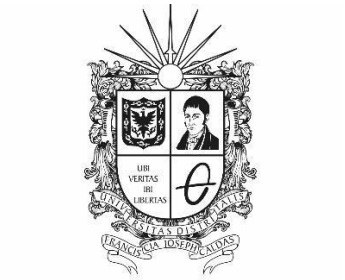
Aplicabilidad de los parámetros técnicos de macro y micro localización en estaciones de monitoreo tipo tráfico para fuentes lineales en la localidad de Engativá de Bogotá D.C.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Autor

Jessica Alejandra Acosta Alejo

Laura Melissa Navarrete Ramírez

Director

José Alejandro Murad Pedraza

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

julio de 2025

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 3
2. OBJETIVOS 4
2.1. OBJETIVO GENERAL 4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
3. PLAN DE TRABAJO 5
3.1. FASE N° 01: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 6
3.2. FASE N° 02: PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACIÓN 7
3.3. FASE N° 03: ELABORACIÓN ESTUDIO TECNICO 9
4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 10
4.1. DEFINICIÓN Y CARACTERIZAICÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO 10
4.2. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO 12
4.3. ELABORACIÓN ESTUDIO TÉCNICO 40
4.3.1. COSTOS SVCA 43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
6. ANEXOS 48
7. REFERENCIAS 49

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en un entorno urbano es esencial para comprender la dinámica de los contaminantes emitidos de distintas fuentes, contar con una base de información solida sustenta el material necesario para diseñar estrategias que mitiguen los efectos nocivos sobre las personas y su entorno.

En las últimas décadas, los gobiernos a nivel global han asumido con mayor seriedad la problemática asociada a los contaminantes atmosféricos, reconociendo su impacto directo sobre la salud pública y la calidad de vida urbana. Esta preocupación se ha traducido en la formulación y actualización de normativas ambientales más estrictas, así como en la adopción de estándares internacionales de monitoreo, como los establecidos por la EPA, la OMS o la Unión Europea. En respuesta a estas exigencias, se ha incentivado el desarrollo de diversos modelos de estaciones de monitoreo, diseñados para adaptarse a contextos específicos: desde estaciones de referencia de alta precisión o fijas para redes regulatorias, hasta estaciones indicativas y sensores de bajo costo para campañas móviles, vigilancia comunitaria o diagnóstico en zonas de difícil acceso. Esta diversificación tecnológica ha permitido a los gobiernos implementar sistemas de vigilancia más flexibles, escalables y territorialmente pertinentes, fortaleciendo su capacidad para gestionar la calidad del aire de manera más eficiente y equitativa.

En contextos urbanos, como la localidad Engativá, donde confluyen fuentes móviles, fijas y difusas, el monitoreo continuo permite identificar patrones de exposición, evaluar el cumplimiento normativo y priorizar intervenciones en zonas de mayor vulnerabilidad, por lo cual, este documento presenta una propuesta metodológica que permita ampliar la cobertura y fortalecer la red de monitoreo actual a través de la caracterización de vías principales, troncales, arterias y secundarias, la revisión del uso del suelo, densidad poblacional y datos del flujo vehicular, la aplicación de criterios establecidos en la normativa nacional (Protocolo MAVDT 2010) e internacional (40 CFR Part 58) y el análisis detallado de macro y micro localización, obteniendo nuevos puntos de monitoreo (32 estaciones indicativas y 7 fijas) para mejorar la representatividad de los datos y optimizar la gestión de la calidad del aire aportando una base técnica para su futura implementación y expansión.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

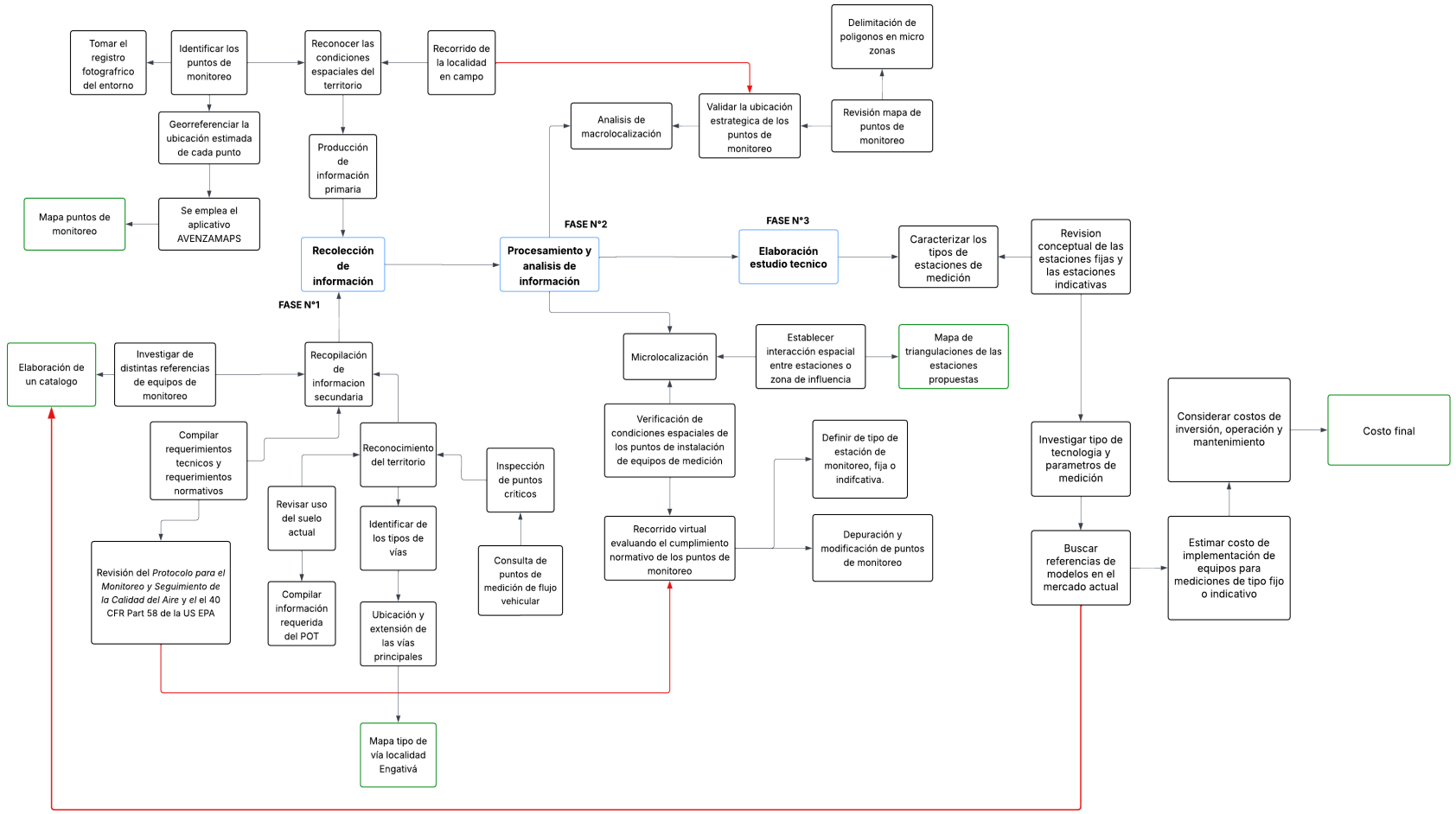
Realizar el estudio técnico de macro y micro localización para la ubicación de estaciones de monitoreo tipo tráfico en fuentes lineales Arterias y Principales para la localidad de Engativá de Bogotá D.C.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir el tipo de vías arterias y principales dentro de la localidad de Engativá para su caracterización y alcance en la instalación del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire tipo tráfico.
- Establecer las ubicaciones de las estaciones del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de la localidad de Engativá aplicando los criterios de macro y micro localización definidos en la normativa vigente.
- Desarrollar el estudio técnico para el diseño de las estaciones tipo tráfico a instalar dentro del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire a implementar en la localidad de Engativá.

3. PLAN DE TRABAJO

Figura 1. Esquema de la metodología.



Nota, elaborado por autores (2025)

3.1. FASE N° 01: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Consistió en el reconocimiento y evaluación de las principales vías de la localidad de Engativá, con el propósito de establecer una base técnica sólida para el diseño del sistema de vigilancia de calidad del aire orientado a fuentes móviles, ya que inicialmente se identificaron las troncales y avenidas más representativas de la localidad, junto con las vías principales y arterias que las alimentan, considerando como criterio comparativo el número de carriles registrados en fuentes bibliográficas, cartográficas y documentos técnicos disponibles, permitiendo jerarquizar la red vial y asociarla con su potencial capacidad de carga vehicular. Posteriormente, se llevó a cabo una revisión del uso actual del suelo en los alrededores de estas vías, a partir de información contenida en el plan de ordenamiento territorial (POT) y registros urbanos complementarios, con el fin de identificar sectores predominantemente residenciales, comerciales, industriales e institucionales y se tuvo en cuenta la última actualización de los límites oficiales de la localidad de Engativá para determinar la extensión territorial correspondiente a cada vía dentro del área de estudio y evitar errores de delimitación en fases posteriores. Adicionalmente, se consultaron los puntos de medición de flujo vehicular reportados por la secretaría distrital de movilidad, los cuales sirvieron como referencia para identificar intersecciones clave y zonas de alta intensidad de tránsito. así mismo, mediante el uso de plataformas digitales de consulta espacial (como GOOGLE MAPS) y la información cartográfica disponible del POT, se realizó una inspección visual y espacial para ubicar fuentes fijas de emisión atmosférica cercanas a los corredores viales identificados, tales como industrias, estaciones de servicio, centros logísticos y otras actividades potencialmente contaminantes.

Conforme a la recopilación de información necesaria para el estudio, se llevó a cabo el recorrido de las vías principales y arterias en el proceso de identificar los puntos de medición con características de funcionalidad y efectividad para aplicar la metodología de microlocalización, por lo cual, mediante una visita en campo que permitiera reconocer las condiciones espaciales de la zona, se fue ubicando puntos con la ayuda del aplicativo AVENZAMAPS que georreferencia lugares exactos con la foto del sitio y las coordenadas exactas para disponer de opciones de ubicación de las estaciones en un planteamiento de red de monitoreo base. Durante el recorrido, se visualizó las características de cada vía en

cuanto a la presencia de zonas verdes o el predominio absoluto de edificaciones, la proximidad y elevación de dichas infraestructuras, la cantidad de carriles de una misma vía y el tipo de vehículo que transitaba. Sumado a ello, se fue determinado, provisionalmente, el tipo de estación que se dispondría en cada punto. Luego, con el fin de ampliar la información sobre el diseño del sistema de monitoreo, se investigaron los tipos de estaciones que existen y de qué manera se clasifican por contaminantes medibles, considerando las fuentes de emisión y el tipo de área. a lo largo de esta búsqueda, se efectuó una revisión detallada de sitios web de empresas que comercializan gran variedad de estaciones de monitoreo, algunas con un enfoque más amplio en la toma de datos de variables meteorológicas. La información recolectada fue organizada en un anexo del presente documento, el cual simula un catálogo de estaciones de monitoreo con diseños, funciones y técnicas diferentes, este aboga la magnitud del mercado a través de la variedad de modelos de estaciones de monitoreo fabricados en distintos países, reflejo de la diversidad de enfoques tecnológicos y necesidades de medición existentes a nivel global.

