UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Título

DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA PARROQUIA CAJABAMBA, ZONA URBANA, ECUADOR

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero Ambiental

Autor:
Lata Azacata Dennys Fabricio

Tutor:
MsC. Guido Patricio Santillán Lima

Riobamba, Ecuador
2022

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Lata Azacata Dennys Fabricio**, con cédula de ciudadanía 0604212977, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: "**Determinación de material particulado sedimentable en la parroquia Cajabamba, zona urbana, Ecuador.”**, 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, 30 de noviembre de 2022.

Dennys Fabricio Lata Azacata

C.I: 0604212977

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, 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 "**Determinación de material particulado sedimentable en la parroquia Cajabamba, zona urbana, Ecuador.**", bajo la autoría de Dennys Fabricio Lata Azacata; 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 25 días del mes de noviembre de 2022.

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 material particulado sedimentable en la parroquia Cajabamba, zona urbana, Ecuador.**", presentado por Dennys Fabricio Lata Azacata, con cédula de identidad número 0604212977, bajo la tutoría del MsC. 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, miércoles 30 de noviembre de 2022.

Presidente del Tribunal de Grado
MsC. Carla Fernanda Silva Padilla — Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. José Gregorio Prato Moreno — Firma

Miembro del Tribunal de Grado
MsC. Marco Marcel Paredes Herrera — Firma

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

Que, **LATA AZACATA DENNYS FABRICIO** con CC: **0604212977**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA PARROQUIA CAJABAMBA, ZONA URBANA, ECUADOR**", cumple con el 8 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de noviembre de 2022

MsC. Guido Patricio Santillán Lima
TUTOR

DEDICATORIA

La presente dedicatoria va dirigida de manera especial a mis padres por haberme formado como la persona que soy actualmente, muchos de mis logros no hubieran sido posibles de no ser por ellos, en especial este último paso. Gracias por su apoyo y guía a lo largo de mi vida estudiantil, las constantes motivaciones para alcanzar mis objetivos.

A todos mis hermanos que supieron apoyarme y se volvieron piezas fundamentales para mi desarrollo personal y profesional, fueron mis mayores ejemplos de superación.

AGRADECIMIENTO

A todos mis familiares que han sabido apoyarme, alentarme y corregirme en muchos aspectos de mi vida. Gracias por su confianza, consejos y valores que han demostrado.

A mis amigos de escuela, colegio y universidad por ser las mejores amistades que he conocido y han estado en la transición desde niño hasta adulto. Gracias por el apoyo y momentos vividos.

A los docentes que han podido brindar su tiempo y conocimientos, sabiendo dirigir nuestro camino hacia una formación como profesional y personas de bien.

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

MP: Material particulado

MPS: Material particulado sedimentable

$PM_{2.5}$: Material particulado de 2,5 μm

PM_{10}: Material particulado de 10 μm

OMS: Organización mundial de la salud

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

LMP: Límite máximo permisible

SIG: Sistemas de información de geográficas

COVs: Compuestos Orgánicos Volátiles

GAD: Gobiernos Autónomos Descentralizados

INAHMI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

ESPOCH: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

cm^2: centímetro cuadrado

μm: micrómetro, micrón o micra

mg: miligramo

mm: milímetro

Km^2: kilómetro cuadrado

E35: Troncal de la sierra

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....

CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....

DEDICATORIA.....

AGRADECIMIENTO.....

RESUMEN.....

ABSTRACT .....

CAPÍTULO I..... 14

INTRODUCCIÓN..... 14

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

1.2 JUSTIFICACIÓN 15

1.3 OBJETIVOS 16

1.3.1 General..... 16

1.3.2 Específicos..... 16

CAPÍTULO II..... 17

MARCO TEÓRICO 17

2.1 Contaminación atmosférica 17

2.2 Fuentes de contaminación atmosférica 17

2.3 Material particulado (MP)..... 18

2.4 Material particulado sedimentable (MPS) 18

2.5 Efectos del material particulado sobre la salud..... 19

2.6 Clases de material particulado: 19

2.7 Clasificación de partículas según su formación:..... 20

2.8 Normativa de calidad del aire según la OMS 21
2.9 Normativa de calidad del aire en Ecuador 22
CAPÍTULO III 23
METODOLOGIA 23
3.1 Tipo de estudio 23
3.2 Área de estudio 24
3.3 Visita de campo 25
3.4 Ubicación e implementación de los equipos de medición para MPS: 25
3.5 Análisis geoestadístico 25
3.6 Análisis de resultados 26
CAPÍTULO IV 27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
4.1 Ubicación de estaciones de monitoreo e identificación de actividades antrópicas….. 27
4.2 Cuantificación y análisis de MPS 28
4.3 Caracterización morfológica del MPS 30
4.4 Análisis geoestadístico de la concentración y dispersión del MPS 34
CAPÍTULO V 36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 36
5.1 Conclusiones 36
5.2 Recomendaciones 37
BIBLIOGRAFÍA 38
ANEXOS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización del MP presente en el aire troposférico. 20
Tabla 2. Límite máximo permisible según la OMS para MPS. 22
Tabla 3. Límite máximo permisible según el Acuerdo 097-A (Ecuador). 22
Tabla 4. Valores utilizados para la recepción de MPS. 26
Tabla 5. Concentración de MPS de cada punto de monitoreo. 28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio..... 24
Figura 2. Estaciones de monitoreo y actividades antrópicas en el área de estudio. 27
Figura 4. Comparación de valores de MPS con los LMP de la OMS y el Acuerdo 097-A. 29
Figura 5. Comparación morfológica de colores de diferentes muestras de MPS..... 30
Figura 6. Partículas de diferentes formas y tamaños encontrados en el muestreo. 32
Figura 7. Mapa de concentración y dispersión del MPS. 34

RESUMEN

El objetivo del presente estudio tiene por determinar y caracterizar el material particulado sedimentable por incidencia antrópica y natural en la parroquia urbana Villa La Unión (Cajabamba) del cantón Colta, provincia de Chimborazo, Ecuador. Se establecieron 22 puntos de monitoreo, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente para cubrir el área de estudio previamente delimitada y distribuidos de manera homogénea, estas estaciones de monitoreo recolectaron el material particulado sedimentable (MPS) mediante el método pasivo gravimétrico que consiste en que el material particulado (MP) se deposite mediante la gravedad en unas cajas Petri con un papel filtro en su interior durante el lapso de un mes (20 de enero al 19 de febrero).

Las muestras recolectadas fueron analizadas para su respectiva cuantificación y caracterización morfológica y posteriormente ser comparadas con los límites máximos permisibles (LMP) de las normas: internacional (OMS) y nacional (Acuerdo 097-A). Los resultados de la comparativa con las normas antes mencionadas arrojaron que todas las muestras cumplen con la normativa establecida en el Acuerdo 097-A reformada el año 2018 (1 $mg/cm^2/mes$), sin embargo 21 de las 22 muestras recolectadas no cumplen con la normativa de la OMS estando por encima del límite máximo permisible que es de (0.5 $mg/cm^2/mes$), siendo el MPS un factor que afecta a la calidad del aire en la zona.

Para concluir, se elaboró un mapa de concentración y dispersión del MPS con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en donde se categorizó 3 tipos de rangos a la concentración del MP en: alto, medio y bajo, también se identificaron las zonas con mayor grado de concentración de material particulado, resultando ser la zona norte y sur del área de estudio.

