



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Determinación de la Concentración de Material Particulado Sedimentable
generado en el Cantón Colta, Sector Majipamba

**Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero Ambiental**

Autores:

Puetate Alquina Luis David
San Martín Velesaca Ricardo Alexander

Tutor:

MgSc. Guido Patricio Santillán Lima

Riobamba, Ecuador 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Luis David Puetate Alquina y Ricardo Alexander San Martín Velesaca, con cédula de ciudadanía 1550066748 y 0604675488, autores del trabajo de investigación titulado: Determinación de la Concentración de Material Particulado Sedimentable generado en el Cantón Colta, Sector Majipamba, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 09 días del mes de mayo de 2024.



Luis David Puetate Alquina
C.I: 1550066748



Ricardo Alexander San Martín Velesaca
C.I: 0604675488

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, MsC. Guido Patricio Santillán Lima catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Determinación de la Concentración de Material Particulado Sedimentable generado en el Cantón Colta, Sector Majipamba, bajo la autoría de Luis David Puetate Alquina, Ricardo Alexander San Martín Velesaca; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 15 días del mes de marzo de 2024.



Firmado electrónicamente por:
GUIDO PATRICIO
SANTILLAN LIMA

MsC. Guido Patricio Santillán Lima

C.I: 0602780777

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Determinación de la Concentración de Material Particulado Sedimentable generado en el Cantón Colta, Sector Majipamba, presentado por Luis David Puetate Alquina, con cédula de identidad número 1550066748, bajo la tutoría de Mgs. Guido Patricio Santillán Lima; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 09 días del mes de mayo de 2024.

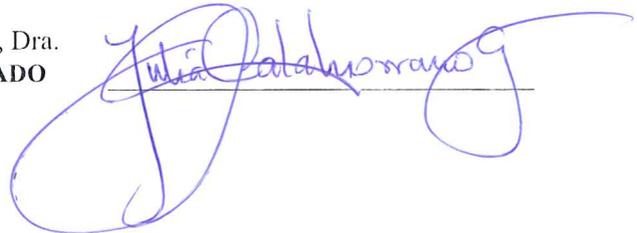
José Gregorio Prato Moreno, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Marco Marcel Paredes Herrera, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Julia Guadalupe Calahorrano González, Dra.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **PUETATE ALQUINGA LUIS DAVID** con CC: **1550066748**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de INGENIERÍA; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE GENERADO EN EL CANTÓN COLTA, SECTOR MAJIPAMBA”**, cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 26 de abril de 2024



Firmado electrónicamente por:
**GUILDO PATRICIO
SANTILLÁN LIMA**

Mgs. Patricio Santillán
TUTOR

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a mis padres Ramiro Puetate y Ana Alquina por su arduo trabajo y apoyo incondicional en cada meta que me he planteado en mi vida, quienes siempre han estado a mi lado y han sido la motivación para no desistir de este objetivo.

A mi hermano Cristian con quien siempre puedo contar para compartir momentos buenos y malos. A mi hermana Sandra que ha sido como una segunda madre para mí, siempre apoyándome en esta etapa de mi vida con cada consejo y palabra de aliento.

Atentamente

David Puetate

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por ser un Dios de misericordia.

A mi madre Lourdes y mi prometida Jenniffer Alban quienes son las principales protagonistas de este logro, por haber extendido su mano para levantarme y poder continuar, porque pese a todo, hoy sé que nunca me dejaran solo.

A mis abuelitos Claudio y Zoila que siempre supieron darme lo mejor de ellos, por el amor y cariño que me brindaron cada día, son mi ejemplo de lucha constante.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional, su cariño me ha permitido siempre salir adelante.

Atentamente

Ricardo San Martín

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, por cuidarme, darme fuerzas y bendiciones en todo momento, siendo mi guía en el camino de la vida.

A mis padres, por su apoyo y confianza que han depositado en mí y a toda mi familia que ha estado presente en el transcurso de mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por haberme permitido formarme como profesional; a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por brindarme sus conocimientos y siempre estar predispuestos a ayudarme.

A mi tutor de tesis MsC. Patricio Santillán por su ayuda, guía y asesoramiento durante este proyecto de investigación.

A los técnicos de laboratorio Ing. Jonathan Orozco e Ing. Marco Rodríguez, quienes estuvieron presentes en el desarrollo de esta investigación, gracias por su colaboración y compromiso.

Atentamente

David Puetate

Gracias a mi madre por ser el pilar fundamental para alcanzar este logro, ser la persona que me brindo su apoyo incondicional cada día, aunque no se encontraba junto a mí desde la distancia siempre me demostró su amor, cariño y confianza en cada uno de mis sueños; gracias a mi padre Saul San Martin por sus consejos y palabras de aliento que desde la distancia siempre me tenía en sus oraciones y quería lo mejor para mí.

A mis abuelitos Claudio Velesaca y Zoila Ureña quienes siempre estuvieron apoyándome en todo momento, acompañándome en las veladas de estudio y dándome ánimos cada mañana, sin ustedes este merito no se hubiese conseguido.

A mi prometida Jenniffer Alban que con su amor y cariño siempre supo darme la fuerza para seguir adelante, por ser la persona que siempre confió en mí y siempre me animo a culminar mi carrera universitaria.

A mi tutor de tesis MsC. Patricio Santillán por su dedicación, guía y asesoramiento para hacer posible este proyecto de investigación.

A los técnicos de laboratorio Ing. Jonathan Orozco e Ing. Marco Rodríguez, quienes nos compartieron de su conocimiento y su valioso aporte para nuestra investigación.

Escucha el consejo y acepta la corrección, y llegarás a ser sabio. El hombre puede hacer muchos planes, pero la decisión final es del Señor. Proverbios 16:3

Atentamente

Ricardo San Martín

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Planteamiento del Problema	18
1.3 Justificación	20
1.4 Objetivos.....	21
1.4.1 Objetivo General	21
1.4.2 Objetivos Específicos.....	21
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Contaminación del Aire	22
2.2 Material Particulado (MP)	22
2.3 Material Particulado Sedimentable.....	22

2.4	Clasificación de Material Particulado según su Tamaño.....	23
2.5	Fuentes Emisoras de Partículas.....	23
2.5.1	Fuentes Fijas.....	23
2.5.2	Fuentes de Área.....	24
2.5.3	Fuentes Naturales	24
2.5.4	Fuentes Móviles	24
2.6	Norma de Calidad de Aire Ambiente Ecuatoriana (NCAA)	25
2.7	Norma de Calidad de Aire según la OMS	26
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	27
3.1	Tipo de Estudio.....	27
3.2	Área de Estudio.....	27
3.3	Ubicación e Instalación de los Equipos de Muestreo	28
3.4	Monitoreo de MPS.....	29
3.5	Análisis Morfológico y Molecular de MPS	30
3.6	Análisis Geoestadístico.....	31
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1	Establecimiento de Estaciones de Monitoreo e Identificación de las Actividades Antrópicas	32
4.2	Análisis de la Concentración de MPS.....	33
4.3	Comparación de Valores según la Normativa Ecuatoriana y la OMS.....	35
4.4	Análisis Cualitativo y Caracterización Morfológica de MPS.....	36
4.5	Análisis Molecular de MPS	39

4.5.1	Caracterización Química	39
4.5.2	Caracterización Morfológica.....	41
4.6	Análisis Geoestadístico de Concentración y Dispersión de MPS.....	43
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	45
5.1	Conclusiones.....	45
5.2	Recomendaciones	46
6.	BIBLIOGRAFÍA	47
7.	ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros establecidos por la Norma de Calidad de Aire Ambiente	25
Tabla 2. Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire.	26
Tabla 3. Valores del papel filtro.	34
Tabla 4. Concentraciones de MPS.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio.....	28
Figura 2. Estaciones de monitoreo	33
Figura 3. Comparación de valores de MPS con los LMP de la OMS y Acuerdo 097-A... 36	
Figura 4. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 2.....	37
Figura 5. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 6.....	38
Figura 6. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 19.....	38
Figura 7. Composición química del MPS de la estación de monitoreo 2.....	39
Figura 8. Composición química del MPS de la estación de monitoreo 19.....	40
Figura 9. Diámetro de las partículas recolectadas en la estación de monitoreo 2.....	42
Figura 10. Diámetro de las partículas recolectadas en la estación de monitoreo 19.....	42
Figura 11. Mapa de concentración y dispersión de MPS.....	44

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la concentración de material particulado sedimentable en la comunidad Majipamba del cantón Colta, una zona que se caracteriza por sus actividades de agricultura, silvicultura, pesca, explotación de minas y petróleos.

En esta investigación se establecieron 23 puntos de muestreo en todo el polígono de estudio distribuidas de manera homogénea a fin de abarcar los puntos de mayor influencia, ubicando las estaciones de monitoreo en función de la dirección del viento. Para determinar la cantidad de material particulado sedimentable se empleó el método gravimétrico, el cual consiste en colocar cajas Petri con papel filtro previamente secado, pesado y determinado su área en cada estación de monitoreo en un periodo de 30 días (Enero – Febrero, 2023); para posterior realizar el análisis morfológico y molecular; además, se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) para crear el mapa de dispersión de material particulado sedimentable mediante la herramienta de interpolación KRIGING, utilizando los datos de las concentraciones de MPS, velocidad del viento y dirección de viento.

Los resultados obtenidos muestran que los puntos de muestro 1 ($0,51 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$) y 19 ($0,56 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$) presentan valores de concentración que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS ($0,5 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$), mientras que la concentración mínima registrada fue de $0,10 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$.

El análisis morfológico y molecular de dos muestras indica que las partículas observadas presentan formas irregulares, redondeadas, planas y porosas; con tamaños que oscilan entre 16,15 y 91,70 micras; la composición química muestra la presencia de varios elementos como: O, Si, Al, Ca, N, Na, Fe, K, Mg y Ti de origen antropogénico y natural, donde las principales fuentes de emisión son el tráfico vehicular, obras de construcción y

actividades agrícolas. Finalmente, el análisis geoestadístico muestra el comportamiento del MPS con una dispersión en sentido norte.

