

**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 DE MATERIAL PARTICULADO  
SEDIMENTABLE POR INCIDENCIA ANTRÓPICA, SECTOR PERÍMETRO DE LAS  
INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

**Autoras:**

Jarrín Escobar María Alejandra  
Proaño Quisimalín Mónica Raquel

**Tutor:**

MsC. Patricio Santillán

**Riobamba – Ecuador**

**2021**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE POR INCIDENCIA ANTRÓPICA, SECTOR PERÍMETRO DE LAS INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, presentado por: Jarrín Escobar María Alejandra y Proaño Quisimalín Mónica Raquel, dirigida por el MsC. Guido Patricio Santillán Lima.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. Benito Guillermo Mendoza Trujillo

---

Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
BENITO GUILLERMO  
MENDOZA TRUJILLO

---

Firma

MsC. Guido Patricio Santillán Lima

---

Director del Proyecto



Firmado electrónicamente por:  
GUIDO  
PATRICIO  
SANTILLAN

---

Firma

PhD. José Gregorio Prato Moreno

---

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
JOSE GREGORIO  
PRATO MORENO

---

Firma

Dra. Julia Guadalupe Calahorrano

---

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
JULIA GUADALUPE  
CALAHORRANO  
GONZALEZ

---

Firma

## DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE POR INCIDENCIA ANTRÓPICA, SECTOR PERÍMETRO DE LAS INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, ha sido elaborado por Jarrín Escobar María Alejandra y Proaño Quisimalín Mónica Raquel, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, 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

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotras, Jarrín Escobar María Alejandra, con cédula de identidad N° 020248792-2 y Proaño Quisimalín Mónica Raquel, con cédula de identidad N° 180488125-6; hacemos constar que somos autores del presente trabajo de investigación, titulado: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE POR INCIDENCIA ANTRÓPICA, SECTOR PERÍMETRO DE LAS INDUSTRIAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, el cual constituye una elaboración, dirigida por la Tutora del Proyecto MsC. Patricio Santillán.

En tal sentido, manifestamos la originalidad de la Conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado debidamente en el texto del documento.



.....  
Jarrín Escobar María Alejandra  
C.I. 020248792-2



.....  
Proaño Quisimalín Mónica Raquel  
C.I. 180488125-6

## DEDICATORIA

*“Con Dios todo, sin Él nada”*

En primer lugar, este trabajo se lo dedico a Dios y en especial a mis padres Guillermo y Blanca, por ser ese apoyo incondicional que con su amor incondicional están presentes en cada objetivo y propósito que me he planteado en mi vida, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y me han inculcado que la humildad, honestidad, dedicación y esfuerzo tienen su recompensa en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos Adriana, Mario, Camila y Paula quienes, con cada palabra de aliento, cada abrazo sincero me alienta a ser mejor cada día, ellos que con cada gesto de confianza y amor nunca me han dejado sola, siendo ellos mi motor para cada día ser alguien mejor y de lo cual se sientan orgullosos.

A Elvira por haberme brindado su apoyo y cariño incondicional, por cada uno de los consejos y palabras de aliento para ser una mejor persona un dios le pague por cada gesto que ha tenido hacia a mí. A Elvis por formar parte de mi vida y ser ese pilar fundamental que con su amor, paciencia y gran apoyo me incentiva a ser cada día mejor, que con altos y bajos ha estado para mí y de igual manera yo para él, gracias amor por todo y gracias a Dios por haberle puesto en mi camino.

A todas las personas que de una manera u otra estuvieron conmigo (Paola Tapia, Johana Vasconez, Raquel Proaño, Alejandra Barreto, Tíos, Abuelos y Amigos) en todo este trayecto, de los cuales siempre estaré eternamente agradecida ya que nunca me dejaron de apoyar y los mismos que siempre podrán contar conmigo un agradecimiento eterno.

***María Alejandra Jarrín Escobar***

El presente trabajo dedico de manera especial a mis hijos Sam y Lu quienes son mi motor fundamental de esfuerzo para salir a delante y formarme profesionalmente para poder brindarles una mejor calidad de vida.

También quiero dedicar a toda mi familia que de una manera u otra estuvieron para mí con su granito de arena y para todas las personas que no creyeron que lo iba a lograr.

Una dedicatoria muy especial y con mucho amor a mi abuelita Zoila que no pudo verme culminar mi carrera, pero sé que desde ahí arriba está orgullosa ya que fue la única persona que nunca dudo de mí.

*Mónica Raquel Proaño Quisimalín*

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios por darme la sabiduría y el conocimiento de poder haber culminado unos de los tantos objetivos que me trace en mi vida que es mi carrera universitaria y por todos los que aún me faltan.

A mis padres Guillermo y Blanca se los debo todo sin ellos no hubiera podido gracias, por tanto, por hacer de mí una mujer que a pesar de las adversidades siempre mire hacia adelante, que un tropezón no es una caída solo es un paso más para alcanzar el éxito.

Por ultimo a la Universidad Nacional de Chimborazo, carrera de ingeniería ambiental por permitirme formarme como profesional, a cada uno de los docentes que me acompañaron en este largo camino un millón de gracias por cada uno de sus conocimientos y consejos en especial al MsC. Patricio Santillán.

***María Alejandra Jarrín Escobar***

Principalmente agradezco a Dios por darme las fuerzas necesarias para llegar a mi meta, por la sabiduría, entendimiento que me brinda en los momentos difíciles.

Agradezco a mis padres Eva y Kleber por darme la vida y la mejor herencia el estudio a pesar de estar casada, mis hermanos Alex y Joselyn por ayudarme con mis hijos y su apoyo emocional y económico y a mi querido esposo Christian por el apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y no dejarme rendir a todos ustedes un Dios le pague.

También agradezco a todas las personas quienes nos dieron apertura en sus casas para desarrollar la tesis y en especial a mi comadre y amiga Ing. Alejandra Barreto por toda la ayuda brindada, a mis suegros y mi comadre, amiga y compañera de tesis María Jarrín.

***Mónica Raquel Proaño Quisimalín***

## SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

**PM:** Material Particulado.

**PAS:** Polvo Atmosférico Sedimentable.

**PMS:** Material Particulado Sedimentable.

**PST:** Partículas Sedimentables Totales.

**PMO:** Material Particulado Orgánico.

**PMSS:** Material Particulado Sedimentable Soluble.

**PMSI:** Material Particulado Sedimentable Insoluble.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria de Ministerio del Ambiente.

**LMP:** Límites Máximos Permisibles.

**MO:** Microscopio Óptico.

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

**SIG:** Sistema de Información Geográfica.

**ECA:** Estándares de Calidad de Aire.

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental.

**µm:** micrómetro o micra.

**µg/m<sup>3</sup>:** microgramos/ metro cúbico.

**mg/cm<sup>2</sup>/mes:** miligramos/ centímetro cuadrado/ mes.

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....                                   | II   |
| DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....                               | III  |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....                                 | IV   |
| DEDICATORIA.....  | V    |
| AGRADECIMIENTO.....   | VII  |
| SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....                             | VIII |
| RESUMEN .....   | XVI  |
| ABSTRAC.....  | XVII |
| INTRODUCCIÓN.....   | 18   |
| CAPÍTULO I.....   | 20   |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                               | 20   |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN .....  | 21   |
| 1.2. OBJETIVOS .....  | 22   |
| 1.2.1. Objetivo General:.....                                     | 22   |
| 1.2.2. Objetivos Específicos:.....                                | 22   |
| CAPÍTULO II.....  | 23   |
| 2. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE.....                           | 23   |
| 2.1. Contaminación atmosférica.....                               | 23   |
| 2.2. Fuentes de Contaminación Atmosférica .....                   | 23   |
| 2.3. Principales Contaminantes Atmosféricos .....                 | 24   |
| 2.4. Material Particulado .....                                   | 25   |
| 2.5. Clases de Material Particulado.....                          | 26   |
| 2.6. Composición Química del Material Particulado .....           | 26   |
| 2.7. Los Compuestos Orgánicos del Material Particulado (PMO)..... | 27   |

|  |    |
|--|----|
| 2.8. Los Compuestos Biológicos Del Material Particulado .....                        | 27 |
| 2.9. Material Particulado Sedimentable (PMS).....                                    | 28 |
| 2.10. Actividades Económicas Relacionadas al PMS .....                               | 28 |
| 2.11. Consecuencias de la Contaminación por PMS.....                                 | 29 |
| 2.11.1. Efectos Sobre el Ambiente.....   | 29 |
| 2.11.2. Efectos Sobre la Salud .....   | 30 |
| 2.12. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes ..... | 30 |
| 2.13. Estándares de Calidad del Aire para Material Particulado.....                  | 31 |
| 2.13.1. Norma de la Calidad del Aire .....   | 31 |
| 2.13.2. Organización Mundial de la Salud (OMS) .....                                 | 32 |
| 3. METODOLOGÍA .....   | 33 |
| 3.1. Área de Estudio.....  | 33 |
| 3.2. Tipo de Estudio .....   | 34 |
| 3.3. Fase de Campo .....   | 35 |
| 3.3.1. Visita de Campo.....  | 35 |
| 3.3.2. Ubicación e Implementación de los Equipos de Medición para PMS .....          | 35 |
| 3.4. Fase de Laboratorio.....  | 36 |
| 3.4.1. Cálculo de la Concentración de PMS.....                                       | 36 |
| 3.4.2. Material Particulado Sedimentable Insoluble (PMSI).....                       | 37 |
| 3.4.3. Material Particulado Sedimentable Soluble (PMSS) .....                        | 38 |
| 3.4.4. Análisis de la Composición Química del PMSS.....                              | 39 |
| 3.5. Análisis Geoestadístico del Material Particulado Sedimentable.....              | 40 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 41 |
| 4.1. Contaminación y Análisis Descriptivo del PMS.....                               | 42 |
| 4.2. Concentración y Análisis Descriptivo del PMSS y PMSI .....                      | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3. Caracterización Morfológica del PMSI en el Sector Perímetro de las Industrial de la Ciudad de Riobamba ..... | 47 |
| 4.4. Caracterización Química del PMSS en el Sector Perímetro de las Industrias de la Ciudad de Riobamba .....     | 51 |
| 4.5. Análisis Geoestadístico de la Concentración y Dispersión del PMS .....                                       | 56 |
| CONCLUSIONES .....  | 59 |
| RECOMENDACIONES .....   | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA .....  | 62 |
| ANEXOS .....  | 67 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Parámetros Establecidos por el TULSMA .....   | 31 |
| <b>Tabla 2.</b> Parámetros Establecidos por la OMS. ....  | 32 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Estaciones de Monitoreo de PMS.</i> .....  | 42 |
| <b>Tabla 4.</b> Concentraciones del PMS en cada Punto de Monitoreo.....   | 43 |
| <b>Tabla 5.</b> Valores Utilizados para la Obtención de los Datos del PAS. ....   | 44 |
| <b>Tabla 6.</b> Comparación de Valores de PMS con el LMP establecidos por la “OMS” y el “TULSMA”. ....  | 44 |
| <b>Tabla 7.</b> Concentración Total de PMSS Y PMSI en Cada Punto de Monitoreo. ....   | 46 |
| <b>Tabla 8.</b> Valores de pH de las Muestras de PMSS. ....   | 51 |
| <b>Tabla 9.</b> Concentración del Ion de Cl <sup>-</sup> en las Muestras de PMSS. ....  | 52 |
| <b>Tabla 10.</b> Concentraciones de Iones (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) en las Muestras de PMSS..... | 54 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Área de Estudio.....   | 34 |
| <b>Figura 2:</b> Ubicación de los Puntos para el Monitoreo de PMS. ....   | 41 |
| <b>Figura 3.</b> Comparación de Valores de PMS con los LMS establecidos por la “OMS” y “TULSMA”. ....                                     | 45 |
| <b>Figura 4.</b> Concentración Total de PMSS y PMSI en Cada Punto de Monitoreo.....   | 47 |
| <b>Figura 5.</b> Filtro 1, PMSI observado a 100x .....  | 48 |
| <b>Figura 6.</b> Filtro 8, PMSI observado a 100x. ....  | 48 |
| <b>Figura 7.</b> Filtro 10, PMSI observado a 100x. ....   | 48 |
| <b>Figura 8.</b> Filtro 14, PMSI observado a 100x. ....   | 49 |
| <b>Figura 9.</b> Filtro 15, PMSI observado a 100x. ....   | 49 |
| <b>Figura 10.</b> Filtro 17, PMSI observado a 100x. ....  | 49 |
| <b>Figura 11.</b> Filtro 19, PMSI observado a 100x. ....  | 50 |
| <b>Figura 12.</b> Filtro 20, PMSI observado a 100x. ....  | 50 |
| <b>Figura 13.</b> Valores de pH de las Muestras de PMSS.....  | 52 |
| <b>Figura 14.</b> Concentración del Ion de Cl <sup>-</sup> en las Muestras de PMSS. ....  | 54 |
| <b>Figura 15.</b> Concentración de los Iones de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en las Muestras de PMSS..... | 55 |
| <b>Figura 16.</b> Concentraciones del Ion NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> en las Muestras de PMSS.....                                       | 56 |
| <b>Figura 17.</b> Mapa de Dispersión y Concentración del PMS. ....  | 58 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ecuación 1.</b> Polvo Atmosférico Sedimentable. ....  | 37 |
| <b>Ecuación 3.</b> Partícula Sedimentable Insoluble..... | 38 |
| <b>Ecuación 4.</b> Partícula Sedimentable Soluble. ....  | 39 |
| <b>Ecuación 5.</b> Cloruros .....                        | 39 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| <b>Anexo 1.</b> Análisis en el Laboratorio..... | 67 |
| <b>Anexo 2.</b> Recopilación de Datos.....      | 69 |

## RESUMEN

En el presente trabajo tiene como objetivo principal determinar y caracterizar el PMS por incidencia antrópica presentes en el sector perímetro de las industrias de la ciudad de Riobamba, destinados a analizar el nivel de contaminación atmosférica. Para ello se establecen 20 estaciones fijas de monitoreo las cuales fueron proporcionadas por el proyecto de investigación “Determinación de material particulado sedimentable generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo” de la UNACH. Este análisis se realizó mediante el método pasivo que consiste en poner cajas Petri en los 20 puntos de monitoreo durante el periodo del 19 de agosto- 20 de septiembre del 2021.

