

ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN PERSONAL A MATERIAL PARTICULADO,  
CROMO Y CADMIO EN LA CICLOVÍA DOMINICAL EN EL TRAMO DE LA  
AVENIDA BOYACÁ DESDE LA CALLE 170 HASTA LA CALLE 66

**GAMBOA NAVARRO SOFÍA VALENTINA  
MORA FONSECA CAROLINA**

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ D.C.  
2022

ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN PERSONAL A MATERIAL PARTICULADO,  
CROMO Y CADMIO EN LA CICLOVÍA DOMINICAL EN EL TRAMO DE LA  
AVENIDA BOYACÁ DESDE LA CALLE 170 HASTA LA CALLE 66

**GAMBOA NAVARRO SOFÍA VALENTINA  
MORA FONSECA CAROLINA**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental  
Línea de investigación: Salud Ambiental

Director  
LUIS CAMILO BLANCO BECERRA  
Ing. Ambiental y Sanitario  
M.Sc Salud Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ D.C.  
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Firma Ingeniero Luis Camilo Blanco Becerra  
Director

\_\_\_\_\_  
Firma Ingeniero Jurado

\_\_\_\_\_  
Firma Ingeniero Jurado

Bogotá, de febrero, 2022

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser una guía espiritual en los momentos de adversidad.

A nuestras familias, sobre todo a nuestros padres, ya que sin ellos este proyecto no hubiera sido posible, por brindarnos su compañía en las noches de traspasnocho y por recordarnos que siempre podemos ser mejores y dar más de nosotras.

A nuestros amigos, por darnos buenos consejos, una sonrisa y una compañía constante.

Asimismo, a todas aquellas personas que de alguna u otra manera enriquecieron nuestros conocimientos y nos formaron como profesionales humanistas durante nuestros estudios

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Luis Camilo Blanco Becerra, por ser un referente y guía en la elaboración y desarrollo de nuestro proyecto de grado.

A Franklim Alam Gonzales Ávila, por siempre tener la mejor disposición a la hora de la gestión y préstamo de equipos y laboratorio en la Universidad Santo Tomás.

A todos los docentes que nos acompañaron durante todo nuestro proceso por la universidad, que nos brindaron su apoyo y conocimientos para llegar a desarrollar nuestro proyecto de grado.

A nuestros padres quienes fueron una ayuda emocional y económica durante el proyecto, los cuales siempre creyeron en nosotras y en nuestro potencial.

## RESUMEN

Este proyecto se realizó por la Av. Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66, uno de los corredores viales más importantes de la ciudad de Bogotá, el cual exhibe un alto flujo vehicular y es una de las rutas preferidas por los usuarios de la ciclovía recreativa dominical; por tal motivo se estimó la exposición al material particulado, cromo y cadmio, mediante el uso de bicicletas, de ida y regreso, con el fin de calcular las concentraciones de los contaminantes, durante 3 meses de 9:30 a.m. a 11:30 a.m. Así mismo, se hizo uso del equipo Airbeam2 y de la bomba personal GilAir3.

A partir del análisis estadístico y de laboratorio, se concluyó que las concentraciones en promedio de  $PM_{10}$  ( $5.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y del  $PM_{2.5}$  ( $4.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no son un factor de riesgo significativo para la salud, sin embargo, se recomienda el uso de tapabocas, debido a la presencia del cromo ( $30.33 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) y del PST ( $32.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), los cuales excedían el límite máximo permisible de acuerdo con la normativa.

**Palabras clave:** material particulado, cromo, exposición, ciclovía, inhalación

## ABSTRACT

This project was carried out by Av. Boyacá from 170th Street to 66th Street, one of the most important road corridors in the city of Bogotá, which exhibits a high flow of vehicles and is one of the preferred routes for Sunday recreational bike riders; for this reason the exposure to particulate matter, chromium and cadmium was estimated, by the use of bicycles, back and forth, in order to calculate the concentrations of pollutants, during 3 months from 9:30 a.m. to 11:30 a.m. Likewise, Airbeam2 equipment and the GilAir3 personal pump were used.

From the statistical and laboratory analysis, it was concluded that the average concentrations of PM10 (5.35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and PM2.5 (4.73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) are not a significant risk factor for health, however, the use of mouth plugs is recommended, due to the presence of chromium (30.33  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) and SWP (32.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), which exceeded the maximum permissible limit in accordance with the regulations.

**Keywords:** particulate matter, chromium, exposure, cyclopathy, inhalation.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág
<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Gráficas.....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Ecuaciones .....</b>	<b>12</b>
<b>Lista de Mapas .....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de Símbolos y Abreviaturas .....</b>	<b>14</b>
<b>Lista de Fotografías .....</b>	<b>15</b>
<b>Lista de Anexos .....</b>	<b>16</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>17</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>19</b>
1.1 Objetivo General.....	19
1.2 Objetivo Específicos .....	19
1.3 Pregunta de investigación.....	19
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>20</b>
<b>3. Marco de Referencia.....</b>	<b>23</b>
3.1 Marco Conceptual .....	23
3.1.1 Aire.....	23
3.1.2 Ciclovía .....	23
3.1.3 Contaminación Atmosférica.....	23
▪ Cadmio .....	23
▪ Cromo.....	24
▪ CO.....	24
▪ NO <sub>x</sub> .....	24
▪ SO <sub>x</sub> .....	24
▪ Material Particulado .....	24
▪ PM <sub>10</sub> .....	25
▪ PM <sub>2.5</sub> .....	25
▪ PST .....	25
3.1.4 Emisión .....	25
3.1.5 Toxicidad.....	25
3.1.6 Exposición.....	25
3.2 Riesgo Cancerígeno.....	25
3.3 Método de muestreo.....	26
3.4 Acoplamiento Inductivo (ICP) .....	26
3.5 Efectos a la Salud de la Contaminación del Aire.....	26
3.6 Marco Legal.....	27
3.7 Marco Contextual .....	29
3.7.1 Lugar de Estudio.....	29
3.7.2 Uso del suelo y actividades desarrolladas en las UPZ27 y 74.....	29
3.7.3 Transporte, Movilidad y Problemática Ambiental .....	30

<b>4. Metodología .....</b>	<b>33</b>
4.1 Trayecto seleccionado .....	33
4.2 Equipos e Insumos .....	34
4.3 Muestreo .....	35
4.4 Recolección de Datos .....	36
4.4.1 AirBeam 2 .....	36
4.4.2 Bomba GilAir-3 .....	36
4.4.3 Análisis AirBeam2 y filtros de la bomba personal GilAir-3 .....	37
• Promedios .....	37
• Determinación de concentraciones .....	37
• Estadística .....	37
4.4.4 Análisis Filtros Bomba GilAir-3 .....	38
<b>5. Análisis y Discusión de Resultados .....</b>	<b>39</b>
5.1 Análisis del Material Particulado .....	39
5.1.1 Trayecto 1 y 12 .....	40
5.1.2 Trayecto 2 .....	43
5.1.3 Trayecto 3, 4 y 5 .....	43
5.1.4 Trayecto 6 .....	49
5.1.5 Trayecto 7 y 8 .....	51
5.1.6 Trayecto 9 .....	54
5.1.7 Trayecto 10 .....	57
5.1.8 Trayecto 11 .....	59
• Dosis Inhalada Promedio del Material Particulado .....	59
5.2 Análisis de Metales Pesados .....	64
5.2.1 Cálculo del Riesgo Cancerígeno .....	66
<b>6. Impacto Social y Humanístico .....</b>	<b>70</b>
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>71</b>
<b>8. Recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág
<b>Tabla 1.</b> Normas para el control de la calidad del aire .....	27
<b>Tabla 2.</b> Resumen de volumen vehicular en la localidad de Suba total 24 horas. ....	31
<b>Tabla 3.</b> Equipos e Insumos .....	34
<b>Tabla 4.</b> División de los Tramos .....	39
<b>Tabla 5.</b> Concentración y Exposición Trayecto 1 y 12 .....	41
<b>Tabla 6.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 1 .....	41
<b>Tabla 7.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 12 .....	42
<b>Tabla 8.</b> Concentración y Exposición Trayecto 3, 4 y 5 .....	44
<b>Tabla 9.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 3 .....	44
<b>Tabla 10.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 4.....	46
<b>Tabla 11.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 5 .....	47
<b>Tabla 12.</b> Concentración y Exposición Trayecto 6 .....	49
<b>Tabla 13.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 6 .....	50
<b>Tabla 14.</b> Concentración y Exposición Trayecto 7 y 8 .....	52
<b>Tabla 15.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> Trayecto 7 .....	52
<b>Tabla 16.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> Trayecto 8 .....	53
<b>Tabla 17.</b> Concentración y Exposición Trayecto 9.....	55
<b>Tabla 18.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 9 .....	55
<b>Tabla 19.</b> Concentración y Exposición Trayecto 10.....	57
<b>Tabla 20.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 10 .....	58
<b>Tabla 21.</b> Concentración y Exposición Trayecto 11 .....	60
<b>Tabla 22.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 11 .....	60
<b>Tabla 23.</b> Dosis Inhalada PM <sub>10</sub> .....	62
<b>Tabla 24.</b> Dosis Inhalada PM <sub>2.5</sub> .....	62
<b>Tabla 25.</b> Promedio PST y Cromo por Trayecto .....	64
<b>Tabla 26.</b> Concentraciones de PST y Cromo por 12 Díaz .....	66
<b>Tabla 27.</b> Resumen de los parámetros considerados para la evaluación del riesgo cancerígeno.....	66
<b>Tabla 28.</b> Exposición de la Concentración y Caracterización del Riesgo .....	67

## LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
<b>Gráfica 1.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 1 .....	42
<b>Gráfica 2.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 12 .....	43
<b>Gráfica 3.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 3 .....	45
<b>Gráfica 4.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 4 .....	47
<b>Gráfica 5.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 5 .....	48
<b>Gráfica 6.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 6 .....	50
<b>Gráfica 7.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> Trayecto 7 .....	53
<b>Gráfica 8.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> Trayecto 8 .....	54
<b>Gráfica 9.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 9 .....	56
<b>Gráfica 10.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 10 .....	58
<b>Gráfica 11.</b> Concentraciones de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> Trayecto 11 .....	61

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>Pág</b>
<b>Ecuación 1.</b> Determinación de Concentración .....	37
<b>Ecuación 2.</b> Dosis Inhalada Promedio .....	61
<b>Ecuación 3.</b> Exposición de Concentración .....	67
<b>Ecuación 4.</b> Caracterización del Riesgo .....	67

## LISTA DE MAPAS

	<b>Pág</b>
<b>Mapa 1.</b> Ubicación Geográfica de la UPZ 27 Suba y la UPZ 74 Engativá.....	30
<b>Mapa 2.</b> Recorrido del Proyecto con los 4 tramos.....	40
<b>Mapa 3.</b> Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por Minuto durante el Trayecto 3 .....	46
<b>Mapa 4.</b> Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por Minuto durante el Trayecto 5 .....	49
<b>Mapa 5.</b> Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por Minuto durante el Trayecto 6 .....	51
<b>Mapa 6.</b> Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por Minuto durante el Trayecto 9 .....	57
<b>Mapa 7.</b> Concentraciones de PM <sub>2.5</sub> por Minuto durante el Trayecto 10 .....	59
<b>Mapa 8.</b> Distribución de las Fuentes de Emisión de la Av. Boyacá entre la Calle 127 a la Calle 66.....	65

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
$CO_2$	Gas carbónico
<i>IDRD</i>	Instituto Distrital de Recreación y Deporte
<i>ICP</i>	Espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo
$NO_x$	Óxidos de nitrógeno
$SO_x$	Óxidos de azufre
$PM_{2.5}$	Material particulado 2.5 ( $\mu g/m^3$ )
$PM_{10}$	Material particulado 10 ( $\mu g /m^3$ )
$SO_2$	Dióxido de Azufre
$NO_2$	Dióxido de Nitrógeno
$CO$	Monóxido de Carbono
$O_3$	Ozono
<i>Av.</i>	Avenida
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>PUF</i>	Partículas Ultrafinas
<i>BC</i>	Black Carbón
<i>PAH</i>	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
<i>PNC</i>	Concentraciones de Número de Partículas
<i>PM</i>	Material Particulado
<i>NO</i>	Monóxido de Nitrógeno
<i>gr</i>	Gramos
$\mu g$	Microgramos
$m^3$	Metros Cúbicos
<i>L</i>	Litros
<i>ExpC</i>	Exposición de Concentración
<i>C</i>	Concentración de metal o metaloide
<i>ET</i>	Tiempo de Exposición
<i>EFR</i>	Frecuencia de Exposición
<i>ED</i>	Duración de la Exposición
<i>AT</i>	Vida Media
<i>RC</i>	Caracterización del Riesgo
<i>ICP</i>	Plasma de Acoplamiento Inductivo
<i>PST</i>	Partículas Suspendidas Totales
<i>DI</i>	Dosis Inhalada

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Pág</b>
<b>Fotografía 1.</b> Trayecto Av. Boyacá .....	33
<b>Fotografía 2.</b> Pesaje de Filtros.....	35
<b>Fotografía 3.</b> Autoras con equipos .....	37

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág</b>
<b>Anexo A.</b> Valores obtenidos distribución Shapiro-Wilk y correlaciones de tramos con Spearman's .....	79
<b>Anexo B.</b> Valores Obtenidos en la Estadística Descriptiva Concentraciones Cromo y PST.....	84

## INTRODUCCIÓN

La ciclovia dominical es un espacio recreo-deportivo para disfrutar de la actividad física en familia y recorrer Bogotá en bicicleta; esta fue puesta en marcha el 15 de diciembre de 1974 para el tráfico exclusivo de ciclistas y peatones. Consiste en restringir el flujo vehicular de uno de los tramos de las principales vías de la ciudad, habilitando el otro tramo temporalmente para realizar alguna actividad física, siendo manejada actualmente por el Instituto Distrital de Recreación y Deporte (IDRD) (IDRD, s. f.), contando con más de 121 kilómetros de extensión y cerca de 1'700.000 usuarios por jornada y presta su servicio en el horario comprendido entre las 07:00 a.m. y las 02:00 p.m. todos los domingos y festivos del año (Alcaldía de Bogotá, 2015).

La ciclovia en su mayor parte comprende la Avenida Boyacá, la cual es una de las vías de mayor importancia en la movilidad de Bogotá, con una gran circulación de vehículos, los cuales se encuentran clasificados en livianos con un valor de 153.550, transporte público colectivo con un total de 17.182, buses intermunicipales con 4.730, camiones con el 12.419 y ciclos con motor y sin motor con un 76.932, dando así un total de 264.813 aproximadamente (Medina, 2020), produciendo importantes concentraciones de contaminantes del aire, que pueden llegar a comprometer la calidad de aire respirado por los usuarios de la ciclovia, produciendo así problemas a la salud, puesto que, las actividades físicas realizadas por los usuarios que normalmente pretenden mejorar su condición física y por ende su calidad de vida.

Por esta razón, se debería incluir una evaluación de las condiciones en las que se realiza estas actividades, ya que se ha demostrado que el cuerpo humano aumenta su frecuencia respiratoria durante una mayor actividad física, por lo que hay un mayor consumo de oxígeno por parte de los músculos y los órganos que se encuentran involucrados, resultando así en un mayor flujo de aire, mayor masa de aire inhalado y una penetración más profunda. Por lo tanto, cuando se hace un mayor esfuerzo, el cuerpo inhala dosis más altas de contaminantes del aire, especialmente material particulado, con una deposición más alta y corriendo el riesgo de sufrir efectos más fuertes (Fajardo, O. & Rojas, N., 2012).

La calidad del aire es uno de los aspectos ambientales que afectan de una manera más directa e importante a la población, incrementando su mortalidad y morbilidad, asimismo acortando su expectativa de vida. El contaminante de mayor impacto sobre la salud es el material particulado en suspensión, con la mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares, respiratorias y de cáncer pulmonar (Vargas R., 2011).

Para determinar el riesgo al que se ven expuestos, se cuantificaron las concentraciones de metales pesados, así como de material particulado, el cual se correlacionó de acuerdo con la OMS y la norma colombiana, además de estimar el riesgo toxicológico a metales pesados como el cromo y el plomo, realizando el

mismo recorrido durante 12 domingos en el tramo de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66, del mismo modo, los resultados de la presente investigación pretenden proponer estrategias que disminuyan la exposición a material particulado y metales pesados, para que las entidades responsables impongan medidas para mejorar la calidad de aire y así gozar del derecho constitucional de un ambiente sano.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo General**

Analizar la calidad del aire de la exposición personal a material particulado, cromo y cadmio en la ciclovía dominical en el tramo de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66 con ayuda de la Bomba GilAir-3 y Airbeam 2.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Cuantificar las concentraciones de material particulado, cromo y cadmio en la ciclovía dominical comprendida en el tramo de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66.
- Correlacionar las concentraciones de material particulado obtenidas en el muestreo de acuerdo con la Guía de Calidad del Aire de la OMS y con la normativa colombiana.
- Calcular el riesgo toxicológico derivado de la exposición de cromo y cadmio en los usuarios de la ciclovía dominical en el tramo de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66.

### **1.3. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las concentraciones de material particulado, cromo y cadmio a las que se encuentran expuestos los usuarios que utilizan la ciclovía en el tramo de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66?

## 2. ANTECEDENTES

Se encontró información acerca de calidad del aire y material particulado en artículos internacionales como el de deSouza, P., Lu, R., Kinney, P., & Zheng, S. (2021), el cual se realizó en la ciudad de Zhengzhou, la capital de la provincia de Henan en China. Esta ciudad se caracteriza por tener serios problemas de contaminación del aire, excediendo concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> de acuerdo con lo establecido por la OMS, debido al aumento de la combustión a base de carbón y emisión de vehículos de motor. Para este proyecto se utilizaron sensores Fairsense PMS1003 para monitorear la exposición de: PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub> y NO<sub>2</sub>, en cuatro medios de transporte (bicicleta, taxi, metro y autobús), a su vez, compararon las exposiciones y evaluaron los posibles factores que ayudaron a la variabilidad en la exposición a los diferentes contaminantes.

De otra forma, en la ciudad de Singapur, Asia, Tran, P. et al (2020), evaluaron la exposición de los ciclistas a partículas finas y BC, utilizando datos de otros estudios de Londres e India; de igual forma para el medio de la exposición emplearon modelos land use regression, redes neuronales profundas y análisis espacial. De acuerdo con lo analizado, la calidad del aire representa un alto grado de importancia a la hora de calcular el índice de movilidad en bicicleta en Singapur y, por lo tanto, merece una consideración seria e investigación a profundidad sobre el tema.

Un estudio desarrollado por Zuurbier, M. et al. (2019), cuantificó la contribución de las emisiones de los ciclomotores a las concentraciones de contaminación atmosférica en las ciclovías, esto debido a la proximidad de las motocicletas a los ciclistas. Realizaron mediciones de la PNC, PM<sub>2.5</sub> y BC en cuatro ciudades holandesas. Su metodología consistió en registrar por el sonido, el paso de motociclistas de dos y cuatro tiempos y el resto del tráfico. Se midieron las concentraciones de PNC en un segundo, PM y BC en un minuto, asimismo, emplearon análisis de regresión donde observaron la alta contribución de los motociclistas a la contaminación y calidad del aire.

Por otro lado, se encontró un estudio efectuado en la ciudad de Stuttgart, Alemania, elaborado por Samad, A., & Vogt, U. (2021), en donde se diseñó e implementó una plataforma de medición móvil con una bicicleta. En primera instancia, seleccionaron e instalaron diferentes dispositivos de medición en la bicicleta para mediciones móviles, registrando concentraciones de PM, UFP, BC, óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>) y O<sub>3</sub>. Se concluyó que la plataforma de medición móvil con la bicicleta ofreció la oportunidad de tener una distribución espacial de un área de estudio más grande y demostró ser un método altamente adecuado y dócil para este tipo de estudios. En Bogotá, Fajardo, O. Rojas, N. (2012) midieron PM<sub>10</sub> en dos lugares con carriles para bicicletas, donde el flujo de tráfico en estos dos lugares es alto, siendo congestionado. Se calculó la dosis inhalada y se empleó una encuesta a ciclistas para determinar un valor más aproximado de la población que se desplaza por esta ruta. Por otro lado, se calculó la dosis media diaria inhalada de PM<sub>10</sub> para diferentes

esfuerzos, leves y moderados. Se estableció que, en comparación con el ciclista sin esfuerzo, la dosis de  $PM_{10}$  inhalada del ciclista con esfuerzo es entre un 45% y un 64% más alta.

