



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad de Agropecuaria y de Recursos
Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 EN
EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS VÍAS PRINCIPALES
DE LA CIUDAD DE CATAMAYO**

Trabajo de Titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR:

Carmen Dalila Bernal Jumbo

DIRECTOR:

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS VÍAS PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE CATAMAYO**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de la autoría de la estudiante **Carmen Dalila Bernal Jumbo**, con **cédula de identidad Nro. 1105327942**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Loja, 09 de febrero de 2023



Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Carmen Dalila Bernal Jumbo**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105327942

Fecha: 22 de enero de 2024

Correo electrónico: carmen.bernal@unl.edu.ec

Teléfono: 0982478451

Carta de autorización del autor para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo

Yo, **Carmen Dalila Bernal Jumbo**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación: **MONITOREO DE MATERIAL PARTÍCULADO PM 2.5 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS VÍAS PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE CATAMAYO**, como requisito para optar al Grado de: **Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinte dos días del mes de enero del dos mil veinte y cuatro.



Autora: Carmen Dalila Bernal Jumbo
Cédula de identidad: 1105327942
Dirección: Loja, Barrio Ciudad Alegría
Correo electrónico: carmen.bernal@unl.edu.ec
Celular: 0982478451

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo.
Magister en Ciencias Ambientales

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres, Antonio Bernal y Margarita Jumbo, este trabajo tiene muchas anécdotas llenas de felicidad y a veces tristeza, es un trabajo realizado con mucho esfuerzo que he podido levantar con el apoyo y amor incondicional que siempre me brindaron. A mi hermana Emilia, por su cariño y por hacerme sentir que soy un ejemplo para ella en cuanto a perseverancia y nunca rendirse para alcanzar una meta. A mi familia, en especial a mi abuelita Maclovia Bernal, por tenerme siempre presente en sus oraciones. Y por último, pero no menos importante, a mis queridas amigas Evelyn Loaiza y Nataly Castro, quienes han estado presentes y me han brindado apoyo durante todo este tiempo de estudio.

Carmen Dalila Bernal Jumbo

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cumplir mi meta. Agradezco de manera especial a mis padres, a mis amigos por brindarme su incondicional apoyo y a mi familia por tenerme siempre presente en sus oraciones.

Así mismo quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Vinicio Alvarado Mg. Sc, director de tesis, aprecio enormemente su generosidad al compartir sus conocimientos, paciencia y el tiempo dedicado a mi proyecto. Además, agradezco su capacidad inspiradora para continuar investigando y su esencia como persona, caracterizada por su carisma, sinceridad y amabilidad. Gracias por ser un tutor excepcional.

Finalmente, extiendo mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, por permitirme formarme profesionalmente con el apoyo de docentes de calidad que día a día me brindaron sus conocimientos y valores motivándome a seguir con mis estudios. Agradezco al Ing. José Merino Técnico del CIT por colaborarme en la obtención de información del sistema geográfico para mi investigación.

Carmen Dalila Bernal Jumbo

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	7
4.1. Material particulado	7
4.1.1. Material Particulado 2.5.	7
4.1.2. Fuentes de contaminación	8
4.2. Emisiones provenientes del parque automotor.	10
4.3. Evolución de las autopistas	11
4.4. Segregación de la vía	11
4.4.1. Clasificación de las vías	12
4.5. Influencia de las autopistas en la calidad del aire.	12
4.6. Contaminación por fuentes de combustión móvil	13
4.7. Monitoreo de calidad de aire	14

4.8.	Método de monitoreo de concentración de material particulado.....	14
4.8.1.	Monitoreo Continuo de emisiones.....	14
4.9.	Sistemas Automáticos para determinar la concentración de MP.....	15
4.10.	Uso de sensor de bajo costo para la determinación de MP2.5.....	15
4.10.1.	Funcionamiento interno del Sensor GP2Y1010AU0F.....	16
4.11.	Placa Arduino.....	17
4.12.	Efectos de la concentración de material particulado en la salud humana.....	18
4.13.	Efectos de la concentración de material particulado en la calidad de aire.....	18
4.13.1.	Deterioro en la visibilidad	19
4.14.	Sistemas de Información Geográfica	19
4.15.	Quantum GIS	19
4.15.1.	Método de Kernel	19
4.16.	Normativa de referencia Internacional y Nacional de calidad del aire.....	20
5.	Metodología.....	22
5.1.	Área de estudio	22
5.1.1.	Mapas de ubicación de las vías principales del estudio de investigación. 25	
5.2.	Materiales y equipos	28
5.2.1.	Materiales de oficina y campo.....	28
5.2.2.	Equipos	28
5.3.	Determinación de la carga vehicular de las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	28
5.4.	Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	33
5.4.1.	Selección de puntos de monitoreo en el área de los tramos de estudio.	33
5.4.2.	Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	33
5.4.3.	Análisis espacial de distribución de las concentraciones en las vías principales de la ciudad de Catamayo.	35
6.	Resultados	38

6.1. Determinación de la carga vehicular de las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	38
6.2. Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	42
6.2.1. Parámetros meteorológicos.....	42
6.2.2. Caracterización de fuentes contaminantes.....	44
6.2.3. Gráficas y análisis de las concentraciones obtenidas del monitoreo de PM2,5 en las vías principales de la Ciudad de Catamayo.....	47
6.3. Análisis espacial de distribución de las concentraciones en las vías principales de la ciudad de Catamayo.....	53
7. Discusión	58
8. Conclusión.....	63
9. Recomendaciones	64
10. Referencias.....	65
11. Anexos	69

Índice de tablas

Tabla 1. Normas de Calidad del Aire.	20
Tabla 2. Normas de Calidad del Aire del TULSMA	21
Tabla 3 Coordenadas geográficas UTM de los seis puntos del área de estudio.	29
Tabla 4. Nomenclatura de códigos.	30
Tabla 5. Formato de planilla para conteo vehicular.	32
Tabla 6 Vías principales y sus conectores	38
Tabla 7. Inventario de fuentes contaminantes en los sectores de estudio.....	44

Índice de figuras

Figura 1. Comparación del diámetro areodinámico de partícula. EPA(2021)	7
Figura 2. Sensor GP2Y1010AU0F. Fuente: (Postel, 2023)	16
Figura 3. Parte interna del sensor GP2Y1010AU0F. Fuente: (Postel, 2023).....	17
Figura 4. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno.	17
Figura 5. Ubicación del cantón Catamayo, provincia Loja	23
Figura 6. Ubicación de los tres puntos monitoreados en el área de estudio.....	24
Figura 7. Primer vía. Ingreso a la ciudad de Catamayo desde la ciudad de Loja.....	25
Figura 8. Segunda vía. Interviene el sector urbano por la vía en dirección a la costa... 26	
Figura 9. Tercer vía. Ubicada en el sector lateral de la ciudad, se involucra con la vía a Loja y la vía a Gonzanamá	27
Figura 10. Conteo vehicular	31
Figura 12. Anemómetro para medir la velocidad del viento.	33
Figura 11. Obtención de datos meteorológicos, app Clima.....	33
Figura 13. Parte interna del dispositivo medidor de partículas; Dispositivo en funcionamiento. Sensor GP2Y1010AU0F	35
Figura 14. Flujo vehicular por cada punto de observación de acuerdo al tipo de vehiculo	40
Figura 15. Flujo vehicular en cada punto de observación de acuerdo al tipo de combustible.....	41
Figura 16. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, primer registro.....	42
Figura 17. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, segundo registro	42
Figura 18. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, tercer registro.	43
Figura 19. Variación de concentraciones de PM _{2,5} por horas, de los sectores de estudio.	48
Figura 20. Diagrama de cajas de las variación de concentración de PM _{2,5} de los puntos de medición de los tres sectores de estudio.	50
Figura 21. Concentración de PM _{2,5} por días de monitoreo, de los tres sectores de estudio	52
Figura 22. Primer monitoreo de PM _{2,5} en los tres sectores de estudio.	55
Figura 23. Segundo monitoreo de PM _{2,5} en los tres sectores de estudio.	56
Figura 24. Tercer monitoreo de PM _{2,5} en los tres sectores de estudio.....	57

Índice de anexos

Anexo 1. Identificación de los puntos para conteo de vehiculos	69
Anexo 2. Conteo manual de vehículos y uso de dispositivo electrónico	69
Anexo 3. Registro de datos obtenidos del conteo vehicular en Excel.....	70
Anexo 4. Datos de flujo vehicular por tipo de combustible en RStudio.....	70
Anexo 5. Datos de flujo vehicular diario por tipo de combustible en RStudio.....	70
Anexo 6. Colocación del sensor Arduino en los sitios de estudio	70
Anexo 7. Registro de datos de las concentraciones de PM2.5 tomados por el sensor Arduino.....	70
Anexo 8. Certificación de traducción del resumen (Abstract).....	70

1. Título

“MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS VÍAS PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE CATAMAYO”

2. Resumen

La emisión de material particulado 2.5 (PM2.5) en Catamayo se presenta como un problema significativo, relacionado con actividades como vías sin pavimentar, acumulación de basura, construcciones abandonadas y áreas desprovistas de vegetación. Esta investigación se enfocó en determinar la carga vehicular, monitorear las concentraciones de material particulado 2.5 y analizar la distribución espacial en las vías principales de la ciudad de Catamayo. Las vías principales incluyeron, la Troncal de la Sierra - carretera Panamericana Sur Ecuador, tomadas como puntos de referencia en la ruta desde la ciudad de Loja hacia Catamayo; Avenida Isidro Ayora, como puntos de referencia en la ruta desde el parque del centro de Catamayo hacia el redondel de la Gasolinera Gasosilva vía a la Costa; Avenida Eliseo Arias Carrión Ecuador, como punto de referencia en la ruta lateral desde el redondel de ingreso a Catamayo hacia Gonzanamá. Se seleccionaron seis puntos a lo largo de las tres vías principales para el conteo vehicular registrando un promedio de 5355 vehículos diarios en el sector lateral. El monitoreo del PM2.5 se llevó a cabo mediante el método automático utilizando un sensor Arduino de manera continua en un punto por cada vía principal. Durante un mes, se realizaron repeticiones alternadas de monitoreo para cada punto, cada monitoreo se realizó durante 24 horas, junto con la recopilación de datos de velocidad de viento y temperatura. En general, se identificó que en la Avenida Eliseo Arias Carrión, específicamente en la ruta lateral, se registra concentraciones más elevadas de partículas, alcanzando valores de $87,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando los límites ambientales. La distribución espacial, analizada mediante interpolación kernel, determinó una mayor densidad de partículas en el sector lateral, con un promedio de $23,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y radio de 425 m.

Palabras Claves: monitoreo, material particulado PM2.5, carga vehicular, vías principales, distribución espacial.

2.1. Abstract

The emission of particulate matter 2.5 (PM2.5) in Catamayo is a significant problem, related to activities such as unpaved roads, accumulation of garbage, abandoned buildings and areas devoid of vegetation. This research focused on determining the vehicular load, monitoring the concentrations of particulate matter 2.5 and analyzing the spatial distribution in the main roads of the city of Catamayo. The main roads included the Troncal de la Sierra - Panamericana Sur Ecuador highway, taken as reference points on the route from the city of Loja to Catamayo; Avenida Isidro Ayora, as reference points on the route from the park in downtown Catamayo to the Gasolinera GasoSilva traffic circle on the way to the coast; Avenida Eliseo Arias Carrión Ecuador, as reference points on the lateral route from the traffic circle at the entrance to Catamayo to Gonzanamá. Six points were selected along the three main roads for the vehicle count, registering an average of 5355 vehicles per day in the lateral sector. PM2.5 monitoring was conducted by the automatic method using an Arduino sensor continuously at one point per main road. During one month, alternating monitoring repetitions were performed for each point, each monitoring was performed for 24 hours, along with wind speed and temperature data collection. In general, it was identified that Eliseo Arias Carrión Avenue, specifically on the lateral route, recorded higher concentrations of particulate matter, reaching values of 87.5 ug/ and 62 ug/, exceeding the environmental limits. The spatial distribution, analyzed by kernel interpolation, determined a higher particle density in the lateral sector, with an average of 23.04 ug/ and radius of 425 m.

Key words: monitoring, PM2.5 particulate matter, vehicular load, main roads, spatial distribution.

3. Introducción

Uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial es la contaminación del aire producto del crecimiento económico y la urbanización asociados al desarrollo de actividades como la industria, agroindustria, incremento de unidades automotoras y rápido crecimiento de la población convirtiéndose esto en un problema que no distingue sociedades que va de la mano con el desarrollo socioeconómico de los países, y además tiene una gran incidencia sobre la salud del hombre.

En América Latina y El Caribe existen grandes ejemplos relacionados con la contaminación del aire producto de procesamiento de materia prima, además se suma a esto la contaminación producida por el parque automotor en las ciudades demostrando una amplia variedad de sustancias contaminantes suspendidas en el aire como partículas (Simioni, 2003).

La contaminación atmosférica provoca anualmente 4,2 millones de defunciones prematuras en ciudades y zonas rurales. La gran mayoría de estas muertes (91%), ocurren en países con los menores ingresos en su región, es el caso de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Uno de los grandes contaminantes atmosféricos son las partículas, se debe a que las partículas al encontrarse en estado sólidas y líquidas resultan ser muy pequeñas y tienden a acumularse y formarse en la atmósfera, producto de actividades naturales y antrópicas, además de llegar a penetrar en el tracto respiratorio de las personas causando daños irreversibles a corto y largo plazo ya que la presencia de partículas se encuentra asociado a compuestos con repercusiones genotóxicas, mutagénicas y carcinogénicas (Gutierrez, Quijano, & Quijano, 2012), dando a conocer la composición química de la atmósfera desde el punto de vista de la química, además de las varias formas que este presenta, siendo así se llega a conocer la calidad del aire que se respira en las ciudades (Arciniégas, 2012).

Las fuentes lineales a nivel del todo el mundo las principales vías son áreas prioritarias, en los planes de gestión de calidad del aire las vías más transitadas son puntos importantes de emisiones. En países como China, el rápido crecimiento económico y la urbanización han llevado a niveles extremadamente altos de contaminación del aire en las ciudades, incluyendo la contaminación del aire en las carreteras.

La gestión de la calidad del aire es una de las temáticas menos investigada dentro de la gestión pública en el Ecuador (Páez, 2012), sin embargo existe información objetiva referente a la magnitud del problema, existen indicios de que las ciudades grandes y medianas están expuestas a la contaminación del aire, vista casi como un impacto indeseable e inevitable del progreso.

En ciudades grandes como Quito, diversas investigaciones, como la de (Díaz & Páez, 2006), señalan la gravedad del problema de contaminación del aire. La topografía y la altitud de la ciudad limitan la combustión de los hidrocarburos, lo que impone mayores esfuerzos a los vehículos y resulta en emisiones elevadas de azufre y material particulado, especialmente en el caso del tráfico vehicular de vehículos a diésel.

Por otra parte, en ciudades de tamaño mediano como Loja, se han realizado investigaciones sobre la calidad de aire, como la llevada a cabo por (Herrera, 2019). Esta investigación destaca que la ciudad ha experimentado un rápido crecimiento poblacional y cambios debido a procesos de regeneración urbana. Estos factores han tenido un impacto significativo en el entorno, con un aumento notable del parque automotor y una concentración de actividades en el centro urbano que genera una considerable cantidad de contaminantes atmosféricos.

A pesar de ello, en Ecuador no existen estudios en ciudades pequeñas, como es el caso de la ciudad de Catamayo, cantón Catamayo, a pesar que son importantes vías de comunicación y trasportación que conectan diferentes sectores de la provincia. Esta carencia de investigaciones es relevante en términos de calidad del aire, ya que estas vías arteriales contribuyen al aumento de tráfico vehicular y a la concentración de contaminantes en el aire, lo que puede tener consecuencias negativas en la salud de la población. Además, al ser Catamayo una ciudad con vías conectoras, fomenta la comercialización de productos locales, como el azúcar elaborado de caña, este producto tiene alta demanda, convirtiéndose en un desafío. Aunque estas plantaciones y plantas procesadoras se ubiquen en la periferia de la ciudad, la velocidad y dirección del viento provocan la dispersión del material particulado por toda la ciudad (Paz, Pardo, & Guaman, 2012). Los indicadores de calidad del aire en el cantón Catamayo son insuficientes, ya que aún no se ha implementado un sistema de monitoreo de las diversas emisiones, como las partículas en suspensión (MP) (Programa de las Naciones Unidas

para el Medio Ambiente, Municipalidad de Loja, & Naturaleza y Cultura Internacional, 2007).

En la presente investigación, profundizando en la importancia de llevar a cabo estudios de calidad de aire, se presenta una metodología para monitorear material particulado utilizando un sensor Arduino. Este dispositivo, que es económico y de fácil manejo, puede programarse para diversos parámetros, incluido el material particulado 2.5. Los objetivos planteados en esta investigación son los siguientes:

Objetivo general

- Monitorear material particulado PM 2.5 en el área de influencia de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

Objetivos específicos

- Determinar la carga vehicular presente en las vías principales de la ciudad de Catamayo.
- Monitorear material particulado PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.
- Analizar de manera espacial la distribución de las concentraciones en las vías principales de la ciudad de Catamayo.

4. Marco Teórico

4.1. Material particulado

El material particulado se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera, es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados, que posee un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (Suárez & César, 2012). Este contaminante ocasiona impactos a la vegetación, materiales y el hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz (Chen, Ying, & Kleeman, 2009). Para conocer la calidad del aire que se respira, depende de conocer la composición química del material particulado (Quijano, Quijano, & Henao, 2010).

4.1.1. Material Particulado 2.5.

Las partículas PM_{2.5} son finas y se pueden inhalar, con diámetros generalmente de 2.5 micrómetros o menos. Para entender su tamaño, se puede tomar como referencia el cabello humano, que tiene un diámetro promedio de aproximadamente 70 micrómetros. Esto significa que el cabello humano es 30 veces más grande que la partícula más grande en la categoría de partículas finas (EPA, 2021). Además, las partículas PM_{2.5} pueden consistir en una mezcla de diversas sustancias, como compuestos químicos orgánicos, polvo, hollín y metales. Estas partículas pueden tener su origen en varias fuentes, como emisiones de vehículos, camiones, actividades industriales, la quema de madera y otras actividades humanas.



Comparación de tamaño de las partículas de PM

Figura 1. Comparación del diámetro aerodinámico de partícula. EPA(2021)

4.1.2. Fuentes de contaminación

Las fuentes contaminantes del aire se refieren a los diferentes elementos, actividades o procesos que emiten sustancias o partículas nocivas al ambiente, contribuyendo a la contaminación del aire. Estas fuentes pueden ser de origen natural o humano. Algunos ejemplos comunes de fuentes contaminantes del aire incluyen (Naturales, 2018):

- **Emisiones de vehículos:** Los automóviles, camiones y motocicletas liberan contaminantes atmosféricos como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos y partículas en suspensión. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), los transportes por carretera son responsables de aproximadamente el 17% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂), un importante gas de efecto invernadero.
- **Industrias y procesos de fabricación:** Las actividades industriales, como plantas de energía, fábricas, refinerías y plantas químicas, pueden emitir gases y partículas contaminantes en grandes cantidades. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que alrededor del 14% de las emisiones totales de partículas contaminantes en el aire provienen de la industria y los procesos de fabricación
- **Quema de combustibles fósiles:** La quema de carbón, petróleo y gas natural para la generación de energía y calefacción contribuye a la liberación de contaminantes como dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Según el informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de la quema de combustibles fósiles alcanzaron aproximadamente 33.1 gigatoneladas en 2019, contribuyendo significativamente al cambio climático y la contaminación del aire.
- **Quema de biomasa:** La quema de leña, biomasa agrícola y residuos sólidos a cielo abierto produce emisiones de gases y partículas que contaminan el aire. Según la OMS, cerca de 3 mil millones de personas en el mundo dependen de la quema de biomasa (como leña y estiércol) para cocinar y calentarse, lo cual produce altas concentraciones de partículas

contaminantes en el aire en los hogares y tiene un impacto negativo en la salud respiratoria.

- **Actividades agrícolas:** El uso de fertilizantes, pesticidas y prácticas agrícolas intensivas puede resultar en emisiones de amoníaco (NH₃) y gases de efecto invernadero. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que la agricultura es responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, incluyendo metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales contribuyen a la contaminación del aire.
- **Actividades domésticas:** El uso de estufas de leña, calefacción a base de combustibles fósiles y productos químicos domésticos puede liberar contaminantes en el aire de los hogares. Según la OMS, la quema de combustibles sólidos en los hogares, como la leña y el carbón, es una fuente importante de contaminación del aire en áreas rurales y urbanas en países en desarrollo, afectando la salud de millones de personas.
- **Incendios forestales:** Los incendios forestales generan grandes cantidades de humo y partículas finas, contribuyendo a la contaminación atmosférica. Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), en 2020 se registraron incendios forestales a gran escala en diversas regiones del mundo, emitiendo enormes cantidades de contaminantes atmosféricos y agravando la calidad del aire en esas áreas.
- **Contaminantes naturales:** Algunas fuentes contaminantes del aire son de origen natural, como las emisiones de gases volcánicos, el polen y el polvo mineral.

Las fuentes de contaminación se agrupan en:

- **Fuentes puntuales:** se caracterizan por ser estacionarias o estar en un punto fijo como las plantas de energía, refinerías de petróleo, fábricas.
- **Fuentes móviles:** abarcan todas las formas de transporte y los vehículos automotores.

- **Fuentes de área:** son aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire, como el uso de madera, imprentas, tintorerías o actividades agrícolas.
- **Fuentes naturales o biogénicas:** son resultado de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones producidas por los volcanes, océanos y la erosión del suelo.