Palabras clave: material particulado sedimentable, microscopio electrónico de barrido, estaciones de monitoreo, Majipamba, calidad del aire, Acuerdo Ministerial 097-A.

ABSTRACT

This research objective is to determine the concentration of sedimentable particulate matter in the Majipamba community in the Colta canton, an area characterized by agriculture, forestry, fishing, and mining activities. In this research, 23 sampling points were established throughout the study area, distributed homogeneously to cover the points of most significant influence, locating the greatest number of sampling stations according to wind direction. The passive method was used to determine the amount of sedimentable particulate matter, which consists of placing Petri boxes with filter paper previously dried, weighed, and its area defined in each monitoring station in a period of 30 days (January - February 2023); to later perform the morphological and molecular analysis; in addition, the Geographic Information System (GIS) software was used to create the dispersion map of sedimentable particulate matter through the KRIGING interpolation tool, using the data of the concentrations of PMS, wind speed and wind direction. The results obtained show that the concentrations of monitoring stations 1 (0,51 mg/cm² /month) and 19 (0,56 mg/cm² /month) present values that exceed the maximum permissible limits established by the WHO (0,5 mg/cm² /month). In contrast, the minimum concentration recorded was 0,10 mg/cm² /month. The morphological and molecular analysis of two samples indicates that the observed particles present irregular, rounded, flat, and porous shapes, with sizes ranging between 16,15 and 91,70 microns; the chemical composition shows the presence of several elements such as O, Si, Al, Ca, N, Na, Fe, K, Mg and Ti of anthropogenic and natural origin, where the primary emission sources are vehicular traffic, construction works, and agricultural activities. Finally, the geostatistical analysis shows the behavior of the PMS with a northward dispersion.

Keywords: sedimentable particulate matter, scanning electron microscope, monitoring stations, Majipamba, air quality, Ministerial Agreement 097-A.



Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales de las zonas urbanas en el planeta, tanto en los países desarrollados como en países en vías de desarrollo por causa del crecimiento no planificado de industrias, uso de tecnologías obsoletas en la producción, servicios y el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el crecimiento urbanístico no planificado (Perugachi y Cocha, 2019). La contaminación atmosférica se define antropocéntricamente como la presencia en el aire atmosférico de compuestos químicos y biológicos que afectan la vida, la salud o el bienestar humano, que pueden provenir tanto de la actividad humana como de eventos naturales (Bárbara y otros, 2019).

La contaminación atmosférica por material particulado (MP), es uno de los mayores problemas en la actualidad (Santillán y otros, 2021). El MP está constituido por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, teniendo una composición química y un tamaño que varía de 0.005 a 100 micras (μm) de diámetro aerodinámico (Pequeño Ledezma y otros, 2019).

En el Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, las industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto, entre otras (Mejía y otros, 2018).

El aumento en las emisiones de gases con presencia de metales pesados en el aire llega a altos niveles y se considera que los medios de transporte terrestre son de los más contaminantes del mundo, además, la generación de partículas en suspensión asociada con

el tránsito vehicular que utilizan combustibles fósiles impacta en la capa de ozono y puede llevar a cambios climáticos y alteraciones en el ciclo de vida (Muñoz y otros, 2021).

Dentro del Ecuador se han efectuado varios estudios para determinar la concentración de MPS, como es el caso de la investigación realizada por Bravo L (2017), para determinar y caracterizar la concentración de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo. De igual manera dentro de la provincia de Chimborazo se han ejecutado proyectos de investigación como el de Lizalde & Merino (2021), que busca determinar la concentración y caracterizar el material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el perímetro urbano del cantón Chambo.

La actividad económica que predomina en el cantón Colta es la agricultura, la ganadería, silvicultura y pesca, la cual representa el 30% de VAB, además con menor relevancia en cuanto a la productividad el cantón Colta cuenta con 48 concesiones mineras, entre estas encontramos minerías artesanales y de libre aprovechamiento correspondientes a materiales de construcción, metales y no metales con una superficie de 20.076,21 Ha (HGADPCH, 2020).

De esta manera, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la concentración de material particulado sedimentable (MPS) en el sector Majipamba del cantón Colta, provincia de Chimborazo, tomando en consideración que esta población depende de la actividad agrícola, turismo y comercio local.

1.2 Planteamiento del Problema

La contaminación del aire exterior representa un importante riesgo medioambiental para la salud, en los países de ingreso bajo, mediano y alto, siendo así que en el 2019 el 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaba las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la calidad del aire (OMS, 2022).

Las enfermedades que afectan al sistema respiratorio relacionadas con las PM10 perjudican a niños y adultos mayores, presentándose infecciones crónicas y agudas que dañan las vías respiratorias bajas y altas, llevándolos a la muerte (Robles y otros, 2019).

La contaminación atmosférica se cobra la vida de 6,5 millones de personas al año y más del 80 % de las ciudades superan los niveles recomendados por la OMS para un aire seguro, según la OMS, 9 de cada 10 muertes son causadas por la contaminación atmosférica, por otra parte, el Ecuador tiene un 30% más que el nivel seguro de la OMS, provocando que 1771 personas mueran de una enfermedad relacionada con la contaminación atmosférica cada año, 86 de los cuales son niños, siendo la cardiopatía isquémica la principal enfermedad causada por la contaminación del aire en el país (Ministerio de Salud Pública, 2016).

La presente investigación se va a realizar en el sector Majipamba perteneciente al cantón Colta, provincia de Chimborazo, el cual concentra varias actividades agrícolas, comerciales y turísticas como la Laguna de Colta. Este sector se ve influenciado por un gran flujo de tráfico vehicular que circula por la vía estatal Troncal de La Sierra (E35) en el tramo Riobamba-Cuenca y la intersección de la vía de segundo orden Colectora la Unión-T del Triunfo (E487) en el tramo Balbanera-Pallatanga-Cumandá que conecta las regiones Sierra y Costa, por donde se intercambian productos de consumo masivo, provocando gran flujo de vehículos en especial transporte de carga pesada; además, se evidencia la presencia de obras de construcción, vías sin pavimentar y actividades agrícolas que hacen uso de maquinaria; las cuales se convierten en fuentes emisoras de material particulado.

Ante este problema, la presente investigación tiene como finalidad analizar las concentraciones de MPS, verificando que los valores de concentración se encuentren dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana vigente y la normativa internacional.

1.3 Justificación

El sector Majipamba se ha visto afectado durante varios años por actividades antrópicas, aumentando el grado de contaminación a nivel atmosférico. Las emisiones que se propagan hacia la atmósfera producto de la actividad agrícola y el tráfico vehicular se han convertido en fuentes de contaminación que con el pasar del tiempo se han ido acumulando y causando problemas a la salud, en especial afecciones al aparato respiratorio.

En base a esta problemática es necesario establecer medidas preventivas y regulatorias que permitan disminuir la contaminación por MPS, por lo tanto, se plantea la necesidad de realizar estudios sobre calidad del aire para la obtención de datos de MPS, información que será entregada al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta, que servirá para plantear alternativas de control y remediación de las fuentes emisoras de este tipo de contaminantes.

Con esta investigación se pretende determinar las concentraciones de MPS presente en el sector Majipamba, aplicando el método gravimétrico, a través de la instalación de estaciones de monitoreo implementadas en puntos estratégicos dentro del área de estudio para la toma de datos durante un mes, que permitirán realizar un análisis cuantitativo y cualitativo de las concentraciones de MPS de acuerdo con las características morfológicas y moleculares de las partículas. De esta manera se logrará comprobar la calidad del aire en el área de estudio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar la concentración de material particulado sedimentable generado en el cantón Colta, sector Majipamba.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la concentración de material particulado sedimentable captado en las estaciones de monitoreo.
- Analizar las características morfológicas y moleculares del material particulado sedimentable recolectado por cada estación de monitoreo.
- Realizar una interpolación de la concentración que permita conocer la distribución espacial del material particulado sedimentable, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación del Aire

La contaminación de la atmósfera o del aire, consiste en la liberación de sustancias químicas y partículas que alteran su composición e implican un riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos (Cáceres, 2021).

Entre las principales fuentes de contaminación antropogénica del aire están las plantas de calefacción, las centrales térmicas, las incineradoras de residuos, la industria química, el transporte, la minería a cielo abierto y la generación de energía nuclear (Mora y otros, 2021).

2.2 Material Particulado (MP)

El MP se define como un conjunto o mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas, con características físicas y químicas, las cuales se encuentran suspendidas en la atmósfera, además, se lo conoce como aerosol atmosférico y es emitido por fuentes de origen natural o antropogénico (Arrieta, 2016).

Los principales componentes de la materia particulada son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua (OMS, 2022).

2.3 Material Particulado Sedimentable

El MPS también conocido como polvo atmosférico sedimentable, contaminantes sólidos sedimentables o deposición ácida seca, son el grupo de partículas sólidas de diámetro igual o mayor a 10 μm , hasta aproximadamente 100 μm , tamaño a partir del cual se considera que caen rápidamente, el MPS al tener un peso dentro de la influencia de la atracción gravitatoria, sedimenta y se deposita en las superficies, dentro de esta categoría encontramos a las cenizas, polvos de carbón y cemento, bruma, bacterias, entre otros (Carranza et al., 2021).

2.4 Clasificación de Material Particulado según su Tamaño

El material particulado se clasifica según su diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de las partículas, entre más pequeño sea su diámetro mayor será su capacidad de entrar al sistema respiratorio, por consiguiente, según el tamaño de las partículas se han clasificado en: partículas suspendidas totales (PST), las cuales se encuentran en el aire sin importar su tamaño; partículas inhalables en suspensión, estas son conocidas como PM₁₀ cuyo diámetro es menor o igual a 10 µm; partículas finas o respirables se conocen como PM_{2.5} cuyo diámetro es menor o igual a 2,5 µm y partículas ultrafinas cuyo diámetro es menor o igual 0,1 µm (Gamero Sarmiento y otros, 2021).

2.5 Fuentes Emisoras de Partículas

Las fuentes de emisión de contaminantes, generalmente, provienen de fuentes móviles o estacionarias, las cuales se describen a continuación (Ubilla & Yohannessen, 2017).

