

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO  
SEDIMENTABLE GENERADO POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL  
PERÍMETRO URBANO DEL CANTÓN CHAMBO.**

**Autores:**

Lizaldez Alvarado Pablo Ernesto

Merino Jima Jonathan Javier

**Tutor:**

MsC. Guido Patricio Santillán Lima

**Riobamba - Ecuador**

**2021**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros **Pablo Ernesto Lizalde Alvarado**, con cédula de identidad N.º 210062373-1 y **Jonathan Javier Merino Jima**, con cédula de identidad N.º 180472543-8; hacemos referencia como autores del presente trabajo de investigación, titulado: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE GENERADO POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL PERÍMETRO URBANO DEL CANTÓN CHAMBO.”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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, 15 de diciembre de 2021



Pablo Ernesto Lizalde Alvarado

CI. 210062373-1



Jonathan Javier Merino Jima

CI. 180472543-8

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE GENERADO POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL PERÍMETRO URBANO DEL CANTÓN CHAMBO.”** por Pablo Ernesto Lizalde Alvarado, con cédula de identidad número 2100623731 y Jonathan Javier Merino Jima, con cédula de identidad número 1804725438, bajo la tutoría del MsC. Patricio Santillán 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 15 de diciembre de 2021.

Ing. Benito Mendoza PhD.  
PRESIDENTE DE TRIBUNAL



Firma

Ing. Patricio Santillán MsC.  
TUTOR DEL PROYECTO



Firma

Ing. Marcel Paredes MsC.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firma

Ing. José Prato PhD.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Firma

## DECLARACIÓN EXPRESA DE LA TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, elaborado por los señores Pablo Ernesto Lizalde Alvarado y Jonathan Javier Merino Jima, con el tema: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE GENERADO POR ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN EL PERÍMETRO URBANO DEL CANTÓN CHAMBO.”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



.....  
MsC. Patricio Santillán

C.I. 060278077-7

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Héctor y Raquel por su apoyo incondicional durante toda la vida estudiantil, sin ellos este logro no hubiera sido posible ya que gracias a su esfuerzo y dedicación de todos los días supieron apoyarme y guiarme.

A mi hermano Alex por apoyarme en los mejores y peores momentos, por estar siempre presente en cada una de las etapas de la vida y escucharme cuando más lo necesitaba, gracias hermano.

Pablo Ernesto Lizalde Alvarado

A mis padres Juan y Amada quienes con su inmenso amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir este sueño tan anhelado.

A mis hermanos Juan Carlos y Gabriel por su apoyo incondicional y porque siempre estuvieron pendientes de mí durante todo este proceso. A toda mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. A mi enamorada Estefanía por siempre darme palabras de aliento y por su apoyo incondicional durante esta etapa.

Jonathan Javier Merino Jima

## AGRADECIMIENTO

A mis buenos amigos Rodrigo, Winer y Patricia por ser los mejores amigos que conocí al inicio de la vida universitaria, quienes siempre supieron corregirme, apoyarme y alentarme a seguir adelante.

A mis compañeros, ingenieros y demás amigos que llegue a conocer durante el proceso estudiantil gracias por los buenos momentos vividos, fueron de gran apoyo en este largo y extenso camino.

Pablo Ernesto Lizalde Alvarado

A mis padres: Juan Merino y Amada Jima, por ser los principales iniciadores de mi sueño, por confiar y creer siempre en mí, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

De igual manera agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, a toda la carrera de Ingeniería Ambiental, a mis docentes MsC. Patricio Santillán, Ing. Marcel Paredes y PhD. José Prato quienes me supieron guiar y me ayudaron con su tiempo en el trabajo de investigación

Jonathan Javier Merino Jima

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS**

MP: Material particulado

MPS: Material particulado sedimentable

MPSS: Material particulado sedimentable soluble

MPSI: Material particulado sedimentable insoluble

PM2.5: Material particulado de 2,5  $\mu\text{m}$

PM10: Material particulado de 10  $\mu\text{m}$

OMS: Organización mundial de la salud

TULSMA: Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente

NECA: Norma de calidad del aire ambiente

LMP: Límite máximo permisible

$\mu\text{m}$ : micrómetro o micra

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ : microgramos/ metro cúbico

$\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ : miligramos/ centímetro cuadrado/ 1 mes

## ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	II
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....	III
DECLARACIÓN EXPRESA DE LA TUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	VII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
CAPÍTULO 1 .....	15
1.1 INTRODUCCIÓN .....	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	17
1.4 OBJETIVOS:.....	18
1.5 Objetivo general:.....	18
1.6 Objetivos específicos: .....	18
2 MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Contaminación del aire .....	19
2.2 Material particulado (MP).....	19
2.3 Tipos de partículas de material particulado .....	20
2.4 Origen y fuentes del material particulado.....	21
2.4.1 Fuentes naturales .....	21
2.4.2 Fuentes antropogénicas.....	22
2.5 Ciclo de vida del material particulado .....	23

2.6	Velocidad de sedimentación .....	24
2.7	Material particulado sedimentable (MPS) .....	24
2.8	Contaminación por metales pesados .....	25
2.9	Efectos del material particulado sobre la salud.....	26
2.10	Efectos en el ambiente .....	27
2.11	Material particulado soluble .....	27
2.12	Material particulado insoluble .....	28
2.13	Parámetros de calidad del aire para material particulado .....	28
2.14	Norma de calidad de aire en Ecuador .....	28
2.15	Norma de calidad de aire por la OMS .....	29
3	METODOLOGÍA .....	30
3.1	Área de estudio .....	30
3.2	Visita de campo e identificación de actividades antrópicas.....	31
3.3	Determinación del número de estaciones de monitoreo para MPS .....	31
3.4	Ubicación de las estaciones de monitoreo para recolección de MPS .....	31
3.5	Monitoreo de MPS.....	32
3.6	Determinación y caracterización del MPS.....	33
3.6.1	Determinación de MPS.....	33
3.6.2	Determinación de material particulado sedimentable insoluble (MPSI).....	34
3.7	Caracterización morfológica de las partículas insolubles.....	35
3.8	Determinación del MPSS.....	36
3.9	Caracterización química del MPSS .....	37
3.10	Análisis Geoestadístico.....	38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1	Actividades antrópicas localizadas en el área urbana del cantón Chambo .....	39

4.2	Ubicación y número de las estaciones de monitoreo .....	40
4.3	Concentración y análisis del MPS .....	40
4.4	Concentración y análisis del MPSS y MPSI.....	43
4.5	Caracterización morfológica del MPSI por actividades antrópicas.....	45
4.6	Composición química del MPSS .....	48
4.7	Análisis geoestadístico de dispersión y concentración de MPS .....	49
CONCLUSIONES .....		51
RECOMENDACIONES .....		52
BIBLIOGRAFÍA .....		53
ANEXOS .....		60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Diámetro de partículas de material particulado. ....	21
<b>Tabla 2.</b> Tipos de residuos en material particulado. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Características toxicológicas de los elementos y sus principales fuentes. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Parámetros máximos de MP establecidos por el TULSMA.....	28
<b>Tabla 5.</b> Parámetros máximos de MP establecidos por la OMS.....	29
<b>Tabla 6.</b> Resultados de las concentraciones del MPS en cada punto de monitoreo. ....	41
<b>Tabla 7.</b> Límites máximos permisibles para MPS.....	41
<b>Tabla 8.</b> Concentración de MPSI y MPSS. ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fuentes de material particulado .....	23
<b>Figura 2.</b> Área de estudio (Perímetro urbano del cantón Chambo).....	30
<b>Figura 3.</b> Actividades antrópicas presentes en el área urbana del cantón Chambo.....	39
<b>Figura 4.</b> Estaciones de monitoreo de MPS. ....	40
<b>Figura 5.</b> Comparación de valores de MPS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA.....	42
<b>Figura 6.</b> Concentración de MPSS y MPSI.....	44
<b>Figura 7.</b> Comparación morfológica de colores de diferentes muestras recolectadas de MPSI.....	45
<b>Figura 8.</b> Partículas o fragmentos de diferente forma encontrados en el MPSI.....	46
<b>Figura 9.</b> Partículas o fragmentos encontrados en el MPSI. ....	47
<b>Figura 10.</b> Mapa de concentración y dispersión de MPS.....	49

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar la concentración de material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el área urbana del cantón Chambo. Se identificó y georreferenció las principales actividades antrópicas, la recolección de la muestra de material particulado sedimentable se llevó a cabo mediante el método pasivo gravimétrico donde se ubicaron y georreferenciaron 22 estaciones de monitoreo, las cuales se distribuyeron de manera aleatoria por toda el área de estudio y separadas a una equidistancia de 200 m, el monitoreo se realizó durante el periodo de un mes (22 de septiembre y finalizando el 22 de octubre). Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de servicios ambientales de la Unach, donde se determinó la cantidad total de material particulado y se caracterizó la fracción soluble e insoluble, además se analizó la morfología y propiedades químicas como: nitritos, nitratos y sulfatos donde se observó que no existe presencia de estos iones y cumplen con la normativa vigente. Los resultados reflejan que todas las muestras cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A cuyo límite máximo es de 1 mg/cm<sup>2</sup>/mes, sin embargo, las muestras 2 y 3 presentan valores de 0.57 mg/cm<sup>2</sup>/mes en ambos casos los cuales sobrepasan el límite máximo establecido por la OMS de 0.5 mg/cm<sup>2</sup>/mes. Por último, se realizó un mapa de dispersión y concentración del material particulado sedimentable donde se evidenció que la zona más afectada se encuentra en el sur.

**Palabras clave:** Material particulado sedimentable, material particulado soluble, material particulado insoluble, concentración, dispersión.

## ABSTRACT

The objective of this research is to determine the sedimentation concentration material generated by anthropic activities in the urban area of the Chambo canton. The main anthropic activities were identified and georeferenced, the collection of the sedimentation particulate material sample was carried out through the passive gravimetric method where 22 monitoring stations were located and georeferenced, which were randomly distributed throughout the study area. and separated at an equidistance of 200m, the monitoring was carried out during a period of one month (September 22 and ending on October 22). The samples were analyzed in the environmental services laboratories of Unach, where the total amount of particulate material was determined and the soluble and insoluble fraction was characterized, in addition the morphology and chemical properties were analyzed such as: nitrites, nitrates and sulfates where it was observed that there is no presence of these ions and they comply with current regulations. The results reflect that all the samples comply with the maximum permissible limits established by Ministerial Agreement 097-A, whose maximum limit is 1 mg / cm<sup>2</sup> / month, however, samples 2 and 3 present values of 0.57 mg / cm<sup>2</sup> / month in both cases, which exceed the maximum limit established by the OMS of 0.5 mg / cm<sup>2</sup> / month. Finally, a dispersion and concentration map of the sedimentation particulate material was made where it was evidenced that the most affected area is in the south.

**Keywords:** Sedimentation particulate material, soluble particulate material, insoluble particulate material, concentration, dispersion.



CONSEJO ACADÉMICO 2011  
**ALEXANDER  
PEREZ**

Reviewed by:

Alexander Pérez Herrero.  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 1757815798

## CAPÍTULO 1

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El cantón Chambo perteneciente a la provincia de Chimborazo es reconocido por la fabricación y venta de ladrillos artesanales, estos ladrillos se elaboran con arcilla la cual es trasladada desde comunidades aledañas al sector, a largo plazo puede provocar erosión de los suelos debido a la pérdida del material, además las distintas actividades económicas que se ejecutan en el lugar provocan un alto tráfico vehicular debido al transporte de productos agrícolas alrededor de todo el cantón. Todas estas actividades inciden directa e indirectamente en la emisión de gases y partículas hacia la atmósfera, ya sea por el uso excesivo de agroquímicos, por las emisiones provenientes de los escapes de automóviles o por la combustión de los hornos al momento de la quema de los ladrillos.

Uno de los principales problemas que afecta al ambiente es la contaminación del aire debido a que afecta directa o indirectamente a la salud de las personas y afecta a países desarrollados como en vías de desarrollo (Park, 2016).

La alteración de la calidad del recurso aire es un problema a nivel global que repercute tanto a la salud humana, animal, vegetal y microorganismos. Alrededor del mundo se está intentando controlar los niveles altos de contaminación atmosférica ya que representan un problema ambiental y social, por lo que pueden ocasionar varias enfermedades respiratorias, también pueden producir alteraciones y afectaciones en las estructuras de los hogares por lo que causan molestias y disminuye la calidad del paisaje en las ciudades (Bustillos & Velasteguí, 2011).