Referente al origen del contaminante, se identifica dos tipos (Maldonado, 2012):

- **Contaminantes primarios:** Son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes, como resultado de procesos físicos o químicos propios de la fuente emisora por ejemplo, el humo oscuro que se observa en los escapes de coches y camiones, el polvo de las calles.
- **Contaminantes secundarios:** Son aquellas que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores.

4.2. Emisiones provenientes del parque automotor.

Las emisiones provenientes del parque automotor y sus contaminantes son originadas por varios procesos del vehículo. Uno de los procesos comúnmente más considerado, son las emisiones del escape, que resultan del proceso de combustión del combustible y son liberados por el escape (Calla & Luján, 2017). Los otros procesos, según Radian International (1997), se los encuentra detallados a continuación:

- **Emisiones evaporativas del motor caliente:** se generan por causa de la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después que el motor es apagado, el calor residual proveniente del motor volatiliza el combustible.
- **Emisiones evaporativas de operación:** son ocasionadas por las fugas de combustible que se presentan mientras el motor está funcionando.
- **Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible:** son emisiones generadas por el desplazamiento del combustible del tanque al momento de la recarga, esto ocurre en las gasolineras principalmente (se puede considerar como fuente de área).
- **Emisiones diurnas:** son emisiones provenientes del tanque de combustible debido a una mayor temperatura del combustible y por su presión del vapor. Este

incremento se debe a la temperatura ambiente por el sistema de escape del vehículo o por el calor reflejado en la superficie del camino.

- **Emisiones evaporativas en reposo:** se diferencia de las anteriores, ya que ocurren cuando el motor está apagado, estas pérdidas se deben a fugas de combustible y de la permeabilización del vapor a través del proceso de alimentación de combustible.

4.3. Evolución de las autopistas

La construcción de autopistas se origina por urbanistas quienes han propuesto y construido cinturones desde que comenzó el urbanismo. Es así que, las construcciones que se levantaron fueron sustituidas por vías de circunvalación naturalmente asimétricas y diferenciadoras de la ciudad y la no-ciudad en zonas rurales, estas vías son denominadas como ronda la misma que recibe caminos de acceso a la ciudad y los penetra en la red de calles conformando la transición entre dos órdenes espaciales, entre dos densidades, entre dos configuraciones parcelarias y entre diferentes categorías de uso (Tordesillas & Ant, 2008).

A nivel mundial se construyó la primera autopista en 1921 en Italia la misma que unía las ciudades de Milán y Varese, se podría considerar como la vía más rápida del mundo, la vía Apia, que fue la calzada más importante del imperio Romano con una longitud de 540 km y unía Roma con Brindisi al sur de la península Itálica. Ello ha permitido mejorar las comunicaciones facilitando el tráfico de personas mercancías por el continente y constituyendo uno de los pilares económico-sociales de la actual Unión Europea (Hinojosa, 2014).

4.4. Segregación de la vía

En la búsqueda de las circunstancias que promovieron la segregación de las vías, durante los primeros veinte años del siglo XX abundaron los congresos de carreteras por toda Europa. La fascinación por el automóvil hizo que el concepto de “ring urbano” se uniera al concepto de autopista. Frederick Law a mediados de 1850 en su plan de vías rodadas lanzó la idea de las vías parc, eran viales que atravesaban un parque, esta idea evolucionó haciendo enlazar otros parques o barrios residenciales con parques, posteriormente junto a Robert Moses lograron que la vía parc se convirtiera en una carretera para viajes de ida y vuelta a la ciudad de larga distancia, en los años 30 siguió

el mismo concepto en otras partes siendo los primeros tramos de carretera que se puede llamar con propiedad, autopista (Tordesillas & Ant, 2008).

4.4.1. Clasificación de las vías

De acuerdo (ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR, 2017) capítulo II de la Ley de transporte las vías se encuentran clasificadas en: vías terrestres, red vial nacional, red vial estatal, red vial regional, red vial provincial, red vial cantonal urbana, de las cuales se describe la de mayor interés de la presente investigación:

4.4.1.1. Red vial estatal

Se considera como red vial estatal, cuya competencia está a cargo del gobierno central, al conjunto de vías conformadas por las troncales nacionales que a su vez están integradas por todas las vías declaradas por el ministerio rector como corredores arteriales o como vías colectoras. Son corredores arteriales aquellas vías de integración nacional, que entrelazan capitales de provincias, puertos marítimos, aeropuertos, pasos de frontera y centros de carácter estratégico para el desarrollo económico y social del país.

4.4.1.2. Vías de interconexión estatal en el cantón Catamayo.

Según (Reyes et al., 2019) las vías estatales que atraviesan el área cantonal de Catamayo son, la primera es una vía primaria que pasa por varias provincias andinas entre ellas la provincia de Loja y se la denomina Troncal de la Sierra (E35); como segunda vía estatal, se tiene la vía secundaria o colectoras “Y” de Pasaje – Piñas - “Y” de Saracay (E585); la tercera vía estatal que menciona es la vía colectoras o secundaria Catamayo-Macará (E69), la característica principal de esta vía es que nace en la parroquia Catamayo combinando la ruta de la Troncal de la Sierra y la Transversal Austral.

4.5. Influencia de las autopistas en la calidad del aire.

La autopista no se cruza con otro tipo de vías ni tampoco atraviesan núcleos urbanos, en todo caso los rodean a modo de circunvalación (Renting Finders, 2023). El contar con autopistas significa mantener una mejor organización del tránsito vehicular, sin embargo esto influye en la calidad del aire, la construcción, operación y mantenimiento de autopistas requiere hacer uso de los recursos naturales generando impacto al ambiente.

Debido al crecimiento de la población, las necesidades, beneficios económicos-sociales, facilidad para conectarse con otras ciudades, crecimiento y desarrollo del país, ha hecho que a nivel mundial se incremente considerablemente la demanda de vehículos en conjunto con la infraestructura de carreteras, lo que ha provocado contaminación del aire, carreteras congestionadas, mayor tiempo en las vías, mayor costo de transporte, mayor demanda de combustibles, aumento de niveles de ruido, convirtiéndose en una molestia para las personas especialmente para los grupos vulnerables y para el ambiente.

La calidad de aire se ve influenciada por la acción de los vehículos en las autopistas, el incremento del tránsito de vehículos tanto livianos como pesados con los diferentes tipos de combustible que circulan por las carreteras, la acción de los vehículos en ponerse en marcha, al aplicar velocidad al momento de circular, acción de freno (desgaste), realizar paradas en diferentes tiempos, cargar gasolina, emisiones tóxicas de los motores, generación de residuos, todas estas acciones generan material particulado interfiriendo en la calidad del aire de manera que este impacta a la capa de ozono y puede llevar a cambios climáticos, alteraciones en el ciclo de vida, sequías e inundaciones. Consecuentemente lo más peligroso es que las partículas pueden ser inversamente proporcional a su tamaño, debido a que las partículas más pequeñas penetran con facilidad al organismo, afectando la salud de las personas (Muñoz Pérez et al., 2021).

4.6. Contaminación por fuentes de combustión móvil

Según (Represa, 2011) las fuentes de combustión móviles corresponden a vehículos terrestres aunque en algunos casos se puede incluir el transporte fluvial, marino y área. Las emisiones se determinan a partir del consumo de combustible, al quemar gran cantidad de productos derivados del petróleo, los automóviles dañan al ambiente así como también la salud humana. Consecuentemente, el aire se queda sin oxígeno al encontrarse saturado con sustancias nocivas de los gases de escape, aumenta la cantidad de polvo suspendido en la atmósfera y depositado en la superficie de varios sustratos, se genera acumulación intensiva de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos o plomo en las proximidades de fuentes de contaminación a lo largo de carreteras, calles principales y en intersecciones.

4.7. Monitoreo de calidad de aire.

Según (INE, 2010) en el desarrollo de un plan efectivo de gestión de calidad del aire es necesario contar con información confiable relacionada con los niveles de contaminación en el aire a través del monitoreo. Para aplicar el monitoreo se utilizan varios equipos, como analizadores, monitores y sensores que se adecuan en espacios físicos para la medición del aire. Siendo así, el propósito del monitoreo es generar y proporcionar información necesaria a científicos, legisladores y planificadores para la toma de decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente. Además el monitoreo interviene en procesos para el desarrollo de políticas y estrategias estableciendo objetivos durante la evaluación del cumplimiento de metas y ejecución de las acciones. El objetivo primario del control de la contaminación es la protección de la salud de las personas que viven en comunidades expuestas a excesivas concentraciones de contaminantes atmosféricos.

4.8. Método de monitoreo de concentración de material particulado.

De acuerdo a las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican, se pueden clasificar en cuatro tipos de genéricos: sistemas manuales pasivos, sistemas manuales activos, sistemas automáticos, y sensores remotos (MINAM, 2019).

A continuación se describe el concepto de sistemas automáticos como método de la presente investigación del monitoreo de concentración de material particulado 2.5 (PM 2.5) en el área de influencia de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

4.8.1. Monitoreo Continuo de emisiones.

Según (Chávez et al., 2014) es el conjunto de instrumentos de medición y dispositivos complementarios, para obtener de forma automática y continua, la concentración de parámetros físicos y químicos de las emisiones de una operación o proceso, obteniéndose respuestas en tiempo real.

Además de requerir del establecimiento de un sistema de información gerencial, identificando a la población usuaria de la información, identificando los tipos de información prioritaria, identificación de puntos con frecuencia horaria, vinculando las

necesidades y las fuentes de información, estableciendo métodos apropiados para efectuar la recopilación de datos e identificando los recursos necesarios (DEUMAN, 1997).

4.9. Sistemas Automáticos para determinar la concentración de MP.

Los sistemas automáticos usan una bomba de succión, al igual que otros sistemas. Sin embargo, a diferencia de ellos, el objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras del analito para ser analizadas en el laboratorio, sino determinar su concentración en una cámara de análisis, que usualmente utiliza métodos ópticos entre ellos está la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersión de la luz y la atenuación de rayos beta. A continuación se describe la técnica para determinar el material particulado (MINAM, 2019):

Dispersión de la luz: Es una técnica basada en la respuesta de cada partícula del analito como lo es el material particulado a un haz de luz emitido a la corriente de aire que ingresa al equipo automático. En específico, la respuesta de reflexión al haz de luz, permite determinar el tamaño de cada partícula en función de ángulo de reflexión, así como la cantidad de partículas presentes en la muestra. Por esta razón, estos sistemas son considerados también como contadores ópticos de partículas. Una vez determinado el tamaño y número de las partículas, el equipo automático procede a calcular primero la masa del analito y, luego su concentración en microgramos por metro cúbico.

4.10. Uso de sensor de bajo costo para la determinación de MP2.5

Para el monitoreo de material particulado se utiliza principalmente equipos como Partisol de bajo y alto volumen, MicroVol de bajo volumen y Atenuación Beta según la normativa; se puede utilizar sensores de bajo costo como el módulo GP2Y1010AU0F, gracias a su accesibilidad y fácil traslado de un lugar a otro, se puede monitorear partículas PM2.5 sin inconveniente, debido a la capacidad de detección de valores máximos en tiempo real permite establecer situaciones de alerta para implantar las respectivas medidas de contingencia.

Un sensor de partículas de aire es básicamente un detector de polvo donde se puede utilizar con Arduino, La composición de las partículas en suspensión que inhalamos, conocidas por sus siglas en inglés PM (particulated matter), puede ser de una mezcla muy variada, pero más que por su contenido, se clasifican según su medida y

según cómo se comportan al respirarlas. La mayoría de estos sensores de polvo, según sus especificaciones técnicas, pueden detectar partículas PM 2.5 capaces de llegar hasta los pulmones al respirarlas (Postel, 2023).

Este sensor óptico desarrollado por la empresa Sharp es especialmente efectivo detectando partículas muy finas de polvo en el aire y es muy utilizado como detector en purificadores de aire. Internamente contiene un diodo LED y un fototransistor colocados de tal forma que son capaces de detectar las reflexiones de luz sobre las partículas de polvo suspendidas en el aire que ingresa al dispositivo. El sensor tiene un consumo de corriente muy bajo (20 mA máximo) y puede ser alimentado por hasta 7V DC. La salida del sensor es una tensión analógica proporcional a la densidad de polvo detectado. La sensibilidad del sensor es de $0.5V / 0.1mg / m^3$. El sensor GP2Y1010AU0F se puede adquirir integrado en una placa y listo para usar o bien sin la placa en cuyo caso se le debe añadir una resistencia de 150 ohm y un condensador de 220uF para conectarlo al Arduino.



Figura 2. Sensor GP2Y1010AU0F. Fuente: (Postel, 2023)

4.10.1. Funcionamiento interno del Sensor GP2Y1010AU0F.

Internamente se genera la luz led y contiene un fotodiodo (detector de luz) se coloca delante del lente para cortar la luz perturbadora y detectar la reflexión de la luz. El área de cruce de los ejes ópticos es el área de detección del dispositivo. Al recibir la interferencia el dispositivo emite una corriente proporcional a la cantidad de luz detectada y emite la tensión analógica (salida de impulsos) después de que el circuito amplificador amplifique la corriente del detector.

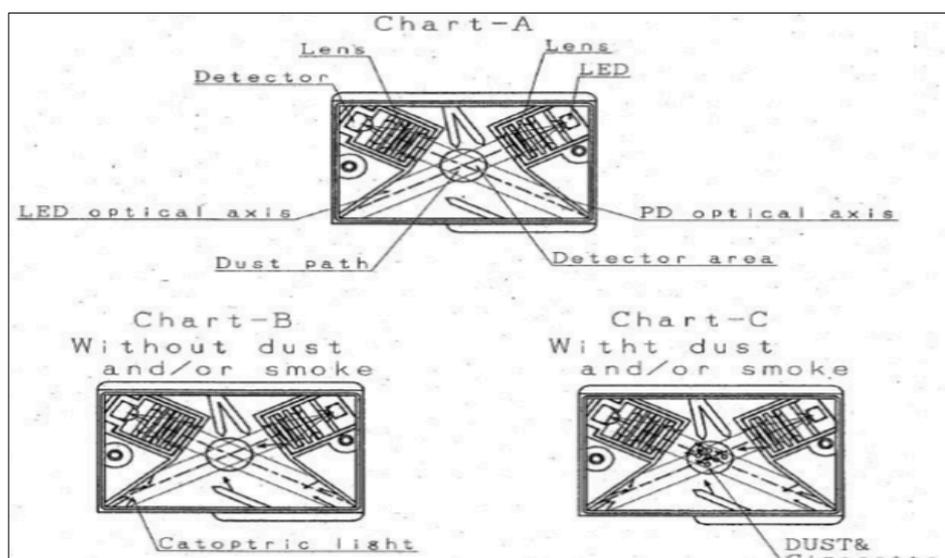


Figura 3. Parte interna del sensor GP2Y1010AU0F. Fuente: (Postel, 2023)

4.11. Placa Arduino

La compañía Forum Arduino, desarrolla y manufactura placas para construir dispositivos interactivos y digitales, también para el control de objetos en el entorno físico. También es un producto enfocado para facilitar el uso de la electrónica y programación tanto para principiantes como usuarios avanzados (Gualpa, 2018).

Arduino es una placa electrónica de código abierto compuesta por hardware y software libre. Estos permiten establecer conexiones entre el microcontrolador (ATMEL) que permite ser reprogramado en un entorno de desarrollo (compilador), puertos de comunicación y puertos de entrada y salida. Este dispositivo además de ser de simple uso también brinda una fácil conexión a sensores y actuadores, y económico (Niland et al., 2020).

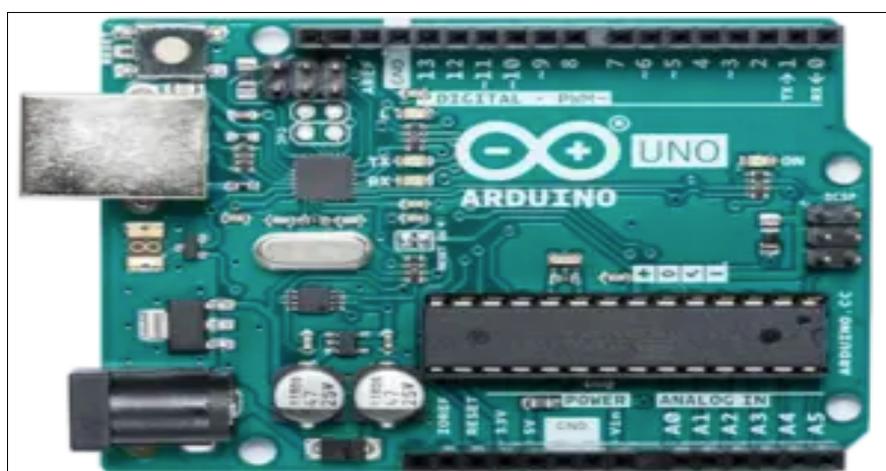


Figura 4. Tarjeta de desarrollo Arduino Uno.

4.12. Efectos de la concentración de material particulado en la salud humana.

El riesgo que corre la salud humana se encuentra directamente vinculado con el tamaño de las partículas ya que provocan problemas de salud. Las partículas finas PM_{2,5} son quienes dan más problemas debido a que pueden llegar a la profundidad de los pulmones (alvéolos) e incluso algunas pueden llegar al torrente sanguíneo. La exposición a la contaminación por partículas tiende a afectar a su mayoría a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, adultos mayores y mujeres embarazadas. Entre algunos más de los problemas ocasionados por la contaminación del aire como se menciona a continuación: muerte prematura, infartos de miocardio no mortales, latidos irregulares, asma agravada, función pulmonar reducida, síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar, bronquitis, irritación de los ojos (EPA, 2022).

Por otro lado, se ve influenciada en el cultivo de los alimentos, el depósito de las partículas sobre suelos agrícolas origina modificaciones frecuentemente perjudiciales para los cultivos, y como consecuencia, incide sobre la salud del hombre y los animales, considerando que al ser partículas finas no se pueden observar fácilmente lo que quiere decir que al consumir alimentos podríamos estar contaminando nuestro organismo al ingerirlos (Gualpa, 2018). Adicional a lo antes mencionado, la contaminación del aire interviene en el bienestar de las personas a causa de los malos olores y de la pérdida de visibilidad.

4.13. Efectos de la concentración de material particulado en la calidad de aire.

Los efectos de la concentración de material particulado se genera por la cantidad de partículas finas PM_{2,5} suspendidas en el aire además de contener también otros componentes o partículas de los que también está expuesto el aire. Por consiguiente, el viento puede transportar las partículas a través de largas distancias y luego, estas pueden instalarse en el suelo o el agua. Según la composición química, los efectos de esta sedimentación pueden provocar: que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos, cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales, reducción de los nutrientes del suelo, daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas, efectos

perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas, contribución a los efectos de la lluvia ácida.

4.13.1. Deterioro en la visibilidad

Las partículas finas (PM_{2,5}) son la causa principal de visibilidad reducida (bruma) en partes de los Estados Unidos, incluidos muchos de los preciados parques nacionales y áreas silvestres (Pirantika & Purwanti, 2017)

4.14. Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica SIG o GIS por su acrónimo en inglés (Geographic Information System). Son sistemas que facilitan la visualización, análisis y almacenaje de datos relacionados con el espacio físico. Esto con el fin de relacionar estos datos con fenómenos geográficos y urbanos de todo tipo reflejados en un mapa. Sus herramientas son necesarias para superar la visión sectorial y consolidar una comprensión integral del territorio mediante la interacción de las dimensiones ambiental, cultural, económica, social, espacial, etc. Está compuesta por subsistemas que permiten el procesamiento de imágenes, análisis estadístico, manejo de base de datos, análisis geográficos, apoyo en la toma de decisiones, digitalización de mapas (Universidad Veracruzana, 2013).

4.15. Quantum GIS

Es el software que se utiliza para construir un sistema de información geográfico (SIG), consta de un conjunto de aplicaciones con las cuales se pueden crear datos, mapas, modelos, aplicaciones y consultar datos geoespaciales, los datos geoespaciales se refieren a información geográfica de una entidad. El programa Quantum GIS (o QGIS) es un software de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Que Permite manejar formatos ráster y vectoriales así como bases de datos (Universidad Veracruzana, 2013).

4.15.1. Método de Kernel

El método de interpolación de Kernel es una de las estrategias de interpolación de datos más empleados en los mapas. Permite trabajar radios de búsqueda para coordenadas de distribución basadas en datos de densidad, número de individuos o niveles de contaminación, es un complemento de densidad para crear ráster de una capa de puntos

de entrada, la densidad se calcula en base al número de puntos en una ubicación, de forma que un mayor número de puntos agrupados resulta en valores mayores.

La herramienta Kernel density estimation, o la herramienta de Mapas de calor, permite incorporar la cartografía de coordenadas de distribución de la variable ambiental que se trabaje, además de la fácil identificación de los puntos calientes o Hotspots y la agrupación de puntos.

4.16. Normativa de referencia Internacional y Nacional de calidad del aire

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados (MAE, 2015).

Según (World Health Organization, 2005) a nivel internacional se encuentran disponibles Guías de Calidad del Aire para uso mundial que permiten establecer medidas que mejoren y optimicen la calidad de aire para cumplir con los límites máximos permisibles y la protección de la salud de la población.

Tabla 1. Normas de Calidad del Aire.

Contaminante	Periodo	Límite máximo
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado - PM2.5	Media anual	10
	Media de 24 horas	25

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005).

En Ecuador como referente nacional, es establecido por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 4, el mismo que se encuentra bajo el régimen del Código Orgánico del Ambiente y la Norma

Ecuatoriana de Calidad del Aire (TULSMA, 2015). De acuerdo a las normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire se establece las siguientes concentraciones para el PM_{2,5} según el promedio aritmético de la concentración.

