

MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DURANTE JORNADA DEL DÍA SIN CARRO Y MOTO EN MANIZALES - ABRIL 19 DE 2018

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental CORPOCALDAS.

Carlos Mario González Duque^a, Camilo Zapata Mora^a, Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga^a, Mauricio Velasco García^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

Departamento de Ingeniería Química.

^b Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas.

1. RESUMEN

Se presentan en este informe los resultados del monitoreo de contaminantes atmosféricos realizado en Manizales durante el día sin carro y moto llevado a cabo el 19 de abril de 2018. Se realizó el seguimiento de material particulado, PM₁₀, y los gases ozono troposférico (O₃) y monóxido de carbono (CO). Se muestran las gráficas resumen obtenidas y tablas de estadísticos básicos (promedio, mínimo, máximo y desviación estándar), comparando los resultados durante la jornada del 19 de abril y aquellos obtenidos en los días previos del año 2018. Asimismo, se comparan los resultados con los promedios históricos de cada estación de monitoreo.

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

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 SVCA conformado por 6 equipos para el monitoreo de material particulado (5 de PM₁₀, 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 SO₂, O₃ 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.

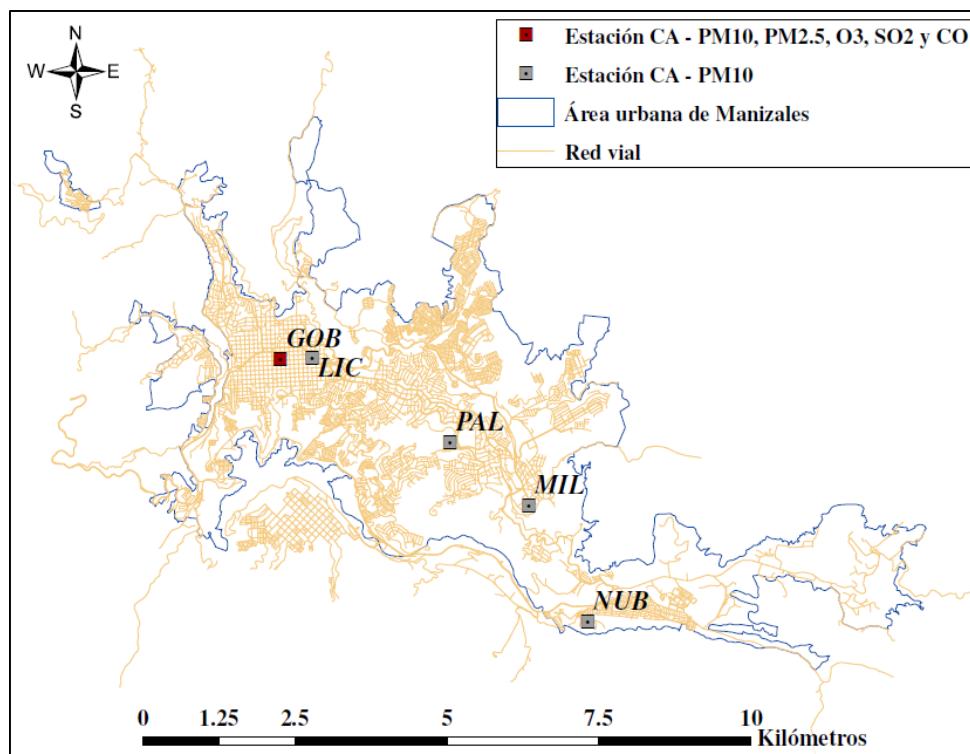


Figura 1. Ubicación de las estaciones de calidad del aire en la ciudad de Manizales

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 ₁₀		2009		
Gobernación - PM _{2.5}		2009		
Gobernación - SO ₂	CU, SC – MTV, PAI	2014	N 5° 4' 6.53" W 75° 31' 1.54"	2125
Gobernación - O ₃		2014		
Gobernación – CO		2018		
Palogrande - PM ₁₀	ZC, SR - ATV, SAI	2009	N 5° 3' 22.4" W 75° 29' 31.3"	2154
La Nubia - PM ₁₀	ZSE, SR - BTV, AZI	2009	N 5° 1' 47.0" W 75° 28' 18"	2091
Liceo - PM ₁₀	CU, SC - ATV, PAI	2000	N 5° 4' 5.01" W 75° 30' 37.58"	2156
Milán - PM ₁₀	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 (PM₁₀ 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) realizado actualmente en la estación automática de calidad del aire Gobernación (GOB), permite la obtención de registros cinco minutales. A partir de los registros 5 minutales 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, mediante la Resolución 2254 de 2017 (MADS, 2017).

Para el presente informe, se muestran únicamente resultados obtenidos para PM_{10} y los gases O_3 y CO. Durante la semana del 16 al 20 de abril se presentaron inconvenientes técnicos relacionados con el equipo de $PM_{2.5}$. Asimismo, el equipo de SO_2 se encuentra en un proceso de calibración y trazabilidad, por ende no se analizaron los registros de este contaminante.

3. RESULTADOS MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO, PM_{10}

ANÁLISIS DE PROMEDIOS DIARIOS PARA EL AÑO 2018

Un primer análisis de la distribución temporal de concentración promedio diaria de PM_{10} , que se muestra en la Figura 2, indica que los registros obtenidos durante el día sin carro no presentan una disminución aparente. A primera vista se nota que las concentraciones de PM_{10} del día sin carro (resaltadas en la Figura 2 con la barra sombreada) se encuentran en niveles similares a los registros previos de la última semana.