El conocimiento de los elementos químicos que se pueden encontrar en las partículas que se permanecen suspendidas en el aire son de importancia desde el punto de vista técnico ya que permite determinar los posibles efectos en la salud por la presencia de compuestos tóxicos y cancerígenos adheridos a este material y también permite conocer el nivel de concentración presentes en las fuentes de emisión (Argumedo & Castillo, 2016).

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ecuador al ser un país en vías de desarrollo presenta algunos problemas como la mala planificación territorial, crecimiento del parque automotor y la falta de aplicación de normativas ambientales que ayuden a la mitigación de los impactos ambientales, lo cual afecta directamente la calidad del aire y provoca problemas en la salud por la generación de material particulado en las distintas actividades (Alvarado *et al.*, 2020).

Es evidente que en el cantón Chambo existen varias fuentes emisoras de humo y gases contaminantes producto de la fabricación de ladrillos al momento de hornear los mismos, esto sumado al crecimiento del parque automotor, crecimiento poblacional, erosión de los suelos y uso indiscriminado de fertilizantes en los cultivos repercuten en la calidad del aire del sector lo cual puede afectar en la salud de la población local.

No existe ningún control legal sobre los contaminantes emitidos por todas las actividades antrópicas que existen en el cantón, que afectan al aire y que se difunden en todo el sector urbano perjudicando principalmente a los habitantes que se encuentran cerca de las fuentes emisoras como ladrilleras, parcelas de cultivo y vías de alto tráfico vehicular.

Las partículas sedimentables pueden provenir de diferentes procesos de transformación y dependiendo de su composición pueden ser perjudiciales para los suelos, fauna, flora y la vida humana. La composición química de las partículas sedimentables es muy diversa, muchos de los elementos que constituyen pueden considerarse como nutrientes para el suelo, en cambio otros elementos pueden ser potencialmente tóxicos (Villacrés & Beltrán, 2015).

El presente trabajo de investigación plantea realizar un análisis durante un mes para determinar la cantidad total de material particulado sedimentable que se genera en el área de estudio y la presencia de iones, los valores obtenidos serán comparados con la normativa nacional e internacional para conocer el nivel de contaminación producido por este tipo de partículas.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Según el GAD Chambo (2020), en el cantón existe aplicación indiscriminada de fitosanitarios a los cultivos hortícolas, presencia de numerosas fábricas de ladrillos, las cuales realizan quema de madera de eucalipto para la cocción de los ladrillos, estas quemadas de madera producen grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, además de las emisiones de gases provenientes del parque automotor que con el pasar del tiempo ha crecido desmesuradamente en el cantón en los últimos 30 años lo cual contamina el aire y la atmósfera.

El conjunto de todas estas actividades antrópicas que se encuentran en el cantón Chambo pueden provocar afecciones a corto o largo plazo a los moradores que habitan en el sector urbano debido a la falta de control de estas fuentes emisoras de material particulado.

La población sufre afecciones a la salud lo cual puede ser debido al tráfico vehicular y a la contaminación causada por las ladrilleras ya que durante su elaboración utiliza carbón vegetal que en su combustión produce material particulado y gases contaminantes, generando enfermedades respiratorias en los trabajadores y la población de la zona, además contribuye al calentamiento de la atmósfera (GAD Chambo, 2020).

Debido a las situaciones antes mencionadas se plantea la necesidad de realizar un monitoreo continuo en el área de estudio con la finalidad de recolectar datos y posteriormente determinar la concentración de las partículas sedimentables presentes en el sector.

#### **1.4 OBJETIVOS:**

##### **1.5 Objetivo general:**

- Determinar y caracterizar el material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el perímetro urbano del cantón Chambo.

##### **1.6 Objetivos específicos:**

- Determinar el nivel de concentración de material particulado sedimentable en cada uno de los puntos de monitoreo.
- Caracterizar el material particulado sedimentable soluble e insoluble 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 2

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Contaminación del aire

La contaminación del aire es una alteración de la calidad y pureza debido a la emisión de sustancias químicas, biológicas y diferentes formas de energía provenientes de fuentes naturales o antropogénicas (Gutierrez *et al.*, 2012).

De acuerdo a estudios realizados por Bravo (2017), los contaminantes del aire encontrados en áreas urbanas, provienen de fuentes móviles como vehículos de transporte y de fuentes fijas como: industrias, usos residenciales y procesos de eliminación de residuos. Si estas fuentes se encuentran en zonas donde las diversas condiciones topográficas, la velocidad del viento debe disminuir la propagación de los contaminantes en la atmósfera, en ocasiones puede haber periodos de tiempo con concentraciones peligrosamente altas.

Los vehículos que utilizan diésel son la mayor fuente móvil de contaminantes atmosféricos, generando el 80% de material particulado, 60% de las emisiones de NO<sub>x</sub>, 65% de SO<sub>x</sub> y 50% de CO. Debido al alto porcentaje de azufre presente en el en este tipo de combustible como también a la falta de normativas de control de emisión, a la antigüedad de los vehículos y a los problemas técnicos y falta de mantenimiento de vías (Morales *et al.*, 2012).

La alteración del aire urbano es un problema de salud pública que afecta a niños y adultos mayores, se relaciona con: asma, irritación ocular, enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón (Palacios & Espinoza, 2014).

#### 2.2 Material particulado (MP)

El material particulado (MP) consiste en la mezcla heterogénea de materia sólida y/o líquida presente en suspensión en la atmósfera. Su formación puede darse de dos maneras, la primera debido a subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia y la segunda por aglomeración de partículas pequeñas (Arciniégas, 2012).

El MP presente en el aire agrupa una mezcla compleja de una gran variedad de pequeños fragmentos de sólidos y líquidos tanto orgánicos como inorgánicos, naturales y antropogénicos, de composición variable suspendidos en el aire. Se ha encontrado que su composición puede incluir nitratos, sulfatos, metales, carbono elemental, compuestos orgánicos y compuestos biológicos (Abad, 2014).

### **2.3 Tipos de partículas de material particulado**

El MP se clasifica por su tamaño como: fracción gruesa o respirable cuando las partículas son menores a 10  $\mu\text{m}$  y mayores a 2.5  $\mu\text{m}$ , definida como  $\text{PM}_{10}$ , y una fracción fina cuando las partículas son menores a 2.5  $\mu\text{m}$ , definida como  $\text{PM}_{2.5}$  (Arrieta, 2016).

Las partículas menores a 2.5 micras ( $\text{PM}_{2.5}$ ) son muy pequeñas, casi 100 veces más delgadas que el cabello humano. Contienen a partículas sólidas y líquidas como partículas de combustión y otros derivados de las emisiones de vehículos e industrias. Estas partículas son respirables al 100% y pueden alojarse en las vías respiratorias y los pulmones (Huatuco, 2018).

En cambio, las partículas de 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ ) son 20 veces más pequeñas que un cabello humano, pueden ingresar al sistema respiratorio. El  $\text{PM}_{10}$  se genera inicialmente por la desintegración de partículas, mediante procesos mecánicos como polvo, polen, partículas metálicas, cemento, fragmentos de plantas e insectos (Huatuco, 2018).

Según Arrieta (2016), el MP está formado por partículas de minerales, cenizas, humos de combustión de carbón, productos de la combustión incompleta, aerosoles, rocíos de lluvias ácidas y diversos líquidos, siendo las principales fuentes de emisiones, al igual que las actividades humanas como la industria y el tráfico vehicular, de igual manera los factores meteorológicos y topográficos que contribuyen en la dispersión y el comportamiento de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , variando de manera irregular en la atmósfera como se observa en la **Tabla 1** donde hace mención al diámetro de partículas y algunos ejemplos.

**Tabla 1.** Diámetro de partículas de material particulado.

<b>Diámetro de partículas</b>	<b>Ejemplos</b>
Gruesas (PM <sub>2.5</sub> -PM <sub>10</sub> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Procesos mecánicos (prensado, molienda, abrasión)</li><li>• Evaporación de aerosoles</li><li>• Suspensión de polvos</li></ul>
Finas (< PM <sub>2.5</sub> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Condensación de gases</li><li>• Evaporación de neblina y gotas de agua en la que los gases se han disuelto y reaccionado</li><li>• Reacción de gases sobre las partículas</li></ul>
Ultrafinas (PM <sub>0.1</sub> )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nucleación de gases atmosféricos y compuestos orgánicos</li><li>• Condensación de gases</li></ul>

**Fuente:** Arrieta (2016).

## **2.4 Origen y fuentes del material particulado**

El MP es enviado a la atmósfera por varios tipos de fuentes, en función de las cuales cambian sus características físicas y su composición química. Estas fuentes pueden ser tanto de origen natural como de la actividades antrópicas (Lucy González, 2018).

### **2.4.1 Fuentes naturales**

Algunas partículas sólidas provienen de fuentes naturales como rocío del agua de mar, partículas de polen, polvo, erupciones volcánicas, y procesos geotérmicos, así como las partículas arrastradas por los vientos, provenientes de la erosión del suelo. Estas partículas tienden a ser gruesas y con cortos tiempos de permanencia en la atmósfera (Maldonado, 2012).

A nivel mundial la cantidad de partículas generadas por fuentes naturales son muy significativas, siendo la materia mineral (polvo mineral) y los aerosoles marinos las de mayor importancia en relación al volumen total de partículas presentes en la atmósfera (Lucy González, 2018).

## 2.4.2 Fuentes antropogénicas

Las fuentes de origen antropogénico son todas aquellas que emiten partículas a la atmósfera producidas directa o indirectamente por la actividad del hombre, por lo cual son muy variadas, encontrándose mayormente en lugares urbanos e industriales, de combustibles hidrocarburíferos; tráfico vehicular, almacenamiento y transporte de materiales (Chávez, 2018; Lucy González, 2018).

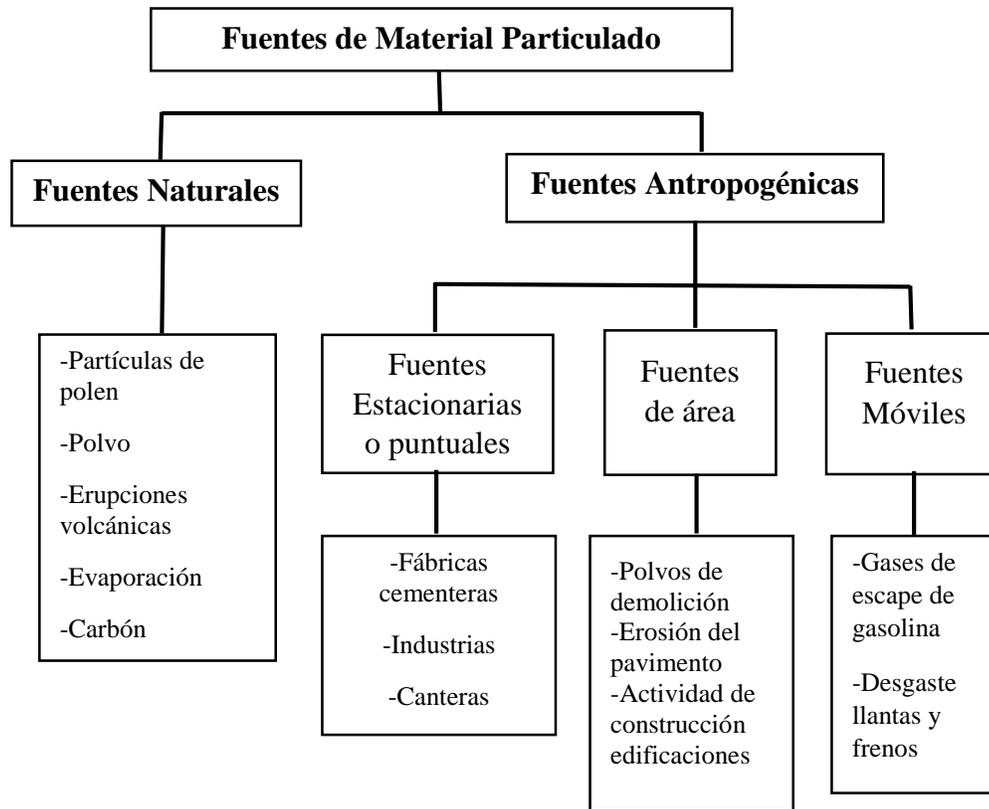
González (2018), agrupa las fuentes antropogénicas en tres categorías como se observa en la **Figura 1:**

- a) **Fuentes estacionarias o puntuales:** Comprende toda actividad establecida en un solo lugar o área, en donde se desarrolla operaciones o procesos industriales, comerciales y de servicios que generan partículas a la atmósfera.