Tabla 2. Normas de Calidad del Aire del TULSMA

Contaminante	Periodo	Límite máximo <i>μg/m³</i>
Material Particulado - PM_{2.5}	Media anual	15
	Media de 24 horas	50

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI, Anexo 4, de Calidad de Aire Ambiente (2015).

5. Metodología

Esta investigación es de carácter observacional y descriptivo, con enfoque cuantitativo debido a que no influye en las variables. Con el fin de cumplir con los objetivos planteados se aplicaron las siguientes metodologías.

5.1. Área de estudio

La zona de estudio se localiza en la ciudad de Catamayo, cantón Catamayo provincia de Loja, se encuentra ubicado al Sur de la Región Interandina de la República del Ecuador con coordenadas UTM: -3.98652 Sur y -79.35912 Oeste; se encuentra a una altura de 1270 m.s.n.m; posee una superficie total de 651,84 km². Sus límites son: al norte por la provincia de El Oro y el cantón Loja, al sur con los cantones Gonzanamá y Loja, al este por el cantón Loja, al oeste por el cantón Chaguarpamba y el cantón Olmedo.

El clima que predomina en el valle andino es cálido seco y subtropical húmedo en las parroquias, la temperatura promedio oscila de 24°C a 26°C. En el cantón Catamayo existen dos épocas, una muy seca que comprende los meses de mayo hasta septiembre, y la lluviosa de octubre hasta abril (Figueroa, 2019).

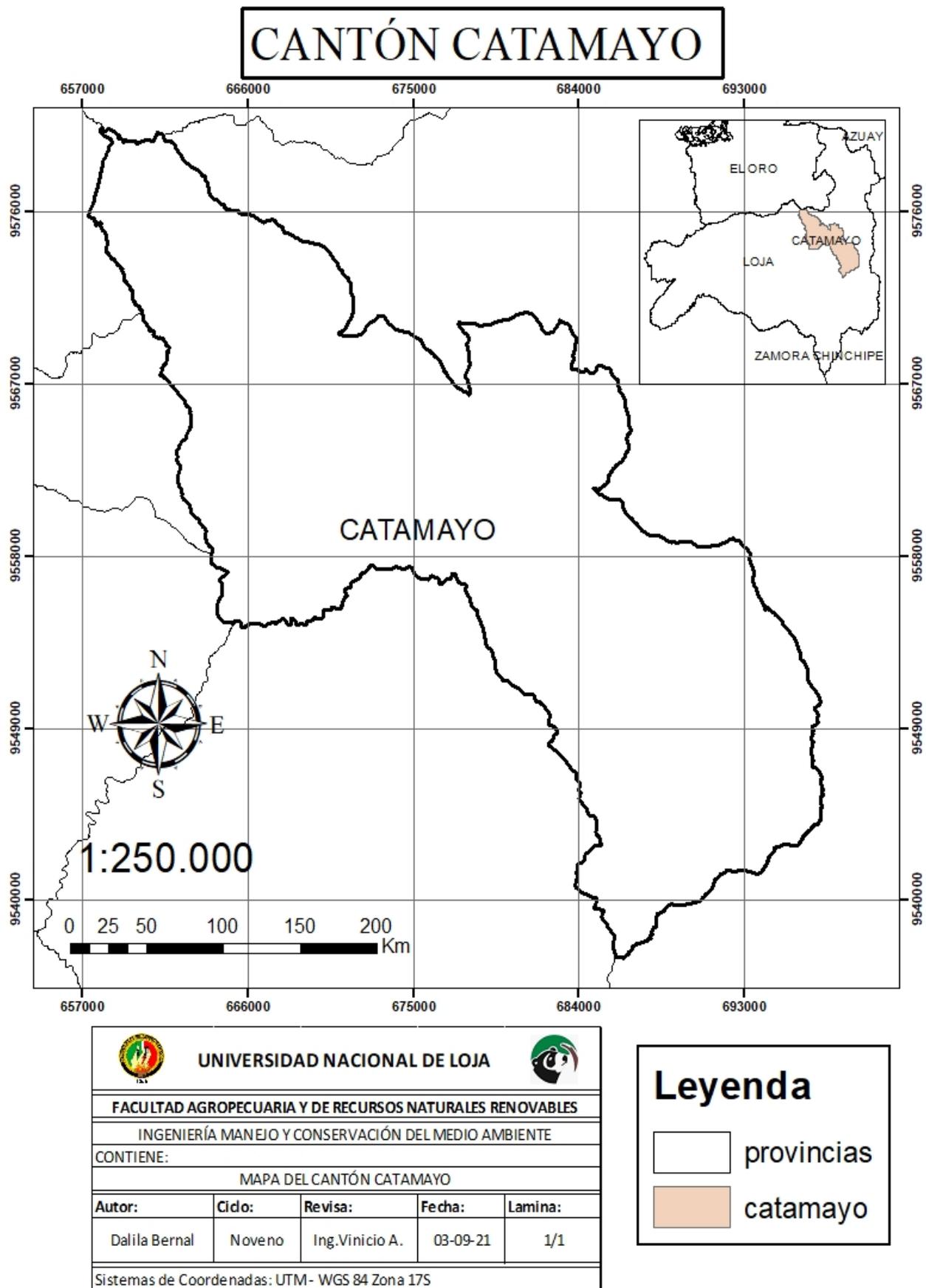


Figura 5. Ubicación del cantón Catamayo, provincia Loja

- Mapa de ubicación de los puntos de estudio.

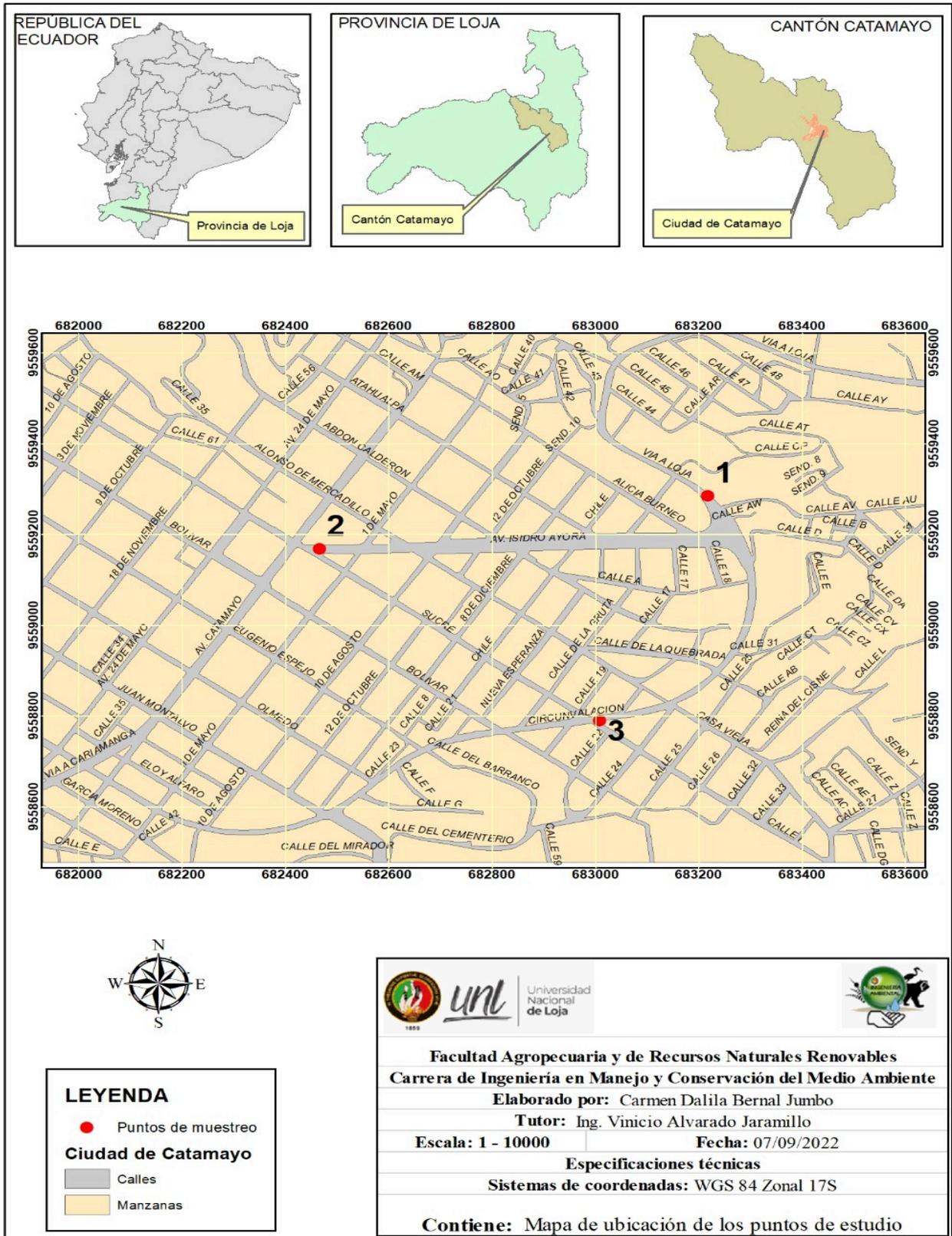


Figura 6. Ubicación de los tres puntos monitoreados en el área de estudio.

5.1.1. Mapas de ubicación de las vías principales del estudio de investigación.

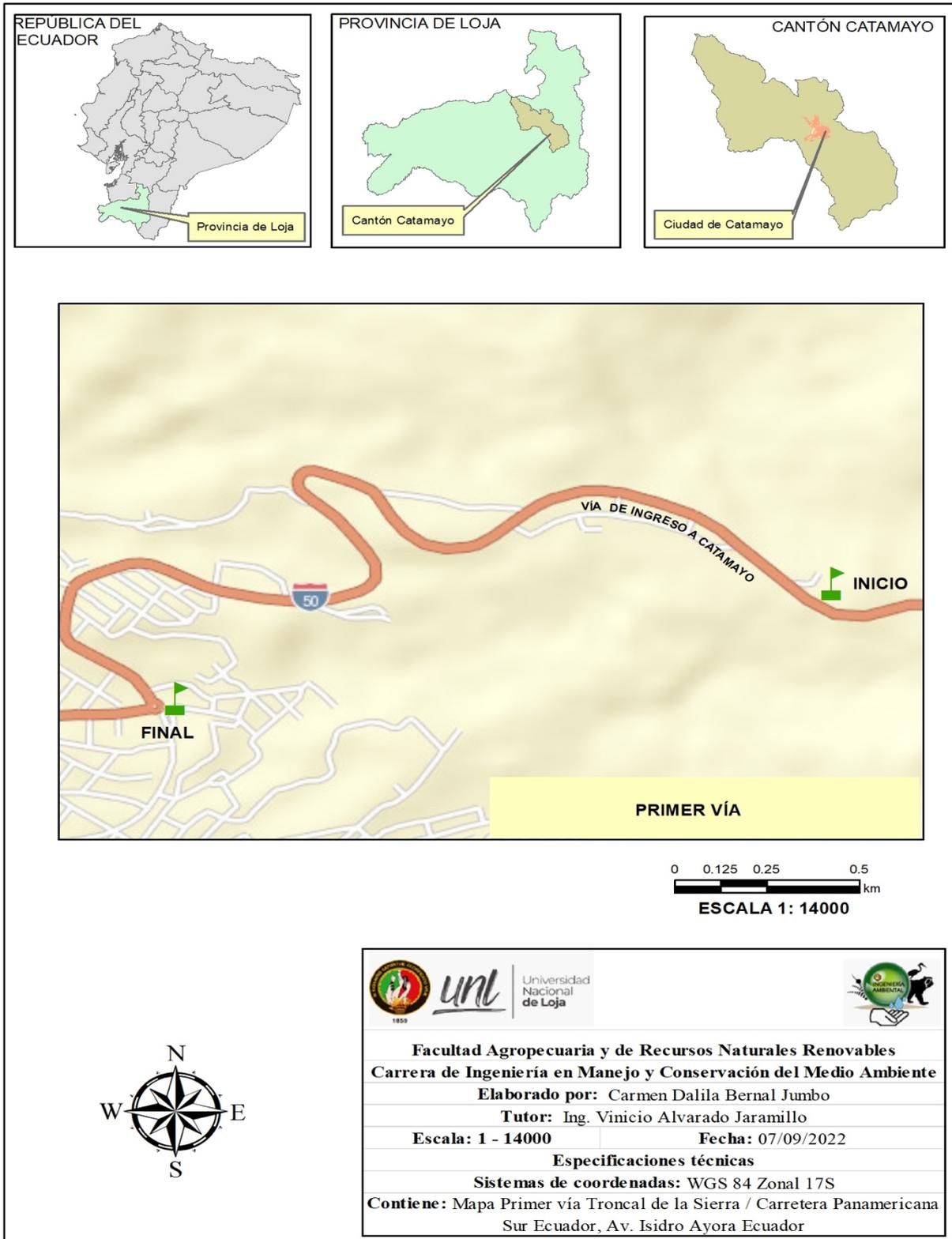


Figura 7. Primer vía. Ingreso a la ciudad de Catamayo desde la ciudad de Loja

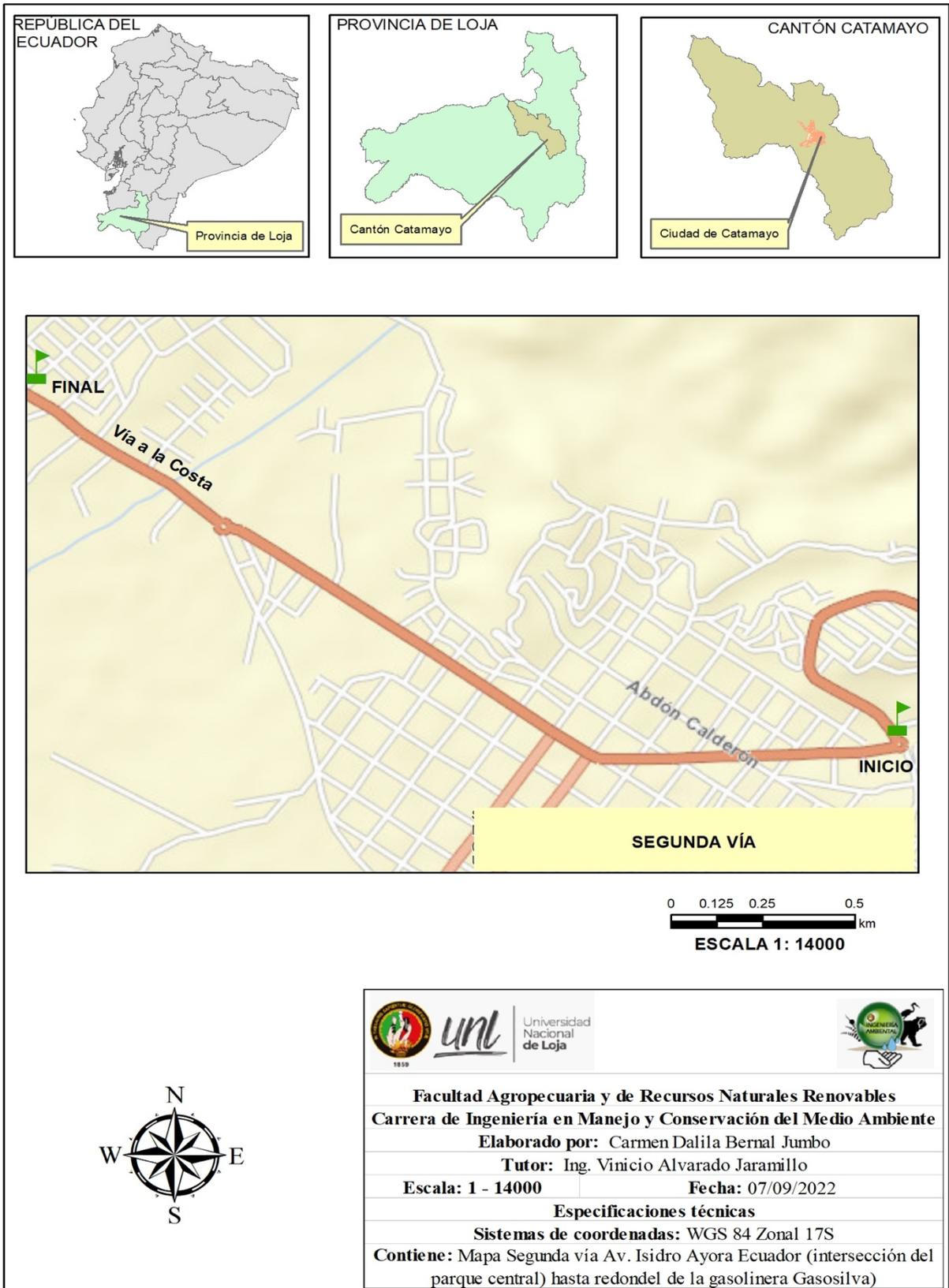


Figura 8. Segunda vía. Interviene el sector urbano por la vía en dirección a la costa.

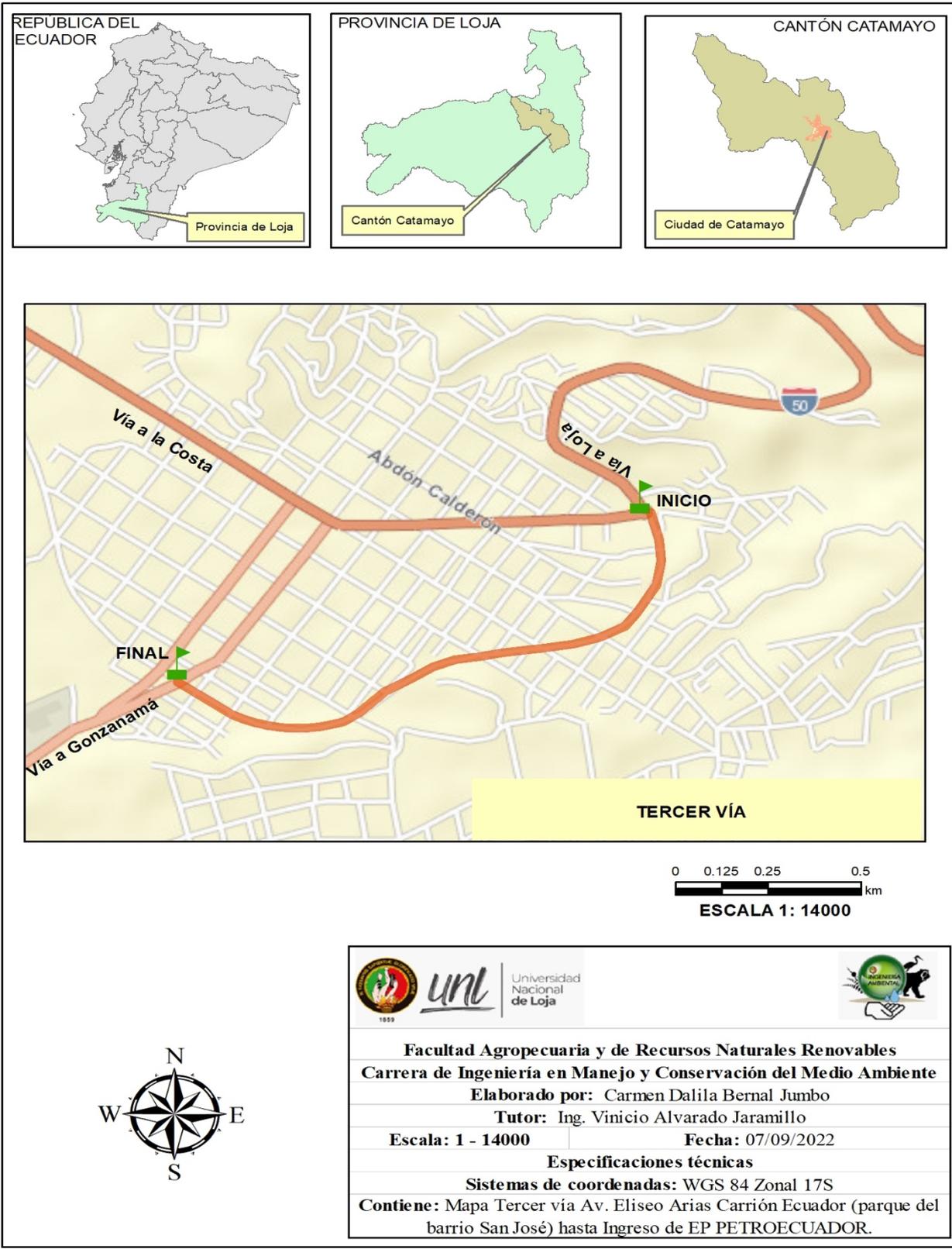


Figura 9. Tercer vía. Ubicada en el sector lateral de la ciudad, se involucra con la vía a Loja y la vía a Gonzanamá

5.2. Materiales y equipos

Para el levantamiento de información en el presente trabajo de investigación se utilizó los siguientes elementos:

5.2.1. Materiales de oficina y campo

- Tablero de mano
- Extensión
- Cuerda
- Hojas impresas previamente diseñadas
- Esferos
- Lápiz
- Borrador
- Trípode
- Adaptador USB
- Micro SD
- Libreta de apuntes
- Computador

5.2.2. Equipos

- Sensor de partículas PM2,5
- GPS (móvil)
- Cámara (móvil)
- Anemómetro digital portátil
- Smart phone

5.3. Determinación de la carga vehicular de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

Para el desarrollo de la determinación de la carga vehicular se aplicó el método de conteo manual, a través de grabación de vídeos y el registro en planillas para cada sector, las características de las planillas son las siguientes: tipo de vehículo, número de tramo, sentido de circulación de los vehículos, estado del pavimento, temperatura, lugar, hora, fecha y aforador. La clasificación de los tipos de vehículos, se realizó de la siguiente manera, ver Tabla 5 (INEN, 2012):

- **Vehículos livianos (diésel/gasolina):** Automóviles particulares, taxis, motos, camionetas.
- **Vehículos pesados de pasajeros:** Bus, microbús, camión de dos ejes (C2), ambulancia.
- **Vehículos pesados de carga:** volquetes, remolques, camión de tres ejes, camión de cuatro ejes, tráiler.