Este análisis es soportado por los resultados de la Tabla 2, donde se realiza una comparación de la concentración diaria de PM_{10} obtenida durante el día sin carro y moto, con las concentraciones promedio entre enero 1 y abril 18 de 2018. La mayoría de estaciones de monitoreo presentaron un incremento en las concentraciones al comparar ambos escenarios: concentración promedio del día sin carro y promedio total de registros para los que va de lo corrido del año. Solo en la estación Nubia se obtuvo una reducción del 4% con respecto al promedio del año 2018 estimado en $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (desv. estándar = $6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los mayores incrementos se registraron en las estaciones con influencia alta y media de tráfico vehicular, como lo son Milán y Gobernación. En Gobernación, se obtuvo el 19 de abril una concentración promedio diaria de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor superior en un 44% en comparación con el promedio registrado en lo que va del año 2018. La segunda estación de mayor incremento, Milán, registró una concentración promedio diaria de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 19 de abril, valor superior a los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio registrados durante el presente año, lo que equivale a un aumento del 27%.

Como soporte adicional, se presentan en la Figura 3 las fotografías de los filtros con PM_{10} obtenidos en las estaciones de Liceo y Gobernación, donde se aprecia claramente que no existe un cambio en la coloración en la masa recolectada. Un color oscuro intenso en los filtros es un indicio del efecto de los procesos de combustión y el hollín generado, asociado a procesos como la combustión incompleta de los motores de combustión interna que utilizan diésel como combustible. Los resultados obtenidos son coherentes teniendo en cuenta que las restricciones al servicio público se levantaron durante la jornada del día sin carro, asimismo, los vehículos oficiales siguieron circulando por la ciudad. Una gran mayoría de los vehículos que estuvieron en circulación se caracterizan por el uso de diésel. Como lo indica el inventario de emisiones atmosféricas estimado en Manizales para el año base 2014, las mayores contribuciones a las emisiones de PM_{10} en la ciudad son los buses de servicio público y vehículos pesados, con aportes del 47% (362 ton/año) y 25% (192 ton/año) respectivamente al total de emisiones de PM_{10} producto de la actividad de la flota vehicular en la ciudad (González y colaboradores, 2017). En este sentido, es de esperarse que la reducción de la concentración de partículas de PM_{10} en aire ambiente sea mínima, ya que los principales aportantes a dichas concentraciones no salieron de circulación durante la jornada del día sin carro y moto.

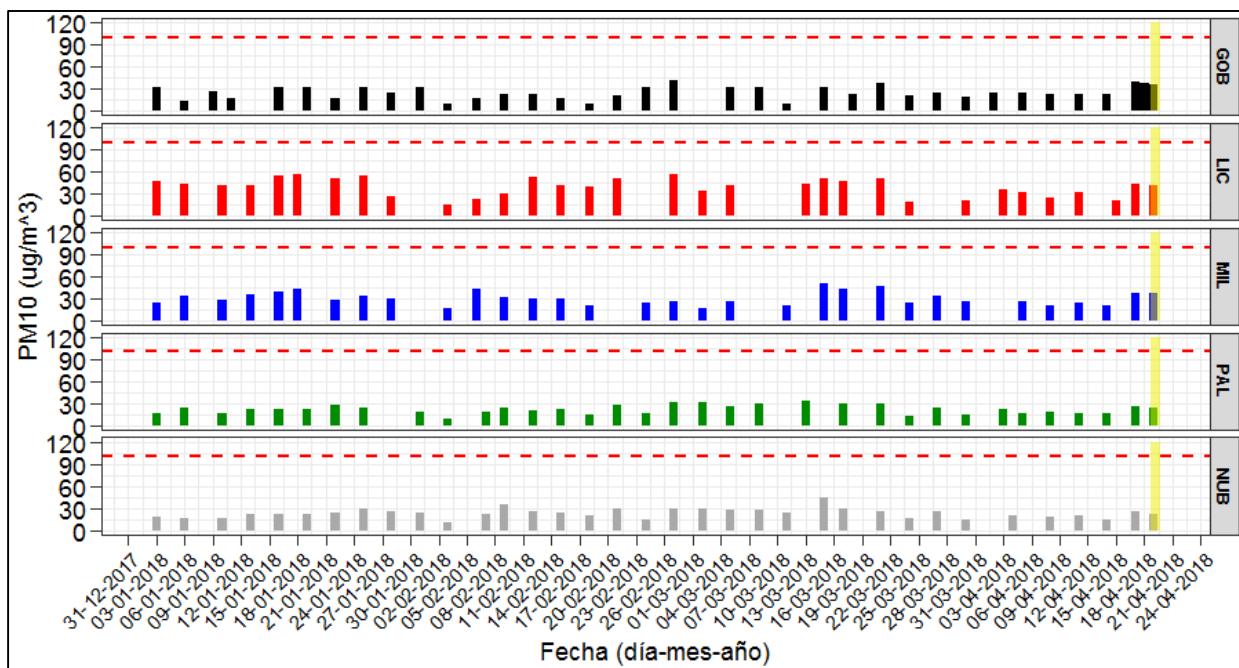


Figura 2. Distribución temporal de concentraciones de PM₁₀ diario durante el año 2018, obtenidas en el SVCA de Manizales. La línea punteada roja hace referencia al límite máximo promedio diario de PM₁₀ establecido en la Resolución 2254 de 2017.

