

Estimación de la exposición personal a material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), plomo y manganeso en la ciclovía ubicada en Cra 7 desde la Cll 106 hasta las Cll 32, en Bogotá D.C durante el año 2022.

Casallas Arévalo Meylan Dayana, Córdoba Castillo José Andrés
Universidad Santo Tomas
Facultad de Ingeniería Ambiental
Bogotá, D.C
2022

Resumen

El estudio determinó los niveles de material particulado fino y grueso, plomo y manganeso en la ciclovía de la Cra 7 entre la Cll 32 y 106 de Bogotá D.C. para así realizar una aproximación de la calidad del aire del área. Se emplearon los equipos Airbeam y una Bomba GilAir-3 durante 12 días con un promedio de 2 horas diarias de muestreo. Se identificó mediante el Airbeam que solo un domingo de los cinco estudiados registró valores máximos por segundo de 679 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀ y PM_{2.5} respectivamente; el día martes se registraron concentraciones máximas por segundo de 207,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 113,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los viernes valores máximos por segundo de 148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto a las concentraciones obtenidas con la Bomba GilAir-3 varían de 45,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 47,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los días domingos y los días entre semana con cifras que van desde 65,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 212,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; estos comportamientos son causados por el alto flujo vehicular de la zona. Por lo tanto, conocer la calidad del aire en la ciclovía es importante dada la masiva afluencia de transeúntes que recorren estas calles para llegar a sus casas, lugares de trabajo y estudio. En cuanto al manganeso, se registró un valor de $1,23 \times 10^{-9} \mu\text{g}/\text{m}^3$ siendo una concentración muy baja respecto al tiempo de exposición; para el plomo no se observaron valores en las muestras. Finalmente, se caracterizó el riesgo cancerígeno, con lo que se infiere que la posibilidad de que los usuarios presenten algún riesgo de padecer esta enfermedad debido a la presencia de manganeso es muy baja.

Palabras clave: calidad del aire, contaminación atmosférica, cicloruta, salud pública.

Abstract

The study determined the levels of fine and coarse particulate matter, lead and manganese in the bicycle lane of Cra7 between 32nd and 106th streets in Bogotá D.C. in order to make an approximation of the area's air quality. Airbeam equipment and a GilAir-3 pump were used for 12 days with an average of 2 hours of sampling per day. It was identified through the Airbeam that only one Sunday of the five studied registered maximum values per second of 679 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 292 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM₁₀ and PM_{2.5} respectively; on Tuesday maximum concentrations per second of 207,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 113,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ were registered and on Fridays maximum values per second of 148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ were registered. As for the concentrations obtained with the GilAir-3 Pump vary from 45,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 47,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on Sundays and weekdays with figures ranging from 65,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to 212,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; these behaviors are caused by the high vehicular flow in the area. Therefore, knowing the air quality in the ciclovía is important given the massive

influx of pedestrians who travel these streets to reach their homes, places of work and study. As for manganese, a value of $1,23 \times 10^{-9} \mu\text{g}/\text{m}^3$ was recorded, which is a very low concentration in relation to the exposure time; for lead, no values were observed in the samples. Finally, the carcinogenic risk was characterized, inferring that the possibility of users presenting a risk of suffering from this disease due to the presence of manganese is very low.

keywords Air quality, atmospheric pollution, bike path, public health.

1. Introducción

Colombia se posiciona a nivel mundial en el puesto 72 de los países con mayor contaminación atmosférica, esta clasificación se realiza con base en los valores de concentración de PM_{2.5} media anual; a pesar de ubicarse en los últimos lugares para el año 2021, sus valores sobrepasan de 2 a 3 veces el máximo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1]. La polución del aire se considera un reto para la salud pública y el medio ambiente, por lo que, en aras de conocer y mejorar la calidad de aire que se respira, la nación implementó los inventarios de emisiones, los cuales tienen como objetivo la identificación y cuantificación de las mismas, una vez se determinan los datos se puede proceder en la toma de decisiones y a la implementación de medidas correctivas [2].

En los últimos años estas mediciones han reflejado que el material particulado es emitido mayormente por la quema de combustibles fósiles, siendo el producto del progresivo crecimiento de las ciudades. Según los reportes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para el periodo comprendido entre el 2011 al 2015, Bogotá D.C. y Medellín son las ciudades con el nivel más alto de contaminación del aire, debido a la congestión vehicular que provoca el abundante parque automotor y las condiciones topográficas, respectivamente [3]. En el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, se estima, que en la capital del país aproximadamente el 61% de las partículas PM₁₀ son generadas por las fuentes móviles y el 39% restante por fuentes fijas en lo que concierne al año 2017 [4]. Respecto a los metales pesados que se encuentran en el aire, generalmente se presentan en bajas concentraciones, pero poseen una alta persistencia; según la dosis y los niveles de exposición es posible identificar los peligros que pueden generar tanto a la salud humana como a los recursos naturales, siendo una relación directamente proporcional; estos contaminantes tóxicos provienen de fuentes móviles, comerciales e industriales [5]. A grandes rasgos, existe un gran número de compuestos que son nocivos para la calidad del aire, pero en esta investigación se trae a colación el manganeso (Mn) y el plomo (Pb); la exposición a estas sustancias podría ser más común de lo que se cree, el primero de estos suele ser usado principalmente en manufacturas, como la metalurgia, refinación del combustible, y las industrias farmacéuticas. Adicionalmente, también puede ser generado por la actividad vehicular [6], el Mn puede incorporarse al cuerpo de tres maneras: inhalación, ingestión y contacto con la piel, donde un ejemplo claro de un alto nivel de exposición son las personas que fuman tabaco [7]. En lo que concierne al plomo en el aire, es el resultado del tratamiento al hierro y acero, la fundición de bronce y latón, la fabricación de baterías de plomo, el uso de

pinturas y recubrimientos que contienen esta sustancia, así como la quema de desechos; sus vías de acceso son las mencionadas anteriormente con el Manganeseo [8].

Dentro de los principales ejes viales de Bogotá D.C. se encuentra la carrera séptima, la cual cuenta con una longitud de alrededor 21,6 km desde la calle 26 hasta la calle 235. La Secretaria Distrital de Planeación para el año 2017 reportó que el volumen vehicular en etapas de máxima demanda es de 2.800 Veh/h/sentido, donde el 90% corresponde a automotores particulares [9] En esta vía, existe de forma alterna una cicloruta, construida con el fin de contribuir a la cohesión social; el área brinda un apoyo a la movilidad sostenible, además, una sección de los carriles que la conforman se convierte en un espacio de esparcimiento los días domingos, a nivel cultural y de actividad física. Esta vía es de las más transitadas por la población, con un flujo aproximado de 1.500.000 usuarios por jornada los cuales se movilizan en las diferentes categorías vehiculares especificadas en el apartado 2.1.2 [10].

Es por ello que, la problemática referente a los riesgos sobre la salud de los transeúntes y su estrecha relación con la calidad medioambiental, ha convertido en un reto el planteamiento de estrategias que logren optimizar la calidad de vida y del entorno, ayudando a promover preguntas problema como: ¿Cuál es la exposición al material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), plomo y manganeso de las personas que utilizan la ciclovía ubicada en Cra 7 desde la Cll 106 hasta las Cll 32?, resaltando la importancia de conocer la calidad del aire de dicha zona, puesto que la población que hace uso constante de este recorrido puede o no padecer afectaciones a la salud. Este posible riesgo a la salud puede ser más severo para poblaciones sensibles o vulnerables, como lo son: ancianos, niños y mujeres en estado de gestación [11].

Por otro lado, la presente investigación, acoge como objeto identificar las concentraciones de la exposición personal al PM₁₀ y PM_{2.5}, plomo y manganeso de usuarios que transitan por la cicloruta localizada en la Cra 7 desde la Cll 106 hasta las Cll 32, de la ciudad de Bogotá, comparando las condiciones obtenidas con las directrices establecidas por la OMS.

2. Metodología

El presente estudio está enmarcado dentro del proyecto de investigación “Estimación de la exposición personal a material particulado menor de 10 micras (PM₁₀) y metales pesados en tres ciclovías de Bogotá durante el año 2022”, perteneciente al Semillero de Salud Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental y financiado bajo la Convocatoria de Estrategia de Formación Ctel 2209 de 2022 de la Dirección Nacional de Investigaciones de la Universidad Santo Tomás sede Bogotá.

Es importante resaltar que, los metales Pb y Mn fueron seleccionados debido a que estudios realizados en la ciudad de Bogotá por el Jardín Botánico, el Inventario de emisiones de la ciudad, el inventario de Bogotá Región Calidad del Aire y estudios realizados por diferentes academias, indican que contaminantes criterio como el material particulado y el Pb, junto con metales pesados como el Mn, se relacionan con las emisiones elevadas producidas por los diferentes medios de transporte de la ciudad.

Con respecto al equipo y análisis empleado, se tuvo en consideración los elementos disponibles en la universidad como lo son el Airbeam y el kit de montaje de ciclón, incluso gracias al financiamiento bajo la convocatoria mencionada anteriormente, fue posible llevar los filtros a la Universidad de la Salle para el análisis de espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), técnica avanzada y de alta precisión.

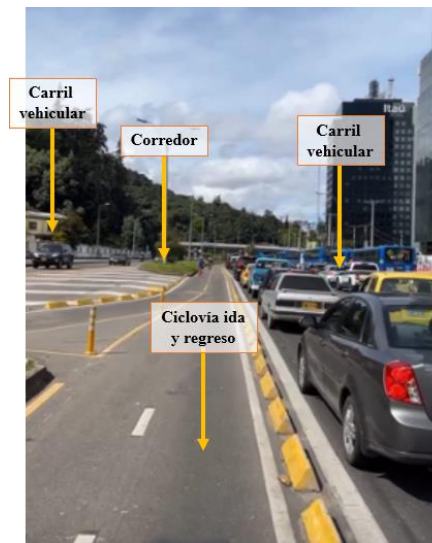
Con respecto al diseño del proyecto, se dividió en tres fases: en la fase I, se recorrió la cicloruta ubicada de la ciudad de Bogotá D.C, en la Cra 7, entre la Cll 106 y la Cll 32, empleando una bicicleta y una patineta eléctrica, durante 12 días (excepto el primer día (martes) el cual se realizó trotando), distribuidos entre los meses de junio a septiembre. Adicionalmente, se utilizaron los equipos Airbeam 2 y la bomba GilAir-3 de medición de material particulado (PM). Luego, en la fase II, al haber realizado la totalidad de los monitoreos, los filtros fueron llevados al Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC); seguido a esto, los datos suministrados por el Airbeam fueron sometidos a análisis estadísticos y, por último, en la fase III se analizó si existe o no un riesgo cancerígeno frente a la exposición a manganeso y plomo. Sin embargo, cabe resaltar que la información mencionada anteriormente se ampliará en los siguientes apartados:

2.1. Descripción del Trayecto

La carrera séptima fue elegida como zona de estudio debido a que históricamente ha sido uno de los ejes viales más transitados y con mayor contaminación atmosférica, presentando una concentración de material particulado hasta de $49,65 \text{ m}^3/\text{seg}$ [12]. Adicionalmente, el tramo de estudio fue seleccionado por conveniencia, ya que se tuvo en cuenta la distancia donde residían los autores, uno de ellos cerca al portal norte y el otro cerca al centro comercial Salitre Plaza, tomando como “punto medio” esta cicloruta.

El recorrido abarcó 16,6 Km ida y vuelta, realizando desplazamientos en la cicloruta de doble sentido localizada en la Cra 7 desde la Cll 106 hasta la Cll 32; esta posee elementos de segregación fija sobre el asfalto que le permite diferenciar claramente los carriles asignados tanto para los ciclistas como para los vehículos automotores. En la Fotografía 1 se observa la cicloruta, los carriles vehiculares en la izquierda y a la derecha de la misma, incluso existe un corredor en el que durante el trayecto es posible encontrar árboles y estructuras que pueden actuar como barrera en la medición de los parámetros.

Fotografía 1. Cicloruta Cra 7 con Cll 106



Cabe resaltar que, los días hábiles (de lunes a sábado) ambas vías están habilitadas y la afluencia vehicular es constante, mientras que, los domingos para dar paso a la cicloruta, se restringe el tránsito de automotores en el carril que va sentido norte-sur, reduciendo de este modo la exposición personal a emisiones producidas por medios de transporte que implementan combustibles fósiles en su funcionamiento (Fotografía 2).