2.5.1 Fuentes Fijas

Las fuentes estacionarias incluyen la combustión de combustibles para la generación de energía eléctrica, la calefacción en espacios residenciales y procesos industriales, la construcción y demolición, la agricultura, eliminación y reciclaje de los residuos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). De manera general las fuentes fijas, pueden clasificarse en puntuales y dispersas:

- **Fuentes Puntuales**

Las puntuales son grandes focos de emisión que son tratados de punto a punto en los inventarios de emisiones, por ejemplo, instalaciones industriales, servicios públicos o grandes fuentes de emisiones comerciales o institucionales (Arrieta, 2016).

- **Fuentes Dispersas**

Se definen como focos de emisión que se dispersan en un área, son demasiado numerosos o difusos para ser tratados individualmente (Arrieta, 2016).

2.5.2 Fuentes de Área

Son emisiones que no se localizan en un punto específico, debido a que se generan en una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, como por ejemplo las emisiones originadas en los caminos pavimentados y no pavimentados, plantas de tratamiento de agua residual, rellenos sanitarios (Sánchez y otros, 2014).

2.5.3 Fuentes Naturales

Entre las fuentes naturales de MP se encuentran la polinización de las plantas, volcanes, calles sin pavimentar e incendios forestales (Legarreta Perusquia y otros, 2016). Otros procesos naturales contaminantes son las tormentas que originan NO_x, las tormentas de polvo y arena que se originan en las zonas áridas liberan una gran cantidad de partículas en la atmósfera (Sánchez y otros, 2014).

2.5.4 Fuentes Móviles

Las fuentes móviles incluyen todos los vehículos a motor que funcionan por tierra, aire o mar como aviones, trenes, automóviles y barcos (Manisalidis y otros, 2020). La principal fuente móvil de contaminación del aire es el transporte por carretera, el cual se refiere a todas las emisiones de tráfico vehicular, independiente del tamaño o la finalidad del vehículo y cuyas emisiones se producen muy cerca de los lugares donde la gente vive, trabaja, pasea y viaja (Ubilla & Yohannessen, 2017).

2.6 Norma de Calidad de Aire Ambiente Ecuatoriana (NCAA)

El Acuerdo Ministerial 097-A es una normativa ambiental vigente en el Ecuador que entró en vigor a partir del año 2015. La NCAA es parte del Acuerdo Ministerial 097-A y se encuentra presente en el anexo 4 de la REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, la cual tiene como objeto preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general, para lo cual se establece los límites máximos permisibles (LMP) de concentración, a nivel de suelo, de los contaminantes del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, así como los métodos y procedimientos que permitan su determinación y cuantificación en aire ambiente (MAE, 2015).

La **Tabla 1**, presenta los valores máximos permisibles de concentración de material particulado establecida en la NCAA.

Tabla 1. Parámetros establecidos por la Norma de Calidad de Aire Ambiente

Contaminante	Tiempo de exposición	Concentración máxima permitida
PM ₁₀	1 año	50 µg/m ³
	24 horas	100 µg/m ³
PM _{2,5}	1 año	15 µg/m ³
	24 horas	50 µg/m ³
MPS	30 días	1 mg/cm ² / 30 días

Fuente: (MAE, 2015).

2.7 Norma de Calidad de Aire según la OMS

La organización Mundial de Salud establece las Directrices Mundiales sobre la Calidad del Aire, la cual ofrece orientaciones a escala mundial sobre los umbrales y los límites máximos de material particulado (MP), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y los efectos para la salud asociados a la exposición de estos contaminantes. Los niveles recomendados en estas directrices se basan en pruebas científicas, mediante la asociación entre un contaminante y un resultado de salud específico (World Health Organization, 2021).

La **Tabla 2**, presenta los niveles de referencia de concentración de material particulado establecidos por la OMS.

Tabla 2. Niveles recomendados de las directrices sobre la calidad del aire.

Contaminante	Tiempo de exposición	Concentración máxima permitida
PM ₁₀	1 año	15 µg/m ³
	24 horas	45 µg/m ³
PM _{2,5}	1 año	5 µg/m ³
	24 horas	15 µg/m ³
MPS	30 días	0,5 mg/cm ² /30 días

Fuente: (World Health Organization, 2021).

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En el marco metodológico se describirán aspectos tales como el diseño de la investigación, los criterios para la instalación de los puntos de muestreo, las técnicas de muestreo y recolección de datos, los métodos empleados para el análisis de la información (Azüero, 2019).

En el presente estudio se trabajó en el análisis del MPS, cuyas concentraciones se obtuvieron de las 23 estaciones fijas distribuidas de manera homogénea en el polígono de estudio. Posteriormente se realizó la caracterización morfológica y química de las muestras representativas; finalizando con un mapa de concentración y dispersión del MPS, el cual se elaboró mediante la herramienta de interpolación KRIGING del software ArcGIS, haciendo uso de las concentraciones de MPS, velocidad del viento y dirección del viento.

3.1 Tipo de Estudio

- **Transversal:** la investigación se ejecuta en un intervalo de tiempo establecido.
- **Experimental:** es una investigación de carácter cuantitativa y cualitativa, en la que se realiza toma de muestras, monitoreo y análisis de laboratorio, que permiten determinar los niveles de concentración de MPS existente en el sector Majipamba.
- **De Campo:** visitas al área de estudio para la instalación de los equipos de monitoreo, que ayudan a recolectar datos para realizar la investigación.

3.2 Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en el sector Majipamba (**Figura 1**), a aproximadamente 19 km del suroeste de la ciudad de Riobamba, entre las parroquias Cajabamba y Santiago de Quito, pertenecientes al cantón Colta, el cual está situado a una altura promedio de 3180 m s. n. m., presenta un clima frío - seco, su temperatura media es de 12°C con una precipitación anual de 1000 – 1500 mm/año (GADMCC, 2020).

Dentro de esta zona de estudio se realizan varias actividades antrópicas, la más representativa es el tráfico vehicular, debido a la presencia de la red vial Panamericana/Troncal de la Sierra/E35 y la vía de segundo orden Colectora la Unión-T del Triunfo (487), provocando que la calidad del aire se vea afectada en la zona. Por lo que los pobladores a través de la alcaldía y el Área Técnica Ambiental del Municipio del Cantón Colta, ven la necesidad de establecer un monitoreo y análisis en el área de influencia, con la participación de la universidad.

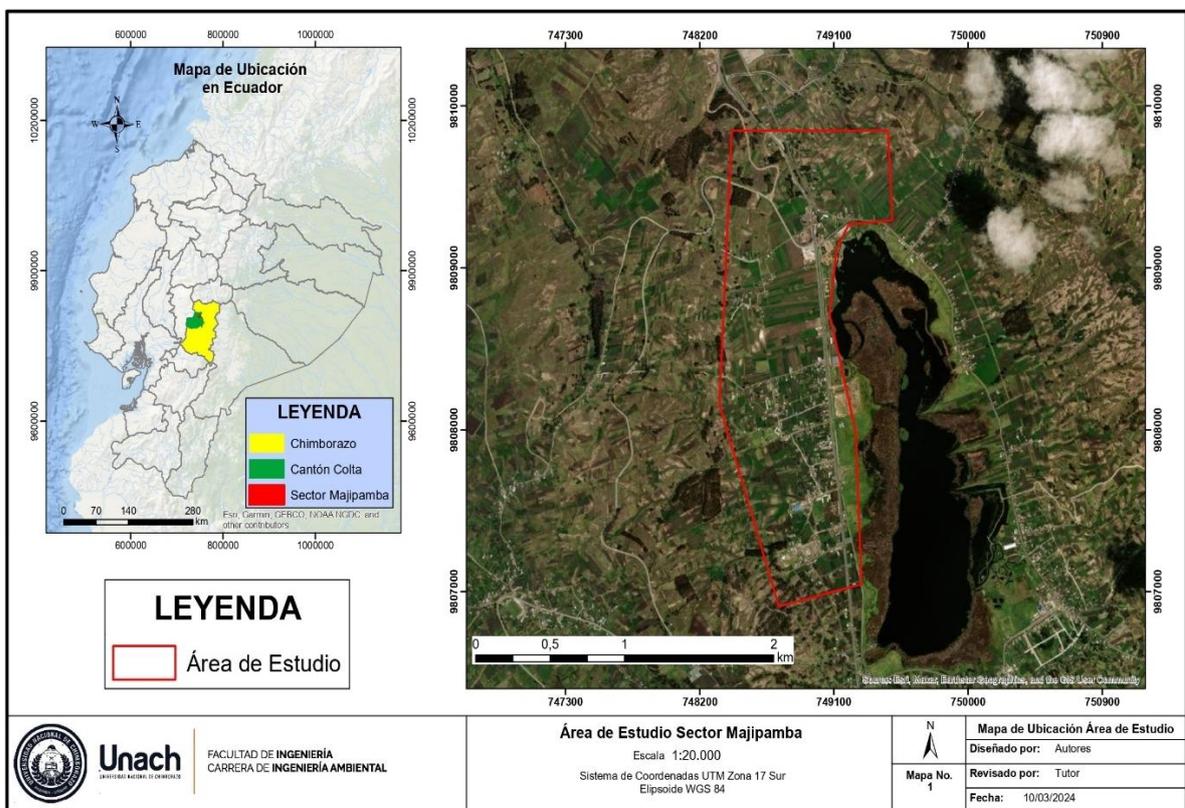


Figura 1. Área de estudio

Fuente: Autores (2024).

3.3 Ubicación e Instalación de los Equipos de Muestreo

Para la selección del lugar donde se ubicarán las estaciones de monitoreo, se realizó una prelocalización de los puntos de muestreo, para lo cual, se creó una malla de cuadrículas con una equidistancia de 325 x 325 metros en cada cuadrante mediante la herramienta “FISHNET” en el software ArcGIS, dividiendo al área de estudio en 27 celdas y tomando

como referencia el centro de cada celda para la prelocalización de los puntos de muestreo (García y otros, 2006).