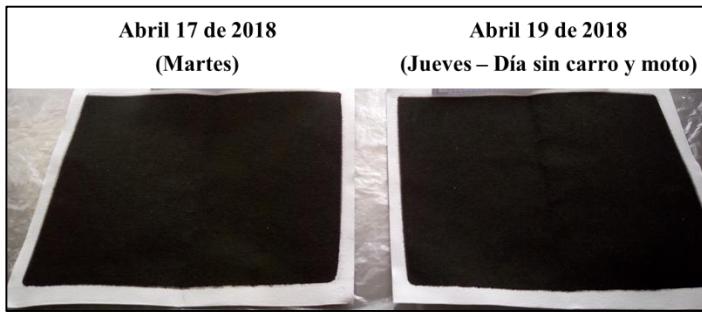
Tabla 2. Estadísticos descriptivos para concentraciones promedio de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitoreado en Manizales durante el año 2018 y comparación con promedio del día sin carro y moto.

Estadístico*	Concentración media obtenida durante el año 2018 (enero 1 – abril 18)	Promedio día sin carro y moto (abril 19)	Porcentaje de variación del día sin carro sobre el promedio de 2018
GOBERNACIÓN			
Promedio aritmético (n = 35)**	25	36	
Desv. Estándar	8.5		↑ 44%
Rango (min. - máx)	9 – 41		
LICEO			
Promedio aritmético (n = 31)**	39	42	
Desv. Estándar	12.4		↑ 8%
Rango (min. - máx)	15 – 57		
MILÁN			
Promedio aritmético (n = 31)**	30	38	
Desv. Estándar	8.6		↑ 27%
Rango (min. - máx)	17 – 50		
PALOGRANDE			
Promedio aritmético (n = 33)**	22	24	
Desv. Estándar	6.2		↑ 9%
Rango (min. - máx)	8 – 34		

Estadístico*	Concentración media obtenida durante el año 2018 (enero 1 – abril 18)	Promedio día sin carro y moto (abril 19)	Porcentaje de variación del día sin carro sobre el promedio de 2018
NUBIA			
Promedio aritmético (n = 34)**	23	22	
Desv. Estándar	6.8		↓ 4%
Rango (min. - máx)	11 – 45		

*Estadísticos calculados a partir de los registros de concentración promedio diarios

** n: Número de datos



(a)



(b)

Figura 3. Imágenes de los filtros con PM₁₀ recolectados durante la semana del 16 al 19 de abril de 2018.
a) Estación Liceo. b) Estación Gobernación

COMPARACIÓN CON LOS REGISTROS HISTÓRICOS POR ESTACIÓN

Se realizó un ejercicio adicional para comparar las concentraciones obtenidas durante el día sin carro y moto, con los registros promedio anuales históricos por estación. En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos. En las estaciones GOB, LIC, MIL y PAL, las concentraciones del día sin carro están por encima de los registros promedio anuales registrados durante los últimos años (2014 en adelante).

Es importante resaltar que tanto los registros promedio diario (ver Figura 2) como los registros promedio anual presentados en la Figura 4, no se encuentran por encima de los límites normativos colombianos (100 µg/m³ y 50 µg/m³ respectivamente) establecidos en la Resolución 2254 de 2017 del MADS. Sumado a lo anterior, al comparar los valores de concentración de PM₁₀ durante la jornada del día sin carro, con las recomendaciones expuestas por la Organización Mundial de la Salud, OMS, para límite promedio diario de PM₁₀ (establecido en 50 µg/m³), se puede sugerir que ninguna estación superó dicho límite recomendado. No obstante, la recomendación de la OMS para promedio anual

de PM₁₀, establecida en 20 µg/m³, es superada por todas las estaciones de monitoreo en sus registros históricos anuales (incluyendo el promedio de concentración de lo que va corrido del 2018).

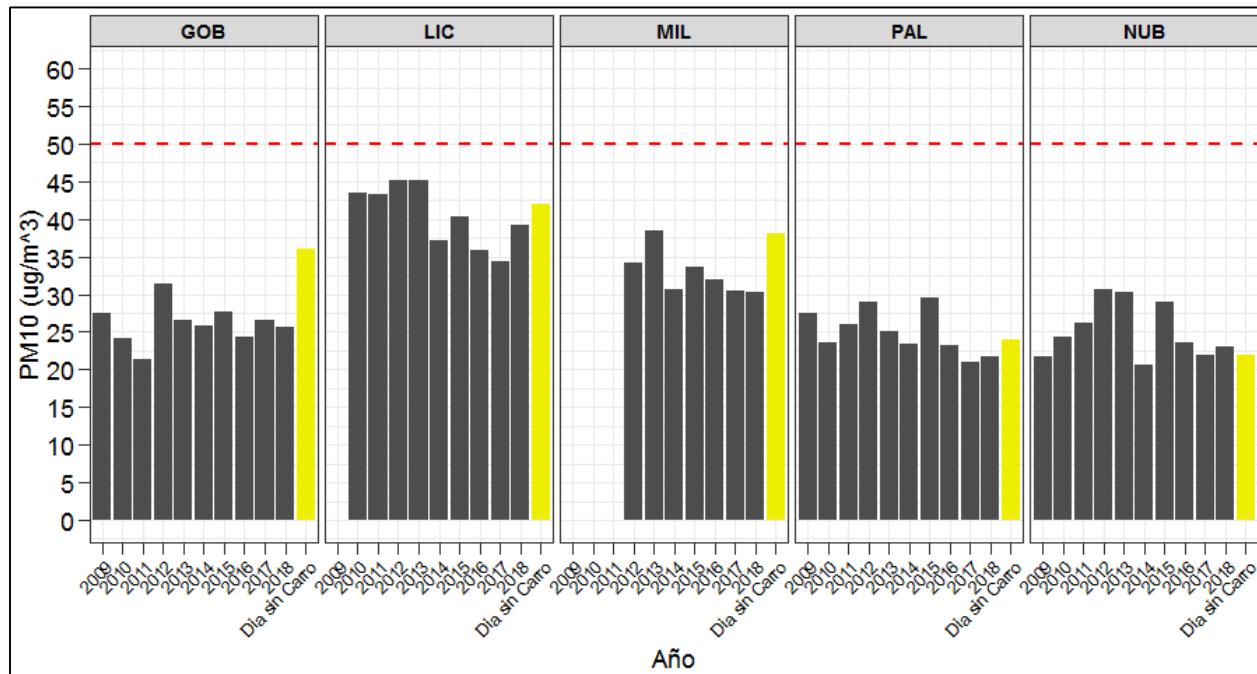


Figura 4. Distribución temporal de concentraciones de PM₁₀ promedio anual obtenidas en el SVCA de Manizales y comparación con el valor de concentración diaria de la jornada del 19 de abril de 2018. La línea punteada roja hace referencia al límite máximo promedio anual de PM₁₀ establecido en la Resolución 2254 de 2017.