Con los resultados obtenidos del PMS durante el monitoreo se procedió a la comparación de los LMP según la OMS y el TULSMA, los cuales presentan una mayor concentración en el punto 9 con un valor de 1.10 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), superando los LMP establecidos por el TULSMA y la OMS, y en el punto 15 con un valor mínimo de 0.26 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) el cual se encuentra dentro de los LMP. Se caracterizó el PMSI en el Microscopio Óptico en el que se pudo observar la forma irregular y esférica de las partículas, en la fracción soluble se analizó el pH, iones de cloruro, sulfato, nitrito y nitrato presentes en las 20 muestras. Luego se realizó un mapa de velocidad y dirección del viento con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas (UNACH, ESPOCH y Tunshi), con una dirección Sudoeste y una velocidad promedio de 2.49 m/s.

**Palabras Claves:** Material particulado sedimentable, material particulado sedimentable soluble, material particulado sedimentable insoluble, microscopio óptico, estaciones meteorológicas.

## ABSTRAC

The present research work aims to determine and characterize the concentrations of sedimentable particulate matter existing at the industrial zone of Riobamba and its surroundings by anthropic incidence to analyze the levels of atmospheric pollution. These levels were achieved based on 20 fixed, established monitoring stations. These were provided by the research project “Determination of sedimentable particulate matter generated by anthropic activity in Riobamba and Chambo” by the UNACH. In addition, this analysis was performed using the passive gravimetric method, which establishes the placement of Petri dishes at the 20 monitoring points between August 19th and September 20th of 2021.

Using obtained PMS data during the monitoring period; a comparison was established between the LMP following the guidelines of the WHO and the TULSMA. These displayed a greater concentration at the point 9 with a value of 1.10 (mg/cm<sup>2</sup>/month), exceeding the LMP established by the Ecuadorian legislation TULSMA and the WHO, and at the point 15 with a minimum value of 0.26 (mg/cm<sup>2</sup>/month), which is between the standards of the LMP. The insoluble particulate matter was characterized using an optical microscope, the shape of the particle was identified as irregular and spherical. Meanwhile, the pH, chloride ions, sulfate, nitrite, and nitrate levels were analyzed for the soluble fraction of the 20 samples. After, a wind velocity and direction map was established using the data obtained from the meteorological stations (UNACH, ESPOCH, and Tunshi), with a direction to the southeast and an average velocity of 2.49 m/s.

**Key words:** PMS, PMSS, PMSI, MO, WHO, TULSMA, LMP and methereological stations.



Escanea el código QR para:  
MARCELA PATRICIA  
GONZÁLEZ ROBALINO

Reviewed by:  
Mgs. Marcela González Robalino  
**English Professor**  
c.c. 0603017708

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la carga mundial de enfermedades, la contaminación del aire exterior e inferior produce unos 7 millones de muertes al año. La contaminación del aire constituye actualmente uno de los más importantes problemas ambientales de las zonas urbanas en el planeta, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo; en los primeros, por un elevado volumen y variación de la producción industrial y un flujo intenso de vehículos automotores, mientras tanto que en los segundos por causa del desarrollo no planificado de las pocas industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en la producción, los servicios y el transporte, mala calidad del saneamiento básico y el incremento urbanístico desordenado (Mejia *et al.*, 2018).

La Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, donde se establecen las concentraciones máximas permitidas para los contaminantes criterio (partículas sedimentables, material particulado menor a 10 micrones, material particulado menor a 2.5 micrones, Dióxido de azufre, Monóxido de carbono, Ozono, Dióxido de nitrógeno). El objetivo principal de la Normativa es proteger la salud de las personas, calidad del aire, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Es por ello que el país cuenta con un inventario de emisiones desarrollado en las ciudades de Latacunga, Ambato, Riobamba, Santo Domingo, Ibarra, anta, Portoviejo, Esmeraldas, Rumiñahui, Loja, Azogues, Babahoyo y Quevedo, como herramienta para identificar de forma precisa los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante y consecuentemente las fuentes a las cuales deben aplicarse medidas de control prioritaria (Ministerio del Ambiente, 2020).

Esta problemática se encuentra presente en el sector Perímetro de las Industrias de la ciudad de Riobamba, cada año va aumentando considerablemente su población, debido a la ubicación industrial del sector, la misma que está provocando material particulado derivado de varios procesos.

Esta investigación radica en el análisis de las concentraciones de material particulado sedimentable (PMS), monitoreado al aire del sector, identificando los niveles máximos de contaminación, haciendo una comparación con los límites permisibles establecidos en la legislación para Calidad de Aire con la finalidad de conocer los diferentes problemas

ambientales y a la salud de los habitantes que viven aledañas a las diferentes actividades del sector. Para la determinación de la concentración del PMS, tanto soluble e insoluble, se realizará mediante uso de instrumentos de medición y caracterización para los mismos. Los datos se obtienen de las estaciones de monitoreo establecidas dentro del área de estudio, en el periodo agosto-septiembre del 2021.

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La OMS reporta que alrededor de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y alrededor de 83 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire debido al uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016, además calcula que los habitantes del planeta respiran aire con índices de contaminación peligrosos (OPS, 2016).

La mala calidad del aire se debe principalmente a las emisiones a la atmósfera de la actividad humana: por el transporte (la principal fuente emisora), la industria o los edificios, entre otros. Las diferentes partículas en suspensión provocan distintos tipos de afecciones. Las más peligrosas son el material particulado  $PM_{2.5}$  y  $NO_2$  debido a que se acumulan en el organismo. Pero en función de la edad de las personas, varía (Lacambra, 2019).

En los últimos años, se ha presentado una elevada emisión de contaminantes a la atmósfera como consecuencia en el aumento en la densidad de población y el progreso de la industria, éste último muy ligado a la combustión en procesos industriales en general y de vehículos automotores (Ortiz *et al.*, 2020).

En el sector Perímetro de las industrias de la ciudad de Riobamba se evidencia la presencia de industrias en funcionamiento en sus alrededores que emanan material particulado (PM) como son: aserraderos, bloqueras, y marmoleras, por lo que se debe llevar a cabo un estudio y evaluación de concentraciones de material particulado sedimentable (PMS), identificando si los valores se encuentran dentro de los límites permisibles según las normativas internacionales “OMS” y ecuatoriana “TULSMA”.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

La contaminación del aire es considerada como una de las problemáticas que se encuentra afectando a la salud y al ambiente a nivel mundial, siendo provocada por varias fuentes generadoras ya sean naturales o antrópicas.

La ciudad de Riobamba es considerada por sus propiedades geomorfológicas como: altitud, latitud, velocidad y dirección del viento, se vuelve un espacio propicio para esta clase de contaminación, es por ello que la presencia de material particulado procedente de diversas actividades antropogénicas tiende a moverse por grandes extensiones de terreno.

Por esta razón este proyecto se enfoca en el monitoreo de material particulado sedimentable ya que en la actualidad no existen estudios acerca de esta problemática, para ello se procedió a instalar 20 estaciones fijas distribuidas en el sector perímetro de las industrias durante un periodo de 30 días, este análisis permitirá cuantificar los datos de concentración, caracterizar el material particulado soluble e insoluble y realizar un mapa de concentración y dispersión, con lo que se determinara si las industrias presentes en el área perjudica o no de manera directa la calidad de aire del sector de estudio.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General:**

- Determinar y caracterizar el material particulado sedimentable, por incidencia industrial, sector perímetro de las industrias de la ciudad de Riobamba.

### **1.2.2. Objetivos Específicos:**

- Determinar la concentración de material particulado sedimentable en el área de estudio.
- Caracterizar el material particulado sedimentable soluble e insoluble recolectado por cada estación de monitoreo.
- Elaborar un mapa de dispersión y concentración de material particulado sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1. Contaminación atmosférica**

Los desastres naturales y las actividades antrópicas causan la dispersión de contaminantes atmosféricos que dañan la calidad del aire. El cambio de la materia y las necesidades energéticas de las personas, genera la ruptura del equilibrio del aire, una mezcla de gases (nitrógeno, oxígeno, gases inertes, dióxido de carbono, metano e hidrógeno), forman la atmósfera terrestre siendo esta fundamental para la existencia de la vida en el planeta. Los resultados negativos de la deficiente calidad del aire sobre la salud humana son conocidos desde hace tiempo y se indaga cada vez más por ser una de las preguntas claves de salud pública (Lara & Santillán, 2018).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud OMS, la contaminación del aire significa un peligro medioambiental para la salud. Son constantes sus recomendaciones e informes alertando del incumplimiento de los valores límite de protección a la salud de contaminantes atmosféricos en el aire que respiramos (Querol, 2018).

#### **2.2. Fuentes de Contaminación Atmosférica**

Cada una de las actividades del ser humano, el metabolismo de la materia viva y los fenómenos naturales que son causados en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos al propagarse en el aire se incorporan en los diferentes ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en nuestro planeta. Se catalogan como principales fuentes de contaminación del aire a las: naturales y antropogénicas (Martínez & LLuveras, 2019).

De acuerdo con (Martínez & LLuveras, 2019), entre las fuentes naturales se encuentran: Emisiones volcánicas, incendios forestales, aerosol marino, descomposición de la materia orgánica en pantanos y suelos, polvos ocasionados por la acción del viento y el polen. Así mismo dentro de las fuentes antropogénicas o debidas a las actividades humanas se encuentran:

- Procesos de combustión.

- Generación de energía.
- Emisiones de vehículos.
- Procesos de calentamiento y tueste.
- Minas, canteras e industria de materiales de la construcción.
- Procesos metalúrgicos.
- Procesos químicos.
- Extracción de combustibles.
- Centrales nucleares y procesos asociados.

### **2.3. Principales Contaminantes Atmosféricos**

Entre las sustancias que son consideradas como los principales contaminantes atmosféricos tenemos a las partículas, el ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre (Villacrés & Andrés, 2015).

#### **a) Partículas (PM)**

Las partículas en función de su tamaño pueden ingresar al organismo por medio de las vías respiratorias y alojarse en los pulmones. En caso de existir una exposición intensa, la presencia de las partículas en el organismo puede ocasionar el desarrollo de enfermedades cardíacas y respiratorias como el cáncer de pulmón (Villacrés & Andrés, 2015).

#### **b) Ozono (O<sub>3</sub>)**

Esta sustancia se considera contaminante cuando se encuentra a nivel del suelo, en contacto con los seres vivos, puesto que forma parte de la niebla tóxica presentes en grandes ciudades, no debe confundirse con el ozono presente en la capa de ozono en la estratósfera (Villacrés & Andrés, 2015).

Este se forma de la reacción entre la luz solar con óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles que provienen de emisiones de la industria y vehículos respectivamente. Sus concentraciones máximas permitidas según la OMS son  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 8 h. Esta sustancia tiene un sinnúmero de efectos en el sistema respiratorio, originando varias enfermedades pulmonares, una de las más frecuentes es el asma (Villacrés & Andrés, 2015).

**c) Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

Es un contaminante atmosférico que se presenta en altas concentraciones por periodos cortos, se encuentra en estado gaseoso y puede provocar inflamaciones respiratorias. Sus concentraciones máximas permisibles son 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media anual y 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 1 hora. En cuanto a la salud provoca la disminución de la función pulmonar y puede provocar enfermedades como la bronquitis en niños asmáticos (Villacrés & Andrés, 2015).

**d) Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un gas incoloro con un olor bastante penetrante que proviene de la combustión de combustibles fósiles que en su composición contiene azufre, que generalmente son empleados para calefacción, electricidad y motor de autos. La exposición de las personas provoca alteraciones en sus funciones respiratorias. Según la OMS no deben excederse de los siguientes valores: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  media en 24 h y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de media en 10 min (Villacrés & Andrés, 2015).

## **2.4. Material Particulado**

El material particulado (PM por sus siglas en inglés) es un contaminante criterio, es una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas, en estado sólido o líquidas que contribuyen a la contaminación y afectación de la calidad de aire, este es categorizado como PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, el cual hace referencia a tamaños por debajo de 2.5 y de 10  $\mu\text{m}$  respectivamente. Las partículas PM<sub>2.5</sub> son respirables, razón por la cual son aquellas de mayor asociación en datos de morbilidad y mortalidad, sin embargo, algunos estudios han demostrado que son aquellas partículas inferiores a un tamaño de 1  $\mu\text{m}$  las que causan respuestas tóxicas como irritación e inflamación alveolar. Siendo consideradas de tal manera las menores a 10  $\mu\text{m}$  las de mayor importancia debido a las afectaciones que conlleva para la salud humana, puesto que al ser inhaladas ingresan por las vías respiratorias llegando a los pulmones depositándose en las paredes alveolares. Para caracterizar el tamaño de las partículas se emplea el diámetro aerodinámico equivalente o el diámetro de difusión, el cual corresponde al diámetro de las partículas esféricas con densidad unitaria que tiene igual velocidad de caída que la partícula analizada (Tarazona Rincón, 2018).

El PM se clasifica en partículas finas y gruesas, con tamaños inferiores y mayores a 2.5  $\mu\text{m}$  respectivamente. En cuanto a las partículas finas se encuentran: nitratos, sulfatos, carbonatos orgánicos, amonio y plomo, mientras que para las partículas de características gruesas las conforman: los óxidos de silicio, hollín, aluminio, entre otros. En cuanto a la concentración de las distintas especies, estas dependen de las fuentes u origen que las emiten. Para el caso de combustión de aserrín de madera y virutas en calderas industriales, los niveles de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  son cercanos a 98%, 67% y 47% de las emisiones totales, respectivamente. Para la medición de concentración y tamaño de material particulado se suelen emplear distintos métodos entre los cuales se destacan los isocinéticos en la extracción de gases. Lo cual significa que la velocidad y dirección con que son captados los gases son iguales a las que poseen en el punto donde se realiza la medición. Asegurando de este modo que las concentraciones de partículas en las muestras son representativas (Tarazona Rincón, 2018).

## **2.5. Clases de Material Particulado**

Todas aquellas partículas sólidas o líquidas menores a 100 micras de diámetro y suspendidas en la atmósfera, se les denomina aerosoles. Estas pueden ser generadas por eventos naturales como tormentas de arena o erupciones volcánicas, o emitidas por actividades antropogénicas, alcanzando niveles que afectan tanto al clima como a la salud humana (Vivar & Arizábala, 2014).