Algunos ejemplos son: fuentes de generación de energía como centrales eléctricas, refinerías petroleras, industrias petroquímicas; fábricas cementeras, canteras, fábricas de productos químicos, industrias metalúrgicas, etc.

- b) **Fuentes de área:** Corresponden a pequeñas fuentes dispersas, debido al volumen de sus emisiones no son consideradas como puntuales. Entre las cuales se pueden mencionar: actividades de quema de madera u otras materias primas, actividades agrícolas y pastoreo de ganado, polvos de demolición y erosión del pavimento, actividad de construcción de inmuebles, etc.

- c) **Fuentes móviles:** Generalmente son los vehículos de combustión interna que se movilizan de un lugar a otro. En las zonas urbanas el tráfico vehicular es la principal fuente de emisión de partículas al aire, proceden de los motores de los automóviles como de los frenos, neumáticos y también de la erosión del suelo (Lucy González, 2018; Saldarriaga, 2019).



**Figura 1.** Fuentes de material particulado  
**Fuente:** González (2018).

## 2.5 Ciclo de vida del material particulado

La mayoría de las partículas son de corta duración y se depositan rápidamente por la gravedad o son golpeadas por el viento en varias superficies. Hay muy pocas partículas en la atmósfera de más de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro, excepto en áreas muy cercanas a las fuentes de emisión (Chávez, 2018).

Las partículas llegan a la superficie por medio de arrastre en las precipitaciones, chocan entre sí a lo largo del camino, este proceso es conocido como deposición húmeda siendo el principal sumidero de partículas en la atmósfera. La deposición de partículas sin sedimentación es llamada deposición seca que se produce principalmente por transporte convectivo y por procesos de difusión y cohesión en la superficie terrestre. Este tipo de depósito es menos importante a nivel mundial, pero está estrechamente relacionado con la calidad del aire, los impactos en la salud humana y el deterioro de edificios y monumentos (Chávez, 2018).

## 2.6 Velocidad de sedimentación

Según estudios realizados por Chávez (2018), todas las partículas deberían sedimentar y depositarse sobre la superficie terrestre de forma rápida bajo la influencia de la gravedad, pero eso no es así; para las partículas menos de 2.5  $\mu\text{m}$  pueden tener tiempos de residencia de días o incluso semanas y pueden viajar a miles de kilómetros. Las partículas de tamaños mayores a 2.5  $\mu\text{m}$  poseen tiempos de permanencia de minutos a horas y pueden ser transportadas pocos kilómetros. De acuerdo con la Ley de Stokes, una partícula que posee la mitad de diámetro de otra caerá cuatro veces más lentamente (Parra, 2013).

## 2.7 Material particulado sedimentable (MPS)

El material particulado sedimentable (MPS) está formado por partículas sólidas o líquidas, con tamaño aproximado de 10  $\mu\text{m}$  en adelante y poseen la capacidad de permanecer suspendidas en el aire de manera temporal, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en general de exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas (Huatuco, 2018). El MP interactúa con sustancias variadas que se encuentran en el aire, formando residuos químicos orgánicos e inorgánicos como se detalla en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Tipos de residuos en material particulado.

Residuos Orgánicos		Residuos Inorgánicos	
Origen vegetal	Origen animal		
Fragmentos de madera	Lana	Carbonatos	Arcilla
Algodón	Seda	Cloruros	Yeso
Almidón	Plumas	Hollín	Metales
Fibras diversas	Escamas	Carbón	Minerales

**Fuente:** Maldonado (2012).

Los principales elementos que forman parte del material particulado atmosférico son: sulfato, nitrato, amonio, ion hidrógeno, agua adherida a las partículas, carbono elemental y una gran variedad de compuestos orgánicos, aerosol marino. En estudios realizados en Estados Unidos indican que elementos químicos de la corteza como: calcio, aluminio, sílice, magnesio, hierro

y materia orgánica (polen, esporas, restos animales y vegetales) son superiores en la fracción gruesa del material particulado atmosférico (Chávez, 2018).

## 2.8 Contaminación por metales pesados

Los metales pesados son sólidos que se adhieren a las partículas en suspensión, poseen una toxicidad variada, según el tipo del metal, por lo general los elementos químicos presentes en el aire están asociados a partículas en suspensión las cuales se encuentran en diferentes niveles de concentración, de acuerdo a su naturaleza y a las fuentes de emisión. Los minerales que presentan altos niveles de concentración en el material particulado son: Al, Cd, Cr, Fe, Mg y C, en menor cantidad se encuentran Cu, Pb y Zn como se detalla en la **Tabla 3**. (Lucy González, 2018; Saldarriaga, 2019).

**Tabla 3.** Características toxicológicas de los elementos y sus principales fuentes.

<b>Elemento</b>	<b>Características toxicológicas</b>	<b>Principales fuentes</b>
Cadmio (Cd)	Efectos agudos por inhalación a bajas concentraciones produce osteoporosis, neumonitis.	Combustión de combustibles fósiles, incineración de basura, humo del cigarrillo, se encuentran en el aire en forma de partículas.
Zinc (Zn)	La inhalación de humos produce fiebre, dolores musculares.	Resultado de minería, producción de acero, la incineración de carbón y desperdicios, está presente en forma de partículas.
Cobre (Cu)	En dosis elevadas produce lesiones hepáticas.	Se encuentra distribuido en el ambiente, es transportado por el viento en polvos de metales, puede liberar en la combustión de combustibles fósiles, incendios forestales.
Cromo (Cr)	El cromo hexavalente está clasificado como agente cancerígeno cuando la exposición es por vía inhalación.	Se encuentra en el aire en forma de material particulado, las principales fuentes de inhalación son las centrales térmicas, humo del cigarrillo.

**Tabla 3.** Características toxicológicas de los elementos y sus principales fuentes (continuación).

Plomo (Pb)	Efectos agudos sobre el sistema nervioso central, neuromusculares.	Humo desprendido de la soldadura, quema de combustibles fósiles, de las gasolinas con plomo.
Aluminio (Al)	Puede acumularse en las plantas y causar problemas en la salud.	Es uno de los elementos más abundantes y se encuentra suspendido en pequeñas partículas de polvo.

**Fuente:** Saldarriaga (2019).

## 2.9 Efectos del material particulado sobre la salud

El tamaño de las partículas gruesas como finas en un tiempo prolongado puede causar problemas a la salud humana, las partículas gruesas pueden agravar condiciones respiratorias como el asma, mientras que las partículas más finas que se encuentran suspendidas en el aire son las que generan mayor impacto sobre la salud, el ingreso de las partículas al organismo son más profundas y terminan acumulándose en los pulmones (Maldonado, 2012; Saldarriaga, 2019).

Según estudios realizados por Maldonado (2012), el material particulado puede tener diversos efectos en la salud entre los cuales se encuentran:

**Efectos irritantes:** Provoca irritación de mucosas de los ojos, del tracto respiratorio. También se produce una obstrucción bronquial y pueden dar lugar a enfermedades respiratorias crónicas.

**Efectos alérgicos:** Algunos polvos de origen vegetal o animal tienen la capacidad de originar reacciones alérgicas como: conjuntivitis, rinitis alérgica, bronquitis asmática, etc.

**Efectos carcinogénicos:** Polvos de arsénico, plomo y otros metales pesados se asocian al cáncer de pulmón.

**Efectos tóxicos sistemáticos:** Se manifiesta en el sistema respiratorio y produce alteraciones en otros sistemas y órganos, como: hígado, riñones, sistema nervioso central y periférico.

## **2.10 Efectos en el ambiente**

La quema de combustibles fósiles, el tránsito vehicular, procesos industriales, dinámica de usos de suelo, agricultura, son apreciadas como las principales fuentes de contaminación que producen cambios o alteración en el ecosistema (Alcalá *et al.*, 2011).

Las partículas sedimentables que se encuentran en el aire afectan directamente a la flora y la fauna. Por ejemplo el suelo está expuesto a los contaminantes que se encuentran en el aire, las partículas sedimentables se disuelven de la siguiente manera: las partículas en suspensión se mantienen en el aire y las partículas más pesadas precipitan y se disuelven en el suelo, los contaminantes ácidos del aire tienden a disolverse rápidamente en la humedad superficial o en la lluvia (Durán & Moscoso, 2018).

Otro daño al ambiente es causado por el transporte, en Ecuador el combustible utilizado en los distintos tipos de vehículos corresponde a hidrocarburos. En ciudades grandes el 97% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) es aportado por las fuentes móviles, el 56% de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es generado por las fuentes móviles y un 26% de las otras fuentes (fijas) corresponde a las centrales de generación termoeléctrica. El 80% de emisiones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) proceden de fuentes móviles, especialmente de buses pesados (42%) y particulares livianos, taxis y camionetas (35%) (Vallejo *et al.*, 2016).

Las partículas sedimentables deterioran y generan unas manchas en las estructuras de las zonas urbanas a causa del efecto de pigmentación por partículas, las cuales se pueden evidenciar en estatuas, monumentos y áreas industriales donde los edificios adquieren un color gris oscuro (Durán & Moscoso, 2018).

## **2.11 Material particulado soluble**

El material particulado soluble es una mezcla de partículas líquidas y sólidas que se pueden disolver con algún líquido en especial agua. Normalmente son sustancias con las que el agua intercambia electrones y por lo tanto forman nuevos compuestos.

## 2.12 Material particulado insoluble

El material particulado insoluble no se puede disolver, mezclar o ser disuelto ni diluido ya que no tiene la capacidad de desleírse con agua.

## 2.13 Parámetros de calidad del aire para material particulado

Los niveles permitidos de Calidad del Aire son emitidos por la entidad responsable Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), así como con las Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para salvaguardar la salud de las personas.

## 2.14 Norma de calidad de aire en Ecuador

La referencia nacional obligatoria para evaluar el estado de la contaminación atmosférica constituye la NECA, publicada como parte constituyente del Acuerdo Ministerial 097-A (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4), cuya última modificación fue 4 de noviembre de 2015, donde determina los niveles máximos permisibles (LMP) presentes en la atmósfera para diferentes contaminantes durante un tiempo determinado, el MPS es el contaminante que se analizó en nuestro estudio (Díaz & Bahamonde, 2020).

En la **Tabla 4** se muestra los LMP de concentración de material particulado presentes en la atmósfera del libro VI, anexo 4 del Acuerdo Ministerial 097-A (MAE, 2015).

**Tabla 4.** Parámetros máximos de MP establecidos por el TULSMA

<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Máxima concentración permitida</b>
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm <sup>2</sup> /mes
PM <sub>10</sub>	1 año	50 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub>	1 año	15 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	65 µg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** (MAE, 2015) Valores tomados del anexo 4 del libro VI del Acuerdo Ministerial 097-A.

## 2.15 Norma de calidad de aire por la OMS

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, también de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud (OMS, 2020).

Según estudios realizados por la OMS (2020), las directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación realizada por expertos de las pruebas científicas actuales referentes a: partículas (MP), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

En la siguiente **Tabla 5** se muestra los niveles máximos permisibles (LMP) de concentración de material particulado establecidos por la OMS.

**Tabla 5.** Parámetros máximos de MP establecidos por la OMS

<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Máxima concentración permitida</b>
Partículas Sedimentables	30 días	0.5 mg/cm <sup>2</sup> /mes
PM <sub>10</sub>	1 año	20 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	50 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	1 año	10 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	25 µg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** (OMS, 2020).