Fotografía 2. Cicloruta Cra 7 con Cll 85.



2.1.1. Tipo de fuente

La principal fuente de emisión de contaminación en la zona son las fuentes móviles, conformadas por tipologías vehiculares que emplean en su funcionamiento combustibles fósiles (gasolina y diésel), capaces de generar Material Particulado (MP), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Óxidos de nitrógeno (NOx), Monóxido de carbono (CO) y Dióxido de azufre (SO₂), siendo estos los causantes de más del 60% de la contaminación del aire en el mundo [13].

2.1.2. Tipologías vehiculares

En el trayecto predominan zonas residenciales, comerciales y oficinas, por las cuales transitan medios de transporte clasificados en la siguiente tabla de tipologías vehiculares establecida en la Res 5443 de 2009, por el Ministerio de Transporte:

Tabla 1. Tipologías vehiculares de la Cra 7.

Denom	Nombre	Definición
L1	Motocicleta	Vehículo de dos ruedas, cuya cilindrada del motor no exceda 50 m3, y el medio de propulsión alcance una velocidad inferior a 50 km/h.
L1	Motocarros	Vehículo de tres ruedas, cuya cilindrada del motor no exceda los 50 cm3, y cualquiera que sea el medio de propulsión con una velocidad máxima inferior a 50 Km/h.
L3	Motocicleta	Vehículo de dos ruedas, cuya cilindrada del motor no exceda 50 m3, y el medio de propulsión alcance una velocidad superior a 50 km/h.
L4	Mototriciclo	Vehículo de tres ruedas asimétricas, cuya cilindrada del motor no exceda los 50 cm3, y cualquiera que sea el medio de propulsión con una velocidad máxima inferior a 50 Km/h.
	Automóvil	Vehículo automotor destinado al transporte de no más de cinco (5) pasajeros.
M1	Camioneta	Vehículo destinado para el transporte de pasajeros y/o carga con capacidad de no más de nueve (9) personas o hasta 5 (cinco) toneladas de peso bruto.
	Campero	Vehículo automotor con tracción en todas sus ruedas, con capacidad hasta de nueve (9) pasajeros o tres cuartos (3/4) de tonelada.
M2	Microbús	Vehículo destinado al transporte de personas con capacidad de 10 a 19 pasajeros.
M2 clase B	Microbús	Microbús de aplicación para el servicio especial de pasajeros (incluye escolar empresarial y de turismo) y/o carretera.
	Buseta	Vehículo automotor destinado al transporte de personas y sus equipajes, con capacidad de 20 a 30 pasajeros y distancia entre ejes inferiores a 4 metros.
M3	bus	Vehículo automotor destinado al transporte de personas y sus equipajes, debidamente registrado conforme a las normas y características especiales vigentes con capacidad de más de 30 pasajeros.
Ambulancia	Ambulancia	Vehículo destinado para el transporte de pasajeros tipo de carrocería ambulancia.
N2	Camión	Vehículo automotor que por su tamaño y destinación se usa para transportar carga, con peso bruto vehicular superior a cinco (5) toneladas.
N3	Volqueta	Automotor destinado principalmente al transporte de materiales de construcción, provisto de una caja que se puede vaciar por giro transversal o vertical sobre uno o más ejes.

Fuente. [14].

2.2. Equipos e insumos

En la Tabla 2 se describen los equipos e insumos implementados en el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Descripción de equipos e insumos

Nombre	Descripción
Airbeam 2	Equipo capaz de suministrar por segundo la medición de partículas finas (PM1, PM2.5 y PM10), temperatura y humedad relativa, donde al pasar el aire a través de una cámara de detección la luz láser dispersa las partículas en la corriente de aire, mientras que las mediciones resultantes son recopiladas en la aplicación de Android AirCasting [15].
Airbeam	Equipo capaz de suministrar por segundo la medición de partículas finas (PM10), temperatura y humedad relativa, donde al pasar el aire a través de una cámara de detección la luz láser dispersa las partículas en la corriente de aire, mientras que las mediciones resultantes son recopiladas en la aplicación de Android AirCasting [15].
Bomba GilAir-3 y kit de montaje de ciclón y soporte del casete Gilian (PN 800061)	La bomba de muestreo personal con flujo volumétrico de 1-3000 cc/min, toma de muestra de material particulado, gases y/o vapores por minuto [16], posee un caudal de 1 a 4 L/min, donde para los monitoreos se implementó un caudal de 3,5 L/min. A demás, el kit utiliza el método centrífugo para separar las partículas de 10 micras y atrapadas en el casete del filtro [17].
Filtros	Papel filtro elaborado a base de microfibras de cuarzo, posee alta pureza y un diámetro de 37mm.
Balanza Analítica	Equipo utilizado en el pesaje de los filtros, el cual ofrece un valor de precisión de 0,1 mg.
Desecador	Es un dispositivo completamente hermético, el cual por medio de agentes desecantes preservó los filtros, ya que estos son sensibles a la humedad.
Pinzas	Las pinzas de plástico fueron utilizadas para manipular los filtros.
Celular	Dispositivo al que se le instaló el aplicativo Android AirCasting, necesario para la recopilación de datos del equipo Airbeam.

Fuente: [15], [16], [17].

2.3. Muestreo

El recorrido se realizó por medio de una bicicleta y una patineta eléctrica. Los días seleccionados fueron 6 domingos y 6 días entre semana (Tabla 3), donde cada uno se conformó por un trayecto de ida y otro de regreso, iniciando a las 9:30 A.M, teniendo en cuenta que se determinó con una duración promedio de 2 horas. Cabe resaltar que tanto los tiempos como el periodo fueron establecidos bajo el proyecto “Estimación de la exposición personal a material particulado menor de 10 micras (PM10), cromo y plomo en tres ciclovías de Bogotá durante 2022”, propuesta por el semillero de Salud Ambiental.

Tabla 3. Días de monitoreo

	Día	Símbolo
	3/07/2022	D1
	10/07/2022	D2
Domingo	17/07/2022	D3
	24/07/2022	D4
	21/08/2022	D5
	4/09/2022	
Lunes	11/07/2022	LN
Martes	28/06/2022	MA
Miércoles	7/09/2022	MI
Jueves	18/08/2022	JV
Viernes	22/07/2022	VR
Sábado	27/08/2022	SB

Los días muestreados fueron seleccionados de forma aleatoria, y se llevaron a cabo en los meses de junio a septiembre. Es importante señalar que, para efectuar una comparación se realizaron los registros la misma cantidad de días hábiles que de domingos, considerando que los domingos disminuye la movilidad de automóviles, para darle paso a las jornadas de la ciclovía.

Para las mediciones gravimétricas de PM₁₀ se empleó una bomba GilAir-3 de medición de material particulado con un caudal de 3,5 l/min; anexo a la bomba se utilizaron 12 filtros previamente acondicionados en un desecador y pesados en una balanza analítica; también se utilizó un Airbeam 2 y Airbeam, ya que el primer Airbeam se averió y fue necesario reemplazarlo; estos equipos recolectaron información de PM_{2.5}, PM₁₀, temperatura y humedad relativa en la aplicación AirCasting.

2.4. Normatividad

A continuación, se establece la normatividad que se contempló en la elaboración del proyecto, considerando que Colombia implementa como límites máximos permisibles para PM₁₀ y PM_{2.5} los sugeridos por la OMS. En relación con el tiempo de exposición para el plomo y el manganeso se consideran los valores máximos a nivel anual (Tabla 4).

Tabla 4. Normativa empleada

Norma/directriz	Contaminante	Nivel máximo permisible
Valores medios diarios de las directrices de la OMS sobre la calidad el aire [18].	Material particulado fino (PM _{2.5})	15 µg/m ³
	Material particulado grueso (PM ₁₀)	45 µg/m ³
Objetivos intermedios para el material particulado concentraciones de 24 horas [19].	OI-1	PM _{2.5} 75 µg/m ³
		PM ₁₀ 150µg/m ³
	OI-2	PM _{2.5} 50 µg/m ³
		PM ₁₀ 100 µg/m ³
	OI-3	PM _{2.5} 37,5 µg/m ³
		PM ₁₀ 75 µg/m ³
	OI-4	PM _{2.5} 25 µg/m ³
		PM ₁₀ 50 µg/m ³
Resolución 2254/2017 [20].	PM _{2.5}	37,5 µg/m ³
	PM ₁₀	75 µg/m ³
	Plomo (Pb)	0,5 µg/m ³ anual
Organización Mundial de la Salud (OMS) [21].	Manganeso (Mn)	0,15 µg/m ³ anual

Fuente. [18], [19], [20], [21]

2.5. Análisis del Airbeam y filtros de la bomba personal GilAir-3

2.5.1. Airbeam

La información suministrada por el Airbeam y registrada en la aplicación AirCasting fue descargada y descomprimida con el fin de realizar el tratamiento de datos en Excel; este consistió en filtrar y eliminar las casillas vacías de cada una de las variables (PM_{2.5}, PM₁₀, temperatura y humedad relativa). Para la temperatura y la humedad se calculó el promedio, la desviación estándar y la varianza; adicionalmente, para el PM_{2.5}, PM₁₀ y la humedad se realizaron gráficos donde se refleja el tramo completo.

Luego, se crearon 12 bases de datos en formato “.dta” que contienen PM₁₀, PM₁₀ ida, PM₁₀ regreso, PM_{2.5}, PM_{2.5} ida, PM_{2.5} regreso, humedad relativa y temperatura. Cabe resaltar que con el cambio de equipo Airbeam solo 8 días tienen información de PM_{2.5}, los restantes no, ya que el equipo es más antiguo y no posee esta variable. Seguido a esto, para cada una de estas bases se aplicaron los siguientes pasos:

- a. Establecer si las series de datos de PM₁₀ presentaban una distribución normal o no normal mediante el uso de la prueba “Skewness/Kurtosis”, donde si la Prob>chi² es menor a 0.05 no es una distribución normal, pero si es mayor a dicho valor, si es una distribución normal.
- b. Verificar la distribución con la instrucción “Shapiro-Wilk”, teniendo en cuenta que si Prob>z es menor a 0.05 no es una distribución normal, pero si es mayor a dicho valor, si es una distribución normal.
- c. Para el PM₁₀ ida y PM₁₀ regreso, si es una distribución normal se implementa la distribución de “Pearson”, si no, se utiliza la distribución de “Spearman”. Estas dos distribuciones establecen si la Prob > |t| es menor a 0.05, existe una correlación entre los dos trayectos, pero si es mayor a dicho valor no existe una correlación entre ellos.
- d. Con la función “sum” para el PM₁₀, temperatura y humedad relativa, es posible extraer una tabla que contiene los segundos, la media, la desviación estándar, el valor mínimo, valor máximo, los percentiles 25, 75, 90, 95 y 99 de cada uno de los parámetros.
- e. Luego, con la información obtenida se realizan tablas generales de los seis domingos y los seis días entre semana, teniendo en cuenta el PM₁₀, PM_{2.5}, temperatura y humedad relativa, de este modo los datos de las variables se ingresan a Stata y con la función “sum” se extrae la misma información del punto anterior. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de variación para cada uno de ellos (Anexos 1 al 8).
- f. Con todas las tablas completas, se procedió a identificar los días en que las mediciones rebasan los valores máximos diarios permisibles establecidos por la OMS y la Res. 2254/17. Asimismo, con el fin de conocer exactamente en qué percentil ocurrió la excedencia se utilizó la función “centile”.
- g. Sin embargo, como la distribución de Spearman solamente permite establecer si las variables poseen o no una correlación y esto no es suficiente a la hora de un análisis estadístico, se empleó la prueba de Wilcoxon, la cual por medio de la diferencia de medias establece si hay o no una diferencia entre los recorridos. Por último, se crearon matrices comparativas entre los trayectos de ida y regreso, entre cinco domingos, entre los domingos y los días entre semana (Anexos 9 al 14).

2.5.2. Análisis de los filtros de la bomba personal GilAir-3

Los doce filtros provenientes de los monitoreos de los días domingos y los días entre semana fueron enviados al laboratorio de la Universidad de la Salle para el respectivo análisis de metales pesados (plomo y manganeso), por medio de espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) o también conocido como ICP-OES (espectrometría de emisión óptica).