El PM se clasifican en función de su diámetro aerodinámico de sus partículas en:  $\text{PM}_{10}$  (diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$ ) y  $\text{PM}_{2.5}$  (Diámetro inferiores a 2.5  $\mu\text{m}$ ). Estas últimas suponen mayor peligro pues al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases (Vivar & Arizábala, 2014).

Según (Vivar & Arizábala, 2014), las partículas se clasifican en base a su diámetro, en:

1. Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 $\mu\text{m}$ .
2. Inhalables o respirables ( $\text{PM}_{10}$ ), cuyo diámetro es menor a 10  $\mu\text{m}$ .
3. Finas, con diámetro menor a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ).
4. Ultra fina, cuyo diámetro es menor a 1  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_1$ ).

## **2.6. Composición Química del Material Particulado**

El PM afecta a más personas que cualquier otro contaminante y sus principales componentes son los sulfatos, los nitritos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua. El PM consiste en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire (Vivar & Arizábala, 2014).

El PM es el único contaminante atmosférico que no tiene composición química específica, pues depende de la fuente emisora, sus componentes principales son: polvo, hollín, plomo, sulfatos e hidrocarburos. Las fuentes principales son las calles de tierra, los vehículos, los procesos industriales y la calefacción de residencias. Aproximadamente un 40% del PM está constituido por partículas de tamaño inferior a 10  $\mu\text{m}$ , las cuales alrededor de un 71% son emitidas por los motores diésel. En las grandes ciudades el PM contienen una fracción soluble en agua, como sulfatos, nitratos, cloruros, sales de amonio y una fracción insoluble que contiene minerales derivados del suelo, carbón, gases adsorbidos, plomo, dioxinas, HAPs, etc (Vivar & Arizábala, 2014).

## **2.7. Los Compuestos Orgánicos del Material Particulado (PMO)**

Los compuestos orgánicos de material particulado (PMO) se deben a causas naturales como provocadas por el hombre, siendo la mayoría derivadas de procesos de combustión. Entre las naturales se pueden nombrar: erupciones volcánicas, incendios forestales, degradación de la materia orgánica, etc. Las antropogénicas a su vez pueden clasificarse principalmente en emisiones personales como: escapes de carros, estufas u domicilios residenciales particulares y comerciales, humos de cigarrillos; así como emisiones industriales, como: fundiciones, plantas de energía (Vivar & Arizábala, 2014).

## **2.8. Los Compuestos Biológicos Del Material Particulado**

La mayoría de los estudios de contaminación atmosférica se refieren a las partículas y sus características físicas y químicas; son escasos y poco concluyentes los estudios sobre material microbiológico. Si bien no hay antecedentes que afirmen la existencia de microorganismos asociados a las enfermedades respiratorias, tampoco existen estudios que lo niegue. Los contaminantes atmosféricos de la etapa respirable son de tamaño entre  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , adecuado al rango de tamaño microbiano, abriendo la posibilidad de encontrar diversos

microorganismos asociados al microbiota, los cuales pueden relacionarse, con enfermedades respiratorias ya sea por su agente causal o favorecer la infectividad del patógeno actuando en conjunto. La cantidad de los microorganismos dispersos en el aire se pueden relacionar a diversos factores como circulación turbulenta, vehículos, viento, temperatura, disponibilidad de agua, cantidad de polvo suspendido, etc. Se resalta que los agentes contaminantes atmosféricos (NO, CO, hidrocarburos) tienen la posibilidad de tener un impacto protector para los microorganismos, dependiendo de la especie. El tiempo que permanecen los microorganismos en el aire dependen de la forma, tamaño, peso y de la existencia y potencia de las corrientes aéreas que los sostengan y los eleven. La inhalación continua de partículas contaminantes, incrementa la susceptibilidad a las infecciones respiratorias principalmente a las ciudades contaminadas con derivados de hidrocarburos los que incrementan los niveles de dificultad de las infecciones respiratorias (Vivar & Arizábala, 2014).

## **2.9. Material Particulado Sedimentable (PMS)**

También llamado 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 específico. Se expresa como masa de material sólido (mg), depositado en una unidad de área ( $m^2$ ) durante una unidad de tiempo (días) (Cortés, 2015).

En este sentido las partículas sedimentables están compuestas por sustancias solubles e insolubles. En conjunto contiene gran cantidad de elementos metálicos y compuestos orgánicos, en áreas contaminadas la fracción soluble recogida es rica en sulfatos y la solución es ácida (Livia & Beteta, 2020).

Las partículas atmosféricas sedimentables (PAS), posee una estructura química diversa, considerando algunos constituyentes como nutrientes, además los metales pesados son considerados contaminantes tóxicos potenciales. Entre los componentes químicos más característicos de las partículas sedimentables son las sustancias inorgánicas (sílice, sulfatos, cloruros, nitrato, hierro, calcio, aluminio, plomo, cinc, etc.), los componentes orgánicos son básicamente sustancias que proceden de la combustión incompleta del carbón o derivados del petróleo (Livia & Beteta, 2020).

## **2.10. Actividades Económicas Relacionadas al PMS**

Un elemento a destacar sobre el PMS son las emisiones a la atmosfera tienen la posibilidad de tener contaminantes peligrosos como metales. Si bien el grado de contaminantes podría ser mínimo y hallarse en los LMP, si dichos se encuentra en regiones de elevado grado de PMS, podrían acumularse a través del tiempo. En estas situaciones, será vital incluir estudios de PMS y de contaminantes que podrían acumularse a largo plazo y llegar a las personas a través de la resuspensión de estos materiales (Carranza *et al.*, 2021).

## **2.11. Consecuencias de la Contaminación por PMS**

Las consecuencias en la salud son diferentes y muy variables, las partículas más finas son más peligrosas, por poseer mayor capacidad de penetración en las vías respiratorias, la población vulnerable (niños e individuos con trastornos respiratorios) es la más perjudicada. Además, las consecuencias al ambiente por PM a través de la sedimentación en el suelo o agua, según su composición química puede provocar acidificación de los arroyos y agua, también pueden dañar diferentes tipos de materiales u objetos de ámbito cultural. Por otro lado, las consecuencias económicas se hacen cada vez más evidentes, se relaciona con los costos asociados al mercado (gastos en salud, disminución de la productividad laboral y de los rendimientos agrícolas) y con costos no asociados con el mercado (perjuicios al sector inmobiliario, muerte prematura e incapacidad por enfermedad) (Carranza *et al.*, 2021).

### **2.11.1. Efectos Sobre el Ambiente**

Según el (EPA, 2021), el viento puede trasladar las partículas a través de largas distancias y después, estas tienen la posibilidad de instalarse en el suelo o el agua. Según la composición química, los efectos de esta sedimentación pueden provocar:

- Que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos.
- Cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales.
- Reducción de los nutrientes del suelo.
- Daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas.
- Efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas.
- Contribución a los efectos de la lluvia ácida.

### 2.11.2. Efectos Sobre la Salud

Dentro del PM los más peligrosos para la salud son el  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , debido a que penetran directamente en los pulmones provocando graves afecciones respiratorias. Pero el PMS también tiene su efecto negativo, tal como indica el estudio realizado por el Centro Municipal de Higiene y Epidemiología de la Habana, en donde revelan que las altas concentraciones de PMS tienen una estrecha relación con la mayor tendencia al desarrollo de IRA (Infecciones Respiratorias Agudas), además de ello pueden provocar alergias u otras afecciones menores. La manera que las partículas entran al organismo es mediante la velocidad del aire que se debe a la respiración y que da lugar al impacto de estas en las fosas nasales, en donde se unen a las secreciones nasales alojándose principalmente en la región nasofaríngea (Villacrés & Andrés, 2015).

Según el (EPA, 2021), el riesgo de las partículas pueden causar daños a los pulmones como al corazón. Varios estudios relacionaron la exposición a la contaminación por partículas a diferentes problemas tales como:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.
- Infartos de miocardio no mortales.
- Latidos irregulares
- Asma agravada.
- Función pulmonar reducida.
- Al contacto con los ojos de las personas provocar conjuntivitis.
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos, o dificultad para respirar.

### 2.12. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes

Los factores meteorológicos son: Velocidad del viento, Dirección del viento, Temperatura y Precipitación.

- **Velocidad del viento:** Es importante ya que diluye y dispersa precipitadamente los contaminantes en la zona circundante (Gallo & Paredes, 2019).
- **Dirección del viento:** La propagación de los contaminantes es atribuida a la dirección del viento cuando permanece constante, la zona va a estar constantemente expuesta a

niveles subjetivamente elevados de contaminación. Cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán esparcidos sobre una zona más grande y las concentraciones son respectivamente mínimas (Gallo & Paredes, 2019).

- **Temperatura:** Al ser la temperatura de la emisión mayor que la del medio se dispersa con más facilidad (Gallo & Paredes, 2019).
- **Las precipitaciones:** Ocasionan un efecto de lavado, esto favorece a la propagación y ayuda a disminuir la concentración de partículas procedentes de actividades antropogénicas (Gallo & Paredes, 2019).

### 2.13. Estándares de Calidad del Aire para Material Particulado

Los estándares de calidad del aire (ECA) son valores que no presentan peligro a la salud ni al ambiente, el término de valor guía de la calidad del aire realizado por la (OMS) se refiere al valor de la concentración de los contaminantes en el aire por debajo del cual la exposición no representa un peligro a la salud de la población (Guevara & Pérez, 2017).

#### 2.13.1. Norma de la Calidad del Aire

En el Ecuador la normativa ambiental existente indica los límites permisibles en el aire para diferentes contaminantes durante un determinado tiempo, cabe señalar que el PMS es el contaminante a conocer en este estudio; la normativa ambiental vigente en nuestro país es el TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA), emitida por medio del Registro Oficial Suplementario 2 del 31 de marzo de 2003, última modificación 14 de agosto de 2012; en este texto encontraremos que la normativa ambiental está dividida en varios libros, sin embargo el Libro VI anexo 4 está designado a la calidad del aire ambiente; los valores máximos permisibles de concentración de PM presentes en el aire están en la **Tabla 1** (Bermeo & Almeida, 2016).

**Tabla 1.** *Parámetros Establecidos por el TULSMA*

| Contaminante           | Tiempo de Exposición | Máxima Concentración Permitida |
|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| <b>PM<sub>10</sub></b> | 1 año                | 50 µg/m <sup>3</sup>           |
|                        | 24 horas             | 150 µg/m <sup>3</sup>          |

|                               |          |                           |
|-------------------------------|----------|---------------------------|
| <b>PM<sub>2.5</sub></b>       | 1 año    | 15 µg/m <sup>3</sup>      |
|                               | 24 horas | 65 µg/m <sup>3</sup>      |
| <b>Partícula Sedimentable</b> | 30 días  | 1 mg/cm <sup>2</sup> /mes |

Fuente: (Gallo & Paredes, 2019).

### 2.13.2. Organización Mundial de la Salud (OMS)

El 98% de las ciudades de países de ingresos bajos y medios no cumplen con los niveles seguros de calidad del aire de la OMS, en los países de ingresos altos, el porcentaje es del 56% (ISGlobal, 2018).

Las Normativas se usan internacionalmente y se fundamenta en la evaluación, fueron realizadas por profesionales expertos en el tema, de las pruebas científicas actuales concernientes a: Partículas (PM), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (Gallo & Paredes, 2019). Los límites máximos permisibles (LMP) de concentración de PM presentes en el aire se muestran en la siguiente **Tabla 2**:

**Tabla 2.** *Parámetros Establecidos por la OMS.*

| <b>Contaminante</b>           | <b>Tiempo de exposición</b> | <b>Máxima concentración permitida</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 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>                  |
| <b>Partícula Sedimentable</b> | 30 días                     | 0.5 mg/cm <sup>2</sup> /mes           |

Fuente: (Gallo & Paredes, 2019).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

En la metodología se explica el desarrollo del análisis en campo, el cual está relacionado con el uso de equipos para el monitoreo de PMS. Se instalaron 20 puntos de muestreo los mismos que son georreferenciados mediante el sistema de información geográfica (SIG). Con las muestras obtenidas se determinó el PMS; así como el material particulado soluble e insoluble, además se realizó la caracterización morfológica de la fracción insoluble para conocer la forma de la partícula. Con los resultados obtenidos se genera un mapa de concentración y dispersión de PMS.

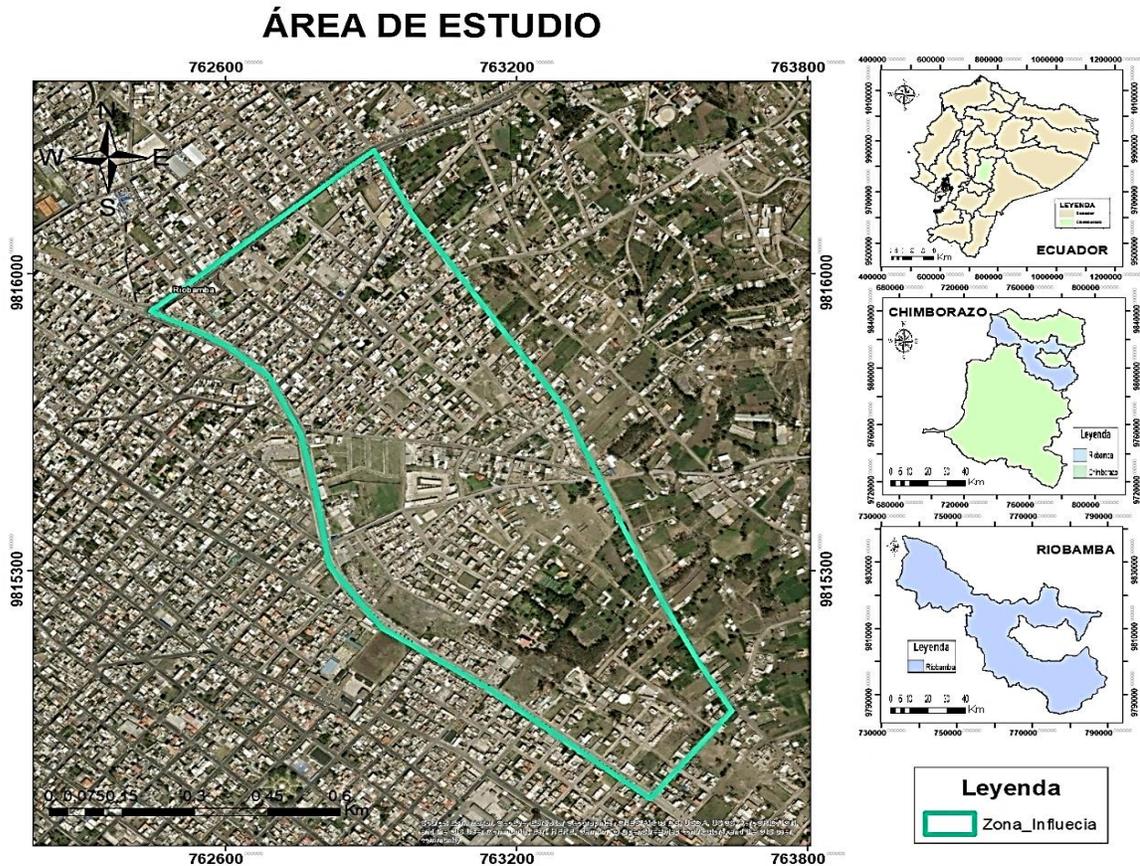
#### 3.1. Área de Estudio

Se escogió el sector de análisis con el objetivo de conocer si la existencia de industrias, como: bloqueras, aserraderos y marmoleras existentes en torno al sitio, poseen o no predominación en la contaminación atmosférica del sector Barrio Perímetro de las Industrias y sus alrededores por medio de sus emisiones.

