

**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

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO  
SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA**

**Autor:** Karen Johanna Carrasco García

**Tutor:** MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA

**Riobamba - Ecuador**

**Año 2021**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de tema: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, presentado por: Karen Johanna Carrasco García y dirigida por el: MsC. Patricio Santillán.

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

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. José Prato  
Presidente de Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
**JOSE GREGORIO  
PRATO MORENO**

.....  
Firma

MsC. Patricio Santillán  
Tutora del Proyecto



Firmado electrónicamente por:  
**GUIDO  
PATRICIO  
SANTILLAN**

.....  
Firma

MsC. Julia Calahorrano  
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
**JULIA GUADALUPE  
CALAHORRANO  
GONZALEZ**

.....  
Firma

MsC. Mery Manzano  
Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
**MERY ROSSANA  
MANZANO CEPEDA**

.....  
Firma

## DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERA AMBIENTAL**. Con el Tema: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, ha sido elaborado por **KAREN JOHANNA CARRASCO GARCÍA**, 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.



Firmado electrónicamente por:

**GUIDO  
PATRICIO  
SANTILLAN**

.....  
MsC. Patricio Santillán

Tutora del Proyecto

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **KAREN JOHANNA CARRASCO GARCÍA**, con cédula de identidad N.º 180460334-6; hago constar que soy la autora del presente trabajo de investigación, titulada: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”** el cual constituye una elaboración, dirigida por el Tutor del Proyecto, MsC. Patricio Santillán.

En tal sentido, manifiesto 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.



.....  
Karen Johanna Carrasco García

CI. 180060334-6

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, Carrera de Ingeniería Ambiental por haberme permitido formarme como profesional, a cada uno de los docentes que fueron partícipes de este proceso con ética y profesionalismo.

A mi tutor MsC. Patricio Santillán, y tribunal Dra. Julia Calahorrano, Ing. Mery Manzano por la ayuda y paciencia durante este proyecto de investigación compartiendo sus valiosos conocimientos.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por guiar cada uno de mis pasos en mi carrera universitaria y tener su bendición a cada momento.

A mis padres Patricio y Paula por ser el apoyo incondicional en todas las metas que he querido cumplir a lo largo de mi vida, por darme la oportunidad y confianza para estudiar lejos de casa. A mi hermano Jossue que es mi mayor motivación para seguir adelante y ser su ejemplo para seguir.

A cada una de las personas que estuvieron a mi lado en esta etapa de mi carrera para apoyarme y enseñarme que a pesar de varias circunstancias se puede salir adelante.

## INDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....   | ii   |
| DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....   | iii  |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....   | iv   |
| AGRADECIMIENTO.....   | v    |
| DEDICATORIA.....  | vi   |
| RESUMEN.....  | xii  |
| ABSTRACT.....   | xiii |
| INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| CAPITULO I.....   | 2    |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 2    |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN.....   | 3    |
| 1.3. OBJETIVOS.....   | 4    |
| 1.3.1. Objetivo general:.....   | 4    |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....  | 4    |
| CAPITULO II.....  | 5    |
| MARCO TEÓRICO .....   | 5    |
| 2.1. Calidad del aire.....  | 5    |
| 2.1.1. Calidad de Aire según el TULSMA.....   | 5    |
| 2.1.2. Calidad de Aire según la OMS .....   | 6    |
| 2.2. Material particulado.....  | 7    |
| 2.2.1. Clases de material particulado .....   | 7    |
| 2.2.2. Material particulado sedimentable.....   | 7    |
| 2.3. Clasificación según el tamaño de partículas.....   | 8    |
| 2.4. Composición química del PMS .....  | 8    |
| 2.5. Efectos adversos del material particulado en la salud .....                              | 9    |
| 2.6. Efectos sobre el ambiente .....  | 10   |
| 2.7. Fuentes principales de contaminación atmosférica .....                                   | 11   |
| 2.8. Factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes .....           | 11   |
| 2.9. Estándares de calidad del aire para Material Particulado .....                           | 12   |
| 2.9.1. Estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para Material Particulado..... | 12   |
| 2.9.2. Estándares de calidad de aire en el Ecuador .....                                      | 13   |
| CAPITULO III .....  | 14   |
| METODOLOGÍA.....  | 14   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.1.   | Área de estudio .....   | 14 |
| 3.2.   | Ubicación e implantación de los equipos de medición para MPS.....   | 15 |
| 3.3.   | Consideraciones para la ubicación de puntos de monitoreo.....   | 15 |
| 3.4.   | Monitoreo material particulado sedimentable .....   | 16 |
| 3.5.   | Análisis de características morfológicas.....   | 17 |
| 3.6.   | Análisis Geo Estadístico.....   | 17 |
| 3.7.   | Análisis estadístico .....  | 17 |
|        | CAPITULO IV .....   | 18 |
|        | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 18 |
| 4.1.   | Establecimiento de estaciones fijas en el área de estudio para el análisis de material particulado sedimentable ..... | 18 |
| 4.2.   | Análisis de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Riobamba.....            | 20 |
| 4.2.1. | Comparación de valores según la OMS y el TULSMA.....  | 21 |
| 4.2.2. | Análisis estadístico de concentración de MPS.....   | 24 |
| 4.2.3. | Análisis cualitativo y caracterización morfológica del MPS .....  | 25 |
| 4.3.   | Simulación de dispersión de MPS .....   | 34 |
|        | CONCLUSIONES.....   | 36 |
|        | RECOMENDACIONES .....   | 37 |
|        | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 38 |
|        | ANEXOS .....  | 41 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Tamaño de las partículas del suelo.....                                       | 9  |
| <b>Tabla 2.</b> Susceptibilidad a los contaminantes atmosféricos en adultos y niños.....      | 10 |
| <b>Tabla 3.</b> Límites máximos permisibles por la legislación internacional vigente OMS..... | 12 |
| <b>Tabla 4.</b> Límites máximos permisibles por la vigente TULSMA.....                        | 13 |
| <b>Tabla 5.</b> Ubicación Geográfica UTM.....   | 19 |
| <b>Tabla 6.</b> Concentración de MPS en los puntos de monitoreo.....                          | 20 |
| <b>Tabla 7.</b> Comparación de valores de MPS según la OMS.....                               | 21 |
| <b>Tabla 8.</b> Comparación de valores de MPS según el TULSMA.....                            | 22 |
| <b>Tabla 9.</b> Actividades de los puntos con mayor concentración de MPS.....                 | 23 |
| <b>Tabla 10.</b> Estadística descriptiva de PMS en el Parque Industrial de Riobamba .....     | 25 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Polígono Parque Industrial de la ciudad de Riobamba .....                                   | 14 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación de los puntos de monitoreo en el P. Industrial de la ciudad de Riobamba.<br>..... | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Comparación de valores de MPS con LMP según la OMS. ....                                    | 22 |
| <b>Figura 4.</b> Comparación de valores de MPS con LMP según TULSMA .....                                    | 23 |
| <b>Figura 5.</b> Concentración de MPS de los puntos LMP de OMS y TULSMA .....                                | 24 |
| <b>Figura 6.</b> Mediciones gravimétricas para la concentración de PMS. ....                                 | 25 |
| <b>Figura 7.</b> MPS Punto 1. ....   | 26 |
| <b>Figura 8.</b> MPS Punto 1 .....   | 26 |
| <b>Figura 9.</b> MPS Punto 2. ....   | 26 |
| <b>Figura 10.</b> MPS Punto 2 .....  | 26 |
| <b>Figura 11.</b> MPS Punto 3. ....  | 27 |
| <b>Figura 12.</b> MPS Punto 3 .....  | 27 |
| <b>Figura 13.</b> MPS Punto 4. ....  | 27 |
| <b>Figura 14.</b> MPS Punto 4 .....  | 27 |
| <b>Figura 15.</b> MPS Punto 5. ....  | 28 |
| <b>Figura 16.</b> MPS Punto 5 .....  | 28 |
| <b>Figura 17.</b> MPS Punto 6. ....  | 29 |
| <b>Figura 18.</b> MPS Punto 6 .....  | 29 |
| <b>Figura 19.</b> MPS Punto 7. ....  | 29 |
| <b>Figura 20.</b> MPS Punto 7 .....  | 29 |
| <b>Figura 21.</b> MPS Punto 8. ....  | 30 |
| <b>Figura 22.</b> MPS Punto 8 .....  | 30 |
| <b>Figura 23.</b> MPS Punto 9. ....  | 30 |
| <b>Figura 24.</b> MPS Punto 9 .....  | 30 |
| <b>Figura 25.</b> MPS Punto 10. ....   | 31 |
| <b>Figura 26.</b> MPS Punto 10 .....   | 31 |
| <b>Figura 27.</b> MPS Punto 11. ....   | 32 |
| <b>Figura 28.</b> MPS Punto 11 .....   | 32 |
| <b>Figura 29.</b> MPS Punto 12. ....   | 32 |
| <b>Figura 30.</b> MPS Punto 12 .....   | 32 |
| <b>Figura 31.</b> MPS Punto 13. ....   | 33 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 32.</b> MPS Punto 13 .....  | 33 |
| <b>Figura 33.</b> MPS Punto 14. ....  | 33 |
| <b>Figura 34.</b> MPS Punto 14 .....  | 33 |
| <b>Figura 35.</b> Mapa de concentración y dispersión de PMS en el P. Industrial de la ciudad de Riobamba..... | 34 |

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba, una zona que con el pasar de los años ha ido disminuyendo su sector empresarial donde varias empresas han tenido que emigrar a otras ciudades, pero algunas se mantienen hasta el momento en su producción.

Existe preocupación por parte de las autoridades y los habitantes debido a las actividades empresariales que existe en dicho sector llegando afectar la salud de las personas que habitan en dicha zona. Estas empresas en actividad están dedicadas a la fabricación de cal, hormigoneras, aserraderos, mecánicas de autos, procesado de granalla mineral, trituración de piedra natural (mármol), soldadura etc.,

Para este estudio se establecieron 14 puntos de muestreo en toda el área del Parque Industrial de manera aleatoria y estratégica a fin de abarcar toda la zona en lo posible, se aplicó el método pasivo para la toma de muestras que consiste en colocar cajas Petri en los equipos de muestreo en un periodo de 30 días (Abril- Mayo), que posteriormente fueron analizadas en laboratorio para identificar la cantidad de material particulado sedimentable, adicional a esto se utilizó sistemas de información geográfica (SIG) mediante datos de cuatro estaciones meteorológicas cercanas para identificar la velocidad y dirección del viento de dicho sector y así poder realizar una comparación de los valores y tener datos más exactos basándonos también con las condiciones climáticas.

Finalmente, los resultados obtenidos muestran que los puntos con mayor contaminación evidentemente están en la zona de las empresas en actividad dando como resultado que los puntos con más altos niveles de concentración son el 6, 10, 4, 9, 7, 12 y sobrepasan los niveles permisibles expuestos por la normativa de la OMS y TULSMA.

**Palabras clave: material particulado sedimentable, muestreo, contaminación, concentración.**

## **ABSTRACT**

### **ABSTRACT**

The present research aims to determine the concentration of sedimentable particulate material in the Industrial Park of Riobamba city, an area that over the years has been declining its business sector where several companies have had to emigrate to other cities, but some remain until now in their production. There is concern on the part of the authorities and the inhabitants due to the business activities that exist in this sector, affecting the health of the people who live in said area. These companies in activity dedicated to the manufacture of lime, concrete mixers, sawmills, auto mechanics, mineral shot processing, crushing of natural stone (marble), welding, etc., For this study, 14 sampling points established in the entire area of the Industrial Park in a random and strategic way in order to cover the entire area as much as possible, the passive method for sampling applied, which consists of placing Petri dishes in the sampling equipment in a 30-day period (April-May), which subsequently analyzed in the laboratory to identify the amount of sedimentable particulate material, in addition to this, geographic information systems (GIS) used through data from four nearby meteorological stations to Identify the speed and direction of the wind in said sector and thus be able to make a comparison of the values and have more exact data also based on the weather conditions.

Finally, the results obtained show that the points with the greatest contamination are evidently in the area of the companies in activity, resulting in that the points with the highest concentration levels are 6, 10, 4, 9, 7, 12 and exceed the permissible levels exposed by the WHO and TULSMA regulations.

**Keywords:** sedimentable particulate matter, sampling, contamination, concentration

Reviewed by:

Mgs. Maritza Chávez Aguagallo

**ENGLISH PROFESSOR**

c.c. 0602232324

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo existen grandes concentraciones de contaminación atmosférica, que se presenta como uno de los riesgos ambientales más importantes y que afectan considerablemente la salud. Este tipo de contaminación se caracteriza porque en el aire se pueden detectar sustancias que son parte de procesos naturales y en su mayoría representan a procesos humanos industrializados que al no ser debidamente tratados se mezclan dañando así el aire (Ubilla & Yohannessen, 2017).