Para que los puntos de muestreo sean válidos, se tomó en consideración los criterios de instalación establecidos en la Norma ASTM D-1739-98: el lugar de muestreo debe estar en una zona abierta, libre de estructuras de más de 1 m de altura; estar alejado de fuentes locales de contaminación y de objetos que puedan afectar a la sedimentación de las partículas, como árboles, entradas y salidas de aire; tener accesibilidad y seguridad frente al vandalismo (American Society of Testing Materials, 2017). Además, el viento es el principal agente dispersor del MPS, por lo que se realizó una interpolación con las variables dirección y velocidad del viento para conocer cuál es la dirección predominante y ubicar las estaciones pasivas en función a la dirección del viento (Almirón y otros, 2008). Los datos meteorológicos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de análisis (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Estación Meteorológica San Juan y Estación Meteorológica de Tunshi).

Finalmente se realizó visitas de campo para reubicar y descartar los puntos de muestreo que no cumplan con los criterios de instalación, obteniendo un total de 23 puntos finales (González & Sánchez, 2021).

3.4 Monitoreo de MPS

El monitoreo de MPS se llevó a cabo durante un mes, en base al Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el Registro Oficial 387, donde se menciona que la máxima concentración de una muestra colectada durante un mes de manera continua será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times \text{mes}$) (MAE, 2015).

Para determinar la cantidad de MPS se empleó el método gravimétrico mediante captación de partículas en envases abiertos establecido por la norma vigente de calidad del

aire ambiente (Acuerdo Ministerial 097-A) (MAE, 2015). Para llevar a cabo este método se aplicó la metodología empleada por (Almirón y otros, 2008) adaptada a esta investigación, colocando cajas Petri con papel filtro previamente secado, pesado y determinado su área en cada estación de monitoreo. Luego de haber finalizado el muestreo, el papel filtro fue puesto en el interior de una estufa durante al menos 24 horas a 50°C para eliminar la presencia de humedad y ser pesado nuevamente en la balanza analítica.

Según Marcos & Valderrama (2012), el cálculo del polvo atmosférico sedimentable se realizará mediante la siguiente formula:

Ecuación 1. Polvo Atmosférico Sedimentable.

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{\text{Área}} \times 1mes$$

Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable (mg/cm² x mes)

Pi: Peso inicial (mg) (laboratorio)

Pf: Peso final (mg) (periodo de muestreo)

A: Área de papel del filtro ($\pi * r^2$)

3.5 Análisis Morfológico y Molecular de MPS

El análisis morfológico se realizó en el microscopio óptico a una resolución de 100X, para lo cual, las muestras de papel filtro fueron colocadas sobre un porta muestras para tomar sus respectivas fotografías, y así obtener las mejores condiciones de imagen donde se pueden apreciar la forma, tamaño y color de las partículas (Santillán y otros, 2016).

Para la caracterización del MPS, se realizó un corte de 1 cm² al papel filtro de dos muestras representativas que contenga la mayor concentración. Posteriormente fueron colocadas sobre el porta muestras de aluminio y recubiertas con partículas de oro para obtener las mejores condiciones de imagen (Santillán y otros, 2021).

Para determinar las características morfológicas y moleculares se utilizó el microscopio electrónico de barrido, el cual permite obtener imágenes de alta resolución con aumentos de 100x y 200x. Las imágenes obtenidas nos permitieron observar la forma, tamaño y composición química del MPS.

3.6 Análisis Geoestadístico

Para realizar el análisis geoestadístico, se utilizó los valores de las concentraciones de material particulado sedimentable que se obtuvieron por medio de las 23 estaciones fijas ubicadas en el área de estudio. Se empleó el software de Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante la herramienta de interpolación KRIGING que permitió crear el mapa de dispersión del MPS. Kriging es un método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra (Porrás, 2017).

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran la concentración de material particulado sedimentable, la morfología del MPS, la composición química, la dispersión y concentración del MPS.

4.1 Establecimiento de Estaciones de Monitoreo e Identificación de las Actividades Antrópicas

Para socializar el proyecto de investigación se realizó un acercamiento con el técnico de la Dirección de Servicios Públicos – Unidad de Gestión Ambiental, Riesgos, Áridos y Pétreos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta y presidentes de las comunidades Majipamba, Shamanga y León Pug.

La instalación de las estaciones fijas de monitoreo se realizó en instituciones educativas, lugares turísticos (iglesia Balbanera y Laguna de Colta), casas comunales, cementerio y viviendas, para lo cual se pidió la autorización del director del Instituto Superior Pedagógico Intercultural Bilingüe Jaime Roldós Aguilera, de la directora del Centro Educativo Comunitario Especial Louis Braille, el presidente de CONPOCIECH y dueños de los predios.

En la **Figura 2**, se observa la ubicación y el número de estaciones de monitoreo, las cuales fueron ubicadas de acuerdo a los criterios de instalación mencionados por la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM).

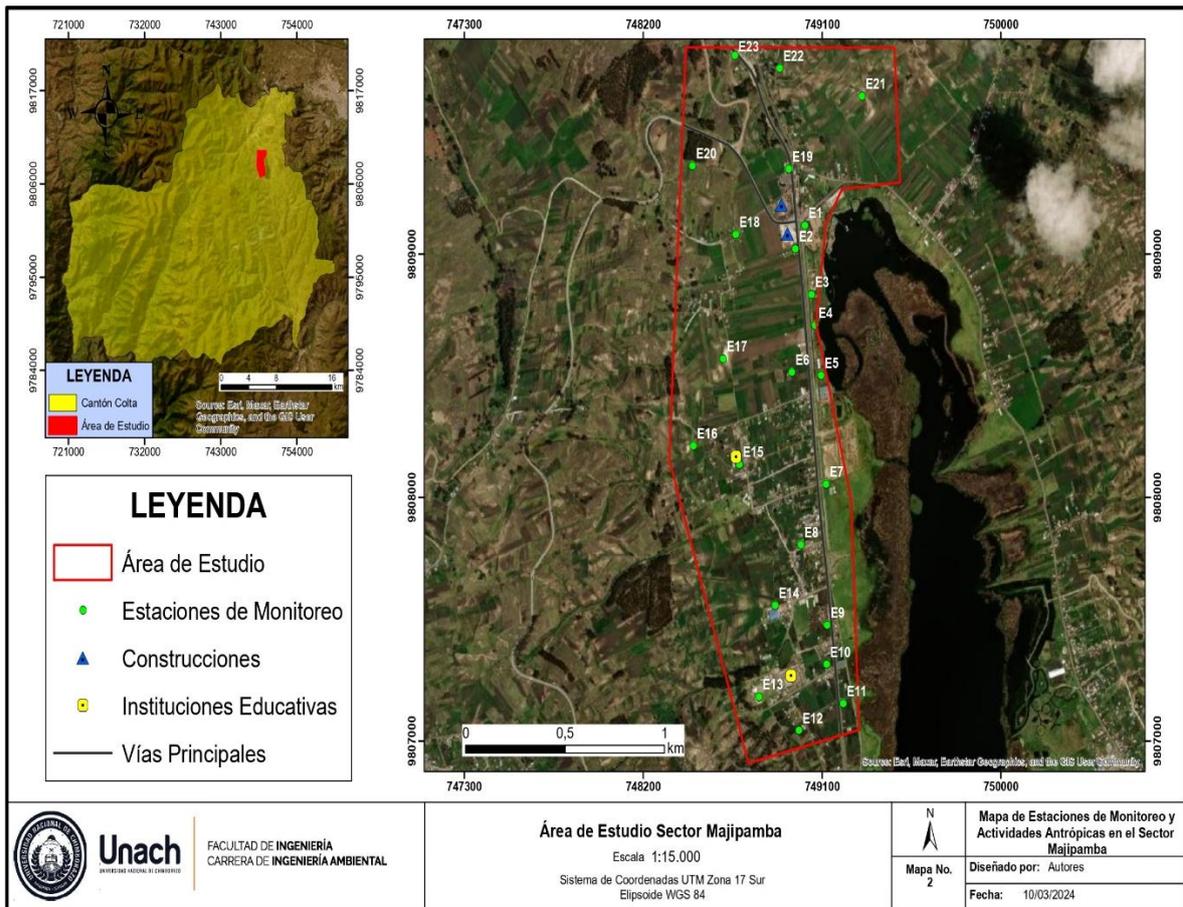


Figura 2. Estaciones de monitoreo

Fuente: Autores (2024).

En la zona de estudio se identificó diferentes actividades antrópicas como la construcción de una estación de servicio y edificaciones comerciales, tráfico vehicular, actividades agrícolas y ganaderas.

Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGIS se determinó el área del polígono de estudio, con un valor 234,97 ha. Se procedió a implementar los 23 puntos de muestreo, cubriendo toda el área de estudio.

4.2 Análisis de la Concentración de MPS

Una vez realizado el monitoreo en los 23 puntos, durante 30 días (enero-febrero, 2023) se obtuvo los datos correspondientes al peso para cada punto de monitoreo. Además,

para determinar la concentración de MPS, se calculó el área del papel filtro como se observa en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Valores del papel filtro.

Radio del papel filtro	Área del papel filtro
(cm)	(cm²)
4,05	51,53

Fuente: Autores (2024).

En la **Tabla 4**, se muestra los resultados de concentración de material particulado sedimentable obtenidos mediante el cálculo gravimétrico.

Tabla 4. Concentraciones de MPS.