En 2014, Suárez et al. (2014) realizó un análisis en la ciudad de Bogotá D.C. en el cual estimó las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y Partículas Ultrafinas (PUF) en cuatro medios de transporte: bicicleta, bus, carro y trasmilenio, en horas de la mañana (8 A.M - 9 A.M). Para los usuarios que utilizaban la bicicleta como medio de transporte, se encontró una contribución estadísticamente significativa del tráfico vehicular sobre el  $PM_{2.5}$  y las PUF, de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $25600 \text{ pt}/\text{cm}^3$ , respectivamente. Para  $PM_{2.5}$  y PUF el medio de transporte más contaminado fue el bus. La media de  $PM_{2.5}$  en los trayectos en bicicleta fue de  $50,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  superando únicamente al modo de carro con  $46,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para PUF el medio más contaminado fue el bus con  $70000 \text{ pt}/\text{cm}^3$ , en segundo lugar, la bicicleta con  $63900 \text{ pt}/\text{cm}^3$ .

En el estudio desarrollado por Hernández, M. et al. (2021), se monitoreó la concentración de  $PM_{2.5}$  y BC en dos tipos de ciclorrutas de la ciudad de Bogotá D.C; la exposición más alta se midió en carriles para bicicletas adyacentes a carreteras con mayor tráfico vehicular. Las mediciones se desarrollaron entre semana y fines de semana, entre las 7 A.M - 10 A.M., obteniendo como resultado una diferencia entre las concentraciones de contaminantes en días laborables y los fines de semana. El  $PM_{2.5}$  se midió en tiempo real y, asimismo, se utilizó el método gravimétrico con un punto de control fijo ubicado en uno de los tramos de bicicleta; de acuerdo con el estudio se enfatizó en la necesidad de considerar la calidad del aire en la planificación urbana y la implementación de la infraestructura para bicicletas.

En la Ciudad de Bogotá D.C Morales Betancourt et al. (2017), seleccionaron seis modos de transporte tanto pasivos como activos, entre estos la bicicleta, donde se midieron las concentraciones de PUF, Black Carbón (BC) y  $PM_{2.5}$  en tres tramos diferentes. El estudio encontró que la concentración de exposición a  $PM_{2.5}$  y BC podría ser hasta seis veces mayor en los en los buses del sistema rápido en comparación con la exposición de la concentración de usuarios de bicicletas. Se determinó que los usuarios que utilizan las ciclorrutas dependen de la estructura de las calles, puesto que esta determina la exposición a los contaminantes atmosféricos, donde una calle abierta, a pesar del tráfico vehicular, puede presentar reducciones significativas en la exposición a estos contaminantes.

Finalmente, en Bogotá en la localidad de Kennedy, se desarrolló una campaña de campo, la cual consistía en la medición de material particulado  $pm_{2.5}$ , haciendo uso de monitores personales de calidad de aire, asimismo de recorridos en el sector y el uso de encuestas en la población que comprende el área de influencia de la ciclovía, también se determinaron los índices de sustentabilidad por medio de 18 indicadores agrupados por: ambiental, socioeconómico, salud ambiental y movilidad. A partir de esto, se concluyó que la Av. Boyacá y la Av. de las Américas

presentan grados de sustentabilidad bajos en comparación con las características que presenta la localidad de Kennedy, debido a sus emisiones de fuentes móviles, calidad del aire, factores que inciden en una mayor exposición a material particulado a los usuarios de la ciclorruta, además, de las percepciones de alto nivel de ruido, seguridad e infraestructura y altos índices de accidentes que afectan el uso de la bicicleta (Durán & Portela, 2018).

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 Marco Conceptual

##### 3.1.1 Aire

El aire es una mezcla de gases que forman la atmósfera, por lo que se encuentra en todas partes. Sus componentes principales son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, neón, helio, entre otros. Por otra parte, el aire no tiene un volumen definido y es sensible a la temperatura, es insípido, transparente, inodoro e incoloro en pequeñas cantidades. Pero a distancia, y en grandes volúmenes, se ve de color azul, esto es provocado por la desviación de los rayos solares (CNANP, 2018).

##### 3.1.2 Ciclovía

Es la vía o sección de la calzada destinada ocasionalmente para el tránsito de bicicletas, triciclos y peatones (Mintransporte, 2021).

##### 3.1.3 Contaminación Atmosférica

Se define como la presencia en el aire, ya sean pequeñas partículas o subproductos gaseosos, puede ocasionar riesgos, daños o molestias a las personas, plantas y animales expuestos al medio ambiente. Las principales formas de causar contaminación atmosférica son los procesos industriales de combustión (fuentes fijas) y las fuentes móviles como los automóviles (IDEAM, s. f.).

- **Cadmio**

El cadmio es un elemento químico que no se encuentra fácilmente. Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero un poco más duro que el estaño (PRTR-España, 2021).

Naturalmente, una gran cantidad de cadmio se libera al medio ambiente, la mayor parte del cual se libera en los ríos a través de la descomposición de las rocas, y una pequeña parte se libera a la atmósfera por los incendios forestales, los volcanes y la quema de fósiles en combustible y desechos municipales (PRTR-España, 2021).

Su importancia ambiental radica en la inhalación de este, cuando la persona está expuesta a altos niveles de industrialización, o bien de regiones en donde haya contaminación de este en el ambiente, asimismo en los trabajadores que realizan actividades en donde esté presente este metal (Barrón, 2016).

- **Cromo**

El cromo es un elemento que ocurre naturalmente en rocas, animales, plantas y en el suelo, en donde existe en combinación con otros elementos para formar varios compuestos (ATSDR, 2012).

La exposición al cromo puede darse debido a la ingestión de alimentos o agua contaminada o inhalación de aire contaminado. Niveles altos de cromo (VI) pueden dañar la nariz y producir cáncer. Ingerir niveles altos de cromo (VI) puede producir anemia o dañar el estómago o los intestinos (ATSDR, 2021).

- **CO**

El monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro que a muy bajas dosis es uno de los contaminantes más peligrosos para la salud. En un centro urbano el 56% de las emisiones provienen del transporte (WHO, 2000).

- **NOX**

Los óxidos de nitrógeno, especialmente el NO<sub>2</sub>, son promotores de otros contaminantes como el smog y la lluvia ácida. En los centros urbanos, el 55% de las emisiones provienen del sector transporte y el 22% proviene de la producción de energía. El NO<sub>2</sub> en la troposfera y los radicales libres de HC existen juntos, lo que lleva a la formación de O<sub>3</sub> en la troposfera. En la atmósfera, reacciona con el monóxido de cloro para formar nitrato de cloro y libera átomos de cloro, destruyendo la capa de ozono (Banco Mundial, 1997).

- **SO<sub>x</sub>**

El SO<sub>x</sub> es un gas estable que se produce por la quema de combustibles. En un centro urbano, el 67% de las emisiones vienen de las generadoras de energía y el 18% del sector industrial. La contribución del sector 1 transporte a las emisiones mundiales de SO<sub>2</sub> se estiman entre 2% y 6% (Banco Mundial, 1997).

- **Material Particulado**

Es el conjunto de una mezcla diversa de partículas sólidas y líquidas de varios tamaños y composiciones suspendidas en el aire, que incluyen hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), carbono elemental, compuestos de carbono orgánico, metales y componentes reactivos (Mu et al., 2014).

- **PM<sub>10</sub>**  
Partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general, 10 micrómetros y menores que pueden provocar efectos nocivos en el sistema respiratorio (EPA, 2021).
  
- **PM<sub>2.5</sub>**  
Partículas inhalables finas que tienen diámetros de, por lo general, 2,5 micrómetros y menores. Son la causa principal de la visibilidad reducida (EPA, 2021).
  
- **PST**  
De acuerdo con la Resolución 610 de 2010, las Partículas Suspendidas Totales (PST), es el material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en períodos cortos, sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

#### **3.1.4 Emisión**

Descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica (Miteco, 2021).

#### **3.1.5 Toxicidad**

Es un indicador para medir el riesgo inherente de una sustancia. Pertenece a la toxicidad aguda. Se refiere a la capacidad y toxicidad crónica de una sustancia de tener un efecto adverso importante en la salud de un individuo después de ingerir una sola dosis. Es causada por la exposición repetida a contaminantes de interés, lo que tiene un impacto grave en la salud personal (Caballero Herrera & Valencia Ortiz, 2018).

#### **3.1.6 Exposición**

Se refiere al estado de un receptor que se encuentra en una zona cuyo aire contiene una concentración, que se conoce o no, del contaminante de interés, y, por tanto, puede inhalarlo o verse afectado por él de otra manera (Caballero Herrera & Valencia Ortiz, 2018).

#### **3.2 Riesgo Cancerígeno**

Es la posibilidad de que algo pueda ocurrir, pero no una garantía de que ocurra. El riesgo se divide generalmente en dos categorías: riesgo absoluto y riesgo relativo.

El riesgo absoluto es de por vida, es decir, la probabilidad de que un individuo tenga cáncer en algún momento. El riesgo relativo te da una comparación o proporción más que un valor absoluto o se puede expresar en porcentaje (MFMER, 2022).

### **3.3 Método de muestreo**

El AirBeam2 utiliza un método de dispersión de luz para medir partículas, en donde el aire pasa a través de una cámara de detección en la que la luz de un láser dispersa las partículas en la corriente de aire. Esta dispersión de luz es registrada por un detector y convertida en una medida que estima la cantidad de partículas en el aire (Lim, M. 2018).

Por otro lado, la Bomba Personal GilAir 3, utiliza el método gravimétrico, en donde recoge la muestra haciendo pasar un volumen conocido de aire a través de un muestreador que incorpora un elemento de retención adecuado (filtro), con la ayuda de una bomba de muestreo. La cantidad de materia retenida en el filtro, expresada en miligramos, se obtiene entre la diferencia del peso del filtro previo y posterior al muestreo. A partir de dicha cantidad, y teniendo en cuenta el volumen de aire muestreado, se obtiene la concentración de materia particulado y metales pesados (INSHT, 2011).

### **3.4 Acoplamiento Inductivo (ICP)**

El ICP también conocido como ICP-AES (espectrometría de emisión atómica) o ICP-OES (espectrometría de emisión óptica), funciona usando un plasma de argón en el que se inyecta una muestra líquida atomizada. La muestra se ioniza en el plasma y los iones emiten luz a diferentes longitudes de onda características que posteriormente se miden (ICP, 2021).

### **3.5 Efectos a la Salud de la Contaminación del Aire**

La exposición al material particulado especialmente el más pequeño produce más efecto en la salud de las personas sobre todo a las que ya se encuentran con alguna enfermedad. La mayoría de las partículas de más de 5µm se depositan en las vías aéreas superiores, en la tráquea y los bronquios. Las de un diámetro más pequeño tienen mayor probabilidad de depositarse en los bronquiolos y alvéolos. La acumulación en los pulmones provoca enfermedades como, silicosis y asbestosis y cuando las partículas se depositan en el sistema respiratorio, sus efectos irritantes se pueden atribuir a su composición química y su toxicidad, así como a su propensión de absorber otras sustancias, produciéndose un efecto sinérgico que incrementa su agresividad (Suárez et al., 2014).

La exposición a metales pesados está relacionada con problemas para la salud, sus efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Cada metal tiene un mecanismo de acción y

un lugar de acumulación preferido. Por ejemplo, el cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado, ya que puede alcanzar una vida media de 30 años en el riñón (Reyes et al, 2016). Cuando es una exposición crónica puede implicar anemia, trastornos respiratorios, disfunciones renales, entre otras, para una intoxicación aguda se puede producir neumonitis, gastroenteritis, vómito, entre otras (Franco, Muñoz, & García, 2016).

En el caso del cromo cuando es por vía respiratoria entra en el organismo y es distribuido a la médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón e hígado. Los efectos para la salud dependen, especialmente, del grado de valencia del cromo en el momento de la exposición. Una exposición de corta duración puede causar irritación en los ojos y al tracto respiratorio. Otros problemas asociados a este metal son las erupciones cutáneas, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón e incluso puede llegar a darse la muerte (Montoya, Casas, & Wandurraga, 2010).

### 3.6 Marco Legal

En Colombia se cuenta con una amplia normativa en tema ambiental, en cuanto a la contaminación atmosférica se han asignado diferentes normativas para la calidad de aire con el fin de regular de una manera más efectiva los contaminantes. En la Tabla 1. Se muestran las normas vigentes para el control de la calidad del aire.

**Tabla 1.** Normas para el control de la calidad del aire.

<b>NORMA</b>	<b>EMISOR</b>	<b>OBJETO</b>
<b>Decreto 2 de 1982 Nivel Nacional</b>	Presidente de la República de Colombia	Reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.
<b>Resolución 160 de 1996</b>	Secretaria Distrital de Salud	Por la cual se reglamentan los niveles de emisión permisibles de contaminantes producidos por las fuentes móviles con motor a gasolina y diésel (automotores).
<b>Decreto 1697 de 1997</b>	Presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
<b>Acuerdo 23 de 1999</b>	Concejo de Santa Fe de Bogotá, D.C.	Se ordena la evaluación de las emisiones de gases y otros contaminantes emitidos por vehículos automotores con el fin de proteger el aire en el Distrito Capital.
<b>Decreto 1552 de 2000</b>	Presidente de la República de Colombia	Modifica el artículo 38 del Decreto 948 de 1995 en el sentido de prohibir las emisiones visibles de contaminantes en vehículos activados por diésel (ACPM), que presenten una opacidad superior a la establecida en las normas de emisión.

<b>Decreto 1530 de 2002 Nivel Nacional</b>	Presidente de la República de Colombia	Se Modifica el artículo 40 del Decreto 948 de 1995, modificado por el Decreto 1697 de 1997 y por el Decreto 2622 de 2000; Contenido de plomo y otros contaminantes en los combustibles, Contenido de plomo y otras especificaciones de calidad, en materia ambiental y técnica de los combustibles que se importen, produzcan, distribuyan y consuman en todo el territorio nacional. art. 1
<b>Decreto 174 de 2006</b>	Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.	Por medio del cual se adoptan medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el Distrito Capital. Clasifica a las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por material particulado menor o igual a 10 micras (PM <sub>10</sub> ).
<b>Decreto 417 de 2006</b>	Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.	Por medio del cual se adoptan medidas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire en el Distrito Capital. Clasificando las localidades de Bogotá.
<b>Resolución 910 de 2008</b>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.
<b>Resolución 0610 de 2010</b>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Modifica la Resolución 601 de 2006 por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, respecto de algunas definiciones.
<b>Resolución 2154 de 2010</b>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones.
<b>Decreto 98 de 2011</b>	Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.	Por el cual se adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.
<b>Decreto 1076 de 2015</b>	Presidente de la República de Colombia	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<b>Resolución 1962 de 2017</b>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial	Por la cual se expide el límite del indicador de cociente del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado y se adoptan otras disposiciones
<b>Resolución 2254 de 2017</b>	Ministerio del Medio Ambiente	Adopta la norma de calidad del aire ambiente la cual incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluyendo nuevos contaminantes y definiendo elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.
<b>Ley 1972 de 2019</b>	Congreso de Colombia	Por medio de la cual se establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones.

<b>Acuerdo 802 de 2021</b>	Concejo de Bogotá D.C.	Por el cual se establecen lineamientos para la formulación de la metodología para la evaluación y ajuste de los intervalos del Índice Bogotano de Calidad de Aire - IBOCA, y se dictan otras disposiciones.
----------------------------	------------------------	---

Fuente: Alcaldía de Bogotá (s. f.) y autores

### **3.7 Marco Contextual**

#### **3.7.1 Lugar de Estudio**

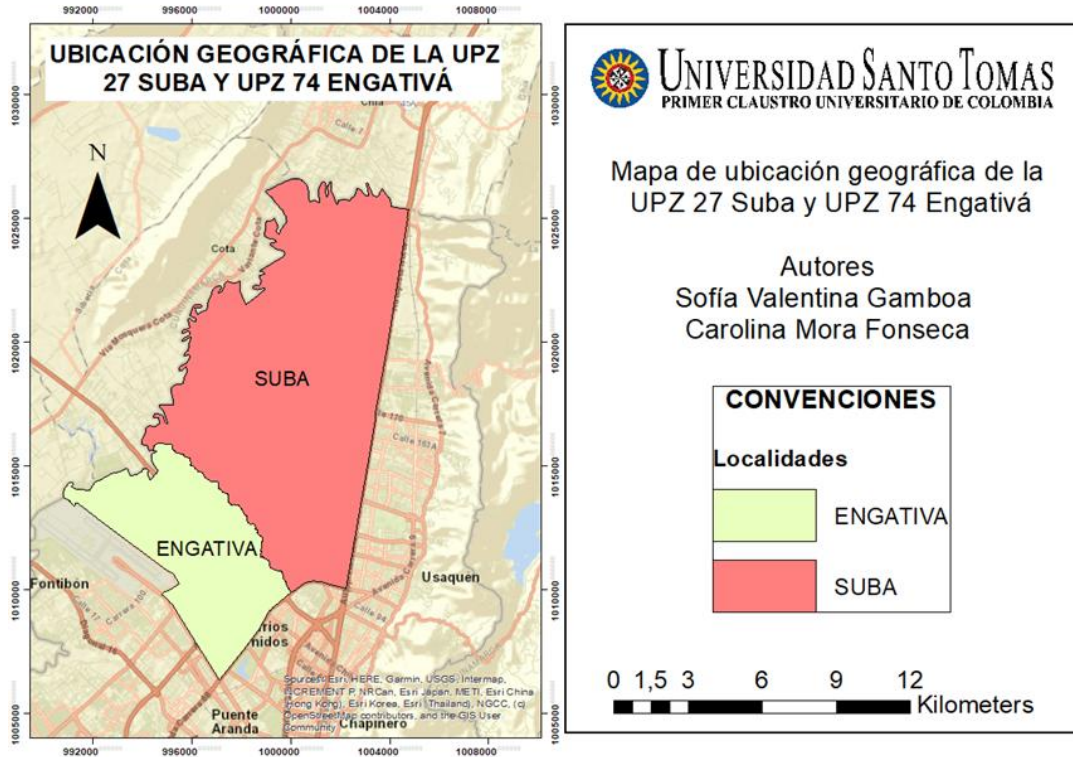
Bogotá está construida en un altiplano en los Andes colombianos (2600 msnm). Tiene una población de casi 8 millones de habitantes, y posee 1,4 millones de vehículos de pasajeros, una alta densidad de instalaciones industriales pequeñas y medianas y un sistema de transporte público basado en autobuses que satisface el 55% de la demanda de viajes (Fajardo & Rojas, 2012).

#### **3.7.2 Uso del suelo y actividades desarrolladas en las UPZ 27 y 74**

La localidad de Suba en la UPZ 27, está localizada en el extremo noroccidental del Distrito Capital. Tiene una extensión de 10.056 hectáreas, donde 3.785 (37,6%) son rurales y 6.271 (62,4%) son urbanos. Predomina lotes con uso comercial, dotacional, de prestación de servicios y residencial, se destaca la alta presencia de establecimientos educativos de nivel primario, secundario y medio superior, oficinas, empresas, comercio y finanzas, y también los espacios recreativos los domingos en la Avenida Boyacá (Moreno Barón, 2021).

La localidad de Engativá en la UPZ 74, se encuentra localizada en el Noroccidente de la capital, y representa el 4.2% del área total de la Ciudad que significan aproximadamente 3.588 Ha. Las actividades que más predominan son la residencial, educativa, de comercio, hoteles, restaurantes, industria manufacturera, actividades inmobiliarias y se concentra mayor que todo en el sector de servicios. Por último, también cuenta con espacios recreativos los domingos por la Avenida Boyacá (Rosero Rodríguez, 2019), a continuación, se presenta la ubicación geográfica de las UPZ de las Localidades recorridas, Mapa 1.

**Mapa 1.** Ubicación Geográfica de la UPZ 27 Suba y la UPZ 74 Engativá.



Fuente: autores

La Avenida Boyacá al ser una vía arterial de la ciudad de Bogotá y punto de entrada y salida para los vehículos de carga y los demás vehículos que desean atravesar la ciudad, hace que se registre un gran flujo vehicular, por lo que los usuarios que salen hacer algún deporte los domingos están más expuestos a la contaminación del aire.

### 3.7.3 Transporte, Movilidad y Problemática Ambiental

La localidad de Suba cuenta con la troncal del Portal Suba y limita con la troncal de la Autopista Norte. También cuenta con la Avenida Suba que conecta al sector tradicional con el resto de la ciudad, otras vías importantes son la Avenida Ciudad de Cali, Avenida Boyacá y la Autopista Norte. Se encuentra el Sistema de transporte Masivo Transmilenio y en avenidas como la Boyacá, la Ciudad de Cali, y las calles 170, 127, 138 y 134 poseen servicio de buses urbanos, al igual que en el sector de Suba central. Hay una carretera de conexión intermunicipal entre la localidad de Suba y el municipio de Cota, que se ubica en el sector de La Conejera que limita con la Calle 170 y la Transversal 91. Asimismo, los buses intermunicipales con destino al norte de Bogotá, que salen de la Terminal y que hacen su recorrido por la Avenida Boyacá (Santanilla, 2010).