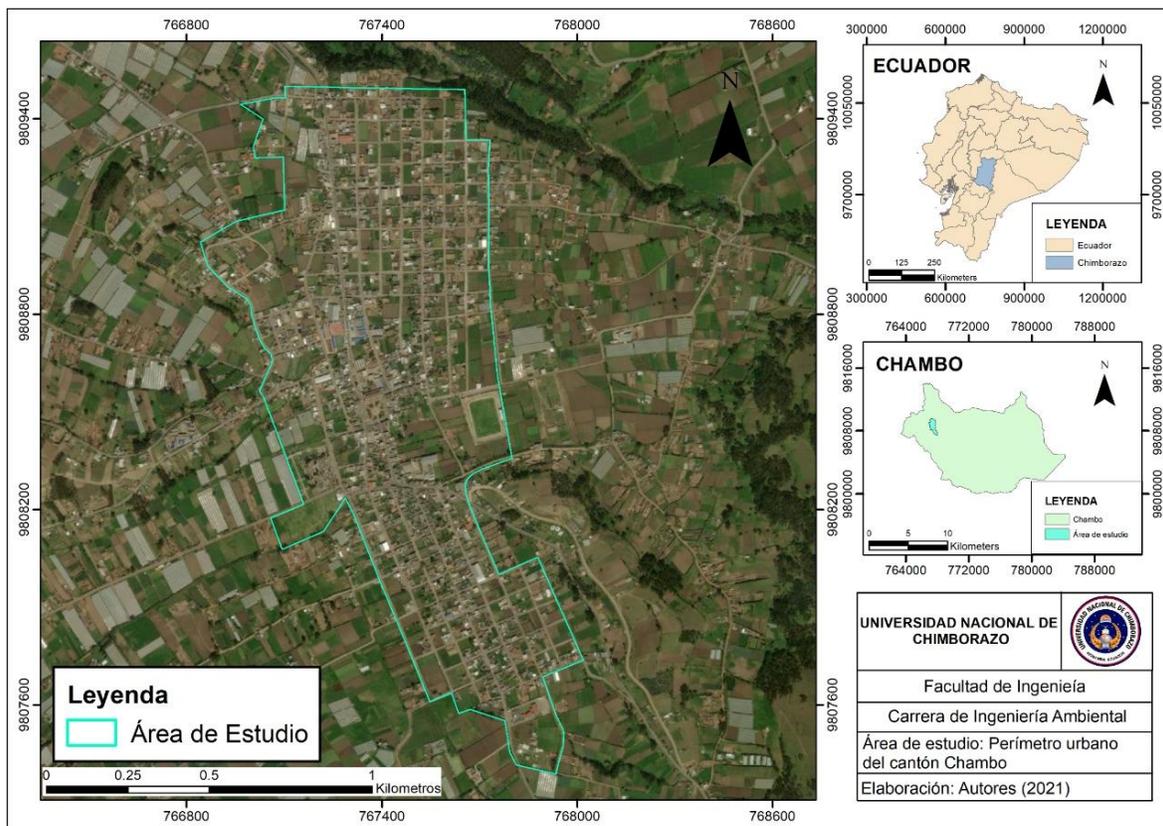
## CAPÍTULO 3

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Área de estudio

El cantón Chambo está ubicado al noroeste de la provincia de Chimborazo, posee una superficie de 164.5 km<sup>2</sup>, que representan el 2.5% de la superficie de la provincia. Su altitud va desde los 2400 a 4730 m.s.n.m., con temperaturas que fluctúan entre 0 - 15° C (GAD Chambo, 2014).

La delimitación del área de estudio se realizó mediante un recorrido con la finalidad de levantar información sobre los límites urbanos y rurales del cantón y delimitar el área de estudio dentro del cual fueron colocadas posteriormente las estaciones de monitoreo (**Figura2**).



**Figura 2.** Área de estudio (Perímetro urbano del cantón Chambo).

**Fuente:** Autores (2021).

De acuerdo a información proporcionada por el GAD Chambo el área urbana de estudio es de 1.22 km<sup>2</sup>.

### **3.2 Visita de campo e identificación de actividades antrópicas**

Las actividades antrópicas predominantes en el área de estudio como: fábricas de ladrillos, aserraderos, parcelas de cultivos, vías de alto tráfico vehicular, invernaderos, metalmecánica fueron georreferenciadas con el uso del GPS 60 csx marca GARMIN.

### **3.3 Determinación del número de estaciones de monitoreo para MPS**

Para el cálculo de número de estaciones de monitoreo se empleó el método de muestreo aleatorio estratificado, el cual menciona que: cuando se dispone de información previa y el sitio presenta características geográficas diferenciadas, es necesario estratificar o subdividir en subgrupos las muestras que tienen homogeneidad en el terreno y en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio simple de manera independiente (Ministerio del ambiente, 2014).

Para la distribución de los puntos de monitoreo se implementó patrones de muestreo con distribución uniforme. Para nuestro caso de estudio se utilizó rejillas regulares las cuales consisten en: Trazar sobre un plano rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones (Ministerio del ambiente, 2014).

Para la elaboración de nuestra malla de muestreo se tomó en consideración el área de estudio la cual corresponde a 1.22 km<sup>2</sup> y siguiendo los pasos de Albacete (2011), se decidió implementar una equidistancia de 200 m con la finalidad de cubrir todo el polígono de estudio y obtener muestras representativas del lugar.

### **3.4 Ubicación de las estaciones de monitoreo para recolección de MPS**

Para la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área de trabajo se instaló 22 equipos tomando en cuenta las consideraciones mencionadas por Marcos & Valderrama (2012), donde se menciona que las estaciones deben ser ubicadas en un área de exposición libre, alejado de obstáculos como árboles o edificaciones grandes que puedan impedir o influir en

la recolección de la muestra. Además, se siguió los criterios de Santillán *et al.* (2016), para la colocación de los equipos en lugares con mayor probabilidad de recolección de MPS.

De acuerdo a Marcos & Valderrama (2012), los equipos fueron ubicados a una altura de 1.5 a 3 metros sobre el nivel del piso; a esta altura se encuentra la población que transita y que está más expuesta a este tipo de contaminación.

La selección de los puntos de monitoreo se desarrolló mediante el uso de software de sistema de información geográfica, se realizó una grilla de 200 m, en cada cuadrante obtenido se colocó un punto central dando como resultado un total de 66 puntos. Se realizó un sorteo aleatoriamente para obtener los 22 puntos de muestreo que cumplen con las características mencionadas (Lorena González & Sánchez, 2021).

Las estaciones fueron proporcionadas por el Proyecto de investigación “Determinación de material particulado sedimentable generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo”, dicho proyecto actualmente cuenta con 22 estaciones lo cual limita el uso de mayor número de estaciones.

### **3.5 Monitoreo de MPS**

La recolección de muestras de MPS se llevó a cabo mediante la implementación del método pasivo gravimétrico (Silva, 2021). Para el presente trabajo de investigación las muestras se recolectaron sobre un papel filtro, antes de iniciar el monitoreo cada papel fue secado a 50 °C durante 24 horas y posteriormente fue pesado utilizando la balanza analítica SARTORIUS modelo BP221S, de precisión 0.0001g para determinar su peso inicial.

El monitoreo se realizó de manera continua durante el periodo de un mes, siguiendo los lineamientos establecidos por la última reforma de Acuerdo Ministerial 097-A Libro VI, anexo 4, MAE (2015), el cual indica que la máxima concentración permitida para una muestra de partículas sedimentables colectada durante 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup>/mes).

### 3.6 Determinación y caracterización del MPS

#### 3.6.1 Determinación de MPS

Para la determinación de MPS total se realizó mediante dos metodologías:

El primer método consiste en: finalizado los 30 días de muestreo se retiraron las estaciones de monitoreo y los papeles filtro fueron llevados a la estufa durante 24 horas a 50 °C para eliminar humedad adquirida durante el periodo de muestreo (Santillán *et al.*, 2016). Una vez eliminada la humedad los filtros se pesaron en la balanza analítica para determinar su peso final adquirido.

La cantidad de MPS o polvo atmosférico sedimentable se determinó usando la ecuación descrita por Marcos & Valderrama (2012), la cual consiste en realizar un cálculo de diferencia de pesos, entre el peso final e inicial sobre el área del papel filtro donde se recolectó la muestra y multiplicado por un mes. Los resultados obtenidos son expresados en unidades de mg/cm<sup>2</sup>/mes (**Ecuación 1**).

$$MPS = \frac{Pf - Pi}{A} * mes \quad (1)$$

Donde:

MPS: Material particulado sedimentable.

Pf: Peso final del papel filtro luego del muestreo.

Pi: Peso inicial del papel filtro antes del muestreo.

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

El segundo método para la determinación de MPS total se realizó sumando los valores de las fracciones solubles e insolubles. Mediante estas dos metodologías podemos corroborar que los resultados obtenidos de las 22 muestras son correctos.

Los datos del MPS fueron corregidos de acuerdo a la presión atmosférica y temperatura del área de estudio como lo indica la formula descrita por MAE (2015), (**Ecuación 2**), donde las condiciones de referencia son 760 mmHg (1 atmósfera) y 25 °C (298 K).

$$Cc = Co * \frac{760mmHg}{Pbl \text{ mmHg}} * \frac{(273 + t \text{ } ^\circ C) K}{298 K} \quad (2)$$

Donde:

Cc: Concentración corregida.

Co: Concentración observada (MPS).

Pbl: Presión atmosférica local.

t °C: Temperatura local.

### **3.6.2 Determinación de material particulado sedimentable insoluble (MPSI)**

La determinación de la cantidad de material particulado sedimentable insoluble se realizó siguiendo los pasos descritos por (Giménez, 2018):

- a) Armar un equipo de filtración el cual está compuesto por: embudo Buchner, matraz Kitasato y bomba de vacío.
- b) Transferir el contenido del papel filtro en un vaso de precipitación y agregar 100ml de agua destilada, agitar con una varilla para lograr disolver la muestra.
- c) Colocar el papel filtro dentro del embudo Buchner, encender la máquina de vacío y proceder a filtrar la muestra previamente disuelta.
- d) Retirar el papel filtro con las partículas retenidas y secar en la estufa a 65 °C durante 180 minutos para su posterior pesaje.
- e) Enfriar el papel filtro en la desecadora durante 60 minutos.

- f) Retirar el papel filtro de la desecadora con ayuda de pinzas y pesar en la balanza analítica para obtener el peso final del papel con las partículas insolubles.

Las partículas retenidas en el papel filtro corresponden al MPSI. La cantidad de MPSI se determinó por diferencia de pesos, entre el peso final del papel filtro luego de filtrar la muestra y el peso inicial del papel, dividido para el área del papel filtro y multiplicado por un mes (Giménez, 2018). Los resultados obtenidos son expresados en unidades de  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  (**Ecuación 3**).

$$MPSI = \frac{Pf - Pi}{A} * mes \quad (3)$$

**Donde:**

MPSI: Material particulado sedimentable insoluble.

Pf: Peso final del papel filtro luego de filtrar la muestra.

Pi: Peso inicial del papel filtro

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

### **3.7 Caracterización morfológica de las partículas insolubles**

Las partículas insolubles fueron observadas con el uso del estereomicroscopio de marca Labomed modelo CZM6, se empleó el lente de 2X/WD de 45 mm, para la visualización y enfoque correcto se utilizó los aumentos de 1X, 2X, 3X, 4X, 5X y 8X con la finalidad de poder observar la morfología y color de las partículas. Posterior a la observación se tomó evidencias fotográficas de cada una de las 22 muestras observadas.

### 3.8 Determinación del MPSS

La cuantificación del MPSS se llevó a cabo mediante el uso de vasos de precipitación de vidrio y las muestras de agua con el MPS filtradas anteriormente.

La determinación del MPSS se realizó siguiendo los pasos detallados por (Giménez, 2018).

- a) Se pesó un vaso de precipitación de 100 ml limpio y seco en la balanza analítica para obtener su peso inicial.
- b) Se tomó una alícuota de 50 ml de cada muestra filtrada anteriormente y se vertió cuidadosamente en el vaso de precipitación previamente pesado.
- c) El vaso de precipitación se colocó en la placa calefactora para evaporar el agua, evitando que se produzca ebullición fuerte que proyecte material fuera de la caja.
- d) Una vez evaporado todo el líquido del vaso de precipitación se colocó en la estufa a 104 °C, durante 120 minutos para eliminar el exceso de humedad.
- e) Posteriormente el vaso de precipitación se dejó enfriar en la desecadora durante 60 minutos.
- f) Por último, se pesó el vaso de precipitación conteniendo el MPSS en la balanza analítica de alta precisión y se registró el peso final.

Para el cálculo del MPSS se tomó como base la fórmula implementada por Livia & Beteta (2020), cuya fórmula se describe en la **Ecuación 4**. La cantidad de material particulado sedimentable soluble se obtuvo mediante diferencia de pesos entre el peso final del vaso y el peso inicial del mismo; dividido para el área del filtro y multiplicado por un mes, además se multiplica el volumen total de la muestra, dividido para el volumen de la alícuota.

$$MPSS = \frac{(V_f - V_i)}{A} * mes * \left(\frac{V_t}{V_a}\right) \quad (4)$$

Donde:

MPSS: Material particulado sedimentable soluble.

Vf: Peso final del vaso de precipitación.

Vi: Peso inicial del vaso de precipitación.

A: Área del papel filtro donde se recolecto la muestra ( $A = \pi * r^2$ )

Vt: Volumen total de la muestra filtrada.

Va: Volumen de la alícuota.

### **3.9 Caracterización química del MPSS**

Se realizó el análisis de varios parámetros químicos para cada una de las muestras diluidas y filtradas anteriormente (fracción soluble), los parámetros analizados fueron: nitratos, nitritos y sulfatos (Santillán *et al.*, 2016). Además, se procedió a analizar la cantidad de sólidos totales disueltos y pH. Los datos de la caracterización química serán comparados con los límites máximos permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A en la tabla 1, anexo 1, Libro VI.