Estación	Ubicación Geográfica		Peso Inicial	Peso Final	MPS
de	(UTM)		de Papel	del Papel	(mg/cm²/mes)
Monitoreo			(mg)	(mg)	
1	749006,745	9809119,496	473,2	499,4	0,51
2	748965,890	9809021,317	459,5	478,1	0,36
3	749047,146	9808832,621	474,4	485,2	0,21
4	749065,699	9808708,156	466,8	476,2	0,18
5	749094,397	9808502,155	471,9	480,9	0,17
6	748946,592	9808514,387	478,1	485,2	0,14
7	749120,531	9808054,166	481,8	489,9	0,16
8	749001,850	9807802,065	475,1	482,3	0,14
9	749128,02	9807474,160	471	480,1	0,18
10	749121,818	9807313,774	478,1	485,6	0,15
11	749207,145	9807153,025	474,7	483,9	0,18
12	748984,208	9807041,989	477,1	484,1	0,14

13	748782,066	9807181,365	484,1	490,6	0,13
14	748863,98	9807556,551	484,5	491,2	0,13
15	748664,192	9808130,994	476,4	484,1	0,15
16	748452,047	9808211,617	471,3	476,6	0,10
17	748602,487	9808568,870	479,5	484,6	0,10
18	748663,189	9809079,521	485,2	497,5	0,24
19	748933,217	9809350,328	474,8	503,9	0,56
20	748444,213	9809369,552	470,7	479,6	0,17
21	749300,819	9809649,186	484,2	489,9	0,11
22	748916,673	9809764,161	475,2	486,3	0,22
23	748673,851	9809813,78	483,2	493,8	0,21

Fuente: Autores (2024).

En base a los resultados de concentración de MPS se determinó que el **punto 19** presenta la mayor concentración con un valor de 0,56 (mg/cm²/mes), mientras que el valor más bajo de concentración lo presento el **punto 16 y 17** con 0,10 (mg/cm²/mes), obteniendo un promedio de 0,21 (mg/cm²/mes), siendo inferior al LMP establecido por la OMS (0,5 mg/cm²/mes) y el Acuerdo Ministerial 097-A (1 mg/cm²/mes).

4.3 Comparación de Valores según la Normativa Ecuatoriana y la OMS

En la **Figura 3** se realizó la comparación de los datos de concentración de MPS obtenidos en la **Tabla 4** con respecto a los límites máximos permisibles dispuestos por la normativa ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097-A) y la normativa internacional establecida por la OMS.

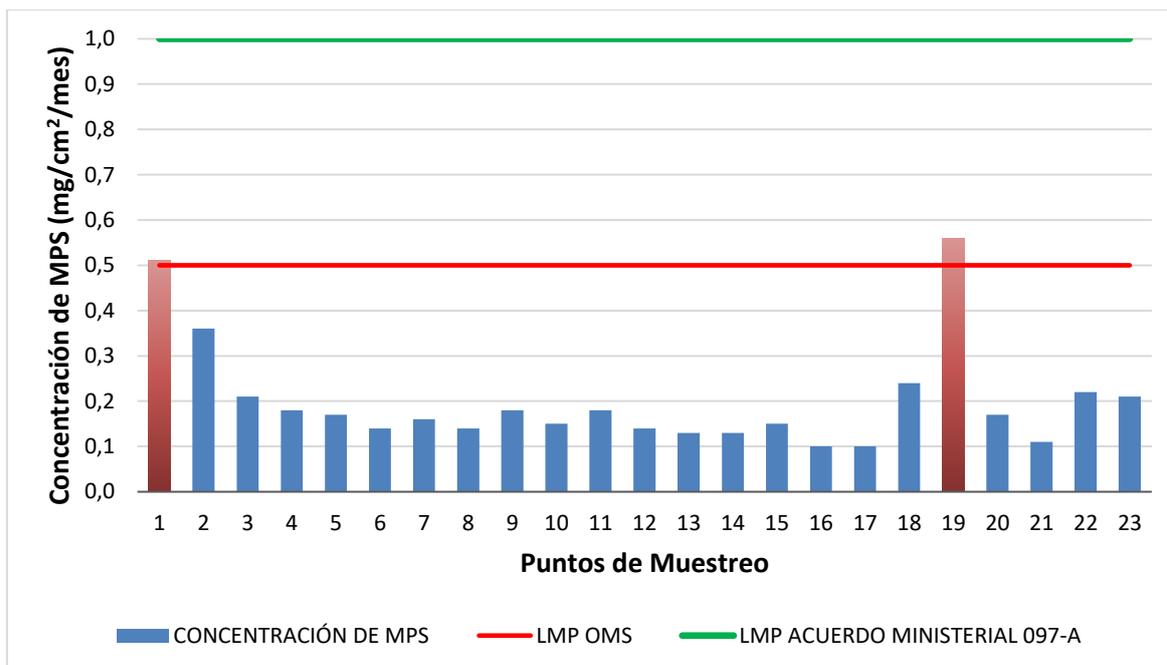


Figura 3. Comparación de valores de MPS con los LMP de la OMS y Acuerdo 097-A.

Fuente: Autores (2024).

Observando la comparación entre las concentraciones obtenidas en la **Figura 3**, se evidencia que la mayoría de los datos cumplen con los LMP de la OMS y del Acuerdo Ministerial 097-A, excepto las estaciones 1 (0,51 mg/cm² /mes) y 19 (0,56 mg/cm² /mes) que presentan valores superiores al LMP dispuesto por la OMS, sin embargo, no sobrepasan el LMP establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A.

En el caso de las estaciones 1 y 19, sus valores pueden deberse al alto flujo vehicular que proviene de la intersección entre la arteria vial Troncal de la Sierra E35 y la vía de segundo orden Colectora la Unión-T del Triunfo, además la presencia de obras de construcción y caminos sin pavimentar que provocan polvaredas.

4.4 Análisis Cualitativo y Caracterización Morfológica de MPS

La caracterización morfológica de las 3 muestras seleccionadas de MPS, se determinó mediante el uso del Microscopio Óptico, en el cual se tomaron imágenes a una

resolución de 100x en la muestra, donde se pudo identificar el tamaño, forma y color de MPS.

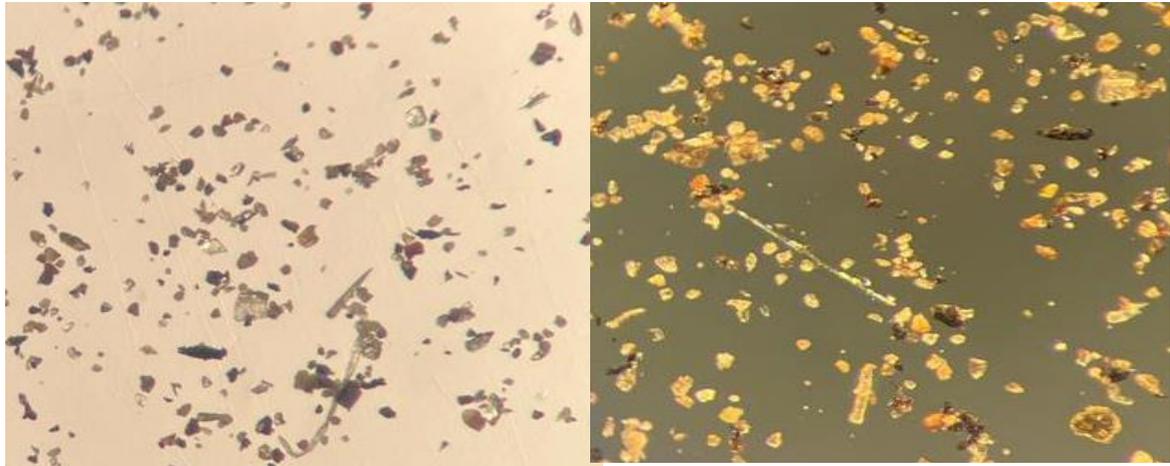


Figura 4. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 2.

Fuente: Autores (2024).

En la **Figura 4**, se puede evidenciar el material particulado en diferentes colores, estas pueden ser partículas orgánicas de origen vegetal y partículas minerales como cuarzos u otros minerales.

Presenta partículas de color café debido a la presencia de fragmentos orgánicos de origen vegetal, además existen partículas cristalinas (cuarzos), también se puede visualizar partículas de color negro provenientes de procesos de combustión y de fuentes móviles como el tráfico vehicular o a su vez provenir del asfalto que levantan los automóviles, debido a que nuestra zona de estudio se encuentra cerca de la red vial Panamericana/Troncal de la Sierra/E35 y la vía de segundo orden Colectora la Unión-T del Triunfo (E487).

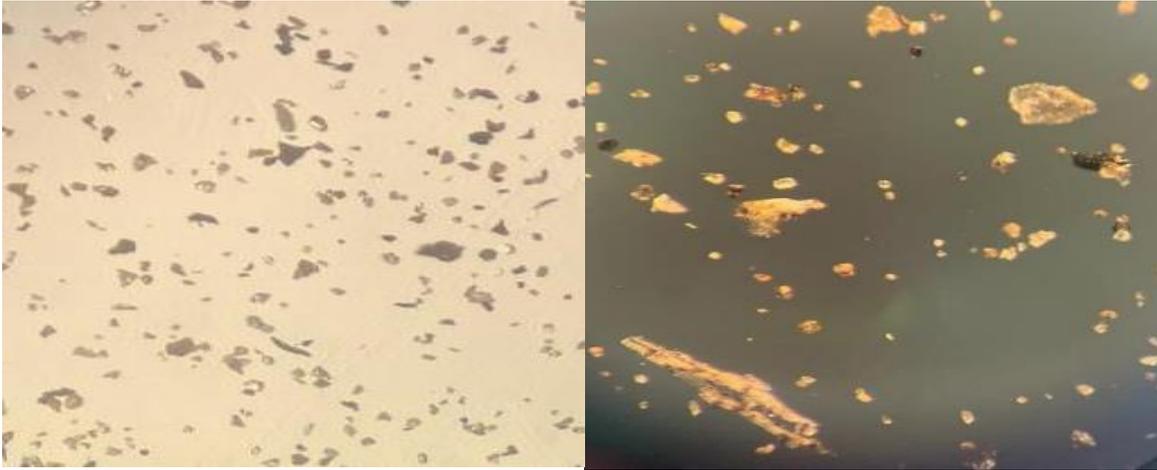


Figura 5. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 6.

Fuente: Autores (2024).

La **Figura 5**, representa el MPS provenientes de fuentes naturales y antropicas, estas emisiones de partículas pueden generarse de los campos donde se desarrollan actividades agrícolas y el tráfico automotriz de la red vial Troncal de la Sierra-E35.