La localidad de Suba se encuentra distribuida en 3 zonas diferentes. La primera zona es la zona norte (UPZ Guaymaral), que se concentra principalmente en caminos sin pavimentar, el movimiento de vehículos pesados. La segunda es la zona conformada por las UPZs Suba, San José de Bavaria, Prado, Britalia, La Alhambra, Niza, Casa Blanca y La Floresta, donde circula una gran cantidad de autos particulares, construcción descontrolada y algunas vías en estado regular. Por último, en el sector suroccidental (UPZ Tibabuyes y UPZ Rincón), el problema se debe principalmente al alto flujo de vehículos de servicio público, el mal estado de las vías, los restaurantes con chimeneas bajas, las cortadoras y pulidoras de madera y mármol, que aumentan la prevalencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares; asimismo la contaminación del aire de esta localidad es la causante de enfermedades crónicas respiratorias, especialmente en los niños (saludcapital, 2009).

A continuación, se presenta en la Tabla 2, el resumen de volumen vehicular en la localidad de Suba para el año 2016.

**Tabla 2.** Resumen de volumen vehicular en la localidad de Suba total 24 horas.

LIVIANOS	BUSES+ ALIMENTADOR	ARTICULADO+ BIARTICULADO	CAMIONES	MOTOS	MIXTOS
62.721	6.980	3.339	6.708	9.524	85.933
66.162	5.481	2.407	5.271	10.004	89.325
28.844	4.866	0	1.625	4.763	40.098
23.410	5.589	0	1.868	6.468	37.335

Fuente: autores a partir de Spiral Ingeniería S.A.

La localidad de Engativá presenta una infraestructura vial de 8.28% de la red vial de la ciudad, con aproximadamente 1.200 km de carriles y redes viales, beneficiándose del Sistema de Transporte Masivo Transmilenio, ya que dispone de una vía que pertenece a la red, La Avenida Calle 80 cuenta con rutas de alimentadores que abastecen a la población de manera adecuada. Por Engativá, atraviesan vías importantes como la Avenida Boyacá, la Avenida 68, la Avenida El Dorado, la Calle 72, la Carrera 114, la Carrera 104, la Calle 63, la Calle 53, la Avenida Rojas y la Avenida Cundinamarca (Rosero Rodríguez, 2019).

Las principales causas de contaminación atmosférica son las fuentes fijas de las empresas y las fuentes móviles por el 70% del volumen vehicular diario sobre estas vías (Secretaría de Movilidad, 2018). Las actividades comerciales e industriales generan emisiones por el uso de calderas, hornos e incineración de basuras. La contaminación del aire por partículas en suspensión para el año 2015 presentó una concentración promedio de PM<sub>2.5</sub> de 19.9 µg/m<sup>3</sup> (Rodríguez-Camargo et al., 2020), esto se debe a las fuentes móviles y zonales, como los depósitos de madera y aserríos ubicados sobre la Calle 68, Carrera 74, Avenida Boyacá, Calle 80. Alta

contaminación en la intersección de Avenida Boyacá con Carrera 53 debido a la presencia del terminal de transportes y al paso obligatorio del transporte de mercancías y pasajeros (Moreno Rojas, 2009).

## 4. METODOLOGÍA

La metodología implementada para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo de acuerdo con fuentes e información bibliográfica, asimismo, se consideró lo estipulado en la Resolución 2254 de 2017. En primera instancia, se realizó una etapa diagnóstica, donde se observó las características de la zona de estudio, con el fin de seleccionar el área para las mediciones, posteriormente, se llevó a cabo la etapa selectiva, conforme a esto, se seleccionaron los puntos de inicio y final del tramo, los horarios en los que mediría y el total del tiempo que duraría el recorrido en bicicleta; seguido a esto, se analizaron los resultados obtenidos a partir de los equipos implementados, con el objeto de determinar el grado de contaminación de PM, cromo y cadmio en el trayecto de la Avenida Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66.

### 4.1 Trayecto seleccionado

El trayecto seleccionado es el recorrido realizado durante 2 horas de medición en la ciclovía por 12 domingos, que para este estudio es un carril de norte a sur y viceversa, con un total de 20.6 Km según lo proporcionado en Google Maps, el cual se dividió en 4 tramos. En donde, se tuvieron en cuenta factores como el alto flujo vehicular de autobuses públicos convencionales y camiones de carga pesada, la presencia de restaurantes y comercio, asimismo, se considera que más del 75% de la longitud de la ciclovía en Bogotá sigue la misma configuración, en la acera junto a las carreteras principales, las anteriores calles mencionadas se consideraron representativas para el estudio.

#### Fotografía 1. Trayecto Av. Boyacá





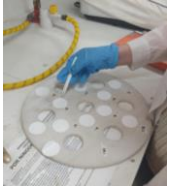






Fuente: Autores

## 4.2 Equipos e Insumos

A continuación, se mencionan y describen los diferentes equipos e insumos utilizados en el desarrollo del presente trabajo:

**Tabla 3.** Equipos e Insumos.

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Imagen</b>
<b>Bomba GilAir-3</b>	Bomba de succión de aire constante, con un caudal de 1 a 4 L/min. Con Batería recargable de NiHM para mínimo 8 horas.	
<b>Airbeam 2</b>	Dispositivo portátil que analiza la calidad de aire y utiliza un sistema GPS, mide el material particulado con una alta precisión aspirando el aire y midiendo la concentración y el tamaño de las partículas mediante un método de dispersión de luz, por medio de la aplicación AirCasting (THE NOTE, 2015)	
<b>Balanza Analítica</b>	Balanza de alta sensibilidad con presión al gramo	
<b>Desecador</b>	Cámara de vidrio borosilicato, que mantiene libre de humedad las muestras, gracias a un agente desecante	
<b>Filtros</b>	Disco de microfibras de cuarzo de alta pureza y con diámetro de 37mm	
<b>Cassette</b>	Cápsulas de plástico que contiene los filtros	

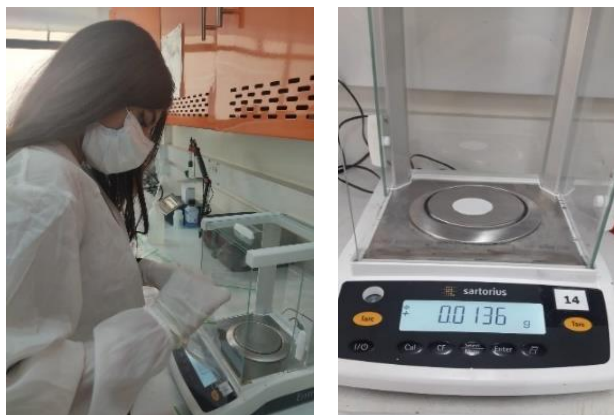
<b>Pinzas</b>	Pinzas de plástico para poder manipular los filtros	
<b>Bolsas ziploc</b>	Bolsas plásticas con un cierre, las cuales se usaron para contener los filtros muestreados	
<b>Portátiles</b>	Instrumentos tecnológicos para el desarrollo y análisis de los datos	

Fuente: autores

### 4.3 Muestreo

Para el muestreo se utilizaron dos equipos: una bomba personal que miden el material particulado y metales pesados como el cromo y el cadmio; el otro fue el Airbeam, que recolectó muestras de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en un total de dos horas, comenzando cada domingo a las 9:30 A.M. hasta las 11:30 A.M. Se recolectaron un total de 12 muestras de los 12 trayectos para cada PM, a su vez, se obtuvieron datos de temperatura y humedad. Por otro lado, la bomba personal se maneja de manera diferente, esta consta de unos filtros que atrapan el contaminante durante el recorrido y antes de muestrear, los 12 filtros se acondicionaron en un desecador a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $50\% \pm 5\%$  de humedad relativa durante 24 h y posteriormente se pesaron con una micro balanza ( $\pm 1 \mu\text{g}$  de resolución).

### Fotografía 2. Pesaje de Filtros



Fuente: Autores

## **4.4 Recolección de Datos**

### **4.4.1 Airbeam 2**

Para el muestreo se contó con el equipo Airbeam 2, antes de iniciar los doce trayectos se descargó una aplicación (AirCasting), esta aplicación se vinculaba vía bluetooth con el equipo, grabando los datos de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, la localización, el tiempo en minutos y segundos y dos parámetros (temperatura (°F) y la humedad relativa (%)), una vez terminados los trayectos, se mandaron los datos de cada domingo al correo institucional, ya que es la única forma de extraer la información.

### **4.4.2 Bomba GilAir-3**

Antes de poner en marcha la Bomba marca Gilian modelo GilAir-3, se desecaron los filtros en un tiempo total de 24 h, posteriormente se pesaron en la balanza analítica obteniendo los pesos iniciales de los doce filtros, concluido esto, se introdujeron los filtros en los cassettes y se ajustaron en la Bomba GilAir-3, se utilizó un cassette por domingo contando con doce cassettes en total, los cuales tenían su respectiva marca para poder especificar a cuál domingo correspondía, al prenderse el equipo, se adecuaba el caudal en 1.5 L/min y después se ajustó en 1.7 L/min para disminuir el margen de error, puesto que al aumentar el caudal, el resultado del PST se obtendría con más precisión.

Después de terminados los muestreos, se volvió a poner los 12 filtros a desecar y posteriormente se volvieron a pesar en la balanza, y se iban introduciendo en una bolsa ziploc con sus respectivas marquillas, seguido de esto y de comprobar que las concentraciones dieran correctas, se llevaron los 12 filtros más los 2 filtros de control (blancos) (cada filtro viene en lotes, para el caso del filtro 11 este estuvo en otro tipo de lote) a los laboratorios de la Universidad de la Salle para obtener los datos de los dos metales pesados por medio de la espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Cabe mencionar que la bomba no fue calibrada, debido a que era nueva y disponía de certificado de calibración, por ende, solo se registraron datos de PST y no de material particulado.

### Fotografía 3. Autoras con Equipos



Fuente: Autores

#### 4.4.3 Análisis Airbeam2 y filtros de la bomba personal GilAir-3

- **Promedios**

AirCasting presenta los datos en formato zip, una vez descomprimido, se organizaron los datos en un Excel. Se analizó la existencia de algún error en la medición y se procedió a realizar el promedio por segundo y minuto de los dos contaminantes (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), de la temperatura y la humedad relativa, empleando la media geométrica, que es recomendada para datos de progresión geométrica y para promediar razones.

- **Determinación de concentraciones**

Para la determinación de las concentraciones de los filtros, lo primero que se realizó fue hacer la diferencia de pesos iniciales y finales para cada uno de los filtros, como estos estaban en gramos (gr) se pasaron a microgramos (µg), ya que la concentración se necesita en µg/m<sup>3</sup>. Seguido a esto, con el caudal ajustado del equipo en L/min y el total del tiempo recorrido en minutos se procedió hallar el volumen en litros (L) y posteriormente a metros cúbicos (m<sup>3</sup>), una vez obtenido estos dos datos se procedió a determinar la concentración de la siguiente manera:

#### Ecuación 1. Determinación de Concentración

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Diferencia de pesos (ug)}}{\text{Volumen (m3)}}$$

- **Estadística**

Para el análisis estadístico se empleó el Programa Estadístico Stata/IC 11.0. En el Excel de cada trayecto, se realizó la división de los cuatro tramos para el PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub> y se copiaron en el programa Stata/IC 11.0. Se utilizó el código *sum variable*,

det añadiendo las variables representativas (contaminantes) por tramo y en su totalidad, esto con fin de obtener el total de los datos, los percentiles, la mínima, la máxima y la media por contaminante.

Para conocer el tipo de distribución de las variables se utilizó la estadística *gráfica de distribución y prueba* con la herramienta *Shapiro Wilk*, si la distribución no era normal se aplicaba la *prueba de hipótesis no paramétricas* ejecutando la correlación *Spearman Rank*, a partir de esta, se conoció el porcentaje de correlación entre los tramos de un mismo contaminante.

#### **4.4.4 Análisis Filtros Bomba GilAir-3**

Para el análisis de los doce filtros, estos fueron llevados al Laboratorio Instrumental de Alta Complejidad (LIAC) de la Universidad de la Salle, en donde se identificaron los metales utilizando espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), también conocido como ICP-AES (espectrometría de emisión atómica) o ICP-OES (espectrometría de emisión óptica). Este procedimiento se empleó ya que se considera un método por excelencia para analizar simultáneamente muchos elementos y en niveles tan bajos como 1-10 ppb (ICP, 2021).

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis del Material Particulado

De acuerdo con los objetivos planteados, y mediante la herramienta Excel, se identificó una tendencia entre algunos trayectos, ya que sus recorridos mostraban una relación, asimismo, se realizó un análisis individual de los trayectos que presentaban alguna característica en las concentraciones del material particulado, durante los 12 domingos por dos horas, en donde se buscó establecer las zonas y horarios de mayor exposición de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) para los usuarios que transitan por la ciclovía. Por otra parte, cabe aclarar que los valores de los contaminantes se dejaron en segundos, ya que algunos valores del PM<sub>2.5</sub> daban mayor que el PM<sub>10</sub>, cuando se utilizaba un valor promedio por minuto.

El recorrido se dividió en 4 tramos durante las 2 horas, con la finalidad de comparar el tramo 1 y el tramo 2, teniendo en cuenta la ida y el regreso, de igual manera, para el tramo 3 y 4, con el propósito de conocer el comportamiento de los tramos, los cuales se presentan a continuación en Tabla 4.

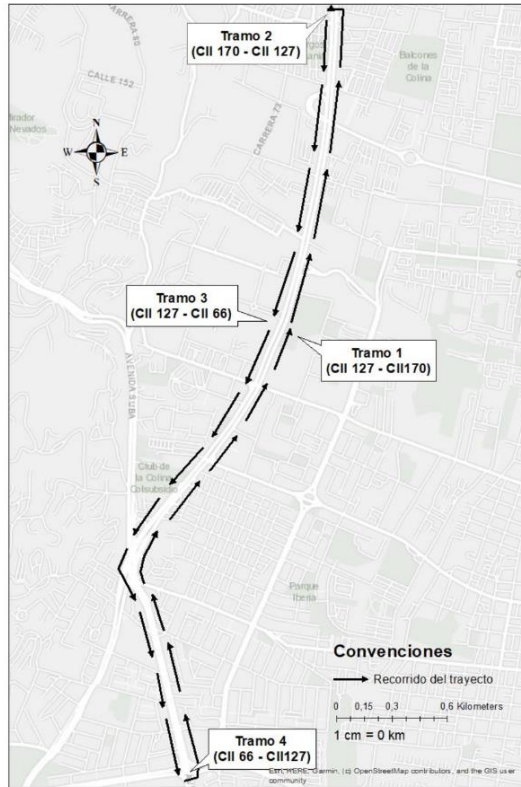
**Tabla 4.** División de los Tramos.

Tramo	Recorrido
1	Calle 127 hasta calle 170 con Av. Boyacá
2	Calle 170 hasta calle 127 con Av. Boyacá
3	Calle 127 hasta calle 66 con Av. Boyacá
4	Calle 66 hasta calle 127 con Av. Boyacá

Fuente: autores

Seguido a esto, se presenta el análisis estadístico y la gráfica total de los dos contaminantes por cada día de trayecto.

## Mapa 2. Recorrido del Proyecto con los 4 tramos



Fuente: autores

### 5.1.1 Trayecto 1 y 12

Para el trayecto 1 y 12 se evidenciaron las concentraciones más bajas de  $PM_{10}$ , respecto a los demás trayectos, en un rango de  $3.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $3.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. Asimismo, la concentración de  $PM_{2.5}$  del trayecto 1 se registró como la de menor valor ( $3.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

El trayecto 1 se realizó el 28 de marzo de 2021, en donde se contó con solo 3 tramos debido a la falta de información proporcionada por el equipo Airbeam 2, ya que no registró valores en la aplicación AirCasting del tramo 2 y en cuanto al trayecto 12, se ejecutó el 11 de julio de 2021. Como se muestra en la Tabla 5, para estos dos días una persona que realiza actividad física en la ciclovía dominical por un periodo de 2 horas de  $PM_{10}$  se ha expuesto al 5% del valor establecido en la resolución 2254 de 2017 ( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que en ese mismo lapso se expone del 8% al 9% del valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 24 horas ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por otra parte, para el  $PM_{2.5}$  se establece que una persona en promedio durante dos horas se expone al 8% y 12% del valor diario señalado por la normatividad nacional ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y que corresponde al 20% y 29% de la concentración diaria sugerida por la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tabla 5.** Concentración y Exposición Trayecto 1 y 12

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)
1	Resolución 2254 de 2017	3.63	5	3.05	8
	OMS		8		20
12	Resolución 2254 de 2017	3.93	5	4.33	12
	OMS		9		29

Fuente: autores

**Tabla 6.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 1

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	2642	3.63	1	1	2	3	6	9	52	112
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	2440	3.05	1	1	2	3	6	9	31	67
T° (C)	58	23.42	21.65	22.22	22.70	24.44	26.34	27.22	27.25	27.25
Humedad (%)	58	65.46	56.16	60.88	64.09	71.93	72.3	73	74	74

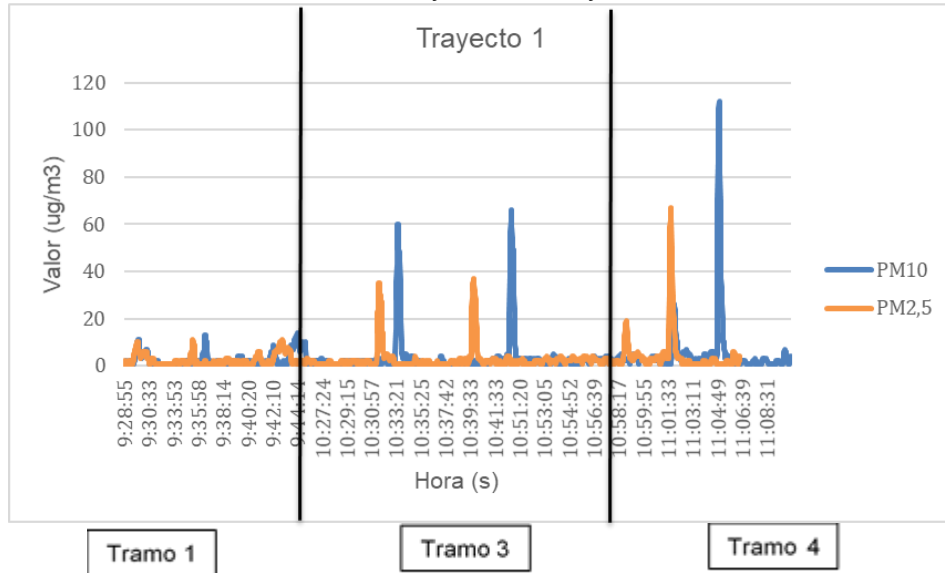
P: percentil

Fuente: autores

De acuerdo con la Tabla 6 se observó que el 95% de los datos (segundos) estuvieron por debajo de los 9 µg/m<sup>3</sup> para los dos contaminantes, no existiendo un riesgo aparente por la exposición a los contaminantes en el trayecto 1. Los picos registrados durante el trayecto estuvieron por encima de los 52 µg/m<sup>3</sup> (Gráfica 1).

Sumado a lo anterior para los contaminantes se empleó la distribución de Shapiro-Wilk, con el fin de conocer si se seguía una distribución normal o no; las variables presentaron valores <0.05, lo que quiere decir que no cumplen una distribución normal. Seguidamente, se utilizó la correlación Spearman's (Prueba no paramétrica) con el fin de establecer si las concentraciones registradas en los tramos tanto de ida como de vuelta se relacionaban. Para el tramo 1 no se hizo una correlación puesto que para este trayecto no se cuenta con el segundo tramo; en cuanto al tramo 3 y 4 para el PM<sub>10</sub> se obtuvo una correlación del 17% y del 21% para PM<sub>2.5</sub>, lo cual señala que no existe una gran correlación en las concentraciones de ida y regreso de los tramos 3 y 4 (Anexo A).

**Gráfica 1.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 1



Fuente: autores

La Gráfica 1 muestra que en los tramos 3 y 4 se presentan las mayores concentraciones por segundo que corresponden al P99 de la tabla 4. Estos altos valores se pudieron haber presentado por el alto flujo vehicular. Por último, al no tener registros del tramo 2, no se pudo finalizar la comparación total de los tramos con respecto al tramo 1, los cuales representan el principio del trayecto; sin embargo, se observa que el tramo 1 no superan los 20 µg/m<sup>3</sup> para los dos contaminantes.