Palabras claves: Cajabamba, material particulado, material particulado sedimentable, estaciones de monitoreo, concentración

ABSTRACT

This study aims to determine and characterize the sedimentable particulate matter by anthropic and natural incidence in the urban parish of Villa La Unión (Cajabamba) of Colta canton, province of Chimborazo, Ecuador. Twenty-two monitoring points were established, randomly distributed to cover the previously defined study area, and distributed homogeneously. These monitoring stations collected sedimentable particulate matter (SPM) using the passive gravimetric method, which consists of the particulate matter (PM) deposited by gravity in Petri dishes. With filter paper inside it for one month. The samples collected were analyzed for their respective quantification and morphological characterization and then compared with the Maximum Permissible Limits (MLS) of the International (WHO) and National (Agreement 097-A) standards. The comparison results with the above standards showed that all the samples comply with the regulations established in Agreement 097-A as amended in 2018 (1 mg/cm2/month).However, 21 of the 22 samples collected do not comply with the WHO regulations being above the maximum permissible limit, which is (0. 5 mg/cm2/month), with the MPS being a factor affecting air quality in the area.

To conclude, a map of the concentration and dispersion of the MPS was prepared with the help of Geographic Information Systems (GIS), in which three types of ranges have categorized the concentration of the PM into high, medium, and low. The areas with the highest concentration of particulate matter were also identified, resulting in the northern and southern areas of the study area.

Keywords: Cajabamba, particulate matter, sedimentable particulate matter, monitoring stations, concentration.

Abstract translation reviewed by

Firmado electrónicamente por:
BLANCA NARCISAFUERTES LOPEZ

Dr. Narcisa Fuertes, PhD

Professor at Competencias Linguisticas UNACH

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación, claramente el factor más evidente en el deterioro de la calidad ambiental. Este tema afecta a diferentes medios (suelo, agua, aire) está íntimamente relacionada con los efectos destructivos sobre el ambiente, el efecto invernadero acelerado, el deterioro de los ecosistemas y la calidad ambiental.

La calidad del aire se define por un conjunto de factores que afectan su condición. El entorno industrial cambiante genera emisiones atmosféricas de ciertos contaminantes que deben ser controlados para mitigar los impactos negativos sobre el ambiente, la salud y el bienestar humano (Envira, 2020).

El crecimiento económico y la urbanización, acompañado del desarrollo de diversas actividades como la industria petrolera, la industria de servicios, la agroindustria y el aumento del número de automóviles, conducen al consumo masivo de combustibles fósiles; al mismo tiempo, las actividades agrícolas inadecuadas pueden afectar la producción de grandes cantidades de contaminantes, cuando se relacionan con las condiciones ambientales, dañan la salud humana, los ecosistemas y los recursos físicos (Romero Placeres et al., 2003).

En el estudio de la contaminación atmosférica según (Marcos y Valderrama, 2012), “Entre las principales fuentes de contaminación atmosférica están: 1. Fuentes naturales: Polvo que contiene materias biológicas, esporas, polen y bacterias. 2. Fuentes agrícolas: Insecticidas y herbicidas empleados en la agricultura. 3. Fuentes tecnológicas: a) procesos industriales de todo tipo, b) consumo industrial y doméstico de combustibles fósiles, c) vehículos.”

1.2 JUSTIFICACIÓN

Cajabamba es una parroquia urbana del cantón Colta, provincia de Chimborazo, Ecuador. Se encuentra rodeada de diferentes actividades antrópicas como: fábrica de harina, fábricas de bloques, metalmecánicas las cuales son emisoras de polvo, humo y gases, además de la contaminación emitida por el sector automotriz, esto en conjunto repercute en la calidad del aire la cual se ve afectada por el material particulado, generada por las actividades antes mencionadas el cual va a representar un nivel de contaminación considerable del aire, además que el municipio encargado no ha realizado ningún estudio respecto a este tema. Por todo ello es necesario elaborar un estudio e identificar el nivel de material particulado sedimentable (MPS) pudiendo obtener información muy relevante para el beneficio de la propia comunidad y del ambiente.

La finalidad de esta investigación es determinar la calidad del aire en la parroquia y compararla con normas nacionales e internacionales, esto con respecto al material particulado sedimentable. Dicho monitoreo permitirá establecer ideas generales y específicas para comprender la calidad del aire en la zona, así como comparar los limites permisibles máximos del MPS.

Los resultados beneficiarán a los habitantes de la zona, a los propietarios de las distintas industrias, a las autoridades locales de control ambiental y municipal para que puedan planificar la difusión de los problemas asociados a la contaminación del aire. También servirá para la concientización de los habitantes sobre el control de sus emisiones, contando con información pertinente para su protección personal y determinando alternativas de control a las mismas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

- Cuantificar y caracterizar el material particulado sedimentable en la parroquia urbana Cajabamba

1.3.2 Específicos

- Cuantificar el material particulado sedimentable recolectado por cada estación de monitoreo y comparar con parámetros permisibles.
- Caracterizar el material particulado sedimentable recolectado por cada estación de monitoreo.
- Realizar un mapa de dispersión y concentración del material particulado sedimentable para simular su distribución en el área de estudio mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación atmosférica

El término "contaminación atmosférica" tiene diferentes definiciones, aunque todas referidas a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas. Los distintos contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en contaminantes primarios, que son aquellos emitidos directamente a la atmósfera, por ejemplo el monóxido de carbono (CO); o contaminantes secundarios, los cuales se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O_3), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NOx) (Ubilla y Yohannessen, 2017).

La contaminación del aire es una alteración de los niveles de calidad y pureza del aire debido a emisiones naturales o de sustancias químicas y biológicas. El aumento masivo de contaminantes atmosférica fue condicionado por el crecimiento económico e industrial, hecho que motivó una disminución en la calidad del aire que causó diversos padecimientos respiratorios en la población, lo que condicionó un problema emergente para la humanidad (ANMM, 2015).

2.2 Fuentes de contaminación atmosférica

Se considera fuentes de contaminación a todas las actividades, procesos u operaciones que puedan producir contaminantes atmosféricos. Se pueden clasificar en:

- **Fuentes fijas** que se caracterizan por ser estacionarias o estar ubicadas en un punto fijo, como centrales eléctricas, plantas químicas, refinerías y fábricas.
- **Fuentes móviles** son aquellas que abarcar todas las formas de transporte y vehículos motorizados.
- **Fuentes de área** son todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire, como el uso de madera, imprentas, tintorerías o actividades agrícolas
- **Fuentes naturales** o biológicas que son el resultado de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones de los volcanes, los océanos y la erosión del suelo.

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 entre otras. Su acción dañina ha sido de tal dimensión, que el aumento en el nivel de contaminación del aire en las ciudades ha llegado a afectar las zonas aledañas, incluyendo ecosistemas boscosos. Estudios sobre la exposición a contaminantes atmosféricos además han revelado que los contaminantes en ambientes exteriores e interiores están asociados con efectos adversos agudos en la salud de humanos y con el deterioro de los ecosistemas terrestres (flora y fauna) (Mora et al., 2021).

2.3 Material particulado (MP)

El material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de Diesel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos. Estas partículas en suspensión (MP) son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuestos (Arciniégas Suáres, 2012).

Según su origen se clasifican en partículas primarias, provenientes de fuentes directas como: la quema de biomasa, combustión incompleta de combustibles fósiles, erupciones volcánicas, desgaste de carreteras, suelo, mar y materiales biológicos (fragmentos de plantas, microorganismos, polen, etc.); y partículas secundarias, provenientes principalmente de la conversión de gases a partículas en la atmosfera (Suárez-Salas et al., 2017).

El material particulado es un contaminante complejo no solo por sus propiedades físicas (masa, tamaño y densidad) sino también por sus propiedades químicas (contiene compuestos orgánicos e inorgánicos, metales, contaminantes primarios y secundarios). Estas características son fundamentales para determinar el tipo y la magnitud de los efectos sobre la salud humana.