El área de estudio pertenece a la parroquia urbana Maldonado, ubicado en el sector norte este de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo, como se puede observar en la **Figura 1**. Se encuentra en la región sierra centro del Ecuador a 2850 msnm y posee un clima generalmente frío por la zona donde se encuentra ubicado.

Según el (INAMHI, 2014), las características del área son las siguientes:

- La temperatura ambiente media registrada durante todo el año de 13.4 °C.
- La humedad relativa en la zona es de 63.1%.
- La velocidad del viento es de 2.1 m/s.
- Precipitación atmosférica de 564.5 mm.
- Geográficamente se encuentra en las coordenadas: (Latitud: 1°29'0" S, Longitud: 78°39'0" W).



**Figura 1. Área de Estudio.**

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

### 3.2. Tipo de Estudio

Para el análisis de esta investigación empleamos varios tipos de estudio:

- **Transversal:** Porque se trata de una investigación que se realizó en un tiempo predeterminado (Ortiz *et al.*, 2020)
- **Experimental:** Ya que es una indagación cuantitativa en donde se hace muestreos, monitoreos y estudios de laboratorio, para decidir los niveles de concentración de PMS que existe en el sector Perímetro de las Industrias de la ciudad de Riobamba (Ortiz *et al.*, 2020).
- **De Campo:** Ya que se ejecuta recorridos por los diferentes puntos de monitoreo en los que se instalan en el sector, en el que se recopila datos y muestras para hacer el estudio (Ortiz *et al.*, 2020).

- **Exploratorio:** Por medio de esta investigación se dará a conocer la concentración de PMS que existe en el sector (Ortiz *et al.*, 2020).

### **3.3. Fase de Campo**

#### **3.3.1. Visita de Campo**

Se efectuó una visita de campo al polígono de estudio, ubicado en el sector Perímetro de las Industrias y sus alrededores, para seleccionar los puntos de control con la ayuda de un GPS 60 csx de alta precisión de marca GARMIN, con la finalidad de obtener las coordenadas de las principales actividades económicas que se hallan en la zona de estudio y para su posterior análisis.

#### **3.3.2. Ubicación e Implementación de los Equipos de Medición para PMS**

El monitoreo de PMS se realizó mediante el método pasivo gravimétrico, el mismo que se llevó a cabo en un mes, para ello se utilizó estaciones fijas ubicadas en puntos previamente seleccionados. En el área de trabajo se instaló 20 equipos de muestreo tomando en consideración; el tipo de emisiones y fuentes de emisión; factores topográficos y meteorológicos; la velocidad y dirección del viento, los puntos de mayor vulnerabilidad por aglomeración de personas tales como: la presencia de escuelas, parques centrales, centros de salud, industrias, bloqueras, aserraderos, marmoleras y tráfico vehicular, con la finalidad de cubrir todo el estudio (Marcos & Valderrama, 2012).

Para la selección de los puntos de monitoreo nos ayudamos con el software del sistema de información geográfica (SIG), para ello se realizó una grilla con una equidistancia de 100 x 100 metros en cada cuadrante, se obtuvo un aproximado de 54 puntos. Para que los puntos sean válidos se evaluaron en función de las características que debe cumplir un sitio de muestreo, pudiendo así ser descartados o modificados algunos de ellos, posteriormente se realizó un recorrido al área de estudio donde se determinó que algunos puntos debían ser descartados debido a la falta de acceso por la emergencia sanitaria y siendo un total de 20 puntos finales distribuidos aleatoriamente en el interior del polígono de estudio (González *et al.*, 2021).

Las estaciones fijas fueron proporcionadas por el Proyecto de Investigación “Determinación de material particulado sedimentable generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo” de la UNACH, cabe resaltar que el número de estaciones

fijas que se utilizó está condicionado por el número de estaciones que actualmente posee el proyecto.

En la implementación de cada equipo de muestreo debe estar situado en un área de exposición libre de obstáculos significativos o cercanos a fuentes de contaminación, ya que estos pueden provocar alteraciones en los resultados que se desea obtener, de tal manera que la muestra pueda ser recolectada por efecto de la gravedad (Marcos & Valderrama, 2012).

Los equipos de monitoreo utilizados en la investigación consiste en un trípode y una plataforma en el interior que ayuda como un soporte a la placa receptora de PMS y una campana, estos equipos son utilizados para medir material particulado sedimentable (Livia & Beteta, 2020).

En el caso del criterio para la ubicación de los equipos se toma en cuenta; la altura de la toma de la muestra sobre el piso (2 a 15 m), la distancia del equipo con las edificaciones debe ser mínimo, la distancia a las carreteras/caminos debe ser de (2 a 10 m) del borde a la línea de tráfico, la distancia del árbol más cercano debe ser ( $> 20$  m), fácil acceso para visitas regulares de inspección y libre de vandalismo (Arciniégas, 2012).

### **3.4. Fase de Laboratorio**

#### **3.4.1. Cálculo de la Concentración de PMS**

Según el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, hace referencia que un muestreo debe llevarse a cabo durante un mes de forma continua, para obtener una muestra representativa, siendo así que la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por un mes ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 1 \text{ mes}$ ), si el resultado obtenido sobrepasa lo establecido en la normativa indicada, esto refleja que existe presencia de contaminación a causa de material particulado sedimentable (MAE, 2017).

Una vez realizado el muestreo respectivo, los papeles filtros fueron llevados a la estufa a  $50^\circ\text{C}$  durante mínimo 24 horas, esto es necesario para eliminar la presencia de humedad que es adquirida durante el proceso de recolección de la muestra (Santillán *et al.*, 2016), posteriormente el papel filtro será pesado en la balanza analítica SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0.0001 g.

Según (Marcos & Valderrama, 2012) para el cálculo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{\hat{A}rea} * 1mes$$

**Ecuación 1.** *Polvo Atmosférico Sedimentable.*

**Dónde:**

**PAS:** Polvo Atmosférico Sedimentable.

**Pi (Peso inicial):** Papel pesado después de salir del laboratorio.

**Pf (Peso final):** Papel pesado después de estar expuesto al periodo de monitoreo.

Para el cálculo del área del papel, se emplea la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 2.** *Área del Papel*

**A:** Área

**Π:** Pi

**r<sup>2</sup>:** Radio al cuadrado

### 3.2.2. Material Particulado Sedimentable Insoluble (PMSI)

La PMSI se determinó por la diferencia de peso ganado por un filtro. La muestra obtenida durante el monitoreo, una vez secado y tarado se coloca en un embudo Büchner para un filtrado al vacío para separar y determinar la concentración de PMSS e PMSI, para este proceso se usó 100 mL de agua destilada. Luego acabado el filtrado, se colocó el papel filtro en un vidrio reloj para llevarlo a la estufa a 105 °C por una hora. Después pasado ese tiempo se llevó al desecador por media hora y se realizó su respectivo pesado. Para finalizar se repitió este proceso con las 20 muestras obtenidas hasta tener un peso constante y para asegurar que el filtro este totalmente libre de humedad (Livia & Beteta, 2020).

Para determinar la concentración de la PSI de la muestra, se emplea la siguiente ecuación:

$$PSI = P_{final} - P_{inicial}$$

**Ecuación 2.** *Partícula Sedimentable Insoluble.*

**Dónde:**

**PSI:** Partícula sedimentable insoluble.

**P (final):** Peso del filtro más muestra.

**P (inicial):** Peso inicial del filtro.

### 3.4.2. Caracterización Morfológica del PMSI

Trasladamos las muestras al laboratorio de microscopia el PMSI, colocadas en cada uno de los papeles filtros con la ayuda de un pincel, es puesto sobre un cubre objetos limpios de impurezas (percatándonos que la muestra observar sea representativa del material), esto se lo realiza para los 20 papeles filtros. Para concluir las muestras preparadas están listas para el análisis en el MO, a una resolución de 100x y así poder obtener una imagen clara donde se pueda apreciar la forma de las micro partículas (Santillán *et al.*, 2016).

### 3.4.3. Material Particulado Sedimentable Soluble (PMSS)

Se determinó mediante la diferencia de peso ganado en una cápsula de porcelana previamente secada la cual se pesó en la misma balanza que los filtros para determinar su tara. Dónde se colocó una alícuota de 50 mL que tomamos para cada una de las 20 muestras y las cuales fueron llevadas a la estufa por doce horas a 55 °C hasta su total evaporación, posteriormente se llevó al desecador durante media hora. Transcurrido este tiempo se vuelve a pesar. Con los resultados obtenidos del peso de la PMSS y teniendo en cuenta el volumen de agua del filtrado y la alícuota tomada para realizar este análisis se pudo determinar el PMSS. Finalmente, el volumen restante de la muestra de la fracción soluble se guardó para posteriores análisis (Livia & Beteta, 2020).

Para determinar la concentración de la PMSS de la muestra, se emplea la siguiente ecuación:

$$PSS = (C_{final} - C_{inicial}) * (VT/Va)$$

### Ecuación 3. Partícula Sedimentable Soluble.

**Dónde:**

**PSS:** Partícula soluble total.

**C (final):** Peso de la cápsula más la muestra.

**C (inicial):** Peso inicial de la cápsula tarada.

**VT:** Volumen total del líquido.

**Va:** Volumen de la alícuota tomada.

#### 3.4.4. Análisis de la Composición Química del PMSS

Del sobrante que se guardó de la muestra de la fracción soluble, se procedió al análisis del parámetro del pH, y de los iones de: cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) con la finalidad de saber el grado de concentración de estos en el PMS, los mismos que si sobrepasan los valores establecidos causan daño a la salud y el ambiente. Para medir el pH se usó un pH-metro de la marca Mettler Toledo y modelo Seven Compact, para determinar la acidez o alcalinidad presente en la muestra. En la determinación de los cloruros, se realizaron mediante el método de titulación para ello se tomó 5 mL de muestra de la fracción soluble en un Erlenmeyer, se añade 2 gotas de cromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_2$ ) como indicador y se agita, posteriormente se deja caer lentamente la solución de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) desde la bureta hasta que cambie su color y se procede a su lectura (Rosales *et al.*, 2013).

Para determinar los  $\text{Cl}^-$  se emplea la siguiente ecuación:

$$mg \frac{\text{Cl}^-}{L} = \frac{[(A-B)*N*35,45*1000]}{mL \text{ de muestra}}$$

**Ecuación 4. Cloruros**

**Dónde:**

**A:** mL de nitrato de plata gastado en la muestra.

**B:** mL de nitrato de plata gastados en el blanco.

**N:** normalidad del nitrato de plata.

Los sulfatos, nitratos y nitritos se determinaron mediante el método de fotometría UV con la ayuda del equipo espectrofotómetro UV-visible de la marca Hach y modelo DR5000, en donde se utilizó los reactivos y se colocó en las celdas con 10 mL de la muestra de la fracción restante soluble, luego se agitó y se dejó reposar durante 5 min la mezcla de los sulfatos al igual que la de los nitratos, mientras que para los nitritos se deja reposar durante 20 min para poder determinar sus respectivas concentraciones.

### **3.5. Análisis Geoestadístico del Material Particulado Sedimentable**

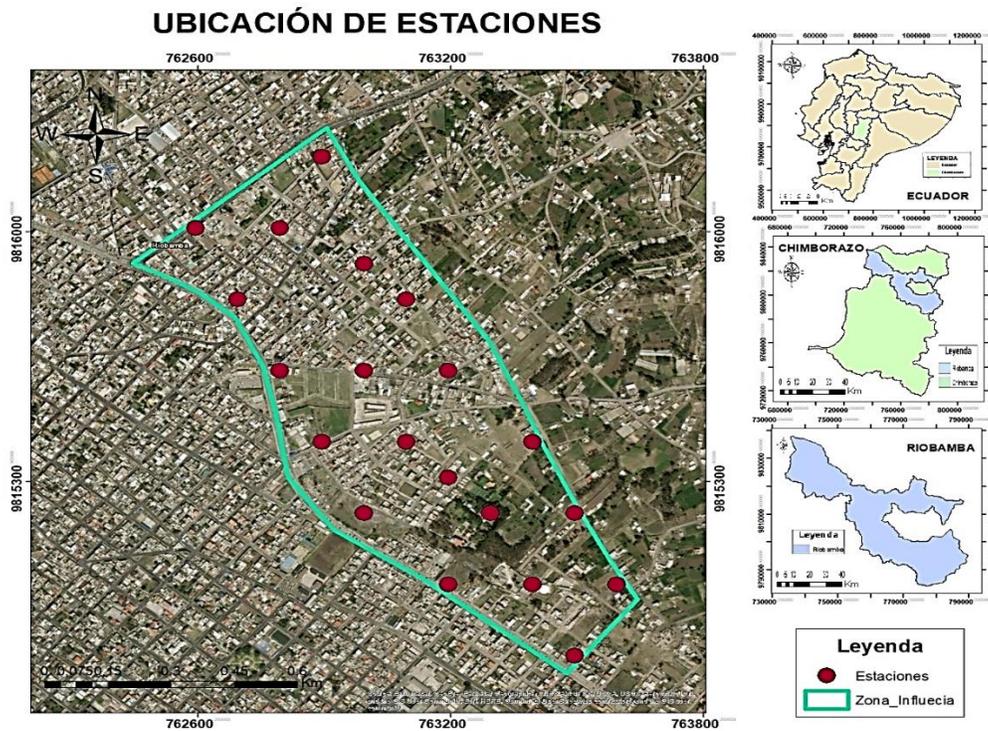
El análisis geo estadístico de dispersión de PMS se lo realizó en el software de sistema de información geográfica (SIG), utilizando la interpolación geo estadístico KRIGING con los datos recolectados de las estaciones fijas de monitoreo, mediante los datos de velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio como la Universidad Nacional De Chimborazo (UNACH), Escuela Superior De Chimborazo (ESPOCH) y la de Tunshi, de los meses comprendidos de Agosto-Septiembre del 2021, nos permitirá tener una dispersión acertada de las concentraciones de PMS (Andi *et al.*, 2019).