**Tabla 7.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 12

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	241	3.93	-2	-6	1.4	2.6	7.2	12.4	64.6	86.6
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	241	4.33	86.6	-8	1.4	3.8	12.2	21	37.2	53.8
T° (C)	121	21.11	20.55	20.38	20.55	21.11	22.66	23.33	21.1	23.9
Humedad (%)	121	61.78	56.71	59.17	60.6	61.18	61.3	63.7	68	70.99

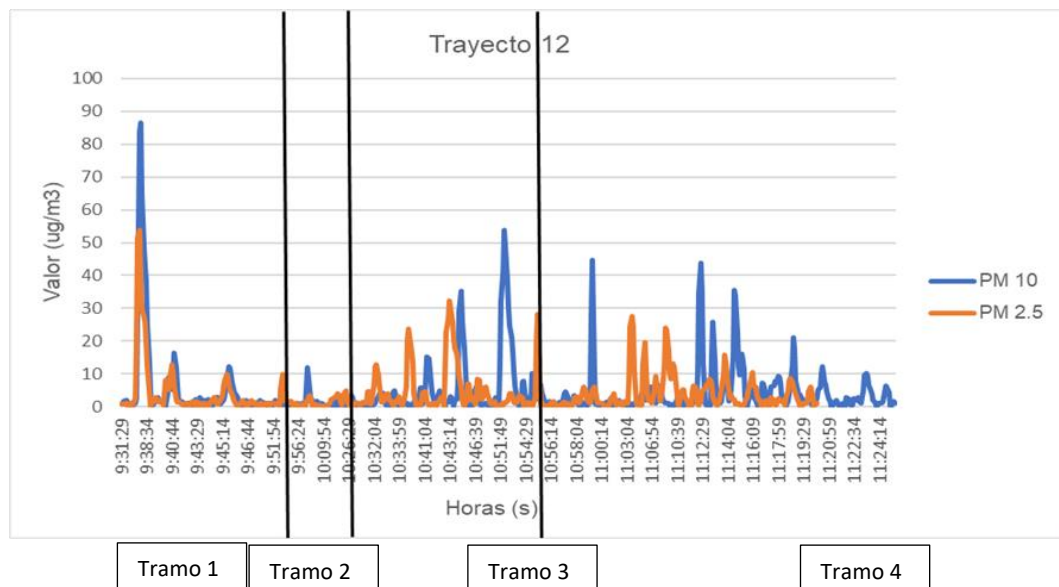
P: percentil

Fuente: autores

En la Tabla 7 se identifica que el 95% de los segundos se presentaron por debajo de los 12.4 µg/m<sup>3</sup> de los dos contaminantes, no existiendo un riesgo aparente por la exposición de estos en el último trayecto. A su vez, se determinó que los picos registrados durante el trayecto estuvieron por encima de los 64.4 µg/m<sup>3</sup>, como se evidencia en la gráfica 2.

Se manejó la correlación Spearman's. Para el tramo 1 y 2 para el PM<sub>10</sub>, se obtuvo un comportamiento inversamente proporcional con un valor del -14%, para el caso del PM<sub>2.5</sub> se registró correlaciones positivas con un valor de 13% de relación entre los tramos; en cuanto al tramo 3 y 4 para el PM<sub>10</sub> se mostró una correlación negativa del -30%, para PM<sub>2.5</sub>, arrojó una correlación positiva del 33% lo cual señala que no existe una gran correlación en las concentraciones de ida y regreso de los tramos 3 y 4 (Anexo A).

**Gráfica 2.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 12



Fuente: autores

La gráfica 2 muestra que en los tramos 3 y 4 se presentan las mayores concentraciones por segundo que corresponden al P99 de la tabla 14, sin embargo, en el tramo 1 se observó un pico considerable que no supera los 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM<sub>10</sub>. Estos valores altos se pueden ocasionar por el alto flujo vehicular.

### 5.1.2 Trayecto 2

El segundo trayecto se realizó el 4 de abril del 2021, este no contó con la información suministrada por el Airbeam2, ya que el equipo presentó un error a la hora de la medición, puesto que, al encenderlo no se logró vincular con el dispositivo móvil, por ende, se descartó este domingo, sin embargo, no afecta el análisis, ya que se cuenta con datos de 11 mediciones más.

### 5.1.3 Trayecto 3, 4, 5

Estos tres trayectos consecutivos presentaron similitudes en ambas concentraciones de material particulado, manteniéndose para PM<sub>10</sub> en un grado de 4 µg/m<sup>3</sup> a 4.82 µg/m<sup>3</sup> y para PM<sub>2.5</sub> entre 4 µg/m<sup>3</sup> y 5 µg/m<sup>3</sup>.

En el tercer trayecto, se llevó a cabo un mes después, debido a la contingencia sanitaria que impuso una cuarentena, en ese orden de ideas, el trayecto se realizó el 9 de mayo de 2021. El cuarto recorrido se desarrolló el 16 de mayo de 2021 y el quinto trayecto se efectuó el 23 de mayo de 2021; para su último tramo (4), se descartaron los últimos 4 minutos, ya que no registraron valores.

Se puede afirmar que, para estos tres trayectos, una persona que realiza actividad física en la ciclovía dominical en un periodo de 2 horas se expone para el PM<sub>10</sub> entre el 5% al 6% del valor estipulado en la Resolución 2254 de 2017 (75 µg/m<sup>3</sup>), entre tanto, para el mismo tiempo, se expone al 9% al 11% del valor sugerido por la OMS de 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>). Con relación al PM<sub>2.5</sub> se determina que durante dos horas una persona se expuso entre el 11% y el 13% de valor diario establecido por la normativa nacional (37 µg/m<sup>3</sup>) y que compete entre 27% al 33% de la concentración diaria recomendada por la OMS (15 µg/m<sup>3</sup>), como se evidencia en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Concentración y Exposición Trayecto 3,4 y 5

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)
3	Resolución 2254 de 2017	4.55	6	4.06	11
	OMS		10		27
4	Resolución 2254 de 2017	4.04	5	5.03	13
	OMS		9		33
5	Resolución 2254 de 2017	4.82	6	4.35	12
	OMS		11		29

Fuente: autores

**Tabla 9.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 3

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	3119	4.55	1	1	2	4	10	19	45	82
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1136	4.06	1	1	1	3	12	19	33	50
T° (C)	115	22.61	21.11	21.76	22.73	23.33	23.84	23.88	24.19	24.38
Humedad (%)	115	65.86	60.31	63.58	66.4	68.13	69.13	69.5	70.66	72.2

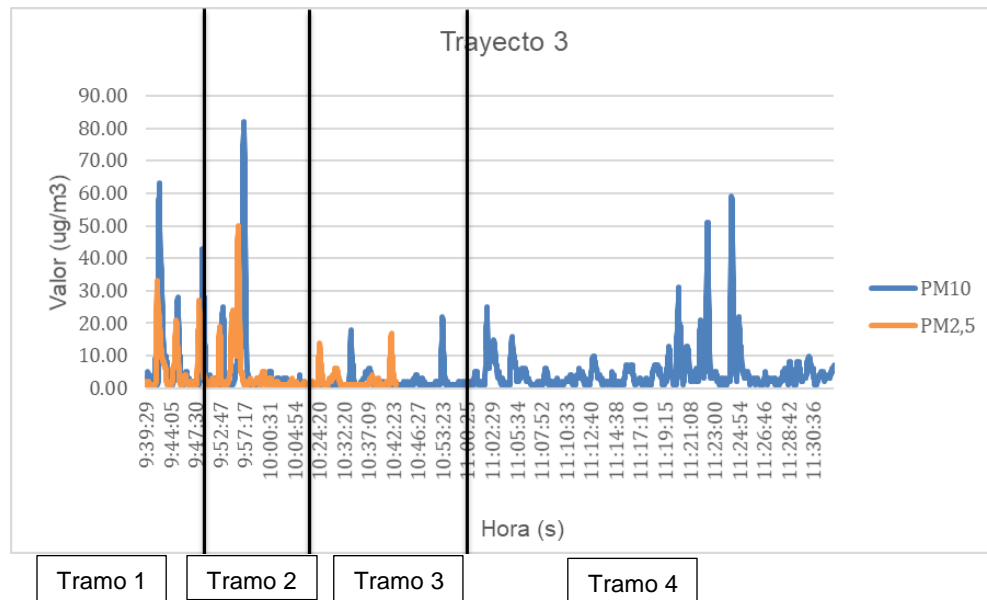
P: percentil

Fuente: autores

De acuerdo con la Tabla 9, se contempló que el 95% de los segundos se presentaron por debajo de los  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para ambos contaminantes, no representando un riesgo evidente por la exposición tanto de  $\text{PM}_{2.5}$  como de  $\text{PM}_{10}$  en el trayecto 3. Por último, se observaron unos picos durante el recorrido por encima de los  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se muestra en la Gráfica 3.

Una vez obtenida la información del material particulado, se utilizó la distribución Shapiro-Wilk, donde se registraron valores  $<0.05$ , es decir, no se presenta una distribución normal. Posteriormente, se implementó la correlación Spearman's; en el tramo 1 y 2 para el  $\text{PM}_{10}$  arrojó un valor negativo  $-50\%$ , para el  $\text{PM}_{2.5}$  también se observó una correlación negativa  $-53\%$ , esto quiere decir, que ambos tramos se comportan de manera inversamente proporcional. Por otra parte, el tramo 3 y 4 para el  $\text{PM}_{10}$  se obtuvo una correlación positiva  $12\%$  mostrando una semejanza entre estos tramos. Finalmente, no se realizó una correlación para el tramo 3 y 4 de  $\text{PM}_{2.5}$ , ya que no se contó con la concentración en el tramo 4 (Anexo A).

**Gráfica 3.** Concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  Trayecto 3

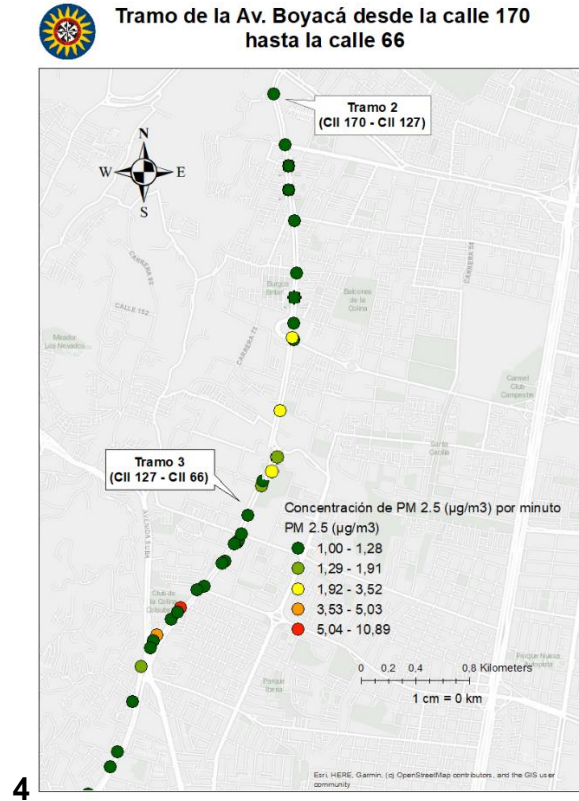


Fuente: autores

En la gráfica 3, se presenta que en los tramos 1 y 2 se encuentran las más altas concentraciones por segundo que competen al P99 de la tabla 5, lo anterior se pudo haber manifestado, por la presencia de fuentes móviles en la Avenida Boyacá. En otro orden de ideas, el  $\text{PM}_{2.5}$  se evidencio hasta el tramo 3 finalizando ahí la exposición a este contaminante. Por último, para el tramo 4 los valores de  $\text{PM}_{10}$  no superaron los  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A continuación, se presenta el mapa 2 de las

concentraciones registradas para el PM<sub>2.5</sub> por minuto en el tramo 2 y 3 durante el trayecto 3.

**Mapa 3.** Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> por minuto durante el Trayecto 3



Fuente: autores

**Tabla 10.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 4

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1412	4.04	1	1	2	3	9	13	38	76
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	1412	5.03	1	1	2	5	8	11	25	46
T° (C)	110	23.33	22.05	22.77	23.33	23.77	24.44	25	25.11	25.11
Humedad (%)	110	64.6	77.2	64	64.8	65.2	66	66	66.4	66.7

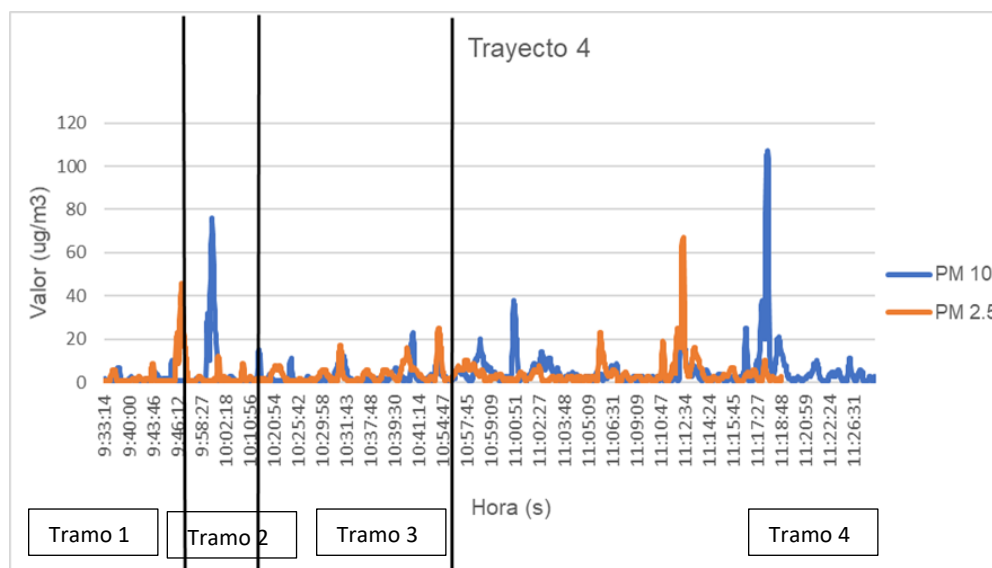
P: percentil

Fuente: autores

Conforme a lo presentado en la Tabla 10, se encontró que el 95% de los segundos se presentaron por debajo de los 13 µg/m<sup>3</sup> para el PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, representando un riesgo mínimo por la exposición a estos contaminantes. A su vez, se identificó, que los picos evidenciados superaron los 38 µg/m<sup>3</sup>.

Una vez aplicada la distribución, se determinó que las variables no cumplen una distribución normal, registrando para el tramo 1 y 2 del PM<sub>10</sub> una correlación negativa -25% y para el PM<sub>2.5</sub> una correlación del -29%, presentando un comportamiento inversamente proporcional. Por otro lado, la correlación para el tramo 3 y 4 del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, se observó de igual forma, con un valor de -6% y -21% respectivamente (Anexo A).

**Gráfica 4.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 4



Fuente: autores

En la gráfica 4, se observan concentraciones por segundo elevadas para el tramo 4, las cuales corresponden al P99 de la Tabla 10, estos valores para este tramo se pudieron haber presentado, ya que comprende la calle 66 con Av. Boyacá, caracterizándose por ser una de las vías con un alto flujo vehicular. Para el tramo 3 los valores no sobrepasan los 30 µg/m<sup>3</sup> para ambos contaminantes.

**Tabla 11.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 5

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
<b>PM<sub>10</sub></b> <b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	2340	4.82	1	1	2	5	11	22	41	55
<b>PM<sub>2.5</sub></b> <b>(µg/m<sup>3</sup>)</b>	1852	4.35	1	1	2	5	11	19	27	33
<b>T° (C)</b>	121	22.6	20.87	21.66	22.43	23.33	24.38	24.48	24.56	24.57
<b>Humedad</b> <b>(%)</b>	121	67.38	60.55	63.56	65.61	68.22	75.56	79.54	85.08	86

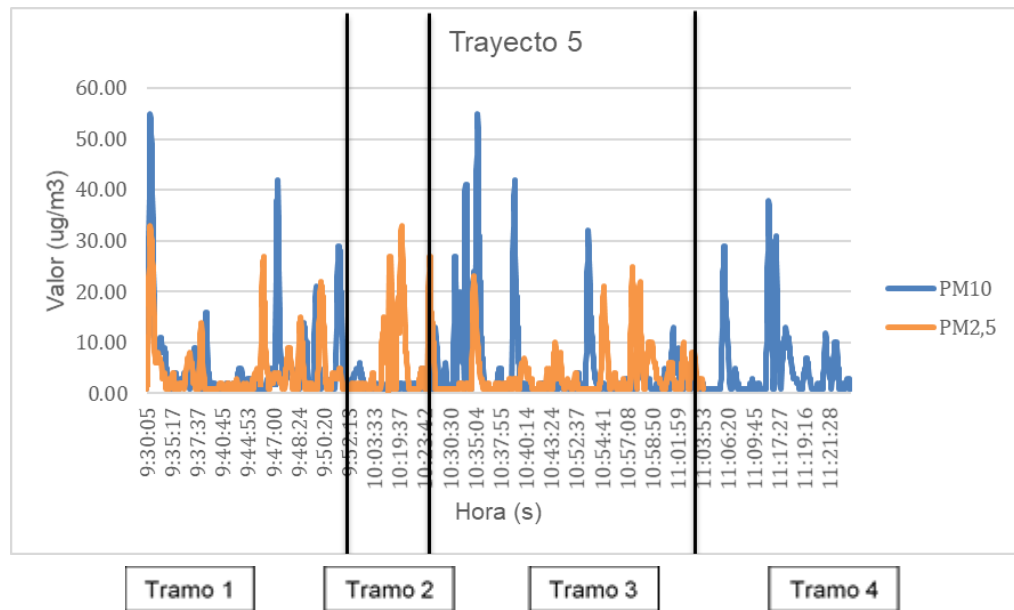
P: percentil

Fuente: autores

Se observó que el 95% de los segundos estuvieron por debajo de los  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para los dos contaminantes, no existiendo un riesgo aparente por la exposición a los contaminantes en el trayecto 5. Por último, los picos registrados durante el trayecto estuvieron por encima de los  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como se presenta a continuación en la gráfica 4, como se evidencia en la Tabla 11.

Para el tramo 1 y 2, se registró una correlación negativa -25% para el  $\text{PM}_{10}$ , por lo cual, hubo un comportamiento inversamente proporcional, asimismo para el  $\text{PM}_{2.5}$ , con un valor del -36%. Por otro lado, el tramo 3 y 4 para el  $\text{PM}_{10}$  se obtuvo una correlación del 13%, lo que quiere decir que existe una relación mínima entre los tramos. Para el caso del  $\text{PM}_{2.5}$ , su correlación se registró negativa -14%, lo cual señala que no se encuentra una correlación en las concentraciones y presenta un comportamiento inversamente proporcional (Anexo A).

**Gráfica 5.** Concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  Trayecto 5.

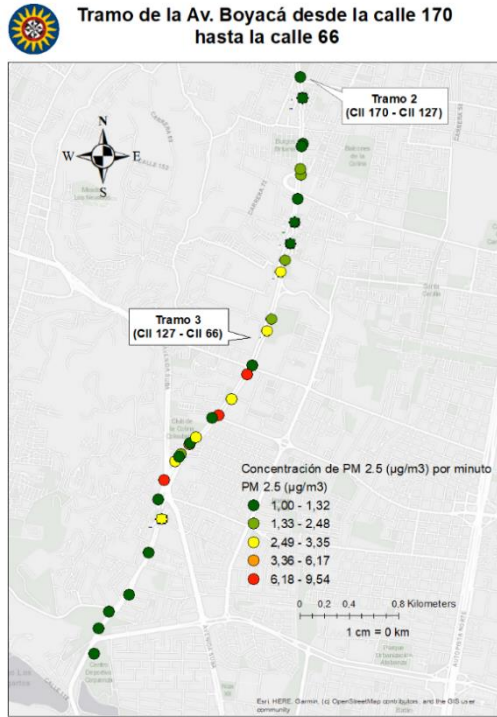


Fuente: autores

La gráfica 5 muestra que en todos los tramos se presentan altas concentraciones por segundo que corresponden al P99 de la Tabla 11. Lo anterior afirmado, se pudo presentar por un alto flujo vehicular y a su vez el aumento de camiones y busetas en la zona. Sin embargo, estos no superan los  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A continuación, se presenta el Mapa 4 que representa las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  por minuto en el tramo 2 y 3 durante el Trayecto 5.

**Mapa 4. Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> por minuto durante el Trayecto 5**



Fuente: autores

**5.1.4 Trayecto 6**

Para el sexto día de muestreo, el cual se realizó el 30 de mayo de 2021, no presentó ninguna anomalía asociada al registro de datos. En la ciclovía dominical, las personas que realizan actividad física en un lapso de dos horas se exponen a una concentración en promedio 6.45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>10</sub>, esto significa, que en dos horas se ha expuesto al 9% del valor señalado en la resolución 2254 de 2017 (75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), asimismo, una persona se expone al 14% en dos horas para el valor recomendado por la OMS (45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con el PM<sub>2.5</sub>, se indica que una persona en promedio se expone a 5.38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  durante dos horas, equivalente al 14% del valor diario establecido por la normativa nacional (37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que, para lo sugerido por la OMS de 24 horas (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), correspondería al 36% de la concentración diaria, como se presenta en la Tabla 12.