2.4 Material particulado sedimentable (MPS)

Material particulado sedimentable (MPS) o polvo grueso es aquella fracción del material particulado, cualquiera sea su tamaño, que se capta en una unidad de superficie específica, durante una unidad de tiempo específica. Se expresa como masa de material sólido (mg), depositado en una unidad de área (cm^2) durante una unidad de tiempo (días) (Cortés, 2015).

El material particulado sedimentable, consisten en partículas sólidas o líquidas, de aproximadamente 10 µm de tamaño o más, que tienen la capacidad de suspenderse temporalmente en el aire, por lo que se asientan como polvo y se asientan en diferentes superficies (generalmente exteriores e interiores) edificios y objetos (áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde son inyectados al aire por la denominada turbulencia de área urbana (Huatuco, 2018).

2.5 Efectos del material particulado sobre la salud

El tamaño de las partículas está directamente relacionado con la probabilidad de causar problemas de salud. Las partículas pequeñas de menos de 10 micrones de diámetro son el mayor problema porque pueden penetrar profundamente en los pulmones y algunas incluso pueden llegar al torrente sanguíneo (EPA, 2022).

La exposición a estas partículas puede afectar los pulmones y el corazón. Varios estudios científicos han relacionado la exposición a la contaminación por partículas con una variedad de problemas, que incluyen:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- 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.

2.6 Clases de material particulado:

El material particulado (MP) atmosférico es una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas presentes en el aire y su composición química representa una complejidad aún mayor. Para un mejor estudio, es común la medición de las fracciones del material particulado: partículas menores de 10 micrómetros (µm), PM_{10} y partículas menores de 2,5 µm, $PM_{2,5}$, las cuales varían ampliamente con respecto a su concentración y composición química según el tiempo y lugar (Suárez-Salas et al., 2017).

De acuerdo con su diámetro las partículas se clasifican en:

1) Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 µm.
2) Inhalables o respirables (PM_{10}), cuyo diámetro es menor a 10 µm.

3) Finas, con diámetro inferior o igual a 2,5 µm ($PM_{2,5}$)
4) Gruesas, con diámetro menor a 10 µm (PM_{10})

2.7 Clasificación de partículas según su formación:

Dentro del proceso de formación, los contaminantes pueden ser clasificados como primarios y secundarios, en donde los primarios se emiten directamente de procesos como: el humo de los tubos de escape de vehículos a motor, la erupción de un volcán o el dióxido de azufre de una fábrica en su proceso de producción; por otro lado, los contaminantes secundarios no se trata de una emisión directa como el caso anterior, sino más bien que, se forman a partir de reacciones químicas de los contaminantes primarios en condiciones atmosféricas iniciales presentes el aire (Istas, 2012).

En la **Tabla 1**, se presenta la formación de los tipos de MP que se puede encontrar en la atmósfera, las reacciones químicas que dan origen, su composición, solubilidad, fuentes emisoras de estos, vida media en la atmósfera y la distancia de viaje.

Tabla 1. Caracterización del MP presente en el aire troposférico.

	Particulado fino	**Particulado grueso**
Se forma a partir de:	Gases	Sólidos grandes, gotas.
Se forma a través de:	Reacciones químicas o vaporización. Evaporación de gotitas de neblina y nubes en que se han disuelto.	Disrupción mecánica (aplastamiento, molienda, abrasión de superficies, etc.). Evaporación de espray. Suspensión de polvos.

Están compuestas de:	Sulfato, nitrato, amonio, carbono elemental. Compuestos orgánicos como HAPs. Metales como plomo, cadmio, vanadio, níquel, cobre, zinc, manganeso, hierro.	Polvo re-suspendido del suelo y las calles. Ceniza del carbón y petróleo. Óxidos de elementos de la corteza (sílice, aluminio, titanio y hierro). Sal, carbonato de calcio, polen, esporas de hongos, moho. Fragmentos de plantas y animales.
Fuentes:	Combustión del carbón, petróleo, gasolina, diésel o madera. Procesos a altas temperaturas como fundiciones y siderúrgicas.	Re-suspensión del polvo industrial y del suelo en carreteras y calles. Suspensión del suelo en minería, caminos no pavimentados. Fuentes biológicas. Construcción y demolición. Combustión de carbón y petróleo.
Vida media en la atmósfera:	Días a semanas	Minutos a horas
Distancia de viaje	100 a 1000 km	1 a 10 km

Fuente: (Cáceres Lillo, 2015)

2.8 Normativa de calidad del aire según la OMS

El material particulado es un indicador común de la contaminación del aire. Afecta a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes del material particulado son sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, hollín, polvo mineral y agua. Consiste en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire (OMS, 2021).

En la siguiente **Tabla 2**, se expresa el valor de Límite Máximo Permisible (LMP) de material particulado sedimentable sobre la unidad de tiempo estipulados por la OMS.

Tabla 2. Límite máximo permisible según la OMS para MPS.

Contaminante	Tiempo de exposición	Concentración máxima permitida
Material particulado sedimentable	30 días (1 mes)	0.5 mg/cm^2/mes

Fuente: (OMS, 2021)

2.9 Normativa de calidad del aire en Ecuador

El Acuerdo 097-A, en el **anexo 4** detalla sobre la calidad del aire ambiente, los límites permisibles máximos, métodos y procedimientos para la determinación de contaminantes del aire en el territorio ecuatoriano, la cual fue publicada para forma parte integrante del libro VI "TULSMA" y que entró en vigor a partir del año 2015.

La **Tabla 3,** muestra el valor del LMP del material particulado sedimentable según el Acuerdo 097-A.

Tabla 3. Límite máximo permisible según el Acuerdo 097-A (Ecuador).

Contaminante	Tiempo de exposición	Concentración máxima permitida
Material particulado sedimentable	30 días (1 mes)	1 mg/cm^2/mes

Fuente: (MAE, 2015)

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudio

- **Transversal:** dado que el estudio se llevó a cabo en un intervalo de tiempo establecido que empezó desde el 20 de enero hasta el 19 de febrero del 2022.
- **Experimental:** el estudio efectuado se realizó mediante muestreos, monitoreos y fue sujeto a análisis de laboratorios con el fin de cuantificar y caracterizar el MPS.
- **De campo:** se realizó visitas de campo debido a que los puntos de monitoreo están dispersos por el área donde se realiza el estudio (Cajabamba, zona urbana). Pudiendo así recolectar la información pertinente para luego analizar la misma.
- **Muestreo al azar simple:** se escogió puntos al azar dentro del área de estudio y así se ubicó las estaciones fijas para la investigación. Priorizando las zonas cercanas al tráfico vehicular.

Para la instalación de las estaciones de monitoreo, se tuvo en cuenta lo siguiente: a) Tipo de emisiones y fuentes de emisión; b) Factores topográficos y meteorológicos, c) Información de la calidad de aire, d) Información densidad demográfica, población y ejecución de obras, e) En zonas urbanas se toma en cuenta las concentración máxima de contaminantes en la salud pública, por eso se toma muestras a una altura de (1,5 a 3) m sobre el nivel del piso; a esta altura se encuentra la población que transita y que está más expuesta a este tipo de contaminación, f)análisis de las características del flujo de viento (velocidad y dirección) (Marcos y Valderrama, 2012).

Al realizar la parte experimental de la investigación, se hará uso de equipos adecuados para el monitoreo de la calidad del aire, así como una estación donde se situara una caja Petri con un papel filtro, esto para recoger el material particulado sedimentable que se encuentre en las zonas, la información recolectada será posteriormente representada mediante un mapa de concentración y dispersión de MPS, utilizando herramientas de SIG, de esta manera se podrá caracterizar y cuantificar el MPS dentro del área de estudio.

Los datos fueron recolectados desde el 20 de enero hasta el 19 de febrero del 2022.