Para el análisis de nitratos se colocó el código 355 en el espectrofotómetro de marca Hach modelo DR/2010, se estableció la longitud de onda de 500 nm y se utilizó el reactivo NitraVer5. Se utilizó 2 celdas de 10 ml, en la primera se colocó la muestra y se usó como blanco para el análisis. En la segunda celda se colocó la muestra con el reactivo y se agitó durante un minuto. Se procedió a leer la muestra después de 5 minutos de reacción (Arias, 2014).

El análisis de nitritos se colocó el código 371 en el espectrofotómetro HACH, se estableció la longitud de onda de 507 nm, se utilizó el reactivo NitriVer3. Se realizó el mismo procedimiento que el anterior análisis. Leemos la muestra después de 20 minutos de reacción y obtenemos el resultado (Arias, 2014).

Para el análisis de sulfatos se colocó el código 680 en el espectrofotómetro, se estableció la longitud de onda 450 nm, como también se utilizó el reactivo SulfaVer4 y a su vez se realizó el mismo procedimiento que el anterior análisis. Procedimos a leer la muestra después de 5 minutos de reacción (Arias, 2014).

### **3.10 Análisis Geoestadístico**

Con ayuda de sistemas de información geográfica se georreferenció cada uno de los puntos de monitoreo con sus respectivos datos de MPS recolectados durante el periodo de estudio, posteriormente se realizó un análisis geoestadístico utilizando el método de interpolación Kriging, el cual permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra (Porrás, 2017).

Con los datos obtenidos de la interpolación geoestadística se procedió a elaborar un mapa de distribución y dispersión espacial del MPS en la cual se tomó en cuenta datos de la velocidad y dirección del viento de estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio como: Unach, Espoch, Tunshi y Quimiag.

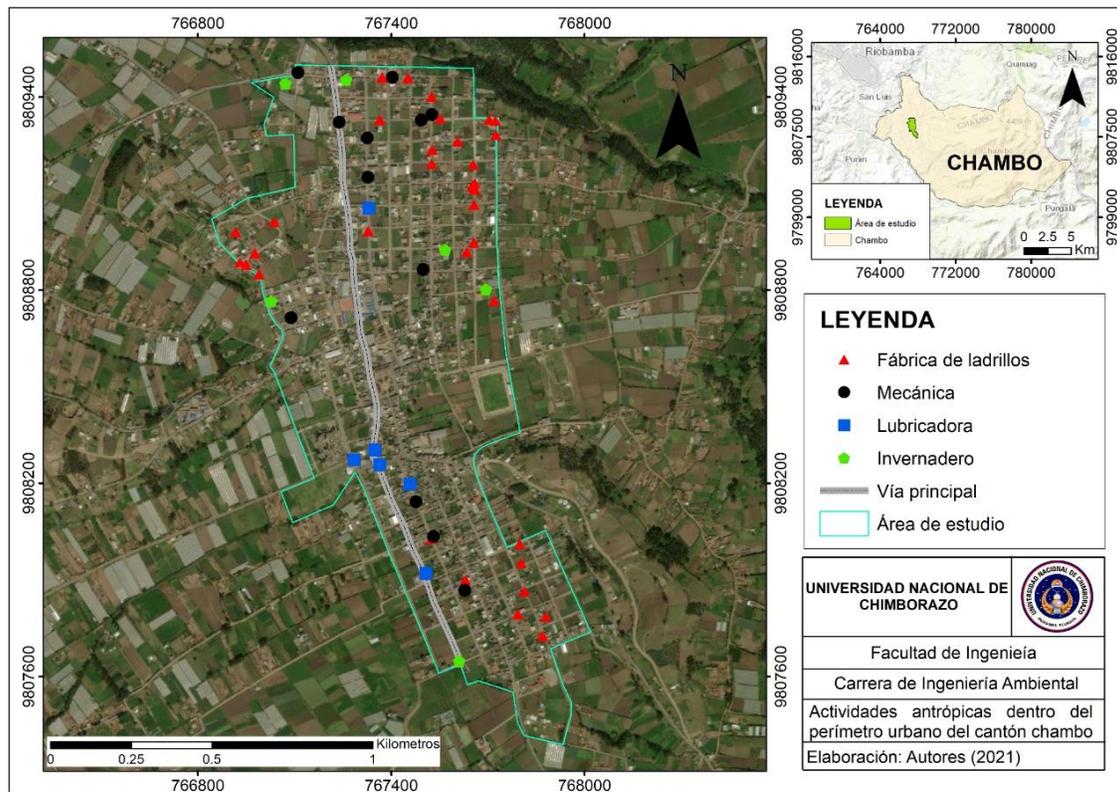
## CAPÍTULO 4

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permitieron determinar la concentración de MPSS, caracterización del MPS soluble e insoluble, morfología del MPSI y dispersión y concentración de MP.

#### 4.1 Actividades antrópicas localizadas en el área urbana del cantón Chambo

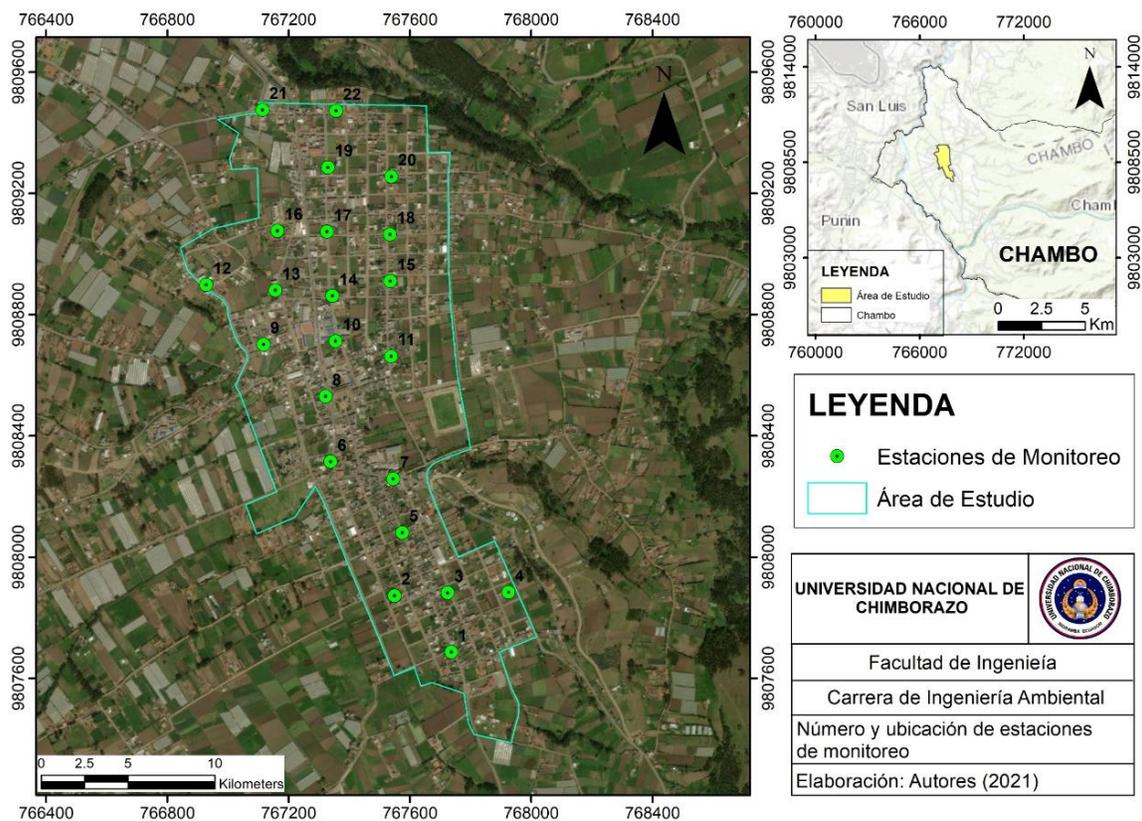
Como resultado de la visita de campo previo a la ubicación de las estaciones de monitoreo se identificaron un total de 58 actividades antrópicas predominantes en el área de estudio. Como se observa en la **Figura 3**, estas actividades se clasificaron en 4 categorías: 34 fábricas de ladrillos siendo esta la mayor actividad que se produce en el área, 12 mecánicas, 6 lubricadoras y 6 invernaderos presentes dentro del sector de estudio. Todas estas actividades antrópicas son consideradas fuentes emisoras de MPS.



**Figura 3.** Actividades antrópicas presentes en el área urbana del cantón Chambo.  
**Fuente:** Autores (2021).

## 4.2 Ubicación y número de las estaciones de monitoreo

En la **Figura 4** se observa el número y ubicación de estaciones de monitoreo en el área urbana del cantón, las estaciones fueron ubicadas de acuerdo a los criterios antes mencionados.



**Figura 4.** Estaciones de monitoreo de MPS.

**Fuente:** Autores (2021).

## 4.3 Concentración y análisis del MPS

En la **Tabla 6** se muestra los valores de MPS para cada punto de monitoreo durante la fecha del 22 de septiembre al 22 de octubre del 2021. Donde el valor medio fue de 0.29 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) con un valor máximo de 0.57 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) en la estación 2 y 3 ubicada en el sector sur y un valor mínimo de 0.12 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) en la estación 7 ubicada en el sector centro.

**Tabla 6.** Resultados de las concentraciones del MPS en cada punto de monitoreo.

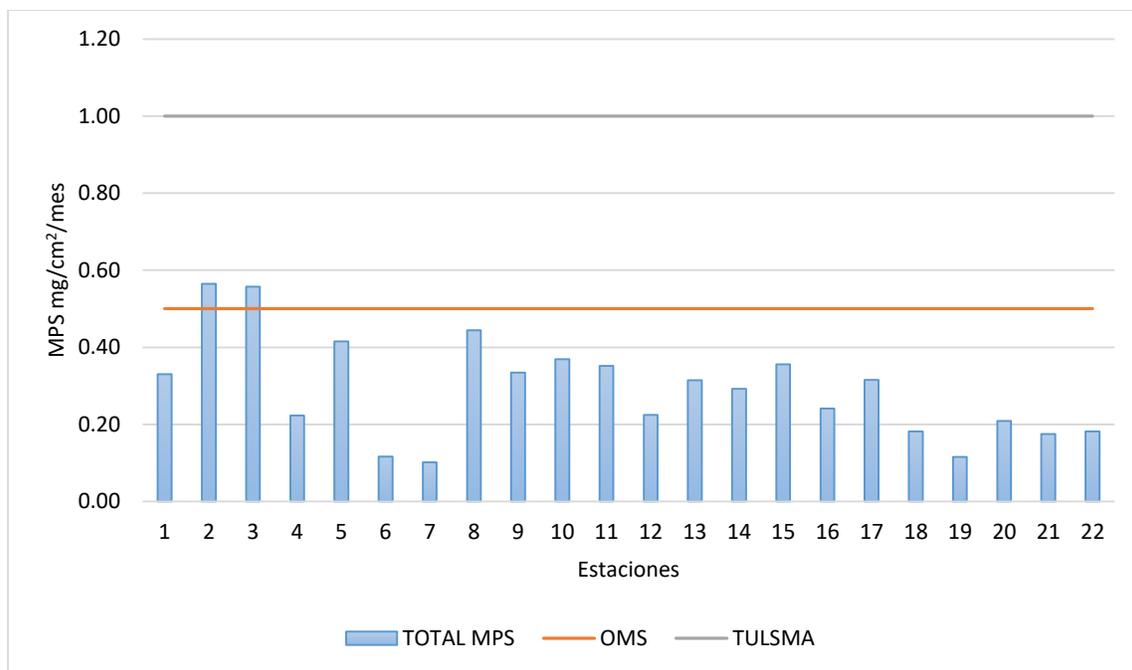
Estaciones de Monitoreo	Ubicación Geográfica		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes)
1	767736	9807688	462.1	479.4	0.33
2	767548	9807873	473.3	504.2	0.57
3	767723	9807883	440.5	470.5	0.57
4	767924	9807885	483.9	495.9	0.22
5	767575	9808082	459.1	481.5	0.42
6	767338	9808315	464.3	470.0	0.13
7	767544	9808259	487.0	491.9	0.12
8	767321	9808530	483.5	507.9	0.44
9	767117	9808702	459.1	477.2	0.33
10	767354	9808712	456.7	476.5	0.37
11	767537	9808663	442.9	461.7	0.35
12	766927	9808898	459.5	471.4	0.22
13	767155	9808880	470.3	486.4	0.31
14	767343	9808862	461.9	477.3	0.29
15	767535	9808911	464.2	483.3	0.36
16	767162	9809077	460.7	473.6	0.24
17	767326	9809074	442.4	458.8	0.32
18	767534	9809065	449.3	459.4	0.18
19	767329	9809286	454.5	460.1	0.13
20	767538	9809256	444.2	455.4	0.21
21	767113	9809476	473.8	482.7	0.17
22	767355	9809472	474.4	483.4	0.18

**Fuente:** Autores (2021).**Tabla 7.** Límites máximos permisibles para MPS.

NORMATIVA OMS	NORMATIVA ACUERDO MINISTERIAL 097-A
0.5 mg/cm <sup>2</sup>	1 mg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** OMS & Acuerdo Ministerial 097-A.