Selección de puntos para el conteo vehicular.

Para las tres vías principales se seleccionaron seis puntos estratégicos, se tomó las coordenadas UTM en cada punto, en la siguiente tabla se indica los puntos con un código de acuerdo a las características que presentan.

Tabla 3 Coordenadas geográficas UTM de los seis puntos del área de estudio.

Coor_X	Coor_Y	Altitud	Sentido	Ubicación	Nombre	Código
684903,70	9559658,20	1526 m	N-S	Troncal de la Sierra / Carretera Panamericana Sur Ecuador	Ex Peaje	T1-EP-001-2021
683218,7	9559285,8	1320 m	N-W	Redondel entrada a Catamayo	Redondel Catamayo	T1-RC-002-2021
682466,6	9559169,3	1278 m	S-E	Avenida Isidro Ayora Ecuador	Intersección Parque de Catamayo	T2-PC-003-2021
681504,5	9559818,5	1234 m	N-O	Avenida Isidro Ayora Ecuador, redondel	Redondel Gasolinera Gasosilva	T2-RG-004-2021
683009,9	9558790,5	1305 m	O-N	Avenida Eliseo Arias Carrión Ecuador	Paque San José	T3-P-005-2021

682553,1	9558649,4	1283 m	S-W	Avenida Eliseo Arias Carrión Ecuador	Ingreso Petroecua dor	T3- IPE- 006- 2021
----------	-----------	--------	-----	---	-----------------------------	-----------------------------

Para la estructura del código de puntos se realizó lo siguiente:

T1-EP-001-2021

Descripción

Las siglas se colocan de acuerdo al tramo en el que encuentra el investigador, el número de punto que selecciona y el año en el que fue realizada el conteo.

Tabla 4. Nomenclatura de códigos.

Nomenclatura	Nombre
T1	Tramo
EP	Ex Peaje
RC	Redondel Catamayo
PC	Parque Catamayo
RG	Redondel Gasolinera
P	Parque
IPE	Ingreso PetroEcuador

Nota: Las coordenadas en que se tomaron las muestras están descritas en el Sistema de Medición Geográfica UTM WGS-84 Zona 17S.

Para la fase de campo, previo al conteo vehicular se observaron algunas características del sitio para colocar la cámara móvil, se capturó la imagen de los vehículos considerando la frecuencia, con el cronómetro se verificó la cantidad de vehículos que circularon en un intervalo de tiempo de 30 minutos en los dos sentidos de la vía, los datos se registraron en las planillas. La etapa de conteo vehicular fue de un mes y una semana durante los días martes, jueves, sábado y domingo en un periodo de 8 horas,

siendo de 08h00 am hasta las 12h30 pm y de 14h00 pm hasta las 17h30 pm, se aplicó el mismo horario para cada punto seleccionado en las vías principales de la ciudad de Catamayo. De esta manera se logró tabular la información para su análisis respectivo.



Figura 10. Conteo vehicular

Tabla 5. Formato de planilla para conteo vehicular.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERIA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Ciudad de Catamayo, cantón Catamayo, provincia Loja. </div> 												
Tramo:							Fecha:					
Coordenadas Geo:							NORTE				SUR	
Periodo	Hora-30 min		Vehiculos Liviano				Vehiculos Pesados					Total
	Inicio	Fin	Motos	Autos	Camioneta	Buseta	Camión	Bus	Remolque	Volquetes	Ambulancia	
1	8:00	8:30										
	8:30	9:00										
	9:00	9:30										
	9:30	10:00										
2	10:30	11:00										
	11:00	11:30										
	11:30	12:00										
	12:00	12:30										
	Total											
	%											

5.4. Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

5.4.1. Selección de puntos de monitoreo en el área de los tramos de estudio.

Una vez establecido el área de estudio se seleccionaron los puntos de monitoreo, por observación directa se identificaron las características que favorecen la obtención de datos en el sector de estudio así como también bajo criterio personal se consideró aspectos como: sitios junto a grupos vulnerables como niños (as), personas mayores de edad, mujeres embarazadas, personas con problemas respiratorios, también áreas prioritarias donde existe alta carga vehicular y presencia de algunos negocios como restaurantes, panaderías.

5.4.2. Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo

Tomando como referencia el protocolo de monitoreo de aire (DEUMAN, 1997) se ejecutó el monitoreo de material particulado PM2,5 se aplicaron el método de monitoreo automático para material particulado y el uso de sensores automáticos de manera continua.

Además, se tomaron parámetros meteorológicos tales como: precipitación, dirección del viento. La determinación de estos parámetros se obtuvo de una aplicación móvil de nombre app clima del sistema operativo de Apple, también se tomaron datos de velocidad del viento y temperatura, se utilizó un mini anemómetro de marca UNI-T.



Figura 12. Obtención de datos meteorológicos, app Clima.



Figura 11. Anemómetro para medir la velocidad del viento.

Para el monitoreo del material particulado 2,5 (PM_{2,5}) se utilizó un sensor automático de partículas de aire denominado Modulo GP2Y10101AU0F, contiene al interior un diodo LED y un fototransistor que permiten detectar las reflexiones de la luz sobre las partículas de polvo suspendidas en el aire. Antes de su uso se corroboró que el equipo esté calibrado, su estructura externa esté en buenas condiciones para movilizarlo y que esté con la tarjeta SD colocada para el almacenamiento automático de los datos.

Para la calibración del sensor, (Pérez Maquieira, 2018) menciona que se debe estudiar su electrónica y proponer un montaje, al cual el dispositivo se conecte a un microcontrolador. Este podrá procesar las señales analógicas provenientes de la salida del sensor. Se procede a utilizar la placa Arduino Uno a la que va acoplada un aplaca de prototipado, a la cual se sueldan los cables del sensor. Posteriormente se debe poner un software que permita comunicarse con el sensor y obtener los datos de las partículas según su tamaño.

Para colocar el dispositivo se consideraron algunos aspectos que debe tener el lugar, como: estar a una altura de 2 metros desde el nivel del suelo, no tener contacto con el agua, que tenga fácil acceso a la conexión de corriente eléctrica, el lugar dónde se coloque el dispositivo debe estar libre del contacto de fuentes de material particulado o polvo sedimentable a los alrededores.

Se colocó el dispositivo en los tres puntos ubicados en cada vía principal, en estos tres puntos se monitoreó la concentración de partículas. De manera continua, durante un mes se estimaron concentraciones base promedio en cada uno de los puntos, se registraron los datos de concentración PM_{2,5} en un periodo de 24 horas los días martes, jueves, sábado y domingo de cada semana, se realizó conteos en el mismo punto por tres ocasiones.

Para procesar la información registrada se utilizó el Software Excel, Software libre Jupyter Notebook, R Studio que permitieron hacer las gráficas y sub muestreo para los diferentes rangos de tiempo (2horas).

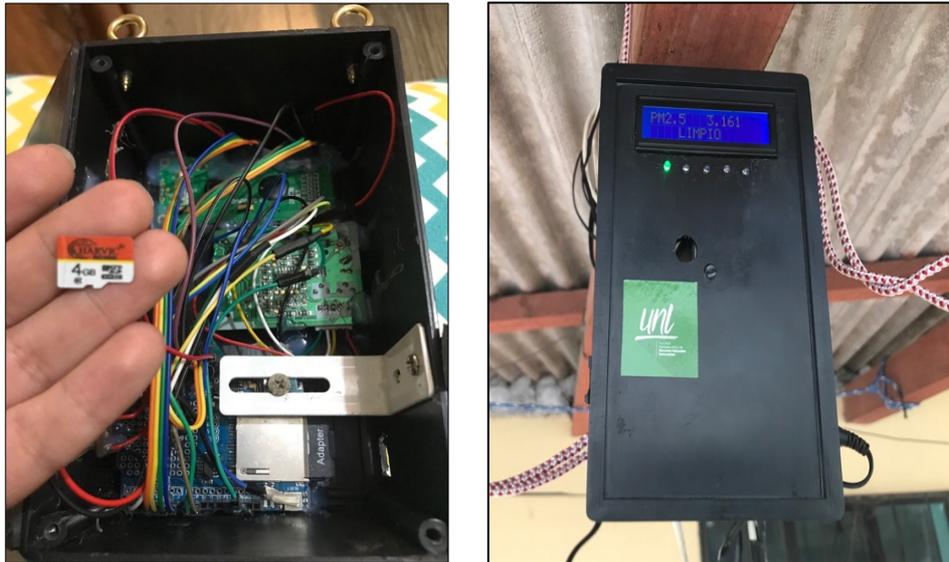


Figura 13. Parte interna del dispositivo medidor de partículas; Dispositivo en funcionamiento. Sensor GP2Y1010AU0F

5.4.3. Análisis espacial de distribución de las concentraciones en las vías principales de la ciudad de Catamayo.

Para procesar la información y de esta manera conocer el comportamiento espacial e identificar los sitios que presentan mayor concentración de material particulado, se utilizó el programa QGIS y aplicó la función de interpolación Kernel. Para la elaboración del mapa de calor primero se organizó la base de datos en un documento Excel con el siguiente formato:

- N° repeticiones
- Zona
- Transecto/Punto
- Coordenadas UTM
- Concentración PM2,5.

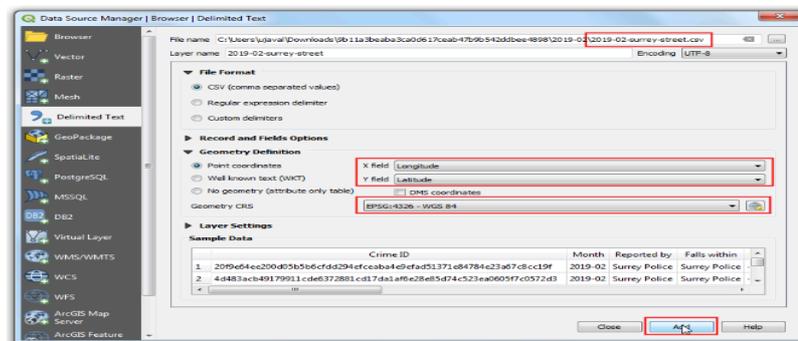
Este proceso se realizó en función a las concentraciones medidas en los tres puntos ubicados en las vías principales de la ciudad de Catamayo, el periodo de monitoreo que se realizó fue durante el mes de febrero en un periodo de 24 horas. Para continuar, se descargó el mapa base del cantón Catamayo; La información recolectada en el sitio se ingresó al Sistema de Información Geográfica. Posteriormente, se aplicó la función Kernel y se realizó una interpolación de los datos mediante el método IDW (Interpolación

por Ponderación de Distancia Inversa) para cada punto. Finalmente, se generó un mapa que representa los puntos de calor, destacándolos mediante una escala de colores. A continuación, se detalla el proceso:

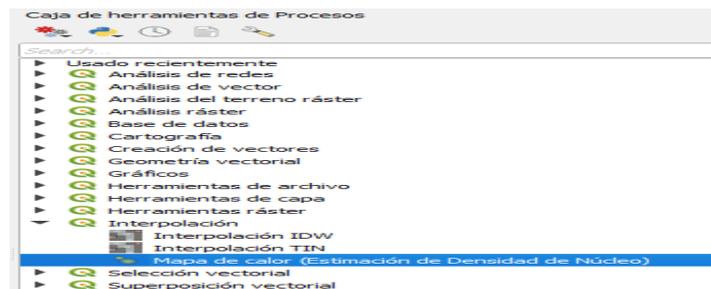
1. Primero, se accedió al algoritmo Mapa de calor desde la caja de herramientas.

FID	Shape	N°_Rep	Zona	Transecto	X	Y	Concentrac	PUNTO
0	Point	0	RC	T1	683218.7	9559285.8	0.8	1
1	Point	0	PC	T2	682466.6	9559169.3	3.410115	2
2	Point	0	P	T3	683009.9	9558790.5	4.394581	3

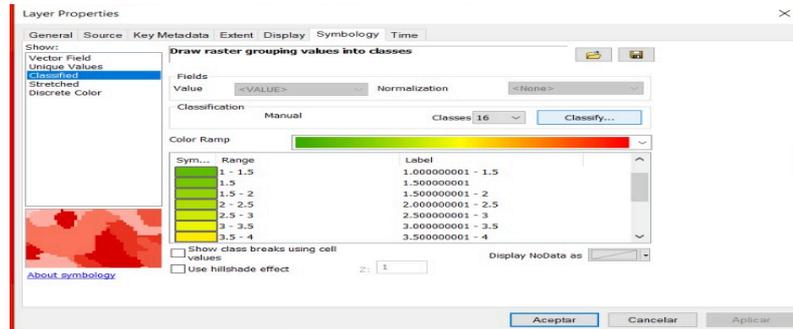
2. Luego, se generó un archivo en el cual se importaron los datos de nuestro formato creado en Excel, dando lugar a la creación automática de una tabla de atributos.



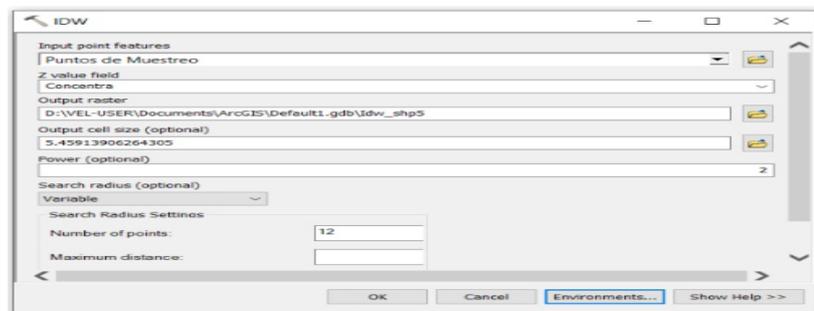
3. Para continuar con el proceso, en la opción de Texto delimitado, se verificó que el formato y orden de los datos fueran correctos, así como el sistema geográfico; las coordenadas geográficas se establecieron en UTM WGS84 Zona 17S.



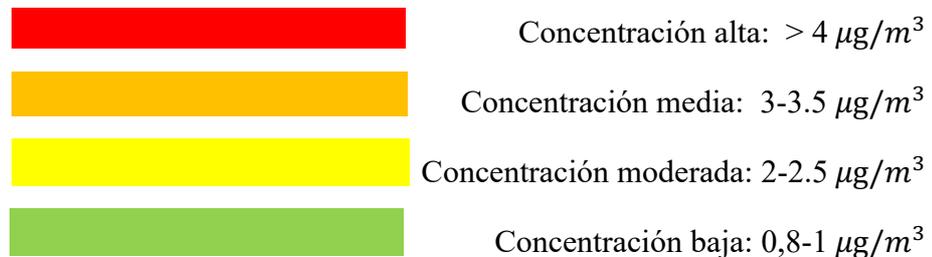
4. Después de organizar la información, se ejecutó la función kernel, obteniendo como resultado un mapa de calor sin categorización.



5. Se genera un ráster al que se clasifica en rangos de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La escala de colores facilita la identificación clara del área de concentración.



Rango de colores



- Fórmula para calcular la Densidad de Kernel, para puntos y radio:

$$Density = \frac{1}{(radius)^2} \sum_{i=1}^n \left[1 - \left(\frac{dist_i}{radius} \right)^2 \right]$$

For $dist_i < radius$

Donde:

- $i = 1, n$ son los puntos de entrada. Solo debe incluir puntos en la suma si están dentro de la distancia de radio de la ubicación (x,y).

- pop_i , es el valor de campo de población del punto i , que es un parámetro opcional.
- $dist_i$, es la distancia entre el punto i y la ubicación (x,y) .

Posteriormente, la densidad calculada se multiplica por el número de puntos o la suma del campo de población si se proporcionó alguno. Esta corrección hace que el integral espacial sea igual que el número de puntos (o la suma o el campo de población) en lugar de que siempre sea igual que 1. Esta implementación usa una función kernel cuártica (Silverman, 1986). Será necesario calcular la fórmula para cada ubicación en la que desea estimar la densidad. Puesto que se está creando un ráster, los cálculos se aplican al centro de cada celda en el ráster de salida (ESRI, 2023).

6. Resultados

6.1. Determinación de la carga vehicular de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

De acuerdo a los datos recopilados en los diferentes puntos del área de estudio en la última semana de noviembre y en todo el mes de diciembre del año 2021 en la ciudad de Catamayo, se determinó que el promedio de la cantidad del flujo vehicular que transita por las vías principales de la ciudad de Catamayo es de 5 355,5 vehículos por día.

Asimismo, a través de la grabación en video, se pudo captar las placas de los vehículos lo que permitió observar que las tres vías principales conectan con otras provincias, tales como:

Tabla 6 Vías principales y sus conectores

PROVINCIAS	VÍA PRINCIPAL
SIERRA	
Azuay	
Bolívar	Troncal de la Sierra / Carretera Panamericana Sur
Cañar	Ecuador
Chimborazo	Referencia: ruta desde Catamayo hacia Loja.
Cotopaxi	
Loja	

Pichincha
Santo Domingo de los Tsáchilas
Tunguragua

COSTA

El Oro	Avenida Isidro Ayora Ecuador
Guayas	Referencia: ruta desde el centro de la ciudad de
Manabí	Catamayo hacia San Pedro de la Bendita.

AMAZONÍA

Morona Santiago	Troncal de la Sierra / Carretera Panamericana Sur
Napo	Ecuador
	Referencia: ruta desde Catamayo hacia Loja.

Nota: En el caso de ciertos cantones, la Avenida Eliseo Arias Carrión Ecuador, es la vía principal que los conecta. En calidad de referencia, se trata de la ruta lateral desde el redondel de ingreso a Catamayo en dirección al cantón Gonzanamá.

A continuación se describe los resultados obtenidos del conteo manual registrado en cada punto de estudio:

Como se puede observar en las Figuras 14 y 15, el punto 4 del sector urbano del redondel de la Gasolinera Gasosilva, ubicada en la vía 2 del área de estudio, presenta la mayor cantidad de vehículos livianos que circulan con diésel y gasolina. Asimismo, el punto 6, correspondiente al sector lateral de la entrada a la Empresa Pública de Hidrocarburos PetroEcuador, ubicada en la vía 3 del área de estudio, registra mayor cantidad de vehículos pesados que circulan a diésel.

