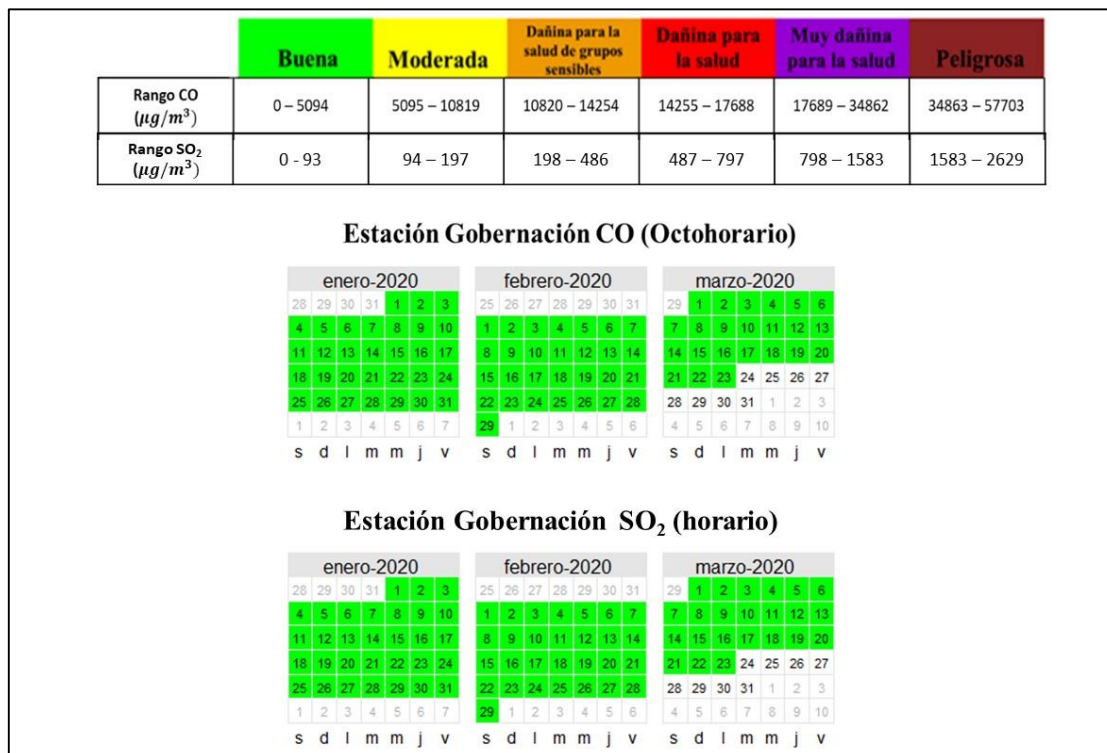


Figura 6. Índice de calidad del aire (ICA) para CO y SO<sub>2</sub> en Manizales durante el año 2020. Basado en la resolución 2254 de MADS.