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la selección de los puntos de muestreo, nos ayudamos del software del sistema de información geográfica (SIG), donde se realizó una grilla con una equidistancia de 100 x 100 metros en cada cuadrante, de esta manera obtuvimos los 20 puntos de muestreo descritos en la **Figura 2**, obteniendo los siguientes resultados:

Para la concentración del PMS se colocaron las estaciones fijas para su respectivo monitoreo, mismas que se encuentran ubicadas de manera aleatoria en las coordenadas descritas en la **Tabla 3**, en función de las características que se debe cumplir en un sitio de muestreo, considerando las fuentes de emisión más cercanas, bloqueras, aserraderos, marmoleras, centros de salud, parques, etc.), luego con las muestras se procedió al análisis de la composición físico-química del PMS, la morfología del PMSI, el mapeo de la concentración y dispersión del PMS, y la discusión de los resultados reflejados en relación de las industrias locales.



**Figura 2:** Ubicación de los Puntos para el Monitoreo de PMS.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

**Tabla 3. Estaciones de Monitoreo de PMS.**

| Estaciones de Monitoreo | Ubicación geográfica (UTM) |          | Ubicación Referencial               |
|-------------------------|----------------------------|----------|-------------------------------------|
|                         | Latitud                    | Longitud |                                     |
| 1                       | 762588                     | 9816022  | Alfonso Chávez y Antena             |
| 2                       | 762889                     | 9816214  | Alfonso Chávez y Rivera             |
| 3                       | 762790                     | 9816009  | Mariana de Jesús y Opinión          |
| 4                       | 762691                     | 9815814  | Espectador y Patria libre           |
| 5                       | 762998                     | 9815916  | Monseñor Andrade y el Espectador    |
| 6                       | 762783                     | 9815612  | Rocha y El sufragio                 |
| 7                       | 762992                     | 9815619  | Clarín y Arequipa                   |
| 8                       | 763091                     | 9815810  | Trujillo y El país                  |
| 9                       | 763190                     | 9815612  | Córdova y Arequipa                  |
| 10                      | 762892                     | 9815410  | Potosí y Villarrica                 |
| 11                      | 763091                     | 9815404  | Valencia y Pasaje 3                 |
| 12                      | 763011                     | 9815248  | Mendoza y Valencia                  |
| 13                      | 763190                     | 9815311  | Oruro y Valencia                    |
| 14                      | 763392                     | 9815410  | Puebla y Villa rica                 |
| 15                      | 763289                     | 9815212  | Araujo y Potosí                     |
| 16                      | 763160                     | 9815040  | Patria libre y Longitudinal         |
| 17                      | 763494                     | 9815212  | Alberto Bonilla y Araujo Chiriboga  |
| 18                      | 763392                     | 9815013  | Alberto Bonilla y Pasaje O          |
| 19                      | 763610                     | 9814993  | Rivera y Juan Caballero             |
| 20                      | 763491                     | 9814812  | Juan caballero y Av. Circunvalación |

Fuente: *Las Autoras, 2021.*

#### 4.1. Concentración y Análisis Descriptivo del PMS.

Una vez culminado el monitoreo de PMS en los 20 puntos de muestreo en el periodo establecido del “19 de agosto al 20 de septiembre del 2021”, se tiene los datos correspondientes de peso para cada punto de monitoreo como se describe en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Concentraciones del PMS en cada Punto de Monitoreo.

| Estaciones de Monitoreo | Ubicación geográfica (UTM) |          | Peso inicial del papel (mg) | Peso final del papel (mg) | PMS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) |
|-------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                         | Latitud                    | Longitud |                             |                           |                               |
| 1                       | 762588                     | 9816022  | 440.40                      | 468.90                    | 0.54                          |
| 2                       | 762889                     | 9816214  | 440.20                      | 459.50                    | 0.37                          |
| 3                       | 762790                     | 9816009  | 440.30                      | 455.50                    | 0.29                          |
| 4                       | 762691                     | 9815814  | 439.10                      | 463.10                    | 0.45                          |
| 5                       | 762998                     | 9815916  | 439.90                      | 457.80                    | 0.34                          |
| 6                       | 762783                     | 9815612  | 440.50                      | 467.90                    | 0.52                          |
| 7                       | 762992                     | 9815619  | 440.30                      | 469.30                    | 0.55                          |
| 8                       | 763091                     | 9815810  | 439.90                      | 469.80                    | 0.57                          |
| 9                       | 763190                     | 9815612  | 438.20                      | 496.50                    | 1.10                          |
| 10                      | 762892                     | 9815410  | 439.30                      | 458.80                    | 0.37                          |
| 11                      | 763091                     | 9815404  | 439.70                      | 470.30                    | 0.58                          |
| 12                      | 763011                     | 9815248  | 438.30                      | 463.50                    | 0.48                          |
| 13                      | 763190                     | 9815311  | 443.20                      | 463.30                    | 0.38                          |
| 14                      | 763392                     | 9815410  | 438.40                      | 456.20                    | 0.34                          |
| 15                      | 763289                     | 9815212  | 440.90                      | 454.80                    | 0.26                          |
| 16                      | 763160                     | 9815040  | 439.50                      | 455.60                    | 0.31                          |
| 17                      | 763494                     | 9815212  | 438.10                      | 490.20                    | 0.99                          |
| 18                      | 763392                     | 9815013  | 429.90                      | 469.30                    | 0.75                          |
| 19                      | 763610                     | 9814993  | 437.60                      | 468.70                    | 0.59                          |
| 20                      | 763491                     | 9814812  | 438.30                      | 459.30                    | 0.40                          |

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

Para saber la concentración de PMS, se determinó el área del papel filtro como se observa en la **Tabla 5**. Este dato sirvió para realizar el cálculo de PMS obtenido en las 20 estaciones de monitoreo.

**Tabla 5.** Valores Utilizados para la Obtención de los Datos del PAS.

| Radio del papel filtro | Área del papel filtro (cm <sup>2</sup> ) |
|------------------------|--|
| 4.2                    | 52.78                                    |

*Fuente: Las Autoras, 2021.*

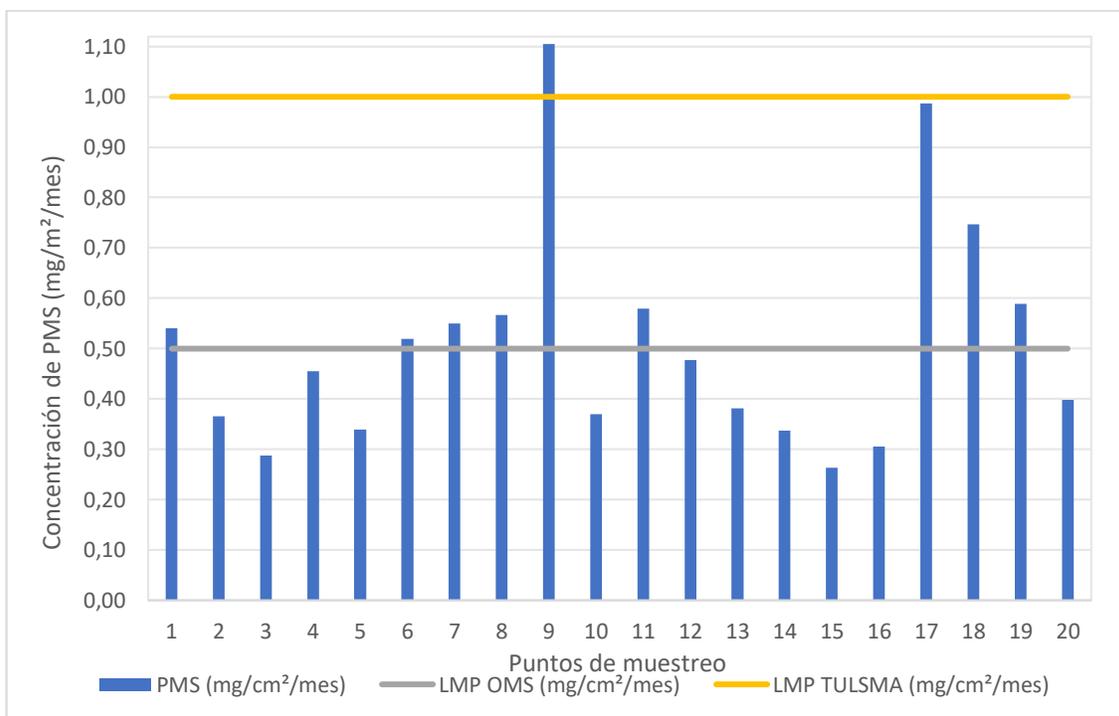
En la **Tabla 6** y **Figura 3**, se describen los valores del PMS de las 20 estaciones durante el periodo (19 de agosto al 20 de septiembre del 2021), con los límites máximos permisibles establecidos por la “OMS” y el “TULSMA” respectivamente. Los mismos que fueron comparados con los resultados de la concentración de PMS obtenidos en el área de estudio. En el cual la concentración más alta se registró en el punto 9 con un valor de (1.10 mg/cm<sup>2</sup>/mes) ubicado en las calles Córdova y Arequipa, mientras tanto la concentración más baja se registró en el punto 15 con un valor de (0.26 mg/cm<sup>2</sup>/mes) ubicado en las calles Araujo y Potosí.

**Tabla 6.** Comparación de Valores de PMS con el LMP establecidos por la “OMS” y el “TULSMA”.

| Muestra | PMS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) | LMP “OMS”               | Permisible | LMP “TULSMA”            | Permisible |
|---------|-------------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| 1       | 0.54                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 2       | 0.37                          |                         | SI         |                         | NO         |
| 3       | 0.29                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 4       | 0.45                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 5       | 0.34                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 6       | 0.52                          |                         | SI         |                         | NO         |
| 7       | 0.55                          |                         | SI         |                         | NO         |
| 8       | 0.57                          | 0.5                     | SI         | 1                       | NO         |
| 9       | 1.10                          | mg/cm <sup>2</sup> /mes | SI         | mg/cm <sup>2</sup> /mes | SI         |
| 10      | 0.37                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 11      | 0.58                          |                         | SI         |                         | NO         |
| 12      | 0.48                          |                         | NO         |                         | NO         |
| 13      | 0.38                          |                         | NO         |                         | NO         |

|           |      |    |    |
|-----------|------|----|----|
| <b>14</b> | 0.34 | NO | NO |
| <b>15</b> | 0.26 | NO | NO |
| <b>16</b> | 0.31 | NO | NO |
| <b>17</b> | 0.99 | SI | NO |
| <b>18</b> | 0.75 | SI | NO |
| <b>19</b> | 0.59 | SI | NO |
| <b>20</b> | 0.40 | NO | NO |

**Fuente:** Las Autoras, 2021.



**Figura 3.** Comparación de Valores de PMS con los LMS establecidos por la “OMS” y “TULSMA”.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

Existen 9 puntos que superan los LMP, siendo los puntos 1, 6, 7, 8, 11, 17, 18, 19 aquellos que sobrepasan el límite permisible de 0.5 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) que nos indica la “OMS”; pero no sobrepasan el límite permisible de 1 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) establecido en el “TULSMA”; en el caso del punto 9 sobrepasa el límite permisible establecido por el “TULSMA”.

#### 4.2. Concentración y Análisis Descriptivo del PMSS y PMSI

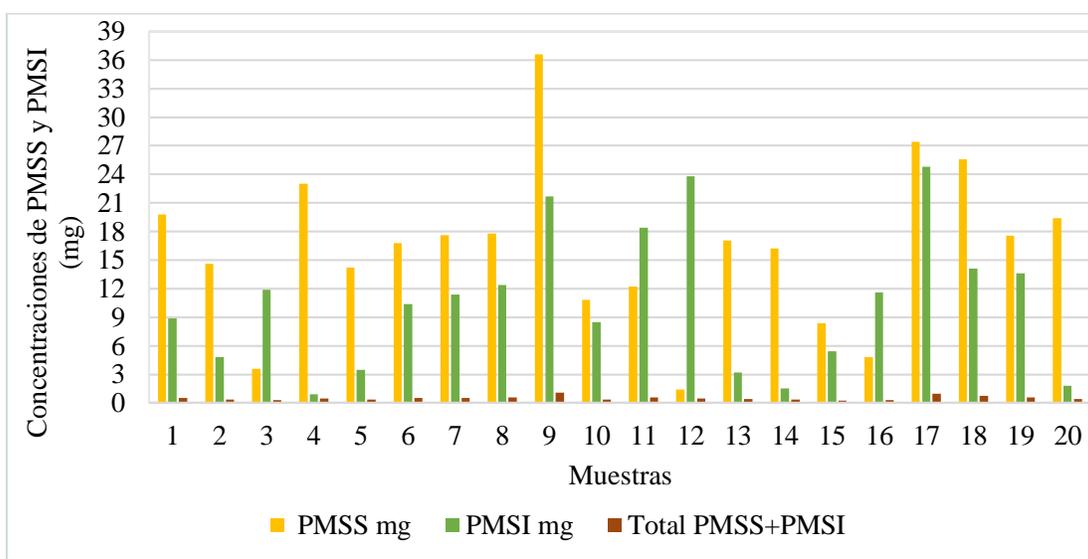
Se analizaron los resultados del monitoreo de las 20 muestras y se pudo determinar el PAS, clasificados como solubles e insolubles lo cual se presenta en la **Tabla 7 y Figura 4**, la mayor concentración de PMSS es en el punto 9 en las calles Córdoba y Arequipa con un valor de (36.6 mg); con menor concentración en el punto 12 en las calles Mendoza y Venezuela con un valor de (1.4 mg); mientras que la mayor concentración del PMSI es en el punto 17 en las calles Alberto Bonilla y Araujo Chiriboga con un valor de (24.8 mg); y una menor concentración en el punto 4 en las calles Araujo y Potosí con un valor de (0.9 mg). El resultado obtenido refleja que se tiene una mayor concentración de PMSS en las muestras con un porcentaje de 61%, mientras que el PMSI posee un valor de 39%.