Al respecto de estas sustancias que contaminan el aire se encuentra el material particulado (PM), que es una mezcla de residuos líquidos y sólidos, por lo general provenientes de procesos orgánicos e inorgánicos, que al hacer contacto con el aire dan origen a reacciones químicas que lo impurifican (Jerves & Armijos, 2016).

En el contexto nacional, no existen estudios relevantes acerca de la calidad del aire que respira la población. Debido a factores administrativos y logísticos no se ha tomado las medidas adecuadas para su estudio (Andi & Vega, 2019).

Las grandes urbes a nivel nacional se han comenzado a preocupar por el aire que respira su población por tanto los municipios han tomado como iniciativa identificar los niveles de contaminación atmosférica a consecuencia del crecimiento vehicular e industrial , sin embargo aún es un bosquejo de lo que se puede observar en países más desarrollados (Bravo, 2013).

En el presente trabajo de investigación se logró determinar la concentración de material particulado sedimentable (PMS) en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba. Dado que, al ser un lugar industrializado, el proyecto estará direccionado a cuantificar mediante un proceso de observación directa y toma de muestras el estado actual del aire en dicho lugar, en un espacio de tiempo indicado.

## CAPITULO I

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) citado por Palacios & Espinoza (2014), menciona que alrededor del mundo se ha incrementado la mortalidad y daño en la salud de las personas debido a la contaminación atmosférica, donde los países con mayor desarrollo industrial superan los límites permisibles de contaminantes propuestos por dicha organización para medir la calidad del aire.

Así mismo a nivel nacional, en el Ecuador existe un estimado de 500 muertes al año debido a problemas respiratorios relacionados con la contaminación atmosférica, y se lleva un monitoreo de calidad de aire solo en algunas de las ciudades que más contaminan como Quito, Guayaquil, y Cuenca dando como resultado niveles altos de contaminación a comparación de los límites permisibles propuestos por la OMS y la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana (Peña, 2018).

En el contexto local, el presente proyecto se centra en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba, que fue creado en el año 1976, pasando por varios problemas legales y económicos desde el año 2006 donde se habló del cambio de uso de suelo por parte de las autoridades de la ciudad, llegando a ocasionar una incertidumbre en los dueños de varias empresas que tomaron la decisión de migrar a otras ciudades.

Por consiguiente, aproximadamente en el periodo 2014-2017 existió un acuerdo con el alcalde de ese entonces y los concejales para que las empresas puedan seguir operando con normalidad hasta la actualidad.

Es así que hoy en día al ser un lugar de gran actividad industrial tiende a poseer mayores concentraciones de contaminación debido a los procesos químicos que se manejan allí, lo que podría derivar en problemas respiratorios para las personas que laboran dentro del parque y los moradores aledaños a este lugar.

Otro de los problemas es que tanto la población como las empresas no pueden ser desalojadas del lugar, debido a que, los asentamientos de las dos partes se han ido dando con el pasar de los años, cuando las empresas ya se encontraban en actividad, por lo que se busca mediante los resultados finales de este estudio tomar las debidas precauciones de las dos partes mencionadas anteriormente.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En el año 2016 se han generado impactos significativos debido a la contaminación del aire como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, cáncer pulmonar, etc., al mismo tiempo 249.000 muertes prematuras aparentemente por dicha contaminación y cerca del 88% de estas muertes se dan en países de estatus bajos y medios (OMS, 2016).

En el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba, existen varias empresas que se dedican a la industrialización de madera, mármol, cal, productos agroquímicos, soldadura de metales etc., la mayoría de estas empresas se ven en la necesidad de utilizar combustible para el funcionamiento de sus maquinarias, emanando humo, virutas, aserrín, compuestos químicos, etc., los cuales hacen que se genere mayor contaminación en el aire.

Con el pasar de los años se han ido dando asentamientos de personas a sus alrededores, generando inconformidad y conflicto en las dos partes y pasando por desapercibidos los daños que se pueden generar en las personas, de modo que estas actividades hacen que estén expuestos directamente a contraer consecuencias a largo plazo en la salud.

A causa de dichos problemas se busca obtener información del área de estudio, mediante: monitoreos de MPS durante un mes, investigación exhaustiva del lugar, actividades que se realizan, morfología, tamaño de partículas, dirección del viento etc., debido a que no existen antecedentes investigativos y datos que corroboren y comprueben el daño que ocasionan dichas empresas.

El análisis precedente se da con el objetivo de evidenciar la concentración de MPS y el riesgo a quienes trabajan y residen en dicho lugar, tomando en consideración que las industrias presentes en este sector también son un aporte económico dentro y fuera de la ciudad, por lo que se debe tener las debidas precauciones para que ninguna de las dos partes tenga afectaciones con respecto a la salud y economía.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

- Determinar la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Establecer estaciones fijas en el área de estudio para el análisis de material particulado sedimentable.
- Analizar la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Riobamba.
- Elaborar un mapa de concentración y dispersión del material particulado sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información geográfica (SIG).

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Calidad del aire

La industrialización en el mundo empezó a comienzos del siglo XIX en gran Bretaña con interés de mejorar el estatus económico de varios países del mundo, pero por otra parte con el pasar de los años la industrialización en el mundo ha ido generando impactos significativos en el aire, ocasionando graves daños en el ambiente y las personas (Suárez & Molina, 2014).

Demostrando efectos como el llamado calentamiento global y destruyendo la capa de ozono a su vez generando el efecto invernadero con temperaturas elevadas debido a gases como: Dióxido de carbono, metano, hidrocarburos etc., que son los principales y más preocupantes gases que las empresas generan mediante la quema de carbón y otros combustibles fósiles, provocando deshielos, inundaciones, pérdida de hábitats, desertificación, y daño en la salud de las personas (Conde *et al.*, 2013).

Se ha realizado el estudio de calidad de aire en el Ecuador en varias ciudades, una de ellas es Quito considerada una de las ciudades con mayor contaminación atmosférica debido al tránsito vehicular, es por esto que Fundación Natura inició la ejecución del proyecto “calidad de aire” desde 1999 hasta 2009 con la ayuda y financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, tomando como punto relevante el sistema obligatorio de revisión vehicular y de esta manera reducir en gran medida las emisiones y mejorar la salud de las personas debido a problemas respiratorios (FUNDACIÓN NATURA, 2009).

Igualmente existen estudios de calidad de aire en Cuenca, ciudad que se caracteriza por tener mayor densidad urbana donde se ha puesto en consideración cuatro tipos de métodos de monitoreos como: muestreadores pasivos, muestreadores activos, analizadores automáticos y sensores remotos mediante 18 puntos de monitoreo distribuidos aleatoriamente en límites urbanos, centro histórico, gasolineras, industria, ejes viales etc., (Jerves & Armijos, 2016).

##### 2.1.1. Calidad de Aire según el TULSMA

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) es la Normativa Ambiental vigente en el Ecuador por Decreto Ejecutivo N<sup>o</sup>.3516 publicado en Registro Oficial el 31 de marzo de 2003 con su última modificación el 23 de noviembre de 2018 (Decreto Ejecutivo 3516, 2018).

Cuenta con un apartado en el libro VI Anexo 4 que habla de Norma de calidad del aire Ambiente o Nivel de Inmisión “Anexo 4 de Acuerdo Ministerial No. 97, publicado en Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de noviembre del 2015” el cual tiene como objetivo establecer límites máximos permisibles de los contaminantes en el aire y de igual forma los métodos y procedimientos para determinar estas concentraciones (Decreto Ejecutivo 3516, 2018).

En lo esencial considera como contaminantes: partículas sedimentables PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y finalmente habla sobre normas para concentraciones de contaminantes no convencionales que tienen efectos tóxicos y cancerígenos (Decreto Ejecutivo 3516, 2018).

### **2.1.2. Calidad de Aire según la OMS**

Según la OMS (como se citó en Arroyave et al., 2018) existen muertes anuales debido a la contaminación del aire y los problemas que este ocasiona en la salud de las personas con mayor alcance en los países de desarrollo, produciendo enfermedades pulmonares, cancerígenas, cerebrovasculares entre otras.

Su finalidad es poner en conocimiento mediante investigaciones científicas a nivel mundial, la amenaza para la salud de las personas con respecto a los daños que puede ocasionar la contaminación atmosférica, y que de esta manera las organizaciones de cada país tengan una pauta para realizar una adecuada gestión de calidad de aire junto con sus normativas nacionales (Sánchez et al., 2019).

En el documento mencionado se habla de cada uno de los contaminantes atmosféricos que deben ser tomados en cuenta y de igual forma su fundamento del porque son un riesgo para la salud, sus límites de concentración y cuál puede ser el lugar de procedencia del mismo (Zapata, 2015).

Por tal motivo se ha creado por parte de la OMS “Guías de calidad de aire relativas al PM el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre”, su primera publicación fue en 1987 llegando hasta su actualización mundial en el año 2005 (OMS, 2005).

## **2.2. Material particulado**

Se entiende como PM a las partículas suspendidas en el aire sólidas o líquidas proveniente de varias fuentes: sean naturales, industriales y urbanas, pueden tener varias composiciones físicas, químicas, y meteorológicas, además de gran variación de tamaños y formas, se lo considera uno de los contaminantes atmosféricos debido a que pueden entrar con facilidad al tracto respiratorio de las personas y ocasionar daños también en la naturaleza, debido a esto es necesario evaluar sus concentraciones con métodos de monitoreo y tomar las debidas precauciones por parte de las autoridades ambientales (Castro et al., 2010).

### **2.2.1. Clases de material particulado**

Se considera al MP como un contaminante en el aire y su representación se da desde partículas muy pequeñas que no pueden ser observadas a simple vista donde se necesita la ayuda de un microscopio para su visualización con un tamaño de 0,0001  $\mu\text{m}$  hasta 500  $\mu\text{m}$ , por lo general se encuentran suspendidas en el aire y son arrastradas dependiendo de las condiciones meteorológicas como dirección del viento, lluvias, etc., (Bayas, 2017).

De acuerdo con las clases de MP podemos encontrar las de fuentes fijas y fuentes móviles, y de igual manera dependiendo de su procedencia ya sea de fuentes naturales como antrópicas. Dentro de las fuentes naturales podemos describir como MP a partículas provenientes de la vegetación al deteriorarse o transportar el polen con el viento, polvo de erupciones volcánicas, quema de biomasa etc. Así mismo se considera fuentes fijas al MP producido por la actividad antrópica en las industrias de: textil, maderera, química, alimentaria etc., (Villacrés, 2015).

También dentro de las fuentes móviles se puede considerar como MP a las emisiones producidas por automóviles, aviones, ferrocarriles, embarcaciones, que generan compuestos como CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>. Para finalizar de acuerdo con los factores antes mencionados se puede diferenciar al MP en partículas sedimentables y volátiles (Arciniégas, 2012).

### **2.2.2. Material particulado sedimentable**

El MPS tiene la característica de que sus partículas se encuentran suspendidas en la atmósfera por periodos cortos de tiempo, debido a que tienen un tamaño de partícula grande con un diámetro mayor o igual a (2.5  $\mu\text{m}$  y 10 $\mu\text{m}$ ) por tanto se depositan en el suelo con

mayor rapidez. De igual manera estas partículas pueden sedimentar en la superficie a causa de factores naturales como la precipitación o la nieve (Lara, 2018).

### **2.3. Clasificación según el tamaño de partículas**

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal de México (SEMARNAT), clasifica a las partículas en base a su diámetro en:

- ultrafinas que abarca medidas menores a  $1\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ),
- finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ )
- y gruesas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre  $2.5$  y  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5-10}$ ), (SEMARNAT, 2011).

Podríamos resumir a continuación al ( $\text{PM}_{2.5}$ ) como el contaminante más perjudicial para la salud de las personas, dado que por su tamaño en micrómetros puede ingresar al sistema respiratorio con mayor facilidad, además se estima que puede permanecer en el aire durante largos periodos de tiempo y ser transportados por el aire con mayor facilidad (Sanchis, 2016).

Dentro de este marco las partículas entre  $2.5$  y  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5-10}$ ), están representadas por material biológico en un rango intermedio de permanencia en el aire un ejemplo significativo es el polen de las flores, finalmente las partículas con diámetros mayores a  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) denominadas gruesas, se las puede encontrar en partículas generadas por arrastre del viento entre éstas polvo y minerales del suelo. Por último es conveniente acotar que los tamaños pueden variar dependiendo de la actividad y proceso industrial en el entorno (Sanchis, 2016).