3.2 Área de estudio

La parroquia urbana Cajabamba se encuentra en el cantón de Colta en la provincia de Chimborazo, a una altura de 3212 msnm, posee una población de 2313 habitantes y tiene un área de 40 km^2. El área de estudio posee una superficie de 0.224 km^2 es donde se dispondrán los diferentes puntos de monitoreo para el MPS.

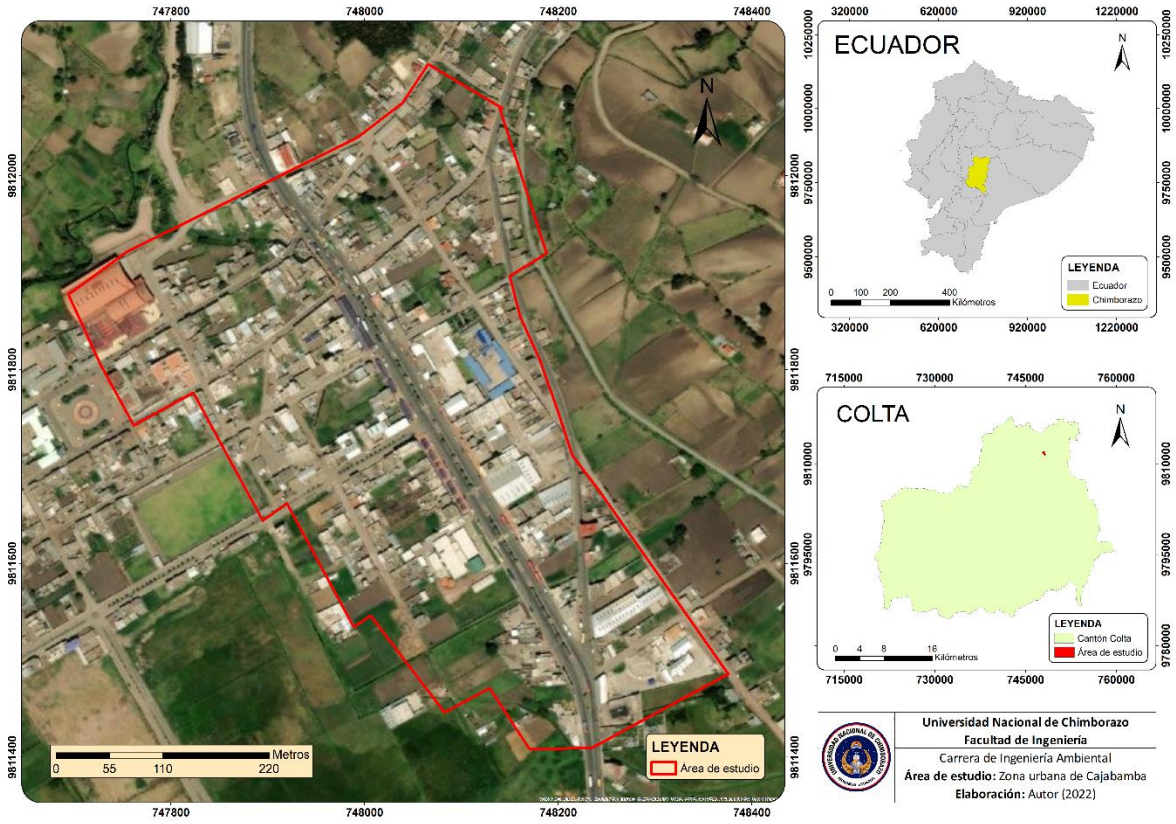

Figura 1. Área de estudio.

La **Figura 1,** muestra el área de estudio donde se realizó la investigación y que se ubica dentro de la provincia de Chimborazo, Ecuador. La parroquia urbana Cajabamba está situada aproximadamente 20 Km desde la ciudad de Riobamba. En la zona se realizan varias actividades sociales y económicas, entre las cuales destacamos la fabricación de bloques y la actividad producida por el sector automotriz, pues, Cajabamba es atravesada por una importante red vial del Ecuador (Panamericana/Troncal de la Sierra/E35) en consecuencia a estos factores se considera que la calidad del aire puede verse afectada y es necesario implementar un estudio sobre la calidad del aire.

3.3 Visita de campo

Previamente al colocar las estaciones fijas, se recorrió la zona donde tentativamente se situarán dichos equipos, los cuales se ubicarán en algunos domicilios de los lugareños (terrazas, patios, terrenos), principales avenidas, fábricas de bloques, camal, mercado, municipio obteniendo antes el consentimiento de ellos.

Para el proceso de obtención de las coordenadas de los puntos de estudio (estaciones fijas) se utilizó una aplicación para celular con sistema operativo Android "GPS Test" en cada una de las 22 estaciones fijas, posteriormente se diseñó el mapa de dispersión y concentración del material particulado sedimentable con el uso de software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.4 Ubicación e implementación de los equipos de medición para MPS:

Para determinar las estaciones a instalar se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Puntos de mayor flujo de personas y vehículos.
- La topografía de los puntos a instalar.
- Para la selección de puntos de monitoreo se toma como referencia 22 puntos iniciales, que se monitorean por 30 días, tomando como referencia el elevado desplazamiento de personas que circulaban por los ambientes y zonas circundantes al tráfico vehicular.

Cabe mencionar que se aplican ciertas consideraciones, por ejemplo, cada sitio debe estar ubicado sin obstrucciones obvias (edificios en el entorno, áreas con árboles, tendederos) u otras fuentes de contaminación para que las muestras puedan pasar. Para implementar los equipos de muestreo se consideran los puntos más vulnerables, como la situación cercana a los habitantes de la presencia industrial del sector (Marcos y Valderrama, 2012).

3.5 Análisis geoestadístico

Para tener los datos necesarios, así como la velocidad y dirección del viento, estas serán obtenidas gracias a las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio. Posteriormente, al analizar los muestreos obtenidos después de un intervalo de un mes (30 días) se podrá determinar la dispersión de MPS utilizando herramientas como lo es el SIG. En la elaboración del mapa de dispersión y concentración se utilizará el método de interpolación **Kriging**, el cual nos permitirá identificar valores desconocidos en los espacios

no muestreados del área de estudio. Además, se mostrará variables como es la dirección y velocidad del viento que hubo en el lapso del muestreo.

3.6 Análisis de resultados

Los equipos fueron ubicados en lugares con mayor probabilidad de receptar MPS, para que después se aplique un método pasivo que consiste en diversos pasos secuenciales. Se recomienda colocar el papel filtro en una placa Petri. Este papel debe estar previamente secado, pesado y determinado su área, el tiempo establecido para el seguimiento es de 30 días.

Los resultados se obtienen calculando los pesos final e inicial y dividiendo por el área donde se tomó la muestra, los valores de 1 mes se obtienen en mg/cm^2.

Tabla 4. Valores utilizados para la recepción de MPS.

Radio del papel filtro (cm)	**Área del papel filtro (cm^2)**
4.2	55.41

La cantidad de MPS o polvo atmosférico sedimentable se determinó usando la ecuación descrita por Marcos & Valderrama (2012), la cual implica calcular la diferencia de pesos entre el peso final y el peso inicial sobre el área de papel de filtro donde se tomó la muestra, luego multiplicar por un mes. Los resultados obtenidos están en (mg/cm^2/mes). **(Ecuación 1):**

$$MPS = \frac{Pf - Pi}{A} * (Mes)$$

Donde:

MPS: Material particulado sedimentable.

Pf: Peso final del papel filtro después del muestreo (mg).

Pi: Peso inicial del papel filtro antes del muestreo (mg).

A: Área del papel filtro (cm^2).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es estudio efectuado permitió obtener la concentración de MPS de la zona urbana de Cajabamba además de poder caracterizar el material particulado obtenido.