Finalmente, teniendo en cuenta que la jornada del día sin carro se llevó a cabo durante un día laboral, se compararon los resultados obtenidos del día sin carro con el promedio histórico acotado para los días hábiles de la semana (entre lunes y viernes). Esta comparación se realizó teniendo en cuenta que el comportamiento de las concentraciones diarias de PM₁₀ en las estaciones de monitoreo del SVCA de Manizales es diferenciado, como se muestra en la Figura 5. En las estaciones LIC, MIL y GOB las diferencias se obtienen principalmente los días domingo, donde se observa un descenso en las concentraciones medias de PM₁₀, además del lunes (específicamente en GOB y LIC), día en el cual se tienen también concentraciones menores, asociadas posiblemente a un remanente de atmósfera limpia que persiste posterior al fin de semana.

De otra parte, en las estaciones PAL y NUB, el descenso en las concentraciones se da durante el fin de semana completo, con los menores registros durante los días domingo. Este comportamiento general del PM₁₀ en la ciudad, sugiere la influencia del tráfico vehicular sobre los niveles de PM₁₀, teniendo en cuenta que los domingos son los días en los cuales se presenta una actividad vehicular reducida, en comparación con los demás días de la semana.

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la comparación de valores promedio de concentración media de PM₁₀ entre días laborales (en el registro histórico de cada estación) y aquella obtenida en la jornada del día sin carro y moto. Se muestra como las estaciones que tienen una mayor influencia de tráfico vehicular circundante presentaron incrementos de concentración durante el día sin carro (caso estaciones GOB y MIL), o permanecieron en un nivel equivalente al promedio que se registra en días laborales (caso estación LIC). De otra parte, las estaciones con una influencia media (PAL) y baja (NUB) de tráfico vehicular, servicio público y pesado principalmente, presentaron reducciones en la concentración de PM₁₀ durante el día sin carro, siendo la estación NUB la de mayor reducción con

un 15% menos de concentración de partículas al comparar el día sin carro con el promedio de la estación en días laborales.

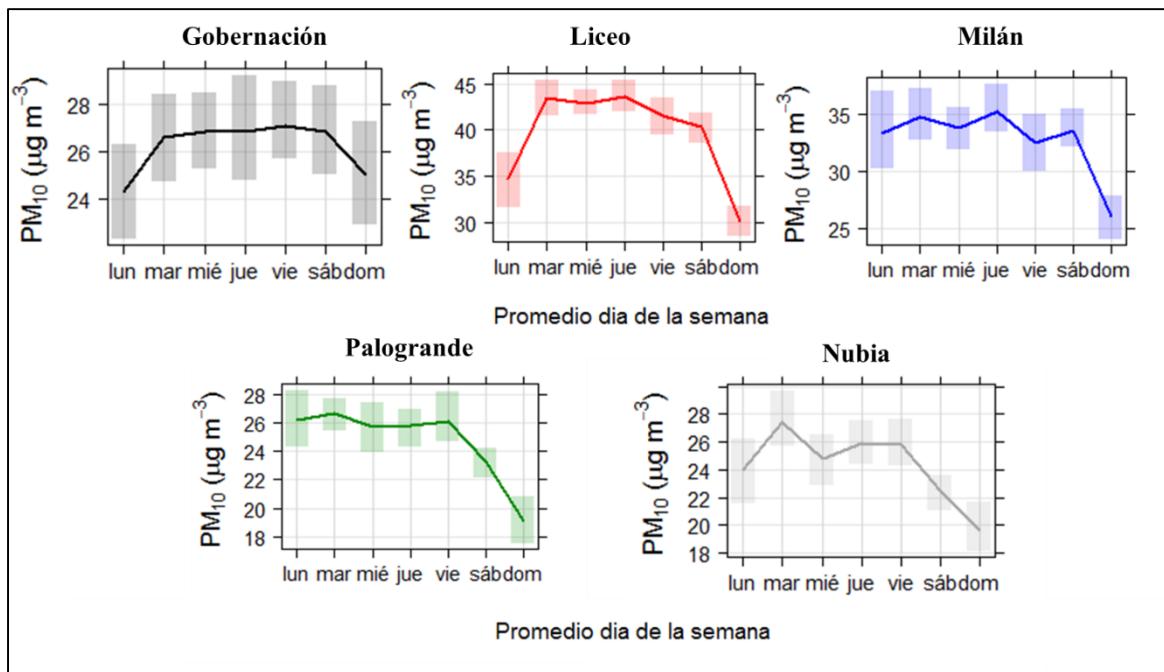


Figura 5. Variación de concentraciones de PM₁₀ promedio diario según los días de semana para las estaciones de monitoreo del SVCA de Manizales, a partir de los registros históricos en cada estación. La barra sombreada indica la variación sobre el promedio con una confianza del 95%

Tabla 3. Estadísticos descriptivos para concentraciones promedio de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitoreado en Manizales para el histórico de días laborales (lunes a viernes) y comparación con promedio del día sin carro y moto.