### **2.4. Composición química del PMS**

Existe variedad en cuanto a la composición química del PM debido a esto es necesario conocer las fuentes de emisión y su procedencia sea natural o antropogénica, utilizando equipos especializados para su identificación (Negral, 2010).

En relación a la composición química del PM de fuentes naturales, se puede señalar que depende de las características y mineralogía del suelo entre estos podemos encontrar partículas de arena, limo, arcilla, cuarzo, feldespatos, materia orgánica, ácidos húmicos, entre otros (Acosta, 2007).

En la **Tabla 1.** Se muestra las partículas provenientes de las fuentes naturales (suelo) y sus respectivos diámetros:

**Tabla 1.** Tamaño de las partículas del suelo.

| <b>Nombre</b>    | <b>Diámetro (mm)</b> |
|------------------|----------------------|
| Arena muy gruesa | 2.00-1.00            |
| Arena gruesa     | 1.00-0.50            |
| Arena media      | 0.50-0.10            |
| Arena fina       | 0.25-0.10            |
| Arena muy fina   | 0.10-0.05            |
| Limo             | 0.05-0.002           |
| Arcilla          | Menos de 0.002       |

**Fuente:** (Rucks et al., 2004).

Por otra parte en la composición química de partículas procedentes de la actividad antrópica, se identifican compuestos de la metalurgia, la corrosión de metales expuestos al medio ambiente, como: Hidrocarburos aromáticos y policíclicos, inclusive metales pesados Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn, Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn de la misma forma la industria cementera genera principalmente dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, carbono orgánico total, entre otros, añadiendo a esta actividad la gran cantidad de consumo energético y así generando otros tipos de componentes químicos con los combustibles utilizados para su productividad. Como consecuencia pueden llegar a causar enfermedades cancerígenas y mutagénicas (COMISIÓN EUROPEA, 2010).

## **2.5. Efectos adversos del material particulado en la salud**

Bravo (2013) mencionan que se considera al PM como un contaminante ambiental que provoca daño en la salud del ser humano y define como fuentes más relevantes a la industrialización, la actividad minera y la movilidad vehicular.

En concordancia el MP ultrafino, (<2.5µm) ocasiona una mayor inflamación en el sistema respiratorio del ser humano debido a su mayor facilidad de entrada a otros órganos, ocasionando problemas más graves como hipersecreción, obstrucción bronquial, bronquitis crónica etc., con contaminantes como ozono O<sub>3</sub>, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, dióxido de nitrógeno NO<sub>3</sub>, monóxido de carbono CO, y plomo Pb entre otros., (Oyarzún, 2010).

Al mismo tiempo el MP de mayor tamaño ( $MP_{2,5 \mu m}$  y  $10 \mu m$ ) ingresa directamente hacia los pulmones y puede generar afecciones en el tracto respiratorio, neumonía, bronconeumonía, cáncer etc., así también existen afecciones a la vista y la piel con molestias como alergias, conjuntivitis, dermatitis y daños mucho mayores (Vargas, 2011).

Existen varios factores que explican la mayor susceptibilidad que tiene los adultos y niños a los contaminantes suspendidos en la atmósfera como se expresa en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Susceptibilidad a los contaminantes atmosféricos en adultos y niños.

| <b>Infancia</b>  | <b>Senectud</b>  |
|--|--|
| Menor efectividad de la tos por menor desarrollo de la musculatura respiratoria.   | Disminución de la fuerza de los músculos inspiratorios y menor efectividad de la tos |
| Mayor ventilación por mayor frecuencia respiratoria en reposo, aumenta la dosis efectiva de contaminantes.                     | Rigidez Torácica   |
| Ausencia de ventilación colateral agrava la obstrucción de vías periféricas (< 2 mm de diámetro)                               | Disminución de la respuesta ventilatoria a la hipoxia y la hipercapnia.              |
| Mayor resistencia de las vías aéreas periféricas genera el 50% de la resistencia total al flujo aéreo (en el adulto es < 20 %) | Disminución de la percepción de obstrucción bronquial.                               |
| Menor volumen pulmonar y menor superficie alveolar.  | Disminución de la superficie alveolar por “enfisema senil”                           |
| Mecanismos defensivos no plenamente desarrollados y mayor dificultad en la eliminación de partículas desde las vías aéreas.    | Disminución de la depuración mucociliar  |
| Mayor exposición de contaminantes atmosféricos, porque los niños pasan mayor parte de su tiempo al aire libre.                 |  |

**Fuente:** (Oyarzún, 2010).

## 2.6. Efectos sobre el ambiente

Son varios los efectos que pueden ocasionar el transporte de las partículas en el ambiente, tal es el caso de la acidez del agua, al precipitar en lagos y demás cuerpos hídricos perjudicando a gran cantidad de especies acuáticas (Villacrés, 2015).

Así mismo las aves se ven afectadas debido a que al migrar de un lugar a otro la cantidad de contaminantes suspendidos en la atmosfera afectan su visibilidad, de igual modo se da la

afectación en las plantas, con la denominada lluvia ácida que se forma cuando la humedad del aire se combina con varios contaminantes atmosféricos producto de la actividad antrópica, al ser absorbidas produce afecciones alterando la fotosíntesis, composición química del suelo, crecimiento de las plantas, disminución de microorganismos etc. Por consiguiente se ven afectados de igual forma los animales consumidores de las mismas y la cadena alimenticia que en efecto llega al hombre (Blanco et al., 2019).

Con respecto a bienes materiales las partículas que se depositan en infraestructuras u objetos como monumentos, sillas de parques, piletas, etc. afectan de manera estética dando un efecto visual negativo producto del ensuciamiento que las partículas sedimentables provocan y en el peor de los casos llegando a corroer los materiales como consecuencia de sus reacciones químicas (Alvis, 2012).

## **2.7. Fuentes principales de contaminación atmosférica**

Las fuentes de contaminación atmosférica se pueden clasificar en fijas y móviles, describiendo a las fuentes fijas como las partículas que se generan en un mismo lugar producto de las industrias o actividad de combustión así como chimeneas, vapores, humos, gases, minería etc., (Arrieta, 2016).

Por otra parte las fuentes móviles son las que se dispersan en la atmósfera, puede ser producto del viento y dentro de este orden de ideas se puede mencionar las partículas del área natural hablando en términos generales de la agricultura, donde el ganado se encarga de la generación de gas metano y amoníaco ocasionando el conocido efecto invernadero, acompañado de la utilización de químicos y fertilizantes para los cultivos, además se pueden mencionar otras fuentes de la naturaleza como las erupciones volcánicas e incendios forestales producto de elevadas temperaturas (Nuñez, 2019).

## **2.8. Factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes**

Las sustancias pueden permanecer suspendidas en el aire tomando en cuenta factores como: factor específico es decir en el lugar donde se disocia la sustancia volátil con respecto a su forma, tamaño, o tiempo de salida. Y factor meteorológico dependiendo de la gradiente de temperatura del aire, la velocidad del viento, y precipitación (Villacrés, 2015).

Existen varios métodos y técnicas para determinar este tipo de factores y uno de los más conocidos es mediante un “modelo de dispersión” que se utiliza para predecir y estimar la

concentración de un contaminante en el aire, esto dependerá mucho de la topografía del lugar, donde se toma como referencia la velocidad y dirección del viento con datos meteorológicos obtenidos en estaciones específicas (Garreaud & Rutllant, 2006).

## 2.9. Estándares de calidad del aire para Material Particulado

Los estándares de calidad del aire ayudan a los países desarrollados y en vías de desarrollo a tener una idea clara de los límites máximos permisibles de emisiones atmosféricas que pueden llegar a alcanzar evitando de esta forma contaminación a gran escala. Así pues existen normativas internacionales y nacionales señalando a la Organización Mundial de la Salud que presenta información con respecto al tema y a su vez dando una guía a nivel mundial de calidad de aire, de la misma forma cada país instaura normas de calidad ambiental, en Ecuador el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente está vigente como normativa de calidad ambiental (Alvarado & Puyol, 2020).

### 2.9.1. Estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para Material Particulado

La Organización Mundial de la Salud tiene por objetivo orientar a los países sobre el manejo adecuado de las emisiones atmosféricas, mediante la publicación de la “Guía de Calidad del aire de la OMS relativa al PM, el ozono, el dióxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre” publicada en el año de 1987 donde evidencia la consecuencia de la contaminación atmosférica en la salud de los seres humanos, proponiendo varias alternativas para una adecuada gestión del aire y sus límites máximos permisibles se muestran en la siguiente Tabla 3 (Castognaso et al., 2017).

**Tabla 3.** Límites máximos permisibles por la legislación internacional vigente OMS.

| Contaminante             | Tiempo de Exposición | Máxima Permitida            | Concentración |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|
| Partículas Sedimentables | 30 días              | 0,5 mg/cm <sup>2</sup> /mes |               |
| PM <sub>10</sub>         | 1 año                | 20 µg/m <sup>3</sup>        |               |
|                          | 24 horas             | 50 µg/m <sup>3</sup>        |               |
| PM <sub>2,5</sub>        | 1 año                | 10 µg/m <sup>3</sup>        |               |
|                          | 24 horas             | 25 µg/m <sup>3</sup>        |               |

**Fuente:** OMS como se citó en (Tenorio, 2019).

## 2.9.2. Estándares de calidad de aire en el Ecuador

La normativa ambiental vigente se la denomina TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, (TULSMA) establecida, con el objetivo de preservar la calidad de aire, salud pública y ecosistemas establece límites permisibles de las emisiones de aire que se dan en varias actividades de carácter industrial ya sea de combustión, termoeléctricas, crematorios, calderas, residuos etc., (MAE, 2002).

Los valores máximos permisibles de concentración de MP se muestran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Límites máximos permisibles por la legislación internacional vigente TULSMA.

| Contaminante             | Tiempo de Exposición | Máxima Concentración Permitida |
|--------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Partículas Sedimentables | 30 días              | 1 mg/cm <sup>2</sup> /mes      |
| PM <sub>10</sub>         | 1 año                | 50 µg/m <sup>3</sup>           |
|                          | 24 horas             | 100 µg/m <sup>3</sup>          |
| PM <sub>2,5</sub>        | 1 año                | 15 µg/m <sup>3</sup>           |
|                          | 24 horas             | 50 µg/m <sup>3</sup>           |

**Fuente:** (Decreto Ejecutivo 3516, 2018).

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en el cantón Riobamba situado a 2758 m.s.n.m., a 1° 4.01' 46" latitud Sur; 0° 3' 36" longitud Occidental. Según datos obtenidos de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, existe gran presencia de sol y de vientos en los meses de enero, febrero y noviembre donde puede haber mayor dispersión de PM. La temperatura promedio en la ciudad varía entre 9 y 21 °C; con una precipitación promedio anual de 491 mm y una humedad relativa de 72% anual (INAMHI, 2019).

El área de estudio donde se realizó la investigación comprende el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba, ubicado al sur de la ciudad entre las Avenidas: Celso Rodríguez y Edelberto Bonilla Oleas, el mismo que posee un área aproximada de 46,73 ha.

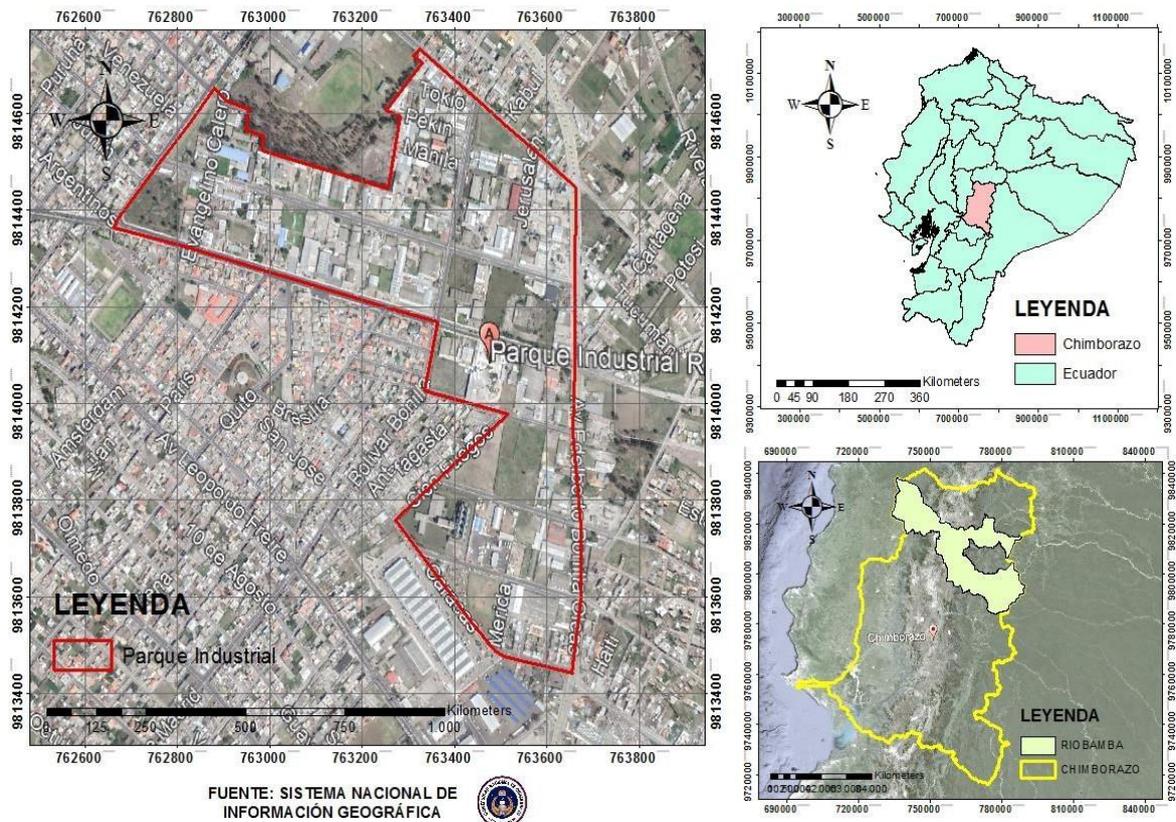


Figura 1. Polígono Parque Industrial de la ciudad de Riobamba

Elaborado por: Autor (2021).