**Tabla 7.** Concentración Total de PMSS Y PMSI en Cada Punto de Monitoreo.

| <b>Muestras</b> | <b>PMSS<br/>(mg)</b> | <b>PMSI<br/>(mg)</b> | <b>Total<br/>(PMSS+PMSI)<br/>/área*1 mes<br/>(mg/cm<sup>2</sup>/mes)</b> |
|-----------------|----------------------|----------------------|--|
| <b>1</b>        | 19.80                | 8.90                 | 0.54   |
| <b>2</b>        | 14.60                | 4.80                 | 0.37   |
| <b>3</b>        | 3.60                 | 11.90                | 0.29   |
| <b>4</b>        | 23                   | 0.90                 | 0.45   |
| <b>5</b>        | 14.20                | 3.50                 | 0.34   |
| <b>6</b>        | 16.80                | 10.40                | 0.52   |
| <b>7</b>        | 17.60                | 11.40                | 0.55   |
| <b>8</b>        | 17.80                | 12.40                | 0.57   |
| <b>9</b>        | 36.60                | 21.70                | 1.10   |
| <b>10</b>       | 10.80                | 8.50                 | 0.37   |
| <b>11</b>       | 12.20                | 18.40                | 0.58   |
| <b>12</b>       | 1.40                 | 23.80                | 0.48   |
| <b>13</b>       | 17.60                | 3.20                 | 0.38   |
| <b>14</b>       | 16.20                | 1.50                 | 0.34   |
| <b>15</b>       | 8.40                 | 5.40                 | 0.26   |

|              |       |       |      |
|--------------|-------|-------|------|
| <b>16</b>    | 4.80  | 11.60 | 0.31 |
| <b>17</b>    | 27.40 | 24.80 | 0.99 |
| <b>18</b>    | 25.60 | 14.10 | 0.75 |
| <b>19</b>    | 17.58 | 13.60 | 0.59 |
| <b>20</b>    | 19.40 | 1.80  | 0.40 |
| <b>Total</b> | 331   | 213   |      |
| <b>%</b>     | 61    | 39    |      |

**Fuente:** Las Autoras, 2021.



**Figura 4.** Concentración Total de PMSS y PMSI en Cada Punto de Monitoreo.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

### 4.3. Caracterización Morfológica del PMSI en el Sector Perímetro de las Industrial de la Ciudad de Riobamba

Las 20 muestras obtenidas de PMSI fueron analizadas morfológicamente con el uso del Microscopio Óptico (MO), en el cual se tomaron imágenes a una resolución de 100x en la muestra, de esta manera poder identificar el tamaño y la forma del PMSI.

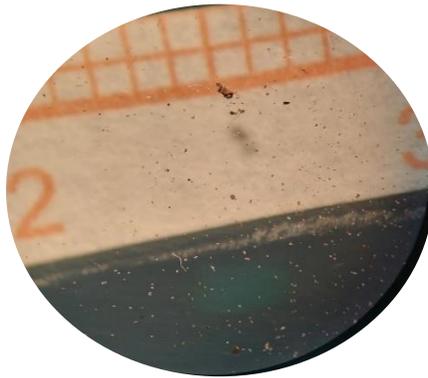
#### Imágenes Obtenidas del Microscópico Óptico (MO)

**Papel Filtro 1**



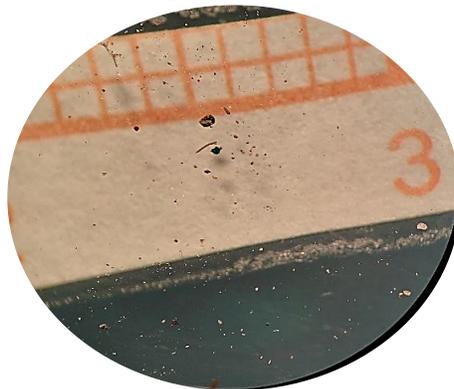
**Figura 5.** *Filtro 1, PMSI observado a 100x*

**Papel Filtro 8**



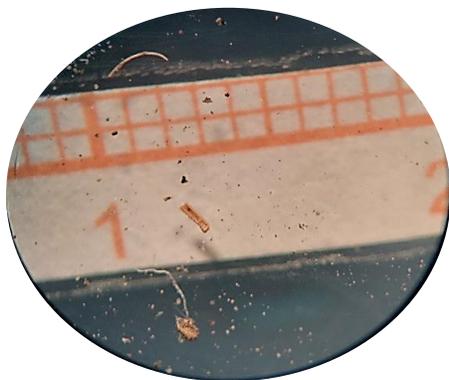
**Figura 6.** *Filtro 8, PMSI observado a 100x.*

**Papel Filtro 10**



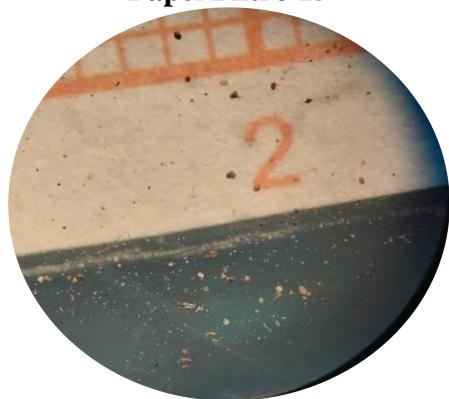
**Figura 7.** *Filtro 10, PMSI observado a 100x.*

**Papel Filtro 14**



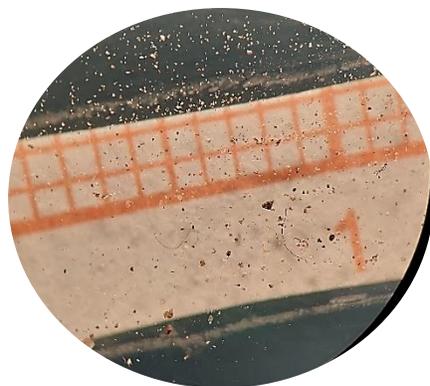
**Figura 8.** *Filtro 14, PMSI observado a 100x.*

**Papel Filtro 15**



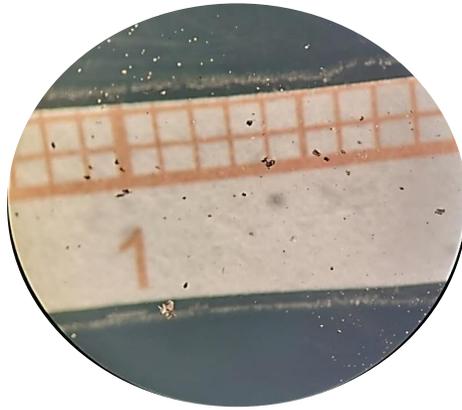
**Figura 9.** *Filtro 15, PMSI observado a 100x.*

**Papel Filtro 17**



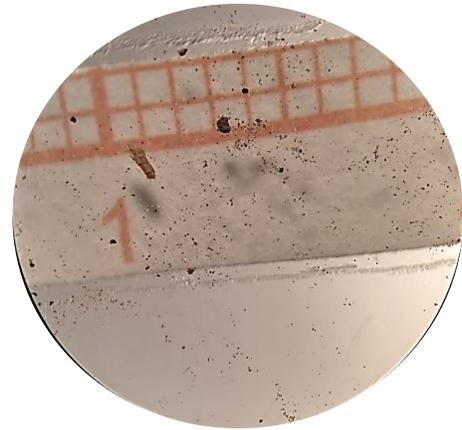
**Figura 10.** *Filtro 17, PMSI observado a 100x.*

**Papel Filtro 19**



**Figura 11.** *Filtro 19, PMSI observado a 100x.*

### **Papel Filtro 20**



**Figura 12.** *Filtro 20, PMSI observado a 100x.*

Se observa en cada imagen obtenida del MO la distribución granulométrica de la forma de las partículas almacenadas en los filtros, donde se aprecian dos clases de PMSI, estas clases son: Partículas orgánicas (madera) que se observa con mayor claridad en las imágenes identificadas a una resolución de 100x, donde existen partículas de forma irregular y esférica en las muestras, y partículas minerales (polvo) que se presentó en grupos de granos porosos e irregulares.

Las diferentes actividades antrópicas, el mal estado de las vías, construcción de viviendas y el tráfico vehicular presentes en el sector son la fuente principal de emisiones de PMS, además que a corto o largo plazo van a traer consecuencias a la salud y ambiente en el sector de estudio.

#### 4.4. Caracterización Química del PMSS en el Sector Perímetro de las Industrias de la Ciudad de Riobamba

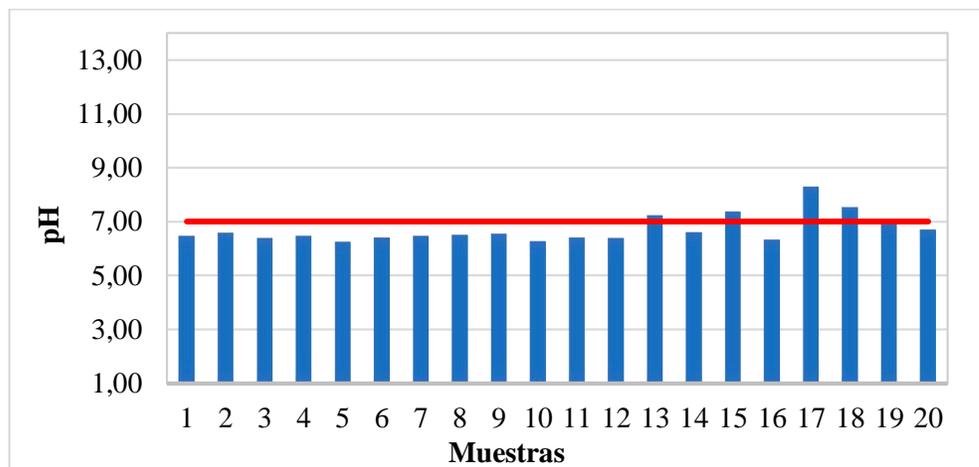
Para la determinación de la composición química del PMSS se analizó el pH, iones de cloruros, sulfatos, nitratos y nitritos; se procedió a la medición del parámetro fisicoquímico del pH, con la finalidad de saber el grado de acidez o alcalinidad de las muestras como se observa en la **Tabla 8 y Figura 13**; en intervalos de 0 a 7 es un pH ácido, 7 es neutro y de 7 a 14 es base o alcalino. Las muestras obtenidas de los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 19, 20 tiene un pH <7 considerándose ligeramente ácido, las muestras 13, 15, 17, 18 tienen un pH >7 son bases o alcalinas (Vázquez & Rojas, 2016). Según (Livia & Beteta, 2020), se indica que el material soluble es ligeramente ácido por el aporte que se genera en las fuentes locales y por el transporte de los contaminantes, mientras que los >7 o ligeramente alcalinos no se encuentran generados por actividades antropogénicas o que existe la suficiente capacidad de taponamiento para que no ocurra la acidificación.

**Tabla 8.** *Valores de pH de las Muestras de PMSS.*

| Muestra | pH   |
|---------|------|
| 1       | 6.46 |
| 2       | 6.59 |
| 3       | 6.38 |
| 4       | 6.47 |
| 5       | 6.25 |
| 6       | 6.41 |
| 7       | 6.47 |
| 8       | 6.50 |
| 9       | 6.54 |
| 10      | 6.26 |
| 11      | 6.40 |
| 12      | 6.38 |
| 13      | 7.24 |
| 14      | 6.60 |

|           |      |
|-----------|------|
| <b>15</b> | 7.38 |
| <b>16</b> | 6.32 |
| <b>17</b> | 8.29 |
| <b>18</b> | 7.52 |
| <b>19</b> | 6.89 |
| <b>20</b> | 6.70 |

**Fuente:** Las Autoras, 2021.



**Figura 13.** Valores de pH de las Muestras de PMSS.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

En la **Tabla 9 y Figura 14**, se muestran las concentraciones del ion  $\text{Cl}^-$  del PMSS presente en los 20 puntos de muestreo analizados, expresados en mg/L (ppm). La concentración más alta se obtuvo en el punto 11 en las calles Valencia y Pasaje 3, y en el punto 13 en las calles Oruro y Valencia con un valor de (28.36 mg/L); mientras donde se registró menor concentración fue en el punto 3 en las calles Mariana de Jesús y Opinión, y en el punto 7 en las calles Clarín y Arequipa con un valor de (7.09 mg/L) respectivamente. De acuerdo con (Livia & Beteta, 2020), indica que los vehículos ha diésel emiten mayor cantidad de partículas que los vehículos de gasolina como el ion  $\text{Cl}^-$ .