Estadístico*	Concentración media obtenida durante días laborales (lunes a viernes)**	Promedio día sin carro y moto (jueves abril 19)	Porcentaje de variación del día sin carro sobre el promedio de todos los días laborales (lunes a viernes) entre enero de 2009 y abril de 2018
GOBERNACIÓN			
Promedio aritmético (n = 618)***	26	36	
Desv. Estándar	11.2		↑ 38%
Rango (min. - máx)	3 – 102		
LICEO			
Promedio aritmético (n = 477)***	42	42	
Desv. Estándar	10.5		↔ 0%
Rango (min. - máx)	11 – 77		
MILÁN			
Promedio aritmético (n = 317)***	34	38	
Desv. Estándar	9.6		
Rango (min. - máx)	9 – 88		↑ 12%

Estadístico*	Concentración media obtenida durante días laborales (lunes a viernes)**	Promedio día sin carro y moto (jueves abril 19)	Porcentaje de variación del día sin carro sobre el promedio de todos los días laborales (lunes a viernes) entre enero de 2009 y abril de 2018
PALOGRANDE			
Promedio aritmético (n = 357)***	26	24	
Desv. Estándar	7.1		↓ 8%
Rango (min. - máx)	10 – 49		
NUBIA			
Promedio aritmético (n = 319)***	26	22	
Desv. Estándar	7.8		↓ 15%
Rango (min. - máx)	7 – 55		

* Estadísticos calculados a partir de los registros de concentración promedio diarios.

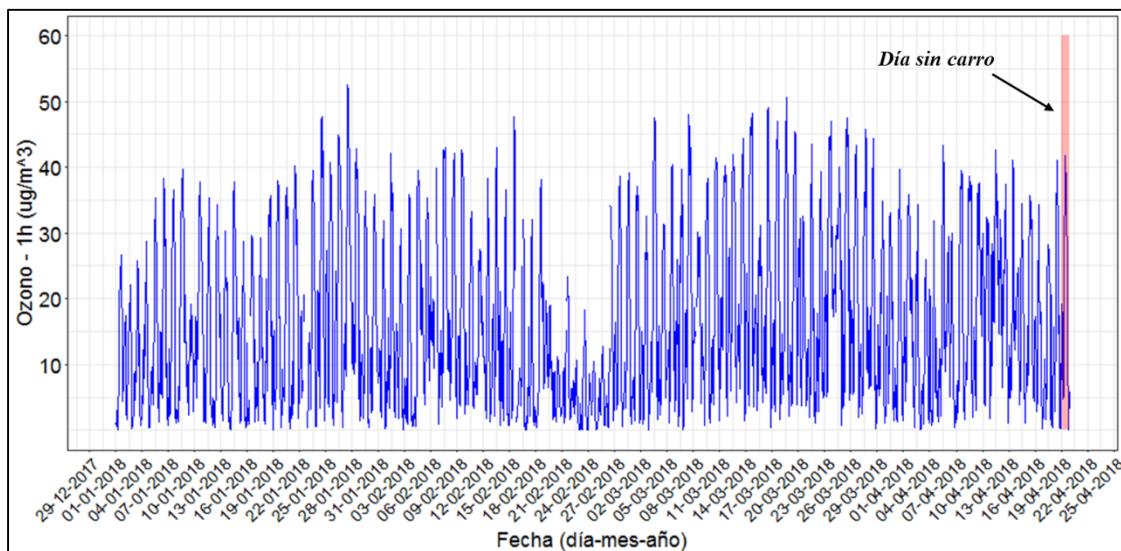
** A partir de los datos históricos de cada estación de monitoreo.

*** n: Número de datos.

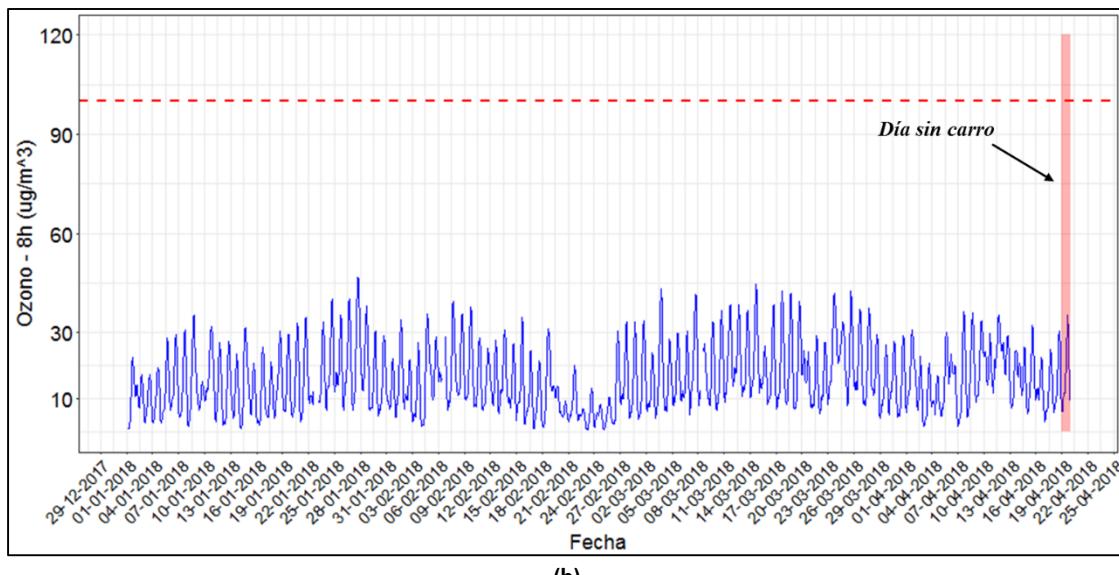
4. RESULTADOS MONITOREO DE GASES

MONITOREO DE OZONO TROPOSFÉRICO, O₃

La Figura 6 muestra los resultados del monitoreo de O₃ durante el año 2018. Se muestran los registros de concentración de O₃ horario (Figura 6a) y octohorario (Figura 6b). Los resultados obtenidos para el día sin carro y moto se resaltan en la barra sombreada roja. Inicialmente se destaca que la concentración de O₃ octohoraria no ha superado el límite promedio máximo de 8 horas de 100 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017.