Se puede evidenciar partículas cristalinas de color blanco y anaranjado debido a la presencia de minerales, además, en menor cantidad se encontro partículas amorfas de color negro y café, que se deben principalmente a la combustión incompleta de biomasa y de vehiculos a diesel.

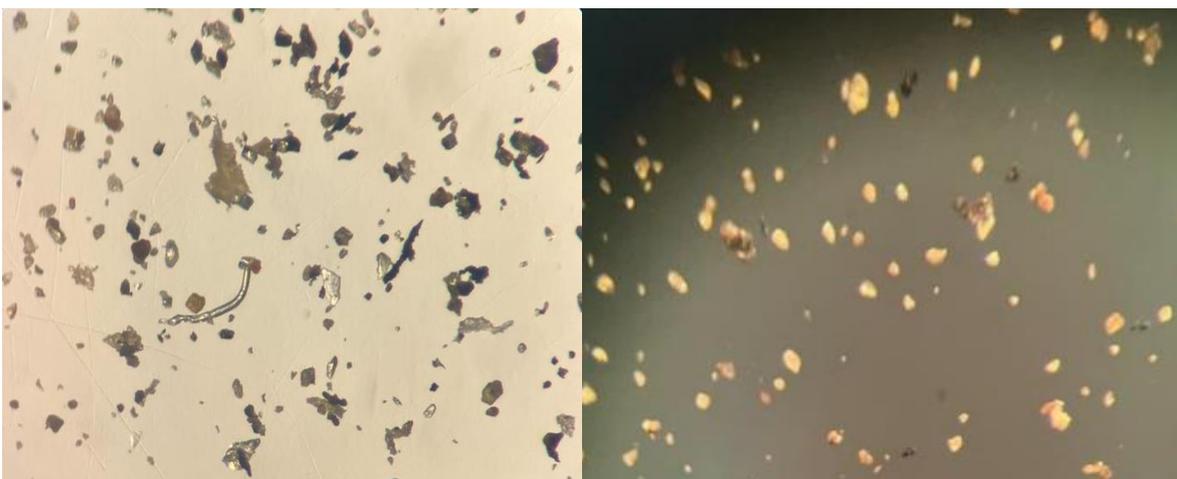


Figura 6. Caracterización morfológica de colores en la muestra de MPS de la estación de monitoreo 19.

Fuente: Autores (2024).

En la **Figura 6**, se observa mayor presencia de partículas color negro, grisáceo y blanco-plateado, producto de la combustión y el tráfico vehicular, además, la presencia de partículas cristalinas (cuarzos) y partículas de color café por la presencia de fragmentos orgánicos de origen vegetal principalmente.

4.5 Análisis Molecular de MPS

4.5.1 Caracterización Química

La caracterización química del MPS, se la realizó de dos muestras representativas del área de estudio mediante la técnica analítica de espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopia de la UNACH.

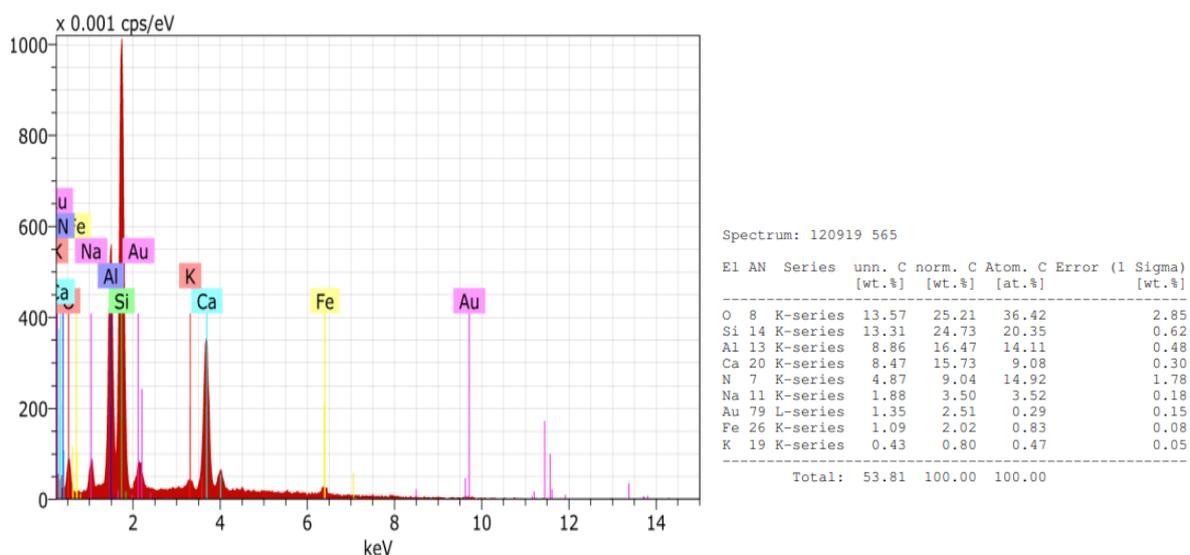


Figura 7. Composición química del MPS de la estación de monitoreo 2.

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En la **Figura 7**, se indica la composición elemental de la muestra de la estación de monitoreo N.º 2, en donde tenemos valores expresados con porcentaje en peso de 9 elementos químicos; en mayor proporción encontramos oxígeno (O) y silicio (Si), con valores de 25,21% y 24,73% respectivamente; seguido de aluminio (Al), calcio (Ca) y nitrógeno (N) con valores de 16,47%, 15,73% y 9,04% respectivamente; finalmente se

encuentra valores bajos de sodio (Na), oro (Au), hierro (Fe) y potasio (K) con valores de 3,50% , 2,51%, 2,02% y 0,80% respectivamente.

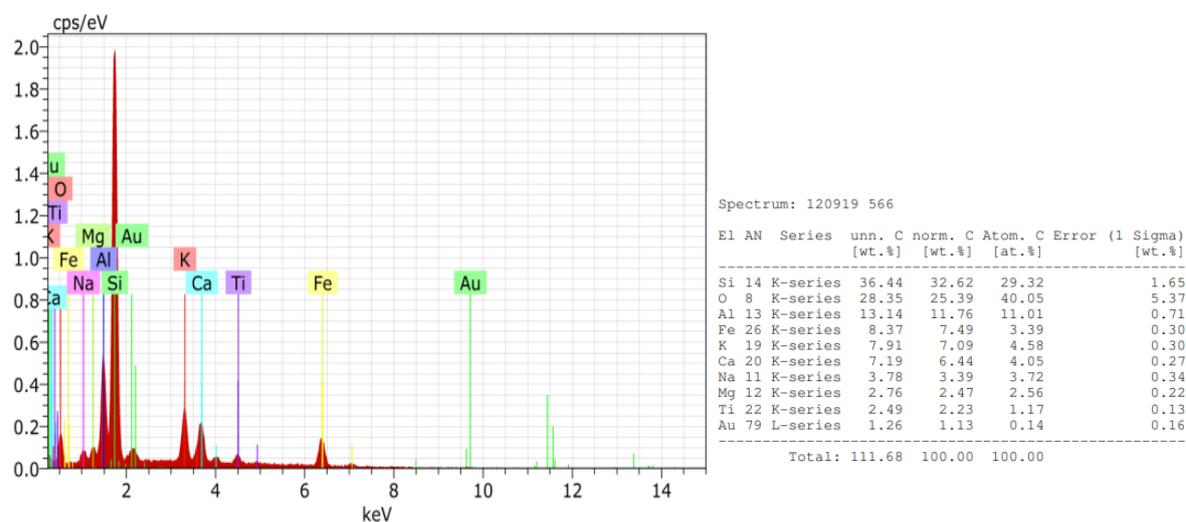


Figura 8. Composición química del MPS de la estación de monitoreo 19.

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

La **Figura 8**, indica el análisis químico de la muestra de la estación de monitoreo N.º 19, en donde tenemos valores de 10 elementos químicos; en mayor proporción encontramos Si y O con valores de 32,62% y 25,39% respectivamente; seguido de Al, Fe, K y Ca con valores de 11,76%, 7,49%, 7,09% y 6,44 % respectivamente; finalmente se encuentra valores bajos de Na, magnesio (Mg), titanio (Ti) y Au con valores de 3,39%, 2,47%, 2,23% y 1,13% respectivamente.

Las partículas que predominan en el MPS son las partículas de oxígeno y silicio que son los elementos que más se encuentran en la corteza terrestre, por lo general no se encuentra al silicio en la naturaleza en estado puro sino combinado con oxígeno (dióxido de silicio), este es un importante constituyente del hormigón y los ladrillos y se emplea en la producción de cemento Portland, además, como elemento fertilizante en forma de mineral primario rico en silicio para la agricultura (Bogado, 2011). La inhalación en grandes cantidades de sílice cristalina (cuarzo, cristobalita) es bastante tóxica, las manifestaciones

generales de la toxicidad del Si por inhalación se describen como silicosis, donde las partículas de Si son inhaladas en el alveolo pulmonar produciendo fibrosis (González Muñoz y otros, 2009).

Los elementos tales como Fe, K, Na y Mg, proviene de la combustión de vehículos, desgaste de llantas, frenos y pavimentos (Santillán y otros, 2021). Además, el hierro y el aluminio son elementos químicos que se encuentran en la composición de la corteza superior terrestre y sedimentos, provienen de la erosión de materiales terrestres y el transporte arrastrado por el viento, industrias y otras actividades antropogénicas como el movimiento del tráfico que puede causar la resuspensión de partículas (Lara y otros, 2021). Algunos estudios demuestran que las llantas van presentando desgaste por fricción y arrojan al ambiente partículas sobre la vía suficientemente pequeñas para ser inhaladas y pueden contener metales de transición, como óxido de magnesio (Osorio y otros, 2019).

La presencia de Au, se debe al recubrimiento con este elemento realizado sobre la muestra como pretratamiento, con el objetivo de otorgar carácter conductor al material analizado (Santillán y otros, 2021). Finalmente, el titanio no se encuentra libre en la naturaleza, siempre se encuentra unido químicamente a otros elementos tal es el caso del dióxido de titanio (TiO_2) que se obtiene directamente de minas o arena en forma impura (Gutiérrez & Lizárraga, 2016). Además, se encuentra el uso de nanopartículas de TiO_2 en la industria de la construcción; según estudios realizados, en exposiciones prolongadas al TiO_2 se han encontrado daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y efectos carcinógenos (Franco y otros, 2019).