**Tabla 9.** Concentración del Ion de  $\text{Cl}^-$  en las Muestras de PMSS.

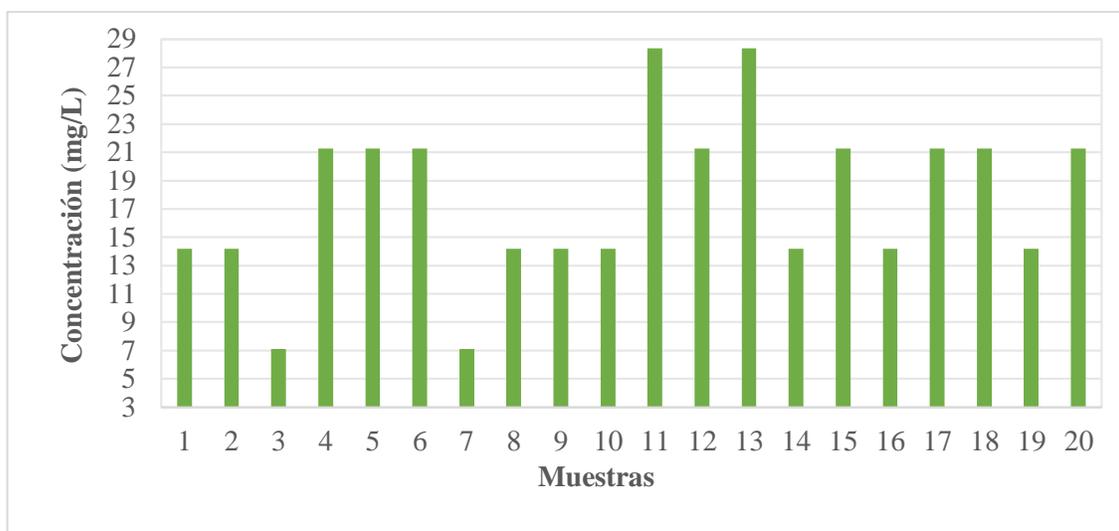
---

**C L O R U R O S**

---

| <b>Muestra</b> | <b>AgNO<sub>3</sub> mL</b> | <b>Blanco</b> | <b>Cl<sup>-</sup> mg/L</b> |
|----------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| <b>1</b>       | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>2</b>       | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>3</b>       | 0.2                        |               | 7.09                       |
| <b>4</b>       | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>5</b>       | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>6</b>       | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>7</b>       | 0.2                        |               | 7.09                       |
| <b>8</b>       | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>9</b>       | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>10</b>      | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>11</b>      | 0.5                        |               | 28.36                      |
| <b>12</b>      | 0.4                        | 0.1           | 21.27                      |
| <b>13</b>      | 0.5                        |               | 28.36                      |
| <b>14</b>      | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>15</b>      | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>16</b>      | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>17</b>      | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>18</b>      | 0.4                        |               | 21.27                      |
| <b>19</b>      | 0.3                        |               | 14.18                      |
| <b>20</b>      | 0.4                        |               | 21.27                      |

**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*



**Figura 14.** Concentración del Ion de Cl<sup>-</sup> en las Muestras de PMSS.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

En la **Tabla 10**, se muestran las concentraciones de los iones  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  del PMSS presentes en los 20 puntos de muestreo analizados, expresados en mg/L (ppm). Siendo la concentración del ion  $\text{SO}_4^{2-}$  más alta que se dio en el punto 14 en las calles Puebla y Villarrica con un valor de (11 mg/L), y donde se registró menor concentración es en el punto 15 en las calles Araujo y Potosí con un valor de (0 mg/L). Según (Livia & Beteta, 2020), la presencia de ion  $\text{SO}_4^{2-}$  indica que se debería al tráfico vehicular, típicas de la zonas urbanas.

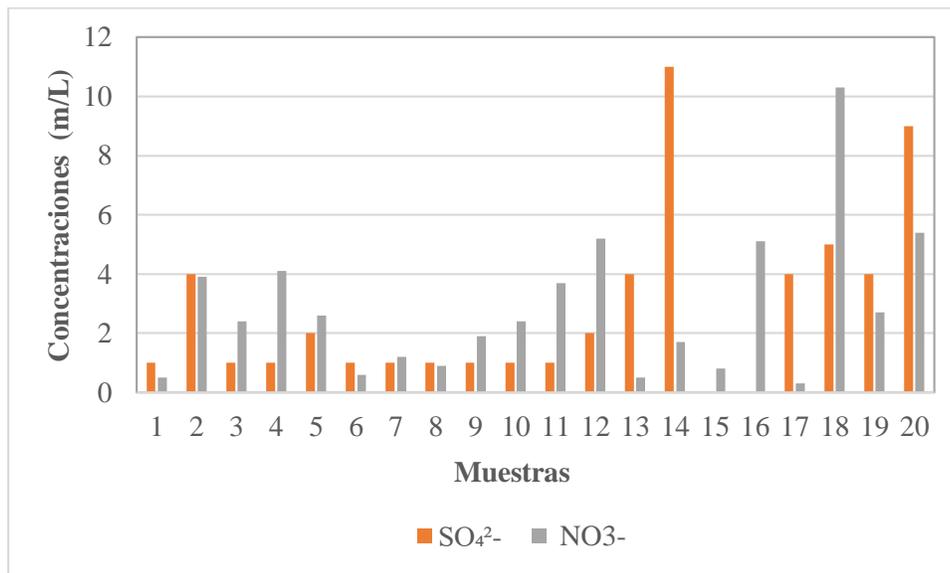
La concentración de ion  $\text{NO}_3^-$  más alta se dio en el punto 18 en las calles Alberto Bonilla y Pasaje O con un valor de (10.3 mg/L), y donde se registró menor concentración es en el punto 17 en las calles Alberto Bonilla y Araujo Chiriboga con un valor de (0.3 mg/L). En la **Figura 15**, se observan las concentraciones de los iones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  de cada una de las muestras del PMSS respectivamente.

**Tabla 10.** Concentraciones de Iones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) en las Muestras de PMSS.

| Muestras | $\text{SO}_4^{2-}$ mg/L | $\text{NO}_3^-$ mg/L | $\text{NO}_2^-$ mg/L |
|----------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 1        | 1                       | 0.5                  | 0.006                |
| 2        | 4                       | 3.9                  | 0,019                |
| 3        | 1                       | 2.4                  | 0.011                |
| 4        | 1                       | 4.1                  | 0.029                |

|           |    |      |       |
|-----------|----|------|-------|
| <b>5</b>  | 2  | 2.6  | 0.007 |
| <b>6</b>  | 1  | 0.6  | 0.017 |
| <b>7</b>  | 1  | 1.2  | 0.013 |
| <b>8</b>  | 1  | 0.9  | 0.017 |
| <b>9</b>  | 1  | 1.9  | 0.02  |
| <b>10</b> | 1  | 2.4  | 0     |
| <b>11</b> | 1  | 3.7  | 0.022 |
| <b>12</b> | 2  | 5.2  | 0.014 |
| <b>13</b> | 4  | 0.5  | 0.013 |
| <b>14</b> | 11 | 1.7  | 0.014 |
| <b>15</b> | 0  | 0.8  | 0.011 |
| <b>16</b> | 1  | 5.1  | 0.016 |
| <b>17</b> | 4  | 0.3  | 0.04  |
| <b>18</b> | 5  | 10.3 | 0.014 |
| <b>19</b> | 4  | 2.7  | 0.013 |
| <b>20</b> | 9  | 5.4  | 0.012 |

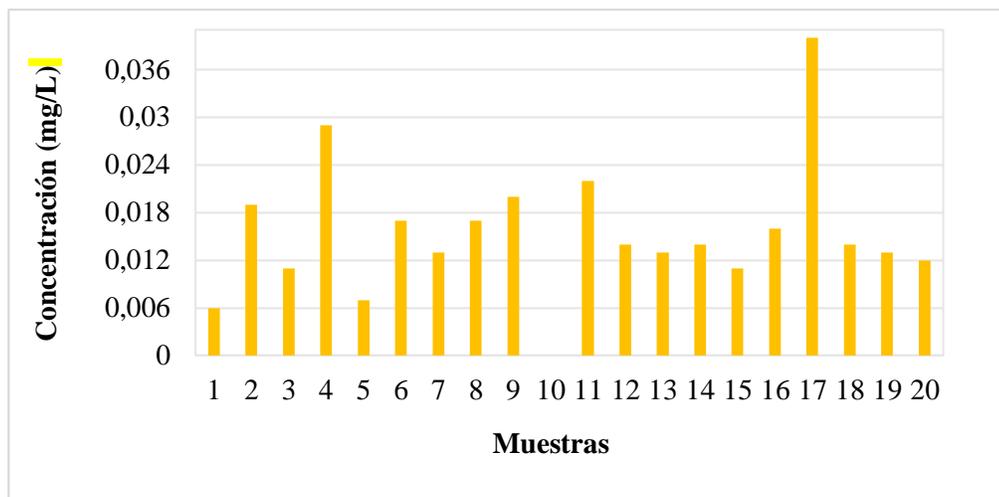
**Fuente:** Las Autoras, 2021



**Figura 15.** Concentración de los Iones de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las Muestras de PMSS.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

La concentración del ion  $\text{NO}_2^-$  más alta en el punto 17 en las calles Alberto Bonilla y Araujo Chiriboga con un valor de (0.04 mg/L), y donde se registró menor concentración es en el punto 10 en las calles Potosí y Villarrica con un valor de (0 mg/L). En la **Figura 16**, se observan las concentraciones de ion  $\text{NO}_2^-$  en cada una de las muestras del PMSS.



**Figura 16.** Concentraciones del Ion  $\text{NO}_2^-$  en las Muestras de PMSS.

**Fuente:** Las Autoras, 2021.

#### 4.5. Análisis Geoestadístico de la Concentración y Dispersión del PMS

Finalmente se realizó un mapa de concentración y dispersión de PMS durante el periodo de agosto-septiembre del 2021, para ello se utilizaron dos variables: siendo así latitud y longitud; mientras que los datos de la velocidad y dirección se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), y la de Tunshi. Además, la dirección del viento fue muy variable en el transcurso del día alcanzando direcciones Sudeste, Noreste y Sudoeste, y la velocidad del viento tiene un promedio de 2.49 (m/s), lo que nos indica el desplazamiento del PMS.

En la **Figura 17**, se indica la concentración y dispersión de PMS, en este análisis comprobamos que los puntos 9 y 17 son los que poseen una mayor concentración de PMS con valores de 1.10 y 0.99 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) respectivamente, esto se debe a la presencia de calles en mal estado y sin asfalto, de igual manera ocurre en el punto 17 el mismo que se debería a que la dirección era en sentido sudoeste con una velocidad promedio de 2.49 (m/s),

por lo cual ayudan al transporte del PMS a partir de la fuente de generación que es la industria hasta el punto de monitoreo, mientras tanto los puntos 1, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 18, 19 se encuentran con una concentración media y los puntos 2, 3, 5, 10, 13, 14, 15, 16 y 20 son los que poseen una menor concentración de PMS.

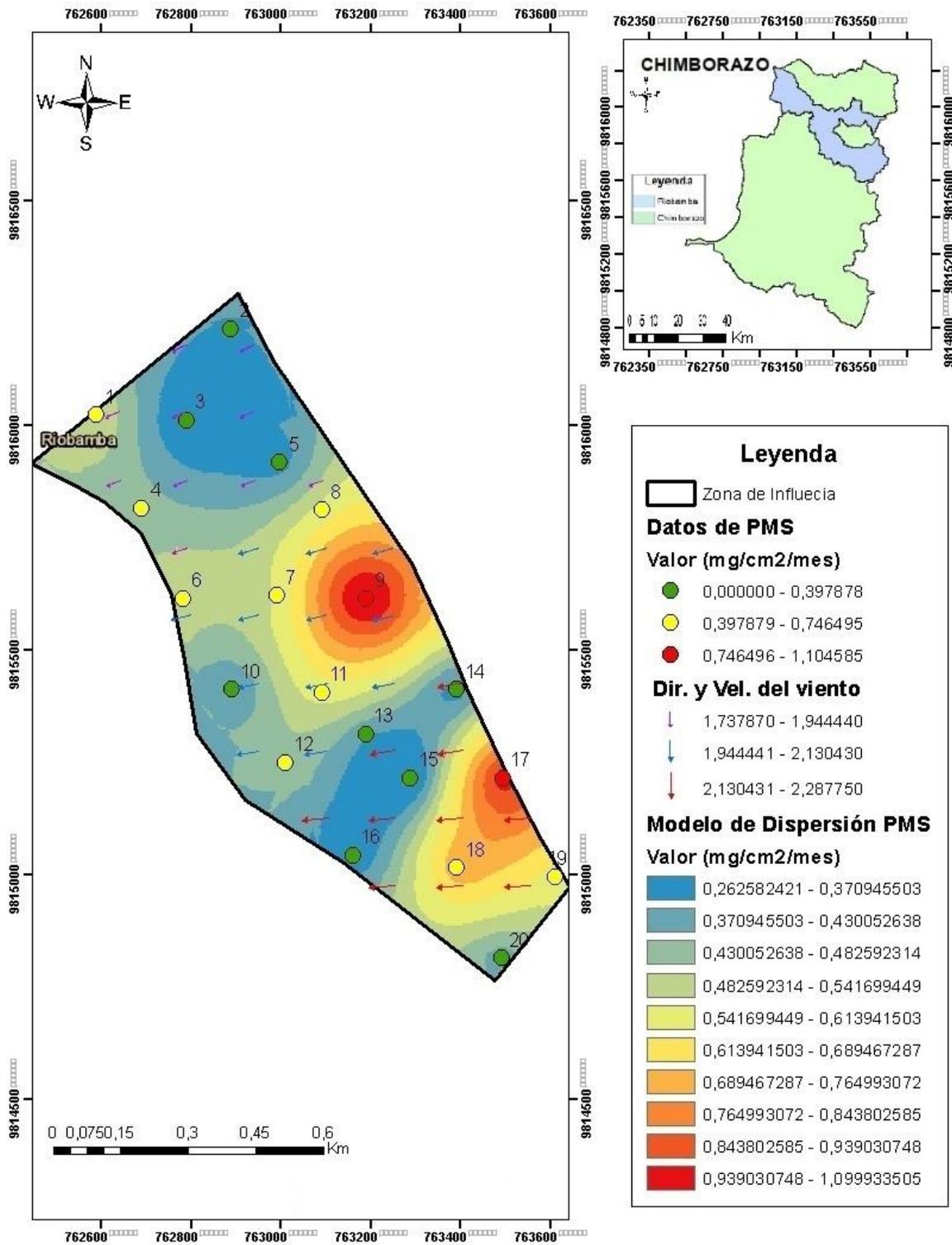


Figura 17. Mapa de Dispersión y Concentración del PMS.