4.1 Ubicación de estaciones de monitoreo e identificación de actividades antrópicas

En la **Figura 2,** se evidencia que se trabajó con 22 puntos de monitoreo dentro del área urbana de Cajabamba, los cuales fueron colocados en distintos lugares de acceso público como escuela/colegio, GAD municipal, principales avenidas, fábricas de bloques, casas comunales y otros lugares como viviendas de la zona.

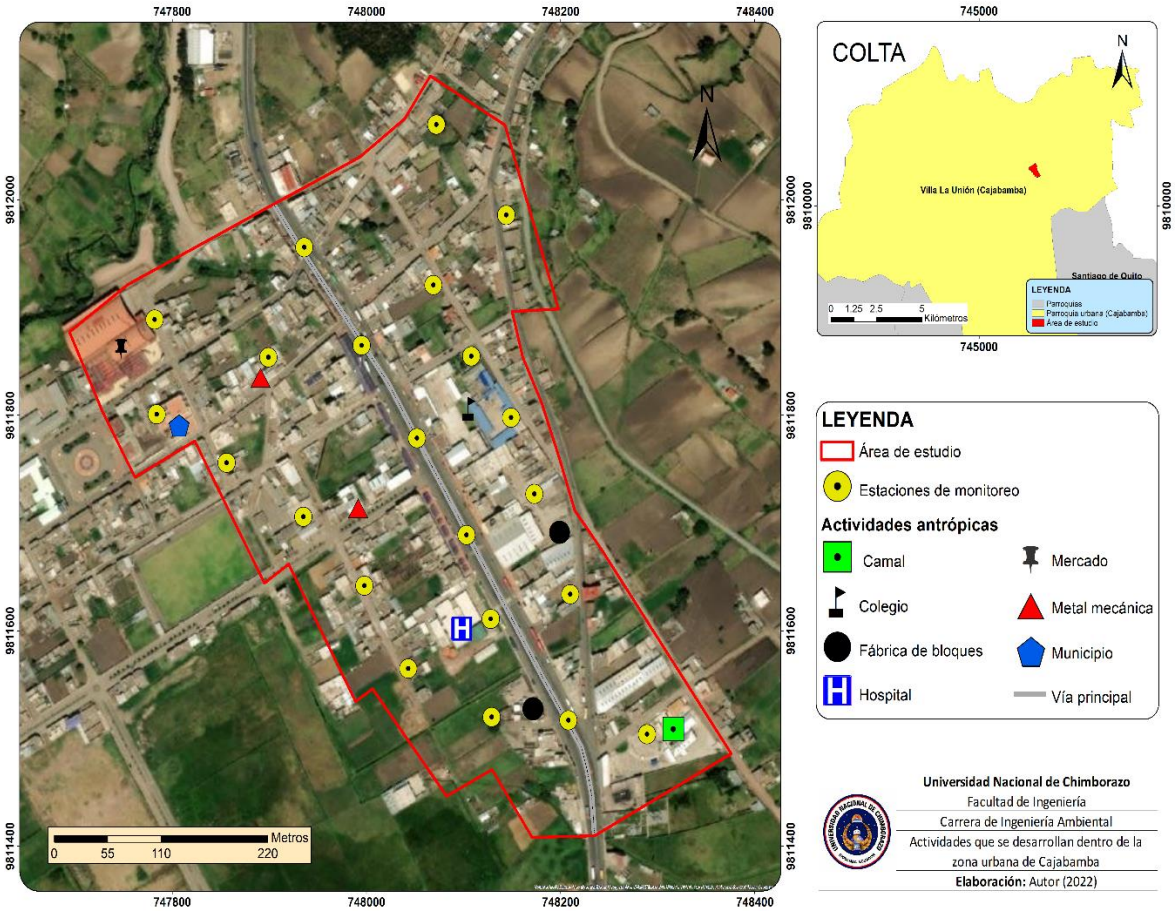

Figura 2. Estaciones de monitoreo y actividades antrópicas en el área de estudio.

Al realizar el estudio de MPS, en la zona se pudo observar distintas actividades que se llevan a cabo dentro del área de estudio como son fábricas de bloques y algunas metalmecánicas, además de que el tráfico vehicular constituye una importante actividad a lo largo del día.

Hay que tener en cuenta que en el área de estudio se desarrolla actividades agropecuarias en distintos puntos además de estar rodeada por los campos agrícolas, siendo este un factor a tener en consideración como generadores de material particulado.

4.2 Cuantificación y análisis de MPS

La **Tabla 5,** reporta los valores correspondientes de las distintas concentraciones obtenidas en cada punto de muestreo y determinado a partir de la **"ecuación 1"** durante un intervalo de tiempo de 30 días (1 mes) desde el 20 de enero hasta el 19 de febrero del 2022.

Tabla 5. Concentración de MPS de cada punto de monitoreo.

Estación de monitoreo	**Coordenadas geográficas**		**Peso inicial del papel (mg)**	**Peso final del papel (mg)**	**Concentración MPS ($mg/cm^2/mes$)**
1	747782	9811889	463.1	501.4	0.69
2	747784	9811801	473.2	502.4	0.53
3	747936	9811956	470.4	524.0	0.97
4	748072	9812070	484.1	520.8	0.66
5	747856	9811756	474.5	505.7	0.56
6	747899	9811854	476.1	505.1	0.52
7	747995	9811865	472.7	521.7	0.88
8	748069	9811921	482.2	520.0	0.68
9	748144	9811986	479.5	534.9	1.00
10	747935	9811706	464.8	494.9	0.54
11	748052	9811779	461.9	501.6	0.72
12	747998	9811642	469.8	511.5	0.75
13	748103	9811689	468.7	499.0	0.55
14	748108	9811855	469.7	520.3	0.91
15	748043	9811565	464.4	498.1	0.61
16	748210	9811634	464.9	512.2	0.85
17	748149	9811798	475.3	501.2	0.47
18	748128	9811611	476.1	513.5	0.67
19	748173	9811727	470.2	501.5	0.56
20	748129	9811520	473.6	523.0	0.89

21	748208	9811517	470.2	519.7	0.89
22	748289	9811504	476.5	514.8	0.69

Los datos obtenidos luego del pesaje indican que el MPS obtenido en promedio tiene un valor de 0.71 mg/cm^2 x mes siendo superior al LMP de la OMS (0.5 mg/cm^2 x mes) pero inferior al LMP del Acuerdo Ministerial 097-A (1 mg/cm^2 x mes).

Al comparar la concentración de MPS de la **Tabla 2** con los LMP establecidos por la OMS y el Acuerdo Ministerial 097-A detallados en la **Tabla 3**, obteniendo así la siguiente gráfica comparativa **(Figura 4)**:

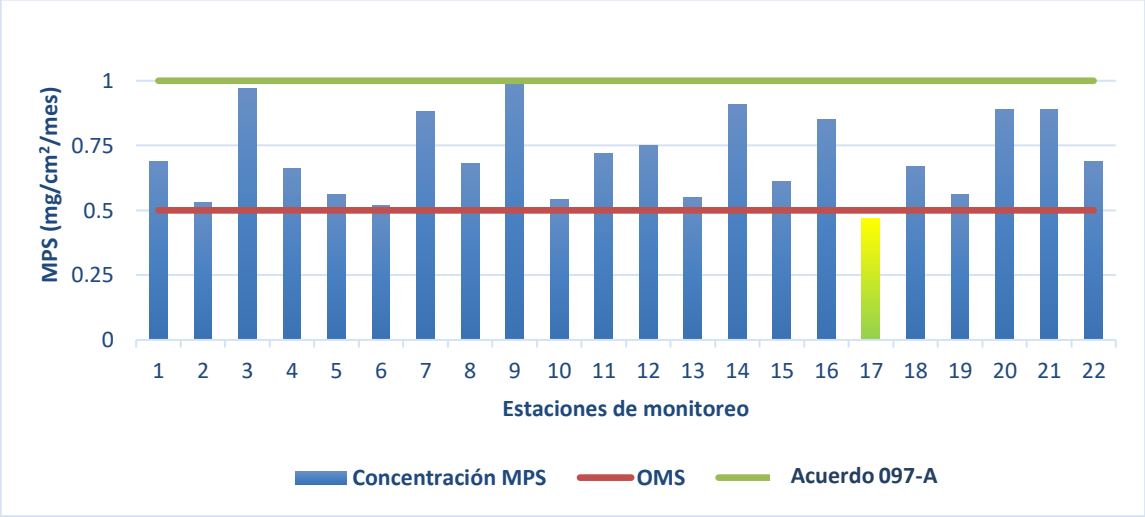

Figura 3. Comparación de valores de MPS con los LMP de la OMS y el Acuerdo 097-A.