### **3.2. Ubicación e implantación de los equipos de medición para MPS**

En el área de estudio se colocaron 14 estaciones de monitoreo pasivo para determinar PM sedimentable. Las estaciones se ubicaron mediante un muestreo no probabilístico el cual consiste en un procedimiento donde las unidades muestrales no se seleccionan al azar, sino son elegidas en base al criterio del investigador, con el propósito de cubrir toda el área del Parque Industrial.

Tomando en cuenta: puntos donde las personas transitan con mayor frecuencia, cantidad de empresas en funcionamiento cerca de cada punto, la topografía del lugar donde se va a ubicar los puntos etc., (Huatuco & Valderrama, 2012).

Los 14 puntos fueron monitoreados durante 30 días, teniendo como antecedente el tipo de producción que tiene cada empresa y el transitar constante de las personas y vehículos dentro de la zona de estudio para posteriormente identificar cuales de los puntos tiene mayores niveles de MPS y la afectación que se genera a sus alrededores (Santillán et al., 2016).

Es importante indicar que se realizó un acercamiento con el presidente del parque industrial y el departamento de Ordenamiento Territorial del GADM de Riobamba para acceder a información del sector el cual permitió determinar las zonas que pertenecen y están dentro del parque industrial.

Una vez realizado el reconocimiento en campo se procedió a implementar las 14 estaciones de monitoreo pasivo que cuenta el proyecto de investigación: **“Determinación del material particulado sedimentable generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo”**. Este tipo de equipos se han obtenido mediante autogestión de los estudiantes que desarrollan sus trabajos de investigación dentro del proyecto antes mencionado.

### **3.3. Consideraciones para la ubicación de puntos de monitoreo**

Para la implantación se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones: las estaciones de monitoreo debieron estar libres de obstáculos (edificaciones en el entorno, de áreas con árboles, tendedores), condiciones meteorológicas y la topografía del lugar, tipo de material particulado que generan las empresas, etc., cada estación debió tener su respectivo papel filtro para la recolección de MPS, con la finalidad de realizar un monitoreo lo más ordenado posible y poder obtener mejores resultados que reflejen la realidad que vive la población (Huatuco & Valderrama, 2012).

Se consideró las zonas de mayor riesgo a contaminación, es decir en función de la distribución de las industrias a los alrededores. Para esto se tuvo la colaboración del representante del Parque Industrial y con quien se realizó previamente un recorrido de toda el área de estudio con una visita de campo. Otra de las consideraciones a tomar en cuenta según (Santillán et al., 2016) son :

- Buscar un lugar seguro para la instalación del equipo y evitar vandalismo.
- Que el sitio de muestreo sea de fácil acceso.
- Esté libre de obstáculos al menos 10 m, de distancia de árboles, edificios etc.
- Ubicar los frascos recolectores de las muestras a una altura entre 1.5 y 4 metros.
- Que el equipo pueda tener una exposición libre y el MPS pueda ser recolectado a causa de la gravedad y dirección del viento.

### 3.4. Monitoreo material particulado sedimentable

Para el análisis de PMS se usó el método pasivo propuesto por (Patricio et al., 2021), quienes proponen colocar papel filtro en cajas Petri previamente secado, pesado y determinado su área, posteriormente se ubicaron las cajas en los respectivos equipos durante un mes de monitoreo, esto obedece a lo propuesto en el libro VI del TULSMA donde menciona que “La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup> x 30 d)”.

Una vez transcurrido este tiempo se retiraron los recipientes de las estaciones de muestreo para su respectivo análisis de laboratorio, donde el papel filtro fue puesto en el interior de la estufa a 50°C durante 24 horas, necesario para eliminar la presencia de humedad adquirido en el proceso de recolección de la muestra. Posteriormente el papel filtro fue pesado en la balanza analítica (GARMI) y calculado su peso inicial y final (**Ecuación 1**).

$$PAS = \left( \frac{Pf - Pi}{\text{Área}} \right) 1mes \quad (1)$$

#### Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso del papel filtro después de salir de laboratorio

Pf: Peso del papel filtro después de estar expuesto al periodo de muestreo

Área del papel filtro:  $A = \pi \times r^2$  (Santillán et al., 2016).

### **3.5. Análisis de características morfológicas**

Mediante análisis de laboratorio utilizando el microscopio óptico a una resolución de 100 X se identificaron las características morfológicas de las partículas capturadas en el papel filtro y fueron analizadas para apreciar la forma y tamaño de micro partículas (Lozano, 2020).

### **3.6. Análisis Geo Estadístico**

Para el análisis Geo estadístico se tomaron en cuenta las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, para de esta forma obtener datos en relación a velocidad y dirección del viento, de los meses comprendidos entre Marzo-Abril, con el objetivo de ser proyectados utilizando Sistemas de Información Geográfica mediante el método de interpolación KRIGING (Lara, 2018).

### **3.7. Análisis estadístico**

Se realizaron pruebas de normalidad para verificar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos de PMS. Se realizó un ANOVA de una sola vía, ( $p < 0,05$ ), para detectar diferencias estadísticas entre estaciones de monitoreo y pruebas de medias de Tukey. Para el presente análisis estadístico se utilizó el software Minitab 17 (Minitab, 2013).

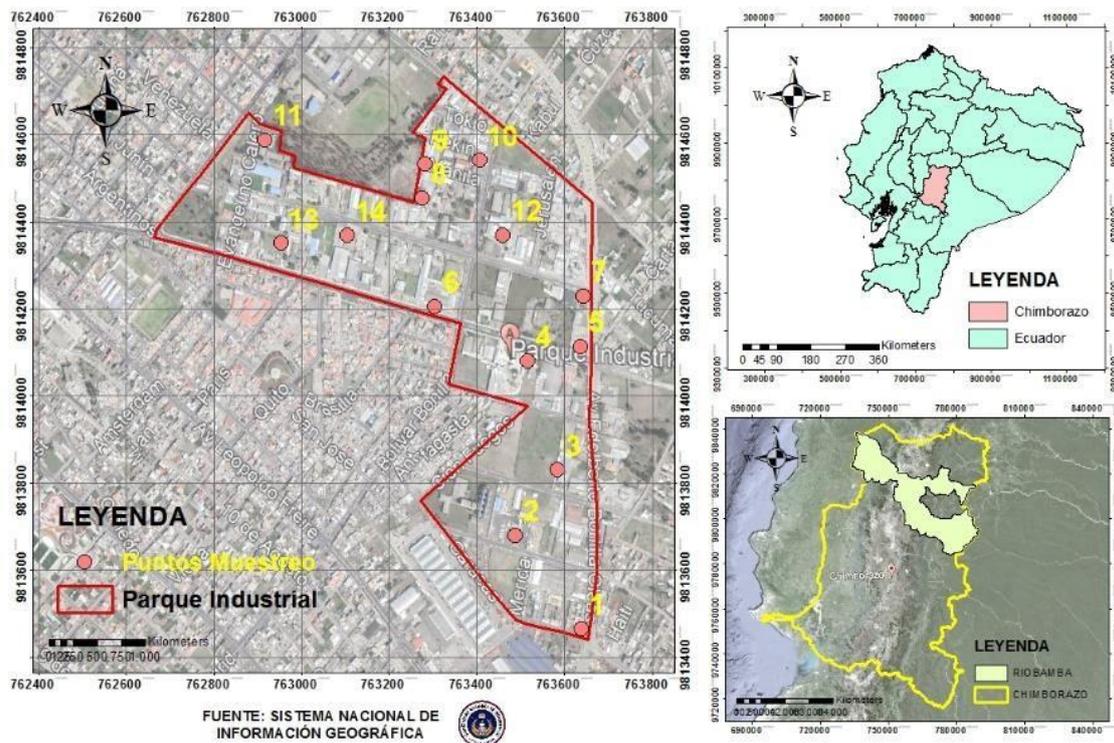
## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Establecimiento de estaciones fijas en el área de estudio para el análisis de material particulado sedimentable**

Para establecer las estaciones fijas en el área de estudio y su posterior análisis de PMS se realizó un acercamiento con el director de la Corporación de Empresarios del Parque Industrial (CEPIR) de la ciudad de Riobamba y el departamento de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba. Mediante este contacto se pudo conocer más a fondo como es el estado actual de dicha área. Es así que en el parque industrial al momento existen 42 empresas en funcionamiento donde sus principales actividades son: metalurgia, mármol, aserraderos, caleras, fertilizantes, mecánicas, etc.

Es importante indicar también que la presente investigación forma parte del proyecto: Determinación del PMS generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo. Esta es una de las razones por las que se seleccionó el Parque Industrial cuyas actividades generan PMS que causan afección a la población aledaña.



**Figura 2.** Ubicación de los puntos de monitoreo en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba. **Fuente** Autor (2021).

En base a lo anterior y gracias a los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS) se pudo delimitar el área de estudio, la cual nos dio un total de 46,73 ha (Figura 2). Con esta información se procedió a implementar los 14 puntos de muestreo, los cuales fueron distribuidos de forma aleatoria, con el propósito de cubrir toda el área de estudio (Tabla 5).

Es importante indicar que las estaciones de monitoreo fueron fijas y su ubicación tomo en cuenta algunas consideraciones para obtener resultados valederos; es decir que las estaciones de monitoreo se implementaron en lugares libres de obstáculos como edificaciones, áreas con árboles, tendaderos, u otras fuentes de contaminación que puedan ocasionar perturbaciones serias de los valores obtenidos.

**Tabla 5.** Ubicación Geográfica UTM.

| PUNTOS | DESCRIPCIÓN  | X          | Y            |
|--------|--|------------|--------------|
| 1      | calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Caracas         | 763,638,23 | 9,813,572,22 |
| 2      | calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Santa Martha    | 763,400,65 | 9,813,701,75 |
| 3      | calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Bogotá          | 763,596,25 | 9,813,790,75 |
| 4      | calles Av. Edelberto Bonilla Olea y Av. Celso Rodríguez  | 763,494,45 | 9,814,053,05 |
| 5      | calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Celso Rodríguez | 763,655,81 | 9,814,085,63 |
| 6      | Av. Celso Rodríguez                                      | 763,350,36 | 9,814,168,52 |

|    |   |            |              |
|----|---|------------|--------------|
| 7  | calles Edelberto Bonilla Olea y Av. Antonio Santillán | 763,658,77 | 9,814,232,90 |
| 8  | calles Av. Antonio Santillán                          | 763,289,77 | 9,814,338,38 |
| 9  | Calles Av. Bolivar Bonilla y Av. Manila               | 763,318,53 | 9,814,458,38 |
| 10 | Av. Bolivar Bonilla                                   | 763,493,32 | 9,814,431,32 |
| 11 | calles Av. La Paz y Av. Evangelino Calderón           | 762,953,04 | 9,814,505,81 |
| 12 | Av. Bolivar Bonilla y Av. Antonio Santillán           | 763,461,16 | 9,814,287,83 |
| 13 | calles Av. Celso Rodríguez                            | 762,965,73 | 9,814,269,28 |
| 14 | calles Av. Antonio Santillán                          | 763,153,15 | 9,814,309,89 |

*Elaborado por: Autor (2021)*

#### 4.2. Análisis de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Riobamba

Para determinar la concentración de PM en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba se utilizó el método pasivo mediante un muestreo aleatorio estratificado de 14 puntos, durante un mes (marzo- abril 2021) como lo requiere las normativas de calidad de aire de la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos del PMS en cada una de las estaciones fijas, se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Concentración de MPS en los puntos de monitoreo.