3.2. FASE N° 02: PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACIÓN

A partir de la información obtenida previamente en campo incluyendo distancias, características físicas del entorno, condiciones de ventilación y distribución del espacio urbano, se procedió a analizar la idoneidad de cada punto propuesto para la instalación de estaciones, diferenciando entre los niveles macro y micro de localización. de esta manera, se abordó la macrolocalización, entendida como la ubicación general del sitio dentro de la localidad y su pertinencia frente a variables clave como la jerarquía y flujo vehicular del corredor vial, el uso del suelo predominante, la presencia de fuentes fijas y móviles de emisión, la densidad poblacional expuesta y la representatividad espacial en relación con el entorno urbano, por lo cual este análisis permitió valorar si la ubicación propuesta respondía de manera adecuada al objetivo de captar información relevante sobre la contaminación atmosférica de origen vehicular en el área de influencia. Posteriormente, se desarrolló el análisis de microlocalización, el cual se centró en las condiciones puntuales del sitio para la instalación del equipo, tomando como referencia los requerimientos técnicos establecidos en el *protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire* (mavdt, 2010) y los lineamientos del 40 CFR part 58 de la US EPA. Dentro de los aspectos evaluados se consideraron la altura disponible para la entrada de muestreo (entre 2 y 15

metros), la distancia a obstáculos como paredes, techos o árboles (mínimo 2 metros a estructuras verticales y 10 metros a masas vegetales), la presencia de transporte público, la exposición directa al flujo de aire, el acceso logístico al sitio y las condiciones de seguridad para la operación del equipo.

Con base en esta evaluación y en el cumplimiento de los requisitos establecidos para cada tipo de estación, se clasificó la viabilidad de los puntos propuestos como aptos para estaciones fijas, en aquellos casos donde se disponía de condiciones adecuadas para el monitoreo continuo y la instalación de infraestructura permanente. Por otro lado, se consideraron como sitios viables para estaciones indicativas aquellos lugares que, si bien podían presentar ciertas limitaciones en términos de espacio, accesibilidad o permanencia, resultaban estratégicos para complementar el sistema de vigilancia, por lo que estas estaciones indicativas se proyectaron con el fin de generar datos adicionales que permitan mejorar la caracterización espacial de la zona, establecer comparaciones entre diferentes puntos de la localidad y proporcionar información de respaldo para validar y contextualizar los registros obtenidos por las estaciones fijas.

Por medio de un recorrido virtual usando la herramienta GOOGLE EARTH, se complementó efectivamente la observación detallada de los puntos seleccionados en la visita de campo, a lo largo de este procedimiento, se tuvo en cuenta la demarcación de polígonos al interior de los límites de la localidad para definir la influencia de los contaminantes y evitar la saturación de información en el cumplimiento de la normativa, los criterios de selección considerados se centraron en requerimientos básicos de instalación y operación de las estaciones favoreciendo la efectividad de la red de monitoreo respecto a la distribución secuencial de estaciones por predominio de uso del suelo y la frecuencia de flujo vehicular dependiendo el tipo de transporte y la emisión de contaminantes, por lo cual, del compendio inicial de estaciones generado en el recorrido se realizó un proceso de depuración con base a criterios técnicos obteniendo como resultado los puntos de monitoreo definitivos del estudio, los criterios técnicos de referencia mencionados en el apartado anterior junto al reconocimiento de urbanización o expansión informal, densidad poblacional, distancias de vías arteriales y la presencia de fuentes de emisión según el tipo de suelo.

3.3. FASE N° 03: ELABORACIÓN ESTUDIO TECNICO

Contemplando la lista final de los puntos de monitoreo, se dio inicio con la comparación de especificidades técnicas de la variedad de estaciones recopiladas en el catálogo para establecer los modelos de equipos disponibles en el mercado y las diferentes características que condicionan su aplicabilidad, el diseño, criterios de instalación y el cumplimiento de requisitos normativos. De tal manera, se estimó el costo total de SVCA calculado el precio de los implementos y equipos a instalar de acuerdo con el tipo de estación, si corresponde a fija o indicativa, además de los procesos de operación, mantenimiento y los insumos requeridos.

4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

4.1. DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

En la fase de reconocimiento vial se delimitó de acuerdo con información geográfica compartida por la secretaría distrital de planeación el contorno oficial de la localidad de Engativá, asentado sobre aproximadamente 3.588 hectáreas dentro del noroccidente de Bogotá, para identificar los ejes viales que articulan su estructura urbana.

Figura 2. Mapa de localidades Bogotá D.C

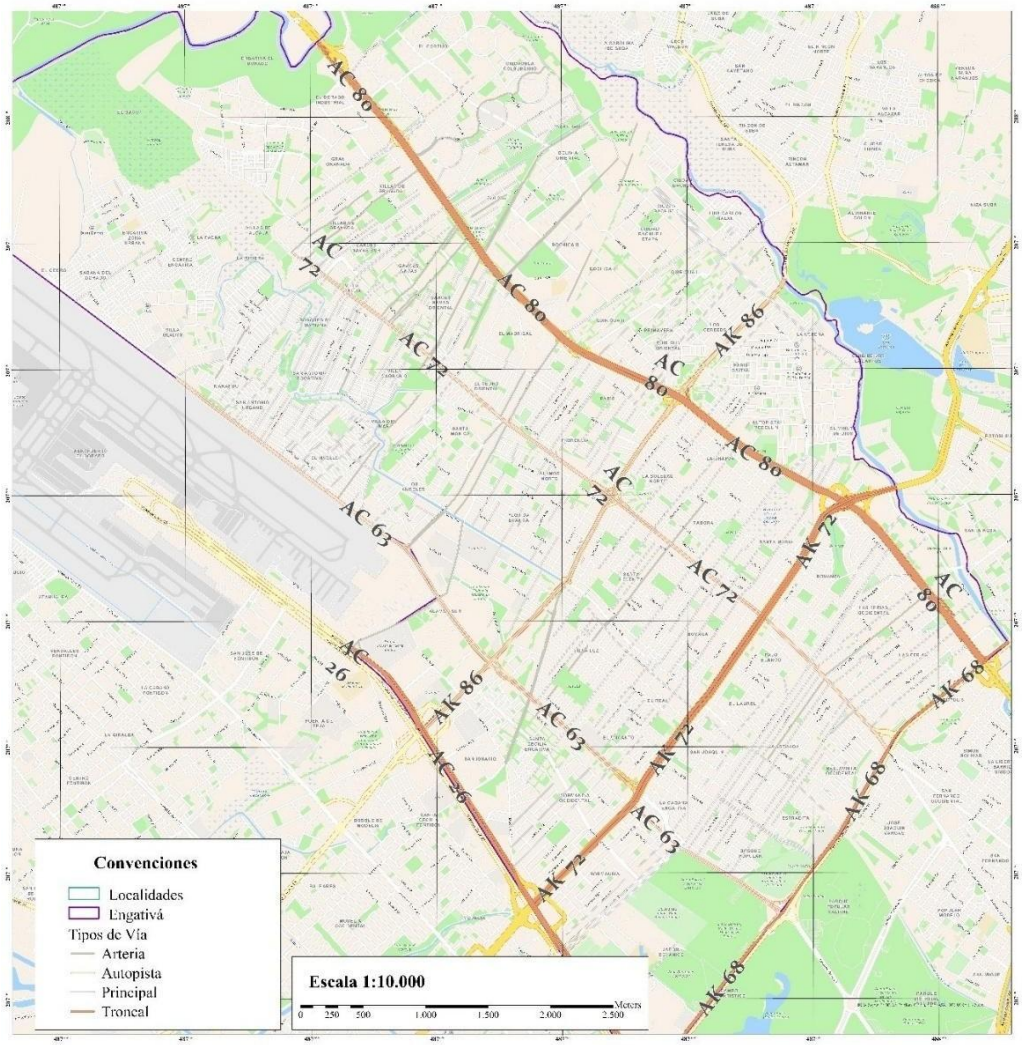


Nota, tomado de la Secretaria de Educación del Distrito (2019)

Así mismo, se consolidó la información recolectada en la etapa previa de “caracterización vial y análisis territorial preliminar” como insumo para el análisis de resultados (figura 3), en donde se establecieron, en total, seis corredores troncales y autopistas principales —Avenida Boyacá, Carrera 80 (Autopista Medellín), Calle 26 (Avenida El Dorado), Avenida Ciudad de Cali, Carrera 72 (Autopista Norte) y Carrera 63 (Autopista sur)—, cada uno con entre 6 y 10 carriles, lo que confirma su rol como ejes de máxima capacidad y demanda de

movilidad en Engativá. a estos se sumaron más de veinte arterias de cuatro carriles y una extensa red de vías de dos carriles siendo sesenta y dos vías principales, jerarquizadas de acuerdo con el número de carriles registrado en fuentes cartográficas y documentos técnicos.

Figura 3. Mapa tipo de vías localidad Engativá



Nota, Elaborado por autores (2025)

El análisis espacial del uso del suelo circundante, apoyado en datos del POT y verificaciones en campo, reveló que las áreas adyacentes a los corredores troncales

presentan un uso mixto, con comercio y servicios en planta baja y usos residenciales en niveles superiores, por el contrario, las autopistas se presentan principalmente en sectores logísticos y en ciertos casos industriales, mientras que las arterias principales se encuentran por barrios residenciales que cuentan con algo de comercio de barrio en intersecciones clave y las vías secundarias, por su parte, cumplen la función de red interna de barrios, con un predominio casi absoluto de uso residencial.