Observando la comparativa entre las concentraciones obtenidas de MPS de cada estación de monitoreo y los LMP de la OMS y del Acuerdo 097-A evidenciamos que casi todos los valores obtenidos sobrepasan el LMP establecidos por la OMS de (0.5mg/cm^2/mes), excepto un valor de la estación número 17, en cuanto a la comparación con el LMP del Acuerdo 097-A (1mg/cm^2/mes), la concentración obtenida por la estación de monitoreo 9 llega al valor máximo permitido mientras que los otros valores quedan en un rango admisible por debajo del LMP del Acuerdo 097-A.

Siendo así, que la calidad del aire puede verse muy comprometida debido a que la concentración de MPS en el área urbana sobrepasa el LMP de la OMS teniendo un promedio de 0.71 mg/cm^2/mes en toda la zona, esto puede deberse a la presencia de la circulación de automotores ya que Cajabamba es atravesada por una importante arteria vial (E35) o Troncal

de la Sierra, además de que el área urbana está rodeada de diferentes zonas donde se desarrollan actividades antrópicas como son campos agrícolas, fábricas de bloques, metal mecánicas, etc.

Los datos obtenidos luego de la cuantificación indican que la mayor concentración de MPS se encuentra distribuido en las zonas norte y sur del área de estudio, si dividimos en 2 rangos (mayor y menor) al promedio de concentración de MPS el cual es de **0.71 mg/cm^2/mes** existen 9 estaciones de monitoreo que recolectaron concentraciones superiores al promedio, significando el 41% del total de las muestras recolectadas , mientras que las 13 estaciones de monitoreo restantes recolectaron concentraciones inferiores a la concentración promedio de MPS.

4.3 Caracterización morfológica del MPS

El análisis morfológico que se obtuvo utilizando el estereomicroscopio dio como resultado la visualización del color, forma y tamaños de las partículas obtenidas de cada punto de muestreo.

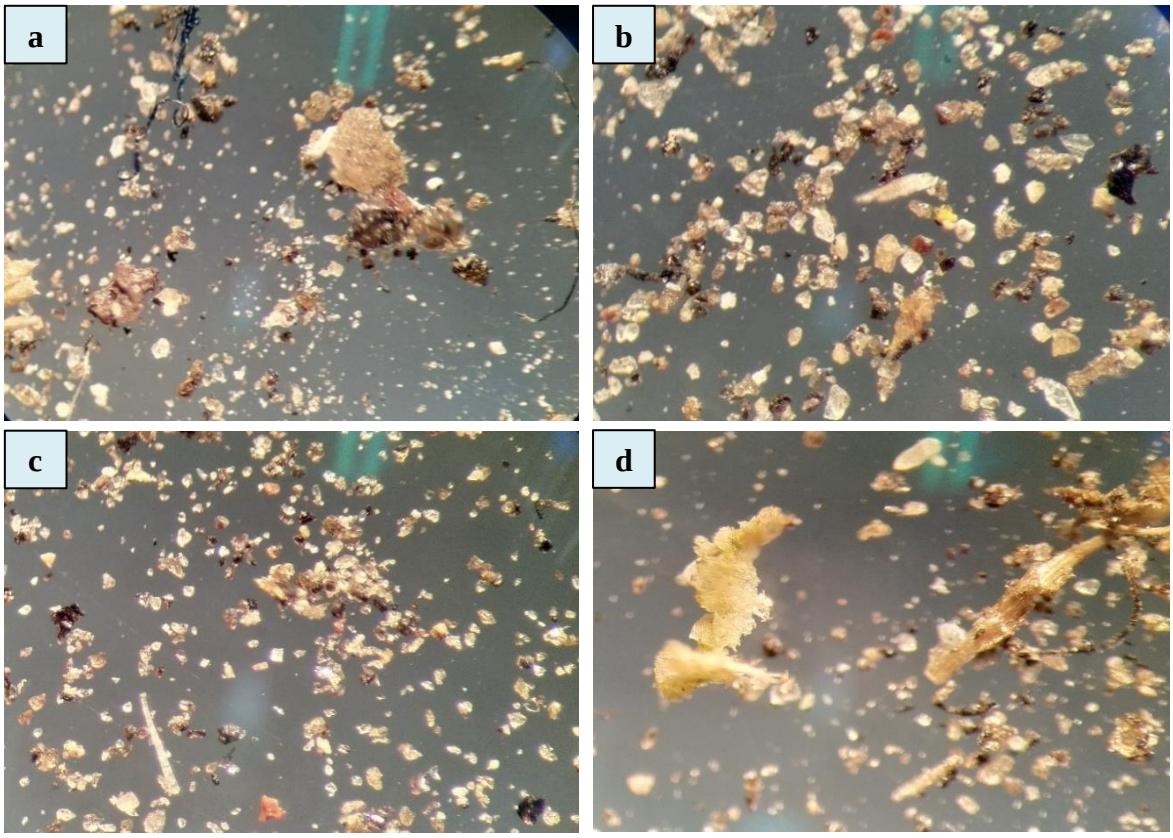

Figura 4. Comparación morfológica de colores de diferentes muestras de MPS.

En la **Figura 5**, se visualizan distintas imágenes obtenidas del MPS que se logró receptar en el área urbana de Cajabamba. Se distingue que el material particulado posee distintas formas y colores siendo estas fundamentales para poder caracterizar composición y su fuente, pudiendo ser partículas orgánicas de madera y partículas minerales como polvo u otros minerales. De esta forma se caracterizó de la siguiente manera:

- Muestra **(a)** se observa mayormente la presencia de partículas color café debido a que lo compone material orgánico como lo es la arcilla teniendo formas irregulares (motas) además que existe partículas cristalinas (cuarzos), también se visualiza un filamento deforme de color negro como producto de la combustión de algún material orgánico.
- Muestra **(b)** figuran partículas de color café (materiales orgánicos) también gran cantidad de partículas cristalinas y en menor presencia partículas de color negro que pueden ser productos de la combustión de hidrocarburos (hollín), carbón vegetal.
- Muestra **(c)** se visualiza con mayor claridad las partículas de color café (material orgánico) se puede identificar la presencia de cristales (cuarzos) y las partículas de color negro (productos de combustión).
- Muestra **(d)** destaca la presencia de partículas amorfas de gran tamaño de un color café amarillento las cuales pueden ser de origen vegetal como pequeños trozos de madera o algún origen vegetal, también se visualiza partículas de polvo (arcillas) y partículas negras (por la combustión).