| Punto | Ubicación Geográfica (UTM) |            | Peso Inicial del papel (mg) | Peso final del papel (mg) | MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) |
|-------|----------------------------|------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1     | 763638,23                  | 9813572,22 | 417,10                      | 417,50                    | 0,217                         |
| 2     | 763400,65                  | 9813701,75 | 421,80                      | 422,05                    | 0,135                         |
| 3     | 763596,25                  | 9813790,75 | 408,00                      | 408,60                    | 0,325                         |
| 4     | 763494,45                  | 9814053,05 | 447,40                      | 451,20                    | 2,057                         |
| 5     | 763655,81                  | 9814085,63 | 416,40                      | 417,50                    | 0,596                         |
| 6     | 763350,36                  | 9814168,52 | 476,40                      | 481,90                    | 2,978                         |
| 7     | 763658,77                  | 9814232,90 | 439,20                      | 442,50                    | 1,787                         |
| 8     | 763289,77                  | 9814338,38 | 433,50                      | 435,50                    | 1,083                         |
| 9     | 763318,53                  | 9814458,38 | 443,00                      | 446,50                    | 1,895                         |
| 10    | 763493,32                  | 9814431,32 | 456,60                      | 461,10                    | 2,436                         |
| 11    | 762953,04                  | 9814505,81 | 417,00                      | 418,20                    | 0,650                         |
| 12    | 763461,16                  | 9814287,83 | 434,90                      | 437,70                    | 1,516                         |
| 13    | 762965,73                  | 9814269,28 | 433,20                      | 434,90                    | 0,920                         |
| 14    | 763153,15                  | 9814309,89 | 425,80                      | 427,40                    | 0,866                         |

**Fuente:** Autor (2021).

Una vez realizado el análisis se pudo determinar que el valor más alto dentro de 14 puntos de monitoreo de MPS, corresponde al **punto 6** (etapa 1) con un valor de 2,978 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) mientras que el valor más bajo lo presentó el **punto 2** (etapa 2) con 0,135 (mg/cm<sup>2</sup>/mes).

#### 4.2.1. Comparación de valores según la OMS y el TULSMA

**Tabla 7.** Comparación de valores de MPS según la OMS.

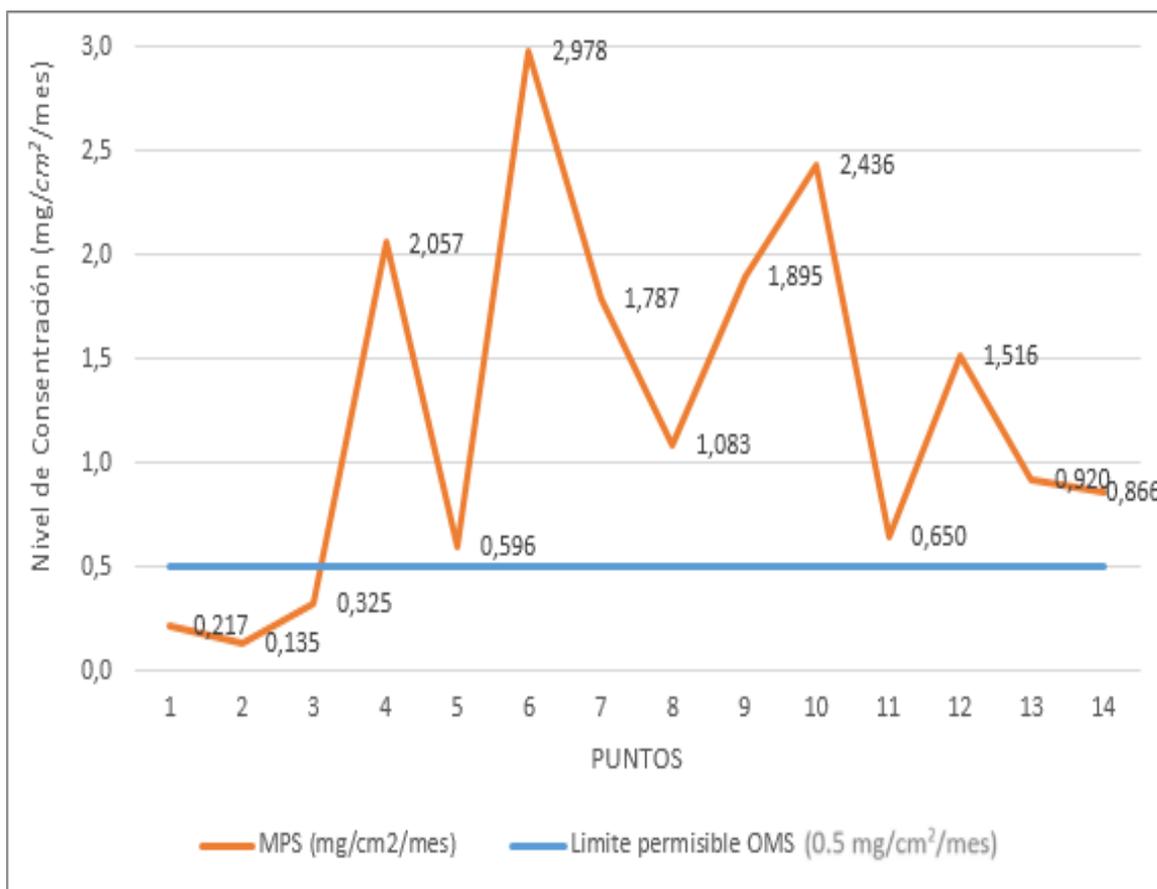
| Punto | MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) | Límite permisible según la OMS | Cumple (Si/No) |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| 1     | 0,217                         |                                | Si             |
| 2     | 0,135                         |                                | Si             |
| 3     | 0,325                         |                                | Si             |
| 4     | 2,057                         |                                | No             |
| 5     | 0,596                         |                                | No             |
| 6     | 2,978                         |                                | No             |
| 7     | 1,787                         | 0,5 (mg/cm <sup>2</sup> /mes)  | No             |
| 8     | 1,083                         |                                | No             |
| 9     | 1,895                         |                                | No             |
| 10    | 2,436                         |                                | No             |
| 11    | 0,650                         |                                | No             |
| 12    | 1,516                         |                                | No             |
| 13    | 0,920                         |                                | No             |
| 14    | 0,866                         |                                | No             |

**Fuente:** Autor (2021).

En la Tabla 7 se muestra la comparación de los datos a partir de la (Tabla 6) de acuerdo con los LMP según la OMS de MPS.

Con referencia a los valores expuestos se pudo identificar que el **punto 1** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Caracas presentó un valor de 0,217 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), el **punto 2** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Santa Martha con 0,135 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) y el **punto 3** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Bogotá con 0,325 (mg/cm<sup>2</sup>/mes).

Estos puntos son los únicos que están dentro de los límites permisibles establecidos por la OMS (0,5 mg/cm<sup>2</sup>/mes), mientras que los 11 restantes se encuentran por encima de los límites permisibles establecidos por la OMS (Figura 3). Este ligero incremento obedece a la variedad de actividades industriales que se llevan a cabo en el Parque Industrial.



**Figura 3.** Comparación de valores de MPS con LMP según la OMS.

**Fuente** Autor (2021)

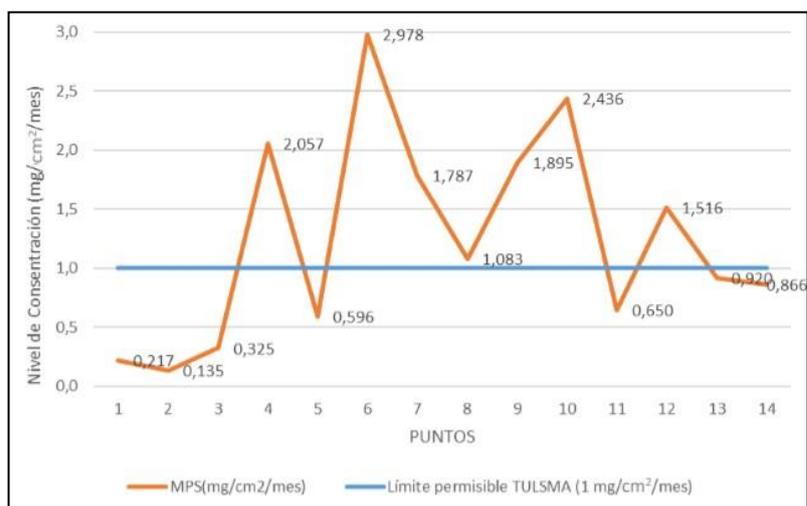
A continuación en la **Tabla 8**. Se muestra la comparación con la **Tabla 6**. De acuerdo con los límites permisibles por la normativa de calidad ambiental de Ecuador TULSMA.

**Tabla 8.** Comparación de valores de MPS según el TULSMA.

| Punto | MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) | Límite permisible según TULSMA | Cumple (Si/No) |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|
| 1     | 0,217                         |                                | Si             |
| 2     | 0,135                         |                                | Si             |
| 3     | 0,325                         |                                | Si             |
| 4     | 2,057                         |                                | No             |
| 5     | 0,596                         |                                | Si             |
| 6     | 2,978                         |                                | No             |
| 7     | 1,787                         | 1 (mg/cm <sup>2</sup> /mes)    | No             |
| 8     | 1,083                         |                                | No             |
| 9     | 1,895                         |                                | No             |
| 10    | 2,436                         |                                | No             |
| 11    | 0,650                         |                                | Si             |
| 12    | 1,516                         |                                | No             |
| 13    | 0,920                         |                                | Si             |
| 14    | 0,866                         |                                | Si             |

**Fuente:** Autor (2021).

Del mismo modo de acuerdo con los límites permisibles del TULSMA que es de 1 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) se puede establecer que únicamente se encuentran dentro de este rango los siguientes puntos: **punto 1** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Caracas con 0,217 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), el **punto 2** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Santa Martha con 0,135 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) **punto 3** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Bogotá con 0,325 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), **punto 5** ubicado en las calles Av. Edelberto Bonilla Oleas y Av. Celso Rodríguez 0,596 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), **punto 11** ubicado en las calles Av. La Paz y Av. Evangelino Calderón 0,650 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), **punto 13** ubicado en las calles Av. Celso Rodríguez 0,920 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) y **punto 14** ubicado en las calles Av. Antonio Santillán 0,866 (mg/cm<sup>2</sup>/mes). Mientras que los demás 7 puntos se encuentran fuera de los límites permisibles de MPS, pudiendo comparar de esta manera que sobrepasan su valor.



**Figura 4.** Comparación de valores de MPS con LMP según TULSMA  
Fuente Autor (2021).

Con los resultados comparados con la normativa de la OMS y el TULSMA se concluye que los puntos de mayor afectación son el punto 4, 6, 7, 8, 9, 10 y 12, ubicados en la etapa 1 del parque industrial, a excepción del punto 4 que está dentro de la etapa 2.

Por tanto, es necesario detallar las actividades que se realizan alrededor de dichas estaciones para conocer y entender con mayor claridad sus altos valores de concentración de MPS como se muestra en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Actividades de los puntos con mayor concentración de MPS.

| Puntos | Coordenadas UTM          | Actividad  | Concentración MPS (mg/cm <sup>2</sup> /mes) |
|--------|--------------------------|--|---|
| 4      | 763494,457    9814053,06 | Área afectada por industria dedicada a fabricación de cal. | 2,057                                       |

|    |            |            |  |       |
|----|------------|------------|--|-------|
| 6  | 763350,365 | 9814168,53 | Área afectada por industrias a sus alrededores como: calera, hormigoneras, etc.                  | 2,977 |
| 7  | 763658,774 | 9814232,91 | Área afectada por la fabricación de derivados de hormigones                                      | 1,786 |
| 8  | 763289,778 | 9814338,38 | Área afectada por el procesado de granalla mineral, y la trituración de piedra natural (mármol). | 1,082 |
| 9  | 763318,531 | 9814458,38 | Área afectada por aserraderos.   | 1,894 |
| 10 | 763493,326 | 9814431,32 | Área afectada por aserraderos e industrias a sus alrededores.                                    | 2,436 |
| 12 | 763461,167 | 9814287,83 | Área afectada por industrias a sus alrededores como aserraderos, y marmoleras.                   | 1,515 |

Fuente: Autor (2021).