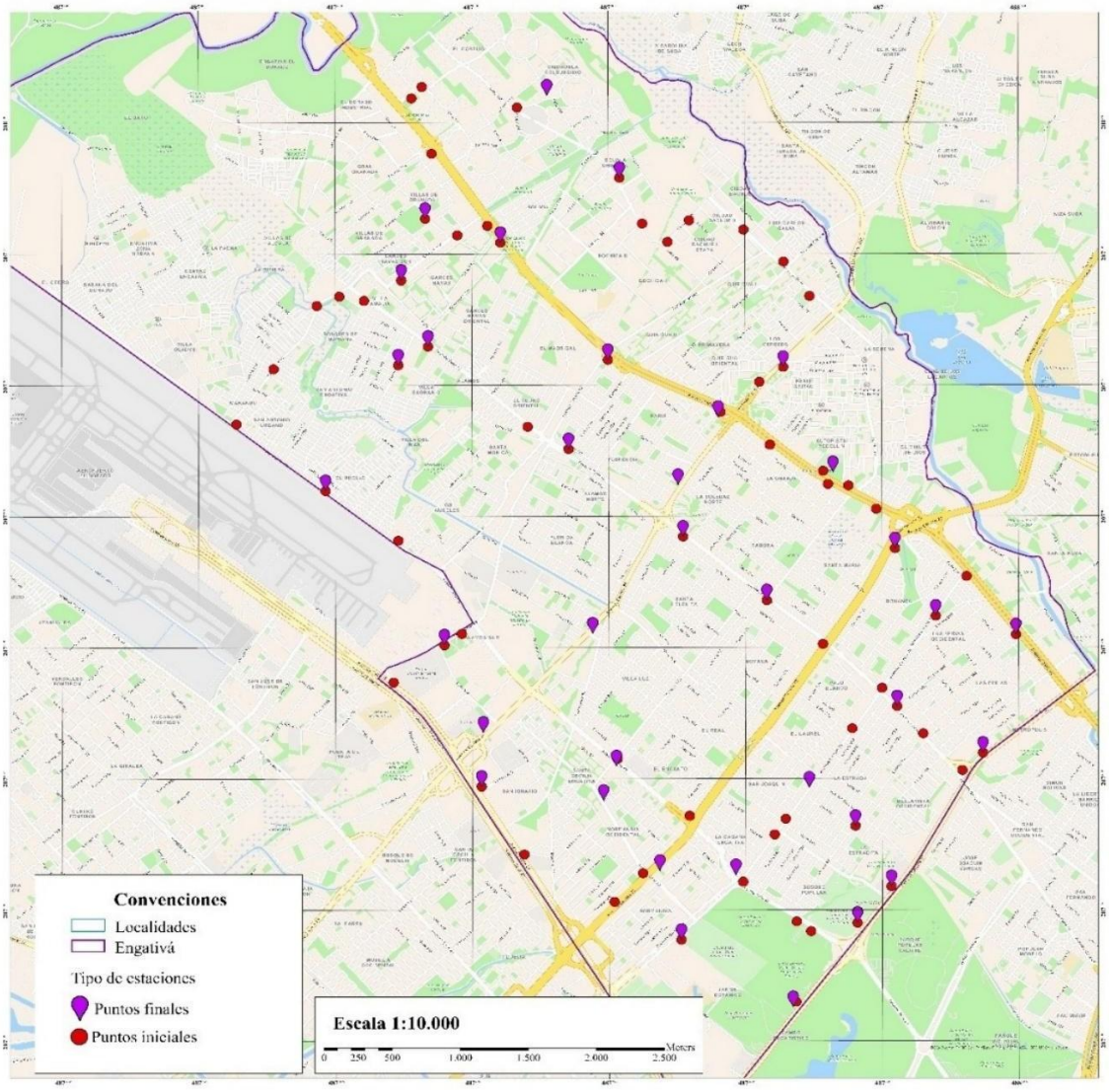
Respecto al flujo vehicular, los puntos de medición proporcionados por la Secretaría Distrital de Movilidad sirvieron para ubicar intersecciones críticas y áreas de alta intensidad de tránsito; sin embargo, la información disponible resultó incompleta y discontinua para cada corredor. Ante esta carencia, la jerarquía vial y el conteo de carriles se emplearon como el sustito de la capacidad de flujo, reconociendo que los corredores con mayor número de carriles probablemente soportan los volúmenes más altos de tráfico.

En conjunto, estos resultados establecen una base técnica rigurosa: las vías de mayor jerarquía quedan confirmadas como los corredores prioritarios para el monitoreo de fuentes móviles, mientras que las arterias y vías secundarias aportarán datos complementarios que permitirán evaluar la variabilidad espacial de los contaminantes, esta caracterización es esencial para orientar la macrolocalización y microlocalización de estaciones dentro del diseño final del SVCA.

4.2. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Como parte del diseño de la red de monitoreo, se obtuvo una serie de puntos de medición definidos de forma integral resultado de la depuración de información original (**Figura 4**), tomada el día del recorrido y del proceso de revisión detallada en el análisis de microlocalización, a partir de ello, fue posible establecer los sitios con mayor idoneidad en el funcionamiento del SVCA, es decir, aquellos capaces de cuantificar la calidad del aire en puntos específicos de la localidad dando prioridad a la ampliación de cobertura.

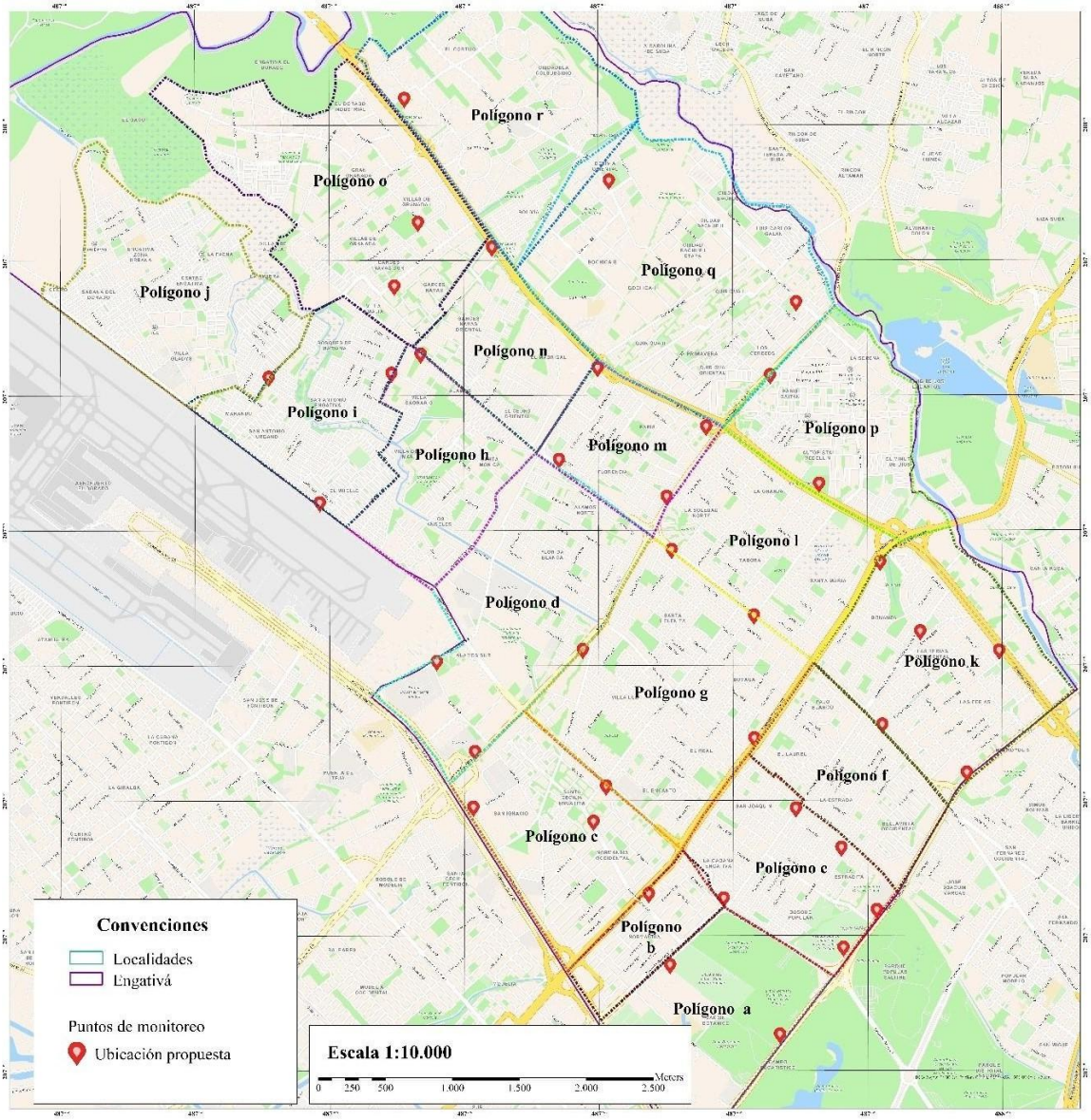
Figura 4. Mapa de comparación de puntos iniciales con puntos finales



Nota, elaborado por autores (2025*)*

La asignación de características en cada punto de monitoreo fue dispuesta por los limites o extensión de los polígonos, se le atribuyó un nombre técnico relacionado con la localización exacta dentro del área del polígono dando claridad en la información sobre la orientación de los puntos en una misma vía. Esta nomenclatura permitió establecer una referencia espacial coherente entre los distintos tramos monitoreados, facilitando la interpretación de los datos y su vinculación con las condiciones específicas del entorno urbano.

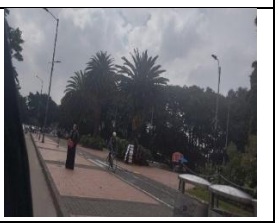
Figura 5. Mapa de división por polígonos.



Nota, elaborado por autores (2025)

Además, esta estrategia de identificación técnica contribuye a la trazabilidad de los datos recolectados, permitiendo su integración en sistemas de información geográfica (SIG) y su análisis en conjunto con la incidencia de proximidad entre estaciones para optimizar y fortalecer la vigilancia de contaminantes por zonas dentro de la localidad.

Tabla 1. Descripción del Polígono a y los puntos de monitoreo.

Polígono a	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*		1	2	3	4
	Nombre		**P_a1**	**P_a2**	**P_des1**	**P_des2**
	Coordenadas		598976.00 m E	600125.00 m E	600256.00 m E	600121.00 m E
			515266.00 m N	515384.00 m N	515962.00 m N	516057.00 m N
	Tipo de estación	*Fija*		x		
		Indicativa	x		x	x
	Ubicación		Sobre la Avenida El Dorado en sentido Oriente - Occidente al lado del Edificio Elemento frente al Instituto Técnico Industrial Don Bosco y próxima a la estación de Transmilenio Av. Rojas	Sobre la Calle 68 en sentido Norte – Sur, junto al puente peatonal del Parque Simón Bolívar, entre al Estadio de Softbol Unidad Deportiva el Salitre	Sobre la Calle 63 en sentido Occidente – Oriente al interior de la Unidad Deportiva El Salitre frente a las canchas de Basquetbol.	Sobre la Calle 63 en sentido Occidente – Oriente, en el espacio público frente a la entrada al Jardín Botánico
Área: 1,57 km² aprox	*Descripción del sitio*		Se localiza en espacio público, no cuenta con infraestructuras cercanas, pero si con presencia de arboles	Se localiza en la zona verde de la Unidad Deportiva El Salitre en un espacio despejado, libre de edificaciones.	DESCARTADA	DESCARTADA
Limites: Al costado norte se encuentra la Calle 63, al oriente la Calle 68, por el sur la Avenida El Dorado y al occidente la Avenida Carrera 70						
Descripción: Alto flujo vehicular, comprende lugares importantes de la ciudad como la Universidad Libre, el Jardín Botánico, La Unidad Deportiva El Salitre y Compensar Sede Empresarial.	*Registro fotográfico*					

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 2. Descripción del Polígono b y los puntos de monitoreo.

6	**Polígono b**		**ESTACIONES DE MONITOREO**	
P_a3			*Punto N°*	7
599307.00 m E			*Nombre*	**P_b1**
515896.00 m N			*Coordenadas*	599147.16 m E 516425.66 m N
			Tipo de estación — *Fija*	
x			*Tipo de estación* — *Indicativa*	X
Sobre la Calle 63 en sentido Occidente – Oriente, en el espacio público frente a la entrada al Jardín Botánico			*Ubicación*	Sobre la Avenida Boyacá al lado del almacén Olímpica
Se localiza en la zona próxima al Club de los Egresados Unilibre en espacio verde con proximidad de arboles	*Área:* 0,59 km² aprox		*Descripción del sitio*	Localizada en espacio público con presencia de árboles y edificaciones a los lados
	Limites: Al costado norte se encuentra la Calle 63, al oriente la Avenida Carrera 70, por el sur la Avenida El Dorado y al occidente la Avenida Boyacá.			
	*Descripción:* Con alto flujo vehicular, predomina el uso residencial y comercial		*Registro fotográfico*	

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 3. Descripción del Polígono c y los puntos de monitoreo.