Este método es altamente preciso y capaz de determinar de forma cuantitativa la mayoría de los elementos que componen la tabla periódica. La técnica se basa en generar iones (plasma acoplado inductivamente) para luego separarlos y detectarlos por medio de un espectrómetro de masas [22]. Esto inicia cuando al proceso se le incorpora muestra líquida por medio de una bomba hacia un sistema de nebulización, donde forma un aerosol, el cual es transportado usando el gas argón hasta la antorcha de plasma, allí alcanza altas temperaturas ocasionando que los analitos sean atomizados e ionizados, para luego dar paso a los espectros de emisión atómica de líneas características, estos espectros son dispersados gracias a la red de difracción, y que por medio del detector sensible a la luz mide las intensidades de dichas líneas y las clasifica dependiendo la concentración del contaminante [23].

2.5.3. Determinación de las concentraciones de PM10 obtenidas con la bomba personal GilAir

Al recibir los resultados de laboratorio, fue posible establecer que solamente seis de los doce filtros presentaron una diferencia de peso positiva, ya que los demás filtros pesaban menos al final del monitoreo que al inicio. De este modo, para la determinación de la concentración es necesario establecer la diferencia de pesos iniciales y finales, convirtiendo de gramos (gr) a microgramos (μg), luego con el ajuste del caudal del equipo en L/min y el tiempo del recorrido en minutos se calculó el volumen en litros (L) y en metros cúbicos (m^3), seguido a esto, se reemplazó en la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Diferencia de peso } (\mu\text{g})}{\text{volumen } (\text{m}^3)} \quad (1)$$

2.5.4. Dosis Inhalada Promedio del material particulado y manganeso

La dosis inhalada es implementada en estos estudios para entender la cantidad real de contaminante que llega a los tejidos del individuo expuesto [20]. Para ello, es necesario tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$DI = \frac{C * IR * ED}{BW} \quad (2)$$

Donde:

DI: Tasa de Inhalación ($\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{d}$)

C: Concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

IR: Tasa de incorporación (m^3/d)

ED: Duración de la exposición

BW: Peso corporal (kg) del ciclista

La IR se asume de acuerdo con la velocidad de viaje promedio durante los protocolos de monitoreo, basados en los valores de la tasa de inhalación recomendados por la Comisión

Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Para hombres, la IR es de 1,5 m³/d, y para mujeres es de 1,25 m³/d para esfuerzo ligero. En el caso de esfuerzo moderado/fuerte, la IR para hombres es de 3,00 m³/d, y para mujeres es de 2,70 m³/d [25].

2.6. Caracterización del riesgo cancerígeno

Es de suma importancia conocer los niveles de riesgo cancerígeno en la zona de estudio, ya que con la posible identificación de este se contribuye a enfrentar y solucionar problemáticas de salud pública. A continuación, se presentan las ecuaciones con las que se calcula la concentración de exposición y la caracterización de riesgo [26]:

$$ExpC = \frac{(C * ET * EFR * ED)}{AT} \quad (3)$$

Donde:

ExpC: Concentración de exposición (µg/m³)

C: Concentración de PM₁₀ (µg/m³)

ET: Tiempo de exposición (horas/día)

EFR: Frecuencia de exposición (días/año)

ED: Duración de la exposición (año)

AT: Vida media (horas = años × 365 $\frac{días}{año}$ × 24 $\frac{h}{día}$)

$$RC = ExpC * IUR \quad (4)$$

Donde:

RC: Caracterización de riesgo (adimensional)

ExpC: Concentración de exposición (µg/m³)⁻¹

IUR: Riesgo de la Unidad de Inhalación (µg/m³)

2.7. Elaboración de mapas

La elaboración de los mapas de las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ por segundo, se realizaron mediante el software ArcGis versión 10.8, donde se importó la información registrada en campo del tramo de estudio, seguido a esto, se exportó dicha información en formato shapefile para poder categorizar las concentraciones de los contaminantes mediante las guías de calidad del aire que estipula la OMS.

3. Resultados

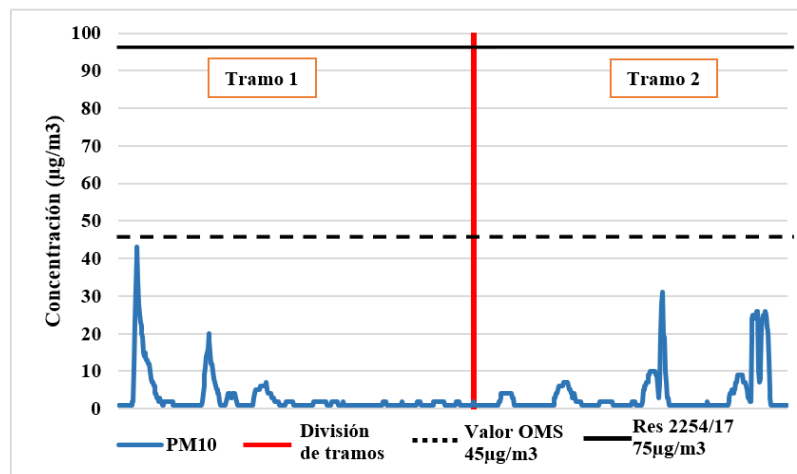
Con el fin de comparar las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} registradas durante los recorridos, se tuvieron en cuenta los lineamientos diarios de calidad del aire establecidos en la resolución 2254/17 y las guías de calidad del aire de la OMS. Adicionalmente, en los seis domingos monitoreados para PM₁₀, el día 04/09/22 no se tuvo en cuenta, puesto que fue un día lluvioso y los datos tomados por el Airbeam se vieron afectados (Anexo 1).

3.1. Material Particulado (PM10)

3.1.1 Concentraciones de PM10 para los Domingos

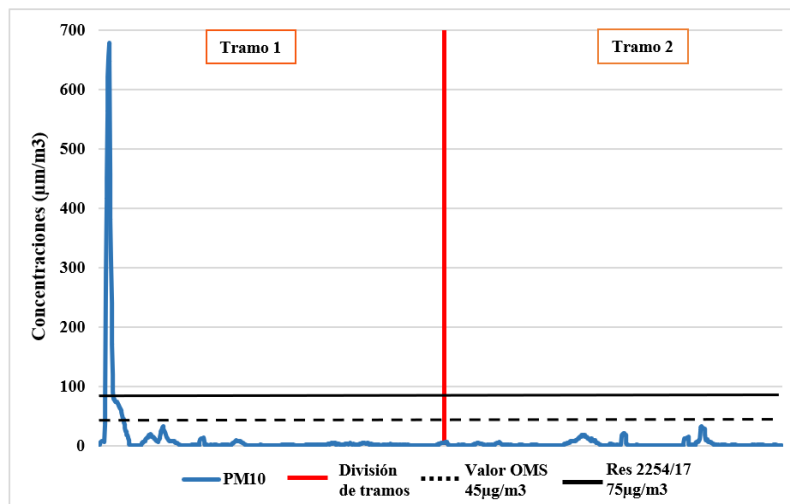
En los cinco domingos se muestrearon 9.637 segundos (160,616 min), obteniendo una media por segundo de PM10 de $3,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor mínimo de $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $679 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asimismo, los domingos 03/07/22, 17/07/22, 24/07/22 y 21/08/22 no sobrepasaron los valores establecidos en la normativa ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$), como se observa en la Gráfica 1, la cual se tomó como representación del comportamiento de dichos días que no se superan los $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sugeridos por la OMS. Por el contrario, el domingo 10/07/22 en el transcurso del recorrido registró un valor máximo por segundo de $679 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfica 1. Concentración PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 03/07/22



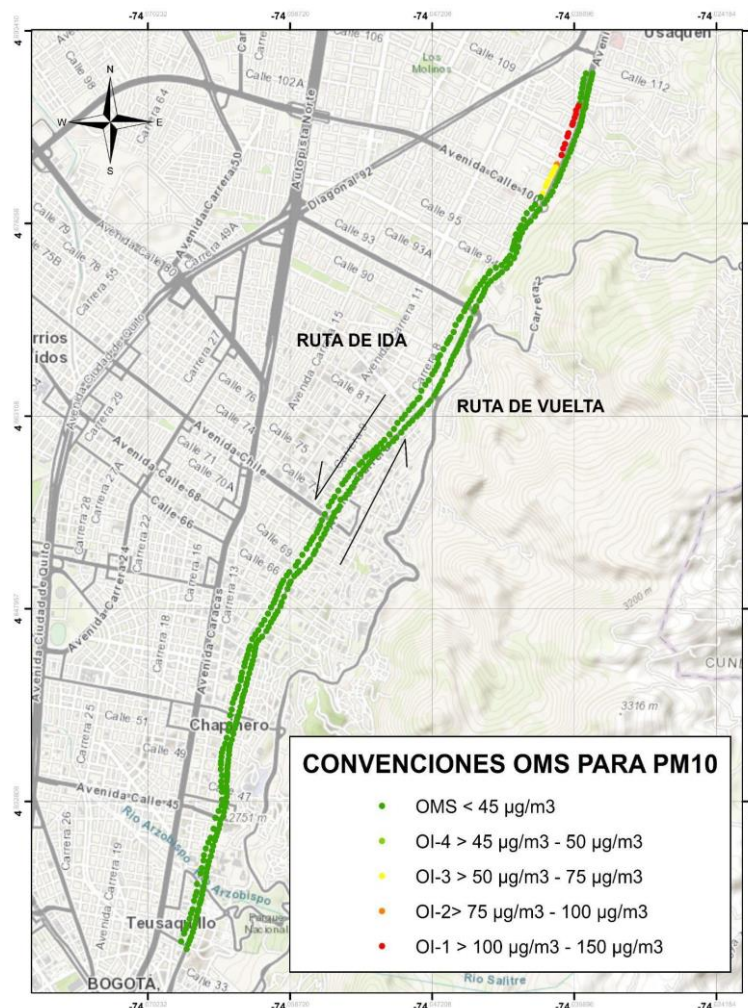
Como se puede observar en la Gráfica 2 el pico de $679 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentra al inicio del tramo 1, esto se debe a que ese día al iniciar en la calle 106 pasaba una caravana de buses, automóviles y motocicletas conmemorando a la Virgen del Carmen, acción que repercutió en la toma de datos. Sin embargo, al observar el resto de la gráfica no se presentaron más crestas y las concentraciones fueron constantes. Incluso es exactamente en el percentil 98 alcanza valores superiores a los $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfica 2. Concentración PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 10/07/22



En el Mapa 1 se observan las concentraciones de PM10 por segundo del domingo 10/07/22, el cual tuvo una tendencia similar a los demás domingos, solo mostrando un comportamiento diferente al inicio del tramo 1, desde la calle 99 hasta la 100, que se identificó en la Gráfica 2.