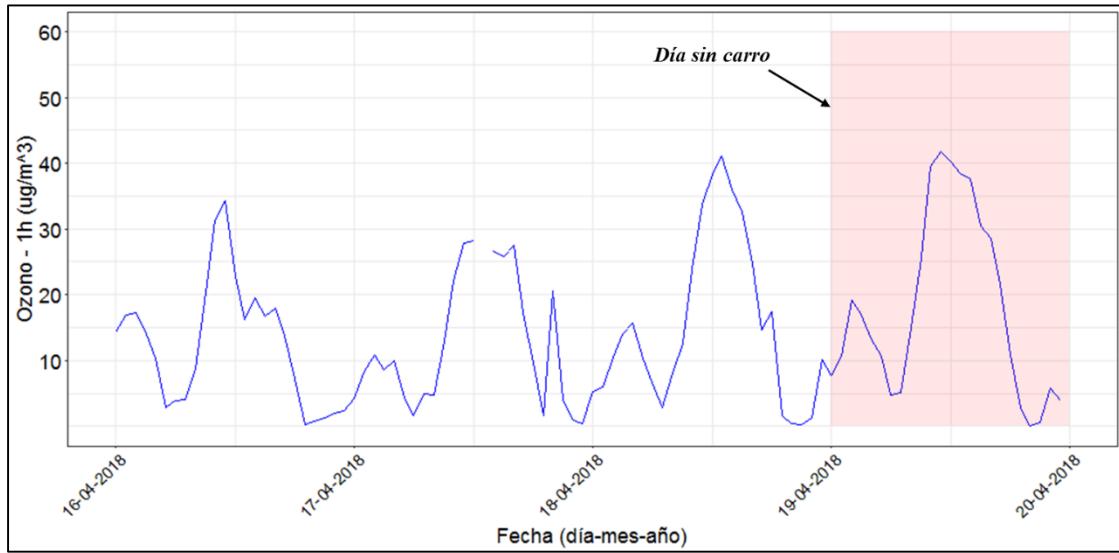
(a)



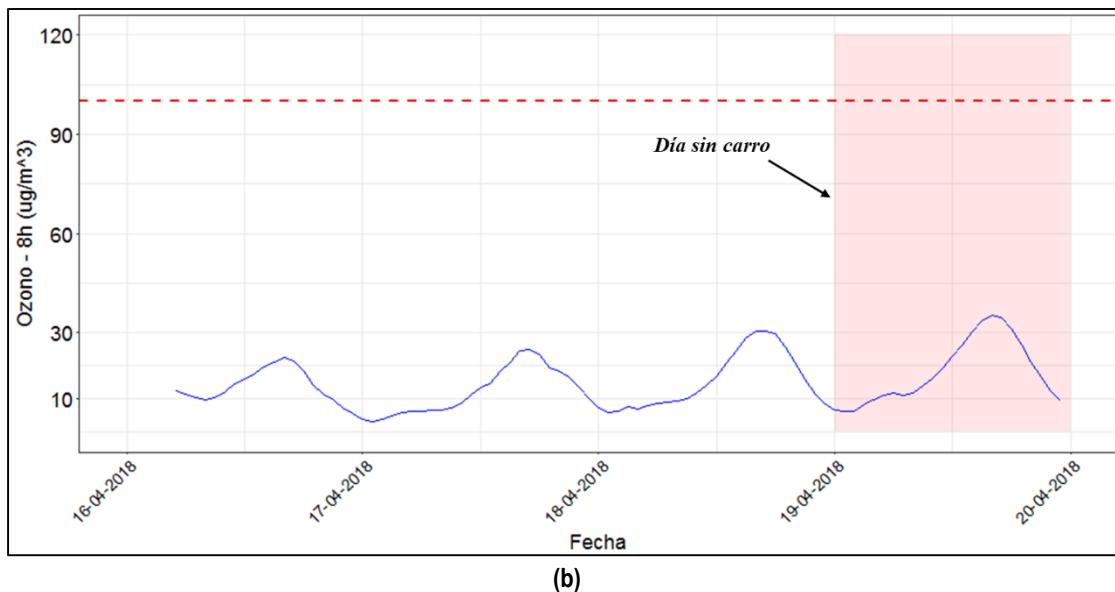
(b)

Figura 6. Variación de concentración de ozono troposférico obtenida durante el año 2018 en la estación GOB. a) Promedio horario. b) Promedio octohorario. La línea punteada roja representa el límite máximo permisible establecido en la Res. 2254 de 2017.

En la Figura 7 se muestran los resultados acotados a la semana del 16 al 20 de abril de 2018. Esta gráfica permite ver con mayor detalle posibles diferencias obtenidas durante el día sin carro y moto (abril 19) y las concentraciones obtenidas durante la semana previa a este día.



(a)



(b)

Figura 7. Variación de concentración de ozono troposférico obtenida durante la semana del 16 al 20 de abril del año 2018 en la estación GOB. a) Promedio horario. b) Promedio octohorario. La línea punteada roja representa el límite máximo permisible establecido en la Res. 2254 de 2017.