Circulación vehicular en los seis puntos de observación

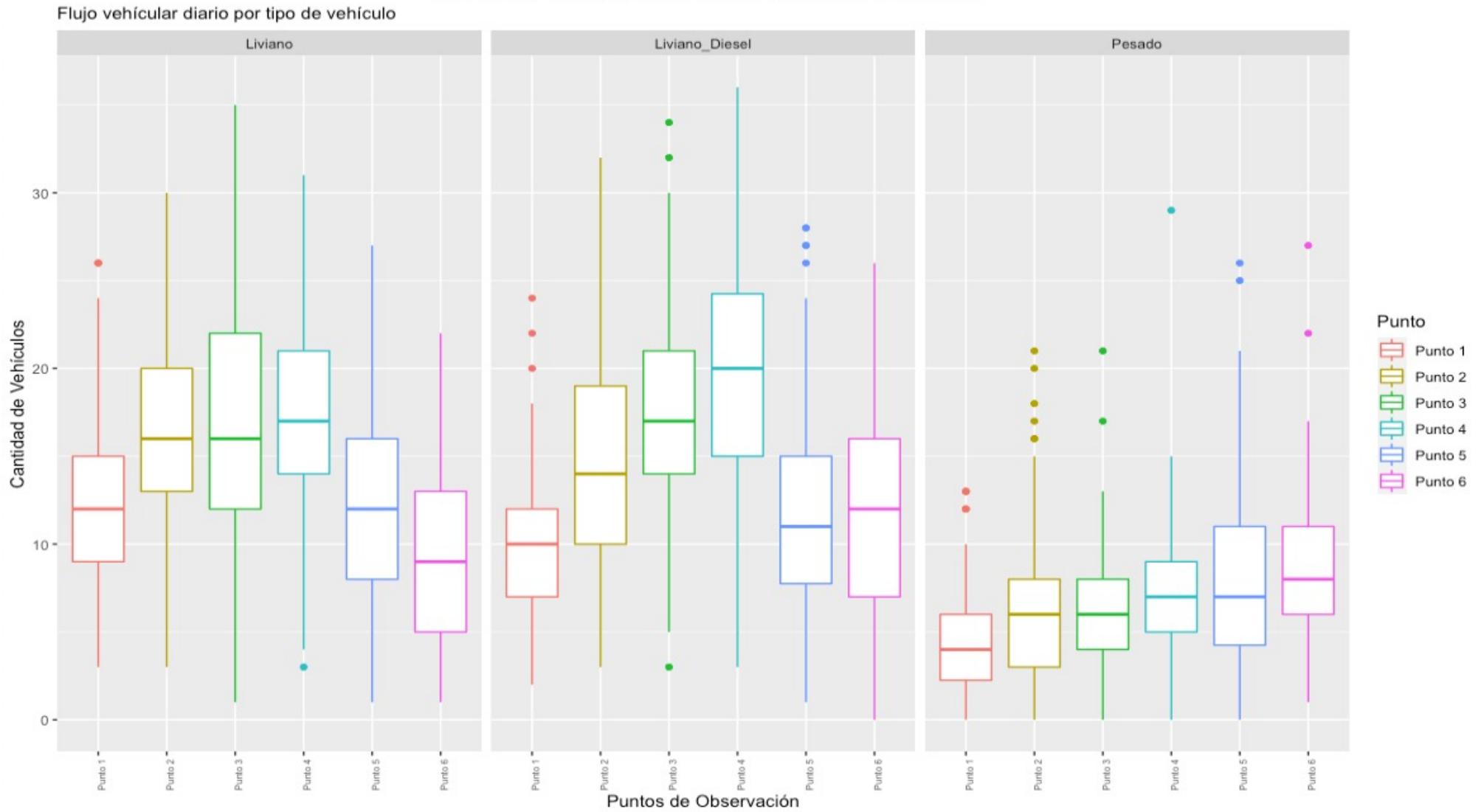


Figura 14. Flujo vehicular por cada punto de observación de acuerdo al tipo de vehículo

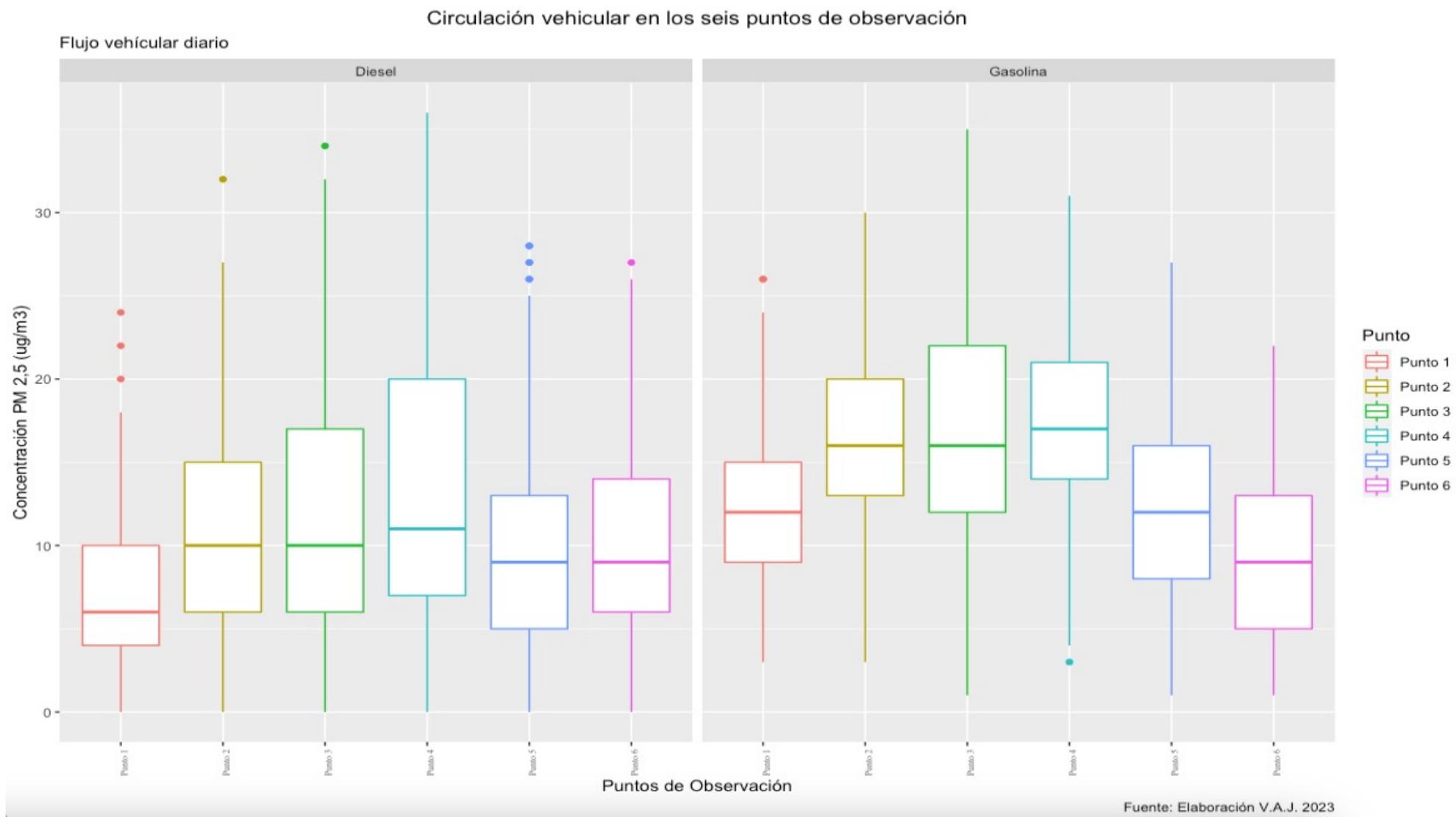


Figura 15. Flujo vehicular en cada punto de observación de acuerdo al tipo de combustible

6.2. Monitoreo de PM2.5 a lo largo de las vías principales de la ciudad de Catamayo.

6.2.1. Parámetros meteorológicos

Los parámetros obtenidos de temperatura y velocidad del viento fueron medidos en intervalos de 5 minutos de los cuales se obtuvo un promedio de todos los datos de cada punto, dando como resultado lo siguiente:

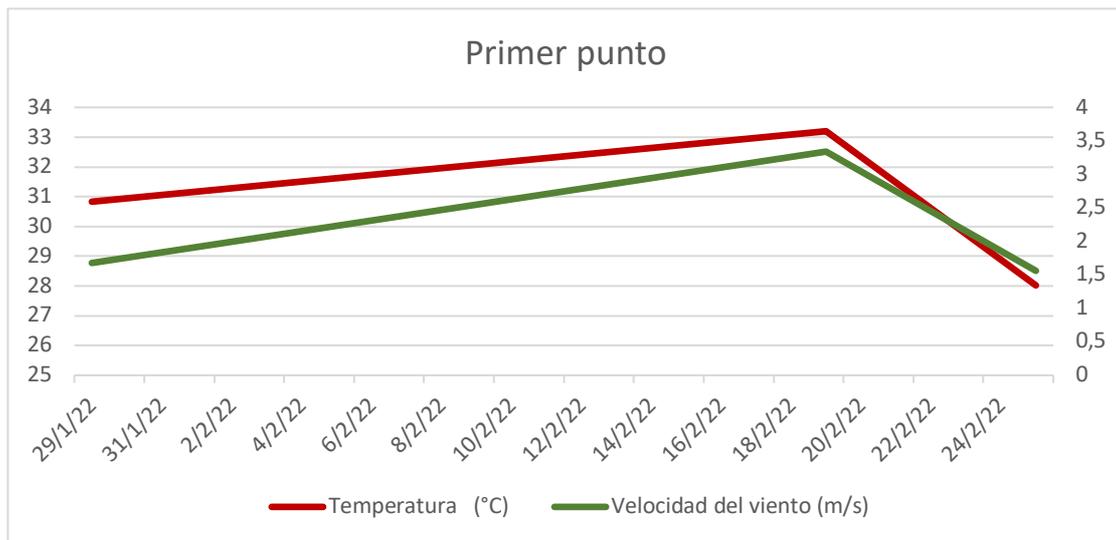


Figura 16. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, primer registro

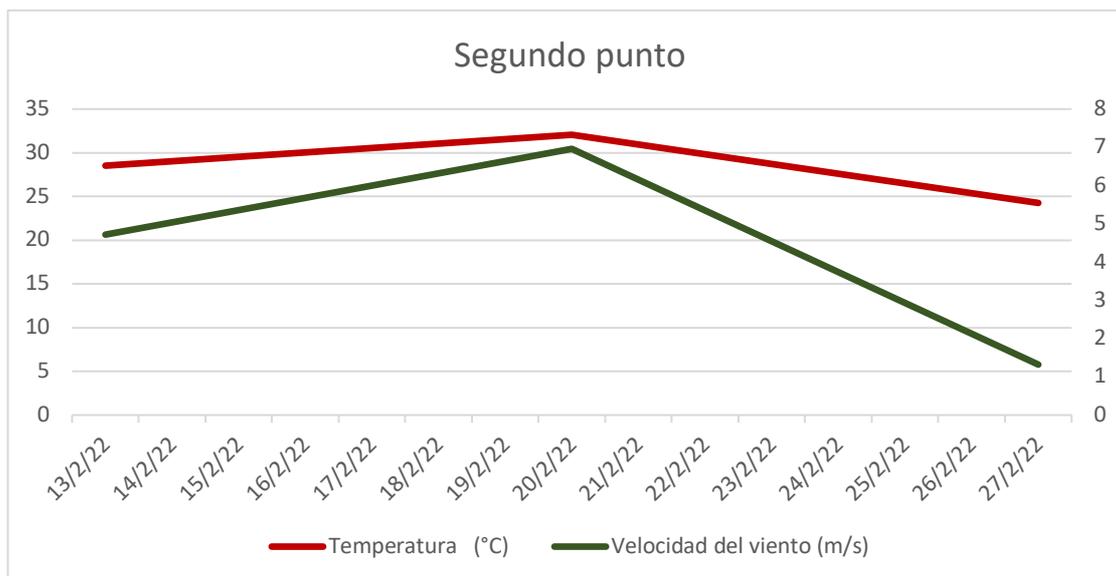


Figura 17. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, segundo registro

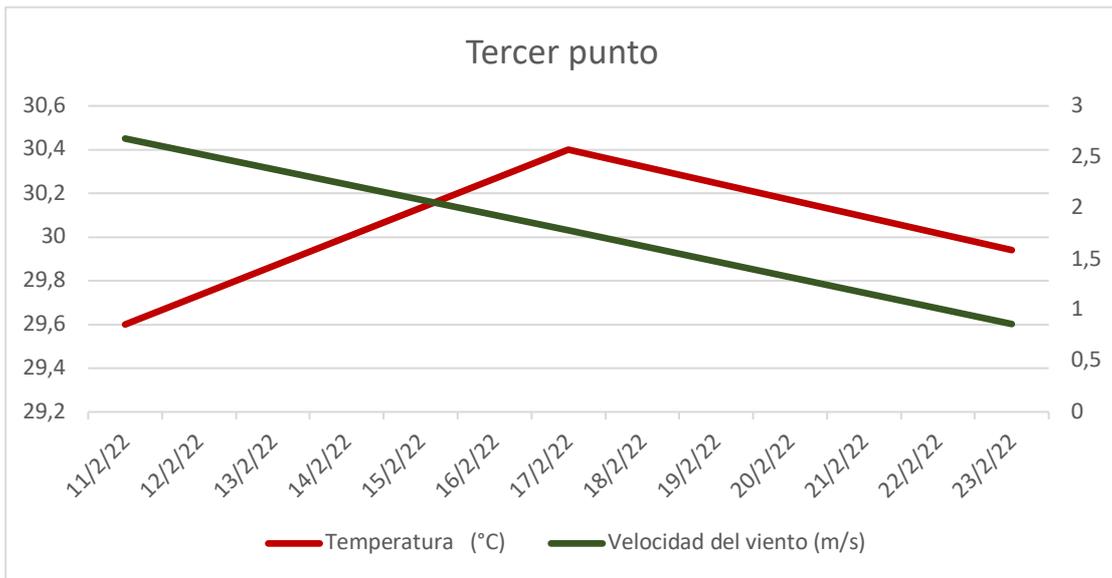


Figura 18. Promedio de parámetros tomados en las tres vías, tercer registro.

Durante el período de monitoreo en la ciudad de Catamayo, se registró una oscilación de la temperatura entre 24°C y 34,9°C. En cuanto a la velocidad del viento, se registraron velocidades que variaron desde 0 m/s hasta 7,4 m/s. Estos hallazgos indican que las velocidades del viento son un factor clave en la dispersión de las partículas, ya que arrastran partículas de distintos tipos a las superficies y al sistema respiratorio de las personas.

6.2.2. Caracterización de fuentes contaminantes.

Luego de identificar y caracterizar las fuentes emisoras en el área de estudio, se observó que a lo largo de cada vía principal hay variaciones en las características topográficas, la infraestructura arquitectónica, las actividades sociales, las actividades económicas y el sector productivo. En la primera vía, se observó que la cantidad e influencia de estas actividades es baja; en la segunda, existe una alta influencia de estas actividades; y en la tercera, se observó que la influencia por parte de estas actividades es media. A continuación, se detallan las fuentes contaminantes que pudieron ser identificadas.

Tabla 7. Inventario de fuentes contaminantes en los sectores de estudio.

UBICACIÓN	CARACTERIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
<ul style="list-style-type: none"> Primer tramo: Troncal de la Sierra / Carretera Panamericana Sur Ecuador. (Vía a Loja) 	Fuente Fija Lineal	Vía de primer orden asfaltada. Locales comerciales: Panaderías Restaurantes Supermercados Centros de belleza. Gasolineras.
<ul style="list-style-type: none"> Segundo tramo: Avenida Isidro Ayora Ecuador. (Vía a la costa) 		Edificios residenciales Casas. Parques. Mecánicas. Oficinas de transporte.
<ul style="list-style-type: none"> Tercer tramo: Avenida Eliseo 		Canchas deportivas. Cerrajerías. Cultivos agrícolas. Puntos de recolección de basura.
		En el área circundante se genera compuestos contaminantes, emiten a la atmosfera compuestos como SO ₂ , CO ₂ , CO, PM, provenientes de las diferentes actividades. A lo largo de las tres vías se logró identificar las carreteras totalmente pavimentadas con asfalto, sin embargo se constató que las vías de segundo orden estaban totalmente descubiertas razón por la cual se origina el arrastre de material particulado a las vías principales, son conectores de los barrios aledaños. La zona de producción de alimentos se centra más en el sector urbano, existe gran cantidad de negocios que producto de la quema de carbón y uso de otros combustibles fósiles

Arias Carrión
Ecuador.
(Ingreso al barrio San
José)

Vías de segundo orden.
Construcciones no terminadas.

emiten material particulado directamente al aire.

En sectores de ingreso y salida de la ciudad de Catamayo se observaron que hay más construcciones no terminadas, las mismas que se han convertido en puntos de acumulación de basura.

A pesar de existir puntos de recolección se evidencia que los residuos están dispersos a lo largo de las vías.

La actividad de quema de caña de azúcar genera partículas de ceniza que llegan a las viviendas y otros espacios.

Existe mayor aglomeración vehicular debido a las oficinas de transporte y cooperativas de transporte que hay en el sector.

Se pudo observar la presencia de vehículos en condiciones deficientes, los cuales emiten una considerable cantidad de humo.

Fuente Móvil

Vías de circulación
Medios de transporte:
Bus
Taxi

Vehículos de carga pesada
Vehículos livianos
Vehículos nuevos
Vehículos viejos
Motocicletas
Tráileres
Aviones,
Bicicletas
Maquinaria agrícola

6.2.3. Gráficas y análisis de las concentraciones obtenidas del monitoreo de PM_{2,5} en las vías principales de la Ciudad de Catamayo.

Para representar en las siguientes gráficas, se han denominado de la siguiente manera:

- Entrada: Primera vía (Ingreso a la ciudad de Catamayo con referencia desde la ciudad de Loja)
- Urbano: Segunda vía (sector céntrico)
- Lateral: Tercera vía (vía lateral en dirección a Gonzanamá)

Durante el monitoreo llevado a cabo en los tres puntos designados para esta investigación, se obtuvieron los siguientes resultados:

La Figura 19 muestra los tres sectores de estudio: Entrada, Urbano y Lateral, en función de la hora del día. En el sector de Entrada, se observaron dos picos de alta concentración de PM_{2,5}, registrados a las 15:00 pm y 17:00 pm, respectivamente, con valores de 0,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cada uno. En contraste, el sector Lateral presentó la mayor concentración de partículas PM_{2,5} en comparación con los otros sectores, con dos valores altos de concentración: el primero a las 10:00 am con una concentración de 87,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el segundo a las 16:00 pm con una concentración de 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el sector Urbano, se observaron tres valores de concentración de PM_{2,5}: el primero a las 8:00 am con una concentración de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido del segundo pico a las 9:30 am con una concentración de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el tercer pico a las 19:30 pm con una concentración de 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Material Particulado PM2,5 Principales vías en Catamayo

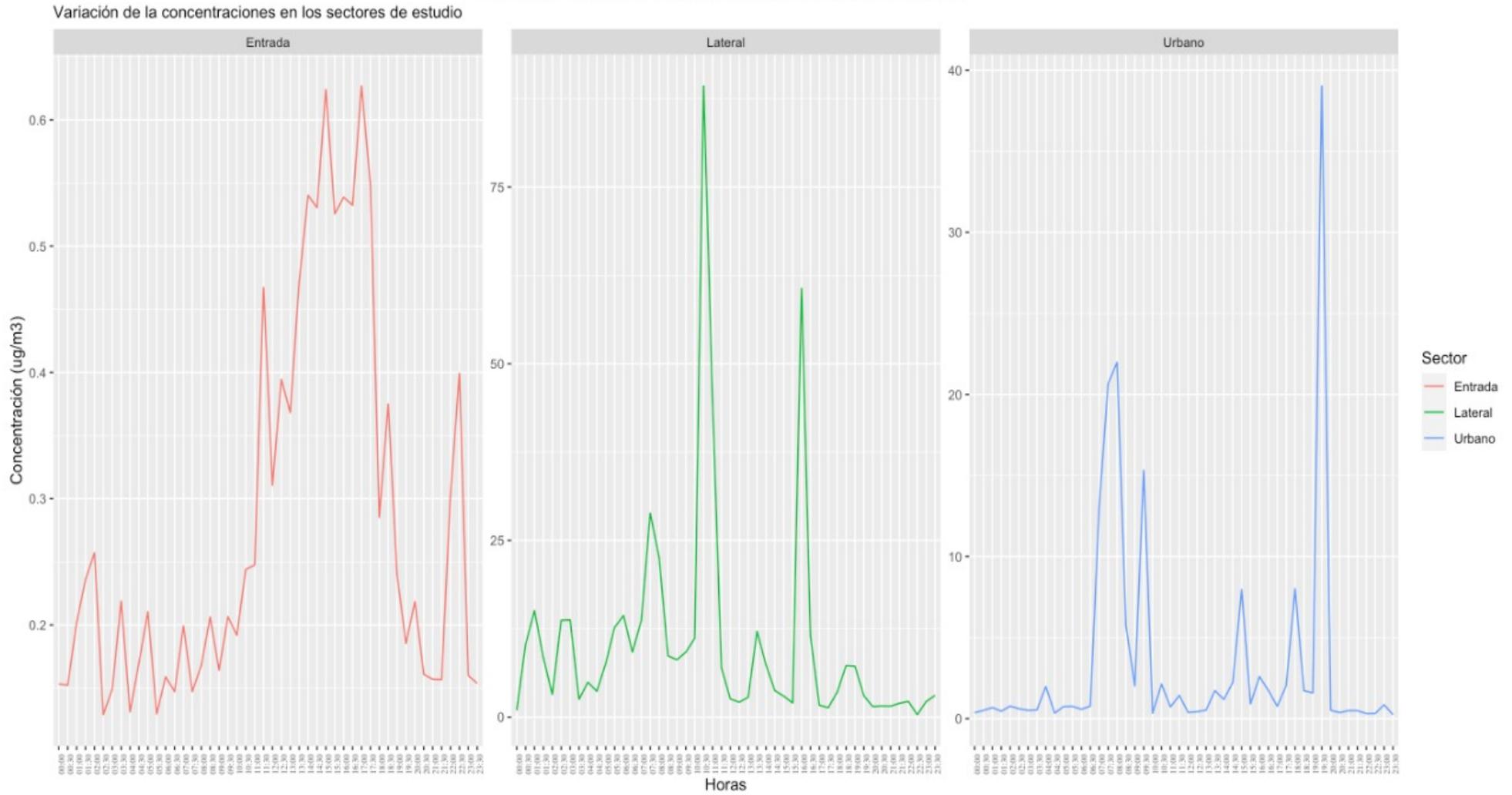
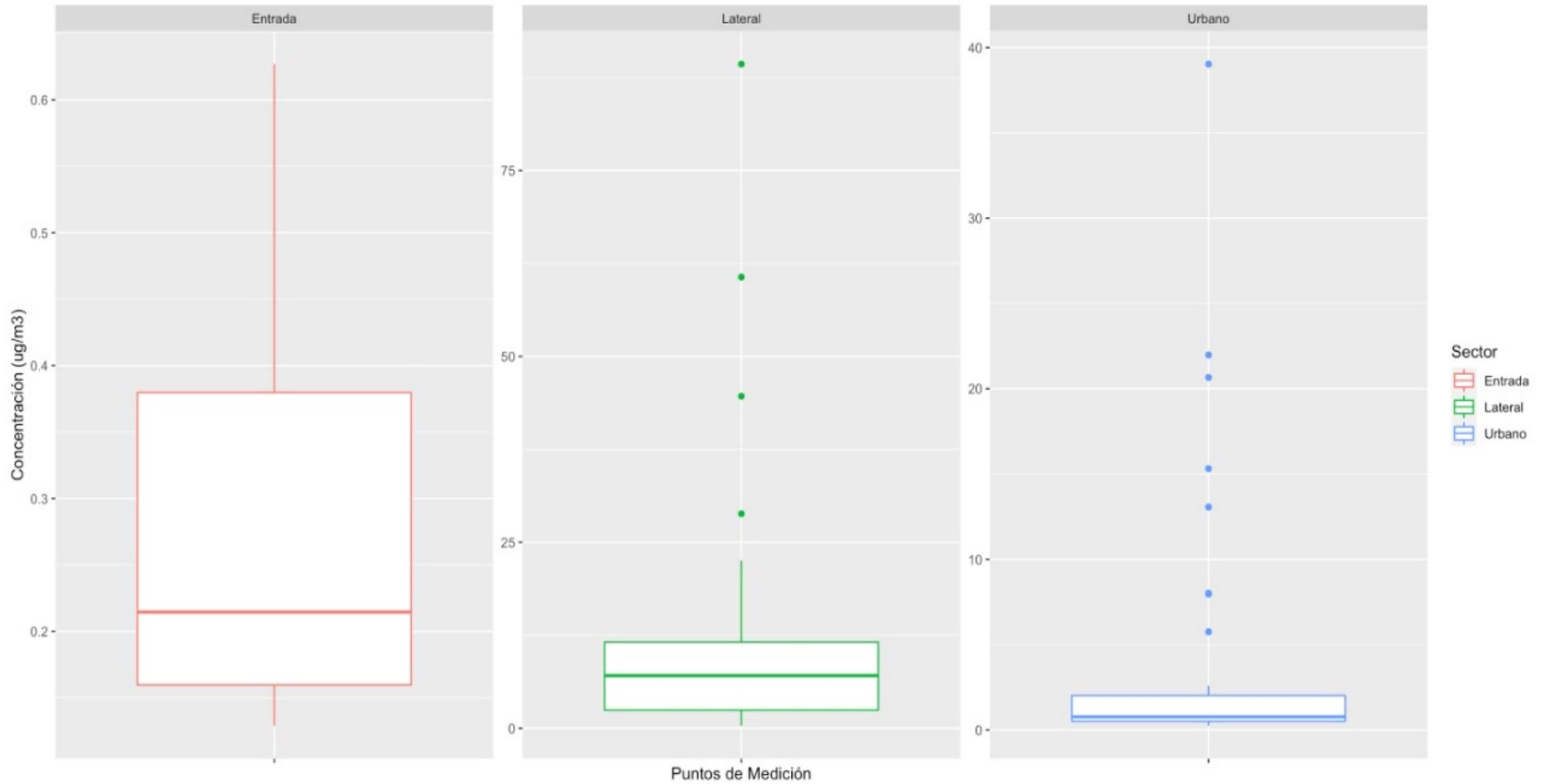


Figura 19. Variación de concentraciones de PM2,5 por horas, de los sectores de estudio.