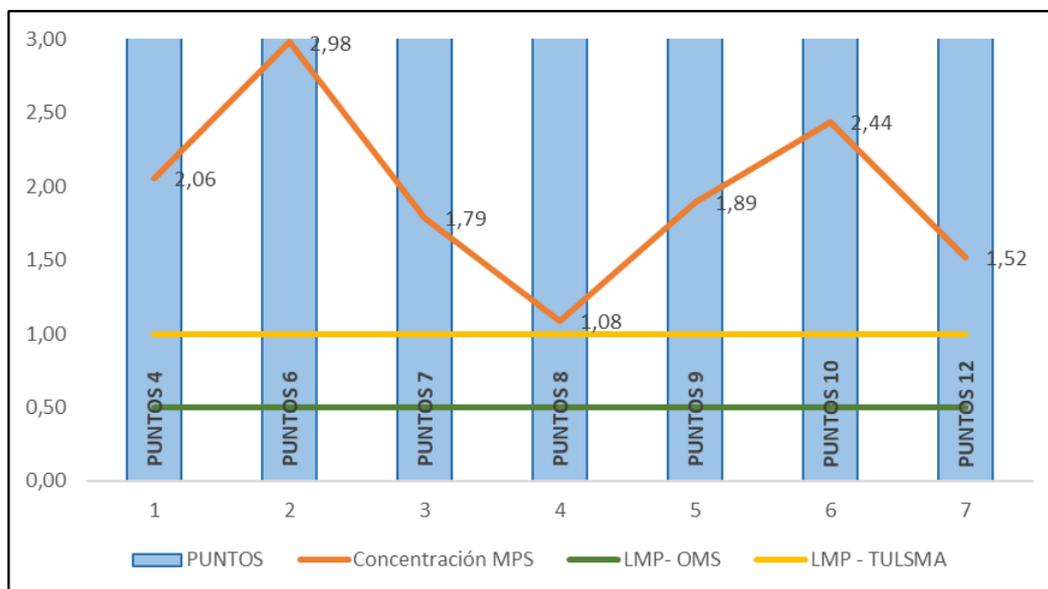


Figura 5. Concentración de MPS de los puntos que superan LMP de OMS y TULSMA

Fuente: Autor (2021).

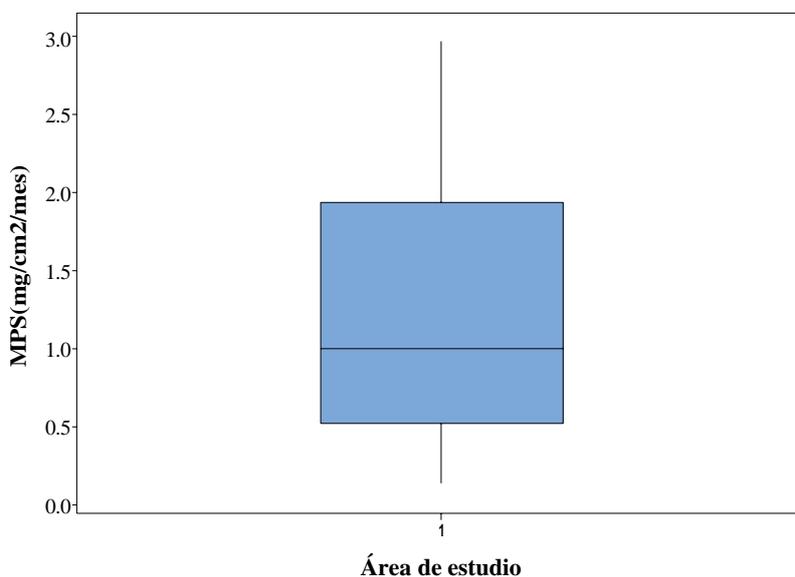
#### 4.2.2. Análisis estadístico de concentración de MPS

La concentración media de PMS registrada en el área de estudio, así como los valores del error, desviación estándar y varianza se muestran en la **Tabla 10**. El análisis estadístico descriptivo de PMS obtenido en las 14 estaciones de monitoreo mostro una media de 1,247; con una desviación estándar de 0,880; un valor mínimo de 0,135 y un valor máximo de 2,978. En el área de estudio podemos notar que los factores que aporta al incremento de la contaminación atmosférica de PMS se deben a las diferentes actividades que realizan las empresas además de la dirección y velocidad del viento hacia el noroeste donde se reflejan los puntos con los valores más altos.

**Tabla 10.** Estadística descriptiva de PMS en el Parque Industrial de Riobamba.

| Área de estudio   | N  | Media | Error estándar $\bar{X}$ | SD    | Varianza | Coef Var | Mínimo | Máximo |
|-------------------|----|-------|--------------------------|-------|----------|----------|--------|--------|
| Parque Industrial | 14 | 1,247 | 0,235                    | 0,880 | 0,774    | 70,53    | 0,135  | 2,978  |

La **figura 6** muestra el valor medio e intervalo de confianza del 95% para la concentración de MPS encontradas a partir de las mediciones gravimétricas, en las áreas de estudio. Este valor corresponde al monitoreo a través de las estaciones durante 30 días. Los valores muestran diferencias en cuanto a su contenido, el cual está asociado con las industrias aledañas que generan en su producción, contaminantes como fabricación de cal, procesado de granalla mineral, trituración de piedra natural (mármol), etc.

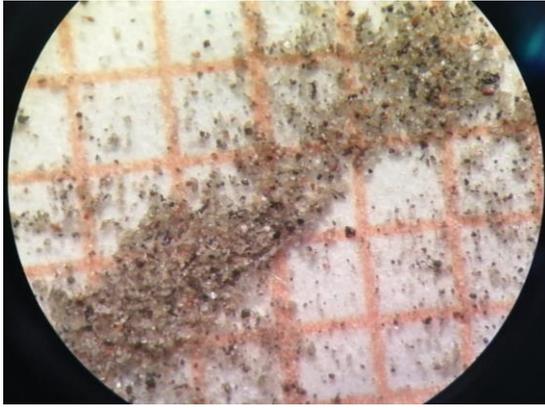


**Figura 6.** Mediciones gravimétricas para la concentración de PMS.

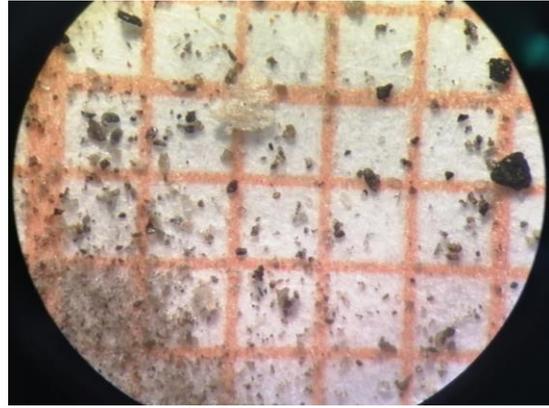
**Fuente:** Autor (2021).

#### **4.2.3. Análisis cualitativo y caracterización morfológica del MPS**

Para realizar la caracterización morfológica de MPS y conocer la forma y tamaño de las partículas sedimentadas en cada uno de 14 puntos de monitoreo, se utilizó el microscopio óptico, donde se obtuvo imágenes de 100x, 40x, 10x, y 4x.



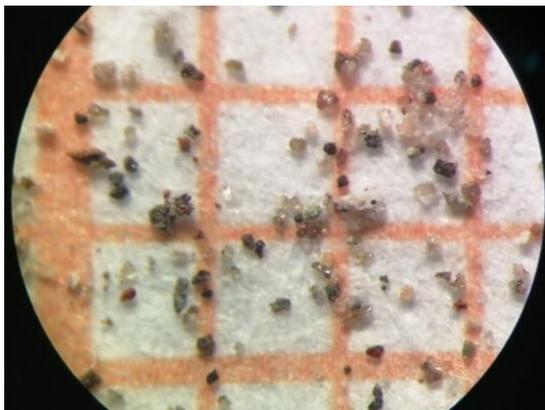
**Figura 7.** MPS Punto 1.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Figura 8.** MPS Punto 1.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las Figuras 7 y 8 representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 1**, en donde se puede evidenciar partículas ultrafinas que abarca medidas menores a  $1 \mu\text{m}$ , con rastros de virutas de madera que se generan debido a la actividad productiva de algunas de las industrias cercanas. Sus valores de concentración son bajos debido a que este sector se encuentra en gran parte urbanizado y con poca presencia de empresas en actividad.

Este material microscópico no es percibido a simple vista pero en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio se encuentra dentro de los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



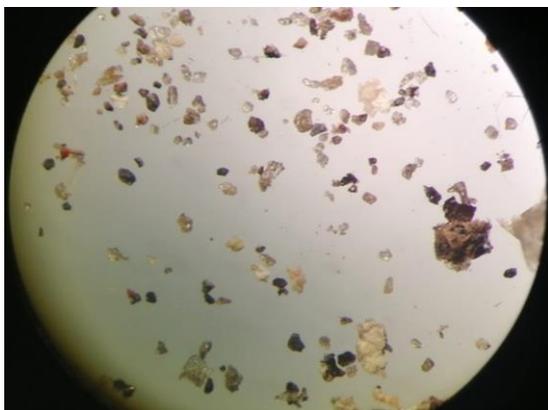
**Figura 9.** MPS Punto 2.  
**Fuente:** Autor (2021).



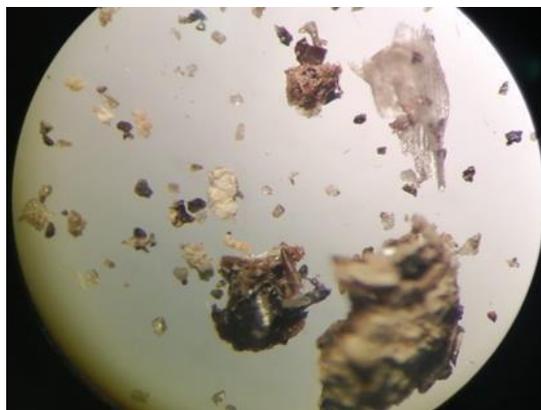
**Figura 10.** MPS Punto 2.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las Figuras 9 y 10 representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 2**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$ . Estos rastros pueden provenir del asfalto que se levanta de los automóviles que llegan con frecuencia al lugar, debido a que es una estación de servicio. Los valores de concentración son bajos ya que hay una mínima presencia de empresas en actividad. Este material microscópico es

percibido a simple vista, y en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio se encuentra dentro de los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.

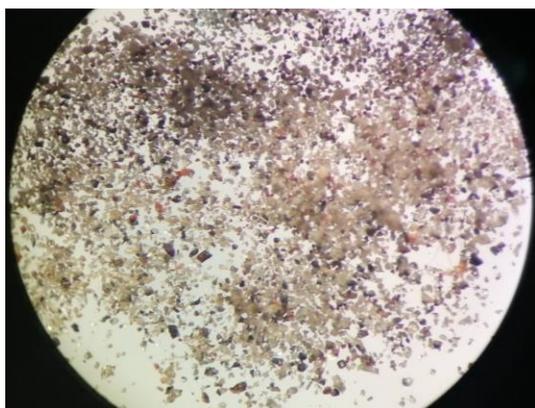


**Figura 11.** MPS Punto 3.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Figura 12.** MPS Punto 3.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las Figuras 11 y 12 representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 3**, en donde se puede evidenciar partículas finas y gruesas con diámetro aerodinámico que se encuentra entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$ . Estos rastros pueden provenir del asfalto que se levanta de los automóviles que transitan cerca del área de estudio. Los valores de concentración son bajos ya que hay una mínima presencia de empresas en actividad. Este material microscópico es percibido a simple vista, y en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. Están dentro de los límites permisibles (OMS y el TULSMA).



**Figura 13.** MPS Punto 4.  
**Fuente:** Autor (2021).

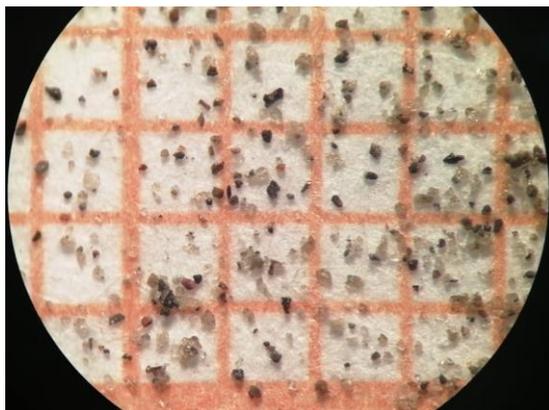


**Figura 14.** MPS Punto 4.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 13 y 14** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 4**, en donde se puede evidenciar partículas ultrafinas que abarca medidas menores a 1  $\mu\text{m}$  y finas con diámetro aerodinámico menor a 2.5  $\mu\text{m}$  con una cantidad representativa. Estos rastros pueden provenir de las empresas cercanas al área de estudio, con actividades como caleras,

mecánicas etc. Los valores de concentración son altos debido a que existe mayor número de empresas en actividad a sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



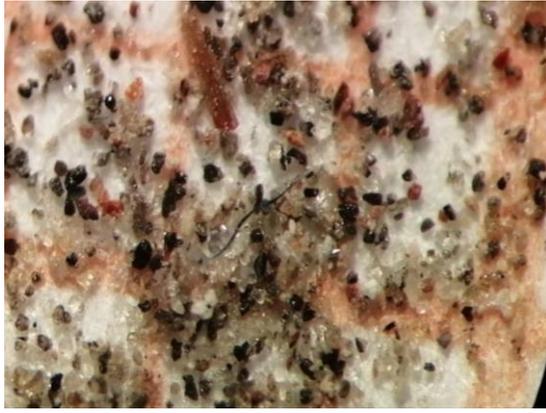
**Figura 15.** MPS Punto 5.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Figura 16.** MPS Punto 5.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 15 y 16** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 5**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  con una cantidad representativa. Estos rastros pueden provenir de las empresas cercanas al área de estudio, con actividades como caleras, mecánicas etc., en este punto en mayor medida la afluencia de vehículos al tratarse de ser una estación de servicio. Los valores de concentración son medios debido a que existe mayor número de empresas en actividad a sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles del TULSMA.