Los datos obtenidos en la **Tabla 6** de las diferentes estaciones de monitoreo de la concentración de MPS se comparó con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la OMS y por el Acuerdo Ministerial 097-A, **Tabla 7**, dentro del análisis de la gráfica **Figura 5**, se observa que las 20 estaciones presentan valores que cumplen con los límites máximos permisibles tanto para la normativa ecuatoriana como para la normativa de la OMS a excepción de las muestras 2 y 3.



**Figura 5.** Comparación de valores de MPS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA.  
**Fuente:** Autores (2021).

De acuerdo a los datos obtenidos podemos decir que las estaciones 2 y 3 ( $0.57 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) superan los LMP establecidos por la OMS. Es importante indicar que la mayoría de muestras cumplen con los LMP establecidos por el Acuerdo Ministerial 097-A y OMS puesto que el aire del área urbana es de buena calidad respecto a la cantidad del MPS presente en las muestras analizadas. El bajo nivel de concentración de MPS se debe a la escasa circulación de transporte y baja dispersión de las partículas provenientes de los hornos de ladrillos, además varias fábricas de ladrillos fueron cerradas durante la pandemia, lo cual reduce la cantidad de partículas que se emiten a la atmósfera.

En resumen, se puede decir que existen varios factores naturales y antrópicos como: viento, humedad, bajo tráfico vehicular, vías pavimentadas, las cuales influyen en la poca concentración de MPS durante el periodo de muestreo.

#### 4.4 Concentración y análisis del MPSS y MPSI

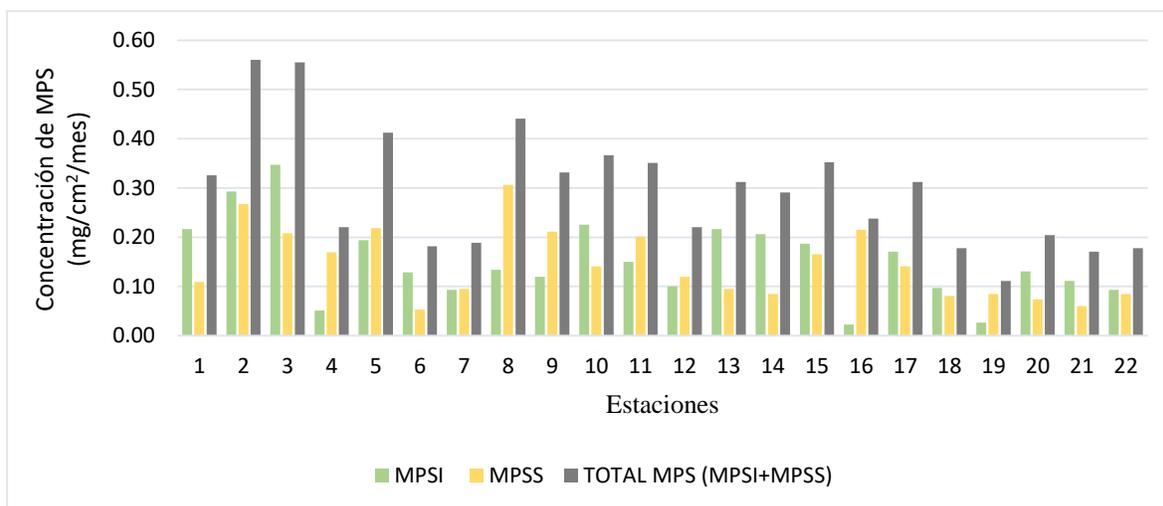
En la **Tabla 8** se observa los resultados de las 22 muestras y se determinó el material particulado sedimentable, además los valores de concentración de MPSS y MPSI.

**Tabla 8.** Concentración de MPSI y MPSS.

Estaciones de Monitoreo	MPSI	MPSS	TOTAL MPS (MPSI+MPSS)
1	0.2168	0.1093	0.33
2	0.2925	0.2678	0.57
3	0.3472	0.2079	0.57
4	0.0511	0.1692	0.22
5	0.1938	0.2185	0.41
6	0.1286	0.0529	0.18
7	0.0934	0.0952	0.19
8	0.1339	0.3066	0.44
9	0.1198	0.2115	0.33
10	0.2256	0.1410	0.37
11	0.1498	0.2009	0.35
12	0.1004	0.1198	0.22
13	0.2168	0.0952	0.31
14	0.2062	0.0846	0.29
15	0.1868	0.1656	0.35
16	0.0229	0.2150	0.24
17	0.1709	0.1410	0.31
18	0.0969	0.0811	0.18
19	0.0264	0.0846	0.12
20	0.1304	0.0740	0.20
21	0.1110	0.0599	0.17
22	0.0934	0.0846	0.18

**Fuente:** Autores (2021).

Los datos obtenidos luego de los análisis indican que el MPSI se encuentra en mayor cantidad respecto al MPSS y está distribuido mayoritariamente en la zona norte del área de estudio, el MPSI tuvo mayor concentración en 13 de las 22 muestras analizadas lo cual representa el 59% del total de muestras estudiadas mientras que el MPSS tuvo mayor concentración en 9 muestras cuyo valor porcentual corresponde al 41%.



**Figura 6.** Concentración de MPSS y MPSI.

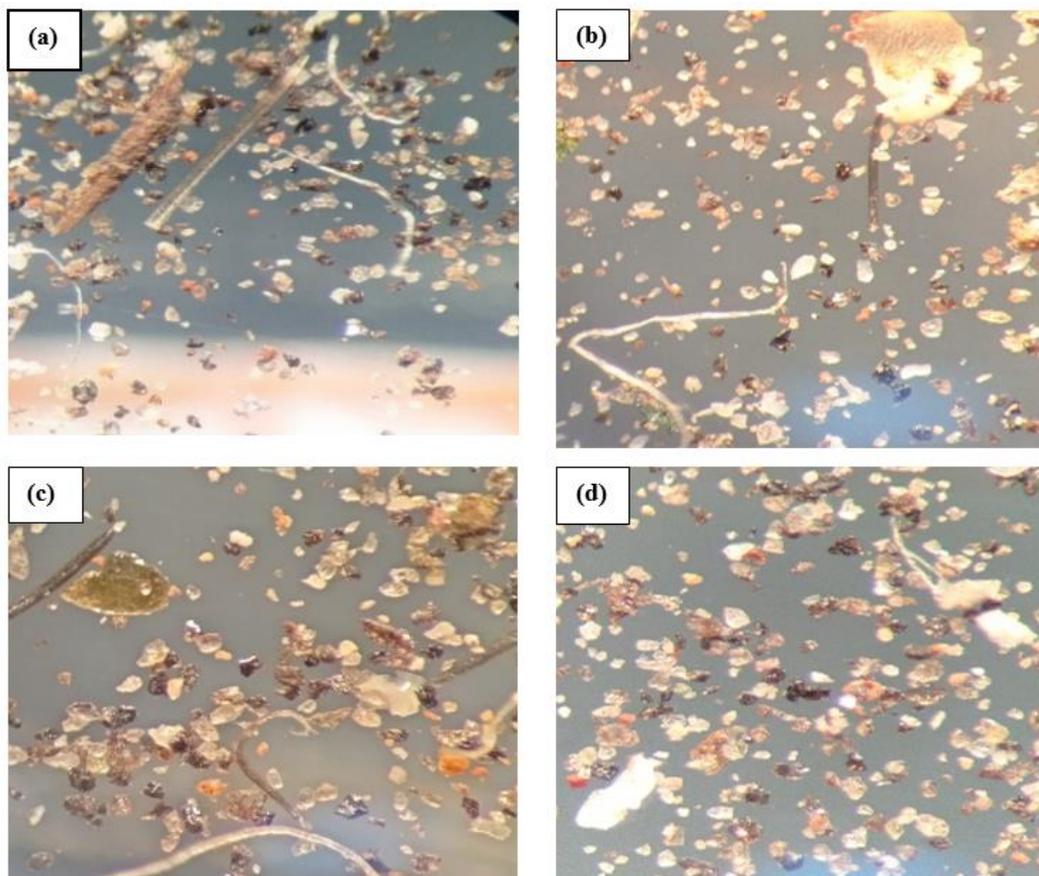
**Fuente:** Autores (2021).

La presencia de MPSI abundante en el área de estudio puede deberse a partículas de combustión, estas son emitidas desde industrias que empleen elevadas temperaturas para la elaboración de sus productos, estas partículas también son emitidas desde los motores de vehículos de combustión interna, la exposición de material primas a elevadas temperaturas vuelve a las partículas insolubles Soriano (2012), la presencia de abundantes hornos utilizados para la cocción de ladrillos y el tráfico vehicular en la zona de estudio son fuentes potencialmente emisoras de este tipo de partículas.

El MPSI puede afectar a ríos o lagunas cercanos a la zona de estudio ya que por acción del viento el MPSI puede ser transportado hacia estos cuerpos de agua y aportar sedimentos insolubles (Valdivieso, 2018).

#### 4.5 Caracterización morfológica del MPSI por actividades antrópicas

La morfología del MPSI se determinó mediante el estereomicroscopio, donde se puede observar el color y forma en cada una de las muestras analizadas.



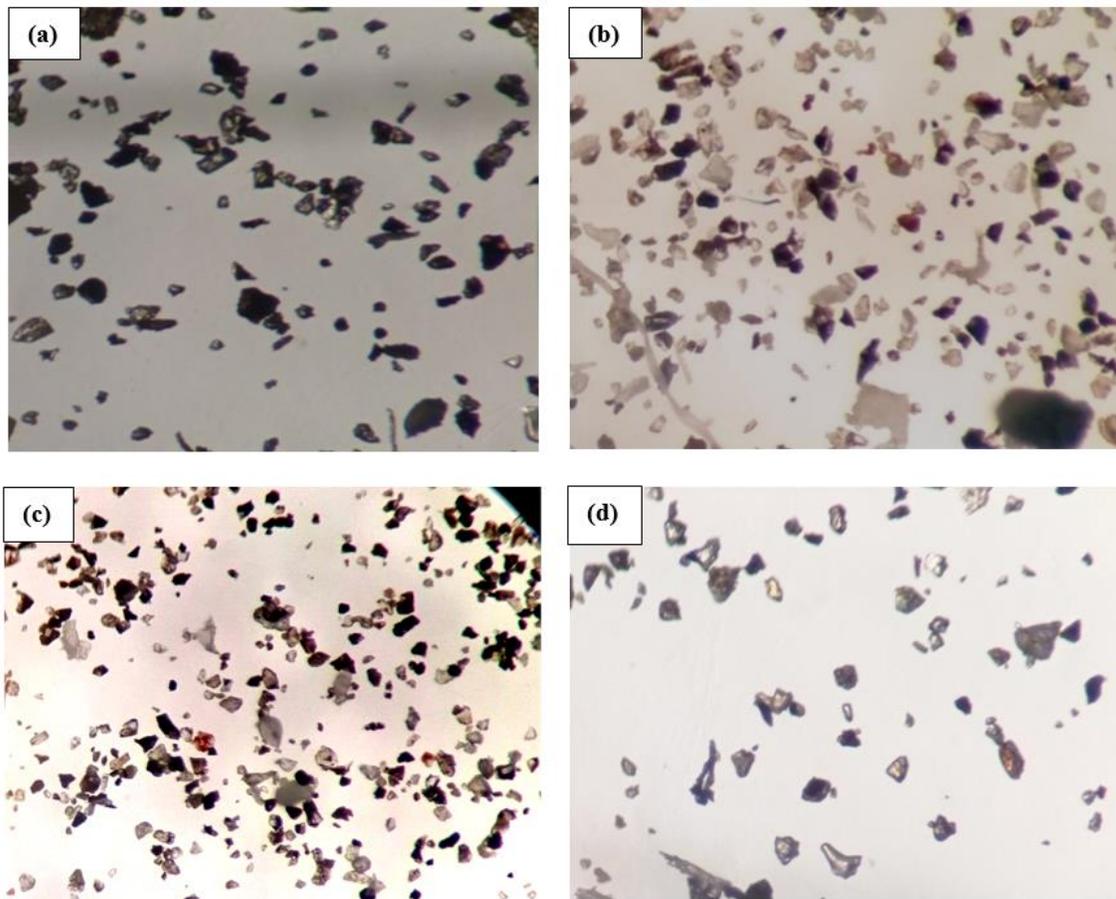
**Figura 7.** Comparación morfológica de colores de diferentes muestras recolectadas de MPSI.  
**Fuente:** Autores (2021).