4.5.2 Caracterización Morfológica

Se realizó el análisis morfológico de dos muestras de MPS con el uso del microscopio electrónico de barrido, donde se obtuvieron micrografías a 100x y 200x, logrando identificar la forma y tamaño de las partículas sedimentadas.

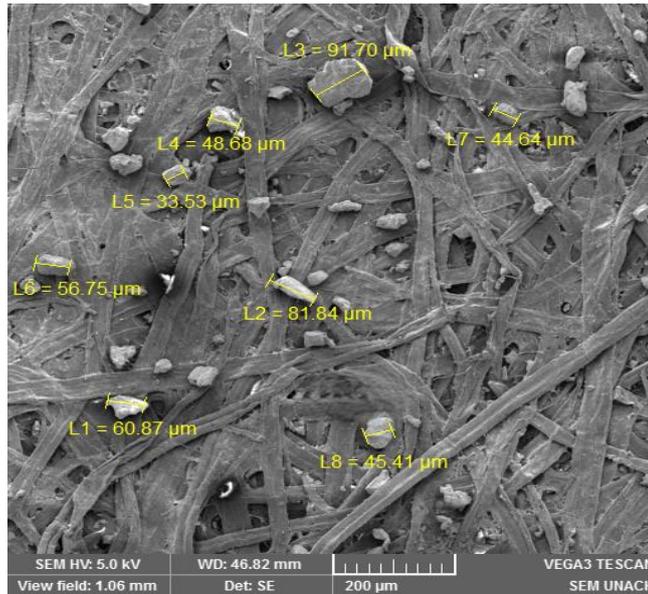


Figura 9. Diámetro de las partículas recolectadas en la estación de monitoreo 2.

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En la **Figura 9** se observa partículas amorfas que presentan formas irregulares y redondeadas con un tamaño promedio de 45,80 μm, el tamaño de las partículas de las muestras se determinó al azar, teniendo partículas con diámetros aerodinámicos que oscilan entre un rango de 33,53 μm a 91,70 μm.

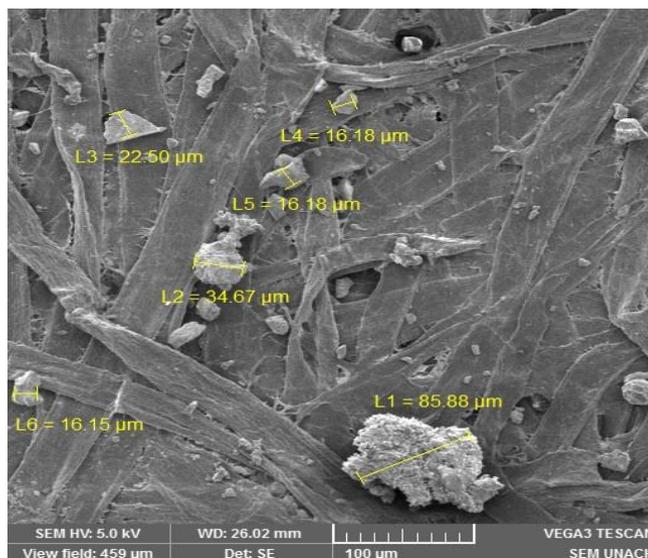


Figura 10. Diámetro de las partículas recolectadas en la estación de monitoreo 19.

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En la **Figura 10** se puede evidenciar partículas gruesas en forma de fragmentos irregulares planos y porosos con diámetros que oscilan entre 16,15 μm y 85,88 μm , de forma general la muestra recolectada en la estación de monitoreo 19 presenta partículas con un tamaño promedio de 31,93 μm .

Las partículas minerales se caracterizan por su granulometría gruesa con una proporción mayor en el rango 5-25 μm , la emisión de las partículas minerales de origen natural depende de la superficie del suelo, la humedad y la cobertura vegetal, también estas partículas pueden ser emitidas por algunas fuentes antropogénicas, como actividades de construcción, minería, fabricación de cerámica o cemento y por el tráfico (Minguillón, 2007).

La presencia de partículas de gran tamaño en las muestras en parte se debe a la aglomeración entre partículas, proceso que depende del tamaño de las mismas, la estructura del gránulo y la humedad presente en el ambiente, haciendo que las finas se unan con las gruesas debido a la tensión superficial generada (Triñanes, 2010).

4.6 Análisis Geoestadístico de Concentración y Dispersión de MPS

Se realizó un mapa temático de concentración y dispersión con los datos de MPS obtenidos durante el periodo de enero-febrero del 2023, además se utilizaron datos meteorológicos de velocidad y dirección del viento obtenidos de las estaciones meteorológicas San Juan, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y Tunshi.

Con el uso de SIG se interpolaron los datos de MPS mediante la herramienta de interpolación Kriging para obtener los valores desconocidos de MPS dentro del área de estudio, asignando colores que permitan diferenciar las áreas con menor y mayor concentración, de igual manera se realizó la interpolación de los datos de velocidad y

dirección del viento clasificados en tres categorías: bajo, medio y alto, como se observa en la **Figura 11**.

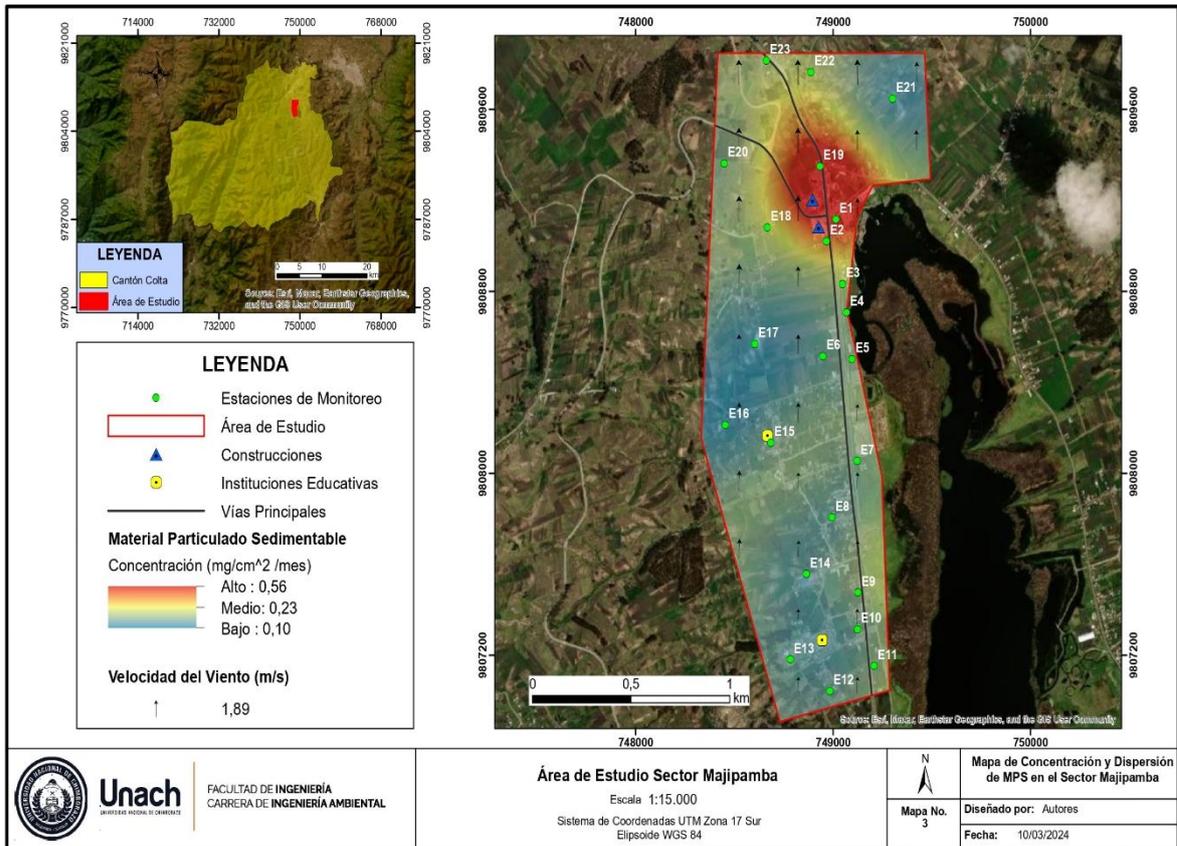


Figura 11. Mapa de concentración y dispersión de MPS.

Fuente: Autores (2024).

Dentro del área estudio se observa que la dirección del viento fue en sentido norte (N) con una velocidad promedio de 1,89 m/s. El mapa de concentración y dispersión indica que la zona norte presenta mayor concentración de MPS, siendo la dirección del viento una de las posibles causas, además en esta zona se encuentran calles sin pavimentar, construcciones aledañas y la intersección de la vía Troncal de la Sierra y la vía de segundo orden Colectora la Unión-T del Triunfo. La zona centro y zona sur del área de estudio presenta bajas concentración de MPS debido a la disminución de actividades antrópicas y un menor tráfico vehicular en relación a la zona norte.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la presente investigación se logró determinar la concentración de material particulado sedimentable en el sector Majipamba, evidenciando que la mayoría de las concentraciones no sobrepasan los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A y la OMS.

De acuerdo con los valores obtenidos de MPS en la zona de estudio, se evidenció que, dentro de los 23 puntos de muestreo, los puntos 1 y 19 sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la OMS con valores de $(0,51 \text{ mg/cm}^2/\text{mes})$ y $(0,56 \text{ mg/cm}^2/\text{mes})$ respectivamente; valores que no son tan alarmantes, pero queda en evidencia que la calidad del aire puede verse afectada y ocasionar daños en la salud de los habitantes a largo plazo.