En la Figura 20 se observan los diagramas de cajas y bigotes, basada en la estadística descriptiva, mostró la variación de las concentraciones de PM_{2,5} monitoreadas en cada punto de estudio, se denominan como: Entrada, Lateral y Urbano. Donde, el sector con mayor variabilidad de concentración de PM_{2,5} es en el sector Lateral, se observa que presenta una dispersión simétrica de las concentraciones y es mayor en relación a los sectores de Entrada y Urbano, el rango de concentración encontrada es de 86,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, presenta un valor mínimo de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de 87,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la mediana de las concentraciones de PM_{2,5} que se puede observar es de 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, también se observa que presenta valores atípicos, que son valores que se alejan de los datos; En cuanto al sector Urbano, presenta una distribución asimétrica positiva de las concentraciones, el rango de concentración encontrada es de 38,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, presenta un valor mínimo de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la mediana de las concentraciones de PM_{2,5} es de 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Finalmente, en el sector Entrada siendo uno de los puntos con menor presencia de concentración de partículas, se observa que presenta una distribución asimétrica positiva, su distribución es mejor, presenta un rango de concentraciones de 0,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor mínimo de 0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la mediana de las concentraciones de PM_{2,5} es de 0,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Material Particulado PM2,5 Principales vías en Catamayo
Variación de la concentraciones en los sectores de estudio



Fuente: Elaboración V.A.J. 2023

Figura 20. Diagrama de cajas de las variación de concentración de PM2,5 de los puntos de medición de los tres sectores de estudio.

En la Figura 21 se observan los tres sectores de estudio en función a los días monitoreados. En el sector Entrada se observa que el día 25 de febrero de 2022 presenta mayor concentración de material particulado PM_{2,5} con un valor de 0,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se encuentra dentro de los valores establecidos por la Norma de Calidad del Aire del TULSMA; En cuanto al sector Lateral el día con mayor concentración de PM_{2,5} es el día 17 de febrero de 2022 con un valor de 17,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que quiere decir que se encuentra dentro de los valores establecidos por la Norma de Calidad del Aire; Finalmente, en el sector Urbano se observa que la concentración más alta de PM_{2,5} es el 2 de febrero de 2022 con una concentración PM_{2,5} de 4,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el día, se encuentra dentro de los valores establecidos por la Norma de Calidad del Aire.

Material Particulado PM2,5 Principales vías en Catamayo

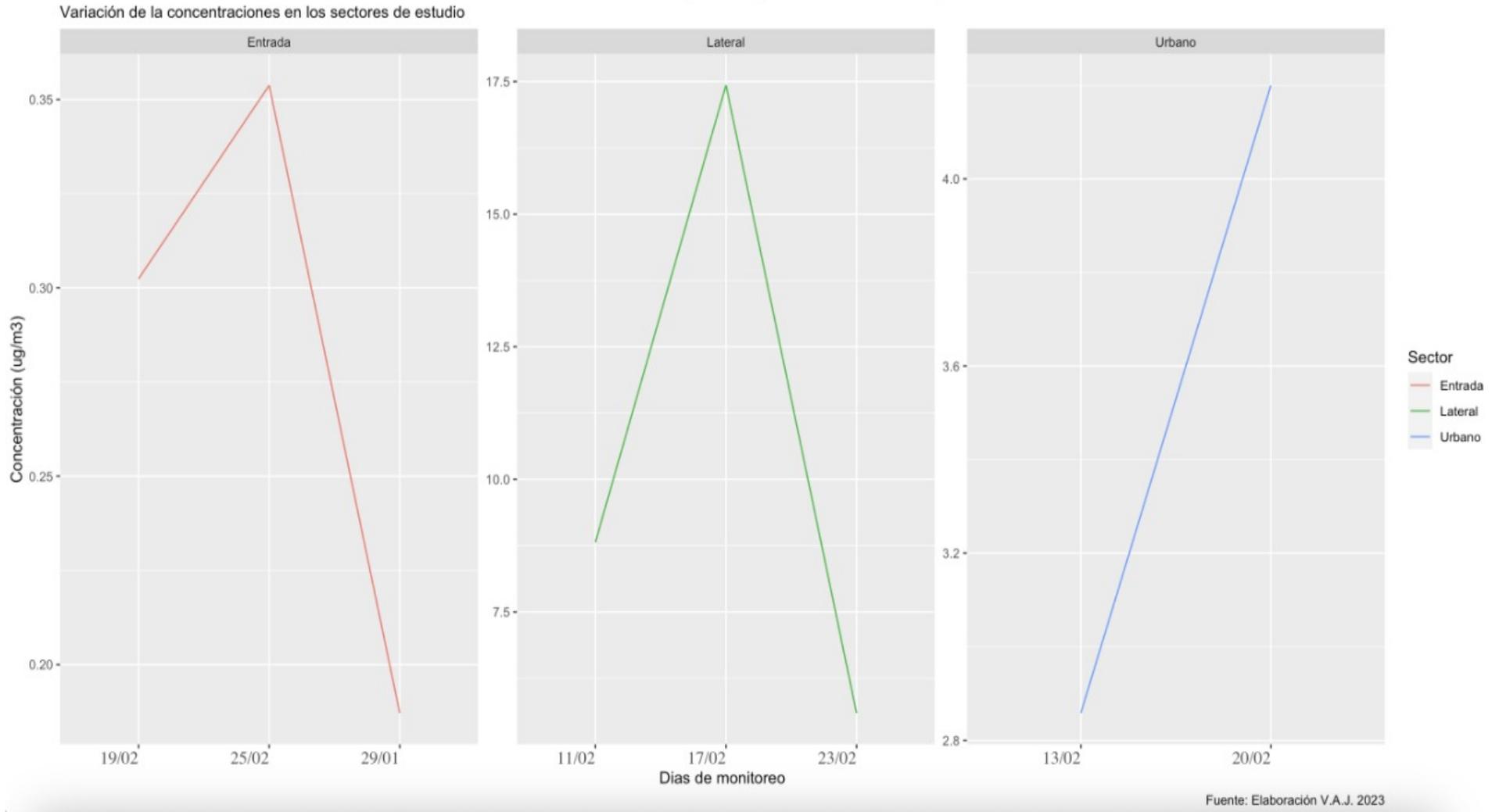


Figura 21. Concentración de PM2,5 por días de monitoreo, de los tres sectores de estudio

6.3. Análisis espacial de distribución de las concentraciones en las vías principales de la ciudad de Catamayo.

Con los resultados obtenidos del monitoreo de material particulado PM_{2,5} de las tres vías principales de la ciudad de Catamayo, se elaboró un mapa de distribución espacial, con el fin de conocer el comportamiento de las concentraciones de material particulado en los sectores de estudio.

En los mapas generados, se obtuvieron estimaciones de PM_{2.5} que mostraron concentraciones variables según el sector. Al analizar la distribución espacial de estos valores en la Figura 22, que representa los tres puntos correspondientes al primer monitoreo, se observa que el punto 3 presentó la mayor concentración de material particulado, con un valor promedio de $4,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 310 m. Este punto se encuentra en las calles Sucre y Circunvalación, corresponde a la tercera vía principal que une al cantón Gonzanamá con la ciudad de Catamayo. El punto 2 mostró una concentración de $3,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un radio de 300 m y está ubicado en la Av. Isidro Ayora y Sucre, pertenece a la segunda vía principal en dirección a la costa. Según la distribución de la concentración de PM_{2.5} en los sectores mencionados, se observa que son más elevados que en el punto 1, que registra una concentración de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 400 m, ubicado en la primera vía en dirección a Loja.

La distribución espacial de la concentración de material particulado PM_{2.5} durante el segundo monitoreo en los tres puntos, como se observa en la Figura 23, presentan las siguientes concentraciones: el punto 3, ubicado en las calles Sucre y Circunvalación, muestra la mayor concentración de material particulado, con un valor promedio de $23,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 445 m. En el punto 2, en la vía hacia la costa, se registra una concentración baja de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con un radio de 425 m, mientras que en el punto 1, en la vía hacia Loja, se presenta un valor de concentración más bajo de $3,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 489 m.

Finalmente, de acuerdo al tercer monitoreo, como se observa en la Figura 24, los puntos que registran la mayor concentración de material particulado son los siguientes: el punto 3, ubicado en las calles Sucre y Circunvalación, con un valor $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 675 m. En el punto 2, ubicado en la Av. Isidro Ayora y Sucre, se observa una concentración de $8,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 272 m, mientras que en el punto 1, que

corresponde al ingreso a la ciudad de Catamayo, la concentración de material particulado tiene un valor promedio de $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un radio de 354 m.

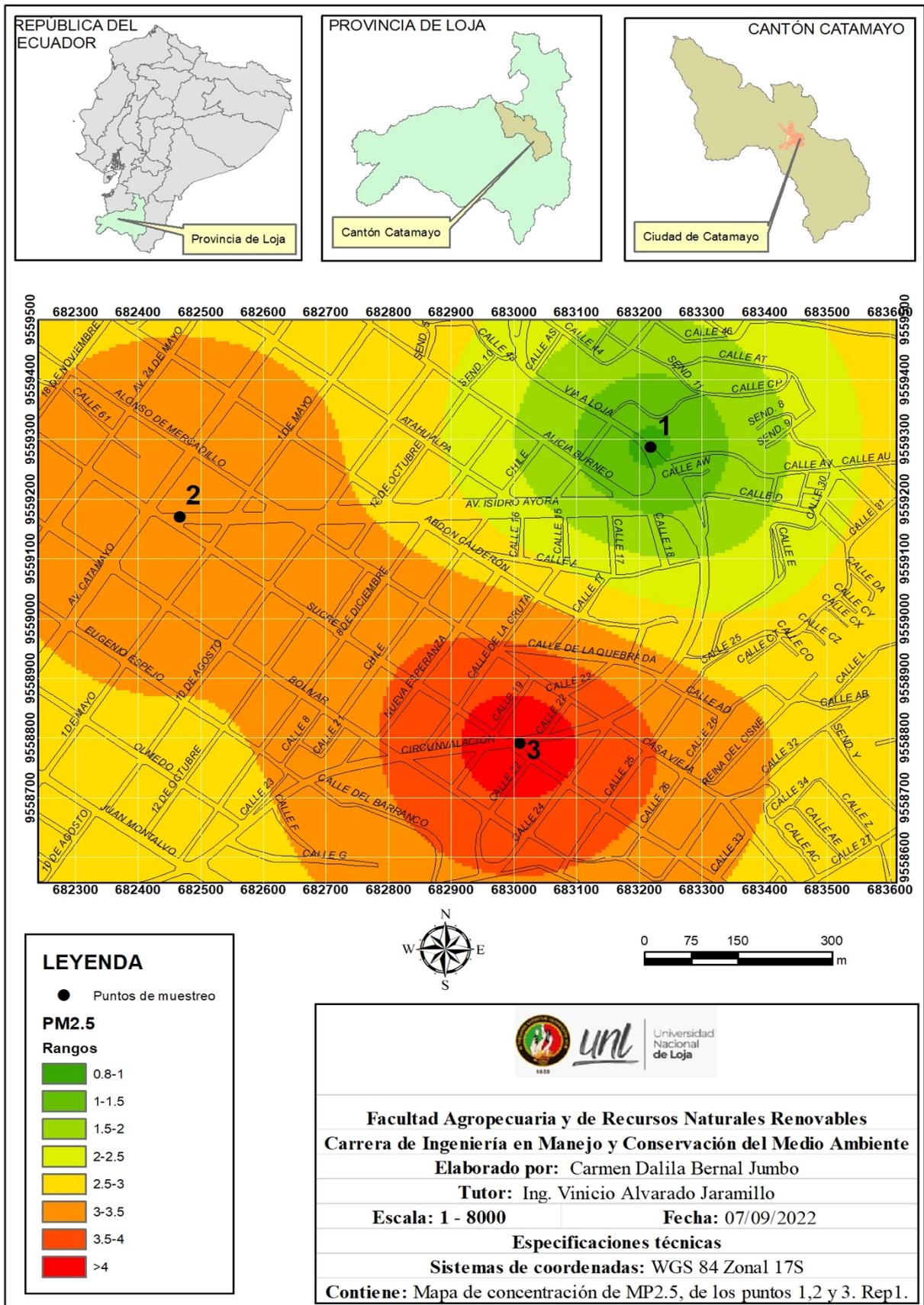


Figura 22. Primer monitoreo de PM_{2.5} en los tres sectores de estudio.

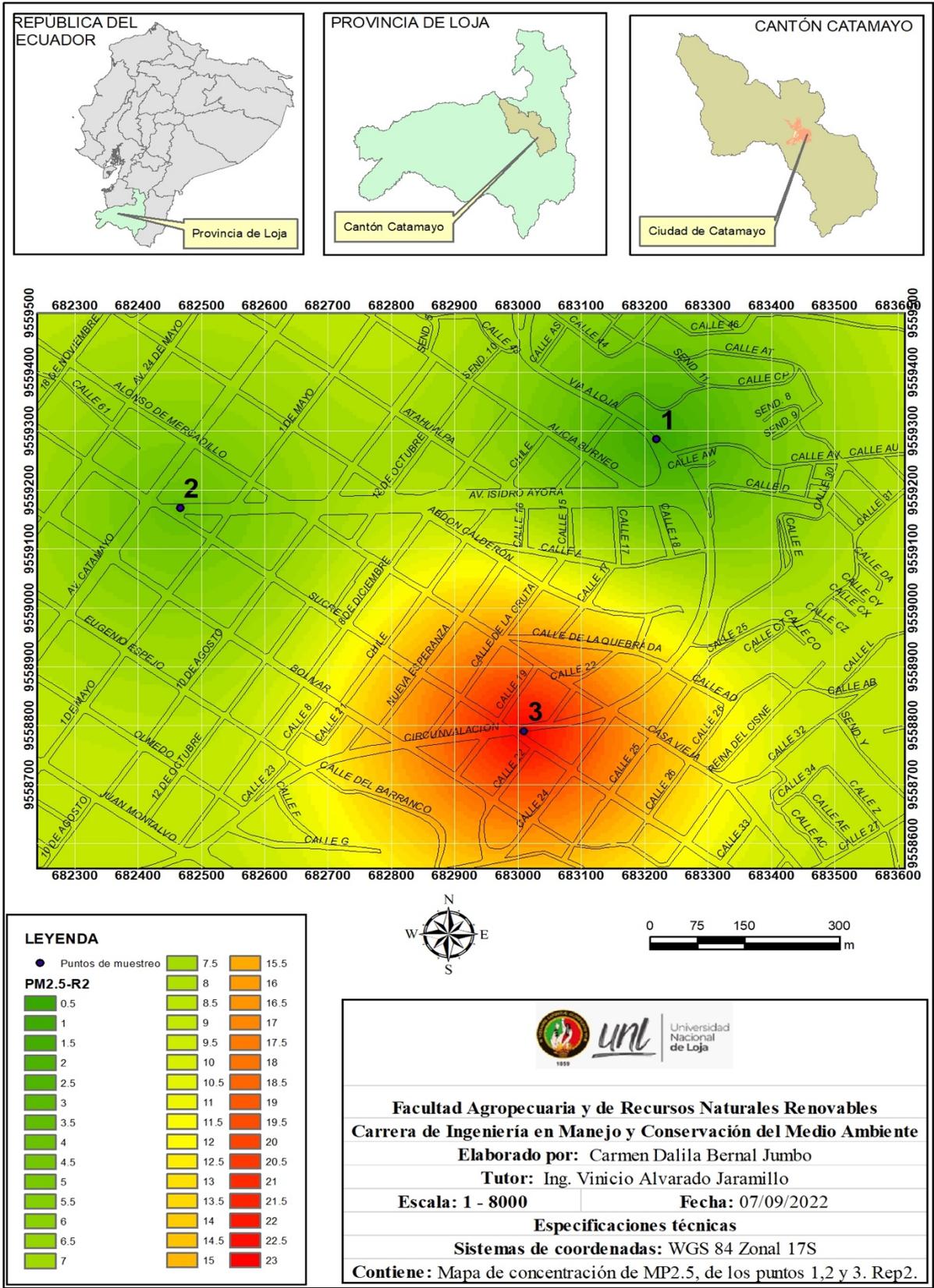


Figura 23. Segundo monitoreo de PM2,5 en los tres sectores de estudio.

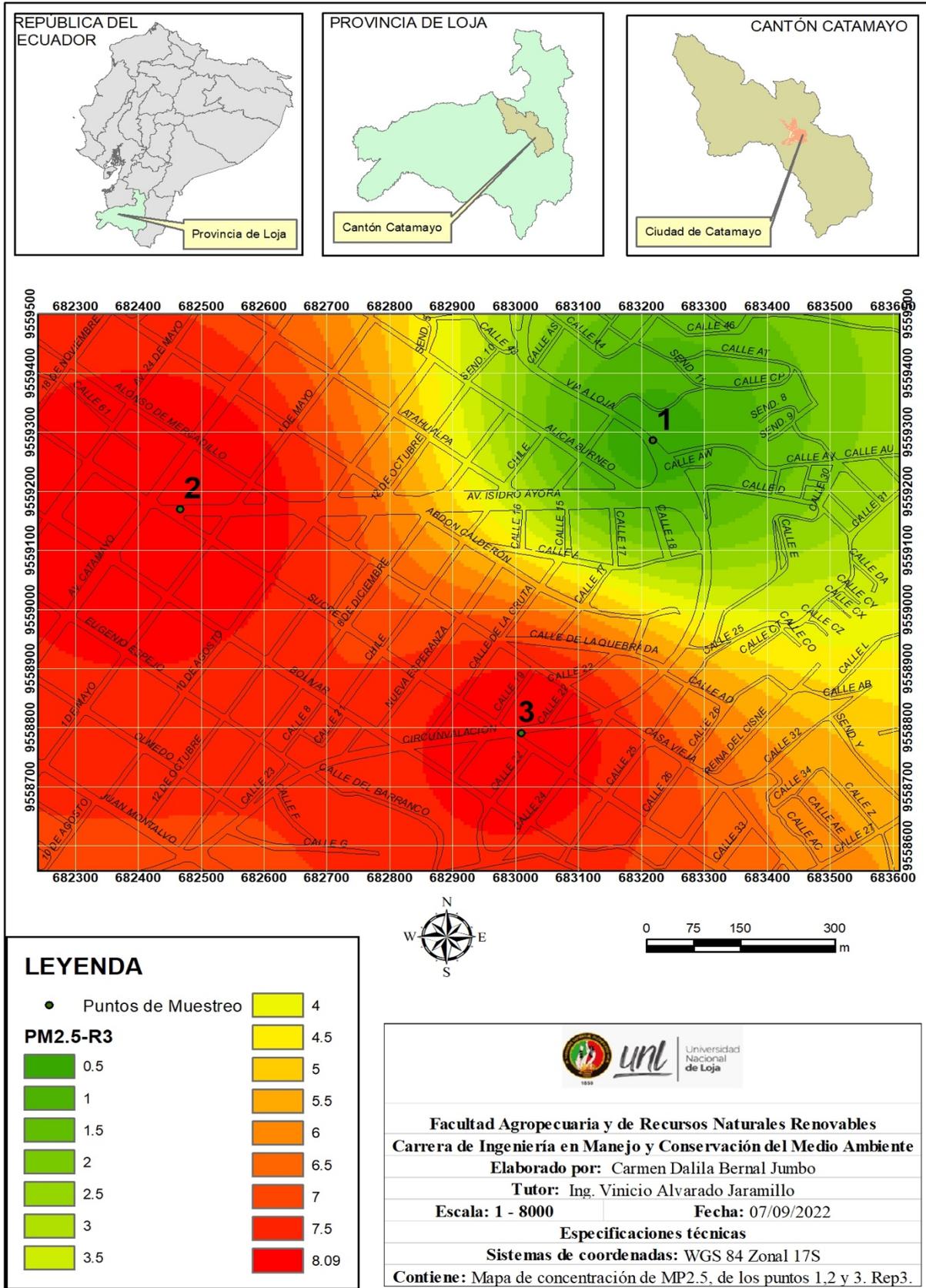


Figura 24. Tercer monitoreo de PM_{2,5} en los tres sectores de estudio.