Fuente: Las Autoras, 2021.

## CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos del monitoreo en el sector Perímetro de las Industrias, se pudo evidenciar que, dentro de los 20 puntos de muestreo, en 9 excede la concentración de PMS establecido por la OMS y TULSMA, en los puntos 1, 6, 7, 8, 11, 17, 18, 19 con valores de 0.54, 0.52, 0.55, 0.58, 0.99, 0.75, 0.59 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) respectivamente sobrepasa los LMP de acuerdo con la OMS, mientras que en el punto 9 con un valor de 1.10 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) sobrepasa los LMP de acuerdo al TULSMA. Es por este motivo que se evidenció la presencia de material particulado sedimentable en el sector de estudio, indicando que los resultados obtenidos en el muestreo son generados por la presencia de actividades como: aserraderos, bloqueras, marmoleras, de igual manera por las calles sin asfaltar, tráfico vehicular y construcción de viviendas en el sector que provocan el levantamiento constante de polvo a la atmósfera.

Los valores resultantes de la concentración de PMSS y PMSI reflejan que hubo un mayor porcentaje de material particulado soluble presentes en las muestras con un valor de 61%, mientras que el 39% corresponde al material particulado insoluble.

Se determinó que el pH presento valores que fluctúan entre 6.46 y 8.29. Las concentraciones medias de Cl<sup>-</sup> presentan valores que van desde 7.09 a 28.36 mg/L, las concentraciones medias del ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> fluctúan entre 0 a 11 mg/L. Las concentraciones medias del ion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> fluctúan entre 0.3 a 10.3 mg/L, y las concentraciones medias del ion NO<sub>2</sub><sup>-</sup> fluctúan entre 0 a 0.04 mg/L, reflejando estos resultados las concentraciones químicas de los compuestos encontrados en el PMS estudiado, recalando que no se ha realizado una comparación de LMP (límites máximos permisibles) debido a que en la normativa ambiental vigente no existe esta información de estos compuestos en cuanto a material particulado.

El Microscopio óptico, nos proporcionó una morfología de partículas de formas irregulares: resultado de esto se obtuvo partículas provenientes de la madera y de polvo la cual se observa en cada una de las muestras del PMSI presentes en el sector, podemos decir que las concentraciones de estas partículas causan de manera directa e indirecta daños en la salud de los moradores y al ambiente del sector.

Mediante el análisis geoestadístico se ha logrado establecer la conducta del PMS dentro del sector perímetro de las industrias de la ciudad de Riobamba, en donde se evidencio una mayor concentración en los puntos 9 y 17 debido a la mayor cantidad de industrias presentes, mientras que en los demás puntos las concentraciones son menores, debido a que la dirección del viento se encontraba en sentido Sudoeste, con una velocidad del viento promedio de 2.49 m/s que ayuda de manera directa a la dispersión del contaminante hacia la zona de estudio.

## **RECOMENDACIONES**

Es necesario que se realice un monitoreo periódicamente, ya que nuestro estudio refleja que a medida que aumenta la población hay mayor posibilidad de contaminación del aire mediante el PMS relacionado a las actividades industriales del sector.

Se recomienda que en este sector se debe tener más control por parte del GAD Municipal del cantón Riobamba, ya que las calles de algunos barrios se encuentran en muy mal estado por falta de asfalto y esto perjudica de manera directa a la ciudadanía, por lo cual se puede convertir en un riesgo directo a la salud y al ambiente.

Se recomienda tener un buen ordenamiento territorial de la industria debido a que estas se encuentran en zonas pobladas, parques centrales, escuelas, centros de salud, etc., de esta manera se convierte en un foco de contaminación de PMS para el sector.

Es necesario realizar charlas educativas con el motivo de informar y concientizar a los ciudadanos de este sector de la problemática que acusa este tipo de contaminación a la salud y ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andi, J., Vega, R., & Santillán, P. (2019). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi cantón Riobamba por incidencia industrial. [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Facultad de Ingeniería*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5639/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2019-0008.pdf>
- Arciniégas, C. A. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna Azul*, 203–204. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Bermeo, A., & Almeida, M. (2016). Análisis cuantitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato. [Universidad Técnica de Ambato]. In *Facultad de ciencias e ingeniería en alimentos*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24079/1/BQ103.pdf?fbclid=IwAR3LWMBD2SJKyMkdcdaREncS2rjVjDWBfIRJ8goLYtJibL9SMe0Aq-KRTZU>
- Carranza, J., Choque, K., Mallea, M., Rojas, A., Valverde, S., & Llanos, J. (2021). *La incorporación del Material Particulado Sedimentable como parámetro en el ECA Aire para la evaluación ambiental*. Proyecto de Investigación Para La Fiscalización Ambiental. <https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/153/GrupoNro4-CarranzaJ%3BChoqueK%3BMalleaM%3BRojasA%3BValverdeS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cortés, I. (2015). *Análisis de cantidad y composición de material particulado atmosférico*. El Mercurio. <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=201506251942530>
- EPA. (2021). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Agencia de Protección Ambiental de Los Estados Unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y->

el-medioambiente

- Gallo, A. D., & Paredes, C. S. (2019). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del cantón Chambo. [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Facultad de Ingeniería*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5623/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2019-0007.pdf>
- González, L., Sánchez, A., & Moscoso, D. (2021). Determinación de material particulado sedimentable proveniente del parque industrial del cantón Cuenca y su influencia en las zonas aledañas. [Universidad de Cuenca]. In *Facultad de Ciencias Químicas Carrera*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35631/1/Trabajo de Titulación .pdf>
- Guevara, J., & Pérez, J. (2017). Índice de la calidad de aire en el distrito de Morales debido a la presencia de material particulado 2.5 microgramos [Universidad Peruana Unión]. In *Facultad de Ingeniería y Arquitectura*. <https://doi.org/10.17162/rictd.v3i2.658>
- INAMHI. (2014). *Anuario hidrológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.inamhi.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/hidrologicos/Ah 2011.pdf>
- ISGlobal, I. de S. G. de B. (2018). *5 claves para ciudades más saludables*. [https://www.isglobal.org/es/ciudadesquequeremos?gclid=CjwKCAjw49qKBhAoEiwAHQVToy9D8TwCEZRvvez21U74p6IcrlCZdisGLCo4X3V59P4babWblgdwaBoCCgwQAvD\\_BwE#efectossalud](https://www.isglobal.org/es/ciudadesquequeremos?gclid=CjwKCAjw49qKBhAoEiwAHQVToy9D8TwCEZRvvez21U74p6IcrlCZdisGLCo4X3V59P4babWblgdwaBoCCgwQAvD_BwE#efectossalud)
- Lacambra, N. (2019). *La contaminación destruye la salud y la economía*. La Comunidad #PorElClima. <https://porelclima.es/equipo/2656-graves-efectos-de-la-contaminacion-en-la-salud-y-la-economia>
- Lara, C., & Santillán, P. (2018). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos. [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Facultad de Ingeniería*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4706/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0005.pdf>
- Livia, K. X., & Beteta, V. (2020). *Contaminación del aire por partículas atmosféricas*

*Sedimentables en el ambiente interior de la zona urbana de Tingo María.* Facultad de Recursos Naturales Renovables.  
[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. (2017). *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente, TULSMA.* Registro Oficial Edición Especial. Quito. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Marcos, R., & Valderrama, A. (2012). *Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM.* <https://es.scribd.com/document/217154063/Contaminacion-del-aire-por-material-particulado-en-la-ciudad-universitaria-pdf>

Martínez, J., & LLuervas, E. M. (2019). Contaminación atmosférica. *Researchgate, April, 4.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14603.34087>

Mejia, D., Astudillo, A., Moscoso, D., & Zegarra Peña, R. R. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas, January, 3.* [https://www.researchgate.net/publication/330542816\\_Analisis\\_de\\_Particulas\\_Sedimentables\\_y\\_Niveles\\_de\\_Presion\\_Sonora\\_en\\_el\\_area\\_urbana\\_y\\_periferica\\_de\\_Cuenca\\_Sedimentable\\_Particles\\_and\\_Sonoric\\_Pressure\\_Analysis\\_in\\_Cuenca\\_Urban\\_and\\_Peripheral\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/330542816_Analisis_de_Particulas_Sedimentables_y_Niveles_de_Presion_Sonora_en_el_area_urbana_y_periferica_de_Cuenca_Sedimentable_Particles_and_Sonoric_Pressure_Analysis_in_Cuenca_Urban_and_Peripheral_Area)

Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2020). *La calidad del aire de las ciudades una prioridad nacional.* Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://www.ambiente.gob.ec/la-calidad-del-aire-de-las-ciudades-una-prioridad-nacional/#>

OPS. (2016). *Calidad del aire.* Organización Panamericana de La Salud. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

Ortiz, E., Tigsí, V., & Santillán, P. (2020). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el barrio los pinoss

- cantón Riobamba por incidencia industrial. [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *Facultad de Ingeniería*. [http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6473/1/DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VÒLATIL DEL BARRIO LOS PINOS CANTÒN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL.pdf](http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6473/1/DETERMINACIÓN_Y_CARACTERIZACIÓN_DE_CONCENTRACIONES_DE_MATERIAL_PARTICULADO_SEDIMENTABLE_Y_VOLÁTIL_DEL_BARRIO_LOS_PINOS_CANTÓN_RIOBAMBA_POR_INCIDENCIA_INDUSTRIAL.pdf)
- Querol, X. (2018). La calidad del aire en las ciudades. In F. G. N. Fenosa (Ed.), *Fundación Gas Natural Fenosa* (1st ed.). Fundación Gas Natural Fenosa. <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Rosales, D., Araujo, J., Urrea, J., & Prieto, R. (2013). *Volumetria de precipitacion: Determinacion de la cantidad de cloruros en suero fisiológico*. Laboratorio de Química Analítica. [http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/lauraitm/wp-content/uploads/2014/09/Informe\\_final\\_Vol\\_P.pdf](http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/lauraitm/wp-content/uploads/2014/09/Informe_final_Vol_P.pdf)
- Santillán, P., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulados atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2, 32–39. <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articuloshtml/Perfiles16Art5/Perfiles16Art5.xhtml>
- Tarazona Rincón, P. A. (2018). Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (PM 10 ) en la vereda mochuelo-alto Bogotá D.C. [Universidad del Bosque]. In *Facultad de Ingeniería*. [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona\\_Rincón\\_Paula\\_Andrea\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona_Rincón_Paula_Andrea_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vázquez, E., & Rojas, T. guadalupe. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas* (1st ed.). Universidad Autónoma Metropolitana. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>
- Villacrés, M. F., & Andrés, B. (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*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4855/1/236T0164.pdf>

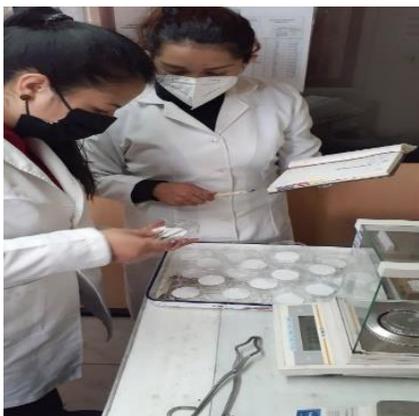
Vivar, E. F., & Arizábala, I. (2014). Cuantificación de material particulado PM10 y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de Azogues. [Universidad de Cuenca]. In *Facultad de Ciencias Químicas*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20939/1/TESIS.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Análisis en el Laboratorio

---

#### Peso Inicial de Papel Filtro



Fuente: *Las Autoras, 2021.*

#### Peso de los Crisoles



Fuente: *Las Autoras, 2021.*

---

#### Muestras a Secar para el Análisis



Fuente: *Las Autoras, 2021.*

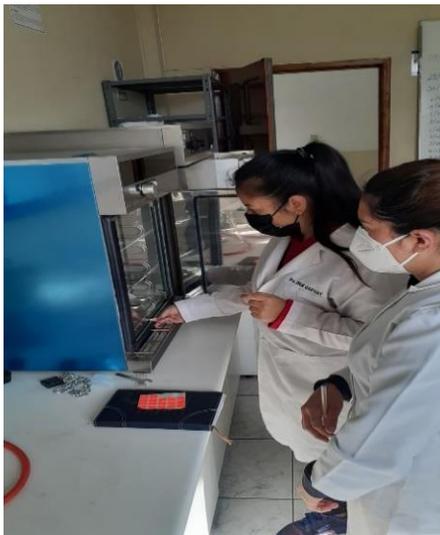
#### Materiales a Utilizar



Fuente: *Las Autoras, 2021.*

---

**Muestras a Secar Para el Análisis en el  
Microscópico**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*

**Muestras Filtradas al Vacío**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*

---

**Muestras Para el Análisis Fisicoquímico**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*

**Muestras para el Análisis de Cloruros**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*

---

### Análisis Microscópico de las Muestras



Fuente: Las Autoras, 2021.

### Análisis de pH en las Muestras



Fuente: Las Autoras, 2021.

---

### Anexo 2. Recopilación de Datos.

#### Instalación de los Equipos Para PMS



Fuente: Las Autoras, 2021.

#### Instalación de Equipos



Fuente: Las Autoras, 2021.

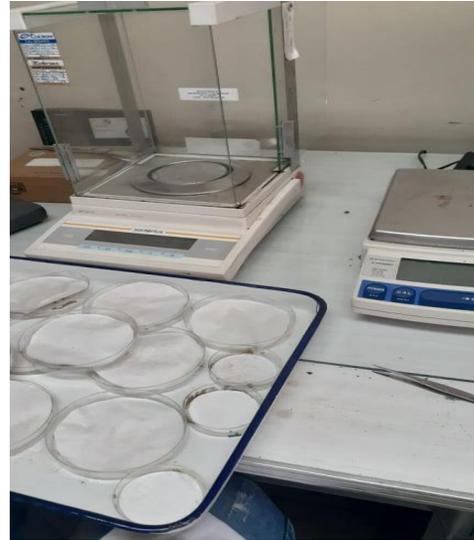
---

**Revisión de las Muestras**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*

**Muestras de PMS de los 20 Puntos de la  
Zona de Estudio Para Comenzar a  
Utilizar**



**Fuente:** *Las Autoras, 2021.*