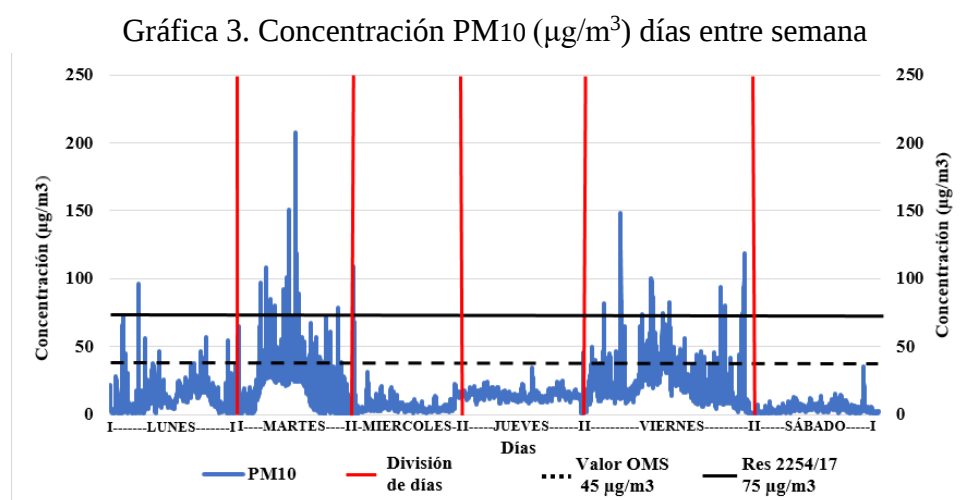
Mapa 1. Concentraciones PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 10/07/22



3.1.2 Concentraciones de PM10 para los días entre semana

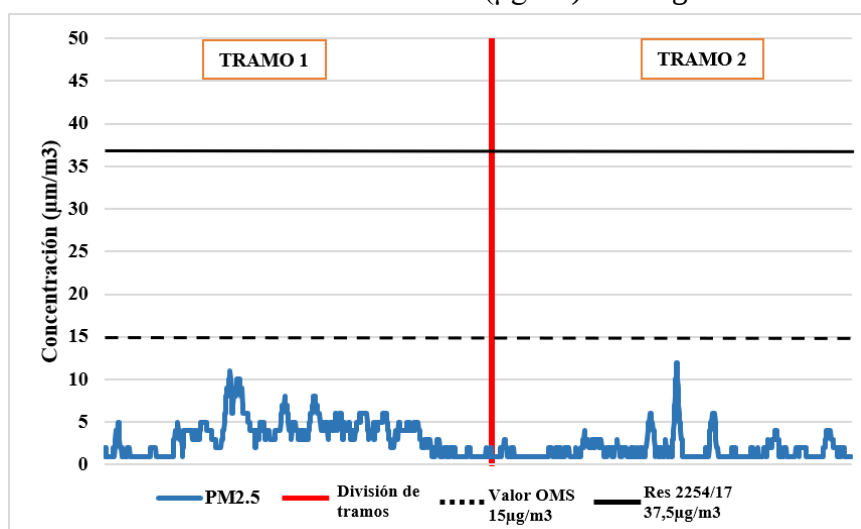
En los 6 días hábiles muestreados se registraron 22.841 seg (Gráfica 3), de los cuales, el martes 28/06/22 fue el del pico máximo de PM10, con un valor equivalente a $207,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, coincidiendo con que ese día se presentó el mayor tiempo de medición (262 min). Seguido a esto, el día viernes 22/07/22 se registró una concentración de $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el lunes 11/07/22 de $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$; días en los que se alcanzaron picos máximos de exposición con respecto a lo establecido por la resolución 2254 del 2017 y las directrices de la OMS.

No obstante, los días que están por debajo del valor que indica la normatividad son: sábado 27/08/22 ($35,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), jueves 18/08/22 ($34,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y miércoles 7/09/22 ($31,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cabe resaltar que, en los días donde se exceden los máximos permisibles, es a causa del alto flujo automotor que transitaba en el área de influencia.



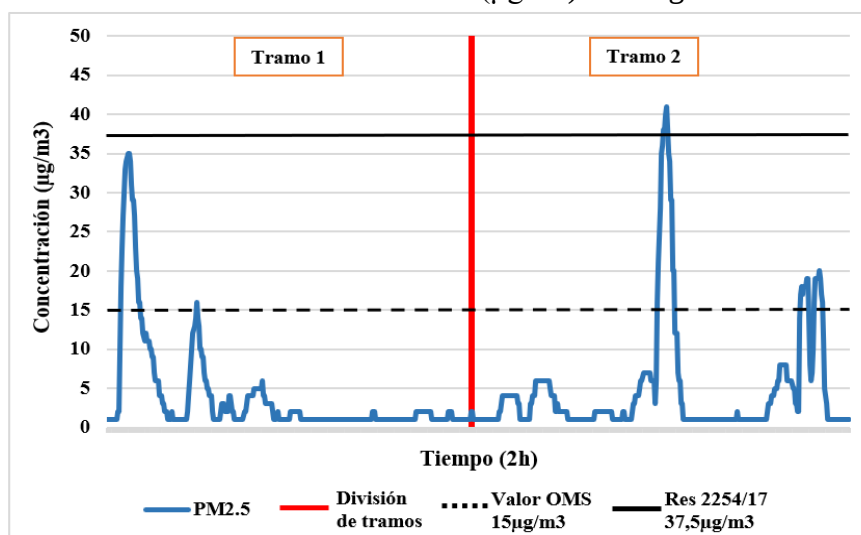
En el Mapa 2 se observan las concentraciones de PM10 del día martes, destacando que los sectores con las cifras más elevadas se encuentran en la Cra 7 con Cll 45 y 47 y entre la Cll 93 hasta la 90; a este trayecto de ida se atribuye que la contaminación del aire es alta, debido a las fuentes de emisión, que en su mayoría fueron vehículos particulares, seguidos del transporte público y de carga pesada.

Gráfica 4 . Concentración PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 24/07/22



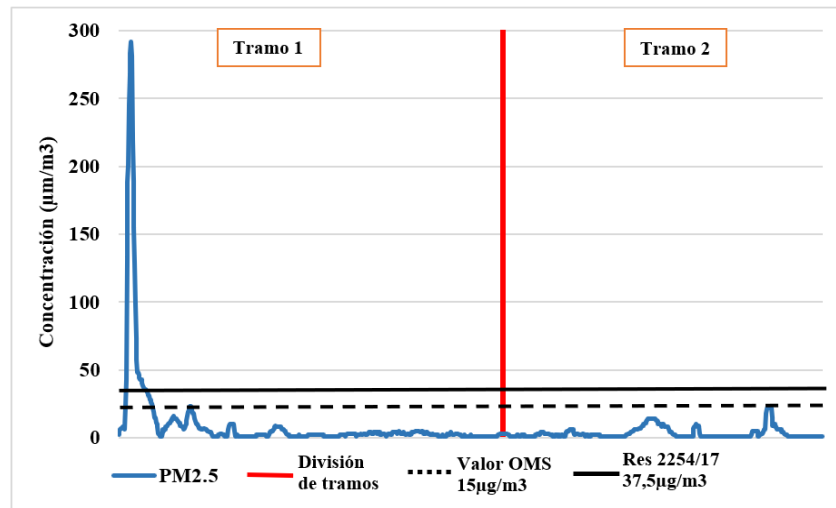
En la Gráfica 5 como en el Mapa 3, se evidencia que en el tramo comprendido entre la calle 106 hasta la calle 100 se presentan picos por segundo que superan los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tanto para el tramo de ida como en el de regreso, esto debido a las emisiones de los vehículos que paran y cruzan en los 3 semáforos ubicados en la calle 106. Además, el análisis descriptivo indica que en el percentil 93 es donde se supera el valor de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, señalando que sólo un 7% de los datos recolectados rebasa el valor fijado por las OMS.

Gráfica 5. Concentración PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 03/07/22



En la Gráfica 6 se observa que la mayor cresta está al inicio del muestreo, a causa de la caravana de la Virgen del Carmen, situación que incrementó las concentraciones de PM2.5 alcanzando un máximo de $292 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por segundo.

Gráfica 6. Concentración PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 10/07/22



El Mapa 3 corresponde al domingo 10/07/22, se visualizan los niveles de concentración de PM2.5 por segundo, este se escogió para representar a los cuatro domingos, ya que, el tramo de la calle 103 hasta la 99 se encuentra el pico máximo de todos los días, estando entre los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ a $75\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido a esto se presentan valores por segundo menores de $37,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ a $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ desde la calle 103 hasta la 93, siendo estos los valores más altos para este día.

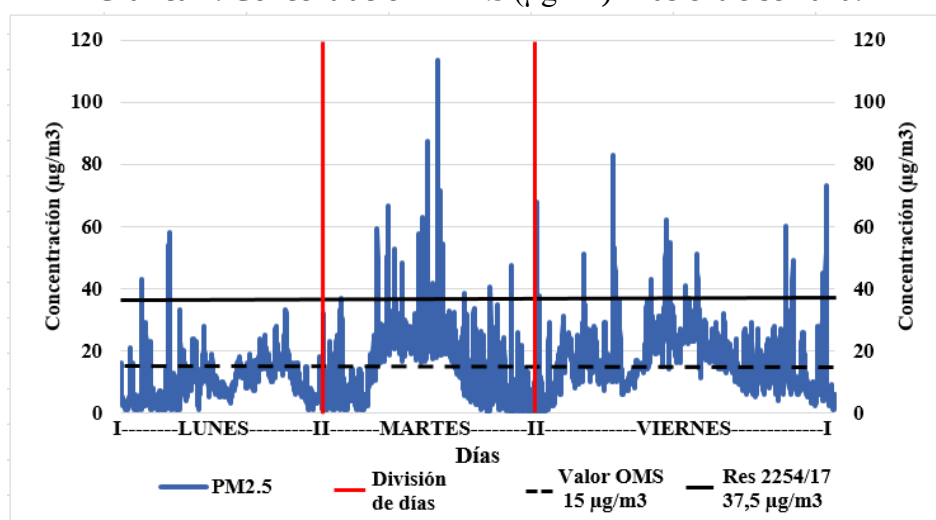
Mapa 3. Concentraciones PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) domingo 10/07/22



3.2.2. Concentraciones de PM_{2.5} para los días entre semana

Para este contaminante criterio se realizó la medición en tres días de la semana, donde el martes se obtuvo un valor máximo por segundo de 113,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el viernes de 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el lunes de 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gráfica 7). Con lo anterior, se puede inferir que en varios puntos del muestreo hubo picos que exceden el valor máximo establecido para 24 horas, el cual es de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sugerido por la OMS; esto se puede atribuir a que, en la zona de influencia en los tres días entre semana, la circulación de vehículos públicos y particulares es constante, por lo que las emisiones provenientes de fuentes móviles son considerables.

Gráfica 7. Concentración PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Días entre semana.



En el Mapa 4 se muestran las concentraciones de PM_{2.5} del día martes, donde se evidencia que en el principio del recorrido se excede el valor recomendado por la OMS para 24 horas, incluso se identifica un punto crítico de contaminación en la carrera séptima entre la Cll 106 hasta la 95, donde se registran valores por segundo entre los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sumado a lo anterior, en la intersección de la Cra 7 con 102 se encuentran valores por segundo entre los 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y entre la Cll 100 y 101 se obtuvieron concentraciones por segundo de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mapa 4. Concentraciones PM_{2.5} (µg/m³) martes 28/06/22



3.3 Variables climáticas

3.3.1. Temperatura

La temperatura de los cinco domingos muestreados registró un total de 22.477 segundos (374,61 min), donde la media por segundo fue de 21,02 °C, el valor mínimo de 17°C y máximo de 24,44°C; la variación de la temperatura por día estuvo entre el 3% y 7%. En lo que concierne a los días hábiles, el martes se presentó la temperatura más alta, con una máxima de 25°C, coincidiendo en que este fue el día del pico máximo de PM₁₀ y PM_{2.5}; entre tanto, la temperatura mínima se obtuvo el día sábado con 17,7 °C; con lo que respecta a la variación de la temperatura por día, esta estuvo en el rango de 4 a 9%.

3.3.2. Humedad relativa

Para la humedad relativa de los domingos se halló una mínima de 47% y máxima de 85%, y una media por segundo de 65,58%; mientras que la variación por día estuvo entre el 2% y 8%. En lo que corresponde a los días hábiles, el valor máximo de humedad fue de 84%, registrado el viernes, por el contrario, el miércoles se caracterizó por el dato mínimo, con un valor de 36%; en lo que respecta a la variación de la Humedad por día, esta estuvo entre el 5% y 10%.

4. Comportamiento de las concentraciones entre los domingos y los días entre semana

4.1.1. PM₁₀

En relación con los valores obtenidos de material particulado grueso, el 33,3% de todos los segundos sobrepasan el límite máximo permisible. En lo que concierne a los segundos de los días hábiles (de lunes a sábado), el 50% también superan el valor sugerido por las directrices de la OMS. Obteniendo como resultado que 2 domingos y 3 días hábiles superan dicho límite. Además, se puede inferir que es una proporción muy estrecha, teniendo en cuenta que los domingos se activa el carril que da paso a la cicloruta de la zona, y la demanda del tráfico es mucho menor, por lo que las emisiones de material particulado deberían ser menores considerando que su procedencia es en su mayoría es del del parque automotor.