7. Discusión

La investigación llevada a cabo posibilitó la determinación de que el flujo vehicular se ve afectado por el crecimiento en la cantidad de vehículos. Esto influye específicamente en el tráfico, los tiempos de viajes más largos, congestiones. Se evidenció que la frecuencia del flujo vehicular se ve mayormente afectada en las intersecciones que conectan con la ciudad de Catamayo por ejemplo, el redondel de ingreso a la ciudad, las intersecciones que unen a barrios y a rutas en dirección a otros cantones, intersecciones que desvían a los vehículos pesados.

Para analizar de cerca el comportamiento de los vehículos en cada punto designado, el método de conteo manual resultó eficaz para confirmar que todos los vehículos ingresan a la ciudad de Catamayo para dirigirse a diferentes destinos. La captura de imágenes de los vehículos resultó ser un factor importante en este estudio, permitiendo el registro de la placa del vehículo, dando a conocer que las vías principales de Catamayo son las vías arteriales para conectar con la Sierra, Costa y Amazonia. Se corroboró que las tres vías estudiadas tienen mayor impacto en otras provincias y cantones, evidenciando la necesidad de movilizarse a otros destinos del país con fines sociales, comerciales y educativos. También se observó que los vehículos de actividad agrícola son muy frecuentes en el sector urbano.

Los datos registrados en las planillas de conteo de vehículos, indican que las horas consideradas como horas pico se distribuyen en tres periodos específicos del día: de 8h00 a 9h30 am en la mañana, de 15h00 a 17h00 pm en la tarde y a las 19h30 pm en la noche. Este comportamiento tiende a ser más frecuente los fines de semana como los días jueves, sábados y domingos. En los tres periodos de tiempo, se corroboró que el flujo vehicular es más denso en ciertas horas de la mañana así como también de la tarde. Además, reveló que la Avenida Isidro Ayora Ecuador, específicamente en la segunda vía en el punto 4 denominado sector urbano, es por donde circulan mayor cantidad, alcanzando un total de 6 786 vehículos en el día. Esta situación se atribuye al crecimiento del parque automotor, una realidad inevitable en las ciudades. La necesidad de desplazarse hacia los lugares de trabajo, llevar a los niños a la escuela, utilizar vehículos como herramientas laborales, transportar materiales, realizar recorridos turísticos y servicios de recolección de basura contribuyen al aumento de la demanda de vehículos. Este fenómeno se agrava debido a

la falta de vías alternas que reduzcan el flujo vehicular en la ciudad, resultando en una concentración de tráfico cada vez mayor.

El flujo vehicular se ve directamente afectado por el volumen de vehículos que circulan a través de las intersecciones. Según (Miriam, 2017), las cantidades de vehículos exhiben diversos comportamientos, influidos tanto por las características geométricas y funcionales como por el sentido de circulación y la categoría de acceso o salida de cada intersección. En su estudio, Miriam evidenció que el ingreso desde una avenida promediaba alrededor de 27.608 vehículos, pero al momento de incorporarse a otra avenida, el volumen de los vehículos experimentaba un significativo aumento, alcanzando un promedio de 44,748 vehículos. En comparación con los hallazgos de esta investigación, se constata que las intersecciones tienden a generar un mayor tráfico.

De manera similar, se ha identificado que la dirección en la que circulan los vehículos desde el centro de la ciudad de Catamayo hacia diferentes destinos mantiene una relación directa con la frecuencia de los vehículos, la cual influye en la dispersión de material particulado en el aire, afectando diversas áreas superficiales. La movilidad constante de los vehículos en ciertos puntos de la ciudad de Catamayo, contribuye a que las partículas suspendidas afecten a espacios como domicilios, escuelas, negocios comerciales, producción de alimentos e incluso los huertos en las viviendas cercanas a las vías principales. De acuerdo con el estudio ambiental realizado por (Figuroa, 2019), se ha observado que las autoridades gubernamentales optan por la práctica de regar las calles con agua como medida para asentar el material suspendido y reducir el impacto de las partículas. Este estudio aborda diversos aspectos relacionados con la investigación, confirmando la presencia significativa de vehículos en la ciudad y el impacto en la sociedad.

Conforme menciona (Mohammadyan & Shabankhani, 2013), las vías principales de una ciudad son áreas donde se concentra una gran cantidad de tráfico vehicular y, por lo tanto, son propensas a tener niveles más altos de contaminación atmosférica. El monitoreo en estas áreas puede ayudar a identificar las fuentes de contaminación y establecer estrategias para reducir los niveles de PM 2,5 en el aire.

En esta investigación, se llevó a cabo el monitoreo de material particulado PM_{2,5} mediante la aplicación de sistemas automáticos de monitoreo continuo y sensores

automáticos. En tal sentido, en esta investigación haciendo uso del sensor Arduino se registró concentraciones de hasta $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado. Según el informe del (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2011), se establece que el promedio aritmético del monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Esto implica que los niveles registrados superan el límite máximo permitido por la autoridad ambiental. Específicamente, esta concentración elevada se observó en la tercera vía principal, donde se identificó una mayor presencia de partículas, alcanzando concentraciones de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre las 8h00 am y las 11h30 am, un periodo considerado como horas pico. Es importante destacar que durante este intervalo, la velocidad del viento fue baja, lo que contribuyó a la falta de dispersión de las partículas, acentuando aún más la concentración de partículas en el área. De acuerdo a lo que se observó, esta vía se encuentra en un sector que conecta el centro de la ciudad con algunos barrios. Además, en este sector se ubican estaciones de autobús que realizan varias paradas para recoger pasajeros, así como una variedad de negocios, incluyendo la producción de alimentos y cerrajerías. Se caracteriza también por la presencia de extensas áreas áridas y por ser la ruta principal de circulación para la mayoría de los vehículos. La constante actividad y movimiento en esta área evidencian la acumulación y dispersión de material particulado en este sector.

Un estudio reciente realizado por Yang et al. (2021) evaluó la concentración de PM 2.5 en una vía principal en la ciudad de Shenzhen, China, utilizando una combinación de sensores de partículas y estaciones de monitoreo fijo. Los resultados del estudio indicaron que la concentración de PM 2.5 en la vía principal fue alta durante todo el día, con niveles más altos durante las horas pico de tráfico. Además, se observó una variabilidad significativa en la concentración de PM 2.5 puede variar según el momento del día y el día de la semana.

Por otra parte, (Narvárez et al., 2020) señala que las concentraciones de PM2.5 están condicionadas al uso del suelo. Las mayores concentraciones en los sectores donde la actividad comercial y flujo vehicular son elevados, coincidiendo con lo manifestado por otros investigadores quienes afirman que la mayor frecuencia de exposición a contaminantes mutágenos ocurre en las ciudades con mayor intensidad de tráfico vehicular (Morales & Arias, 2013).

En concordancia con la investigación realizada por (Opazo, 2011), se destaca que las estaciones ubicadas en lugares muy altos registran los niveles más bajos de contaminación, siendo la altura un factor que influye en la determinación de las concentraciones de material particulado. En este contexto, se confirma que el punto ubicado en la primera vía principal (en dirección de Loja hacia Catamayo), que se encuentra a mayor altitud, muestra cantidades menores de material particulado, específicamente de $0,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, resultando ser una de las concentraciones más baja.

De acuerdo a un experimento realizado por (Pedro et al., 2010) revela que al incrementar la velocidad de los vehículos, también se incrementó la dispersión del material particulado y más se emitieron al aire y alcanzaron alturas mayores, de tal forma que llegan a posarse en varias superficies. Por otra parte, según la investigación de (Rodríguez et al., 2016) respecto al papel fundamental de los árboles como paneles recogedores de partículas corroboró que la presencia de estos disminuye la captación en estaciones de monitoreo, debido a que son característicamente eficaces para capturar partículas menores a $10 \mu\text{m}$ en vías de alto tráfico vehicular. Sin embargo, los árboles también pueden producir cierto tipo de partículas, como el polen, que limitan la dispersión de los contaminantes en el aire y por lo tanto, aumentan las concentraciones de contaminación local (Selmi et al., 2016) por ende, se asume que el resultado obtenido en el día pudo estar ampliamente influenciado por esta característica del reino vegetal. Finalmente, en relación a esta investigación y la realizada por parte de (Rodríguez et al., 2016), se comprueba que existe un mayor grado de contribución de emisiones de contaminantes en el aire provenientes por vehículos los días hábiles, así como también, se evidenció que las personas que laboran cerca de estas vías de alto tráfico vehicular durante ocho horas son más propensas a respirar mayor dosis de partículas, específicamente en el hombre debido a su mayor capacidad pulmonar lo que conlleva a presentar cáncer pulmonar.

Con respecto al análisis de distribución espacial de $\text{PM}_{2,5}$, la contaminación está relacionada directamente con los vehículos automotores como fuente de emisión (Orozco & Bayas, 2021). Con el propósito de evidenciar la existencia de la contaminación del aire, el presente estudio se ha propuesto utilizar la interpolación Kernel. Siendo así que, permite obtener una relación estadística entre las características del sector y las concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ medidas mediante un equipo móvil y en un número

determinado de sitios. Por consiguiente, se pudo conocer la concentración de PM 2,5 en las tres vías principales de la ciudad de Catamayo, donde se observaron en los puntos 2 y 3 ubicados en el sector urbano y lateral respectivamente, que cuentan con valores promedios de $23,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Determinaron que los focos de emisión son de escala local, con radios que alcanzan los 489 m, sin embargo al presentar este valor no quiere decir que esté por encima de los límites permisibles estipulados por la autoridad ambiental y en lo propuesto por la (World Health Organization, 2005).

Finalmente, en la investigación de (Paguay, 2020), la relación para poder elaborar estos mapas tiene que ver con factores climáticos y topográficos, de esta manera se puede realizar una aproximación a los efectos que tienen sobre la salud la constante emisión por parte de la actividad industrial, para tomar medidas adecuadas frente a la elaboración de planes de contingencia en la ciudad o comunidades, como también de planificación para crear vías alternas y crear alternativas que involucren la participación ciudadana para controlar las emisiones de contaminantes al aire.

8. Conclusión

- La investigación revela que el aumento en la cantidad de vehículos tiene un impacto directo en el flujo vehicular de Catamayo, con consecuencias notables en el tráfico, los tiempos de viaje y la congestión. Las intersecciones clave, especialmente en el redondel de ingreso y aquellas que conectan con barrios y rutas hacia otros cantones, son particularmente afectadas. Según el registro en planilla, se estima que alrededor de 5 355 vehículos circulan diariamente, con horas de mayor afluencia entre las 08h00 am, 11h00 am, 12h30pm, 15h00 pm y 18h00 pm. Además, se destaca que el tipo de combustible predominante es el diésel.

La implementación del sensor Arduino en el monitoreo de material particulado determinó que en el sector lateral del área de estudio presenta concentraciones que sobrepasan lo establecido por la autoridad ambiental, como de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el sector urbano mantiene concentraciones con valores aproximados a los límites permisibles, en cuanto al sector entrada presenta menor cantidad de concentración de material particulado.

- En esta investigación, se registró una oscilación de la temperatura entre 24°C y $34,9^\circ\text{C}$, con la velocidad del viento alcanzando un máximo de $7,4 \text{ m/s}$. Los resultados indican claramente que el material particulado presente afecta diversas áreas superficiales, incluyendo domicilios, escuelas, negocios y huertos. La distribución espacial reveló una relación entre el comportamiento de la dispersión del material particulado y la densidad en el sector urbano y lateral del área de estudio. La aplicación de la función Kernel del programa QGis fue eficaz para obtener interpolaciones gráficas, demostrando concentraciones más altas de partículas en el sector lateral de la tercera vía en comparación con los de la primer vía, según los mapas de calor generados.

9. Recomendaciones

- Es importante realizar estudios de monitoreo continuo de las concentraciones de PM 2,5 en las vías principales de una ciudad, puede ayudar a garantizar que se mantengan niveles adecuados de calidad del aire y a promover la salud pública en general. Además, se puede dar continuación a la investigación donde se logre llevar periódicamente el registro de la concentración de material particulado.
- Establecer acuerdos con las autoridades gubernamentales para la construcción de vías alternas que permitan reducir la cantidad de vehículos por un mismo sitio, así como controlar varias actividades a cielo abierto que generan partículas que contaminan el aire y por ende afectan a la salud.
- Buscar alternativas viables para que fomenten la participación de los moradores y líderes barriales, para controlar la cantidad y concentración de material particulado en las distintas superficies. Además, es importante tomar medidas de precaución al estar expuestos a altas concentraciones de material particulado y utilizar equipos de protección adecuados.

10. Referencias

- ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (2017). *Lotaip 5 - Ley Sistema Nacional De Infraestructura Vial Transporte Terrestre*. 14.
https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/LOTAIP_5_LEY-DE-INFRAESTRUCTURA.pdf
- Calla, L., & Luján, M. (2017). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(3), 322–353. <https://bit.ly/2RfHumh>
- Chávez, J., Castro, J., & Pulgar, M. (2014). Protocolo Nacional de Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones - CEMS. *Ministerio Del Ambiente*, 1, 1–92.
<https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/91/BIV01748.pdf?sequence=1>
- DEUMAN. (1997). Plan de monitoreo de la calidad del aire. *DEUMAN and WALSH*, 1–35.
<https://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/2005/lineabaseambiental/capitulo3.pdf>
- Díaz, V., & Páez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Acta Nova*, 3, 308–322.
- Figuroa, G. (2019). Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Catamayo. Actualización 2019-2023. *Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Catamayo*, 1, 440. <https://catamayo.gob.ec/wp-content/uploads/2021/01/BORRADOR-OFICIAL-PDOT-CATAMAYO.pdf>
- Gualpa, R. (2018). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE. *Departamento Académico de Graduación*, 1–88.
- Herrera, D. M. L. (2019). Evaluación del potencial de la vegetación para retención de polvo sedimentable en la zona urbana de la ciudad de Loja. *[Tesis de Grado]*.
[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22048/1/Dennis Mishell Luzuriaga Herrera.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22048/1/Dennis%20Mishell%20Luzuriaga%20Herrera.pdf)
- INE. (2010). Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire. *Connect*, 1–43.

- INEN. (2012). *Clasificación vehicular. 1*, 1–15.
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2656.pdf>
- MAE. (2015). Texto unificado legislación secundaria de medio ambiente. Registro Oficial Edición Especial 2. *Ministerio Del Ambiente Del Ecuador*, 402–415.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>
- Maldonado, M. J. (2012). Caracterización del material particulado suspendido PM10 de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por Espectroscopía de Absorción Atómica. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR*, 1–94.
- MINAM. (2019). Protocolo Nacional De Monitoreo De La Calidad Ambiental Del Aire. In *Ministerio del Ambiente* (p. 102).
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2011). *Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmision*. (pp. 1–16). <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/Acuerdo-50-NCA.pdf>
- Miriam, F. (2017). *Maestría En Tránsito, Transporte Y Seguridad Vial*. 30.
<http://201.159.222.99/bitstream/datos/6427/1/12566.pdf%0Ahttp://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7507>
- Mohammadyan, M., & Shabankhani, B. (2013). Indoor PM1, PM2.5, PM10 and outdoor PM2.5 concentrations in primary schools in sari, Iran. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 64(3), 371–377. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-64-2013-2346>
- Morales, T., & Arias, J. (2013). Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321729206008>. *Luna Azul*, 37, 13.
- Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J., & Sotomayor Mendoza, A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *Inventum*, 16(30), 20–30.
<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.20-30>
- Narváez, M., Astudillo, A., García, N., Moscoso, D., Mejía, D., Vásquez, P., Maza, D., & Bailón, N. (2020). *Efecto Genotóxico del material particulado PM2.5 recolectado en la zona urbana de Cuenca - Ecuador sobre la línea celular de ovario de hámster chino CHO-K1*. 11–16.

- Niland, N., Pearce, A. P., Naumann, D. N., O'Reilly, D., Series, P. B., Sataloff, R. T., Johns, M. M., Kost, K. M., Orsini, R. J., Medicine, T., Kalkman, J. P., Sataloff, R. T., Johns, M. M., Kost, K. M., Maiti, Bidinger, Assistance, H., Mitigate, T. O., Eroukhmanoff, C., & Licina, D. (2020). DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE PARTÍCULAS PM2.5 EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. *Global Health*, 167(1), 1–5. <https://www.e-ir.info/2018/01/14/securitisation-theory-an-introduction/>
- Opazo, D. (2011). *Distribución espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009*. 1–135.
- Orozco, J., & Bayas, K. (2021). *Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba*. 4(2), 111–126.
- Paguay, F. (2020). *Tesis Material Particulado*.
- Pedro, J., Márgez, F., Sukla, M. K., Wang, J., & Arratia, C. H. (2010). *CAMINOS AGRÍCOLAS NO PAVIMENTADOS Particulate Matter Dispersed by Vehicles Running on Agricultural Unpaved Roads*. 23–34.
- Pérez Maquieira, F. (2018). *Integración y Test de Módulos de Medición de Partículas PM2.5 y PM10 para Valoración de la Calidad del Aire*. 138. <http://oa.upm.es/50268/>
- Pirantika, A., & Purwanti, R. S. (2017). Efecto de la contaminación ambiental por Material Particulado PM2,5 en el desarrollo psicomotor en niños menores de 5 años en dos Jardines infantiles en Bogotá en el año 2017. *Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 87(1,2), 149–200.
- Represa, S. (2011). *MODELOS DE DISPERSIÓN PARA FUENTES LINEALES: Estudio de un caso*. *Universidad Nacional de La Plata, January 2011*. https://www.researchgate.net/publication/317887286_Modelos_de_dispersion_para_fuentes_lineales_Estudio_de_caso
- Reyes, O. E., Camacho, E. J., Pachar, E., Guzman, S. J., Quizhpe, G. F., & Bustillos, D. P. (2019). PDOT-CATAMAYO. *Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Catamayo(2019-2023)*, 5(3), 1–417.
- Rodríguez, R. R., Yuleisy, R., & Blanco, P. N. (2016). *Nivel de exposición personal a*

material particulado inhalable PM 2.5 proveniente de vías de alto tráfico vehicular de la ciudad de Barranquilla. 1–103.

[https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/290/1045717701 - 1140868213.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/290/1045717701-1140868213.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Selmi, W., Weber, C., Rivière, E., Blond, N., Mehdi, L., & Nowak, D. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry and Urban Greening*, 17(2), 192–201.

<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>

Tordesillas, C., & Ant, M. G. (2008). *Highway- Urban Planning . Some Keys of the Historical Evolution of an Imperfect Relation.* 11, 33–51.

Universidad Veracruzana. (2013). *Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1 . 8.* 1–45.