Polígono c	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	8	9	10	11
	Nombre	**P_des4**	**P_c1**	**P_c2**	**P_des5**
	Coordenadas	598157.00 m E 516544.00 m N	597843.00 m E 517061.00 m N	598829.65 m E 517218.86 m N	599225.00 m E 516599.00 m N
	Tipo de estación – *Fija*		x		
	Tipo de estación – *Indicativa*	x		x	x
	Ubicación	Sobre la Avenida El Dorado en dirección Oriente – Occidente cerca al conjunto residencial Cantabria próximo al parqueadero de un complejo comercial	Sobre la Avenida El Dorado en sentido Oriente – Occidente frente al Sodimac Corona El Dorado	Sobre la Calle 63 en sentido Occidente – Oriente al interior del predio del Centro Social de Suboficiales y Nivel Ejecutivo	Sobre la Avenida Boyacá sentido Norte – Sur en el predio de la Gasolinera Tanqueo Sur.
Área: 1,61 km² aprox	*Descripción del sitio*	DESCARTADA	Localizada en la zona verde del parqueadero Sodimac Corona El Dorado con presencia de arboles	Se localiza en predio privado con presencia de árboles de gran tamaño al rededor	DESCARTADA
Limites: Al costado norte se encuentra la Calle 63, al oriente la Avenida Boyacá, por el sur la Avenida El Dorado y al occidente Avenida Ciudad de Cali.					
Descripción: Elevado flujo vehicular con uso comercial y residencial predominante, comprende el Centro Social de Suboficiales y Nivel Ejecutivo (CESNE) y el concesionario Volkswagen Av. Dorado Los Coches.	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

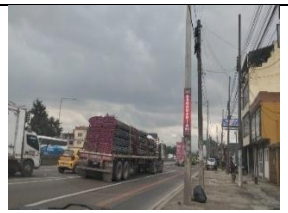
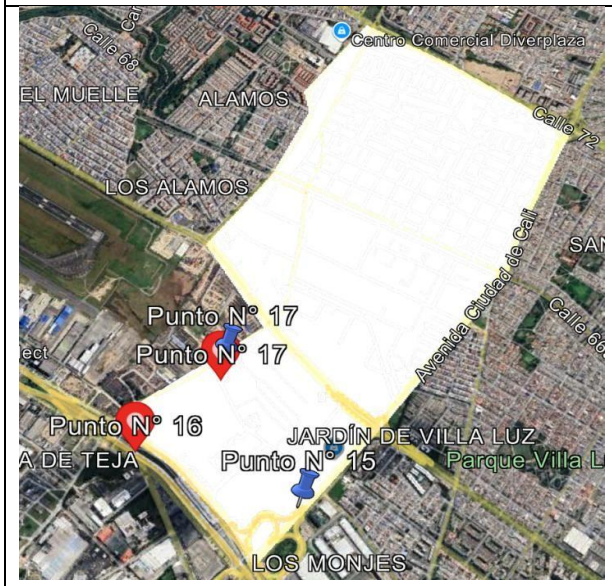
12	13	14
P_des6	**P_des7**	**P_c3**
598956.00 m E	598813.00 m E	598736.00 m E
516331.00 m N	516185.00 m N	516956.00 m N
x	x	x
Sobre el Parque Normandía junto al PAC Normandía próxima a la Avenida Boyacá sentido Norte - Sur	Sobre la Avenida Boyacá sentido Norte – Sur frente a edificaciones de orden comercial y residencial	Sobre la Calle 53 en sentido Occidente – Oriente al lado de un almacén Isimo
DESCARTADA	DESCARTADA	Se sitúa en zona publica con proximidad a un conjunto residencial, posee arboles cerca.
		

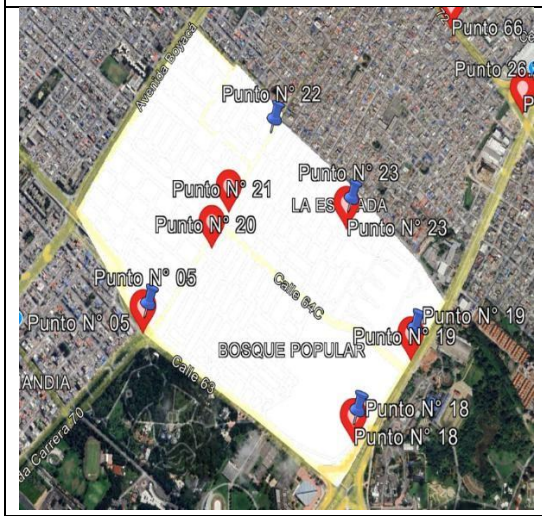
Tabla 4. Descripción del Polígono d y los puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="2">Polígono d</th><th colspan="4">ESTACIONES DE MONITOREO</th></tr>
<tr><td rowspan="6">
</td><td>Punto N°</td><td colspan="2">15</td><td>16</td><td>17</td></tr>
<tr><td>Nombre</td><td colspan="2">P_d1</td><td>P_des8</td><td>P_d2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordenadas</td><td colspan="2">597854.00 m E</td><td>597198.00 m E</td><td>597569.00 m E</td></tr>
<tr><td colspan="2">517472.00 m N</td><td>517853.00 m N</td><td>518138.00 m N</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tipo de estación</td><td>Fija</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Indicativa</td><td colspan="2">x</td><td>x</td><td>x</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td colspan="2">Sobre la Avenida Ciudad de Cali sentido Norte - Sur</td><td>Sobre la Avenida El Dorado en sentido Oriente – Occidente cerca del puente peatonal de la Transversal 93 que conecta con la estación de Transmilenio CC Nuestro Bogotá</td><td>Se ubica en el Parque de los Curis junto al Parque Empresarial El Dorado y el Simulador de Vuelo Avianca próximo a la Transversal 93 sentido Sur - Norte</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Área: 2,21 km² aprox

Limites: Al costado norte la Calle 72, al oriente la Avenida Ciudad de Cali, por el sur la Avenida El Dorado y por el occidente la Transversal 93 – Calle 93 – Carrera 96</td><td colspan="2" rowspan="2">Descripción del sitio</td><td colspan="2" rowspan="2">Se sitúa en zona verde de orden público, a su alrededor tiene edificaciones y varios árboles.</td><td rowspan="2">DESCARTADA</td><td rowspan="2">Situada en una zona verde amplia con presencia de algunos árboles de baja altura</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td>Descripción: Abarca zonas residenciales y comerciales, tales como el Centro Comercial Nuestro Bogotá, el Parque Empresarial Puerta del Sol, el Laboratorio Nacional de Aduanas DIAN y el centro médico Compensar Álamos</td><td colspan="2">Registro fotográfico</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 5. Descripción del Polígono e y los puntos de monitoreo.

Polígono e	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	5	18	19	20
	Nombre	**P_e1**	**P_e2**	**P_e3**	**P_des9**
	Coordenadas	599700.00 m E 516399.00 m N	600597.00 m E 516027.00 m N	600845.58 m E 516307.21 m N	599989.09 m E 516699.44 m N
	Tipo de estación – *Fija*			x	
	Tipo de estación – *Indicativa*	x	x		x
	Ubicación	Sobre la Calle 63 frente a la empresa de suministros industriales Cilindros Hidráulicos	Cerca de la Avenida 68 al interior del predio ocupado por el Instituto Técnico Industrial Francisco José de Caldas	Cerca de la Avenida 68 al interior del predio ocupado por el ICBF Instituto Colombiano de Bienestar Familiar	Sobre la Avenida Carrera 70 en sentido Norte – Sur junto a la salida de la Calle 64b
Área: 1,34 km² aprox	*Descripción del sitio*	Se localiza en un espacio público con presencia de unos cuantos arbustos	Se localiza en un amplio espacio verde de orden privado con una barrera espesa de árboles con vista hacia la calle.	Se localiza en espacio privado, en un amplio terreno sin edificaciones cercanas.	DESCARTADA
Limites: Al costado norte la Avenida Calle 66, al oriente la Avenida 68, por el sur la Calle 63 y por el occidente la Avenida Boyacá.					
Descripción: Comprende, en su mayoría, usos del suelo residencial, comercial e institucional, adicionalmente, se ubica el Colegio Cafam y el ICBF Instituto Colombiano de Bienestar Familiar	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

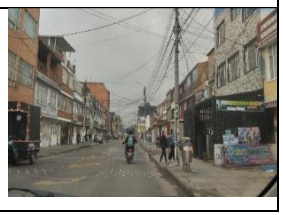
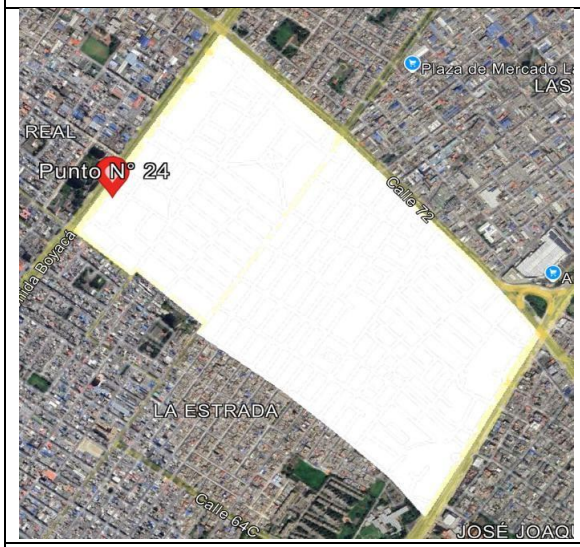
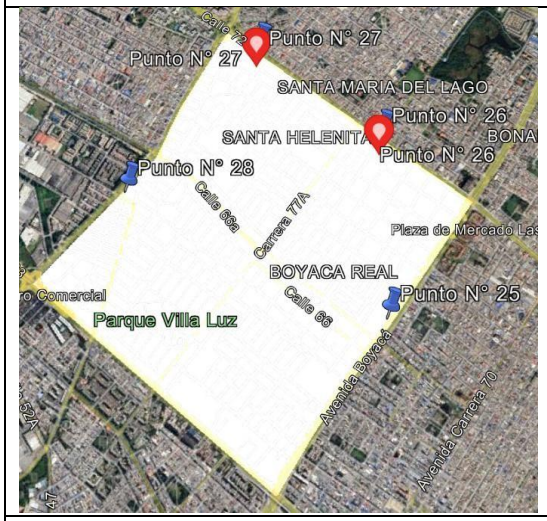
21	22	23
P_des10	**P_e4**	**P_e5**
600061.91 m E	600242.29 m E	600580.74 m E
516828.66 m N	517057.66 m N	516767.80 m N
x	x	x
Sobre la Avenida Carrera 70 en sentido Norte – Sur en una zona con predominio de uso comercial	Sobre la Avenida Carrera 70 en sentido Norte – Sur	Sobre la carrera 69 sentido Sur - Norte
DESCARTADA	Se localiza en zona comercial, no cuenta con presencia de árboles cerca.	Se localiza en zona residencial y comercial con cercanía de edificaciones de entre 2 y 3 niveles
		

Tabla 6. Descripción del Polígono f y los puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="2">Polígono f</th><th colspan="3">ESTACIÓN DE MONITOREO</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="5">
</td><td colspan="2">Punto N°</td><td>24</td></tr>
<tr><td colspan="2">Nombre</td><td>P_des11</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Coordenadas</td><td>600020.92 m E</td></tr>
<tr><td>517650.89 m N</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tipo de estación</td><td>Fija</td><td></td></tr>
<tr><td>Indicativa</td><td>x</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">Ubicación</td><td rowspan="3">Sobre la Avenida Boyacá sentido Sur – Norte en zona residencial</td></tr>
<tr><td colspan="2">Área: 1,13 km² aprox</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Descripción del sitio</td></tr>
<tr><td colspan="2">Limites: Al costado norte la Calle 72, al oriente la Avenida 68, por el sur la Avenida Calle 66 y por el occidente la Avenida Boyacá.</td><td>DESCARTADA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción: Presenta alto flujo vehicular, comprende zonas residenciales, comerciales e institucionales, como la escuela universitaria Campus UCompensar Av. 68.</td><td colspan="2">Registro fotográfico</td><td></td></tr>
</table>

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 7. Descripción del Polígono g y los puntos de monitoreo.