**Tabla 12. Concentración y Exposición Trayecto 6**

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición (%)	PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición (%)
6	Resolución 2254 de 2017	6.45	9	5.38	14
	OMS		14		36

Fuente: autores

**Tabla 13.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 6

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM 10 (µg/m <sup>3</sup> )	5345	6.45	1	2	4	9	13	18	36	85
PM 2,5 (µg/m <sup>3</sup> )	5161	5.38	1	2	4	7	10	14	25	52
T° (C)	118	23.44	21.66	22.55	23.33	23.88	25.5	26.11	26.33	26.66
Humedad (%)	118	67.2	61	65.6	67.0	68.5	70.1	71.1	76.1	77

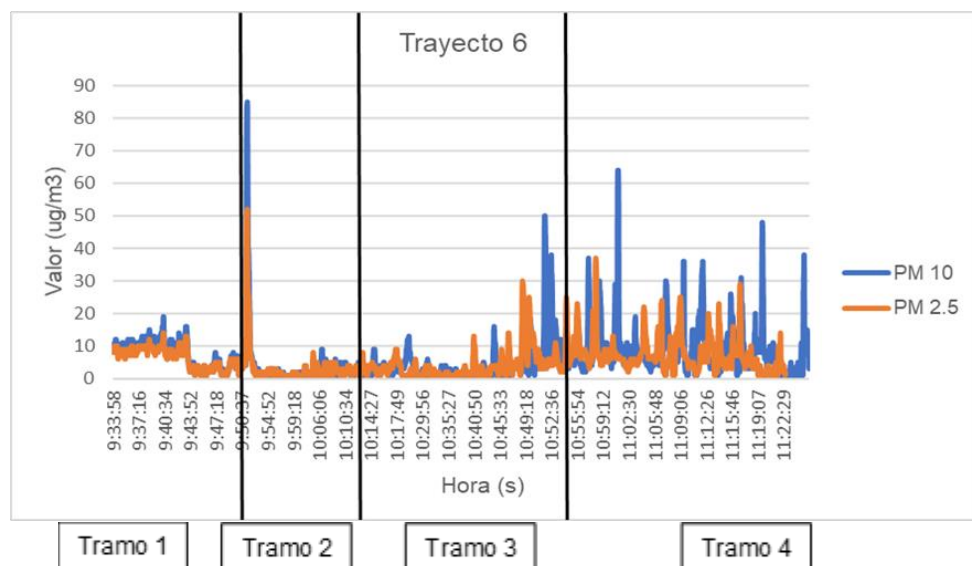
P: percentil

Fuente: autores

Acorde con la Tabla 13 se evidenció que el 95% de los segundos se encontraron por debajo de los 18 µg/m<sup>3</sup>, para el PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, lo cual refiere, a que no existe un riesgo aparente por la exposición en este trayecto. De acuerdo con la gráfica 5, se presentaron picos, los cuales se encontraron por encima de los 36 µg/m<sup>3</sup>.

Una vez organizados los datos, se ejecutó la distribución de Shapiro-Wilk, registrando así, que no se cumple con una distribución normal. Para el tramo 1 y 2 se obtuvo una corrección negativa del -13% para el PM<sub>10</sub>, lo que quiere decir que no hay una relación entre ambos tramos, en cuanto al tramo 3 y 4 para el PM<sub>10</sub>, se registró la misma correlación dando un valor negativo de -0.5%. Por otra parte, para el PM<sub>2.5</sub> dio como resultado para los tramos 1 y 2 y los tramos 3 y 4 una correlación negativa, con porcentajes de -25% y -3% respectivamente (Anexo A).

**Gráfica 6.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 6

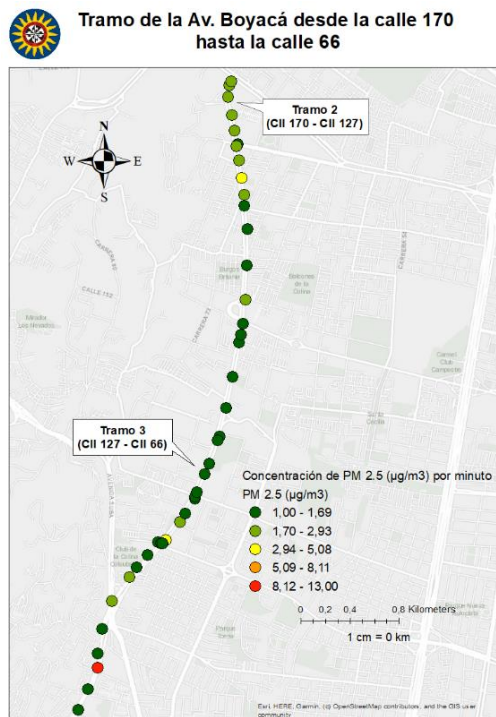


Fuente: autores

Se observa que el tramo 4 predomina frente a los otros tramos, ya que presenta las mayores concentraciones por segundo que corresponden al P99, como se evidencia en la tabla 8, sin embargo, se muestra un pico de  $PM_{10}$  con una magnitud que no supera los  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Gráfica 6). Conforme al tramo 4 y sus altos valores, se pueden relacionar con las condiciones de la calle 66 con Av. Boyacá, ya que, en esta, se caracteriza por tener un elevado flujo vehicular y tráfico cerca a la ciclovía dominical.

A continuación, se presenta el Mapa 5 que representa las concentraciones de  $PM_{2.5}$  por minuto en el tramo 2 y 3 durante el Trayecto 6.

**Mapa 5.** Concentraciones de  $PM_{2.5}$  por minuto durante el Trayecto 6



Fuente: autores

### 5.1.5 Trayecto 7 y 8

El trayecto 7 se realizó el 6 de junio de 2021, y se presentó una dificultad, ya que al descargar los datos proporcionados por el equipo Airbeam2, solo registró información de la temperatura hasta las 9:38 A.M., las variables de  $PM_{10}$  y humedad relativa se registraron con normalidad en las dos horas, sin embargo, para el contaminante  $PM_{2.5}$  no se obtuvieron los datos en el recorrido, al igual que, en el trayecto 8 el cual se desarrolló el 3 de junio de 2021, en donde solo se presentó datos de humedad relativa y  $PM_{10}$ , la información de la humedad relativa se mostró

completa, mientras que el PM<sub>10</sub> no se contempló en su totalidad y llegó hasta las 11:02 A.M..

Para estos dos domingos se puede afirmar que una persona que practica deporte y actividad física durante dos horas en la ciclo vía dominical se expone a una concentración promedio de 6 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>, es decir, se expone en dos horas al 8% del valor establecido en la resolución 2254 de 2017 (75 µg/m<sup>3</sup>), de igual forma, para el valor recomendado por la OMS de 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>) se ha expuesto al 13% (Tabla 14).

**Tabla 14.** Concentración y Exposición Trayecto 7 y 8

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)
7	Resolución 2254 de 2017	6.07	8
	OMS		13
8	Resolución 2254 de 2017	5.91	8
	OMS		13

Fuente: autores

**Tabla 15.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> Trayecto 7

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	5243	6.07	1	2	3	5	13	25	48	78
T° (C)	9	21.66	21.11	21.36	21.66	21.96	22.21	22.16	22.16	22.21
Humedad (%)	122	68.69	64.4	66.77	68.2	70.81	71.78	72	72.1	72.28

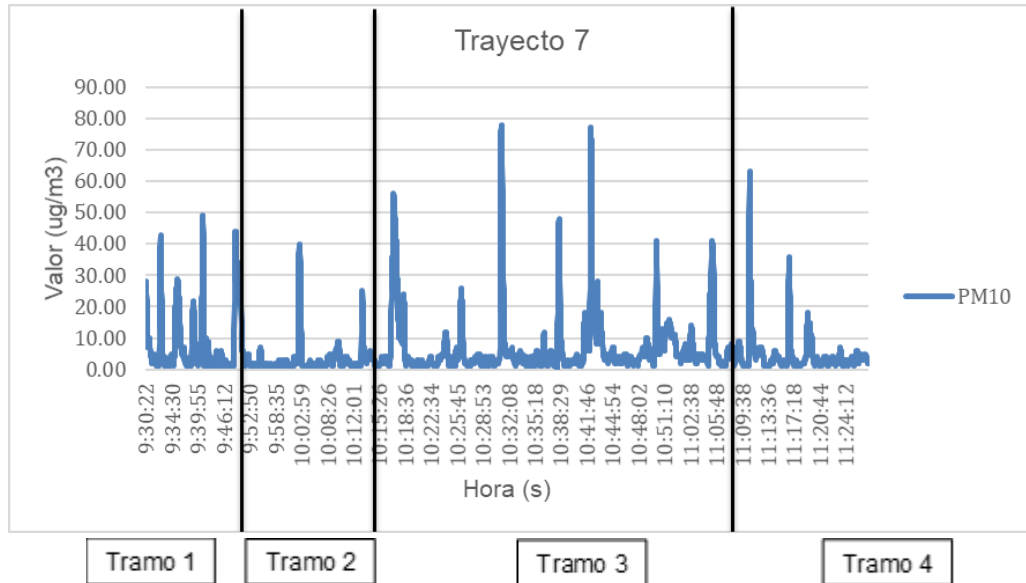
P: percentil

Fuente: autores

De acuerdo con la Tabla 15, se evidenció que el 95% de los segundos se mantuvieron por debajo de los 25 µg/m<sup>3</sup> para el PM<sub>10</sub>, lo cual indica, que no existe un riesgo aparente por la exposición de PM<sub>10</sub> para el trayecto 7, grafica 6. De igual forma, se determinó que los picos presentados estuvieron por encima de los 48 µg/m<sup>3</sup>.

En cuanto al PM<sub>10</sub>, se encontró que no cumple con una distribución normal, gracias a la herramienta Shapiro-Wilk, posteriormente, se hizo una correlación de Spearman's para los tramos 1 y 2; 3 y 4, en donde, para el caso del tramo 1 y 2 hubo una correlación del 2% de similitud y para el tramo 3 y 4 arrojó una correlación negativa del -13% presentando un comportamiento inversamente proporcional (Anexo A).

**Gráfica 7.** Concentración PM<sub>10</sub> Trayecto 7.



Fuente: autores

Para la Gráfica 7, se muestra que durante todo el recorrido se presentaron picos con concentraciones por segundo correspondientes al P99 (Tabla 15), debido a que el 7 de junio es un día festivo, y la gente suele viajar, presentándose trancones y aumentos en el flujo vehicular, la variación de estos picos se da, porque la Avenida Boyacá es una vía clave para los que desean salir de Bogotá. Sin embargo, se establece que para el PM<sub>10</sub> se registraron valores por debajo de los 50 µg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 16.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> Trayecto 8

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	3559	5.91	1	1	3	6	12	16	49	196
Humedad (%)	121	69	62.6	66.6	69	70	72	77.3	83.2	86

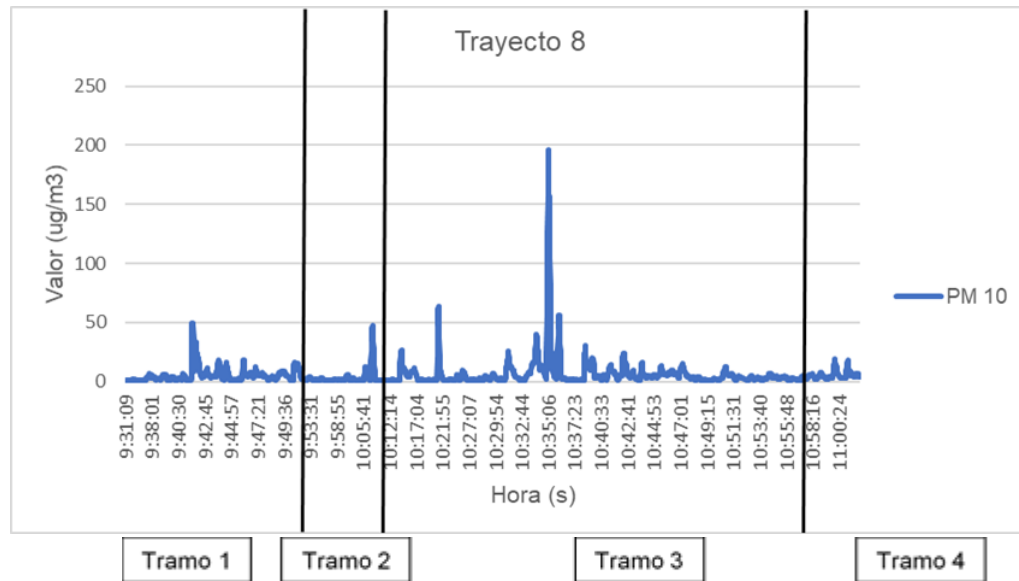
P: percentil

Fuente: autores

En la Tabla 16, se observa que el 95% de los segundos se registraron por debajo de los 16 µg/m<sup>3</sup> para el PM<sub>10</sub>, no existiendo un riesgo aparente por la exposición de PM<sub>10</sub> para el trayecto 8 (gráfica 8). Cabe mencionar, que los picos obtenidos, estuvieron por arriba de los 49 µg/m<sup>3</sup>.

Las correlaciones de los tramos 1 y 2 arrojaron un valor negativo del -11% y un comportamiento de las variables inversamente proporcional. Para el tramo 3 y 4, también se registró una correlación negativa del -3% (Anexo A).

**Gráfica 8.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> Trayecto 8.



Fuente: autores

Para este trayecto, se observó que la Gráfica 8 presentó en gran parte valores constantes por debajo de 50 µg/m<sup>3</sup>, sin embargo, se mostró un pico en el tramo 3, el cual fue la mayor concentración por segundo que corresponde al P99, como se evidencia en la tabla 16, que no sobrepasó los 200 µg/m<sup>3</sup>. Estos valores se pueden reflejar por la poca presencia de fuentes móviles para este día.

### 5.1.6 Trayecto 9

Este recorrido se desarrolló el 20 de junio de 2021, los valores se registraron 10 minutos después de lo establecido, ya que el equipo AirBeam2 presentó dificultades a la hora de prender.

Para el noveno día, se registró que una persona que hace actividad física en la ciclovía dominical por un tiempo de dos horas está expuesta a una concentración promedio de 5.39 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>, por ende, esta persona en dos horas se encuentra expuesta al 7% del valor establecido en la resolución 2254 de 2017 (75 µg/m<sup>3</sup>), para el caso de la OMS en 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>), la persona se encontraría expuesta al 12% del valor recomendado. En cuanto al PM<sub>2.5</sub> se expone a 4.74 µg/m<sup>3</sup> valor que equivale al 13% del valor diario, indicado por la normativa nacional (37 µg/m<sup>3</sup>), asimismo, para la OMS en 24 horas (15 µg/m<sup>3</sup>), presentaría una exposición del 32% de la concentración diaria, según se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Concentración y Exposición Trayecto 9

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)
9	Resolución 2254 de 2017	5.39	7	4.74	13
	OMS		12		32

Fuente: autores

**Tabla 18.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 9.

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	4744	5.39	1	2	3	6	12	16	34	79
PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	4477	4.74	1	2	3	6	10	14	24	48
T° (C)	112	20.55	18.33	19.93	20.10	21.11	21.22	24.02	25	25
Humedad (%)	112	75.69	63.4	72.51	76.64	78.99	80.73	83.65	85.9	86.67

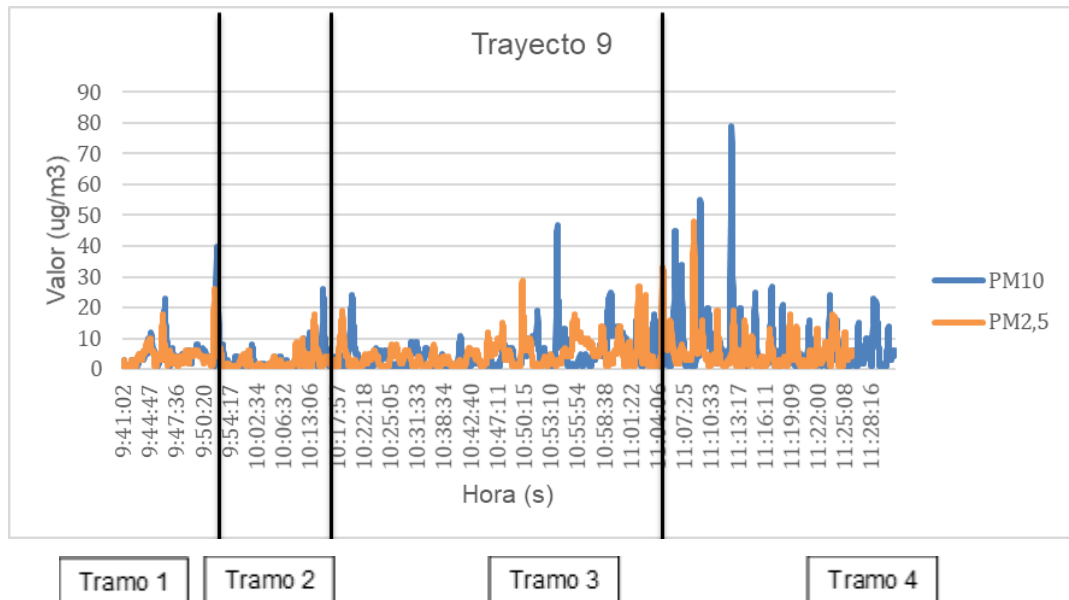
P: percentil

Fuente: autores

Adicionalmente, el 95% de los segundos se presentaron por debajo de los 16 µg/m<sup>3</sup> tanto para el PM<sub>10</sub> como para el PM<sub>2.5</sub>, indicando así, un mínimo riesgo aparente por la exposición de dichos contaminantes para este trayecto (Tabla 18). Seguido de esto, se observó que los picos para este día se encuentran por encima de los 34 µg/m<sup>3</sup>, como se presenta en la gráfica 9.

Se aplicó la correlación de Spearman's, para los tramos 1 y 2, dando una correlación negativa del -29% para el PM<sub>10</sub>, al igual que en el PM<sub>2.5</sub> que arrojó una correlación negativa de -22%, en cuanto al tramo 3 y 4 para el PM<sub>10</sub>, también se presentó el mismo comportamiento (inversamente proporcional), con un valor del -0.09%. Por último, se analizó el tramo 3 y 4 de acuerdo con el PM<sub>2.5</sub>, esta brindó una correlación positiva del 9% lo cual señala que no existe una gran correlación en las concentraciones de ida y regreso de los tramos 3 y 4, como se evidencia en el Anexo A.

**Gráfica 9.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 9.

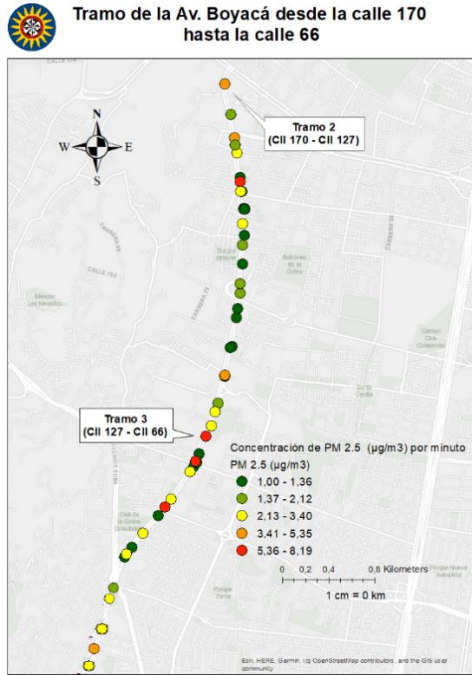


Fuente: autores

La gráfica 9 muestra que en los tramos 3 y 4 se originan las mayores concentraciones por segundo que equivalen al P99 (Tabla 17). Durante el trayecto se presentaron fuertes lloviznas durante un corto lapso de tiempo registrando así valores altos, esto se debe al principio de funcionamiento del equipo AirBeam2, el cual trabaja por difracción de luz emitiendo unos rayos de luz rectilíneos, los cuales chocan con las partículas que pueden existir en el ambiente, dependiendo de su longitud de onda el equipo identifica el tamaño de la partícula. De acuerdo con lo anterior, se observó que cuando se presenta una alta humedad por las lluvias, esta humedad se torna en forma de aerosol comportándose como una partícula, en este sentido, el equipo presenta una falencia al aumentar el número de partículas, ya que, al registrar cierta cantidad de partículas, este discrimina el vapor y lo toma también como una partícula, lo que quiere decir que el equipo no se encuentra ajustado a la humedad.

Asimismo, se observó un alto flujo vehicular por parte de la calle 66 con Av. Boyacá, el cual corresponde al tramo 4 que no superó los 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el PM<sub>10</sub>. A continuación, se presenta el mapa 5 que representa las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> por minuto en el tramo 2 y 3 durante el Trayecto 9.