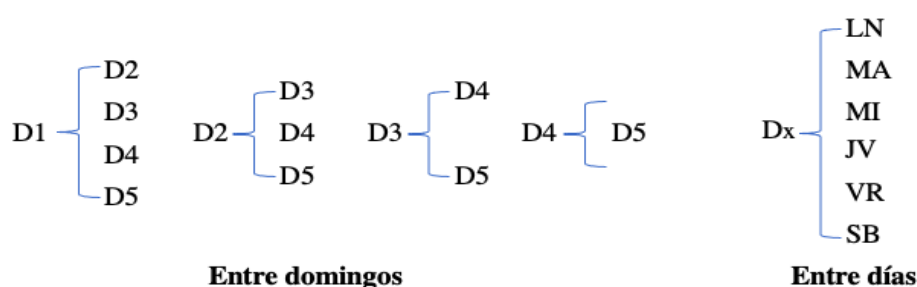
4.1.2. PM_{2.5}

El comportamiento del PM_{2.5} entre los cuatro domingos y los tres días entre semana, se puede inferir que los días entre semana registraron valores promedio superiores a los dominicales y que tanto en los domingos como en el día martes y lunes el valor máximo por segundo se presentó en los semáforos de la calle 106, donde los tres semáforos ubicados en esta zona detienen el tráfico vehicular y las emisiones de los automóviles se concentran.

4.2. Distribución de Spearman y Wilcoxon

Al implementar la prueba de “Skewness/Kurtosis” y la instrucción de “Shapiro-Wilk” a las diferentes combinaciones de los días como se observa en la Figura 1. Las fechas y simbología de cada relación se explican en la Tabla 3.

Figura 1. Relaciones de los días



Con las pruebas realizadas fue posible establecer que las series de datos sometidas son distribuciones no convencionales, por ende, fue necesario implementar la distribución de Spearman, la cual arrojó que en los trayectos de PM₁₀ ida y regreso los días LN, MA, JV, VR y SB si presentan una correlación, mientras que el día MI no presenta una correlación entre los tramos 1 y 2; con respecto a los domingos, solamente el D5 presentó correlación (Anexo 9). Entre domingos (Anexo 10), las relaciones entre D1-D2, D1-D3, D1-D4, D2-D5 y D4-D5 sí mostraron correlación, en tanto que, D1-D4, D2-D3, D2-D4, D3-D4 y D3-D5 no la hay. Por último, entre días, la combinación entre D1-MI, D1-JV, D1-SB y D3-MA no posee una correlación, los demás días plasmados en el Anexo 11 si la tienen.

Acerca del PM2.5, los trayectos ida y regreso para los días D1, D3 y D4 no tienen correlación; el D2, LN, MA y VR sí. Entre domingos, el D2-D3 si hay correlación, mientras que en los demás del Anexo 13, no. Finalmente, en el Anexo 14, entre D1-VR y D3-LN no existe una correlación, en cambio en las demás relaciones sí.

En conclusión, la distribución de Spearman logró establecer que para el PM10 la mínima correlación es de -26,62% y la máxima de 25,62%; para el PM2.5 la menor correlación es de -35,32% y la mayor de 33,89%; deduciendo de este modo que no existe una correlación entre ninguna de las relaciones establecidas entre el recorrido ida y regreso, todos los domingos, entre domingos y días entre semana.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, la distribución de Spearman no es suficiente para establecer si un determinado número de datos poseen o no una correlación, por ello se aplicó la prueba de Wilcoxon, esta a través de la diferencia de medias, se logró establecer que todos los tramos tanto para PM10 como para PM2.5 presentaron concentraciones diferentes.

4.3. Determinación de las concentraciones de PM10 obtenidas con la bomba personal GilAir-3

De los doce filtros entregados al laboratorio, solamente seis presentaron diferencia de peso (Tabla 5). Los filtros restantes al realizarles el pesaje obtuvieron valores menores al peso inicial, por ende, no se tuvieron en cuenta para calcular las concentraciones; este fenómeno ocurrido no tiene una explicación clara, sin embargo, es posible que los filtros no estuviesen lo suficientemente secos al momento de realizar el pesaje inicial, o que la balanza gravimétrica estuviera fallando.

Tabla 5. Información general para el cálculo de las concentraciones

Día	# Filtro	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Cudal	Tiempo (min)
domingo 03-07	26	0,01121	0,01100	3,5	121
domingo 17-07	29	0,01010	0,00950	3,5	127
domingo 24-07	31	0,01071	0,00970	3,5	122
domingo 21-08	36	0,01095	0,01010	3,5	123
domingo 10-07	37	0,01244	0,01220	3,5	120
domingo 04-09	38	0,01241	0,01210	3,5	125
lunes 11-07	28	0,01104	0,01060	3,5	120
martes 28-06	25	0,01064	0,01070	3,5	262
miércoles 07-09	32	0,00981	0,00940	3,5	126
jueves 18-08	34	0,01161	0,01140	3,5	124
viernes 22-07	30	0,01183	0,01160	3,5	121
sábado 27-08	35	0,01095	0,01070	3,5	123

Cabe resaltar que los monitoreos tuvieron una duración promedio de dos horas, sin embargo, el día martes tiene una duración de cuatro horas y media, puesto que este recorrido se realizó sin medio de transporte, ya que, al ser el primer día de muestreo, se buscó hacer un reconocimiento detallado del área.

Al realizar los respectivos cálculos y reemplazando en la ecuación (1), se obtuvieron los siguientes valores de concentraciones (Tabla 6):

Tabla 6. Concentraciones PM₁₀ (µg/m³) proporcionados por bomba personal GilAir

#Filtro	Día		Concentración µg/m ³
25	Martes	28-06	65,651
26	Domingo	03-07	47,226
30	Viernes	22-07	212,515
34	Jueves	18-08	161,290
37	Domingo	28-08	47,619
38	Domingo	04-09	45,714

Se puede establecer que los seis días alcanzaron el máximo de exposición personal de 24 horas sugerido por la OMS (45 µg/m³) en tan solo dos horas. Si se tiene en cuenta la resolución nacional 2254/17 y su valor máximo permisible en 24 horas (75 µg/m³), solamente los días jueves y viernes muestran que en dos horas se cumple con el valor sugerido.

4.4. Determinación de las concentraciones de plomo y manganeso.

La información suministrada por el LIAC, indicó que no existe presencia de plomo en los filtros analizados, lo cual concuerda con la configuración de la zona, es decir, en el recorrido realizado no se observaron fuentes o empresas que procesen hierro o acero, ni la fusión de bronce y latón, ni la fabricación de baterías de plomo, siendo estas las principales fuentes fijas de emisión de este metal. Por el contrario, el filtro 37 correspondiente al día domingo 28/08/22 presentó una concentración de manganeso de $1,23 \times 10^{-9}$ µg/m³, valor muy pequeño, si se considera que la recomendación de la OMS para este elemento químico es de 0,15 µg/m³ anual. La posible razón por la que se encontró manganeso en el filtro puede ser porque existe en el mercado aditivos capaces de reforzar el octanaje para motores de gasolina, donde implementan el Mn, como, por ejemplo, “Octanium Unleaded” el cual en su composición implementa Tricarbonil (metilciclopentadienil) manganeso (Tabla 7) [27].

Tabla 7. Información ingredientes del aditivo Octanium Unleaded

Chemical Names	Index No.	EC No.	REACH No.	CAS No	%	Classification
Blend of Aliphatic and	N/A	N/A	N/A	N/A	94-97%	None
Tricarbonyl (methylcyclopentadienyl) manganese	None Listed	235-166-5	Below Tonnage Requirements	12108-13-3	3-6%	Acute Tox. 3 H301, Acute Tox. 2 H310, Acute Tox. 1 H330, Aquatic Chronic 1 H410, Aquatic Acute 1 H400

Fuente. [27]

4.5. Dosis Inhalada Promedio de Material Particulado

Para el cálculo de la Dosis Inhalada (DI) se emplearon los valores de la tasa de incorporación de 1,5 m³/d para hombres y 1,25 m³/d para mujeres, el tiempo de exposición de 2 horas, el peso corporal promedio de las mujeres y hombres colombianos de 61 kg y 67 Kg [28] respectivamente, incluso se consideró el peso de los escritores del presente documento, 49 kg para la autora y 70 kg para el autor.

Esta dosis se estimó para los seis días establecidos en la Tabla 6, de modo que, se consideró el promedio total de las concentraciones de los seis días (96,66 µg/m³), el promedio de las concentraciones de los tres domingos (46,853 µg/m³) y las concentraciones de cada uno de los días martes (65,651 µg/m³), jueves (161,290 µg/m³) y viernes (212,515 µg/m³). Luego, con estos y los valores mencionados anteriormente se reemplazaron en la ecuación (2) como se observa en los Anexos 15 al 20 y se presenta la siguiente tabla resumen:

Tabla 8. Dosis de inhalación PM10 (µg/m³)

Día	DI (µg/kg*d)			
	Mujer	Hombre	Meylan	Andrés
Total	3,962	4,328	4,932	4,143
Domingos	1,920	2,098	2,390	2,008
Martes	2,691	2,098	3,350	2,814
Jueves	6,610	7,222	8,229	6,912
Viernes	8,710	9,516	10,843	9,108

Es importante resaltar que, tres domingos presentaron los menores niveles de inhalación de PM10 en comparación con los días entre semana, esto obedece a que los días domingos habilitan todo un carril para la recreación deportiva al aire libre (Fotografía 2), reduciendo de este modo el tránsito vehicular, resaltando que en el carril sur-norte el flujo vehicular no era constante. Por otro lado, el día entre semana con DI más elevado fue el viernes 22/07/22, día que coincide con la concentración más alta (Tabla 6).

Al comparar la DI entre mujeres y hombres es posible establecer que las mujeres promedio con un peso de 61 Kg en los días monitoreados estuvieron menos expuestas en comparación a los hombres; sin embargo, para la autora con un peso de 49 Kg tuvo una dosis de inhalación mayor en todos los días, con respecto a la inhalada por el autor, que tan solo pesa 70 Kg.

4.6. Dosis Inhalada del manganeso

La dosis de inhalación para el manganeso se calculó con el valor de concentración obtenido el día domingo 28/08/22, empleando la ecuación (2) se generó la siguiente Tabla:

Tabla 9. Dosis de inhalación manganeso ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$)

Parámetro	DI ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$)			
	MUJER	HOMBRE	MEYLAN	ANDRES
Manganeso	5,04E-11	5,51E-11	6,28E-11	5,27E-11

La DI del Mn en las dos horas monitoreadas tanto para hombres como para mujeres es baja, ya que se presenta en orden de $10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$, donde la inhalación para el género femenino de peso promedio de 61 Kg en el día monitoreado presentó menor DI con respecto al masculino, mientras que, comparando la DI entre los dos autores, la mujer inhala más Mn que el hombre.

4.7. Caracterización del riesgo cancerígeno

Para calcular el riesgo cancerígeno, primero se tuvo que hallar la concentración de exposición haciendo uso de la ecuación número (3) y teniendo en cuenta la concentración del manganeso, posteriormente realizó el cálculo utilizando la ecuación número (4), donde se multiplica la concentración de exposición con el riesgo de unidad de inhalación que se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Concentración de exposición

Parametros	Unidades	Evaluados	
		Niños	Adultos
C (Concetración)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,23E-09	1,23E-09
ET (Tiempo de exposición)	h/día	2	2
EFR (Frecuencia de exposición)	día/año	12	12
ED (Duración de la exposición)	año	6	24
AT (Vida media)	h	17520	17520
ExpC (Concentración de exposición)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,01096E-11	4,04384E-11

Fuente. [25] y autores.

Como se observa en la Tabla 11, la caracterización del riesgo para el manganeso se presenta en menor proporción para los niños, que para los adultos, en los cuales sus valores indican que no existe ningún riesgo a la salud de los transeúntes, ya que el metal se encuentra en bajas cantidades y no supera los valores máximos permisibles establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA) ($1 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$); cabe resaltar que, este valor es el umbral mínimo considerado como riesgo cancerígeno, mientras que para un umbral máximo se establece un valor de $1 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$ [25].

Tabla 11. Caracterización del riesgo.

Parámetros	Unidades	Evaluados	
		Niños	Adultos
ExpC (Concentración de exposición)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,01096E-11	4,04384E-11
IUR (Riesgo de la unidad de inhalación)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,00E-02	5,00E-02
RC (Caracterización del riesgo)		5,05479E-13	2,02E-12

Fuente. [25] y autores.