Polígono g	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	25	26	27	28
	Nombre	**P_g1**	**P_g2**	**P_g3**	**P_g4**
	Coordenadas	599931.18 m E 517576.82 m N	599928.34 m E 518485.43 m N	599388.97 m E 518914.03 m N	598654.74 m E 518230.04 m N
	Tipo de estación — *Fija*				x
	Tipo de estación — *Indicativa*	x	x	x	
	Ubicación	Sobre la Avenida Boyacá en sentido Norte – Sur en la zona verde de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales	Sobre la Calle 72 en sentido Occidente – Oriente	Sobre la Calle 72 en sentido Occidente – Oriente cerca del almacén D1 La Clarita	Sobre la Avenida Ciudad de Cali junto a la Estación de Servicio Petrobras
Área: 2,44 km² aprox	*Descripción del sitio*	Se localiza en predio privado rodeada de varios arboles	Se localiza en zona comercial sobre espacio publico	Se localiza en zona comercial sobre espacio público cerca de varias edificaciones	Se localiza en una zona amplia sin presencia de árboles o edificaciones
Limites: Al costado norte la Calle 72, al oriente la Avenida Boyacá, por el sur la Calle 63 y por el occidente la Avenida Ciudad de Cali.					
Descripción: Abarca zonas de uso comercial residencial e institucional, entre ellas la Alcaldía Local de Engativá y varios parques.	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 8. Descripción del Polígono h y los puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="2">Polígono h</th><th colspan="3">ESTACIONES DE MONITOREO</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">
</td><td colspan="2">Punto N°</td><td>29</td><td>30</td></tr>
<tr><td colspan="2">Nombre</td><td>P_h1</td><td>P_des12</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Coordenadas</td><td>597445.00 m E</td><td>598176.05 m E</td></tr>
<tr><td>520414.00 m N</td><td>519806.05 m N</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Tipo de estación</td><td>Fija</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Indicativa</td><td>x</td><td>x</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ubicación</td><td>Sobre la Calle 72 sentido Occidente – Oriente a un costado del Parque Plazuelas del Virrey</td><td>Sobre la Calle 72 sentido Occidente – Oriente cerca de establecimientos comerciales.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Área: 1,25 km² aprox</td><td rowspan="2">Descripción del sitio</td><td rowspan="2">Se localiza en espacio público, en zona verde sin presencia de edificaciones</td><td rowspan="2">DESCARTADA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Limites: Al costado norte la Calle 72, al oriente la Carrera 96, por el sur la Calle 63 y al occidente la Carrera 105 – Carrera 106a</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción: Comprende usos del suelo residencial y comercial, entre ellos el Centro Comercial Diverplaza</td><td>Registro fotográfico</td><td></td><td></td></tr>
</table>

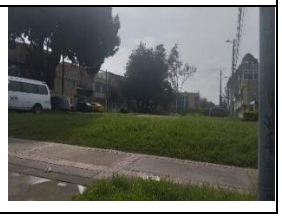
Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 9. Descripción del Polígono i y los puntos de monitoreo.

Polígono i	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	31	32	33	34
	Nombre	**P_i1**	**P_i2**	**P_des13**	**P_i3**
	Coordenadas	597228.00 m E 520272.00 m N	596697.14 m E 519313.13 m N	596044.00 m E 519818.00 m N	596315.00 m E 520241.00 m N
	Tipo de estación – *Fija*				
	Tipo de estación – *Indicativa*	x	x	x	x
	Ubicación	Sobre la Carrera 106a en sentido Norte – Sur	Sobre la Calle 63 en sentido Oriente – Occidente frente al Taller de reparación de automóviles Serviteca Carvautos	Sobre la Calle 63 sentido Oriente – Occidente en una sección del parque de Villa Gladys	Sobre la Carrera 111c sentido Norte – Sur en la acera de paso peatonal
Área: 1,40 km² apro	*Descripción del sitio*	Se localiza en zona con predominio residencial frente a almacenes de comercio local	Se sitúa en zona industrial, comercial y residencial, con presencia de edificaciones, alta frecuencia de vehículos de carga.	DESCARTADA	Se localiza en zona comercial – residencial en espacio público con presencia de edificaciones.
Limites: Al costado norte la Calle 72, por el oriente la Carrera 105 – Carrera 106a, al sur la Calle 63 y al occidente la Carrera 111c					
Descripción: Comprende zonas de uso comercial y residencial y principalmente industrial.	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 10. Descripción del Polígono j y los puntos de monitoreo.

35	36
P_des14	**P_des15**
596795.00 m E	596976.00 m E
520794.00 m N	520763.00 m N
x	x
Cerca a la Transversal 100g junto al Jardín Infantil Villa Amalia *Tipo de estación:* Indicativa	Sobre la Calle 72 en sentido Occidente – Oriente cerca a la Iglesia Capilla de La Virgen del Carmen
DESCARTADA	DESCARTADA
	

Polígono j	**ESTACIÓN DE MONITOREO**	
	*Punto N°*	37
	Nombre	**P_des16**
	Coordenadas	596630.00 m E 520723.00 m N
	Tipo de estación — *Fija*	
	Tipo de estación — *Indicativa*	x
	Ubicación	Entre la Carrera 111c y la calle 70g
Área: 2,03 km² aprox	*Descripción del sitio*	DESCARTADA
Limites: Al oriente la Calle 111c, al sur vía en construcción y al occidente no hay vía definida.		
Descripción: Comprende uso del suelo residencial, comercial e institucional, entre varios parques locales	*Registro fotográfico*	

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 11. Descripción del Polígono k y los puntos de monitoreo.

Polígono k	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	38	39	40	41
	Nombre	**P_k1**	**P_des17**	**P_des18**	**P_k2**
	Coordenadas	596630.00 m E 520723.00 m N	601419.85 m E 517216.49 m N	601090.00 m E 517466.00 m N	600883.77 m E 517680.55 m N
	Tipo de estación – *Fija*		x		
	Tipo de estación – *Indicativa*	x		x	x
	Ubicación	Sobre la Avenida 68 en sentido Norte – Sur frente al Alkosto Avenida 68	Sobre la Avenida 68 en sentido Norte – Sur frente en diagonal Alkosto Avenida 68 cerca del puente vehicular de la Calle 72	Sobre la calle 72 sentido Oriente – Occidente, frente a la estación de gasolina Petromil Primaveras y del almacén D1.	Sobre la Calle 72 sentido Oriente – Occidente junto al CAI Las Ferias
Área: 2,10 km² aprox	*Descripción del sitio*	Se localiza en espacio privado, en una zona verde con presencia de árboles.	DESCARTADA	DESCARTADA	Se sitúa en zona de gran comercio, presenta arboles alrededor y edificaciones
Limites: Al costado norte la Calle 86a, por el oriente la Avenida 68, al sur la Calle 72 y al occidente la Avenida Boyacá. Colinda con el Río Arzobispo.					
Descripción: Abarca gran zona residencial y comercial, allí atraviesa parte de la Calle 80 por donde se moviliza el sistema de transporte publico Transmilenio. Se encuentra el CC Titan Plaza, el Supermercado Éxito 80, Homecenter Calle 80 y el Alkosto Avenida 68.	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

42	43	44	45	46
P_des19	**P_k3**	**P_des20**	**P_k4**	**P_k5**
600804.00 m E	596630.00 m E	600256.00 m E	601753.00 m E	600865.00 m E
517864.00 m N	520723.00 m N	518673.00 m N	518228.00 m N	518883.00 m N
				x
x	x	x	x	
Sobre la Avenida carrera 70 frente al Parador Los Andes.	Entre la Carrera 111c y la calle 70g, al respaldo del Colegio Técnico República de Guatemala I.E.D.	Sobre la Calle 80 sentido Occidente – Oriente junto a la tienda de baterías para automóvil American Electric.	Sobre la Calle 80 sentido Occidente – Oriente cerca al puente peatonal de la Carrera 69b junto al Politécnico Internacional	Frente a la Avenida Boyacá junto a la Calle 78
DESCARTADA	Espacio amplio de zona verde entre suelo de uso residencial.	DESCARTADA	Se localiza en una zona comercial con presencia de edificaciones.	Zona bastante amplia y despejada, terreno desocupado
				

Tabla 12. Descripción del Polígono I y los puntos de monitoreo.

Polígono I	**ESTACIONES DE MONITOREO**		
	*Punto N°*	47	48
	Nombre	**P_des21**	**P_des22**
	Coordenadas	600804.00 m E	599907.63 m E
		517864.00 m N	519704.98 m N
	Tipo de estación — *Fija*		
	Tipo de estación — *Indicativa*	x	x
	Ubicación	Sobre la Calle 80 sentido Occidente – Oriente frente al almacén D1 frente a la estación de Transmilenio UNIMINUTO	Sobre la Calle 80 cerca de la estación de Transmilenio Av. Cali junto a la carrera 83.
Área: 1,54 km² aprox	*Descripción del sitio*	DESCARTADA	DESCARTADA
Limites: Al costado norte la Avenida Calle 80, por el oriente la Avenida Boyacá, al sur la Calle 72A y al occidente la Avenida Ciudad de Cali			
Descripción: Comprende suelo de uso comercial, residencial e institucional, abarca, también, el Humedal Santa María del Lago.	*Registro fotográfico*		

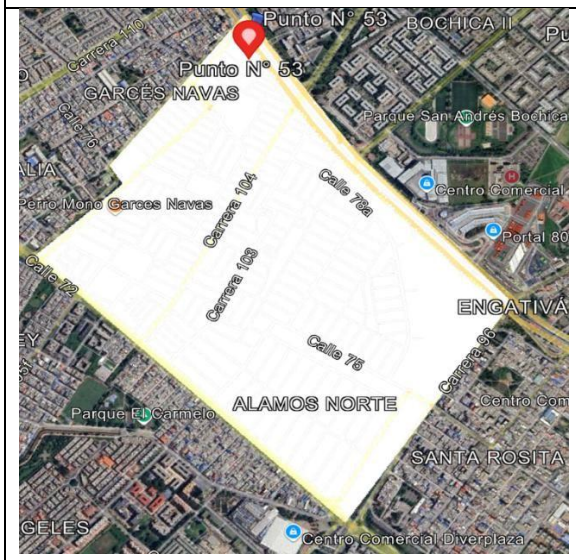
Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 13. Descripción del Polígono m y los puntos de monitoreo.