Como se observa en las imágenes obtenidas de algunas muestras de MPSI existen diferentes colores presentes en las muestras, estos pueden ser partículas orgánicas como madera y partículas minerales como polvo u otros minerales. En la **Figura 7**, la muestra (a) se observó mayor presencia de partículas color café, esto se debe a la presencia de fragmentos orgánicos, en la muestra (b) observamos la presencia de una partícula amorfa de mayor tamaño, color verde y formadas por agregaciones de otras unidades pequeñas, el color presente depende de la composición variable de su origen y de la función del proceso de formación (Fernández *et al.*, 2012).

Además, se observó partículas en menor cantidad de color negro producto de la combustión de vehículos debido a una directa relación entre el contenido de azufre presente en el diésel (Alfonso, 2018).

La muestra (c) de la **Figura 7** se observó presencia de partículas de diferentes tamaños, formas y especialmente fragmentos de color negro debido a la combustión de tráfico vehicular y de pequeñas industrias existentes en el área de estudio, en la muestra (d) existe mayor presencia de partículas de materia viva color café debido a fragmentos orgánicos, en menor cantidad se encuentran partículas verdes debido a la presencia de fragmentos de diatomeas, además se encuentran partículas color blanco y anaranjado debido a la presencia de minerales como: silicatos, cuarzo, feldespatos y arcillas (Fernández *et al.*, 2012).

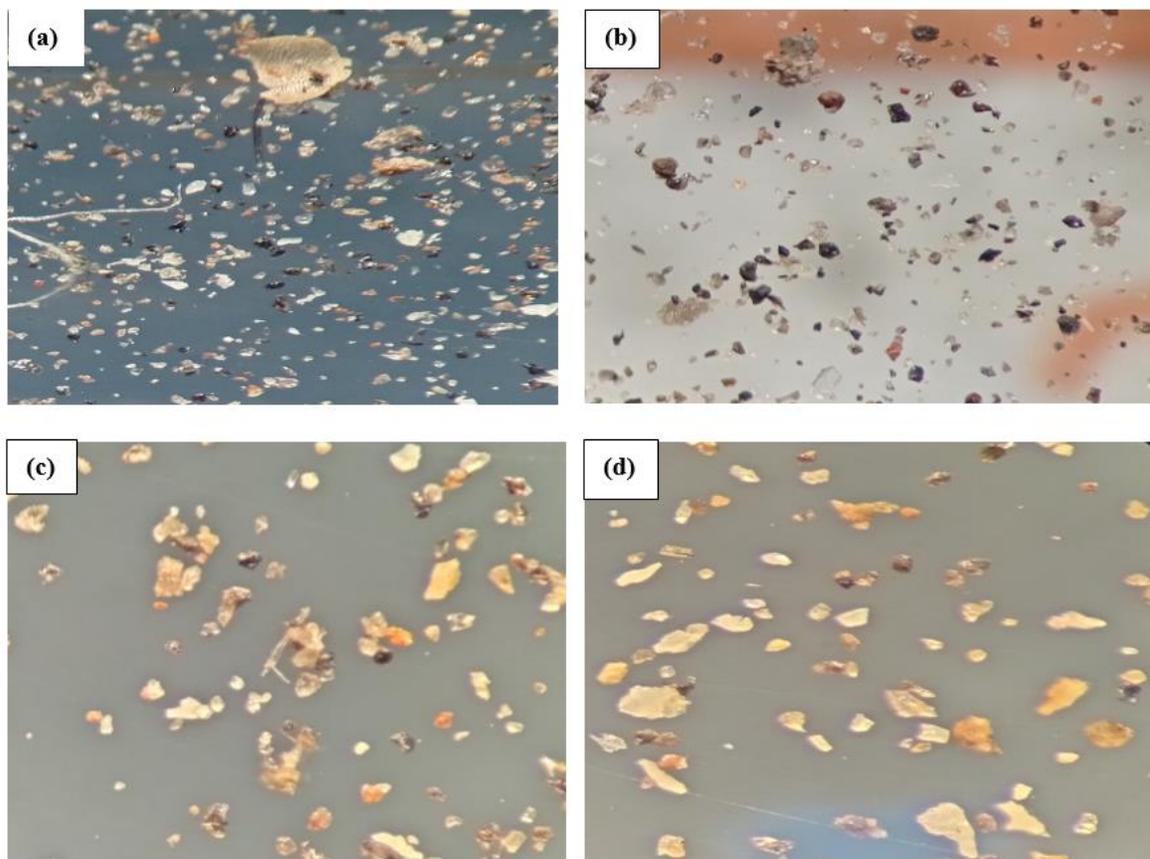
Las partículas que poseen formas de cristales y bordes definidos fueron las que tuvieron mayor presencia y se encontraron en todas las muestras analizadas (**Figura 8**).



**Figura 8.** Partículas o fragmentos de diferente forma encontrados en el MPSI.

**Fuente:** Autores (2021).

Las partículas pueden proceder tanto de emisiones naturales como de fuentes antrópicas Soriano (2012), en nuestra área de estudio las fuentes emisoras de estas partículas pueden ser: vías sin asfalto lo cual genera polvo, el transporte de la materia prima (arena y arcilla) para la elaboración de ladrillos artesanales y también puede proceder de metalmecánicas. En el MPS se puede encontrar minerales que corresponden a: sulfuros, óxidos, elementos nativos, haluros, sulfosales, sulfatos, carbonatos y silicatos (Aragón, 2011).



**Figura 9.** Partículas o fragmentos encontrados en el MPSI.

**Fuente:** Autores (2021).

En nuestra investigación algunas partículas fueron provenientes de procesos de combustión, pueden ser emitidas desde fuentes móviles y fijas. Las fuentes móviles corresponden a vehículos que funcionen a gasolina o diésel mientras que las fuentes fijas son los diversos hornos que existen en el área de estudio para la fabricación de ladrillos (Ochoa, 2017) (**Figura 9**). Ya sea por su forma o tamaño las partículas atmosféricas pueden ingresar a mayor profundidad en las vías respiratorias, desde el punto de vista químico las partículas contienen

compuestos orgánicos e inorgánicos que son perjudiciales para la salud humana (Soriano, 2012). Las partículas insolubles causan afectación a la salud humana debido a que se acumulan en el cuerpo causando afecciones respiratorias a largo plazo en especial a las personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias obstructivas crónicas, asmáticos y adultos mayores (Pérez, 2013).

#### **4.6 Composición química del MPSS**

Para los resultados del análisis de nitratos no se adjuntan tablas ni figuras ya que presentaron un valor de 0 mg/L, no existe presencia de los mismos en 19 de las 22 muestras a excepción de las muestras 14 donde el valor fue de 0.3 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , la muestra 18 dio un valor de 0.2 mg/L  $\text{NO}_3^-$  y el valor de la muestra 19 fue de 0.3 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , estos valores obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos para agua de consumo humano en el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I, tabla 1, indica un valor máximo de 50 mg/L. Según Herrera & Quisaguano (2019), mencionan que los valores registrados son bajos, señalando que no existe contaminación proveniente de fertilizantes o actividad ganadera.

Los únicos resultados positivos del análisis de nitritos se observaron en las muestras 14, 17, 18 con valores de 0.001 mg/L  $\text{NO}_2^-$ , 0.002 mg/L  $\text{NO}_2^-$ , 0.002 mg/L  $\text{NO}_2^-$ , los demás resultados de las muestras analizadas arrojaron un valor negativo, por esta razón no se adjunta ninguna tabla. El resultado de los análisis del conjunto de muestras para nitritos indica que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles cuyo valor máximo es 0.2 mg/L establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A (Mancheno & Ramos, 2015).

Para los resultados de la concentración de sulfatos se observó que no hubo valores positivos en las 18 muestras, los únicos resultados favorables fueron en la muestra 4 donde el valor fue de 4 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , la muestra 18 con un valor de 1 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , la muestra 20 con un valor de 2 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ , la muestra 21 dio un valor de 1 mg/L  $\text{SO}_4^-$ , todos los valores se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible (500 mg/L) establecido en el Acuerdo Vigente (MAE, 2015).

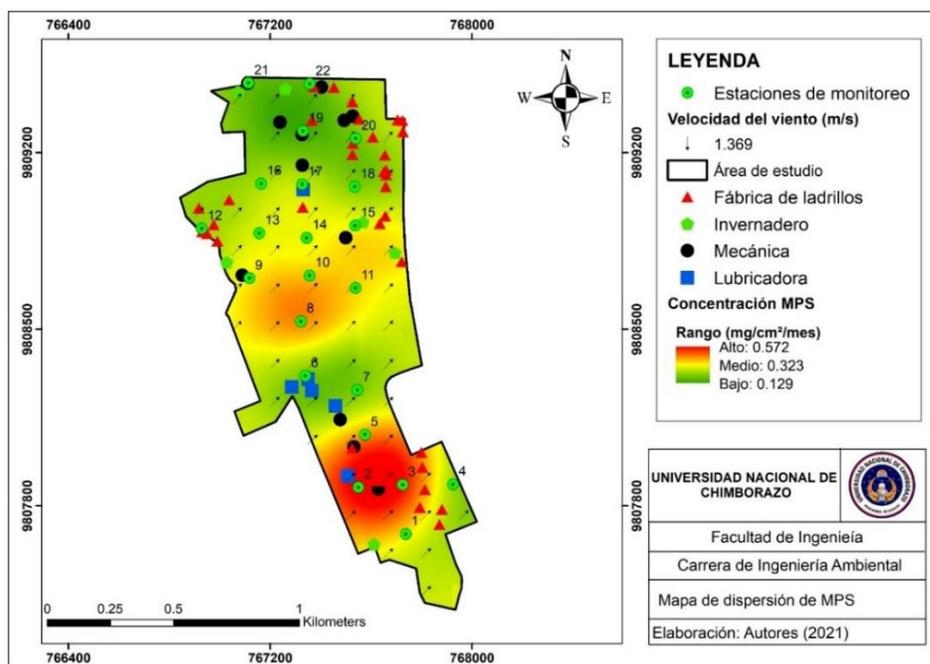
Los valores registrados para el parámetro de pH se observan que los datos obtenidos no varían significativamente en los 22 puntos de muestreo ya que el valor máximo de pH fue de 6.71 y el valor mínimo fue 6.01, representan un valor promedio de 6.28 lo cual significa que los

valores se encuentran dentro del límite permisible establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I, tabla 1, que indica un rango entre 6-9, el pH se encuentra en el rango de aceptabilidad correspondiente a calidad ambiental satisfactoria (Baque *et al.*, 2016).

Los valores obtenidos de sólidos disueltos totales señalan que las 22 muestras representan un valor promedio de 8.72 mg/L, cumplen con el límite máximo permisible establecido en la Normativa Nacional Vigente, MAE (2015), Libro VI, Anexo I, tabla 2, que establece un valor de 1000 mg/L (Ministerio Ambiente Ecuador, 2015). Los valores para sólidos disueltos totales analizados están dentro del rango normal lo cual indica que no existe presencia de sales disueltas.

#### 4.7 Análisis geostatístico de dispersión y concentración de MPS

Se elaboró un mapa de dispersión y concentración con los datos obtenidos del MPS total, además se emplearon datos de dirección y velocidad de viento de las estaciones meteorológicas de Tunshi, Unach, Espoch y Quimiag. Mediante el uso de sistemas de información geográfica se interpolaron datos para obtener los valores del MPS en el área de estudio, estos valores fueron clasificados mediante colores para conocer las áreas con mayor y menor concentración, de igual manera se realizó el mismo procedimiento para obtener datos de dirección y velocidad del viento, mismos que fueron clasificados en tres categorías: bajo, medio y alto como se visualiza en la **Figura 10**.