5. Discusión de resultados

A continuación, se presenta un análisis comparativo, con base a los resultados obtenidos en esta investigación y diversos estudios que abarcan la polución por material particulado fino y grueso en la ciudad de Bogotá.

5.1. Estudios de PM_{2.5}

Los resultados obtenidos por medio de la metodología de detección láser del Airbeam para el PM_{2.5} en la cicloruta ubicada en la Cra 7 desde la Cll 106 hasta la Cll 32 los días domingos varían entre $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$ hasta $292 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$ y con un promedio de $3,64 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$; mientras que, los días hábiles (de lunes a sábado) arrojaron valores mínimos de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$, máximos de $113,6 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$ y promedio para las dos horas de $14,25 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y que en la última década se han desarrollado ejercicios académicos enfocados en conocer la calidad del aire en diferentes zonas de la capital colombiana, en el año 2015 se llevó a cabo un muestreo en un tramo vial del costado norte de la calle 80, entre la Cra 68 y la Cra 102, usando una bomba SKC AIRCheck, allí realizaron mediciones en 5 tipos de transporte, siendo uno de estos la bicicleta, medio que también fue implementado en el muestreo de esta investigación, además, realizaron medidas en horas pico de la jornada matutina, hora semejanza entre los dos estudios. Para la época, se obtuvo con el uso de la bicicleta un valor promedio de PM_{2.5} de $37,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual no supera el máximo permitido según la normatividad nacional 2254/17, siendo este de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante, ahora el límite para un tiempo de exposición de 24 horas es de $37,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ denotando una mayor regulación y exigencia en los niveles de emisión, sin embargo, en el presente estudio se encontraron valores que sobrepasan las directrices para este contaminante criterio, resultado que se puede relacionar con la abundancia de tráfico en el área de influencia [29].

Luego, en otro análisis efectuado durante el 2019, las concentraciones para los meses transcurridos entre junio y septiembre el PM_{2.5} en la estación de Usaquén no excedieron el valor sugerido por la OMS, cuyos valores se encuentran por debajo de los $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor no muy lejano a los promedios obtenidos en el actual estudio, donde para los domingos fue de $3,64 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$ y los días entre semana de $14,25 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{seg}$ [30].

Ahora bien, otro ejercicio de medición se ejecutó en el 2019, este se enfatizó en determinar la eficiencia de cuatro protectores respiratorios, analizando la exposición y la dosis inhalada de material particulado para usuarios de transporte público (transmilenio), peatones y ciclistas; en esta oportunidad se trae a colación los resultados obtenidos usando como medio de transporte

la bicicleta, que también fue implementada en el presente estudio. La zona de muestreo de dicho estudio empieza en el Portal el Dorado y finaliza en la Estación Universidades, con una distancia total de 5,6 kilómetros, allí se logró identificar que las concentraciones de dosis inhaladas de PM_{2.5} sin el uso de protección respiratoria varía entre 64,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 469,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero con el uso de mascarillas el riesgo puede reducirse hasta en un 90% [31].

Respecto a la sección de Dosis Inhalada (DI) de PM_{2.5}, es necesario aclarar en esta investigación no fueron calculados, porque se utilizó el método gravimétrico, en el cual solo se considera el material particulado grueso; el motivo de esta selección se basa en la exactitud del equipo de medición, y que, se disponía con una mayor proporción de datos de PM₁₀, aumentando así la confiabilidad. Por la anterior, no es posible establecer una relación directa con otros estudios, pero, sí se puede inferir que la cifra de dosis inhalada de PM₁₀ es despreciable, lo que genera un parte de tranquilidad para los usuarios viales.

5.3. Estudios de PM₁₀

Con respecto al material material particulado grueso recopilado en esta investigación por medio del equipo Airbeam, la concentración promedio de los domingos es de 3,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$, con valor mínimo de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$ y máximo de 679 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$. Los días entre semana arrojaron un promedio de 4,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$, con mediciones que oscilan entre 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$ y 207,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$. Considerando esto, se puede inferir de forma general que las emisiones son más elevadas los días entre semana, incluso en su mayoría no exceden el límite nacional y el recomendado por la OMS, sin embargo, se resalta que en uno de los domingos se alcanzó un resultado atípico y muy elevado, causado por un desfile vehicular en las calles de Bogotá. Por lo anterior, es recomendable no generalizar los datos obtenidos, ya que estos varían y dependen según las condiciones meteorológicas de la zona, el tipo, cantidad y frecuencia de las fuentes de contaminación.

Conforme a registros oficiales, durante el año 2016 y 2017 la ciudad no sobrepasó el límite nacional de PM₁₀ (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero si se incumplió en reiteradas ocasiones el de la OMS (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos antecedentes fueron obtenidos por medio de las diversas estaciones de vigilancia de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá, en la que se destaca que la zona del suroccidente de la ciudad presenta mayor contaminación, y por el contrario, las áreas con menor polución se localizan al oriente, área a la que pertenece Usaqué y Chapinero (localidades analizadas en el presente estudio). Esta condición se presenta a causa de la influencia del viento, que circula en mayor proporción de oriente a occidente, además, otra ventaja, es que el sector se encuentra aledaño a los cerros orientales [32], y contar con estos linderos naturales, como lo son los cerros, conduce a que diversas especies arbóreas que habitan en estos territorios contribuyan con la absorción y depuración de gases de efecto invernadero y material particulado, los cuales son los principales contaminantes atmosféricos [33], en esta cadena montañosa oriental, se destaca la presencia de flora como el frailejón, mano de oso, encenillo, laurel, aliso, carbonero, trompeto, entre otros; además, gran porcentaje de esta zona son áreas protegidas, específicamente, se encuentran en la jurisdicción de la reserva forestal

protectora Bosque Oriental de Bogotá, por lo que su buen estado coopera al ambiente de la ciudad [34].

Adicionalmente, en otra investigación realizada por estudiantes de la Universidad de los Andes al nororiente de la ciudad de Bogotá con ayuda del equipo DustTrak, las concentraciones de PM₁₀ oscilan entre 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$ y 71 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{seg}$, señalando que la localidad de Usaquén en horas de la mañana (8:00 a.m. a 12:00 a.m.) presenta niveles más bajos en comparación al horario transcurrido entre las 3:30pm y las 7:30 pm, lo cual responde al aumento del flujo vehicular al final de jornada laboral [35]. Cabe resaltar que, los monitoreos realizados para este estudio se llevaron a cabo de 9:30 a.m a 11:30 a.m, es por ello que para futuros estudios se aconseja ampliar las horas de estudio en las horas de mayor tráfico vehicular.

Por otro lado, las concentraciones de material particulado PM₁₀ hallados en la presente investigación en la carrera séptima mediante el método gravimétrico de la bomba GilAir-3, varían de 45,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta 47,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y promedio de 46,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los días domingos; en tanto que, los días entre semana presentaron promedio de 146,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y valores que fluctúan entre 65,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 212,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para el año 2018 se realizó un muestreo bajo un análisis gravimétrico alrededor de la Universidad Central y la Universidad Libre, registrando como valores promedio de PM₁₀ 21,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 33,58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, con lo que se infiere que en el muestreo no se encontraron valores que excedieran lo establecido en la resolución 2254/17, pero considerando los datos registrados en las estaciones de monitoreo Carvajal y Kennedy, se reitera una mayor concentración de PM₁₀ al suroccidente de la ciudad [36]. En consideración con esto, y comparando el promedio de 46,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ perteneciente a los días entre semana de la carrera séptima, se puede inferir que las concentraciones del noroccidente de la ciudad, son menores en comparación con las estaciones Carvajal y Kennedy.

Un estudio realizado por la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, en la av. 1 mayo con Cra 7 hasta la Cll 115 con Cra 7, durante los meses de mayo, junio y julio, registraron una concentración promedio del recorrido completo de 2415,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM₁₀, excediendo los valores establecidos por la EPA, considerándose nocivo para la salud. Además, en el trayecto 1 y 2 comprendido en la Cra 7 desde la Cll 115 hasta la Cll 26, recorrido por ellos, registró una contaminación de 1002,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 3324,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, estos tramos son muy similares a los monitoreados por el presente estudio, sin embargo, la diferencia entre los datos encontrados varía considerablemente [37].

Con respecto a la presencia de concentraciones de manganeso en el aire, solamente 1 de los 12 días muestreados obtuvo un valor de $1,23 \times 10^{-9} \mu\text{g}/\text{m}^3$ considerado bajo en comparación a las especificaciones de la OMS (0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anual), deduciendo que la carrera séptima presenta una buena calidad del aire en lo que corresponde a este metal.

5.4. Caracterización del riesgo cancerígeno

En relación a la caracterización del riesgo cancerígeno para los niños, arrojó un valor de exposición $1,010 \times 10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que para los adultos fue de $4,04 \times 10^{-12} \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando que estas concentraciones son muy bajas para llegar a perjudicar la salud de los ciudadanos que recorren las ciclorrutas de la carrera séptima, con respecto a las directrices de la EPA (nivel máximo de exposición $1 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cabe destacar que para la ciudad de Bogotá no se encontraron estudios comparables con el realizado en esta investigación, sin embargo, la EPA establece que si un resultado de la muestra arroja un valor por encima del nivel establecido no significa que exista un riesgo para los niños y adultos, si no que es necesario evaluar a fondos dichos resultados y realizar un seguimiento de monitores a las comunidades [38].

6. Conclusiones

Considerando los muestreos realizados, la cicloruta de la carrera séptima, desde la Cl 106 hasta la Cl 32, mantiene una buena calidad del aire, en su mayoría los valores obtenidos de material particulado grueso y fino cumplen con el límite máximo permisible establecido en la resolución 2254 de 2017, no obstante, en reiteradas ocasiones superó las directrices sugeridas por la Organización Mundial de la Salud, las cuales son más exigentes. A pesar de que en algunas zonas de muestreo se encontraron altos niveles de exposición, son resultados que pueden atribuirse a situaciones esporádicas e intermitentes, como fue el caso de la caravana de vehículos, es inequívoco que una concentración de medios de transporte que implementan combustibles derivados del petróleo para su funcionamiento no disparen los niveles de emisión, fenómeno que se repite en varios semáforos del área, donde la frecuencia e intensidad de las emisiones son altas, reiterando que cuando existe un agrupamiento de vehículos la contaminación aumenta, por lo que este tipo de zonas deben priorizarse, para así evitar riesgos en la salud de los transeúntes y habitantes del sector.

Respecto al conjunto de días analizados, se puede inferir que el grupo de días hábiles alcanza las cifras más elevadas de los contaminantes criterio, especialmente el martes y viernes, en comparación con los domingos, situación que se presenta debido a la alta afluencia de medios de transporte entre semana, e infiriendo que la utilización de estos disminuye en gran proporción los domingos, día donde incrementa el empleo de vehículos no motorizados, como lo son: bicicleta, triciclos, patines y patineta, usados en gran medida en las actividades de las recreovías, que se llevan a cabo en la zona de muestreo, con el propósito de promover hábitos saludables y a su vez, son realizadas como estrategia para contribuir a la calidad del aire de la ciudad.

Tras el análisis de metales pesados, específicamente, el plomo y el manganeso, es válido afirmar que el área de influencia del presente estudio se encuentra en buen estado respecto a este tipo de contaminantes, ya que, no se halló la presencia de plomo y las concentraciones de manganeso fueron mínimas, por ende, el riesgo cancerígeno para niños y adultos causado por manganeso, en esta oportunidad no se considera un peligro para la salud humana, ya que no

supera el umbral de riesgo, sin embargo, es importante monitorear periódicamente dicho contaminante y velar para que se mantenga en niveles bajos.

De acuerdo al trabajo de campo realizado y las fuentes teóricas implementadas en esta investigación, se deduce que las principales aportantes al deterioro de la calidad de la atmósfera en Bogotá son las fuentes móviles, de forma concreta, el transporte de carga y en menor proporción, los autos particulares. En lo que compete a las variables meteorológicas, se destaca que tienen gran influencia en la dispersión de contaminantes, al igual que, la presencia de zonas arbóreas, las cuales favorecen a la depuración de sustancias dañinas, factor favorable en las localidades donde se llevó a cabo el muestreo, las cuales tienen una gran cercanía a los cerros orientales, frontera natural que contribuye a mantener una buena calidad del ambiente.