Los resultados presentados en la Figura 7 muestran que las concentraciones de O_3 no tienen una disminución durante la jornada del día sin carro y moto. Estos resultados son soportados por los estadísticos descriptivos presentados en la Tabla 4, donde se compara la estadística básica del día 19 de abril con aquella obtenida para lo corrido del año 2018.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos para concentraciones de O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitoreado en Manizales

Estadístico*	Monitoreo durante el año 2018 (enero 1 – abril 18)	Día sin carro y moto (abril 19)
Promedio aritmético	16.07	17.95
Desv. Estándar	12.47	14.0
Rango (min. - máx)	0.0 – 52.58	0.05 – 41.72

*Estadísticos calculados a partir de los registros de concentración horarios

MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO, CO

La Figura 8 muestra los resultados del monitoreo de CO durante el año 2018. Se muestran los registros de concentración de CO horario (Figura 8a) y octohorario (Figura 8b). El monitoreo de CO comenzó el día 11 de abril de 2018 en la estación GOB. Los resultados obtenidos para el día sin carro se resaltan en la barra sombreada roja. Inicialmente se resalta que la concentración de CO, tanto horaria como octohoraria, no ha superado el límite promedio máximo establecido en la Resolución 2254 de 2017 (5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para promedio horario y 35000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para promedio de 8 horas).

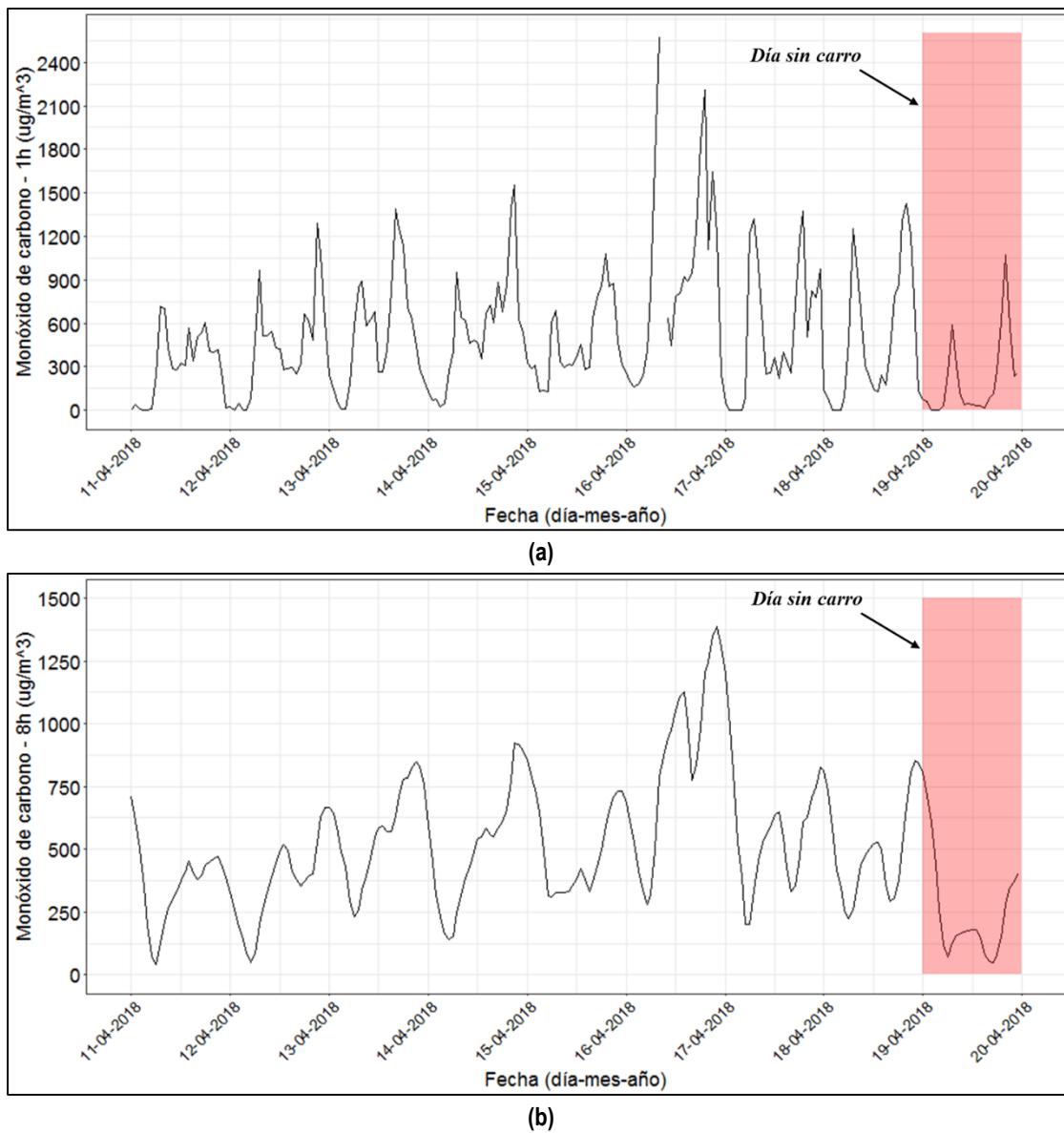


Figura 8. Variación de concentración de monóxido de carbono obtenida durante el año 2018 en la estación GOB.
a) Promedio horario. b) Promedio octohorario.