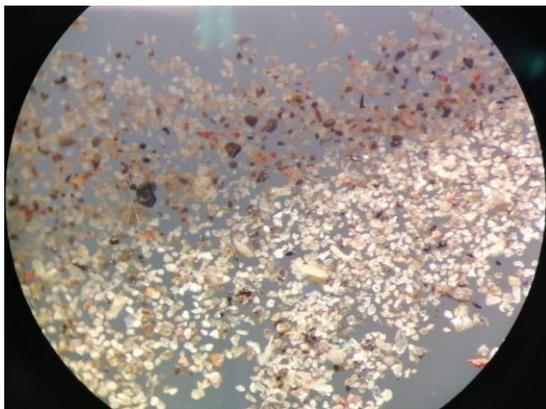


**Figura 17.** MPS Punto 6.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Figura 18.** MPS Punto 6.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 17 y 18** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 6**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  y gruesas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre  $2.5$  y  $10 \mu\text{m}$ , con una cantidad representativa de PM. Este es uno de los valores más altos encontrados en la investigación y sus rastros pueden provenir de las empresas que están a su alrededor, con actividades como caleras, mecánicas, hormigoneras, procesado de granalla mineral, trituración de piedra natural (mármol), y aserraderos. Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



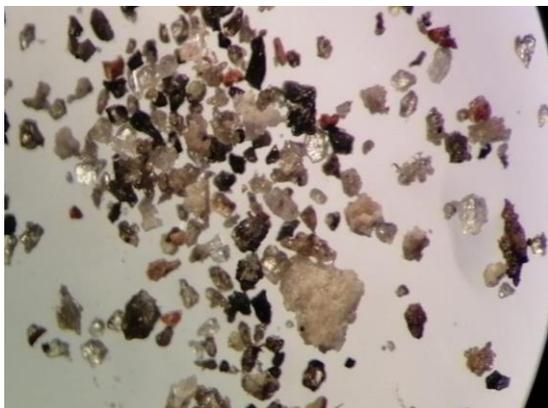
**Figura 19.** MPS Punto 7.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Figura 20.** MPS Punto 7.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 19 y 20** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 7**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  con una cantidad representativa. Estos rastros pueden provenir de las empresas cercanas al área de estudio en especial hormigoneras, además existe mayor afluencia de vehículos debido a la zona céntrica donde se encuentra. Los valores de concentración son altos debido a que existe

mayor número de empresas en actividad a sus alrededores. Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



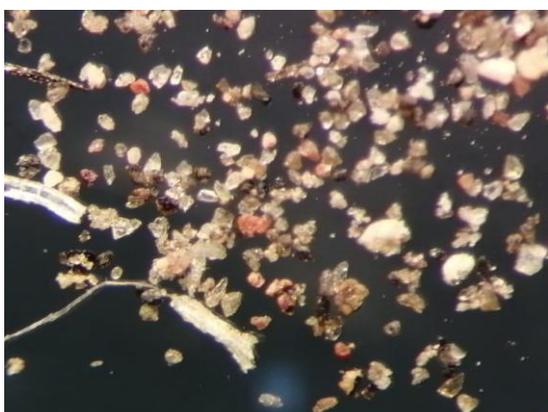
**Figura 21.** MPS Punto 8.  
**Fuente:** Autor (2021).



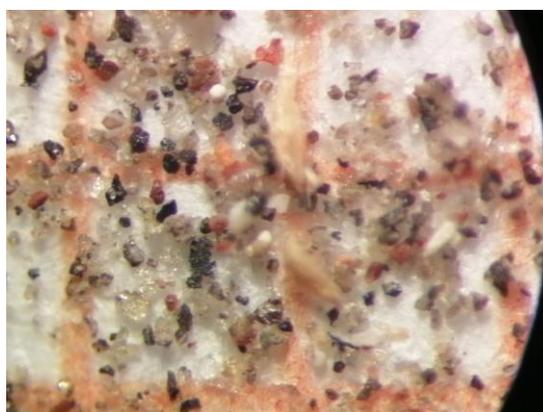
**Figura 22.** MPS Punto 8.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 21 y 22** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 8**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  y gruesas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre  $2.5$  y  $10 \mu\text{m}$  con una cantidad representativa. Estos rastros pueden provenir de la actividad que se da en este punto como la trituración de piedra natural, como se observa en las imágenes el tamaño de los minerales naturales encontrados. Los valores de concentración son medios debido a que existen empresas en actividad a sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



**Figura 23.** MPS Punto 9.  
**Fuente:** Autor (2021).

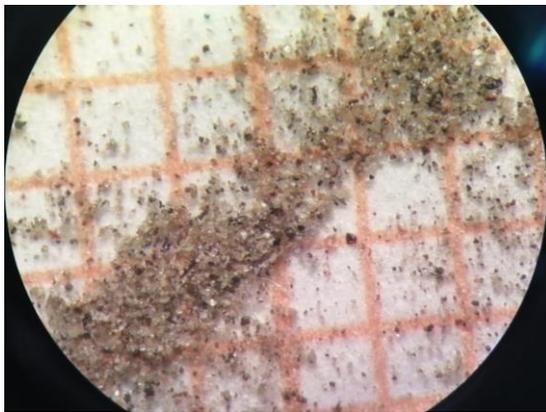


**Figura 24.** MPS Punto 9.  
**Fuente:** Autor (2021).

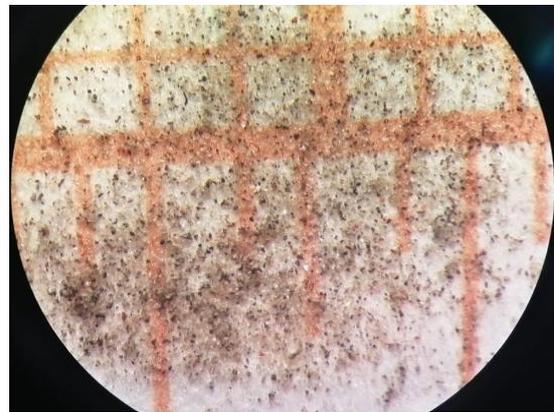
Las **Figuras 23 y 24** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 9**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5\ \mu\text{m}$  con una cantidad representativa.

Estos rastros pueden provenir de la actividad que se da en este punto con la manipulación de madera, como se observa en las imágenes rastros de virutas de madera. Los valores de concentración son altos debido a que existen empresas en actividad a sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



**Figura 25.** MPS Punto 10.  
**Fuente:** Autor (2021).

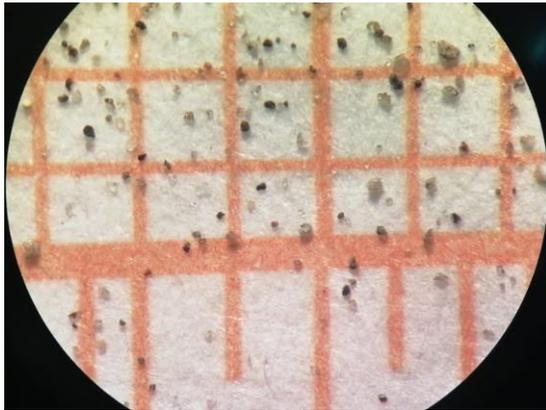


**Figura 26.** MPS Punto 10.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 25 y 26** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 10**, en donde se puede evidenciar partículas ultrafinas que abarca medidas menores a  $1\ \mu\text{m}$ , con una cantidad representativa.

Estos rastros pueden provenir de la actividad que se da alrededor de este punto, se observa en las imágenes rastros de virutas de madera y acumulación de PM, sus niveles de concentración son altos y debido a la dirección del viento es arrastrado con mayor facilidad a esa zona de estudio.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.



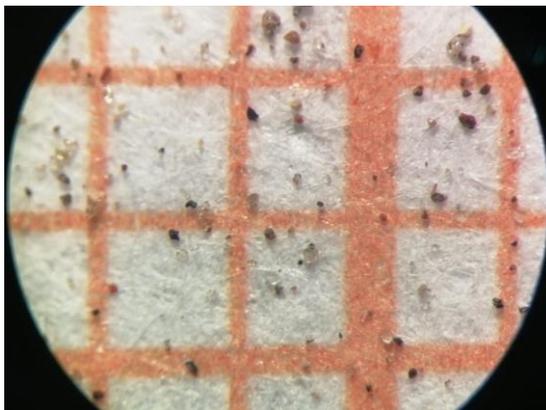
**Figura 27.** MPS Punto 11.  
**Fuente:** Autor (2021).



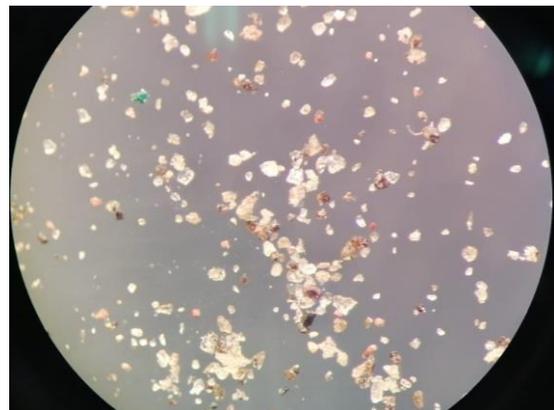
**Figura 28.** MPS Punto 11.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 27 y 28** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 11**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  en pequeñas cantidades. Existe rastro de partículas en menor cantidad debido que este punto se encuentra alejado de las empresas en actividad. Los valores de concentración son medios.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles del TULSMA.



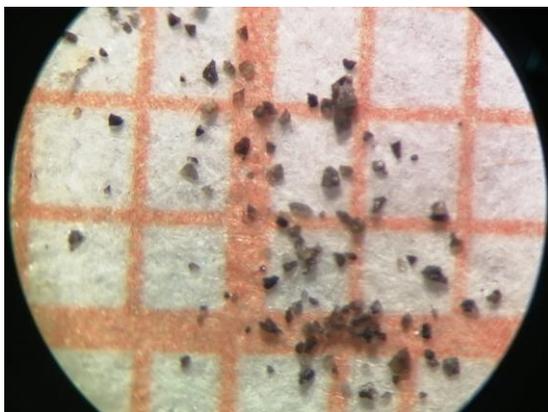
**Figura 29.** MPS Punto 12.  
**Fuente:** Autor (2021).



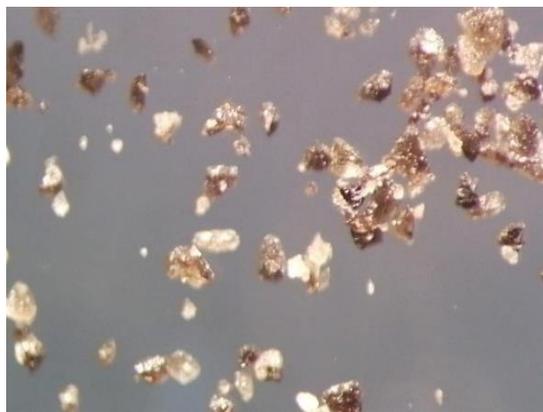
**Figura 30.** MPS Punto 12.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 29 y 30** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 12**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  con una cantidad representativa. Estos rastros pueden provenir de las empresas cercanas al área de estudio, con actividades como caleras, mecánicas etc., Los valores de concentración son altos debido a que existe mayor número de empresas en actividad a sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles del TULSMA.