7. Limitaciones

La investigación realizada presentó limitaciones por parte del equipo AirBeam, ya que el tipo de medición que este utiliza no discrimina entre material particulado y aerosoles generados por la lluvia, como ocurrió el día 04/09/22 donde en un tramo del recorrido llovió y al comparar los datos recolectados con los de los demás domingos, se evidenciaron errores y anomalías.

Por otro lado, como los equipos eran limitados y eran cuatro grupos que necesitaban las herramientas fue necesario reducir los tiempos de monitoreo, ocasionando que ciertos parámetros como los metales pesados no fueran identificados en los filtros de la bomba personal.

Finalmente, el presupuesto establecido para cada uno de los grupos sólo permitía 12 filtros por grupo, ya que estos fueron remitidos al laboratorio de la Universidad de la Salle y tienen costos elevados, ocasionando una limitación para la cantidad de días monitoreados.

8. Recomendaciones

Para las futuras investigaciones se recomienda implementar un equipo con tecnología más avanzada que sea capaz de diferenciar el material particulado de los aerosoles ocasionados luego de llover, así de este modo los recorridos se podrán realizar tanto en días lluviosos como soleados sin que la información se vea afectada.

Adicionalmente, para próximos estudios se sugiere establecer más tiempo de monitoreo con el fin de adquirir un mayor número de información primaria, y por ende, conocer sobre los comportamientos, concentraciones y dosis de inhalación en las personas que recurren a la ciclovía o para trasladarse a sus trabajos.

Por último, es importante seguir brindando espacios de esparcimiento y ejercicio a los ciudadanos, puesto que la actividad física mejora la condición física y mental de los ciudadanos que recurren a estos espacios, sin embargo, sería adecuado establecer estaciones de monitoreo fijas para monitorear constantemente la calidad del aire respirable de los ciclistas.

9. Referencias

- [1] World Air Quality Report. (2021). “Países y regiones con mayor contaminación del mundo (datos históricos entre 2018-2021)”. Disponible: <https://www.iqair.com/es/world-most-polluted-countries>
- [2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). “Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas”. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/22/03/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMITSIONES_ATMOSFERICAS.pdf
- [3] Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2022). “Bogotá y Medellín los puntos más contaminados en calidad del aire en Colombia”. [En línea]. Disponible: http://www.pronosticosyalertas.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/LdWW0ECY1uxz/content/bogota-y-medellin-tienen-los-puntos-mas-contaminados-en-calidad-de-aire-de-colombia#:~:text=aire%20de%20Colombia-,Bogot%C3%A1%20y%20Medell%C3%ADn%20tienen%20los%20puntos%20m%C3%A1s,calidad%20de%20aire%20de%20Colombia
- [4] Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2018). “Inventarios de Emisiones en Colombia”. [En línea]. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/emisionesaire>
- [5] Agencia Para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. (1999). “Emisiones de tóxicos en el aire”. [En línea]. Disponible: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/urban-air-toxics-brochure-esp-1999.pdf>
- [6] C.F. Ruiz, “Caracterización del material particulado en las principales vías del transporte público colectivo y masivo del centro de Bogotá”, (Tesis), Uniandes, Bogotá, 2006.
- [7] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2000). “Resumen de la salud pública, Manganeso”. [En línea]. Disponible: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs151.pdf
- [8] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007). “Resumen de la salud pública, Plomo”. [En línea]. Disponible: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf
- [9] D. Rodríguez., V. Garnica, L. Gómez y C. Portela, “Análisis vehicular en la carrera 7 de Bogotá D.C. intersección de estudio carrera 7 x calle 116”, *Ingeniare*, No 23, pp. 83-96, 2013.

[10] C. Guerra., D. Huertas y F. Herrera, “Análisis de movilidad vial de la carrera séptima en el tramo comprendido entre las calles 193 a 245 en la ciudad de Bogotá”, Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad la Gran Colombia, Bogotá, 2015.

[11] Organización Panamericana de la Salud. (2016). “Calidad del aire”. [En línea]. Disponible: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20a%20altos%20niveles,vulnerable%2C%20ni%C3%B1os%2C%20adultos%20mayores%20y>

[12] L. Gómez, “Carrera séptima dobla en contaminación a la Caracas”, *El Tiempo*, p.1, 11, Feb, 2006.

[13] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020, May 10). Emisiones por fuentes móviles. [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles#:~:text=Las%20emisiones%20por%20fuentes%20m%C3%B3viles,de%20azufre%20y%20compuestos%20org%C3%A1nicos>

[14] Ministra de transporte. (2009, Jun 15). Resolución 5443, por la cual se adopta la parametrización y el procedimiento para el registro de información al Registro Nacional Automotor del Registro Único Nacional de Tránsito - RUNT. [En línea]. Disponible en: https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_5443_de_2009_ministerio_de_transporte.aspx#/

[15] C. Chacha y H. Michael. (2018, mar 23). “AirBeam2 Technical Specifications, Operation & Performance”. [En línea]. Disponible: <https://www.habitatmap.org/blog/airbeam2-technical-specifications-operation-performance>

[16] Intecon.inc. (2019). “GilAir 3”. [En línea]. Disponible: <http://www.inteconinc.com/latam/index.php/productos/bombas-de-muestreo/19-gilair-3>

[17] Sensidyne LP. “Cyclone & Cassette Holder Assembly Kit”, SENSIDYNE, St. Petersburg, Florida 33716 USA, Documento No, F-PR0-| 247, Revisión F.

[18] Organización Mundial de la Salud. (22 Sep 2021). “Contaminación del aire (exterior)”. [En línea]. Disponible: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

[19] Organización Mundial de la Salud, “OMS Guías de calidad del aire actualización mundial 2005”, Organización Panamericana de Salud, Reporte de la reunión de un grupo de trabajo, Alemania, 18-20 Octubre 2005.

[20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017, Nov. 2017). Res 2254, Por la cual se adopta la normativa calidad del aire y se dictan otras disposiciones. [En línea]. Disponible:

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>

[21] World Health Organization, *Air Quality Guidelines for Europe*. 2 ed. WHO regional publications. European series: 2000.

[22] Universidad de Burgos. (2022, Mar 11). Espectrometría de Masas de Plasma (ICP-MS). [En línea]. Disponible en: <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/espectrometria/espectrometria-de-masas-de-plasma-icp-ms>

[23] Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVa. (2022, ene 25). Plasma de acoplamiento inductivo (ICP). [En línea]. Disponible en: <https://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopia-de-plasma-icp-oes>

[24] A. Watson., R. Bates y D. Kennedy. “Air Pollution, the Automobile, and Public Health”. Washington (DC): National Academies Press (US), 1988, p. 200.

[25] O. A. Fajardo y N. Rojas. “Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city”. *Atmospheric Environment*. vol. 46, p. 612, ene., 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.047>.

[26] O. Ramírez., A. M. Sánchez-Roda., D. Sanchez De La Campa y J. D. De la Rosa, “Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity” Bogotá D.C, 2019.

[27] VP Racing Fuels, Inc. (2019, Jun 14). Ficha de datos de seguridad del producto Octanium Unleaded. [En línea]. <https://vpracingfuels.com/product/octanium-unleaded/?c=207&>

[28] A. Sevilla. “¿Eres el colombiano promedio?”. *EL PAÍS*. [En línea]. Disponible en: https://verne.elpais.com/verne/2016/04/19/articulo/1461079768_768006.html

[29] N. Franco, “Exposición a material particulado 2.5 en distintos medios de transporte en un trayecto de la Calle 80 en el barrio Bochica”. Trabajo de grado, Cundinamarca, Bogotá, Universidad de los Andes, 2015.

[30] PROBOGOTA. (2019). “Informe Bogotá Región Calidad del Aire”. [En línea]. Disponible: <https://asogravas.org/wp-content/uploads/2019/12/Informe-Bogot%C3%A1-Regi%C3%B3n-Calidad-del-Aire.pdf>

[31] C. Figueredo Salinas y F. Moreno Camacho, “Eficiencia de elementos de protección respiratoria evaluada en tres modos de transporte en Bogotá”, Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Salle, Bogotá, 2019.

- [32] J. Quintero. “¿Cuál es la relación existente entre las concentraciones de material particulado y las admisiones a centros médicos por enfermedades respiratorias agudas en Bogotá?”, Trabajo de grado, Facultad de Economía, Universidad del Rosario, Bogotá, 2020. https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/22036/TesisFinal_JulianaQuintero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [33] The Nature Conservancy. (8 de octubre de 2020). “Seis formas en que los árboles nos benefician”. [En línea]. Disponible: <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/ciudades-saludables/beneficios-de-los-arboles/#:~:text=%231%3A%20Los%20%C3%A1rboles%20absorben%20los,su%20almacenamiento%20en%20la%20madera>.
- [34] Secretaria Distrital de Planeación. (2022). “Cerros orientales de Bogotá”. [En línea]. Disponible: <https://www.sdp.gov.co/gestion-territorial/ambiente-y-ruralidad/cerros-orientales>
- [35] D. Garcia. “Determinación del ciclo diurno y cálculo de la concentración del material particulado PM10 y PM2.5 en el suroccidente y nororiente de la ciudad de Bogotá D.C. por métodos gravimétricos y volumétricos”, tesis, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., 2015.
- [36] C. Castro., A. I. Cuitiva., A. Orbegoza., J. D. Torres., A. Altamar., O. Fajardo y S. Mejía, “Evaluación de la concentración de PM10 y sus posibles implicaciones a nivel salud en dos puntos de Bogotá D.C.”, Ingenierías USBMed, vol. 11, no. 1 pp. 31-43, 2020.
- [37] C. Torres y O. Galindo. “Comportamiento del material particulado y su incidencia en los usuarios de la ciclovía recreativa de la carrera séptima en Bogotá D.C.” tesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., 2016.
- [38] EPA. (2016, feb 23). “East Elementary School - East Liverpool, OH”. [Internet]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/air/sat/EastElemenAddl.html>

10. Anexos

A continuación, se observan las tablas generales de los domingos y los días entre semana elaborados a partir de los ítems número cuatro y cinco especificado en la metodología:

- Anexo 1. Tabla de datos generales de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los días domingos

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
domingo 03-07	854	3,340749	5,414349	1	1	1	3	7	14	26	43	
domingo 10-07	1313	9,402894	48,36715	1	1	2	4	12	20	120	679	
domingo 17-07	1196	1,94398	1,852116	1	1	1	2	4	5	11	13	
domingo 24-07	2738	2,784149	2,090869	1	1	2	4	5	7	10	14	75,099
domingo 21-08	3536	1,742226	0,9825293	0,6	1,75	1,54	2	2,51	3,19	5,99	10,45	56,395
domingo 04-09	3695	21,85101	8,626205	11,04	14,64	18,66	29,27	35,47	37,93	43,08	94	39,477
domingos total	9637	3,248678	18,149489	0,6	1	1,65	2,71	5	7	20	679	

- Anexo 2. Tabla de datos generales de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de los días domingos

PM25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
domingo 03-07	671	4,274218	6,889267	1	1	1	4	11	19	35	41	
domingo 10-07	1017	7,091445	24,77506	1	1	2	5	11	21	133	292	
domingo 17-07	987	1,930091	1,728586	1	1	1	2	4	5	10	11	89,560
domingo 24-07	2209	2,637845	1,949344	1	1	2	4	5	6	10	12	73,899
domingos total	4884	3,647011	11,83761	1	1	2	4	6	9	31	292	

○ Anexo 3. Tabla de datos generales de temperatura (°C) de los días domingos

TEMPERATURA (°C)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
domingo 03-07	5730	20,93872	0,5276689	19	20,55556	21,11111	21,11111	21,66667	22,22222	22,22222	22,77778	2,520
domingo 10-07	5134	21,60239	1,56504	18,33333	20	21,66667	23,33333	23,88889	23,88889	23,88889	24,44444	7,245
domingo 17-07	3894	20,78576	0,9068986	17,78	20,56	21,11	21,11	21,67	21,67	21,67	21,67	4,363
domingo 24-07	4178	21,28042	0,4265762	20,56	21,11	21,11	21,11	22,22	22,22	22,78	22,78	2,005
domingo 21-08	3541	20,25916	1,088736	17,778	18,889	20,556	20,556	21,667	21,667	22,778	22,778	5,374
domingo 04-09	3714	16,84543	0,9360224	15	15,556	16,667	17,778	17,778	17,778	17,778	17,778	5,557
domingos total	22477	21,02036	1,088848	17,778	20,556	21,111	21,111	22,222	23,333	23,889	24,444	