Los resultados presentados en la Figura 8 muestran que las concentraciones de CO tuvieron una disminución aparente durante la jornada del día sin carro. Al analizar los estadísticos descriptivos presentados en la Tabla 5, donde se compara la estadística básica del día 19 de abril con aquella obtenida para lo corrido del año 2018, se puede concluir de forma preliminar que la concentración de CO presentó una disminución durante la jornada del 19 de abril. Esto se evidencia en la variación en el promedio aritmético obtenido el 19 de abril de 203 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, inferior al promedio del total de datos con un valor de 543 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para concentraciones de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitoreado en Manizales.

Estadístico*	Monitoreo durante el año 2018 (abril 11 – abril 18)	Día sin carro y moto (abril 19)
Promedio aritmético	543.3	203.3

Estadístico*	Monitoreo durante el año 2018 (abril 11 – abril 18)	Día sin carro y moto (abril 19)
Desv. Estándar	446.7	264.9
Rango (min. - máx)	0 – 2571.8	0 – 1068.9

*Estadísticos calculados a partir de los registros de concentración horarios

Para analizar de forma específica la influencia del día sin carro y moto durante las 13.5 horas de la restricción vehicular (06:00am a 07:30pm), se estimaron nuevamente los estadísticos descriptivos asociados a este intervalo de tiempo, tanto para el día sin carro y moto como para los días previos de monitoreo de CO. La Tabla 6 presenta los resultados obtenidos. Se observa como el promedio de concentración en aire ambiente de CO para las 13.5 horas descritas, pasa de 669.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los días sin restricción (entre abril 11 y 18 de 2018), a 183.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la jornada del 19 de abril. Esto representaría una reducción del 73% en la concentración de este contaminante. Este resultado es coherente ya que los vehículos a gasolina (principalmente motos y vehículo particular) son aportantes de cantidades importantes de CO a la atmósfera. Este aspecto quedó demostrado en el más reciente inventario de emisiones atmosféricas realizado en la ciudad para el año base 2014 (González y colaboradores, 2017), donde se estimó una contribución de 37444 ton/año de CO asociado a vehículos particulares y motos, lo que representa un aporte del 86% de la emisión de CO en toda la flota vehicular registrada a 2014 en Manizales.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para concentraciones de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) monitoreado en Manizales, asociado a las 13.5 horas de restricción vehicular de la jornada del 19 de abril (entre las 06:00am y 07:30pm).

Estadístico*	Monitoreo durante el año 2018 (abril 11 – abril 18)	Día sin carro y moto (abril 19)
Promedio aritmético	669.6	183.6
Desv. Estándar	413.3	279.1
Rango (min. - máx)	132.6 – 2571.8	17.39 – 611.0

*Estadísticos calculados a partir de los registros de concentración horarios

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El monitoreo de contaminantes atmosféricos (PM_{10} , O_3 y CO) durante la jornada del día sin carro y moto en la ciudad de Manizales, permitió evidenciar que:

1. Los niveles de PM_{10} en la ciudad no sufrieron un descenso, a pesar de la restricción de circulación de vehículos particulares y motos. Lo anterior debido a la influencia que existe por parte de los vehículos de servicio público y pesados en la emisión de este contaminante, principalmente aquellos que utilizan combustible diésel.
2. Los mayores incrementos en la concentración de PM_{10} durante la jornada del día sin carro (al comparar con el promedio de lo corrido del año 2018), se obtuvieron en aquellas estaciones con influencia vehicular como es el caso de Gobernación y Milán, estaciones que registraron incrementos del 44% y 27% respectivamente. En Liceo, la estación que reporta las concentraciones más altas en la ciudad, se tuvo un incremento del 8%.
3. La principal reducción en contaminación atmosférica se obtuvo para el contaminante monóxido de carbono (CO), para el cual se alcanzó una reducción del 73% en concentración de CO en aire ambiente, al analizar las 13.5 horas de duración de la jornada del día sin carro y moto, y su comparación con los registros de días previos del mes de abril. Este resultado es coherente teniendo en cuenta que las categorías de vehículo particular y moto aportan el 86% de la emisión de CO en la flota vehicular de Manizales, de acuerdo con los estimados del inventario de emisiones para el año base 2014.

4. En términos de la concentración de ozono troposférico, este se mantuvo estable sin variaciones durante la jornada de día sin carro y sin moto.

Es importante destacar que la jornada de día sin carro y moto implementada el día 19 de abril de 2018 en Manizales, permite crear conciencia acerca del uso de otros medios de transporte, como la bicicleta, además de otros beneficios para la ciudadanía como la reducción de los niveles de ruido ambiental por efecto del tráfico vehicular, reducción en los índices de accidentalidad y reducción en multas por comparendos de tránsito. Sin embargo, desde el punto de vista de contaminación ambiental, la restricción de vehículos particulares y motos es insuficiente para generar una reducción de los niveles de contaminación, principalmente en lo que tiene que ver con material particulado, PM₁₀. Se recomienda entonces evaluar otras estrategias tales como:

- Además de la restricción de vehículos particulares y motos, evaluar la implementación de la restricción de circulación a un porcentaje (50% por ejemplo) de la flota de servicio público y vehículos oficiales pesados; principalmente aquellos que utilizan diésel como combustible.
- Una medida que puede ser compleja en su implementación, pero que permitiría analizar la influencia de vehículos a diésel en la contaminación por PM₁₀ en la ciudad, podría ser el establecimiento de un día cívico donde se restrinja todo tipo de vehículo que utilice diésel y/o gasolina. Este tipo de jornada podría realizarse durante un fin de semana (domingo por ejemplo), para evitar mayores impactos sobre el comercio y demás actividades económicas de la ciudad que dependan del transporte.

6. REFERENCIAS

González, C.M., Gómez, C.D., Rojas, N.Y., Acevedo, H., Aristizábal, B.H., 2017. Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city. *Atmospheric Environment* 152, 279-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.048>.

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.