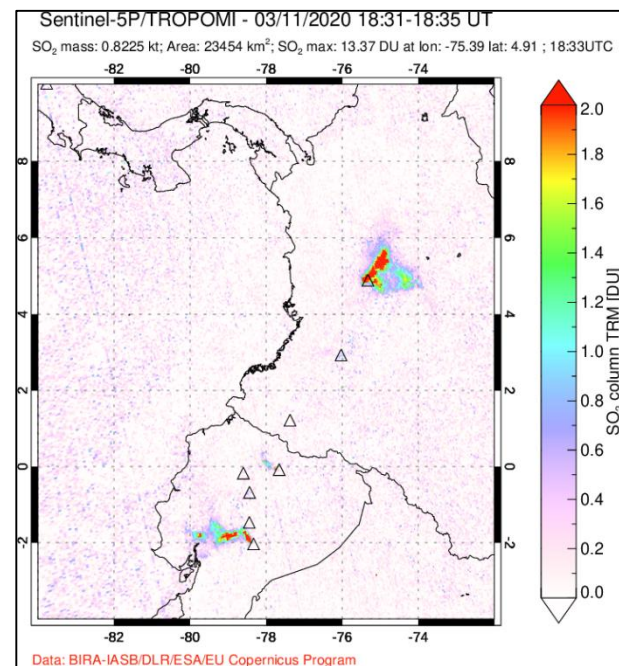
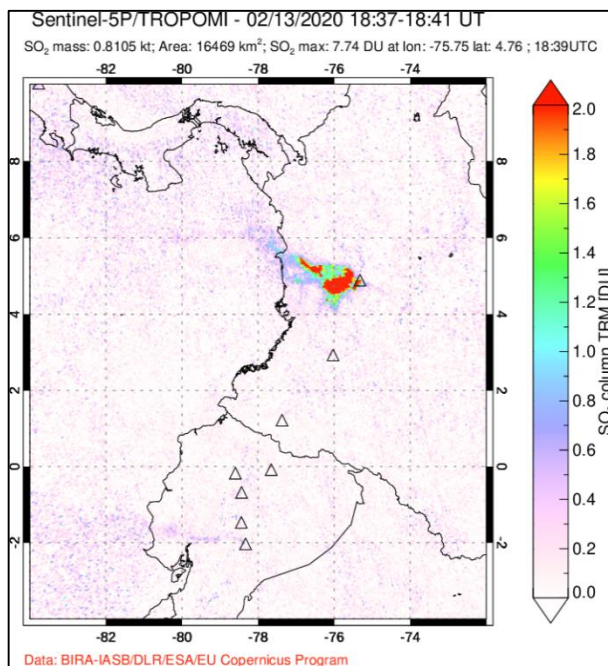
## 5. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

### 5.1. EMISIONES VOLCÁNICAS

Durante lo corrido del año 2020 se realizó además un seguimiento de los diferentes reportes semanales que son generados por el servicio geológico colombiano (SGC) a través de su plataforma en línea, permitiendo confirmar algunos días con actividad y emisión asociadas a ceniza volcánica y SO<sub>2</sub> en la atmósfera por parte de esta fuente puntual natural. En la Tabla 7 se presenta un resumen con algunos de los días que tuvieron alturas en la columna de gases significativos (superiores a los 1200 metros), de éstos el 90% de los días reportados presentaron predominancia de vientos hacia el noroccidente, ubicación de Manizales, generando una posible afectación a la contaminación atmosférica por esta fuente en la ciudad. De manera alternativa se presentan dos ejemplos de las imágenes tomadas por el satélite "Sentinel 5P/TROPOMI" en la Figura 7 para los días 13 de febrero y 11 de marzo del 2020, donde se observa el comportamiento de la pluma del volcán y altas concentraciones de SO<sub>2</sub>.

**Tabla 7. Resumen de emisiones volcánicas significativas durante el 2020.**

Fecha	Altura de la columna de gases (m)	Predominancia del viento
30/01/2020	1619	Occidente - Noroccidente
9/02/2020	1370	Occidente - Noroccidente
13/02/2020	1950	Occidente - Noroccidente
20/02/2020	1450	Occidente - Noroccidente
29/02/2020	1450	Occidente - Noroccidente
9/03/2020	1943	Suroccidente - Noroccidente
11/03/2020	2000	Noroccidente - Occidente



**Figura 7. Ejemplos: Emisiones de SO<sub>2</sub> registradas por el satélite TROPOMI. Izquierda: Día viernes 02/13/2020. Derecha: Día martes 03/11/2020**

## 6. REFERENCIAS

- Carslaw, D.C. y Ropkins K., 2015. The openair manual – open source tools for analysing air pollution data. Manual for version 1.1-4. King’s college London.
- 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.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2013. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá, D.C., Colombia.
- Nasa, 2018. *Global sulfur dioxide monitoring home page. Fuente en línea: [consultado el 02/03/2020]. Imágenes satelitales tomada de: <https://so2.gsfc.nasa.gov/>*
- Servicio geológico colombiano (SGC), 2020. Boletín semanal de actividad del volcán Nevado del Ruiz. Manizales, Caldas. Dirección de geoamenazas.