Polígono m	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	49	50	51	52
	Nombre	**P_m1**	**P_m2**	**P_m3**	**P_m4**
	Coordenadas	599588.00 m E 519911.00 m N	598762.00 m E 520316.00 m N	598475.00 m E 519635.00 m N	599277.00 m E 519364.00 m N
	Tipo de estación – *Fija*		x		
	Tipo de estación – *Indicativa*	x		x	x
	Ubicación	Sobre la Calle 80 al lado del taller de reparación de motos UMA megacentro de servicios Minuto de Dios cerca del puente vehicular de la Avenida Ciudad de Cali	Sobre la Calle 80 sentido Occidente – Oriente junto a la Carrera 96	Sobre la Calle 72 sentido Oriente – Occidente cerca del Colegio Elisa Borrero de Pastrana.	Cerca de la Avenida Ciudad de Cali junto a la gasolinera EDS HERGOS PETROBRAS y el OXXO HERGOS.
Área: 0,93 km² aprox	*Descripción del sitio*	Alto flujo vehicular localizado en zona residencial y comercial, proximidad de árboles y algunas edificaciones.	Se localiza en zona verde en espacio público lejos de viviendas residenciales	Zona verde o parque con barrera de árboles frente a la vía, localizada en uso de suelo residencial.	Espacio amplio en zona residencial y comercial
Limites: Al costado norte la Avenida Calle 80, por el oriente la Avenida Ciudad de Cali, al sur la Calle 72 y al occidente la Carrera 96.					
Descripción: Abarca zonas residenciales, comerciales e institucionales, entre ellos el Centro Empresarial Punto 72.	*Registro fotográfico*				

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 14. Descripción del Polígono n y los puntos de monitoreo.

<table>
<tr><th colspan="2">Polígono n</th><th colspan="3">ESTACIÓN DE MONITOREO</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">
</td><td>Punto N°</td><td colspan="2">53</td></tr>
<tr><td>Nombre</td><td colspan="2">P_n1</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Coordenadas</td><td colspan="2">597974.00 m E</td></tr>
<tr><td colspan="2">521207.00 m N</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td rowspan="2">Tipo de estación</td><td>Fija</td><td></td></tr>
<tr><td>Indicativa</td><td>x</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3"></td><td>Ubicación</td><td colspan="2">Sobre la Calle 80 sentido Occidente – Oriente junto a la Carrera 107</td></tr>
<tr><td colspan="2">Área: 1,04 km² aprox</td><td rowspan="2">Descripción del sitio</td><td colspan="2" rowspan="2">Se localiza en zona verde con presencia de árboles, alto flujo vehicular</td></tr>
<tr><td colspan="2">Limites: Al costado norte la Avenida Calle 80, por el oriente la Calle 96, al sur la Calle 72 y al occidente Transversal 106 – Transversal 107.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Descripción: Comprende gran parte de zona residencial y comercial con presencia de usos institucionales como el Centro Zonal Engativá ICBF.</td><td>Registro fotográfico</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 15. Descripción del Polígono o y los puntos de monitoreo.

Polígono o	**ESTACIONES DE MONITOREO**				
	*Punto N°*	54	55	56	57
	Nombre	**P_des23**	**P_des24**	**P_o1**	**P_o2**
	Coordenadas	597879.00 m E 521336.00 m N	597658.00 m E 521263.00 m N	597248.00 m E 520918.00 m N	597423.00 m E 521389.00 m N
	Tipo de estación – *Fija*				
	Tipo de estación – *Indicativa*	x	x	x	x
	Ubicación	Sobre la Avenida Calle 80 en sentido Occidente – Oriente en espacio privado	Sobre la Carrera 110 en sentido Sur - Norte	Junto a la Carrera 110 sentido Sur – Norte	Sobre la Calle 76 en el Parque Villas de Granada
Área: 2,51 km² aprox	*Descripción del sitio*	DESCARTADA	DESCARTADA	Se localiza sobre zona de uso residencial, principalmente, en espacio público.	Se localiza en zona residencial en espacio publico
Limites: Al costado norte la Avenida Calle 80, por el oriente la Transversal 106, al sur parte de la Calle 72 y al occidente no hay vía definida, limita con el Humedal Jaboque.					
Descripción: Comprende zonas de uso comercial, residencial e institucional	*Registro fotográfico*				

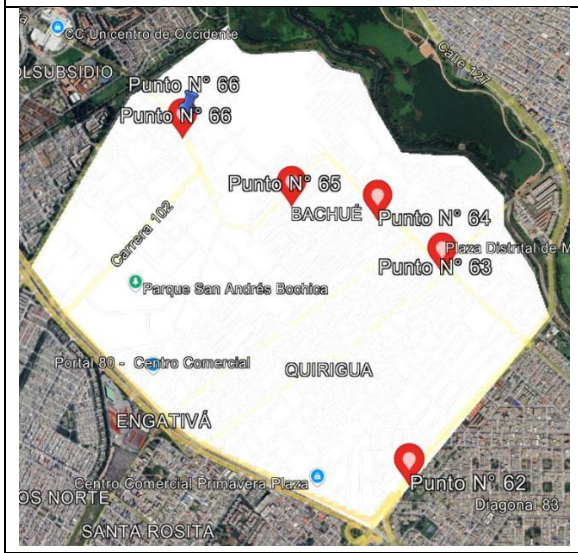
Nota, Elaborado por autores (2025)

Tabla 16. Descripción del Polígono p y los puntos de monitoreo.

	Polígono p	ESTACIONES DE MONITOREO		
58		*Punto N°*	59	60
P_des25		*Nombre*	**P_des26**	**P_p1**
597469.00 m E		*Coordenadas*	599907.63 m E	600426.82 m E
521885.00 m N			519704.98 m N	519444.39 m N
		Tipo de estación — *Fija*		
x		*Tipo de estación* — *Indicativa*	x	x
Sobre la Avenida Calle 80 en sentido Occidente – Oriente en espacio público con presencia de arboles		*Ubicación*	Sobre la Calle 80 en sentido Oriente – Occidente cerca a la estación de Transmilenio La Granja – Carrera 77	Sobre la Calle 80 en sentido Oriente – Occidente, se localiza en predio privado dentro del Colegio La Palestina
DESCARTADA	*Área:* 1,43 km² aprox	*Descripción del sitio*	DESCARTADA	Si sitúa en zona amplia con presencia de arboles y una reja como interferencia de la vía.
	Limites: Al costado norte la no se tiene vía definida, esta demarcado por la trayectoria del Río Arzobispo, por el oriente la Avenida Boyacá, al sur parte de la Calle 80 y al occidente la Avenida Ciudad de Cali.			
	*Descripción:* Predomina el uso de suelo residencial, institucional y comercial, comprende la Universidad UNIMINUTO y el Museo de Arte Contemporáneo de Bogotá - MAC	*Registro fotográfico*		

Nota, Elaborado por autores (2025)

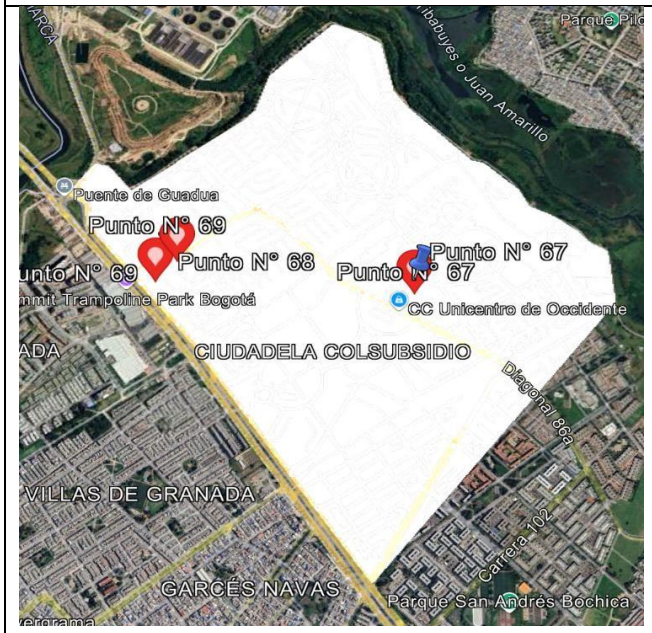
Tabla 17. Descripción del Polígono q y los puntos de monitoreo.

	Polígono q	ESTACIONES DE MONITOREO		
61		*Punto N°*	62	63
P_p2		*Nombre*	**P_des27**	**P_des28**
600041.00 m E		*Coordenadas*	599870.00 m E	600046.00 m E
520262.00 m N			520151.00 m N	521067.00 m N
x		*Tipo de estación* — *Fija*		
		Tipo de estación — *Indicativa*	x	x
Frente a la Avenida Ciudad de Cali		*Ubicación*	Sobre la Avenida Ciudad de cali en sentido Norte - Sur	Sobre la Calle 90 al lado de la Plaza de mercado El Quiriguá
Localizada en zona verde sin presencia de arboles o edificaciones cerca.	*Área:* 3,77 km² aprox *Limites:* Al costado norte la no se tiene vía definida, esta demarcado por la trayectoria del Río Arzobispo, por el oriente la Avenida Ciudad de Cali, al sur la Calle 80 y al occidente la Carrera 104	*Descripción del sitio*	DESCARTADA	DESCARTADA
	*Descripción:* Abarca usos del suelo residencial, comercial e institucional, entre ellos está el centro comercial y portal de Transmilenio Portal 80, el Hospital Engativá y el parque público San Andrés	*Registro fotográfico*		

Nota, Elaborado por autores (2025)

64	65	66
P_des29	**P_des30**	**P_q1**
599753.00 m E	599354.00 m E	598844.00 m E
521311.00 m N	521381.00 m N	521703.00 m N
x	x	x
Sobre la Calle 90 en zona residencial, presencia de varios árboles a los costados.	Sobre la Carrera 95g sentido Sur – Norte junto a edificaciones de orden residencial y comercial.	Junto a la Diagonal 86a frente al Colegio Rodolfo Llinás
DESCARTADA	DESCARTADA	Localizada en extensión amplia de espacio público sin presencia de edificaciones o árboles.
		

Tabla 18. Descripción del Polígono r y los puntos de monitoreo.

Polígono r	**ESTACIONES DE MONITOREO**			
	*Punto N°*	67	68	69
	Nombre	**P_r1**	**P_des31**	**P_r2**
	Coordenadas	598304.00 m E 522256.00 m N	599907.63 m E 522394.00 m N	597296.87 m E 522289.49 m N
	Tipo de estación — *Fija*			
	Tipo de estación — *Indicativa*	x	x	x
	Ubicación	Cerca a la Diagonal 86 bis frente a la segunda entrada/salida del CC Unicentro de Occidente	Junto a la Carrera 116b sentido Occidente - Oriente	Junto a la Carrera 116 b en el parque El Cortijo
Área: 2,43 km² aprox	*Descripción del sitio*	Se localiza sobre espacio público en zona con varios arboles	DESCARTADA	Se localiza sobre espacio público en zona con varios arboles
Limites Al costado norte la no se tiene vía definida, esta demarcado por la trayectoria del Río Arzobispo, por el oriente la Carrera 104, al sur la Calle 80 y al occidente la Carrera 118 bis.				
Descripción: Comprende, en su mayoría, usos del suelo residencial, comercial e institucional.	*Registro fotográfico*			

Nota, Elaborado por autores (2025)

La información mencionada anteriormente compila y sintetiza la ubicación de los 62 puntos de monitoreo preliminar registrados durante la toma de datos en campo (símbolos rojos). A partir del análisis técnico de microlocalización, se seleccionaron 39 puntos definitivos: una combinación entre estaciones en su ubicación original y nuevas ubicaciones incorporadas según criterios operativos y ambientales (símbolos azules); como resultado del proceso de depuración, fueron excluidos 31 puntos.