**Mapa 6.** Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> por minuto durante el Trayecto 9.



Fuente: autores

### 5.1.7 Trayecto 10

Este trayecto se desarrolló el 27 de junio de 2021, este día se caracterizó por ser el trayecto en tener las concentraciones más altas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, debido a sus condiciones climáticas, asimismo, se determinó que una persona que realiza actividad física en la ciclovía dominical por un periodo de 2 horas se expone a una concentración en promedio de 10 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>, es decir que en dos horas se ha expuesto al 13% del valor establecido en la resolución 2254 de 2017 (75 µg/m<sup>3</sup>), mientras que en ese mismo periodo de tiempo se expone al 22% del valor recomendado por la OMS de 24 horas (45 µg/m<sup>3</sup>). Mientras que, para el PM<sub>2.5</sub> se instituye que una persona en promedio durante dos horas se expuso a 8 µg/m<sup>3</sup>, valor que equivale al 22% del valor diario señalado por la normatividad nacional (37 µg/m<sup>3</sup>) y que corresponde al 53% de la concentración diaria sugerida por OMS (15 µg/m<sup>3</sup>) (Tabla 19).

**Tabla 19.** Concentración y Exposición Trayecto 10

Trayecto	Normatividad	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Exposición (%)
10	Resolución 2254 de 2017	10	7	8	22
	OMS		12		53

Fuente: autores

Conforme con la Tabla 20, se estima que el 95% de los segundos estuvieron por debajo de los 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para los dos contaminantes, esto refiere a que no existe un riesgo aparente por la exposición del  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ . En cuanto a los picos observados, se puede afirmar que se presentaron por encima de 55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se muestra en la gráfica 10.

**Tabla 20.** Concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  Trayecto 10.

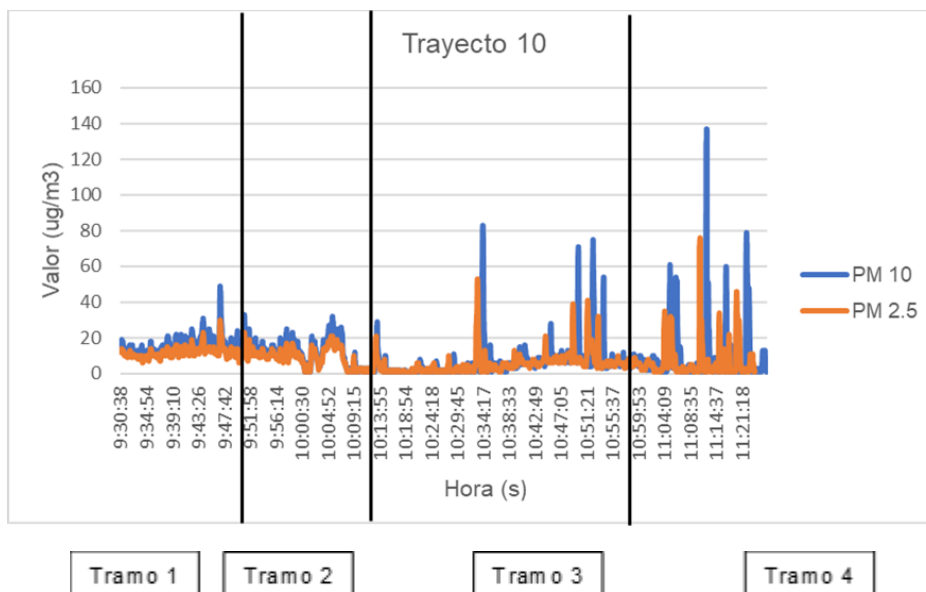
	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	6394	10	1	3	7	14	20	25	55	137
$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	6272	8	1	3	6	11	14	18	32	76
T° (C)	121	22.77	21.11	21.72	22.22	23.33	25.05	25.55	26.11	26.11
Humedad (%)	121	61.0	56	59.1	60.6	62.3	64	66.5	72	76

P: percentil

Fuente: autores

Se manejó la correlación Spearman's de los cuatro trayectos, el tramo 1 y 2 para el  $\text{PM}_{2.5}$  registró una correlación negativa de -0.8%, de igual manera para el  $\text{PM}_{10}$  con un valor de -2% teniendo un comportamiento inversamente proporcional para las cuatro variables, para el tramo 3 y 4 tanto para el  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , se obtuvieron correlaciones positivas del 11% y 25% respectivamente, lo cual infiere que no existe una gran correlación en las concentraciones de ida y regreso de los tramos 3 y 4 (Anexo A).

**Gráfica 10.** Concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  Trayecto 10



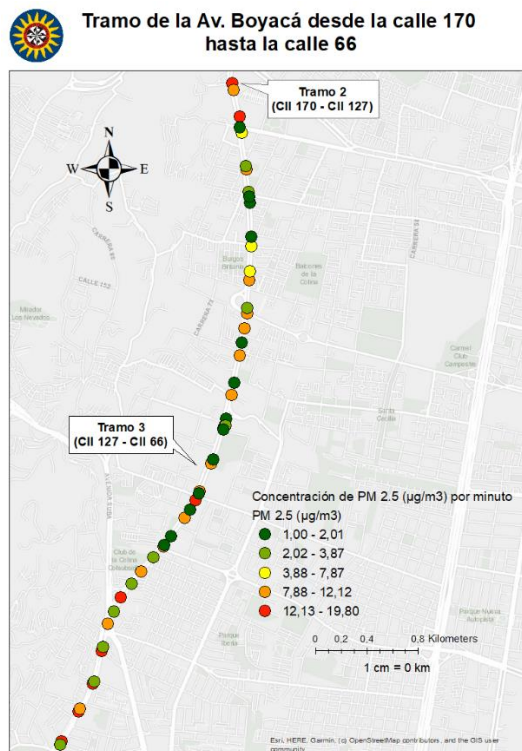
Fuente: autores

En la anterior gráfica se señala que en los tramos 3 y 4 se producen las mayores concentraciones por segundo que equivalen al P99 (Tabla 20). Para este trayecto se presenta el mismo factor del trayecto 9, es decir, un aumento en los valores a causa del equipo AirBeam2, sin embargo, el trayecto 10 registró fuertes lluvias durante todo su recorrido en comparación con el trayecto 9.

Por último, se observó un alto flujo vehicular por parte del tramo 4 el cual pertenece a la calle 66 con Av. Boyacá, cabe mencionar que para el tramo 4, estos valores no sobrepasaron los  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el  $\text{PM}_{10}$ .

A continuación, se presenta el mapa 6 que representa las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  por minuto en el tramo 2 y 3 durante el trayecto 10.

**Mapa 7.** Concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  por minuto durante el Trayecto 10.



Fuente: autores

### 5.1.8 Trayecto 11

Este trayecto se realizó el 4 de julio de 2021, se registró que una persona que ejecuta alguna actividad física por un espacio de 2 horas se expone a una concentración en promedio de  $4.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{PM}_{10}$ , es decir que en dos horas se ha expuesto al 5% del valor señalado en la resolución 2254 de 2017 ( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que en ese mismo periodo de tiempo se expone al 9% del valor

recomendado por la OMS de 24 horas ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De acuerdo con el  $\text{PM}_{2.5}$  se establece que una persona en promedio durante dos horas se expuso a  $3.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que corresponde al 10% del valor diario señalado por la normatividad nacional ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y que corresponde al 24% de la concentración diaria sugerida por OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Tabla 21).

**Tabla 21.** Concentración y Exposición Trayecto 11

Trayecto	Normatividad	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición (%)	$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Exposición (%)
11	Resolución 2254 de 2017	4.15	5	3.65	10
	OMS		9		24

Fuente: autores

**Tabla 22.** Concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  Trayecto 11.

	Segundos	Media	Mínimo	P25	P50	P75	P90	P95	P99	Máximo
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2777	4.15	1	1	2	4	9	18	36	74
$\text{PM}_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2460	3.65	1	1	2	4	8	14	25	43
T° (C)	121	20.85	19.44	20.38	20.55	21.11	22.66	23.33	23.38	23.40
Humedad (%)	121	60.77	54.71	59.17	60.6	62.18	63.38	63.78	68	68.79

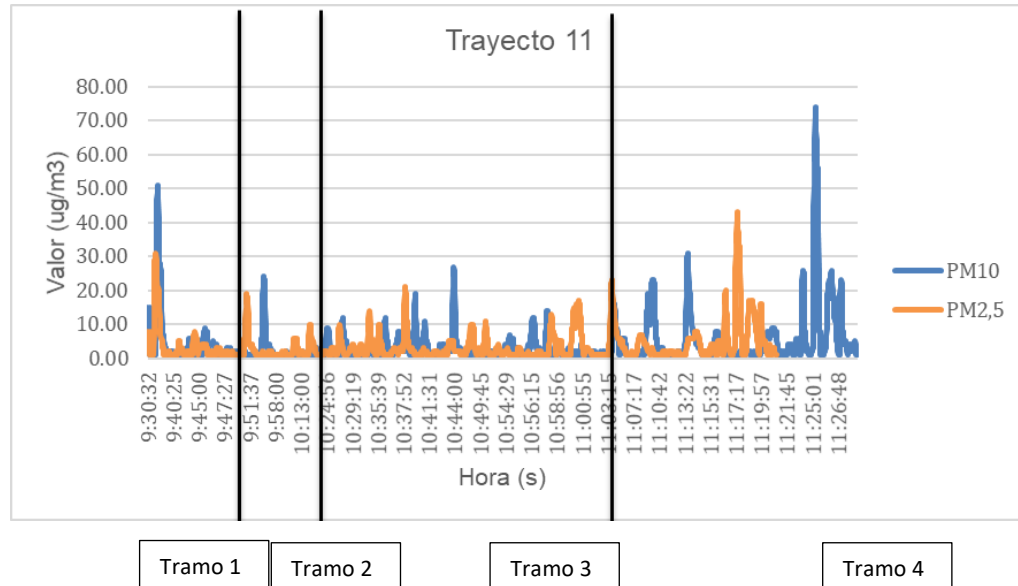
P: percentil

Fuente: autores

Acorde con la Tabla 22, se observó que el 95% de los segundos permanecieron por debajo de los  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el material particulado, indicando así, que no se presenta un riesgo aparente debido a la exposición a los contaminantes en el trayecto 11. Los picos registrados durante el trayecto se evidenciaron por encima de los  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , como se muestra en la gráfica 11.

Se realizaron las correlaciones de los cuatro trayectos, el tramo 1 y 2 registró una correlación negativa de -5% para el  $\text{PM}_{10}$ , asimismo para el  $\text{PM}_{2.5}$  con un valor de -4%, para los tramos 3 y 4 para  $\text{PM}_{10}$  género una correlación negativa del -6%, en cuanto al  $\text{PM}_{2.5}$ , se observó un valor del -4%, lo cual infiere un comportamiento inversamente proporcional entre las variables (Anexo A).

**Gráfica 11.** Concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> Trayecto 11



Fuente: autores

La gráfica 11 muestra que en los tramos 1 y 4 se evidencian las mayores concentraciones por segundo, correspondientes al P99 de la Tabla 13, esto debido a la presencia de fuentes móviles en la zona. Por otro lado, se observó que el tramo 4, el cual manifestó más cantidad de picos, no supera los 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>10</sub>.

#### ▪ Dosis Inhalada Promedio del Material Particulado

La dosis inhalada sirve como medida para comprender la cantidad real de contaminante que llega a los tejidos del individuo expuesto (Watson A, 1988). Por medio de las concentraciones registradas con el equipo Airbeam2, se halló la dosis inhalada promedio de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, se calculó en función del tiempo medio de exposición y el nivel de esfuerzo realizado por los ciclistas durante el trayecto.

Siguiendo el Manual de Factores de Exposición de la EPA y el estudio de Fajardo, O. et al, (2012), calculamos la dosis diaria promedio (Ecuación 2) de los usuarios que usan bicicletas y que viajan en una duración de dos horas aproximadamente en la ciclovía de la Av. Boyacá.

#### Ecuación 2. Dosis Inhalada Promedio

$$DI: \frac{C * IR * ED}{BW}$$

Fuente: (Fajardo, O. et al, 2012).

**Donde:**

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

**C:** Concentración de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**IR:** Tasa de incorporación ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

**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  $1,5 \text{ m}^3/\text{d}$ , y para mujeres es de  $1,25 \text{ m}^3/\text{d}$  para esfuerzo ligero. En el caso de esfuerzo moderado/fuerte, la IR para hombres es de  $3,00 \text{ m}^3/\text{d}$ , y para mujeres es de  $2,70 \text{ m}^3/\text{d}$  (Fajardo, O. et al, 2012).

A continuación en la Tabla 23 y 24 se muestran los datos para calcular la dosis inhalada promedio de las concentraciones de material particulado, teniendo en cuenta, que la IR se contempló como esfuerzo ligero.

**Tabla 23.** Dosis Inhalada  $\text{PM}_{10}$

<b>PM<sub>10</sub></b>						
	<b>Mujeres</b>			<b>Hombres</b>		
<b>C</b>	5,35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>C</b>	5,35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>IR</b>	1,25	$\text{m}^3/\text{d}$	<b>IR</b>	1,5	$\text{m}^3/\text{d}$	
<b>ED</b>	2		<b>ED</b>	2		
<b>BW</b>	60	kg	<b>BW</b>	67	kg	
<b>DI</b>	0,22	$\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$	<b>DI</b>	0,24	$\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$	

Fuente: autores

**Tabla 24.** Dosis Inhalada  $\text{PM}_{2.5}$

<b>PM<sub>2.5</sub></b>						
	<b>Mujeres</b>			<b>Hombres</b>		
<b>C</b>	4,73	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<b>C</b>	4,73	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
<b>IR</b>	1,25	$\text{m}^3/\text{d}$	<b>IR</b>	1,5	$\text{m}^3/\text{d}$	
<b>ED</b>	2	h	<b>ED</b>	2	h	
<b>BW</b>	60	kg	<b>BW</b>	67	kg	
<b>DI</b>	0,20	$\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$	<b>DI</b>	0,21	$\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{d}$	

Fuente: autores

De acuerdo con la DI, se destaca que la ingesta de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , tanto en mujeres como en hombres, no varía en gran medida entre sí, respecto a su recorrido y hora. Por lo tanto, la exposición a las concentraciones de material particulado no

representan un riesgo aparente, tal y como se observa anteriormente en los resultados de los trayectos, asimismo, se debe tener en cuenta, que el tiempo de exposición es bajo.

Lo anterior permitió un conocimiento en torno a la salud y el bienestar de los usuarios de la ciclovia dominical y de esta manera poder identificar las posibles afectaciones que tienen al exponerse durante un periodo de dos horas, se logró determinar que material particulado presentaba mayores concentraciones ( $PM_{10}$ ) y que, por ende, se convierte en un tema de importancia y discusión para las entidades encargadas y para futuros estudios relacionados. Sin embargo, se evidencia que por parte del  $PM_{2.5}$  se presenta un riesgo bajo en la salud de las personas que practican deporte por esta zona. No obstante, según otras investigaciones a nivel internacional, los usuarios están constantemente expuestos a contaminantes atmosféricos Int Panis et al. (2010).

Los usuarios de la ciclovia dominical de la Av. Boyacá desde la calle 170 hasta la calle 66 estuvieron expuestos a niveles de concentraciones de material particulado que no incumplían con la norma de la OMS y la nacional, con un promedio de  $5.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$  en un lapso de dos horas, durante un periodo total de 12 días. La concentración promedio de  $PM_{10}$  en esta investigación fue relativamente baja en su trayecto, en comparación a los resultados del estudio de exposición de ciclistas de (Fajardo & Rojas, 2012), los cuales fueron altos niveles de concentración de  $PM_{10}$  en 8h de  $78-108 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el cual recomienda que los valores de exposición a contaminantes del aire en las ciclovias de Bogotá deben ser atendidas como un problema de salud pública y que presenten medidas seguras y efectivas para reducir la contaminación del aire.

En Alemania Samad & Vogt. (2021) seleccionaron e instalaron diferentes dispositivos de medición en la bicicleta con el fin de obtener mediciones móviles a lo largo de una ruta en Stuttgart, Alemania. Para este estudio se midió material particulado, partículas ultrafinas, carbono negro, óxidos de nitrógeno y ozono. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, la concentración de  $PM_{10}$  fue relativamente alta durante la medición y se evidencia una variación de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en algunos puntos cercanos a fábricas, restaurantes e industrias y obras de construcción se presentan concentraciones por encima de los  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lo anterior reafirma lo expuesto en este documento, en donde se observa que un ciclista promedio puede presentar un mayor riesgo de exposición cerca a los comercios y restaurantes como los que se pudieron haber presentado en los tramos 3 y 4.

Comparando las concentraciones atmosféricas con los resultados expuestos previamente en Amberes, Bélgica Hofman et al. (2018) el cual evaluó la exposición personal de ciclistas a UFP, BC y metales pesados, mediante mediciones móviles con instrumentos portátiles, determinando la dosis de contaminante inhalado a partir de la frecuencia cardíaca, en horas pico. En el estudio realizado en la Av. Boyacá contó con la medición de dos metales pesados, del cual solo se registraron valores

de Cromo, mientras que en el estudio de Hofman et al. (2018) se midieron varios metales pesados entre ellos el Cromo, dando notablemente más altos, en comparación con los promedios de PM<sub>10</sub> o PM<sub>2.5</sub>, lo cual difiere al estudio realizado en este documento, debido a que ellos lo ejecutaron en el tráfico durante las horas picos, es decir, concentraciones atmosféricas usualmente altas.

## 5.2 Análisis de Metales Pesados

De acuerdo con los resultados obtenidos por el laboratorio de la Universidad de la Salle, se realizó el análisis de los metales pesados cromo y cadmio, sin embargo, solo se consideró el cromo, puesto que los resultados del cadmio en todos los trayectos arrojaron resultados menores a 0.021 µg /cm<sup>3</sup>, siendo este dato, el mínimo para la detección de cadmio y menor de 0,042 µg /cm<sup>3</sup> para cromo. Por otro lado, el informe expuso la presencia de estos metales por trayecto, teniendo al final tres trayectos con ausencia de dichos metales, el trayecto 2, 11 y 12. Cabe resaltar que los resultados de los filtros de control (blancos), también estuvieron por debajo de 0,042 µg /cm<sup>3</sup> y 0.021 µg /cm<sup>3</sup>.

A continuación, se presenta la Tabla 25 de las concentraciones de PST y Cromo por trayecto.

**Tabla 25.** Promedio PST y Cromo por Trayecto

Trayecto	Metal	Concentración (ng/m <sup>3</sup> )	PST (µg/m <sup>3</sup> )
1	Cromo	4	9074
2	Cromo	N.P	1852
3	Cromo	9	2222
4	Cromo	38	17778
5	Cromo	49	370
6	Cromo	58	490
7	Cromo	32	490
8	Cromo	16	2614
9	Cromo	30	1471
10	Cromo	37	327
11	Cromo	N.P	980
12	Cromo	N.P	980
<b>Promedio</b>		30.33	3221

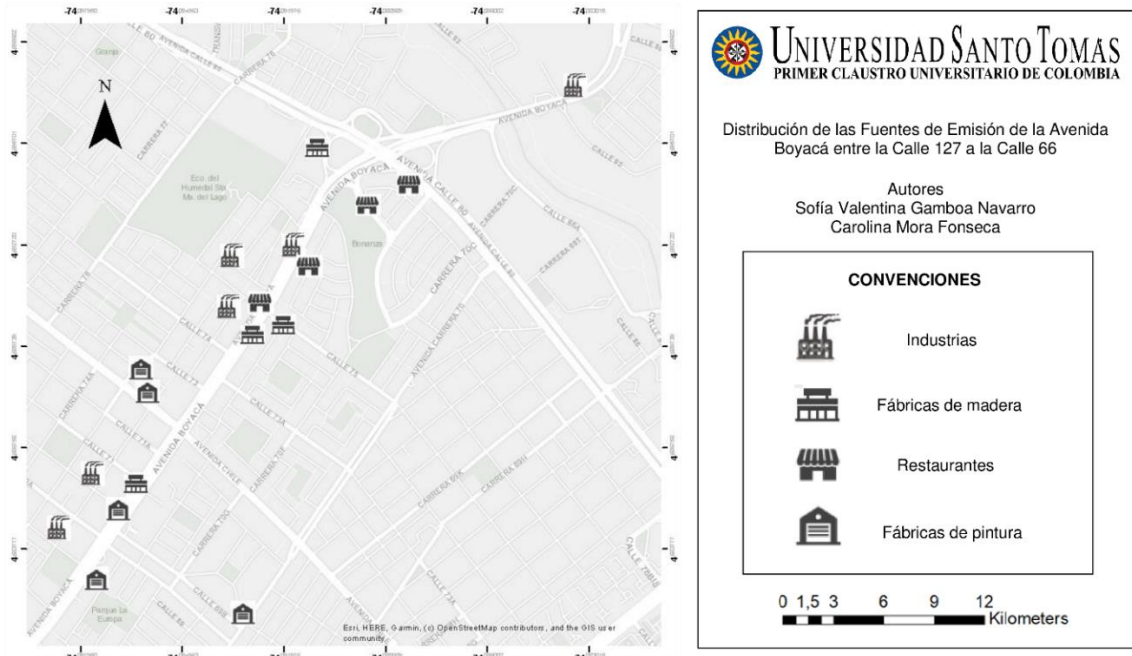
Fuente: autores

De acuerdo con la Tabla 25 anterior se tuvo en cuenta el ajuste del caudal de 1.5 a 1.7 L/min a partir del trayecto 6, ya que las bombas que operan con caudales recomendados entre 1 L/min a 5 L/min son las que se utilizan habitualmente para el muestreo de material particulado, de acuerdo con esto, se aumentó el caudal a 1.7

L/min, con el fin de disminuir el margen de error y aumentar la capacidad de absorción de las concentraciones de material particulado.