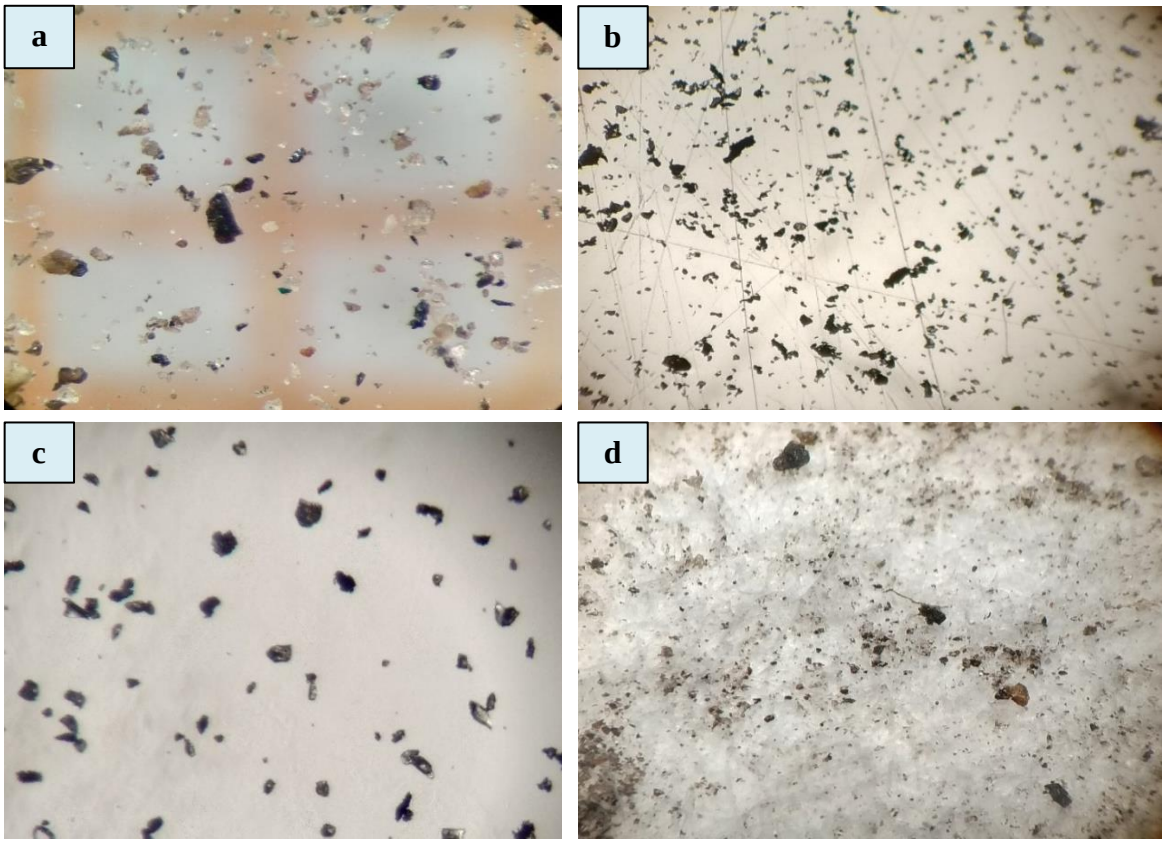

Figura 5. Partículas de diferentes formas y tamaños encontrados en el muestreo.

La **Figura 6,** muestra diferentes patrones de material particulado que pueden provenir de emisiones naturales y fuentes artificiales, en el área de estudio, las fuentes de estas emisiones de partículas pueden ser: polvo de caminos no pavimentados, transporte de materias primas (arena y arcilla) para la producción de ladrillos y bloques hechos a mano, y posiblemente restos de la metalurgia.

- Muestra (**a**) se visualizan distintas partículas de material orgánico, cristalino y partículas producto de la combustión que han sido recolectadas y para considerar el tamaño de las partículas se tiene como referencia una cuadricula de 1x1 mm.
- Muestra (**b** & **c)** se visualiza a las partículas con su forma y bordes definidos resultando ser la mayor parte partículas cristalinas en las muestras que se ha recolectado dentro del área de estudio.
- Muestra **(d)** es una vista general del material obtenido aún en el papel filtro de los puntos de muestreo.

Las emisiones de partículas sedimentables se producen por la acción del viento sobre la superficie terrestre en forma de emisiones fugitivas, que provocan su agregación y posterior

precipitación, donde se pueden encontrar mayormente: calcita, cuarzo, dolomita, caolinita, illita, feldespatos (Durán Lombada y Moscoso Culma, 2018).

Como se analizó anteriormente de las muestras obtenidas, las partículas se consideran primarias porque se emiten directamente a la atmósfera. Aunque la mayoría de las emisiones de material particulado sedimentable son de origen natural, es necesario considerar la existencia de un número limitado de fuentes antropogénicas de material mineral particulado. Entre las principales actividades antropogénicas hemos considerado las siguientes:

- Tráfico automotriz de las principales avenidas (Av. Unidad nacional y Av. García Moreno).
- Presencia de fábricas de bloques y metalmecánicas.
- Presencia de campos donde se desarrolla actividad agropecuaria.
- Construcciones de viviendas.
- Transporte de materia prima para las distintas industrias en la zona.
- Vías no asfaltadas.

En este estudio las partículas provenientes de procesos de combustión son generadas por fuentes móviles y fijas. Las fuentes móviles se consideran la más relevantes en esta investigación, debido a que Cajabamba forma parte de una importante arteria vial (E35) siendo los automóviles los generadores de COVs en el ambiente, las cuales son sustancias toxicas tanto para el humano y la naturaleza. Las fuentes fijas generadoras de material particulado que se encuentran en la zona son las fábricas de bloques, metalmecánicas, además de que muchas personas realizan la quema de residuos en el territorio.

4.4 Análisis geoestadístico de la concentración y dispersión del MPS

En la elaboración del mapa de dispersión y concentración del MPS se emplearon diversas fuentes de datos meteorológicos como es la velocidad y dirección del viento, esto para estimar como se comportó el recurso viento durante la captación del MPS en el área de estudio.

Se utilizaron datos meteorológicos de 3 estaciones en total para poder realizar una triangulación de datos alrededor del área de estudio, 2 de las estaciones meteorológicas son de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (San Juan y ESPOCH) la cuales están ubicadas al norte del área de estudio, también se utilizó los datos de la estación "M5186" del INAHMI ubicada en el cantón Colta al sur del área de estudio.

Mediante el uso de SIG se interpolaron los datos con la herramienta de interpolación **Kriging** para obtener así los valores desconocidos de concentración del MPS alrededor de nuestros puntos de muestreo, estos valores se dividieron en 3 categorías (alto, medio y bajo) y se designaron colores respectivos para identificar las zonas con mayor y menor concentración de MPS como se observa en la **Figura 7.**