La distribución estratégica de los 39 puntos de monitoreo en la localidad de Engativá responde dinámicas urbanas diversas y en constante transformación, favoreciendo captar con mayor precisión las variaciones espaciales de los contaminantes atmosféricos. La implementación de nuevos puntos de monitoreo ubicados en lugares específicos permite consolidar una propuesta más robusta y elaborada de un SVCA comprendiendo más a fondo las condiciones socioespaciales del territorio, la cobertura actual presenta limitaciones, dos estaciones de monitoreo en un área aproximada de 35,88 km2 no son suficientes para capturar la variabilidad espacial de los contaminantes atmosféricos ni para representar adecuadamente la exposición de la población; esta baja densidad de estaciones impide identificar microzonas críticas.

En los 18 polígonos trazados predomina el uso residencial, comercial e institucional, la configuración territorial de la localidad de Engativá implica la presencia constante de personas de todas las edades (niños, adultos y adultos mayores) que desarrollan actividades cotidianas en entornos expuestos a emisiones contaminantes, las principales fuentes móviles se encuentran automóviles particulares, motocicletas, camionetas de escolares y sistemas de transporte público como TransMilenio y el SITP, los cuales generan contaminantes atmosféricos como material particulado (PM10 y PM2.5), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). La interacción entre esta carga vehicular y la concentración de población en zonas de alta actividad convierte estos polígonos en áreas prioritarias para la vigilancia ambiental.

En el análisis de la red propuesta se seleccionaron siete estaciones fijas que actúan como nodos centrales de la vigilancia ***(Figura 6)***, ubicadas a lo largo de vías cercanas, lo que permite cubrir tanto los corredores principales como los barrios adyacentes, cada una respaldada por un conjunto de estaciones indicativas que refuerzan la cobertura espacial y la resolución de los datos. De esta manera, la Estación Fija en el Punto 2, ubicada en el

sector suroriental de la localidad, junto a la Avenida Carrera 68, se complementa con cuatro estaciones indicativas (Puntos 1, 5, 6 y 18) en calles y carreras cercanas, como la Avenida calle 63 y Avenida calle 26, lo que ayuda a medir cómo cambian los niveles de contaminantes desde las troncales y autopista hacia los barrios residenciales contiguos, lo cual le confiere un área de influencia de aproximadamente 1 km de radio donde se dispone de mediciones con la suficiente información para caracterizar fluctuaciones locales de contaminantes.

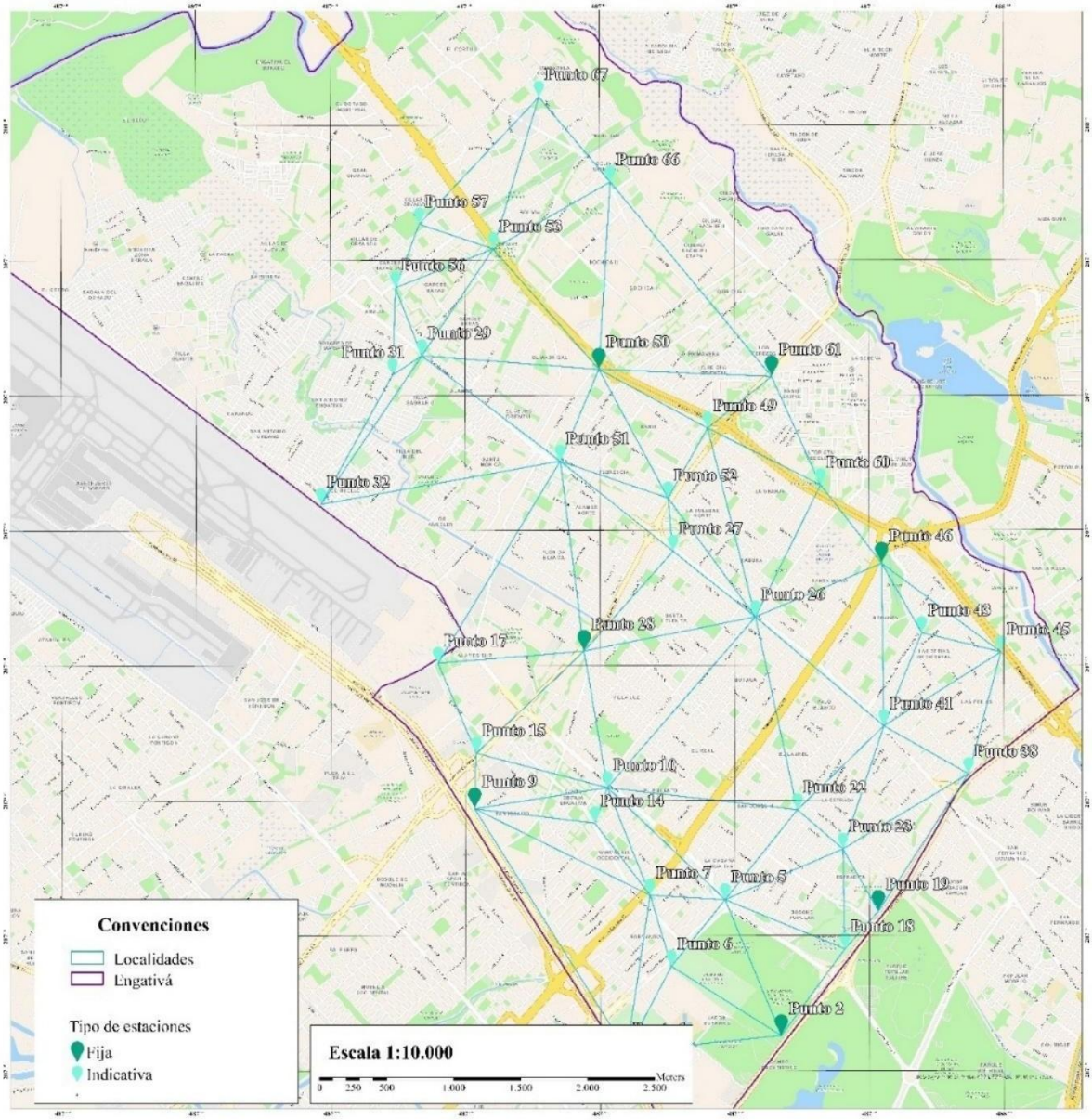
De manera similar, la Estación Fija en el Punto 9 se ubica cerca a la intersección entre la Avenida calle 26 y la Avenida Ciudad de Cali, y cuenta con cinco estaciones indicativas (Puntos 1, 7, 10, 14 y 15) distribuidas sobre vías como la Avenida Boyacá y la Avenida calle 63, reforzando la información en un área de intenso tráfico de rutas alimentadoras y en el caso de avenida calle 26 de tráfico de Transmilenio.

En el extremo suroccidental, la Estación Fija en el Punto 19 se complementa con tres estaciones indicativas (Puntos 18, 23 y 38), suficientes para medir contaminantes en un área de menor densidad poblacional, donde se ubican la sede Bosque Popular de la Universidad Libre, el parque Simón Bolívar y el parque Popular Salitre; hacia el corredor de la Avenida Ciudad de Cali, la Estación Fija en el Punto 28 dispone de seis estaciones complementarias (Puntos 10, 15, 17, 26, 27 y 51), generando una malla de muestreo relativamente uniforme que permite validar modelos de dispersión en un sector mixto (residencial, comercial e industria ligera).

Hacia el norte de la localidad, la estación fija en Punto 46, ubicada sobre la Avenida Boyacá cerca de su intersección con la Avenida Calle 72, cuenta con cinco estaciones indicativas complementarias (Puntos 4, 26, 41, 46 y 60) distribuidas en vías como la Avenida Calle 72 y la Autopista Medellín, lo que permite un monitoreo continuo tanto en la calzada principal como en vías secundarias cercanas. Por su parte, la estación fija en Punto 50 conforma la red más densa, con siete estaciones indicativas (Puntos 29, 49, 51, 52, 53 y 66) y un sensor adicional en el Punto 61, lo que favorece el análisis del impacto vehicular en un sector donde hay bastantes intercambios de fuentes móviles, ya sea para las afueras de la localidad o entre barrios. Finalmente, la Estación Fija en Punto 61 se apoya en cuatro estaciones indicativas (Puntos 49, 60 y 66) y un punto adicional en Punto 50 que sería una estación fija,

cerrando el diseño con un respaldo suficiente para contrastar datos entre ejes viales (Avenida Medellín y Avenida Ciudad de Cali).

Figura 6. Mapa triangulaciones de estaciones propuestas.



Nota, elaborado por autores (2025)

4.3. ELABORACIÓN ESTUDIO TÉCNICO

La diversa oferta de equipos de monitoreo favorece la selección de modelos para la aplicabilidad de casos particulares, en el mercado actual, las empresas han consolidado un amplio repertorio de tecnologías de medición de contaminantes atmosféricos idóneos para ser incorporados en redes de monitoreo más precisas y eficientes. Esto no solo permite adaptar las soluciones tecnológicas a distintos contextos urbanos, industriales o rurales, sino que también facilita la integración de estaciones con diferentes niveles de resolución, desde sensores indicativos de bajo costo hasta analizadores de referencia con alta precisión.

Tabla 19. Estudio técnico – Referencias de equipos de referencia o indicativos.