El análisis morfológico y molecular de las muestras se caracterizó por presentar partículas de color negro, café, cristalinas de color blanco y anaranjado; con formas irregulares, redondeadas, planas y porosas y tamaños que oscilan entre 16,15 y 91,70 micras; la composición química muestra la presencia de varios elementos como: O, Si, Al, Ca, N, Na, Fe, K, Mg y Ti, que son atribuibles al tráfico vehicular y construcciones.

Mediante el análisis geoestadístico se logró establecer el comportamiento y los niveles de concentración de MPS existentes en la zona de estudio, siendo la zona norte la de mayor concentración, debido a la presencia de obras de construcción y un mayor tráfico vehicular en relación a la zona sur, además la dirección del viento durante el muestreo se encontraba en sentido Norte, influyendo directamente en la dispersión de las partículas.

La información proporcionada en esta investigación conjuntamente con otras investigaciones realizadas dentro del cantón Colta, será de utilidad para el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Colta, mediante la creación de una base de datos

que permita ver el comportamiento del MPS y determinar el índice de calidad del aire; información que podría ser utilizada dentro de un nuevo Plan de Ordenamiento Territorial.

5.2 Recomendaciones

Es necesario mantener un acercamiento con las autoridades y los pobladores de la zona de estudio, previo a la instalación de las estaciones de monitoreo, esto con la finalidad de optimizar recursos y evitar la manipulación de los equipos.

Se recomienda realizar monitoreos de MPS en diferentes meses del año para observar el comportamiento y las variaciones que tienen a través del tiempo, ya que las concentraciones de MPS están sujetas a las diferentes actividades antrópicas y condiciones climáticas.

Se sugiere colocar las estaciones de monitoreo en lugares de fácil acceso, que permitan realizar revisiones periódicas durante el período de muestreo, además verificar que las cajas Petri estén colocadas correctamente, para evitar que el papel filtro se desprenda por las condiciones climáticas.

Es importante que los ciudadanos del sector Majipamba y las comunidades aledañas tengan conocimiento sobre los niveles de concentración y los contaminantes presentes en el aire.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Almirón, M., Dalmaso, A., & Llera, J. (2008). Uso de *Larrea Cuneifolia* Cav. y *Zuccagnia Punctata* Cav. en la evaluación del material particulado sedimentable en una calera de Los Berros - San Juan - Argentina. *Multequina*, 17(1), 29-38. <http://www.scielo.org.ar/pdf/multeq/v17n1/v17n1a03.pdf>
- American Society of Testing Materials. (2017). *Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter)*. 24 de abril de 2024, de ASTM International: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/96710/f2dbf40b19604d36b5b9f3eb636910b5/ASTM-D1739-98-2017-.pdf>
- Arrieta, A. J. (2016). Dispersión de material particulado (PM10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43-54. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5445>
- Azuero, Á. E. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA*, 4(8), 110-127. <https://doi.org/10.35381/r.k.v4i8.274>
- Bárbara, S., Reyes, T., & Oyarzún, M. (2019). Mecanismos de los efectos nocivos para la salud de la contaminación atmosférica proveniente de incendios forestales. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 49-57. <https://doi.org/10.4067/S0717-73482019000100049>
- Bogado, M. M. (2011). Silicio. En Instituto Nacional de Educación Tecnológica (Ed.), *Materiales y Materias Primas* (págs. 1-33). Encuentro - INET.
- Cáceres, A. M. (2021). ¡Te Falta el Aire!. *SUCRE*, págs. 1-6. https://www.tdhsbolivia.org/images/Noticias/2022/TE_FALTA_EL_AIRE.pdf

- Carranza, J., Choque, K., Mallea, M., Rojas, A., & Valverde, S. (febrero de 2021). *La incorporación del Material Particulado Sedimentable como parámetro en el ECA Aire para la evaluación ambiental*. 11 de febrero de 2023, de Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental: <https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/153>
- Franco, J. G., Castillo, R., & Gaona, E. (2019). LOS PELIGROS PARA LA SALUD DE LOS TRABAJADORES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 20(3), 8-15. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubsaltra/cst-2019/cst193b.pdf>
- GADMCC. (septiembre de 2020). *Planificación Territorial - Rendición de Cuentas*. Retrieved 19 de abril de 2024, from Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta: <https://docplayer.es/204963765-Gobierno-autonomo-descentralizado-municipal-del-canton-colta.html>
- Gamero Sarmiento, M. F., Ramos Contreras, C. D., Flórez Pérez, S. L., & Molina Pérez, F. J. (2021). Determinación de metales pesados en material particulado atmosférico por espectroscopía de absorción atómica: validación. *Revista Politécnica*, 17(34), 153-169. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a10>
- García, F. F., Agudelo, R. A., & Jiménez, K. M. (2006). Metodología para la localización de estaciones de monitoreo de material particulado a escala local (0.5 a 4.0 Km) en la ciudad de Santa Marta. *Gestión y Ambiente*, 9(2), 121-135. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986001.pdf>
- González Muñoz, M. J., Meseguer Soler, I., & Mateos Vega, C. J. (2009). Elementos ultratraza ¿Nutrientes o tóxicos? *Revista de Toxicología*, 26(2-3), 93-103. <https://www.redalyc.org/pdf/919/91913002003.pdf>

- González, L., & Sánchez, A. (2021). *Determinación de material particulado sedimentable proveniente del Parque Industrial del cantón Cuenca y su influencia en las zonas aledañas* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35631>
- Gutiérrez, A. F., & Lizárraga, T. L. (2016). Efectos sobre la salud en los trabajadores expuestos al dióxido de titanio. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 62(242), 79-95. <https://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v62n242/revision2.pdf>
- HGADPCH. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Chimborazo 2019 - 2023*. <https://chimborazo.gob.ec/principal/wp-content/uploads/2022/06/PDOT.pdf>
- Lara, R., Suárez, B., Megido, L., Negral, L., Rodríguez, J., Fernández, Y., & Castrillón, L. (2021). Health risk assessment of potentially toxic elements in the dry deposition fraction of settleable particulate matter in urban and suburban locations in the city of Gijón, Spain. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106794>
- Legarreta Perusquia, A., Corral Avitia, A., Delgado Rios, M., Torres Pérez, J., & Flores Marguez, J. P. (2016). Material particulado y metales pesados en aire en ciudades mexicanas. *Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 234-245. <https://doi.org/https://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/818>
- MAE. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Edición Especial.
- Manisalidis, L., Elisavet, S., Agathangelos, S., & Eugenia, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front. Public Health*, 8(14), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>

- Marcos, R., & Valderrama, R. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. *Centro de Desarrollo E Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF)*, 14, 1-14. <https://es.scribd.com/document/217154063/Contaminacion-del-aire-por-material-particulado-en-la-ciudad-universitaria-pdf>
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (19), 55-64. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1792/1508>
- Minguillón, M. (27 de junio de 2007). *Composición y Fuentes del Material Particulado Atmosférico en la Zona Cerámica de Castellón. Impacto de la Introducción de las Mejores Técnicas Disponibles* [Tesis de doctorado, Universitat Jaume I]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10803/10385>
- Ministerio de Salud Pública. (17 de noviembre de 2016). *Municipios saludables respiran vida*. 12 de diciembre de 2022, de Ministerio de Salud Pública: <https://www.salud.gob.ec/municipios-saludables-respiran-vida/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Evaluación de la Calidad del Aire en España 2020*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2020_tcm30-529210.pdf
- Mora, J. C., Sibaja, J. P., & Borbón, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica del agua de lluvia y de niebla. *Tecnología en Marcha*, 34(1), 92-103. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>

- Muñoz, S., Salcedo, J., & Sotomayor, A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *INVENTUN*, 16(30), 20-30. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.30.2021.20-30>
- OMS. (19 de diciembre de 2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. 10 de enero de 2023, de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Osorio, E., Oliveros, S., Abella, J., Gálvez, A., González, M., & Osorio, S. (2019). Análisis de la problemática de contaminación del aire en Bogotá desde una perspectiva de salud. *Boletín Epidemiológico Distrital*, 16(3), 5-19. <https://doi.org/10.56085/01238590.278>
- Pequeño Ledezma, M. Á., Alanís, E., Aguirre Calderón, O. A., Molina Guerra, V. M., Méndez, C., Buendía Rodríguez, E., & Sánchez Castillo, L. (2019). Análisis de las partículas en suspensión depositadas sobre vegetación arbórea en el noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 205-213. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1545>
- Perugachi, N. P., y Cocha, L. S. (2019). Rediseño de la red de monitoreo atmosférico para control y vigilancia de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba. *Ciencia Digital*, 3(3.2), 172-192. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.723>
- Porras, A. (2017). *Método Kriging de inferencia espacial*. 05 de agosto de 2023, de CENTROGEO: <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/160>
- Robles, E. G., Medina, A. M., & Medina, C. S. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Industrial Data*, 22(1), 173-186. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16533>

- Sánchez, E., Ortiz, L., & Castrejón, M. (2014). *Contaminación urbana del aire: aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales* (1 ed.). UAEM.
- Santillán, G. P., Damián Carrión, D. A., Rodríguez Llerena, M. V., Torres Rodríguez, S. H., Cargua Catagña, F. E., & Torres Barahona, S. M. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2(16), 32-39. <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/faces/Articulos/Perfiles16Art5.pdf>
- Santillán, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinerгия*, 4(2), 111-126. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.07>
- Triñanes, P. G. (2010). *Avances en aglomeración y compactación de partículas* [Tesis de doctorado, Universidad de Santiago de Compostela]. Repositorio institucional. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2822/9788498874266_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 18(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>

7. ANEXOS

Anexo 1: Análisis en el Laboratorio de Servicios Ambientales

Recorte de Papel Filtro



Secado de Papel Filtro



Peso Inicial de Papel Filtro



Etiquetado de Caja Petri



Anexo 2: Recolección de Muestras

**Preparación de
estaciones de
monitoreo**



Instalación de Equipos



Instalación de Equipos



Revisión de Muestras



Anexo 3: Análisis de Muestras Recolectadas

**Muestras recolectadas posterior
a los 30 días**



**Secado de las muestras
recolectadas**



**Pesaje de las muestras
recolectadas**



**Caracterización de las muestras en el
microscopio**