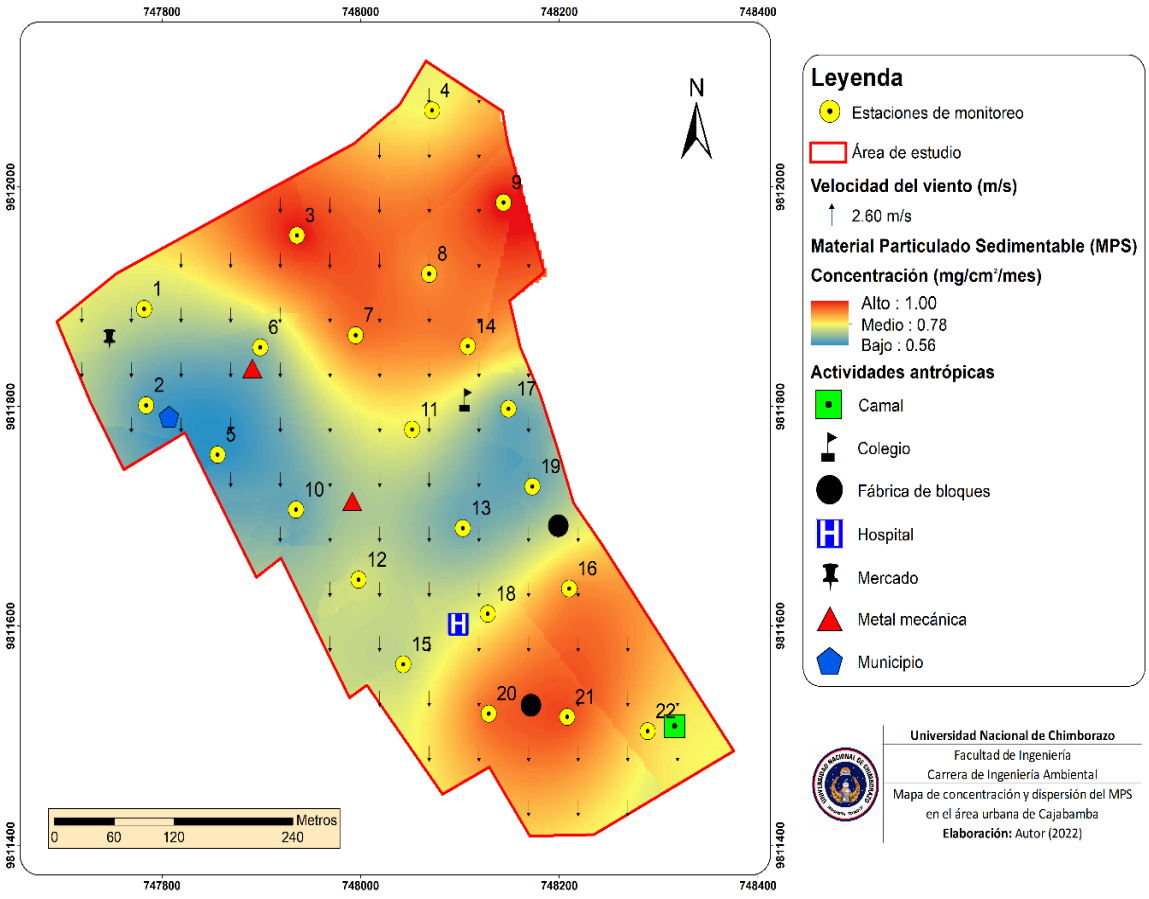

Figura 6. Mapa de concentración y dispersión del MPS.

Durante la investigación se obtuvo que en el área de estudio la dirección del viento fue en sentido sur (S) además que la velocidad del viento en promedio fue 2.60 m/s.

El mapa de concentración y dispersión presenta diferentes concentraciones de MPS, siendo así la zona norte y sur las que presentan mayor concentración de material particulado, esto puede ser debido a la propia dirección del viento, además que en la zona norte está rodeada principalmente de zonas agrícolas, la fábrica de harina y construcciones, mientras que la zona sur existe la presencia de fábricas de bloques pudiendo ser estos una fuente de MP en la zona. En el centro del área de estudio se presenta las concentraciones más bajas de MPS debido a que la actividad antrópica se ve disminuida, además que las propias edificaciones pueden actuar como barreras artificiales en la zona.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los valores obtenidos de MPS sobrepasa la norma de la OMS, pero quedando por debajo de la norma dada en el Acuerdo 097-A, pues en el análisis de MPS que se efectuó en el área de estudio arrojó datos de concentraciones elevadas, casi todas las muestras (20 muestras) excedían el LMP dictado por la OMS (0.5 $mg/cm^2/mes$), una muestra obtuvo el LMP del Acuerdo 097-A (1 $mg/cm^2/mes$), quedando en evidencia que la calidad del aire puede verse afectada y por ende afectar a largo plazo la salud de los habitantes.
- La caracterización del MPS obtuvo resultados que dictan que existe gran presencia de partículas purvulentas (de polvo) y en menor medida partículas negras generadas por la combustión, siendo así que las emisiones por fuentes fijas son principalmente causadas por la presencia de fábricas de bloques, campos agropecuarios y la fábrica de harina que se encuentra cercana al área de estudio, mientras que las emisiones por fuentes móviles son causadas por los automotores que circulan por la zona.
- El mapa de concentración y dispersión demostró los niveles de MPS que existen en la zona, dividiéndose en 3 categorías: alto (1 $mg/cm^2/mes$), medio (0.78 $mg/cm^2/mes$) y bajo (0.56 $mg/cm^2/mes$), visualmente podemos verificar que la zona norte y sur son las zonas con mayor concentración de MPS de la investigación.
- Las emisiones de MP de origen natural juegan un rol importante, estas son generadas por el arrastre del viento y dentro del área de estudio se evidenció muchas superficies sin cobertura vegetal, calles/carreteras sin pavimentar siendo una fuente generadora de MP relevante en el estudio.

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar un monitoreo en diferentes meses del año, pues al abarcar mayor tiempo se obtendrá resultados más precisos ya que el MP está sujeto a diferentes variaciones que pueden afectar el resultado como son algunos fenómenos naturales y la influencia de las actividades antrópicas que se realicen a lo largo del año.
- Es recomendable aumentar el número de estaciones fijas para que se pueda cubrir la mayor cantidad de territorio posible y así saber el verdadero alcance de la contaminación que producen los distintos sectores de las industrias hacia la población que son los más perjudicados.
- Al colocar las estaciones de monitoreo verificar que la zona donde se sitúen esté libre de obstáculos que puedan afectar a la recepción del MPS.

BIBLIOGRAFÍA

Arciniégas Suáres, C. A. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, 195-213.

Cáceres Lillo, D. D. (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (MP 2.5) en niños que viven próximos a una playa contaminada con relaciones mineros, Chañaral, Chile.* Universitat Autònoma de Barcelona. Obtenido de http://hdl.handle.net/10803/333059

Cortés, I. (25 de Junio de 2015). *Análisis de cantidad y composición de material particulado atmosférico*. Recuperado el 20 de Mayo de 2022, de Ediciones Especiales - El Mercurio: http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201506251942530

de la ANMM, T. (2015). *La contaminación del aire y los problemas respiratorios.* Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044&lng=es&tlng=es.

Durán Lombada, J. J., & Moscoso Culma, L. A. (2018). Análisis correlacional de datos de MP10 y partículas sedimentables, su composición fisicoquímica y mineralógica, en la zona norte de la ciudad de Bogotá. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/756

Envira, E. (2020, 06 Febrero). *Factores que intervienen en la calidad ambiental*. Recuperado el 10 de Mayo de 2022, de https://envira.es/es/factores-calidad-ambiental/

EPA. (2022, 23 mayo). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. US EPA. Recuperado 20 de junio de 2022, de https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente#:%7E:text=Efectos%20sobre%20la%20salud&text=s%C3%ADntomas%20respiratorios%20aumentados%2C%20como%20irritaci%C3%B3n,pulmonares%2C%20ni%C3%B1os%20y%20adultos%20mayores.

Huatuco, M. (2018). *Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima.* [Universidad Nacional Federico Villareal]. http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2097

Marcos, R., & Valderrama, Á. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. *Proyecto Libro Digital*.

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE*. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

Mora, J. C., Sibaja, J. P., & Alpizar, H. B. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica en el agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología En Marcha, 34*(1), 92-103.

OMS. (2021, 22 septiembre). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado 15 de junio de 2022, de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvares Toste, M. (2003). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*.

Suáres-Salas, L., Álvarez Tolentino, D., Bendezú, Y., & Pomaya, J. (2017). *Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú.* Recuperado el 05 de Abril de 2022, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200005&lng=es&tlng=es

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 111-118.

ANEXOS

Anexo 1. Transporte de estaciones de monitoreo.

Anexo 2. Avenida Unidad Nacional (Cajabamba).

Anexo 3. Colocación de las estaciones (domicilio).

Anexo 4. Colocación de las estaciones (Av. Unidad Nacional).

Anexo 5. Estación de monitoreo.

Anexo 6. Pesaje de las muestras.

Anexo 7. Caracterización de las muestras en el estereomicroscopio.