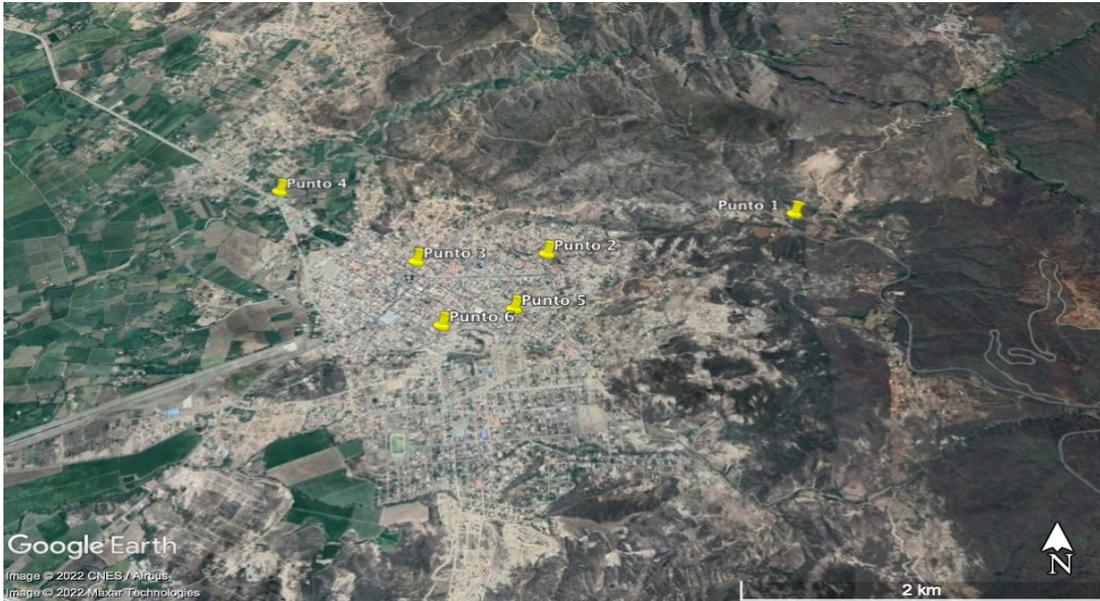
<https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>

World Health Organization. (2005). Actualización mundial 2005. *Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre Actualización*, 5(1), 1–21.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1

11. Anexos

Anexo 1. Identificación de los puntos para conteo de vehículos



Anexo 2. Conteo manual de vehículos y uso de dispositivo electrónico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA													
Estado del pavimento:		Estado del tiempo:											
VEHICULOS LEVANTES		VEHICULOS PESADOS DE PASAJEROS											
VEHICULOS PESADOS DE CARGA		TOTAL											
Inicio	Fin	Autobús	Camión										
8:30	9:30											16	71
9:30	10:30											22	107
10:30	11:30											30	133
11:30	12:30											25	123
12:30	13:30											13	119
13:30	14:30											24	111
14:30	15:30												23
TOTAL:													

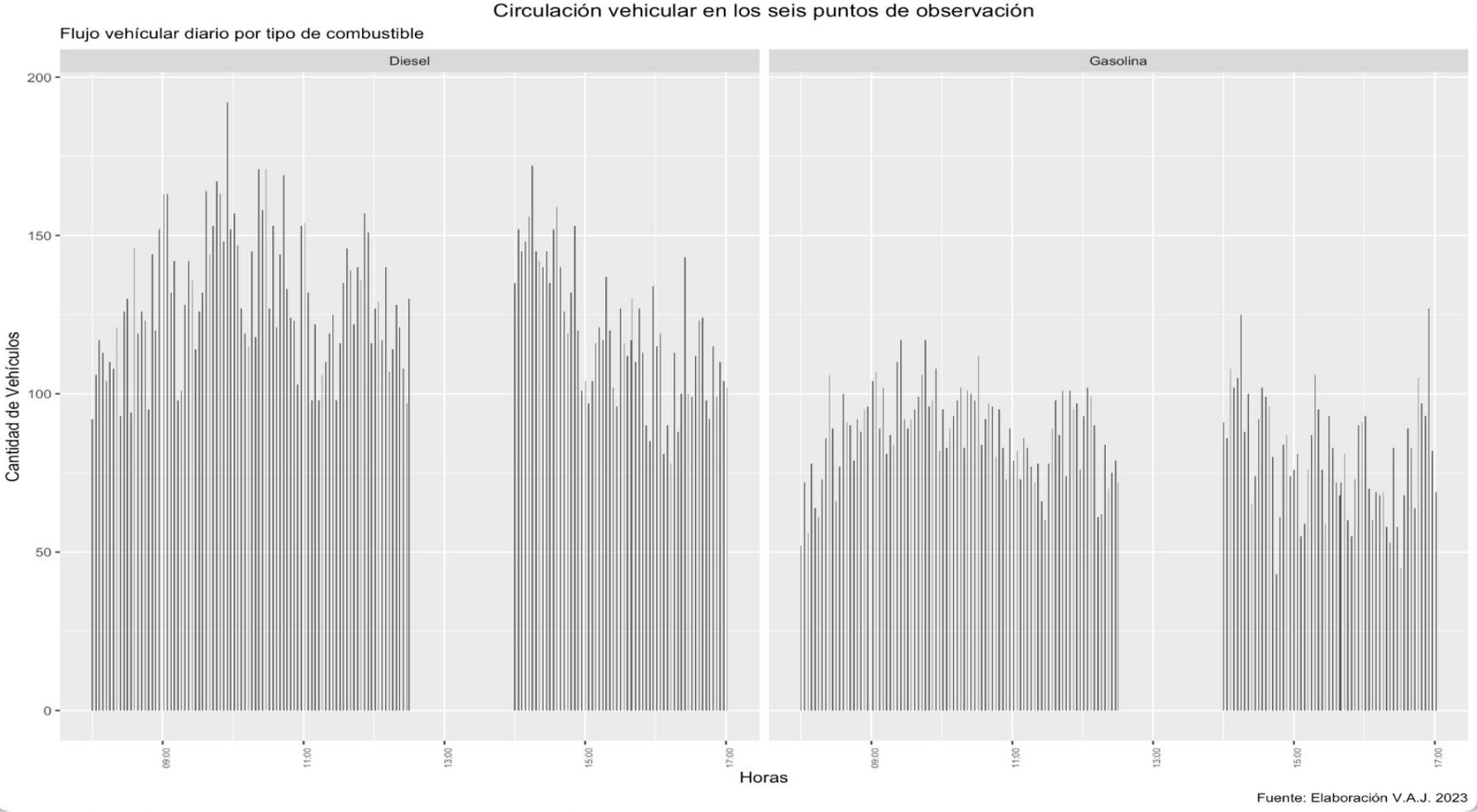


Anexo 3. Registro de datos obtenidos del conteo vehicular en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Fecha	Mes	Hora	Punto	Tipo	Combustible	VehCL	VehNL	TotalVeh	Temperatura	Ppp	WS m/s	Dirección V	Húmedad	
2	25/11/21	11	8:00	Punto 1	Ulviano	Gasolina	3	2	5	22	2	5.6	3	68%	
3	25/11/21	11	8:00	Punto 1	Ulviano	Diesel	3	1	4	22	2	5.6	3	68%	
4	25/11/21	11	8:00	Punto 1	Pesado	Diesel	1	1	2	22	2	5.6	3	68%	
5	25/11/21	11	8:03	Punto 1	Ulviano	Gasolina	2	1	3	22	2	5.6	3	68%	
6	25/11/21	11	8:03	Punto 1	Ulviano	Diesel	3	1	4	22	2	5.6	3	68%	
7	25/11/21	11	8:03	Punto 1	Pesado	Diesel	1	2	3	22	2	5.6	3	68%	
8	25/11/21	11	8:06	Punto 1	Ulviano	Gasolina	3	0	3	22	2	5.6	3	68%	
9	25/11/21	11	8:06	Punto 1	Ulviano	Diesel	2	1	3	22	2	5.6	3	68%	
10	25/11/21	11	8:06	Punto 1	Pesado	Diesel	1	1	2	22	2	5.6	3	68%	
11	25/11/21	11	8:09	Punto 1	Ulviano	Gasolina	2	2	4	22	2	5.6	3	68%	
12	25/11/21	11	8:09	Punto 1	Ulviano	Diesel	3	2	5	22	2	5.6	3	68%	
13	25/11/21	11	8:09	Punto 1	Pesado	Diesel	1	2	3	22	2	5.6	3	68%	
14	25/11/21	11	8:12	Punto 1	Ulviano	Gasolina	5	4	9	22	2	5.6	3	68%	
15	25/11/21	11	8:12	Punto 1	Ulviano	Diesel	4	2	6	22	2	5.6	3	68%	
16	25/11/21	11	8:12	Punto 1	Pesado	Diesel	3	2	5	22	2	5.6	3	68%	
17	25/11/21	11	8:15	Punto 1	Ulviano	Gasolina	1	3	4	22	2	5.6	3	68%	
18	25/11/21	11	8:15	Punto 1	Ulviano	Diesel	3	4	7	22	2	5.6	3	68%	
19	25/11/21	11	8:15	Punto 1	Pesado	Diesel	1	0	1	22	2	5.6	3	68%	
20	25/11/21	11	8:18	Punto 1	Ulviano	Gasolina	3	5	8	22	2	5.6	3	68%	
21	25/11/21	11	8:18	Punto 1	Ulviano	Diesel	5	4	9	22	2	5.6	3	68%	
22	25/11/21	11	8:18	Punto 1	Pesado	Diesel	2	0	2	22	2	5.6	3	68%	
23	25/11/21	11	8:21	Punto 1	Ulviano	Gasolina	4	4	8	22	2	5.6	3	68%	
24	25/11/21	11	8:21	Punto 1	Ulviano	Diesel	2	2	4	22	2	5.6	3	68%	
25	25/11/21	11	8:21	Punto 1	Pesado	Diesel	4	2	6	22	2	5.6	3	68%	
26	25/11/21	11	8:24	Punto 1	Ulviano	Gasolina	5	3	8	22	2	5.6	3	68%	
27	25/11/21	11	8:24	Punto 1	Ulviano	Diesel	3	0	3	22	2	5.6	3	68%	
28	25/11/21	11	8:24	Punto 1	Pesado	Diesel	2	1	3	22	2	5.6	3	68%	
29	25/11/21	11	8:27	Punto 1	Ulviano	Gasolina	3	7	10	22	2	5.6	3	68%	
30	25/11/21	11	8:27	Punto 1	Ulviano	Diesel	5	5	10	22	2	5.6	3	68%	
31	25/11/21	11	8:27	Punto 1	Pesado	Diesel	2	5	7	22	2	5.6	3	68%	
32	25/11/21	11	8:30	Punto 1	Ulviano	Gasolina	3	6	9	22	2	5.6	3	68%	
33	25/11/21	11	8:30	Punto 1	Ulviano	Diesel	4	8	12	22	2	5.6	3	68%	
34	25/11/21	11	8:30	Punto 1	Pesado	Diesel	3	1	4	22	2	5.6	3	68%	

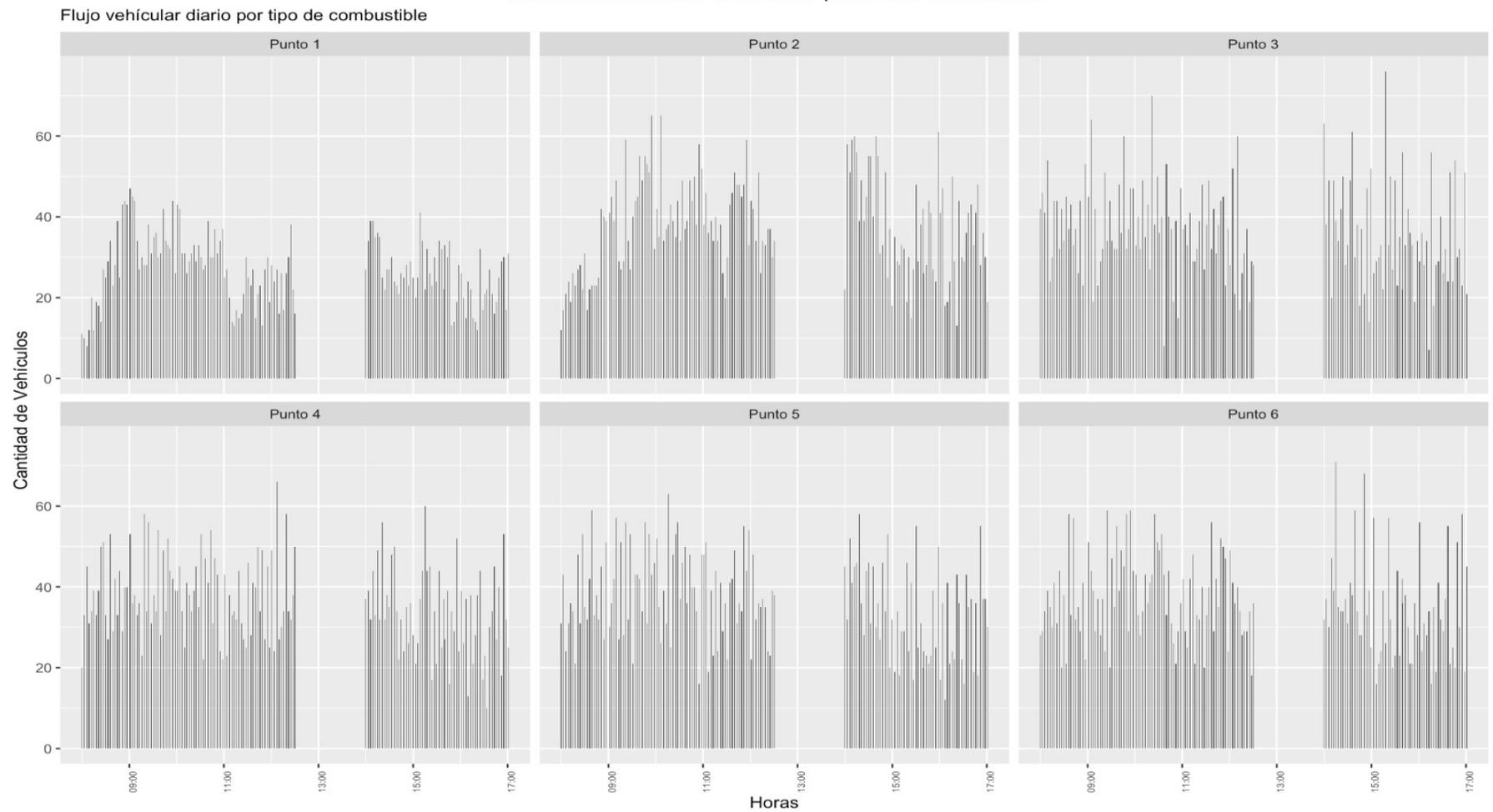
	A	B	Barra de fórmulas		D	E	F	G	H	I
1	Placa	Provincia/C	Tipo_P	Color_P	Año	Marca	Modelo	Clase	País	
2	GSX-9952	Guayaquil	Uso particular	verde	2018	CHEVROLET	SPARK GT FULL AC 1.2 5P 4X2 TM	Automovil	Colombia	
3	XAH-0837	Latacunga	Uso particular	rojo	2006	TOYOTA	YARIS TAXI	Automovil	Japon	
4	LBB-6224	Catamayo	Alquiler	blanco-verde	2014	CHEVROLET	D-MAX CRDI 3.0 CD 4X2 TM DIESEL	Camioneta	Ecuador	
5	TBA-5674	Paltas	Uso particular	Plateado	2010	HYUNDAI	GETZ SP 1.4 AC	Automovil	Corea del Sur	
6	lBB-1224	Olmedo	Uso particular	Dorado	2012	CHEVROLET	AVEO ACTIVO 1.6L 4P AC	Automovil	Ecuador	
7	QAB-0182	Catamayo	Uso particular	Plateado	2009	CHEVROLET	AVEO ACTIVO 1.6L 4P AC	Automovil	Ecuador	
8	LCK-0836	Catamayo	Uso particular	Blanco	2008	TOYOTA	ETT HILUX 4X2 CD	Camioneta	Tailandia	
9	PCD-3012	Quito	Alquiler	Blanco	2013	CHEVROLET	NPR 75L-HL5VAVCLN CAMION 5.2 2P 4X2 TM DIESEL	Camioneta	Japon	
10	TAT-0534	Olmedo	Uso particular	Crema	2005	HYUNDAI	ACCENT 4DR 1.6	Automovil	Corea del Sur	
11	PBC-7966	Catamayo	Uso particular	Plateado	2011	HYUNDAI	TUCSON IX GL 5P 4X2 2.0 TM AC	JEEP	Corea del Sur	
12	LBA-2384	Catamayo	Uso particular	Plomo	2010	TOYOTA	BRT HILUX 4X4 CD SR	Camioneta	Tailandia	
13	LA-2443	Catamayo	Alquiler	Blanco-amarillo	2016	HINO	AK8JRSA 7.7 4X2 TM DIESEL	Omnibus	Japon	
14	CBN-0581	Espindola	Uso particular	Rojo	2007	CHEVROLET	CORSA EVOLUTION 4P 1.4 STD ACTIVO	Automovil	Ecuador	
15	LEI-1223	Loja	Uso particular	Blanco	2015	HINO	XZU710L-HKFM13 AC 4.0 2P 4X2 TM DIESEL	Camion	Colombia	
16	PBN-3552	Olmedo	Uso particular	Plateado	2013	CHEVROLET	LUV D-MAX TM 3.0 4X4 DIESEL CD EXTREME	Camioneta	Ecuador	
17	LBB-4594	Catamayo	Uso particular	Plomo	2013	CHEVROLET	GRAND VITARA STD TM 2.0 5P 4X2	JEEP	Ecuador	
18	LBA-2478	Paltas	Uso particular	Plomo	2010	SUZUKI	GRAND VITARA SZ 2.0L 5P TM 4X2	JEEP	Ecuador	
19	LBC-7124	Calvas	Uso particular	Plateado	2019	JAC	HFC1037DKST LUXURY AC 1.9 CD 4X4 TM DIESEL	Camioneta	China popular	
20	PBZ-1830	Catamayo	Uso particular	Blanco	2013	CHEVROLET	LUV D-MAX TM 3.0 4X4 DIESEL CD EXTREME	Camioneta	Ecuador	
21	PBN-6401	Catamayo	Uso particular	Plateado	2011	HYUNDAI	ACCENT 4D 1.6	Automovil	Corea del Sur	
22	ABD-8567	Cuenca	Uso particular	Blanco	2013	TOYOTA	ETT HILUX 4X2 CD TM 2.7 4P	Camioneta	Tailandia	
23	PCA-8848	Puyango	Uso particular	Vino	2012	CHEVROLET	LUV D-MAX 3.0L DIESEL CD TM 4X4 EXTREME	Camioneta	Ecuador	
24	ABC-6492	Loja	Uso particular	Negro	2012	KIA	SPORTAGEL	Camioneta	Ecuador	
25	GTA-6792	AL ANTONIO EL	Uso particular	Blanco	2022	SITRAK	T7H Z24257V324HC18 AC 10.5 2P 6X4 TM DIESEL	Trailer	China popular	
26	PCE-1125	Calvas	Alquiler	Amarillo	2013	HYUNDAI	ACCENT TM 1.6 4P 4X2 STD	Automovil	Corea del Sur	
27	LBB-2046	Catamayo	Uso particular	Plomo	2012	CHEVROLET	LUV D-MAX 2.5L DIESEL CS TM 4X2 OPTIMA	Camioneta	Ecuador	
28	GSX-1256	Catamayo	Uso particular	Blanco	2018	GREAT WALL	WINGLE AC 2.8 CD 4X2 TM DIESEL	Camioneta	Ecuador	
29	LBA-2069	Catamayo	Uso particular	Plomo	2010	MAZDA	BT-50 CD 4X2 STD GAS 2.2 FL	Camioneta	Ecuador	
30	LBA-8983	Catamayo	Uso particular	Rojo	2011	CHEVROLET	AVEO ACTIVO 1.6L 5P STD	Automovil	Ecuador	
31	LBB-3480	Catamayo	Uso particular	Blanco	2013	HINO	XZU413L-HKMQD3 TM 4.0 2P 4X2	Camion	Colombia	

Anexo 4. Datos de flujo vehicular por tipo de combustible en RStudio



Anexo 5. Datos de flujo vehicular diario por tipo de combustible en RStudio

Circulación vehicular en los seis puntos de observación



Fuente: Elaboración V.A.J. 2023

Anexo 6. Colocación del sensor Arduino en los sitios de estudio



Anexo 7. Registro de datos de las concentraciones de PM2.5 tomados por el sensor Arduino

	A	B	C		A	B	C
1	Date	PM2_5	Sector	43136	2022-02-1707:28:19	0	Lateral
2	2022-01-2911:38:36	0,365	Entrada	43137	2022-02-1707:28:24	0,565	Lateral
3	2022-01-2911:38:42	0,07	Entrada	43138	2022-02-1707:28:31	0	Lateral
4	2022-01-2911:38:48	0	Entrada	43139	2022-02-1707:28:37	0	Lateral
5	2022-01-2911:38:54	0,04	Entrada	43140	2022-02-1707:28:43	0	Lateral
6	2022-01-2911:39:01	0,1	Entrada	43141	2022-02-1707:28:49	1,025	Lateral
7	2022-01-2911:39:07	0,43	Entrada	43142	2022-02-1707:28:55	0	Lateral
8	2022-01-2911:39:14	0	Entrada	43143	2022-02-1707:29:01	0	Lateral
9	2022-01-2911:39:20	0	Entrada	43144	2022-02-1707:29:07	0,565	Lateral
10	2022-01-2911:39:25	1,13	Entrada	43145	2022-02-1707:29:13	0	Lateral
11	2022-01-2911:39:31	0,22	Entrada	43146	2022-02-1707:29:19	0	Lateral
12	2022-01-2911:39:37	0	Entrada	43147	2022-02-1707:29:25	0	Lateral
13	2022-01-2911:39:43	0,09	Entrada	43148	2022-02-1707:29:32	0,12	Lateral
14	2022-01-2911:39:49	0	Entrada	43149	2022-02-1707:29:38	0	Lateral
15	2022-01-2911:39:55	0	Entrada	43150	2022-02-1707:29:44	0,12	Lateral
16	2022-01-2911:40:02	0,135	Entrada	43151	2022-02-1707:29:49	0,28	Lateral
17	2022-01-2911:40:07	0,05	Entrada	43152	2022-02-1707:29:55	0,565	Lateral
18	2022-01-2911:40:13	1,39	Entrada	43153	2022-02-1707:30:01	1,7	Lateral
19	2022-01-2911:40:20	0	Entrada	43154	2022-02-1707:30:07	0	Lateral
20	2022-01-2911:40:26	0	Entrada	43155	2022-02-1707:30:13	0	Lateral
21	2022-01-2911:40:32	0	Entrada	43156	2022-02-1707:30:19	0,565	Lateral
22	2022-01-2911:40:38	0	Entrada	43157	2022-02-1707:30:25	0	Lateral
23	2022-01-2911:40:44	0	Entrada	43158	2022-02-1707:30:31	0	Lateral
24	2022-01-2911:40:50	0	Entrada	43159	2022-02-1707:30:37	0	Lateral
25	2022-01-2911:40:56	0	Entrada	43160	2022-02-1707:30:43	0	Lateral
26	2022-01-2911:41:02	0	Entrada	43161	2022-02-1707:30:49	0,12	Lateral
27	2022-01-2911:41:08	0	Entrada	43162	2022-02-1707:30:56	1086,485	Lateral
28	2022-01-2911:41:14	0	Entrada	43163	2022-02-1707:31:02	369,27	Lateral
29	2022-01-2911:41:20	0	Entrada	43164	2022-02-1707:31:08	0	Lateral
30	2022-01-2911:41:26	0	Entrada	43165			

Anexo 8. Cetificación de traducción del resumen (Abstract).



Lic. Mónica Guarnizo Torres.
SECRETARIA DE "BRENTWOOD LANGUAGE CENTER"

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO PM 2.5 EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS VÍAS PRINCIPALES DE LA CIUDAD DE CATAMAYO" de la estudiante Carmen Dalila Bernal Jumbo, con cédula de identidad No. 1105327942, egresada de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 17 de enero de 2024

Lic. Mónica Guarnizo Torres
SECRETARIA DE B.L.C.