Equipo	**Modelo N° 01**		
	Nombre		Cairnet
	Empresa		Envea
	Tipo de estación	Fija	
		Indicativa	x
	Parámetros para medir	Contaminantes	CO, SO2, O3, NO2, PM10, PM2.5, H2S
		Meteorológicos	Temperatura, humedad, presión
	Tipo de tecnología	Indicativa	x Microsensores electroquímicos
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 02**		
	Nombre		Kunak Air Pro
	Empresa		Kunak
	Tipo de estación	Fija	
		Indicativa	x
	Parámetros para medir	Contaminantes	CO, SO2, O3, NO2, PM10, PM2.5, H2S, COVs, CH4
		Meteorológicos	Temperatura, humedad, presión, viento
	Tipo de tecnología	Indicativa	x Sensores inteligentes
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 03**		
	Nombre		Libelium
	Empresa		Libelium
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	CO, SO2, O3, NO2, PM10, PM2.5
		Meteorológicos	Temperatura, humedad, presión, viento, radiación solar, ruido

	Tipo de tecnología	Indicativa	x Sensores electroquímicos
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 04**		
	Nombre		EIC-28IAT
	Empresa		EIC Group
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	CO, SO2, O3, NO2, PM10, PM2.5, TVOC
		Meteorológicos	Temperatura, humedad
	Tipo de tecnología	Indicativa	x Electroquímicos
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 05**		
	Nombre		MP101M
	Empresa		ENVEA
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	PM10, PM2.5
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x Atenuación beta
Equipo	**Modelo N° 06**		
	Nombre		BAM 1020
	Empresa		Met One Instruments
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	PM10, PM2.5
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x Atenuación beta
Equipo	**Modelo N° 07**		
	Nombre		T640
	Empresa		Teledyne API
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	PM10, PM2.5, OM gruesas
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x
Equipo	**Modelo N° 08**		
	Nombre		EDM180
	Empresa		Grimm

	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	TSP, PM10, PM2.5
		Meteorológicos	Temperatura, humedad, viento, ruido
	Tipo de tecnología	Indicativa	x
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 09**		
	Nombre		Dust Sentry
	Empresa		Aeroqual
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	TSP, PM10, PM2.5
		Meteorológicos	Temperatura, humedad, viento, ruido
	Tipo de tecnología	Indicativa	x Nefelometría
		Referencia	
Equipo	**Modelo N° 10**		
	Nombre		AF22E
	Empresa		ENVEA
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	SO2
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x Fluorescencia UV
Equipo	**Modelo N° 11**		
	Nombre		Serinus 30
	Empresa		Acoem Ecotech
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	CO
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x Infrarrojo no dispersivo
Equipo	**Modelo N° 12**		
	Nombre		APNA-370
	Empresa		Horiba
	Tipo de estación	Fija	x
		Indicativa	
	Parámetros para medir	Contaminantes	NO, NO2, NOx
		Meteorológicos	
	Tipo de tecnología	Indicativa	
		Referencia	x Quimioluminiscencia

Nota, Elaborado por autores (2025)

Tal como se evidencia anteriormente, la existencia de equipos de monitoreo de tipo fijo o indicativo proporciona variedad de opciones que se ajustan a las necesidades de cada caso permitiendo adaptar y condicionar las redes de monitoreo según los parámetros a medir, el tipo de estación y tecnología, estos sistemas híbridos implementan tecnología automática y sensores electroquímicos en una misma zona de estudio. Las estaciones fijas, ubicadas sobre la Calle 68, la Avenida El Dorado, la Avenida Ciudad de Cali, la Avenida Boyacá y la Calle 80, al cumplir con los estándares normativos de instalación, calibración y trazabilidad exigidos por organismos como la EPA o la Unión Europea, son fundamentales para generar datos oficiales y comparables.

Por su parte, las estaciones indicativas, aunque no cumplen con todos los parámetros técnicos de instalación establecidos por la normatividad, ofrecen una funcionalidad complementaria clave: permiten monitorear zonas donde no es viable instalar estaciones de referencia, su bajo costo, portabilidad y capacidad de transmisión en tiempo real las convierten en herramientas valiosas para identificar microzonas críticas, validar modelos de dispersión, y orientar decisiones operativas o campañas de intervención, además de la capacidad de adaptación que poseen, dada su facilidad de instalación y transporte, se presentan casos específicos de modelos de estaciones indicativas capaces de ajustarse en los postes de luz junto a las vías, lo cual afirma que las estaciones indicativas no generan mayor inconveniente al momento de su instalación favoreciendo la eficiencia del sistema.

4.3.1. COSTOS SVCA

Finalmente, el resultado de la estimación de los costos unitarios de cada equipo de referencia o equipo indicativo se ven reflejados en la ***Tabla 20***, allí se aprecia el valor equivalente a la implementación de una sola estación de referencia y una sola estación indicativa en la red de monitoreo para el SVCA propuesto en la localidad de Engativá, la primera tiene un costo de **$1.145.940.000** y la segunda de **$91.500.000** (sin IVA), respectivamente.

En las cifras mencionadas anteriormente se consideran los precios del equipo de monitoreo, la cabina (estación de referencia), el soporte de instalación (estación indicativa), los calibradores (estación de referencia) y la estación meteorológica, así mismo, en lo que respecta a los insumos (Cintas de filtro, PMT, Desengrasantes y Limpiadores, Energía eléctrica, Filtros y accesorios, Herramienta menor, Bombas de bajo flujo, Gases Span, Rodamientos y Empaques, Repuestos de Sensores), junto con la dotación requerida y las condiciones de emplazamiento en la fase de operación y mantenimiento (Personal Directivo, Técnico, Operativo, Arriendo sitios del SVCA, Servicios Públicos, Servicios Generales, Adecuaciones sedes y Equipos de computo) se determina un aspecto relevante en el control y seguimiento de los contaminantes atmosféricos y su incidencia en la calidad del aire, una aproximación del presupuesto que debe de disponer las entidades gubernamentales responsables de articular la ejecución de este tipo de proyectos en la ciudad.

Tabla 20. Costos unitarios de una estación de referencia y una estación indicativa.

ITEM	*COSTOS UNITARIOS*			
	Estación de Referencia		**Estación Indicativa**	
Equipo de monitoreo	$ 680.000.000		$60.000.000	
Cabina/Shelter	$75.000.000		-	
Soporte de instalación	-		$8.000.000	
Calibradores – Aire cero y flujos	$7.000.000		-	
Estación meteorológica	$45.000.000		$7.000.000	
Inversión total	*$807.000.000*		*$75.000.000*	
Insumos	7%	$56.490.000	4%	$3.000.000
Operación	30%	$242.100.000	15%	$11.250.000
Mantenimiento	5%	$40.350.000	3%	$2.250.000
Total	**$1.145.940.000**		**$91.500.000**	

Nota, Elaborado por autores (2025)

No obstante, el producto final de la metodología llevada a cabo durante la realización de la investigación consiste en el planteamiento de un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire compuesto por 39 puntos de monitoreo a lo largo y ancho de la localidad de Engativá, 32 estaciones de orden indicativo y 7 estaciones de orden de referencia, por lo cual, se obtuvo el costo final de implementación de $**13.030.000.200.**

Tabla 21. Costos finales del SVCA.

ITEM	*COSTOS TOTALES*	
	Estaciones de Referencia **Cantidad: 7**	**Estaciones Indicativas** **Cantidad: 32**
Equipo de monitoreo	$ 4.760.000.000	$1.920.000.000
Cabina/Shelter	$525.000.000	-
Soporte de instalación	-	$256.000.000
Calibradores – Aire cero y flujos	49.000.000	-
Estación meteorológica	$315.000.000	$224.000.000
Inversión total	*$5.649.000.000*	*$2.400.000.000*
Insumos	$395.430.000	$96.000.000
Operación	$1.694.700.000	$360.000.000
Mantenimiento	$282.450.000	$72.000.000
Total	**$8.021.580.000**	**$2.928.000.000**
IVA	$1.524.100.200	$556.320.000
COSTO FINAL	$9.545.680.200	$3.484.320.000
	$13.030.000.200	

Nota, Elaborado por autores (2025)

El costo final calculado para el SVCA responde, como estrategia de inversión, a la necesidad urgente de mejorar la representatividad espacial del monitoreo en Engativá, una de las localidades con alto dinamismo urbano y posibles vulnerabilidades ambientales. El SVCA contribuirá no solo a fortalecer la gestión de la calidad del aire, sino también a informar políticas públicas basadas en evidencia real y promover la salud ambiental de los habitantes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación logró definir de forma detallada una red de estaciones, considerando criterios normativos y técnicos que garantizan la representatividad y confiabilidad de los datos, asimismo se identificaron y caracterizaron las principales vías arterias y troncales de Engativá, estableciendo su jerarquía y función dentro de la movilidad local y regional, lo que permitió priorizar corredores de alto flujo vehicular como la Avenida Boyacá, Calle 26, Avenida Medellín, entre otros.

En cuanto al segundo objetivo específico, se determinó la ubicación de las estaciones mediante un análisis de macro y microlocalización que tuvo en cuenta factores como uso del suelo, densidad poblacional expuesta, presencia de fuentes fijas y móviles y cumplimiento de distancias mínimas establecidas en la normativa nacional (MAVDT, 2010) e internacional (40 CFR Part 58).

Finalmente, para el tercer objetivo específico, se elaboró un estudio técnico que integra el diseño de estaciones fijas y estaciones indicativas, especificando su función dentro del sistema de vigilancia, los equipos recomendados, su ubicación estratégica y la justificación técnica basada en la caracterización territorial y vial, logrando así una propuesta con las necesidades de control y vigilancia de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en la localidad.

Como recomendación principal, se sugiere realizar un análisis estadístico y modelación matemática que permita proyectar el crecimiento del parque automotor y el surgimiento de nuevas urbanizaciones en la periferia conforme a la evolución esperada de las concentraciones de contaminantes en la localidad de Engativá, de forma que se anticipe la futura presión sobre la calidad del aire y establecer si las estaciones propuestas son suficientes para cubrir la red vial de la localidad. también se considera pertinente ampliar la articulación del proyecto con agencias y entidades gubernamentales responsables de la gestión ambiental, la salud pública y la movilidad urbana, para garantizar la continuidad de

la red de monitoreo, la actualización tecnológica de los equipos y la difusión de la información generada a la comunidad y actores locales.

Por otro lado, es de suma importancia la medición de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) como parámetro a medir en las estaciones indicativas, al ser más económicas y flexibles, permiten ampliar la cobertura espacial del monitoreo de COV, especialmente en áreas donde no se justifica una estación de referencia, algunos de esos contaminantes son tóxicos o cancerígenos, provocan graves irritaciones en ojos, nariz y garganta, desencadenan enfermedades crónicas o agudiza síntomas en poblaciones vulnerables, por ende, es crucial emplear equipos indicativos con dicha particularidad adicional.

Por último, se recomienda considerar futuras ampliaciones de la red, especialmente hacia sectores periféricos de la localidad que actualmente no presentan vías principales, con el fin de capturar de manera más completa la variabilidad espacial de la contaminación atmosférica y apoyar estrategias de prevención más focalizadas hacia la población

6. ANEXOS

Anexo 1 – “Certificado cumplimiento de horas”

Anexo 2 – “Marco teórico”

Anexo 3 – “Esquema de la metodología”

Anexo 4 – “Mapa tipo de vías localidad Engativá”

Anexo 5 – “Mapa de comparación de puntos iniciales con puntos finales”

Anexo 6 – “Mapa de división por polígonos”

Anexo 7 – “Mapa triangulaciones de estaciones propuestas”

Anexo 8 – “Catalogo de equipos de monitoreo”

Anexo 9 – “Diseño estación indicativa”

Anexo 10 – “Diseño estación de referencia”

7. REFERENCIAS

Environmental Protection Agency. (2023). Ambient air quality surveillance. 40 C.F.R. § 58 (2024). https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-58

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Bogotá, Colombia.

Observatorio de Salud de Bogotá. (2025). Población de Bogotá D.C. 2005 – 2035. Demografía y Salud. Bogotá, Colombia.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. (2023). Calidad del Aire: Una práctica de vida. CD001593.pdf

Secretaría de Salud. Subred Integrada de Servicios de Salud. (2020). Vigilancia en Salud Ambiental. Línea Aire, Ruido y Radiación electromagnética – Localidad Engativá boletin_9_engativa.pdf

Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB. (2024). Informe Mensual de Calidad del Aire de Bogotá. Informe Calidad del Aire Julio 2024 v2.pdf

Firma

Nombre: José Alejando Murad Pedraza

Correo institucional: jamuradp@udistrital.edu.co