**Figura 10.** Mapa de concentración y dispersión de MPS.

**Fuente:** Autores (2021).

Como se observa en la **Figura 10** la dirección del viento tuvo una dirección hacia el noreste (NE) y la velocidad promedio fue de 1.369 m/s durante el periodo de monitoreo. El mapa refleja los valores de MPS obtenidos en el área de estudio donde se observó que existe mayor concentración y dispersión en la zona sur en las estaciones 2 y 3 con valores de 0.57 mg/cm<sup>2</sup>/mes en ambos casos, mientras que en la zona centro existe un nivel medio debido a que no existe mucha presencia de actividades antrópicas, además se visualizó que en la zona norte existe poca presencia de MPS.

## CONCLUSIONES

- El análisis de la concentración del MPS en la zona de estudio determinó que las estaciones 2 y 3 presentaron la mayor cantidad de MPS ( $0.57 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) lo cual sobrepasa el límite máximo permisible establecido por la OMS ( $0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ).
- La caracterización morfológica del MPSI evidenció la presencia de partículas con diferentes formas y tamaños como: esférica, irregular, redondeada las cuales producen enfermedades respiratorias afectando a personas con problemas cardiovasculares, asmáticos y adultos mayores ya que algunas partículas insolubles orgánicas e inorgánicas se acumulan en el cuerpo humano causando afecciones a largo plazo.
- En el área de estudio existe mayor presencia de partículas insolubles debido a que el MPSI presentó mayor concentración en el 59% de muestras analizadas mientras que el MPSSS fue mayor en el 41% de las muestras restantes.
- El mapa de dispersión de MPS presenta tres categorías: alto ( $0.57 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ), medio ( $0.32 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ) y bajo ( $0.12 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ ), siendo la zona sur la de mayor concentración con un radio de exposición de 250 metros.

## RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar una red de monitoreo de calidad de aire durante todo el año para conocer la variación de MPS por la influencia de diferentes actividades antrópicas que se encuentran en el cantón Chambo y así tener un diagnóstico eficaz de los niveles de contaminación.
- Es importante que los moradores del cantón tengan conocimiento sobre los daños y afecciones que perjudica a la salud y que se producen por las diferentes actividades como: elaboración de ladrillos, mecánicas, lubricadoras, invernaderos y el uso de químicos.
- Se recomienda ubicar las estaciones donde se encuentre libre de obstáculos y en lugares donde no exista desnivel, de igual manera las cajas Petri deben estar colocadas correctamente en el equipo de muestreo para que el papel filtro no sea movido por causa de las condiciones del clima.
- Para posteriores trabajos de investigación se recomienda tener conocimiento previo del lugar de estudio para optimizar recursos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. (2014). *Fitotoxicidad del material particulado sedimentable (MPS) generado en la zona urbana del cantón Cuenca*. [Universidad Estatal de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/tesis.pdf.pdf>
- Albacete, A. (2011). *Procesamiento de datos LiDAR con ArcGIS Desktop 10*. [Universidad Complutense de Madrid]. [https://eprints.ucm.es/id/eprint/13981/1/Procesamiento\\_LIDAR\\_ArcGIS10.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/13981/1/Procesamiento_LIDAR_ArcGIS10.pdf)
- Alcalá, J., Rodríguez, J., Tiscareño, M., Hernández, A., Tapia, J., Loredó, C., & Villaseñor, E. (2011). Mitigación del impacto ambiental del polvo atmosférico a través de prosopis laevigata y schinus molle, San Luis Potosí, México. *Multequina*, 20, 83–96. <https://www.redalyc.org/pdf/428/42824203007.pdf>
- Alfonso, D. (2018). Emisiones de material particulado de los vehículos en Bogotá. Estrategias de gestión ambiental para su mitigación. In *Facultad de Estudios Ambientales y Rurales*. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/38114>
- Alvarado, R., Puyol, D., & Santillán, P. (2020). *Estudio comparativo de material particulado sedimentable y volátil, de los sectores Calpi y el barrio los Pinos del cantón Riobamba*. [Universidad Nacional de Chimborazo]. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7218/2/7.Tesis\\_Material Particulado\\_Alvarado\\_Puyol %281%29.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7218/2/7.Tesis_Material Particulado_Alvarado_Puyol%201%29.pdf)
- Aragón, A. (2011). *¿Cómo son las partículas atmosféricas antropogénicas y cuál es su relación con los diversos tipos de fuentes contaminantes?* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2561.0409>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable Pm10. *Luna Azul*, 34, 195–213. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Argumedo, C. D., & Castillo, J. F. (2016). Chemical characterization of particulated atmospheric matter PM10 in Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*,

45(2), 19–29. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v45n2.56991>

- Arias, L. (2014). *Estandarización de una metodología para la medición de fosfatos (Po4 3-) por el método fotométrico en muestras*. [Universidad Tecnológica de Pereira]. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4812/54308520218A696.pdf;sequence=1>
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de material particulado (PM10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43–54. <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5445>
- Baque, R., Simba, L., González, B., Suatunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (2016). Calidad de agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9, 109–117. <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/357/309>
- Bravo, L. (2017). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo. In *Universidad de Cuenca*. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27760/1/Trabajo de titulación.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27760/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf)
- Bustillos, A., & Velasteguí, R. (2011). Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper Versión 5.2 y Screen View. In *Universidad Técnica De Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1864/1/BQ.12.pdf>
- Chávez, P. (2018). *Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco de agosto a octubre 2016*. [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1366>
- Díaz, V., & Bahamonde, M. (2020). *Informe anual de la calidad de aire año 2018*. [http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/Informe\\_Calidad\\_Aire\\_2018.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/Informe_Calidad_Aire_2018.pdf)
- Durán, J., & Moscoso, L. (2018). Análisis correlacional de datos de MP10 y partículas sedimentables, su composición fisicoquímica y mineralógica, en la zona norte de la

ciudad de Bogotá. In *Universidad de la Salle*.  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1755&context=ing\\_ambienta\\_l\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1755&context=ing_ambienta_l_sanitaria)

Fernández, R., Sánchez, A., & González, Y. (2012). Caracterización del material particulado atmosférico de origen norteafricano en Andalucía. *Comunicaciones Del XVII Simposio Sobre Enseñanza de La Geología*, 363–366.  
<https://www.uhu.es/fexp/segeo2012/arc/comunicaciones/48.pdf>

GAD Chambo. (2014). *Gobierno autónomo descentralizado municipal de Chambo. Pliegos para la elaboración de un plan de movilidad*. [www.gobiernodechambo.gob.ec](http://www.gobiernodechambo.gob.ec).

GAD Chambo. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2020- 2023 cantón Chambo, provincia de Chimborazo*.  
<https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>

Giménez, J. (2018). *Análisis de la afectación por material particulado, período 2017, Puerto Quequén*. [Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires].  
<https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/1794>

González, Lorena, & Sánchez, A. (2021). *Determinación de material particulado sedimentable proveniente del parque industrial del cantón Cuenca y su influencia en las zonas aledañas*. [Universidad de Cuenca].  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35631/1/Trabajo de Titulación .pdf>

González, Lucy. (2018). *Caracterización química y morfológica del material particulado suspendido del área metropolitana de Monterrey y sus posibles fuentes de emisión*. [Universidad Autónoma de Nuevo León].  
<http://eprints.uanl.mx/16800/1/1080290345.pdf>

Gutierrez, J., Quijano, M., & Quijano, A. (2012). Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado PM2.5 en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 24–38.  
<https://www.redalyc.org/pdf/903/90326398008.pdf>

- Herrera, L., & Quisaguano, K. (2019). *Evaluación de la calidad de agua del sistema de abastecimiento y conducción de la junta administradora de agua potable de Tambillo*. [Escuela Politécnica Nacional]. [https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20309/1/CD\\_9776.pdf](https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20309/1/CD_9776.pdf)
- 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>
- Livia, K., & Beteta, V. (2020). *Contaminación del aire por partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente interior de la zona urbana de Tingo María*. [Universidad Nacional Agraria de la Selva]. [http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1836/TS\\_KXLC\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3y82V-GE23Hxr8UNJFLxhXXDAunSuRcHH-\\_7fdQNerHyX1u5L4LHbuBP8](http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1836/TS_KXLC_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3y82V-GE23Hxr8UNJFLxhXXDAunSuRcHH-_7fdQNerHyX1u5L4LHbuBP8)
- MAE. (2015). TULSMA Reforma 097-A. In *Registro oficial órgano del gobierno del Ecuador*. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Maldonado, M. (2012). *Caracterización del material particulado suspendido PM10 de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por Espectroscopía de Absorción Atómica*. [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7112/4.7.001492.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Mancheno, G., & Ramos, C. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilización de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuquí*. [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9219/3/CD-6112.pdf>
- Marcos, R., & Valderrama, A. (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. <https://es.scribd.com/document/217154063/Contaminacion-del-aire-por-material-particulado-en-la-ciudad-universitaria-pdf>
- Ministerio del ambiente. (2014). Guía para muestreo de suelos. In MAE. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
- Ministerio Ambiente Ecuador. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. TULAS Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente. <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA ANEXO 1.pdf>
- Morales, T., Martínez, J., & Varela, S. (2012). Valoración económica del efecto sobre la salud de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en Pereira. *Scientia Et Technica*, XVII(52), 225–234. <https://doi.org/10.22517/23447214.7105>
- Ochoa, R. (2017). *Caracterización mineralógica de material particulado en Hermosillo, Sonora, México, utilizando la técnica de difracción de rayos x*. [Universidad de Sonora]. <http://148.225.114.121/bitstream/unison/500/1/ochoacontrerasrobertom.pdf>
- OMS. (2020). *Calidad del aire y salud*. 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)
- Palacios, E., & Espinoza, C. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca - Ecuador, 2009- 2013. posibles efectos en la salud. *Revista de La Facultad de Ciencias Médicas*, 32(2), 6–17. [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22965/1/Dra Elvira palacios ing Claudia Espinoza.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22965/1/Dra%20Elvira%20palacios%20ing%20Claudia%20Espinoza.pdf)
- Park, N. W. (2016). Time-series mapping of PM10 concentration using multi-gaussian space-time kriging: a case study in the Seoul Metropolitan area, Korea. *Advances in Meteorology*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/9452080>
- Parra, S. (2013). *Determinación del origen y mecanismo de contaminación por metales y*

*metales pesados en los suelos del valle de Puchucaví (Chile)*. [Pontificia Universidad Católica de Valparaíso].  
[http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/181715/PARRA\\_SONNIA\\_2648D.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.conicyt.cl/bitstream/handle/10533/181715/PARRA_SONNIA_2648D.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pérez, R. (2013). *Estudio del contenido de hidrocarburos policíclicos aromáticos y metales en partículas atmosféricas de diferentes diámetros aerodinámicos de la Comarca Lagunera, México*.  
[https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/898/1/%27RománAlberto Pérez Balán Doctorado en Ciencia y Tecnología Ambiental.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/898/1/%27RománAlberto%20Pérez%20Balán%20Doctorado%20en%20Ciencia%20y%20Tecnología%20Ambiental.pdf)

Porras, A. (2017). Método Kriging de inferencia espacial. In *Repositorio Nacional CONACYT*. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/160>

Saldarriaga, J. (2019). *Niveles y características del material particulado sedimentable en la ciudad de Lurigancho- Huachipa 2015*. [Universidad Nacional de Tumbes].  
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/296>

Santillán, P., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico en el laboratorio de servicios ambientales de la Unach. *Perfiles*, 2, 8.  
<http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles16Art5.pdf>

Silva, V. (2021). *Monitoreo de polvo atmosférico sedimentable y su relación con las infecciones respiratorias agudas en el distrito de Hualmay, octubre - diciembre del 2019*. [Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].  
<http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4619>

Soriano, D. (2012). *Contaminantes atmosféricos particulados: evaluación de las fuentes de origen y de su contribución a la contaminación atmosférica en el clúster cerámico de Castellón*. [Universitat Jaume]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/96525#page=1>

Valdivieso, E. (2018). Determinación de la concentración de metales pesados mediante la caracterización de material particulado sedimentable en la reserva biológica

Limoncocha, noviembre de 2016 a junio 2017. In *SEK*.  
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2786>

Vallejo, P., González, C., & Mena, F. (2016). Cálculo referencial de material particulado en el aire como factor de contaminación ambiental en el área urbana de la ciudad de Pujilí. *Enfoque UTE*, 7(2), 109–119. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n2.99>

Villacrés, M., & Beltrán, A. (2015). Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. In *Facultad de Ciencias: Vol. Bachelor*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>

## ANEXOS

### Ubicación de las estaciones de monitoreo

---



Trabajo en el laboratorio de Servicios Ambientales



Actividades antrópicas en el área de estudio



## Análisis químicos de las muestras