El promedio de los trayectos de las partículas suspendidas totales (PST) en dos horas supera lo establecido de acuerdo con la Resolución 610 de 2010, la cual menciona que el límite máximo permisible en 24 horas ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esto quiere decir, que una persona se expone en promedio a una concentración de PST de  $3221 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , presentando así un riesgo para la salud de los usuarios de la ciclovía dominical. En cuanto al promedio de los trayectos del cromo se comparó con el límite de concentración del cromo anual ( $0.25 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) de acuerdo con la guía europea (WHO Regional Office for Europe, 2000), el cual señala, que el valor ( $30.33 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) sobrepasa el límite estipulado. Este incremento se debe a la zona comercial, ubicada en los tramos 3 y 4, que corresponden a la Av. Boyacá desde la calle 127 hasta la calle 66, esto se comprueba mediante el diagnóstico realizado en el lugar de estudio, donde se evidenció la presencia de fábricas, restaurantes e industrias como se muestra en el Mapa 8, el cual se realizó en base a la fase de diagnóstico, la observación durante el recorrido y la información suministrada por Google Maps, asimismo, al desgaste de los neumáticos y la presencia de restaurantes, debido a la quema de carbón vegetal (Kabir et al., 2011), y el análisis del AirBeam2, el cual indica que la zonas del tramo 3 y 4 manifestaban un índice superior de contaminación frente a los demás tramos.

**Mapa 8.** Distribución de las Fuentes de Emisión de la Avenida Boyacá entre la Calle 127 a la Calle 66.



Fuente: autores a partir de Google Maps

**Tabla 26.** Concentraciones de PST y Cromo por 12 Días.

	Segundos	Media	Desviación estándar	Varianza	Mínimo	P25	P50	P95	P99	Máximo
<b>Cromo (ng/m<sup>3</sup>)</b>	12	22.75	20.5	422.2	0	2	23	58	58	58
<b>PST (µg/m<sup>3</sup>)</b>	12	3220.6	5169.2	2.67E+07	327	490	1225.5	17778	17778	17778

Fuente: autores

En la Tabla 26, se registró que una persona que practica actividad física durante dos horas en un lapso de doce días se expone a una concentración de cromo en promedio de 22.75 ng/m<sup>3</sup> conforme con lo señalado en la Guía Europea WHO (0.25 ng/m<sup>3</sup>). De acuerdo con el PST, para doce días en un lapso de dos horas un usuario de la ciclovía dominical se expone 3220.6 µg/m<sup>3</sup>, lo cual, en comparación con lo establecido en la Resolución 610 de 2010 (300 µg/m<sup>3</sup>), se evidencia un alto riesgo aparente en la salud de las personas que realizan alguna actividad recreativa en esta zona (Anexo B).

### 5.2.1. Cálculo del Riesgo Cancerígeno

Para conocer cuál fue la exposición de la concentración (ExpC) y la caracterización del riesgo (RC), se empleó la Ecuación 3 y posteriormente la Ecuación 4, asumiendo que tanto niños como adultos que recurren los domingos a realizar la ciclovía recreativa eran receptores potenciales, y que la inhalación era la principal vía de exposición a cromo.

A continuación, se muestran los valores de todos los parámetros considerados en las ecuaciones (Tabla 27).

**Tabla 27.** Resumen de los parámetros considerados para la evaluación del riesgo cancerígeno

Parámetros	Unidades	Evaluados	
		Niños	Adultos
ET-tiempo exposición	hora/día	2	2
EFR-frecuencia exposición	día/año	12	12
ED-duración exposición	año	6 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>
AT- vida media	hora	648240	648240
IUR-riesgo de la unidad de inhalación	(µg/m <sup>3</sup> )-1	0.012	0.012
Cr Total			

<sup>a</sup> Exposición máxima razonable (RME)

Fuente: Ramírez, Campa, Rodas, & Rosa, 2019 y autores

### Ecuación 3. Exposición de Concentración.

$$ExpC = \frac{C * ET * EFR * ED}{AT}$$

Fuente: (Ramírez, Campa, Rodas, & Rosa, 2019)

**Donde:**

**ExpC:** Exposición de Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**C:** Concentración de metal o metaloide ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**ET:** Tiempo de exposición (hora/día)

**EFR:** Frecuencia de exposición (días/año)

**ED:** Duración de la exposición (años)

**AT:** Vida media (horas: años x 365 días/año x 24 horas/día)

En cuanto a la duración de la exposición (ED), se consideró la exposición máxima razonable (RME) y la esperanza de vida al nacer en Colombia para la vida media (AT), tal como se muestra en la Tabla 27 (Ramírez, Campa, Rodas, & Rosa, 2019).

### Ecuación 4. Caracterización del Riesgo

$$RC = ExpC * IUR$$

Fuente: (Ramírez, Campa, Rodas, & Rosa, 2019)

**Donde:**

**RC:** Caracterización del riesgo

**ExpC:** Exposición de Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**IUR:** Riesgo de la unidad de inhalación ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

De acuerdo con lo anterior, se estimó la exposición al cromo y el riesgo cancerígeno en niños y adultos, esto se puede ver evidenciado en la Tabla 28.

**Tabla 28.** Exposición de la Concentración y Caracterización del Riesgo

Elemento	ExpC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ExpC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Riesgos cancerígenos	
	Niños	Adultos	Niños	Adultos
Cr	6.7375E-06	2.695E-05	8.09x10 <sup>-8</sup>	3.23x10 <sup>-7</sup>

Fuente: autores

El valor umbral mínimo para un riesgo de cáncer es  $1 \times 10^{-6}$ . Por debajo de este valor, el riesgo es insignificante, mientras que un nivel de riesgo de  $1 \times 10^{-4}$  (valor de umbral máximo) o mayor se considera grave (Ramírez, Campa, Rodas, & Rosa, 2019).

Como se puede apreciar en la tabla, el valor de cromo para la exposición de la concentración fue mayor en adultos que en niños, asimismo, para el riesgo cancerígeno también fue alto en adultos. Sin embargo, este valor se encuentra por debajo del nivel del riesgo mínimo aceptable para adultos durante todo el período de estudio. De acuerdo con lo anterior y comparando los resultados con el estudio de Ramírez, O. et al. (2019), se puede afirmar que el valor no es crítico, debido a que no supera el umbral máximo, no obstante, no debe ser subestimado, considerando que el muestreo se presentó en una zona urbana y podría representar un riesgo potencial para la salud a través de los años.

Por ende, la importancia debe centrarse en las medidas de control y las fuentes de emisión de este metal, como la combustión y el polvo generado en las vías, el comercio y la quema de carbón vegetal de los restaurantes cerca de la zona.

De acuerdo con los análisis de los metales pesados, se registró únicamente concentraciones de cromo descartando la presencia de cadmio en el recorrido. A través de los resultados obtenidos se determinó que puede existir un riesgo cancerígeno a través de los años, que refiere a una posible afectación en la salud de los usuarios, como se indica en la investigación de (Hernández et al., 2021), el cual menciona que pueden tener serias implicaciones para la salud debido a sus efectos cancerígenos. Por otra parte, se puede afirmar que la fuente de emisión del cromo se da por la quema de carbón vegetal relacionado con los restaurantes del sector, como se evidencia en el estudio de (Hernández et al., 2021), el cual relaciona las emisiones de cromo con los establecimientos que hacen uso de la quema de carbón vegetal; asimismo, afectando negativamente la salud de los usuarios a través de la inhalación.

Conforme al estudio realizado en la de Zhengzhou, China (deSouza et al., 2021) llevaron a cabo una comparación de las exposiciones de los diferentes modos de transporte (autobús, taxi, cicla) evaluando los posibles factores que causaban alguna variabilidad en la exposición a los diferentes contaminantes como material particulado y metales pesados, durante varios días, a lo largo de las mismas rutas. De acuerdo con esta investigación se encontró una similitud con respecto a sus resultados y el estudio realizado, ya que los más altos niveles de concentración de contaminación se presentaron en los ciclistas, debido a una mayor dosis inhalada, tasa de inhalación y tiempo prolongado.

La presente investigación presentó limitaciones por parte de los equipos empleados, ya que el AirBeam2 en varios trayectos no registró la información solicitada y contaba con la falencia de no tener la batería en su óptimo estado, asimismo la bomba personal no recogió partículas del cadmio. Sin embargo, la mayoría de los

días se observó con un ambiente y clima propicio, además, se contó con información de referencia bibliográfica al igual que tesis de las cuales se contempla datos y resultados similares respecto al tema de calidad de aire en los ciclistas, lo cual permitió comparar y analizar los diferentes resultados.

Otra de las limitaciones presentadas por parte del equipo AirBeam2 se debe al tipo de medición, ya que, no discrimina entre material particulado y el aerosol que se genera después de la lluvia, no obstante, gracias a la medición de los 12 días se contó con la información suficiente, a pesar de que se obtuvo un trayecto con lluvias en un corto periodo de tiempo y otro con fuerte lluvias durante todo el recorrido, por lo tanto, casi el 70% de las mediciones cumplieron con el objetivo esperado.

Por último, se calculó la dosis inhalada teniendo en cuenta los valores registrados del AirBeam2 de las concentraciones, no obstante, se debe tener en cuenta que estos datos no son un método aprobado por la EPA, es decir, que no son en su totalidad verídicos.

## **6. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO**

La importancia social de este trabajo recae principalmente en la salud de la población, teniendo en cuenta que la Av. Boyacá cuenta con alto flujo vehicular y usuarios que salen a hacer deporte los domingos. Con el análisis de las concentraciones de material particulado y metales pesados (cromo y cadmio) y su impacto en la salud, se pueden establecer estrategias y medidas de prevención que permitan mejorar la salud de los usuarios en la ciclovía.

Mediante el análisis estadístico de este trabajo, se pudo comprobar que no existe un gran riesgo en la afectación de las personas, aun así, se busca la toma de conciencia personal y de parte de la alcaldía de la ciudad, del impacto que se genera en el medio ambiente y que mediante la educación ambiental se puede llegar a contribuir a tener una mejor calidad del aire, así como poder mejorar la salud de las presentes y futuras generaciones.

## 7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 50% de las mediciones de concentración de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  registradas por segundo con el equipo Airbeam2 no superan los  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a su vez el valor promedio del recorrido fue de  $101,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que los picos observados se limitan al P99 o a los máximos de cada trayecto que llegan hasta un valor por segundo de  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por otro lado, las concentraciones de PST estuvieron en un rango de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante los días de muestreo, a su vez las concentraciones de cadmio estuvieron por debajo del límite de detención del equipo ( $0.021 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) y las de cromo se registraron entre un rango de  $3 \text{ ng}/\text{m}^3$  a  $60 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

Por medio de la cuantificación y con la metodología establecida para el material particulado y los dos metales pesados (Cromo y Cadmio), se pudieron establecer las posibles causas de la presencia de estos contaminantes a través de la identificación de la zona, cuando se hacia el recorrido, como lo es el alto flujo vehicular, la presencia de comercio y restaurantes que utilizan la quema de carbón vegetal, los cuales se ubican principalmente entre la calle 66 hasta la calle 170 con Avenida Boyacá.

Conforme a lo establecido en la OMS, la norma colombiana y los resultados comparados del material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), el tramo 3 y 4 se caracterizó por presentar comportamientos similares y mayores respecto al tramo 1 y 2, lo cual puede estar relacionado con las condiciones de la calle 66 con Av. Boyacá, ya que esta se distingue por tener un elevado flujo vehicular y tráfico cerca a la ciclovía dominical. De acuerdo con lo anterior para el material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), en 2 horas una persona que realiza actividad física durante todo el trayecto se expone a una concentración en promedio total de los 12 días de  $5.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el  $PM_{10}$ , es decir, que en 2 horas se ha expuesto al 7% del valor determinado en la norma colombiana y al 12% del valor recomendado de la OMS y para el  $PM_{2.5}$  en el mismo lapso de tiempo una persona se expone a una concentración en promedio de 12 días de  $4.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que corresponde al 6% del valor diario señalado por la normatividad nacional y que pertenece al 11% de la concentración diaria sugerida por la OMS.

Por otro lado, para el PST y de acuerdo con la antigua normatividad se sobrepasó el valor en 2 horas para los 12 domingos, teniendo como valor máximo  $17.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , indicando así que este valor es 10 veces mayor al límite de 24 horas ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), al mismo tiempo el promedio de cromo en los 9 días registrados fue de  $30.33 \text{ ng}/\text{m}^3$ , incumpliendo con el límite máximo anual de lo establecido en la guía europea ( $0.25 \text{ ng}/\text{m}^3$ ).

Por otro lado, se identifica que el tramo comprendido entre la calle 127 hasta la calle 170 de la Av. Boyacá, es el sector donde se encuentran las concentraciones más bajas de material particulado, considerando que esta parte del recorrido cuenta con más zonas verdes, su vía es más amplia y dentro de la Avenida se habilita una vía

para la ciclovía, lo que hace que las personas estén menos expuestas al material particulado, por tener una distancia adecuada a la vía.

Asimismo, desde otra perspectiva se puede observar cómo puede llegar a existir la justicia e injusticia ambiental en el trayecto, en donde se comprende que zona tiene mayor y menor riesgo de contaminación ambiental y problemas a la salud.

Por último, los datos del cromo y PST registrados por la bomba personal, presentaron niveles más altos de concentración, respecto al material particulado. En otro orden de ideas, la concentración de la exposición y el riesgo cancerígeno por parte del cromo no alcanza el nivel de riesgo, sin embargo, puede aumentar a lo largo de los años. A su vez, el PST de acuerdo con los valores registrados, puede ocasionar efectos adversos a la salud trayendo consigo enfermedades respiratorias crónicas.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir haciendo uso de las medidas de bioseguridad como el tapabocas o caretas protectoras y guantes en las jornadas de la ciclovía, ya que reduce la exposición por inhalación al material particulado y metales pesados. Destacando la necesidad de considerar la calidad del aire, diseñando e implementando una infraestructura óptima de ciclovías en la ciudad de Bogotá.
- Debido a que el flujo vehicular es el máximo aportador de contaminante al ambiente, se considera fundamental el cierre parcial de una vía para el desarrollo de la ciclovía recreativa, específicamente de la calle 134 hasta la calle 116 con Av. Boyacá, ya que se les garantizaría a los usuarios una disminución de las concentraciones de material particulado.
- Se sugiere que las investigaciones y estudios sean constantes con relación al material particulado y metales pesados en la atmosfera, por ende, se considera de gran importancia la incorporación de estrategias de seguimiento por parte de las autoridades ambientales y centros institucionales. Asimismo, se recomienda llevar a cabo estrategias de control frente a la utilización de combustibles con bajos niveles de contaminación por parte de las autoridades colombianas, con el fin de minimizar las emisiones de material particulado generadas a partir de las fuentes móviles.
- Se establece que, para futuros proyectos o estudios de monitoreo, se debe tener en cuenta las condiciones climáticas, ya que influyen en los valores captados por el AirBeam, puesto que no se consideran correctos, teniendo en cuenta, que si se presentan lluvias, estas posteriormente se convierten en aerosol que terminan siendo medidas como una partícula de material particulado alterando la medición real de lo que se quiere obtener, siendo así, se recomienda tener otros métodos de medición, como la bomba de succión, la cual funciona por gravimetría descartando la humedad por un proceso previo de desecación.
- Finalmente, aunque se registró el dato de la dosis inhalada con las concentraciones del AirBeam2, se recomienda para futuros estudios realizar dicho calculo por medio del método gravimétrico, es decir, mediante el uso de bombas de muestreo personales, ya que con esto se obtendría un dato más preciso y aproximado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bogotá. (s. f.). *Documentos para AIRE: Medición, Protección y Control de Calidad*. [alcaldiabogota.gov.co. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=28035](https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=28035)
- Alcaldía de Bogotá. (2015, 3 mayo). Cerca de 1.700.000 ciudadanos disfrutaron de la Ciclovía cada domingo. [Bogota.gov.co. https://bogota.gov.co/mi-ciudad/turismo/cerca-de-1700000-ciudadanos-disfrutaron-de-la-ciclovía-cada-domingo](https://bogota.gov.co/mi-ciudad/turismo/cerca-de-1700000-ciudadanos-disfrutaron-de-la-ciclovía-cada-domingo)
- ATSDR (2012). *Resumen de salud pública Cromo. División de Toxicología y Ciencias de la Salud*. Septiembre 2012
- ATSDR. (2021, January 26) *ToxFAQs™: Cromo (Chromium) ToxFAQ*. Cdc.gov. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html)
- Banco Mundial. (1997). Contaminación atmosférica por vehículos automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina. Washington, DC: Banco Mundial.
- Barrón, G. S. (junio de 2016). Ecotoxicología del Cadmio Riesgo para la Salud de la Utilización de Suelos Ricos en Cadmio.
- Caballero Herrera, J. C., & Valencia Ortiz, D. F. (2018, agosto). *Estudio del Material Particulado de Tamaño Menor a 10 Micras (PM10) en el Aire Ambiente de la Zona Aledaña a la Universidad Libre—Sede Candelaria*. <https://repository.unilibre.edu.co>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *El aire: elemento de vida en la Tierra*. Retrieved 21 March 2022, from <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-aire-elemento-de-vida-en-la-tierra>
- deSouza, P., Lu, R., Kinney, P., & Zheng, S. (2021). *Exposures to multiple air pollutants while commuting: Evidence from Zhengzhou, China*. *Atmospheric Environment*, 247, 118168. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118168>
- Durán, D. G., & Portela, C. A. (abril de 2018). *Evaluación de Ciclo Rutas en los Tramos Seleccionados de la Avenida Boyacá y la Avenida de las Américas bajo la Herramienta de Indicadores de Sustentabilidad*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12428/2018camilobello.pdf?sequence=1>

- EPA, (2011). *Manual de factores de exposición*, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, DC.
- EPA. (2021, 4 junio). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*. US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Fajardo, O. & Rojas, N. (2012). Particulate matter exposure of bicycle path users in a high-altitude city. *Atmospheric Environment*, 46, 675–679. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.047>
- Franco, L. F., Muñoz, P. T., & García, F. G. (18 de mayo de 2016). *los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*.
- Hernández, M., Ramírez, O., Benavides, J., & Franco, J. (2021). *Urban cycling and air quality: Characterizing cyclist exposure to particulate-related pollution*. *Urban Climate*, 36, 100767. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100767>
- Hofman, J., Samson, R., Joosen, S., Blust, R., & Lenaerts, S. (2018). *Cyclist exposure to black carbon, ultrafine particles and heavy metals: An experimental study along two commuting routes near Antwerp, Belgium*. *Environmental Research*, 164, 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.004>
- IDEAM. (s. f.). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA*. [mintransporte.gov.co. http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica](http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica)
- IDRD. (s. f.). *Historia ciclovía Bogotá*. [idrd.gov.co](http://www.idrd.gov.co). Recuperado 2021, de <https://www.idrd.gov.co/historia-ciclovía-bogotá>
- ICP. (2021). *Plasma de acoplamiento inductivo* Carbueros.com. <http://www.carbueros.com/Industries/Analytical-Laboratories/analytical-lab-applications/product-list/inductively-coupled-plasma-icp-analytical-laboratories.aspx?itemId=8E471387439C4B518218FC44F3748E3D>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2011). *Determinación de Materia Particulada (Fracciones Inhalable, Torácica y Respirable) en Aire-Método Gravimétrico DETERMINACIÓN DE MATERIA PARTICULADA*. Obtenido de [https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA\\_014\\_A11.pdf/687c3305-70c6-4f12-9115-4c317d7e819f](https://www.insst.es/documents/94886/359043/MA_014_A11.pdf/687c3305-70c6-4f12-9115-4c317d7e819f)