○ Anexo 4. Tabla de datos generales de temperatura (°C) de los días domingos

HUMEDAD (%)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
domingo 03-07	5730	73,14206	2,473401	67	71	73	75	77	77	78	79	3,382
domingo 10-07	5134	65,53233	5,072552	58	61	65	70	71	72	79	83	7,741
domingo 17-07	3895	67,35944	4,649966	62	64	65	69	74	78	84	85	6,903
domingo 24-07	4068	65,29179	1,418609	60	64	66	66	67	67	67	69	2,173
domingo 21-08	3545	51,85416	2,301952	47	50	51	54	55	55	56	56	4,439
domingo 04-09	3742	67,03435	3,36764	9	65	67	69	71	71	75	75	5,024
domingos total	22372	65,58832	7,583394	47	62	66	71	75	76	79	85	

○ Anexo 5. Tabla de datos generales PM10 (µg/m3) días entre semana

PM10 (µg/m3)												
Día	Segundos	Media	D.E	Mín	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
lunes	4192	12,71469	11,23074	1	4	10	19	25	32	56	96	88,329
martes	2992	22,19098	18,2178	0,2	6,2	22,2	33,6	43,6	49,8	78,6	207,6	82,096
miércoles	2781	5,557825	3,738095	1,32	3,19	4,35	6,5	10	13,42	20,1	31,31	67,258
jueves	3664	14,57143	3,040794	7,11	12,38	14,33	16,31	18,39	19,51	23,36	34,92	20,868
viernes	4864	25,20826	17,18415	1	13	22	33	47	59	82	148	68,169
sábado	3747	4,205095	3,46093	0,63	1,82	3,4	5,57	7,8	9,7	14,33	35,1	82,303
Total semana	22240	14,69923	14,13299	0,2	4,4	11,4	19,4	33	42	65	207,6	

○ Anexo 6. Tabla de datos generales PM2.5 (µg/m3) días entre semana

PM2.5 (µg/m3)												
Día	Segundos	Media	D.E	Mín	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
lunes	4139	9,690263	7,156723	1	4	8	14	19	23	33	58	73,855
martes	2973	15,32755	10,85219	0,2	5,6	16,6	23	27	29,6	44,4	113,6	70,802
viernes	4856	17,49876	9,763063	1	10	16	23	29	34	51	83	55,793
Total	11968	14,25892	9,868695	0,2	6	13	21	26	30	45	113,6	

○ Anexo 7. Tabla de datos generales de temperatura (°C) días entre semana

TEMPERATURA (°C)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
lunes	4543	20,2653	0,8692035	19,444	19,444	20	20,556	21,667	22,222	22,778	22,778	4,289
martes	3154	21,5278	2,07667	16,22222	18,66667	19	21,22222	23,44444	24	24,55556	25,111	9,646
miércoles	2830	20,3750	2,204376	16	17	18	22	22	22	23	23	10,819
jueves	3664	20,5972	2,553537	15,66667	16,77778	17,88889	21,77778	22,88889	22,88889	22,88889	24	12,397
viernes	4894	20,43716	1,133381	18,33	19,44	20	21,11	22,22	22,78	23,89	23,890	5,546
sábado	3743	20,53227	1,5473	17,778	20	20	21,667	23,889	23,889	23,889	23,889	7,536
Total	22822	20,62245521	3,016899	17,778	20	21,66667	24	27,77778	28,88889	29,66667	25,111	

○ Anexo 8. Tabla de datos generales de humedad (%) días entre semana

HUMEDAD (%)												
Día	Segundos	Media	D.E	Min	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máx	Coefficiente de variación
lunes	4546	72,8073	3,99574	63	69	75	75	77	77	80	81	5,488
martes	3154	56,85244	4,757391	46	53	58,2	60,4	62	62,6	64	73	8,368
miércoles	2845	42,87632	4,389937	36	39	44	46	50	50	51	51	10,239
jueves	3663	32,6208	2,630135	28	30	34	35	35	36	36	37	8,063
viernes	4894	73,74888	4,695519	63	71	74	76	80	82	83	84	6,367
sábado	3739	55,40679	4,978506	47	51	56	59	62	64	66	67	8,985
Total	22841	57,78276	15,76073	28	45	59,8	73	76	78	82	84	

A continuación, se observan las matrices comparativas entre los trayectos de ida y regreso, entre cinco domingos, entre los domingos y los días entre semana, especificado en el ítem número siete de la metodología. Adicionalmente, en la Tabla 11 y la Tabla 12 se muestran aspectos importantes para entender la relación de las matrices:

Tabla 12. Símbolos de los días domingos

Día	Símbolo
domingo 03-07	D1
domingo 10-07	D2
domingo 17-07	D3
domingo 24-07	D4
domingo 21-08	D5
domingo 04-09	D6

Tabla 13. Significado y símbolo para cada una de las distribuciones

Distribución	Símbolo	Significado
Spearman	NO	NO hay correlación entre los tramos
	SI	SI hay correlación entre los tramos
Wilcoxon	NO	Las concentraciones NO son iguales
	SI	Las concentraciones SI son iguales
Significancia	>	Mayor 0,05
	<	Menor 0,05

- Anexo 9. Matriz de relación PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para cada día, ida y vuelta

IDA Y VUELTA PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
LN		MAR		MIR		JV		VR	
Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	NO	Spearman	SI	Spearman	SI
Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
Rho	-22,29%	Rho	-26,12%	Rho	-5,04%	Rho	17,41%	Rho	-23,50%
Significancia	<	Significancia	<	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	<
D1		D2		D3		D4		D5	
Spearman	NO	Spearman	NO	Spearman	NO	Spearman	NO	Spearman	SI
Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	SI	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
Rho	10,30%	Rho	5,63%	Rho	1,40%	Rho	15,89%	Rho	5,45%
Significancia	>	Significancia	>	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	<

- Anexo 10. Matriz de relación PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para cada día, ida y vuelta

ENTRE DOMINGOS PM10 (µg/m3)								
D1	D2		D3		D4		D5	
	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	NO	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	7,02%	Rho	-14,67%	Rho	-2,81%	Rho	-8,98%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	>	Significancia	<
D2	D3		D4		D5			
	Spearman	NO	Spearman	NO	Spearman	SI		
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	SI	Wilcoxon	NO		
	Rho	4,47%	Rho	-4,83%	Rho	6,62%		
	Significancia	>	Significancia	>	Significancia	<		
D3	D4		D5					
	Spearman	SI	Spearman	SI				
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO				
	Rho	-8,51%	Rho	18,04%				
	Significancia	<	Significancia	<				
D4	D5							
	Spearman	SI						
	Wilcoxon	NO						
	Rho	12,47%						
	Significancia	<						

- Anexo 11. Matriz de relación PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre días

ENTRE DÍAS PM10 (µg/m3)												
LN			MAR		MIE		JV		VR		SB	
D1	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	NO	Spearman	NO	Spearman	SI	Spearman	NO
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	10,05%	Rho	-15,94%	Rho	-2,37%	Rho	-0,18%	Rho	-9,72%	Rho	5,62%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	>	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	>
LN			MAR		MIE		JV		VR		SB	
D2	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-9,00%	Rho	-22,71%	Rho	-15,73%	Rho	6,32%	Rho	-26,60%	Rho	-19,47%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<
LN			MAR		MIE		JV		VR		SB	
D3	Spearman	SI	Spearman	NO	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-26,62%	Rho	-3,77%	Rho	16,35%	Rho	7,21%	Rho	-18,22%	Rho	-6,05%
	Significancia	<	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<
LN			MAR		MIE		JV		VR		SB	
D4	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-11,35%	Rho	25,62%	Rho	20,73%	Rho	15,64%	Rho	9,64%	Rho	-17,64%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<
LN			MAR		MIE		JV		VR		SB	
D5	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	19,51%	Rho	-21,95%	Rho	-6,64%	Rho	-4,03%	Rho	17,88%	Rho	9,40%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<

- Anexo 12. Matriz de relación PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para cada día, ida y vuelta

IDA Y VUELTA PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
D1		D2		D3		D4	
Spearman	SI	Spearman	NO	Spearman	SI	Spearman	SI
Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	SI	Wilcoxon	NO
Rho	-12,71%	Rho	0,36%	Rho	-35,32%	Rho	18,90%
Significancia	<	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	<
LN		MAR		VR			
Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI		
Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO		
Rho	-29,50%	Rho	-27,56%	Rho	-22,23%		
Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<		

- Anexo 13. Matriz de relación PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre días

TRAYECTO IDA Y REGRESO PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
D1	D2		D3		D4	
	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-14,29%	Rho	-14,61%	Rho	-15,82%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<
D2	D3		D4			
	Spearman	NO	Spearman	SI		
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO		
	Rho	5,56%	Rho	-9,84%		
	Significancia	>	Significancia	<		
D3	D4					
	Spearman	SI				
	Wilcoxon	NO				
	Rho	10,44%				
	Significancia	<				

- Anexo 14. Matriz de relación PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre días

ENTRE DÍAS PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
D1	LN		MAR		VR	
	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	NO
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-18,02%	Rho	-15,60%	Rho	-1,83%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	>
D2	LN		MAR		VR	
	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-13,56%	Rho	-24,18%	Rho	-23,91%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<
D3	LN		MAR		VR	
	Spearman	NO	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-2,84%	Rho	-9,35%	Rho	-10,96%
	Significancia	>	Significancia	<	Significancia	<
D4	LN		MAR		VR	
	Spearman	SI	Spearman	SI	Spearman	SI
	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO	Wilcoxon	NO
	Rho	-23,71%	Rho	33,89%	Rho	8,39%
	Significancia	<	Significancia	<	Significancia	<

- Anexo 15. Dosis de inhalación total PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Total PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	96,669	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	96,669	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	96,669	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	96,669	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
IR	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	3,962	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	4,328	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	4,932	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	4,143	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$

- Anexo 16. Dosis de inhalación de los tres días domingos PM10 (µg/m3)

Domingos PM10 (µg/m3)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	46,853	µg/m3	46,853	µg/m3	46,853	µg/m3	46,853	µg/m3
IR	1,25	m3/d	1,5	m3/d	1,25	m3/d	1,5	m3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	1,920	µg/kg*d	2,098	µg/kg*d	2,390	µg/kg*d	2,008	µg/kg*d

- Anexo 17. Dosis de inhalación del día martes PM10 (µg/m3)

Martes PM10 (µg/m3)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	65,651	µg/m3	65,651	µg/m3	65,651	µg/m3	65,651	µg/m3
IR	1,25	m3/d	1,5	m3/d	1,25	m3/d	1,5	m3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	2,691	µg/kg*d	2,940	µg/kg*d	3,350	µg/kg*d	2,814	µg/kg*d

- Anexo 18. Dosis de inhalación del día jueves PM10 (µg/m3)

Jueves PM10 (µg/m3)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	161,290	µg/m3	161,290	µg/m3	161,290	µg/m3	161,290	µg/m3
IR	1,25	m3/d	1,5	m3/d	1,25	m3/d	1,5	m3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	6,610	µg/kg*d	7,222	µg/kg*d	8,229	µg/kg*d	6,912	µg/kg*d

- Anexo 19. Dosis de inhalación del día jueves PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Viernes PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	212,515	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	212,515	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	212,515	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	212,515	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
IR	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	8,710	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	9,516	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	10,843	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	9,108	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$

- Anexo 20. Dosis de inhalación de manganeso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Manganeso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	Mujeres		Hombre		Meylan		Andres	
C	1,23E-09	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,23E-09	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,23E-09	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,23E-09	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
IR	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d	1,25	m^3/d	1,5	m^3/d
ED	2	h	2	h	2	h	2	h
BW	61	Kg	67	Kg	49	Kg	70	Kg
DI	5,04E-11	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	5,51E-11	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	6,28E-11	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$	5,27E-11	$\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{d}$