- Int Panis, L., de Geus, B., Vandenbulcke, G., Willems, H., Degraeuwe, B., Bleux, N., Mishra, V., Thomas, I., & Meeusen, R. (2010). Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers. *Atmospheric Environment*, *44*(19), 2263–2270.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.028>
- Kabir, E., Kim, K., Yoon, H., 2011. Trace metal contents in barbeque (BBQ) charcoal products. *J. Hazard. Mater.* *185* (2–3), 1418–1424.
- Lim, M. (2018). AirBeam2 Technical Specifications, Operation & Performance. Retrieved 17 March 2022, from <https://www.habitatmap.org/blog/airbeam2-technical-specifications-operation-performance>
- Línea Verde SMART CITY. (2021). *EL AIRE*. <http://www.lineaverdemunicipal.com>  
 Mintransporte. (2021). *Glosario*. [mintransporte.gov.co](https://www.mintransporte.gov.co).  
<https://www.mintransporte.gov.co/glosario/genPag=5>
- Mayo for Medical Education and Research (MFMER). (17 de febrero de 2022). Riesgo de cáncer: qué significan los números. Obtenido de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/cancer/in-depth/cancer/art-20044092>
- Medina, J. A. (2020). Modelación del Comportamiento del Tráfico de Transporte Público en la Avenida Boyacá entre la Avenida Américas y la Calle 127 de la Ciudad de Bogotá Mediante Dinámica de Sistemas.
- Mintransporte. (2021). *Glorasio*. [mintransporte.gov.co](https://www.mintransporte.gov.co).  
<https://www.mintransporte.gov.co/glosario/genPag=5>
- Miteco. (2021). *GLOSARIO DE TÉRMINOS*. <https://www.miteco.gob.es>
- Montoya, N. P., Casas, P. A., & Wandurraga, C. C. (junio de 2010). *Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana*.
- Morales Betancourt, R., Galvis, B., Balachandran, S., Ramos-Bonilla, J., Sarmiento, O., Gallo-Murcia, S., & Contreras, Y. (2017). *Exposure to fine particulate, black carbon, and particle number concentration in transportation microenvironments*. *Atmospheric Environment*, *157*, 135–145.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.03.006>
- Moreno Barón, J. A. (2021). *Documento Técnico de Base Plan de Desarrollo Local 2021–2024*. <https://suba.gov.co>
- Moreno Rojas, S. (2009). *Agenda Ambiental de la Localidad 10 Engativá*. <https://riosalitre.files.wordpress.com>

- Mu, L., Deng, F., Tian, L., Li, Y., Swanson, M., Ying, J., Browne, R. W., Rittenhouse Olson, K., Zhang, J. J., Zhang, Z. F., & Bonner, M. R. (2014). *Peak expiratory flow, breath rate and blood pressure in adults with changes in particulate matter air pollution during the Beijing Olympics: A panel study. Environmental Research, 133*, 4–11. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.05.006>
- OMS. (2021, 22 septiembre). *What are the WHO Air quality guidelines?* Wwww.Who.Int. <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>
- Ortega, B. U. (2007). *Bombas de Muestreo Personal para Agentes Químicos (I): Recomendaciones para su Selección y Uso. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/326775/777.pdf/3e3f809e-c78d-47ed-8fa2-edd9fd5b0f0c?version=1.0&t=1617977868578>*
- PRTR-España. (2021). *Cd (Cadmio y compuestos) | PRTR España. Prtr-Es.es. <https://prtr-es.es/Cd-Cadmio-y-compuestos,15605,11,2007.htm>*
- Ramírez, O., Campa, A. M., Rodas, D. S., & Rosa, J. D. (2019). Hazardous trace elements in thoracic fraction of airborne particulate matter: Assessment of temporal variations, sources, and health risks in a megacity. Elseiver , 13.
- Reyes, Y. C., I. V., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (13 de junio de 2016). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA.*
- Rodríguez-Camargo, L. A., Sierra-Parada, R. J., & Blanco-Becerra, L. C. (2020). *Análisis espacial de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en Bogotá según los valores de las guías de la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud para enfermedades cardiopulmonares, 2014-2015. Biomédica, 40(1), 137–152. <https://doi.org/10.7705/biomedica.4719>*
- Rosero Rodríguez, V. (2019). *Estudio del Valor del Suelo de la Localidad de Engativa-Bogotá D.C. para el Estrato 3 de Uso Residencial. <https://repository.udistrital.edu.co>*
- Saludcapital. (2009). *Boletín Informativo Calidad del Aire y Salud «Localidad de Suba».* <http://www.saludcapital.gov.co>
- Samad, A., & Vogt, U. (2021). Mobile air quality measurements using bicycle to obtain spatial distribution and high temporal resolution in and around the city center of Stuttgart. *Atmospheric Environment, 244*, 117915. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117915>

- Santanilla, R. (2010, abril). *Patrimonio en Suba*. <http://patrimoniosuba.blogspot.com>.  
<http://patrimoniosuba.blogspot.com/p/transporte-y-malla-vial.html>
- Secretaria de Movilidad. (2018, June 15). Secretaría Distrital de Movilidad. <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/A%20partir%20del%2018%20de%20junio%20la%20transversal%2093%20%20ser%20C3%A1%20en%20un%20solo%20sentido%20hacia%20el%20norte>.
- Spiral Ingeniería S.A. (2022). Estudio de Tránsito Plan Parcial el Carmen.
- Suárez, L., Mesías, S., Iglesias, V., Silva, C., Cáceres, D. D., & Ruiz Rudolph, P. (2014). *Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile*. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 16(6), 1309–1317. <https://doi.org/10.1039/c3em00648d>
- THE NOTE. (2015, 20 enero). *AirBeam: El dispositivo portátil que revela calidad del aire en tiempo real | The Note*. [thenote.cl](https://www.thenote.cl/category/airbeam-el-dispositivo-portatil-que-revela-calidad-del-aire-en-tiempo-real/).  
<https://www.thenote.cl/category/airbeam-el-dispositivo-portatil-que-revela-calidad-del-aire-en-tiempo-real/>
- Tran, P., Zhao, M., Yamamoto, K., Minet, L., Nguyen, T., & Balasubramanian, R. (2020). *Cyclists' personal exposure to traffic-related air pollution and its influence on bikeability*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 88, 102563. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102563>
- Torres García, C. A., & Galindo Perdomo, O. A. (2016). *Comportamiento del Material Particulado y su Incidencia en los Usuarios de la Ciclovía Recreativa de la Carrera Séptima en Bogotá D.C*. <https://repository.udistrital.edu.co>
- Vargas R., C. (2011, julio). *Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado sobre la salud humana*. <https://planesynormas.mma.gob.cl>
- Watson, A, Bates, R y Kennedy, D (1988), *Air Pollution, the Automobile, and Public Health* . Washington, Estados Unidos: National Academies Press.
- WHO. (2000). *Air Quality Standards* . Copenhagen.
- WHO Regional Office for Europe. (2000). *Chromium*.
- Zuurbier, M., Willems, J., Schaap, I., Van der Zee, S., & Hoek, G. (2019). *The contribution of moped emissions to ultrafine and fine particle concentrations on bike lanes*. *Science of the Total Environment*, 686, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.409>

## ANEXOS

**Anexo A.** Valores obtenidos distribución Shapiro-Wilk y correlaciones de los tramos con Spearman's.

- Trayecto 1**

```
. swilk pm10t pm25t pm10t1 pm25t1 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4
```

Shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	3096	0.31327	1210.351	18.338	0.00000
pm25t	3096	0.42035	1021.620	17.900	0.00000
pm10t1	937	0.78635	126.997	11.964	0.00000
pm25t1	952	0.83337	100.488	11.393	0.00000
pm10t3	1353	0.30019	581.382	15.955	0.00000
pm25t3	1355	0.38939	507.963	15.617	0.00000
pm10t4	806	0.28962	368.191	14.502	0.00000
pm25t4	805	0.36540	328.542	14.222	0.00000

```
. spearman pm10t pm25t pm10t1 pm25t1 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4
(obs=805)
```

	pm10t	pm25t	pm10t1	pm25t1	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t	1.0000							
pm25t	0.5841	1.0000						
pm10t1	1.0000	0.5841	1.0000					
pm25t1	0.5841	1.0000	0.5841	1.0000				
pm10t3	0.0406	0.0252	0.0406	0.0252	1.0000			
pm25t3	0.0742	0.1030	0.0742	0.1030	0.8814	1.0000		
pm10t4	0.0363	-0.0188	0.0363	-0.0188	0.1678	0.1847	1.0000	
pm25t4	0.0500	0.0215	0.0500	0.0215	0.1968	0.2094	0.9457	1.0000

- Trayecto 3**

```
. swilk pm10t pm25t pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4
```

Shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	3119	0.54120	814.052	17.318	0.00000
pm25t	1136	0.65910	241.491	13.658	0.00000
pm10t1	238	0.66994	57.328	9.397	0.00000
pm25t1	222	0.78130	35.738	8.272	0.00000
pm10t2	502	0.54530	153.509	12.103	0.00000
pm25t2	467	0.64603	111.974	11.307	0.00000
pm10t3	658	0.62516	161.606	12.373	0.00000
pm25t3	447	0.71822	85.701	10.645	0.00000
pm10t4	1721	0.57447	440.171	15.398	0.00000

```
. spearman pm10t pm25t pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4
(obs=222)
```

	pm10t	pm25t	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4
pm10t	1.0000								
pm25t	0.5746	1.0000							
pm10t1	1.0000	0.5746	1.0000						
pm25t1	0.5746	1.0000	0.5746	1.0000					
pm10t2	-0.5045	-0.4750	-0.5045	-0.4750	1.0000				
pm25t2	-0.4308	-0.5263	-0.4308	-0.5263	0.8013	1.0000			
pm10t3	0.0252	0.0881	0.0252	0.0881	0.1268	0.1583	1.0000		
pm25t3	0.1293	-0.0079	0.1293	-0.0079	-0.1178	-0.0135	-0.0623	1.0000	
pm10t4	0.0990	-0.0794	0.0990	-0.0794	0.0691	0.2370	0.1293	0.6457	1.0000

- Trayecto 4**

```

Shapiro-wilk w test for normal data

```

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	2583	0.46171	805.322	17.178	0.00000
pm25t	2270	0.57417	566.632	16.201	0.00000
pm10t1	248	0.78261	39.149	8.529	0.00000
pm25t1	179	0.79936	27.185	7.556	0.00000
pm10t2	242	0.64923	61.823	9.580	0.00000
pm25t2	174	0.75855	31.922	7.912	0.00000
pm10t3	680	0.74465	113.424	11.528	0.00000
pm10t4	1412	0.44493	479.427	15.497	0.00000
pm25t4	1345	0.54609	375.057	14.853	0.00000

```

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4
(obs=174)

```

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.0310	1.0000						
pm10t2	-0.2538	-0.0483	1.0000					
pm25t2	-0.0395	-0.2948	-0.0660	1.0000				
pm10t3	-0.3979	-0.0098	-0.1404	0.2208	1.0000			
pm25t3	0.0073	0.0937	0.0857	-0.3103	0.3431	1.0000		
pm10t4	-0.2967	-0.1995	0.3339	0.4279	-0.0578	-0.2289	1.0000	
pm25t4	-0.2297	-0.1730	0.3152	0.3738	-0.0842	-0.2078	0.9666	1.0000

- **Trayecto 5**

```

. swilk pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4

```

```

Shapiro-wilk w test for normal data

```

Variable	Obs	w	V	z	Prob>z
pm10t1	568	0.60827	147.844	12.079	0.00000
pm25t1	516	0.68849	107.806	11.267	0.00000
pm10t2	234	0.62258	64.587	9.666	0.00000
pm25t2	183	0.69558	42.043	8.563	0.00000
pm10t3	788	0.63720	184.218	12.790	0.00000
pm25t3	500	0.76819	77.978	10.472	0.00000
pm10t4	750	0.70842	141.555	12.119	0.00000
pm25t4	653	0.79231	88.925	10.916	0.00000

```

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4
(obs=183)

```

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.5074	1.0000						
pm10t2	-0.2502	0.0064	1.0000					
pm25t2	-0.2078	-0.3579	0.4788	1.0000				
pm10t3	0.0692	-0.3197	-0.2509	-0.0631	1.0000			
pm25t3	-0.2381	-0.1778	-0.1819	-0.3591	0.2792	1.0000		
pm10t4	0.2494	-0.0037	-0.2062	0.0016	0.1277	-0.1350	1.0000	
pm25t4	0.2406	0.0044	-0.2086	-0.0099	0.1109	-0.1434	0.9939	1.0000

- Trayecto 6

shapiro-wilk w test for normal data

variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	5346	0.69571	875.043	17.812	0.00000
pm25t	5161	0.80781	535.637	16.503	0.00000
pm10t1	953	0.94613	32.516	8.605	0.00000
pm25t1	952	0.95343	28.086	8.243	0.00000
pm10t2	855	0.34400	358.753	14.474	0.00000
pm25t2	778	0.45319	274.454	13.760	0.00000
pm10t3	1822	0.61653	417.807	15.299	0.00000
pm10t4	1715	0.76206	245.347	13.918	0.00000
pm25t4	1702	0.83951	164.339	12.901	0.00000

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4  
(obs=778)

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.9484	1.0000						
pm10t2	-0.1325	-0.1360	1.0000					
pm25t2	-0.2852	-0.2585	0.5714	1.0000				
pm10t3	0.2296	0.1536	-0.1766	-0.1572	1.0000			
pm25t3	0.1721	0.1400	-0.0924	-0.1997	0.4316	1.0000		
pm10t4	-0.0023	-0.0239	0.2015	0.2938	-0.0058	-0.0475	1.0000	
pm25t4	-0.0276	-0.0574	0.1883	0.2876	-0.0183	-0.0388	0.9589	1.0000

- Trayecto 7

. swilk pm10t1 pm10t2 pm10t3 pm10t4

shapiro-wilk w test for normal data

variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t1	692	0.77663	100.805	11.249	0.00000
pm10t2	769	0.46115	267.613	13.692	0.00000
pm10t3	2451	0.54362	651.062	16.601	0.00000
pm10t4	1331	0.53681	379.097	14.873	0.00000

. spearman pm10t1 pm10t2 pm10t3 pm10t4  
(obs=692)

	pm10t1	pm10t2	pm10t3	pm10t4
pm10t1	1.0000			
pm10t2	0.0175	1.0000		
pm10t3	0.2708	0.1118	1.0000	
pm10t4	-0.0041	-0.0706	-0.1326	1.0000

- Trayecto 8

shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	3560	0.39949	1200.373	18.403	0.00000
pm10t1	792	0.66764	169.544	12.589	0.00000
pm10t2	461	0.58049	131.175	11.679	0.00000
pm10t3	1999	0.37792	737.449	16.797	0.00000
pm10t4	307	0.83099	36.751	8.470	0.00000

. spearman pm10t1 pm10t2 pm10t3 pm10t4  
(obs=307)

	pm10t1	pm10t2	pm10t3	pm10t4
pm10t1	1.0000			
pm10t2	-0.1121	1.0000		
pm10t3	0.1625	0.0395	1.0000	
pm10t4	0.3283	-0.2040	-0.0380	1.0000

- Trayecto 9

. swilk pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4

shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t1	472	0.83642	52.244	9.485	0.00000
pm25t1	458	0.87868	37.713	8.691	0.00000
pm10t2	608	0.51563	194.405	12.779	0.00000
pm25t2	580	0.60953	150.178	12.128	0.00000
pm10t3	1774	0.73206	284.924	14.314	0.00000
pm25t3	1602	0.82678	167.857	12.925	0.00000
pm10t4	1828	0.66626	364.718	14.956	0.00000
pm25t4	1775	0.79308	220.146	13.661	0.00000

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4  
(obs=458)

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.6246	1.0000						
pm10t2	-0.2976	-0.2333	1.0000					
pm25t2	-0.1700	-0.2184	0.7582	1.0000				
pm10t3	-0.0503	-0.0161	0.0902	0.0029	1.0000			
pm25t3	-0.0806	-0.0364	0.3151	0.2351	0.4475	1.0000		
pm10t4	0.3491	0.3771	-0.0499	-0.0309	-0.0009	0.0929	1.0000	
pm25t4	0.3644	0.3887	-0.0501	-0.0373	-0.0060	0.0937	0.9866	1.0000

- Trayecto 10

shapiro-wilk w test for normal data

variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t	6395	0.71769	951.374	18.129	0.00000
pm25t	6272	0.83136	558.659	16.712	0.00000
pm10t1	1162	0.82289	128.077	12.090	0.00000
pm25t1	1162	0.86950	94.373	11.329	0.00000
pm10t2	1244	0.97951	15.766	6.890	0.00000
pm25t2	1234	0.98223	13.578	6.514	0.00000
pm10t3	2541	0.56521	640.887	16.582	0.00000
pm25t3	2498	0.69315	445.358	15.639	0.00000
pm10t4	1447	0.51387	429.365	15.235	0.00000
pm25t4	1378	0.61221	327.588	14.527	0.00000

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4  
(obs=1162)

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.9284	1.0000						
pm10t2	-0.0195	0.0119	1.0000					
pm25t2	-0.0294	-0.0084	0.9659	1.0000				
pm10t3	0.0188	-0.0134	-0.0219	-0.0218	1.0000			
pm25t3	0.0549	0.0356	-0.0020	0.0037	0.4966	1.0000		
pm10t4	-0.1533	-0.1938	0.2888	0.3063	0.1104	0.2103	1.0000	
pm25t4	-0.1939	-0.1890	0.3343	0.3248	0.1264	0.2543	0.5537	1.0000

- Trayecto 11

. swilk pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4

shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	w	V	z	Prob>z
pm10t1	345	0.55454	107.457	11.052	0.00000
pm25t1	303	0.62515	80.569	10.308	0.00000
pm10t2	246	0.54073	82.122	10.248	0.00000
pm25t2	166	0.62608	47.468	8.797	0.00000
pm10t3	947	0.72732	163.654	12.596	0.00000
pm25t3	829	0.75671	129.365	11.949	0.00000
pm10t4	1239	0.59871	307.671	14.310	0.00000
pm25t4	1162	0.72911	195.895	13.149	0.00000

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4  
(obs=166)

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.5039	1.0000						
pm10t2	-0.5047	-0.0287	1.0000					
pm25t2	-0.3501	-0.3939	0.1801	1.0000				
pm10t3	-0.2053	-0.1392	0.5449	0.0523	1.0000			
pm25t3	-0.1353	-0.2412	0.4467	0.1282	0.5455	1.0000		
pm10t4	-0.1712	-0.1229	0.0548	-0.0185	-0.0646	0.0943	1.0000	
pm25t4	-0.1053	-0.0875	-0.0278	0.0487	-0.1258	-0.0389	0.8487	1.0000

- Trayecto 12

Shapiro-wilk w test for normal data

Variable	obs	W	V	z	Prob>z
pm10t	553	0.47828	192.197	12.698	0.00000
pm25t	497	0.58391	139.213	11.862	0.00000
pm10t1	105	0.42508	49.444	8.677	0.00000
pm25t1	99	0.49814	41.090	8.238	0.00000
pm10t2	40	0.51508	19.168	6.215	0.00000
pm25t2	24	0.56655	11.692	5.014	0.00000
pm10t3	167	0.53603	59.205	9.304	0.00000
pm25t3	150	0.62624	43.489	8.552	0.00000
pm10t4	241	0.57716	74.255	10.004	0.00000
pm25t4	224	0.67813	53.012	9.188	0.00000

. spearman pm10t1 pm25t1 pm10t2 pm25t2 pm10t3 pm25t3 pm10t4 pm25t4  
(obs=24)

	pm10t1	pm25t1	pm10t2	pm25t2	pm10t3	pm25t3	pm10t4	pm25t4
pm10t1	1.0000							
pm25t1	0.7624	1.0000						
pm10t2	-0.1431	-0.2133	1.0000					
pm25t2	0.1460	0.1384	0.3524	1.0000				
pm10t3	0.1834	-0.1632	-0.0782	-0.0278	1.0000			
pm25t3	0.0218	0.3386	-0.0546	-0.1611	-0.4425	1.0000		
pm10t4	-0.4498	-0.1899	0.2172	-0.3269	-0.3048	0.3236	1.0000	
pm25t4	-0.4068	-0.1490	0.2137	-0.3003	-0.3240	0.3368	0.9934	1.0000

**Anexo B.** Valores Obtenidos en la Estadística Descriptiva Concentraciones Cromo y PST.

. sum pstgm3, det

PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )				
Percentiles	Smallest			
1%	327	327		
5%	327	370		
10%	370	490	obs	12
25%	490	490	Sum of wgt.	12
50%	1225.5		Mean	3220.667
75%	2418	Largest	Std. Dev.	5169.238
90%	9074	2222	Variance	2.67e+07
95%	17778	2614	Skewness	2.176177
99%	17778	9074	Kurtosis	6.443938
		17778		

Concentración ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )				
Percentiles	Smallest			
1%	0	0		
5%	0	0		
10%	0	0	obs	12
25%	2	4	Sum of wgt.	12
50%	23		Mean	22.75
75%	37.5	Largest	Std. Dev.	20.54762
90%	49	37	Variance	422.2045
95%	58	38	Skewness	.2701057
99%	58	49	Kurtosis	1.718685
		58		