**Figura 31.** MPS Punto 13.  
**Fuente:** Autor (2021).



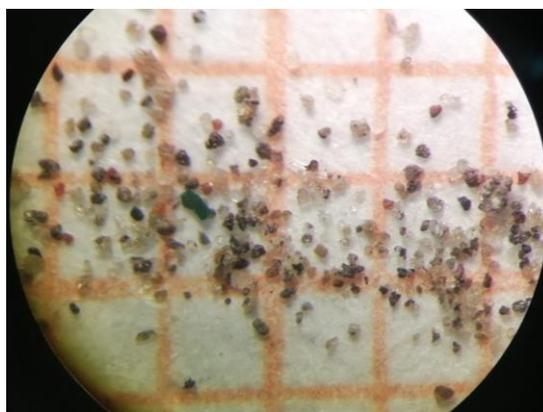
**Figura 32.** MPS Punto 13.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 31 y 32** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 13**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a  $2.5 \mu\text{m}$  y gruesas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre  $2.5$  y  $10 \mu\text{m}$  con una cantidad no muy elevada. Estos rastros pueden provenir de las empresas cercanas al área de estudio, y existe la afluencia de vehículos al tratarse de ser un centro médico.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles del TULSMA.



**Figura 33.** MPS Punto 14.  
**Fuente:** Autor (2021).

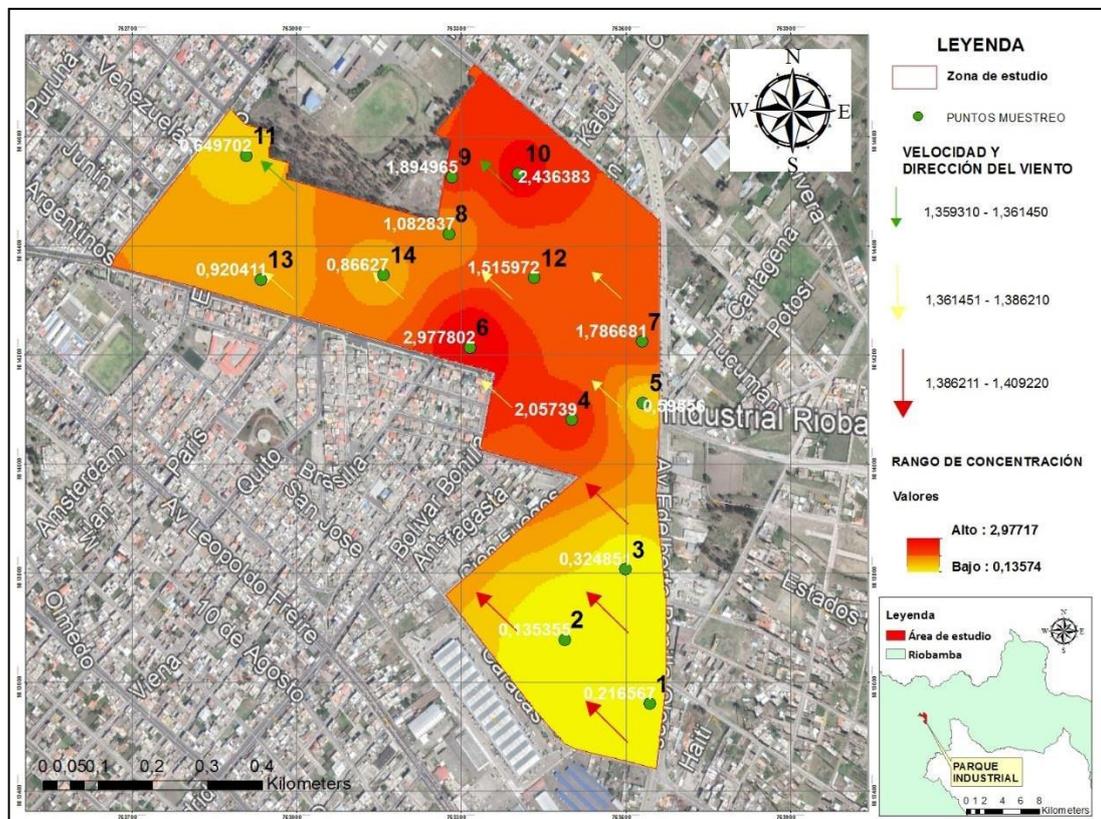


**Figura 34.** MPS Punto 14.  
**Fuente:** Autor (2021).

Las **Figuras 33 y 34** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 14**, en donde se puede evidenciar partículas finas con diámetro aerodinámico menor a 2.5  $\mu\text{m}$ . Estos rastros pueden provenir de la actividad de las empresas cercanas a esta área de estudio, y sus valores de concentración son medios. Este material microscópico es percibido a simple vista, y en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio se encuentra dentro de los límites permisibles expuestos por la OMS y el TULSMA.

### 4.3. Simulación de dispersión de MPS

El mapa temático de PMS generado mediante Sistemas de Información Geográfica, del parque Industrial de la ciudad de Riobamba, se apoyó en las variables de velocidad y dirección del viento obtenidas de las cuatro estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio: (a) estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH); (b) estación meteorológica de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH); (c) estación meteorológica del Departamento de Aviación Civil (DAC), y (d) estación meteorológica de Tunshi.



**Figura 35.** Mapa de concentración y dispersión de PMS en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba

**Fuente:** Autor (2021).

Como se observa en la **Figura 35** la dirección del viento en el periodo abril-mayo fue en sentido noroeste, y los rangos de concentración se muestran en intervalos de colores. El color amarillo refiere los valores más bajos en los puntos 3, 1, 2, esto se debe a que en ese sector hay menor número de industrias, ya que se han trasladado a otros lugares. El color naranja son valores medios en los puntos 8, 13, 14, 11, 5, con empresas que no tienen actividades que generen cantidades de PM representativo como mecánicas, bloqueras, gasolineras etc. y el color rojo muestra los valores con más altos niveles de concentración en los puntos 6, 10, 4, 9, 7, 12. En este sector se encuentran las industrias que generan MPS en mayor cantidad debido a sus actividades de fabricación de cal, hormigón, procesado de granalla mineral, trituración de piedra natural, aserraderos, etc. En base a lo anterior podemos indicar que el valor más bajo se concentró en el **punto 2** con  $0,135 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  y el valor más alto se registró en el **punto 6** con  $2,978 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ . Esta última concentración es la que representa problemas significativos para las personas que laboran dentro de estas empresas; así como habitantes aledaños a las instalaciones del Parque Industrial.

## CONCLUSIONES

- Los valores de MPS detectados en el presente estudio, se pueden considerar como indicadores de las condiciones alarmantes de la calidad del aire en las zonas aledañas al Parque Industrial, debido a que fueron encontradas concentraciones superiores en los puntos de las estaciones 6, 10, 4, 9, 7, 12 a las establecidas por el TULSMA y valores recomendados por la OMS. Esto determina la necesidad de seguir con los monitoreos; así como la difusión de la información obtenida, para concientizar a la población.
- La caracterización morfológica de MPS, mostró partículas ultrafinas, finas y gruesas que abarcan medidas entre 2,5  $\mu\text{m}$ ; 10  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ , debido a actividades meteorológicas y antropogénicas con rastros de virutas de madera, partículas del asfalto, partículas de polvo etc., evidenciando con mayor claridad la forma y tamaño de las partículas que se generan constantemente dentro del área de estudio y de esta forma identificar cuáles son las actividades que pueden ocasionar mayor daño en la salud de la población cercana al área de estudio.
- La distribución espacial de MPS, permitió definir que los radios críticos de concentración de MPS se encuentran aproximadamente a 100 metros de los focos de emisión de contaminantes los cuales son las estaciones 10, 9, 6 y 4. Este radio de deposición, está condicionado por los mayores niveles de desplazamiento vehicular, vientos y sobre todo porque en las zonas no se produce emisiones de contaminantes en altura, sino que se producen las emisiones a pocos metros de la superficie.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer monitoreos en el área de estudio con mayor frecuencia para de esta manera poder determinar con mayor precisión el porcentaje de concentración de material particulado y las afectaciones que se dan en el sector en el transcurso de todo el año.
- Es importante que en estudios posteriores se realice el análisis de material particulado con otras metodologías para comparar datos y tener resultados más precisos para que las empresas puedan tener más precaución al realizar sus actividades.
- Es necesario utilizar equipos que soporten climas adversos debido a que en el proceso de investigación se tuvo problemas climáticos en cuanto a la caída de ceniza.
- Se recomienda que la universidad tenga convenios con las empresas del Parque Industrial de la ciudad de Riobamba para tener más acceso a la toma de muestras dentro de las mismas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. 0(5), 55–60.
- Alvarado, R., & Puyol, D. (2020). Estudio Comparativo de Material Particulado sedimentable y volátil, de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del Cantón Riobamba. 60.
- Alvis, E. (2012). Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos carboníferos del departamento del César. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Andi, J., & Vega, R. (2019). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi cantón Riobamba por incidencia industrial (Vol. 1, Issue 1). [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspensas Totales Y Fracción Respirable Pm10. 34, 195–213. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de material particulado (pm 10 ), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. 16, 43–54. <file:///C:/Users/Esteban-PC/Downloads/Dialnet-DispersionDeMaterialParticuladoPM10ConInterrelacio-6096112.pdf>
- Arroyave, M. D. P., Posada, M., Nowak, D., & Hoehn, R. (2018). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5–16. <https://doi.org/10.14483/2256201x.13695>
- Bayas, K. (2017). Distribución Espacial y Multitemporal de Material Particulado, en los Campus Universitarios de la Unach de la Ciudad de Riobamba. 1–14.
- Blanco, L., Galende, N., Fraile, J., Ganges, A., Ruíz, C., Sánchez, R., Salamanca, C., & Gallegos, P. (2019). Efecto de la lluvia ácida sobre la germinación y el crecimiento de las plantas. *Journal of Japanese Association for an Inclusive Society*, 21(2), 79–82. [https://doi.org/10.18975/jais.21.2\\_27](https://doi.org/10.18975/jais.21.2_27)
- Bravo, Luis. (2013). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo. 1(5), 1–127.
- Castognaso, G., Balbi, K., Giuliani, D., Porta, A., & Massolo, L. (2017). Herramientas de Gestión: Relación entre concentraciones de material particulado fracción gruesa (MP 10 )y material particulado en fracción fina (MP 2.5 ) en calidad de aire. IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico de La Provincia de Buenos Aires (CONCYT)(Bernal, 1º de Septiembre de 2017).
- Castro, P., Cifuentes, L., Verdejo, H., Sepúlveda, L., Vukasovic, J., & Llevaneras, S. (2010). Polución por material particulado fino (2,5) incrementa las hospitalizaciones por insuficiencia cardiaca. 29, 306–314.
- COMISIÓN EUROPEA. (2010). Prevención y Control Integrados de la Contaminación la industria de fabricación de cemento , cal y óxido de magnesio.
- Conde, M., Sierra, J., Sánchez, S., & Ruíz, C. (2013). Ideas alternativas sobre cambio

- climatico, adelgazamiento de la capa de ozono y lluvia ácida de un grupo de alumnos de centros de enseñanza permanente de adultos. IX Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica De Las Ciencias, 9–12.
- Decreto Ejecutivo 3516. (2018). Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente. registro oficial de 31-mar-2003, última modificación 23-NOV-2018, 282–288.
- FUNDACIÓN NATURA. (2009). El programa calidad del aire Ecuador: Una utopía hecha realidad (Acciones, resultados, efectos y aprendizajes 1999-2009). Quito, 2009. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Garreaud, R., & Rutllant, J. (2006). Factores meteorológicos de la contaminación atmosférica en Santiago. 53(9), 1689–1699. [www.journal.uta45jakarta.ac.id](http://www.journal.uta45jakarta.ac.id)
- Huatuco, M., & Valderrama, A. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. Centro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF), 14. [https://guzlop-editoras.com/web\\_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf](https://guzlop-editoras.com/web_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf)
- INAMHI. (2019). Anuario Climatológico 2019.
- Jerves, R., & Armijos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. 23(1), 25–34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>
- Lara, C. (2018). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la Esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Lozano, M. J. (2020). Senna siamea (Kassod) como barrera protectora de material particulado sedimentable, en la avenida Francisco de Orellana, las orquídeas Guayaquil. In Universidad Agraria del Ecuador.
- MAE. (2002). Norma de concentraciones de emisión al aire desde fuentes fijas de combustión. 1–43.
- Minitab, 17. (2013). Getting Started with Minitab 17. In Minitab Inc.
- Negral, L. (2010). Variabilidad de niveles y composición del material particulado en suspensión en el Sudeste de la Península Ibérica. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-60984-5.00062-7>
- Núñez, Y. (2019). Estimación de fuentes de material particulado atmosférico (pm 10 y pm 2.5) en la ciudad de Barranquilla, Colombia.
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. 1–21. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf;jsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1)
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. 16–25.
- Palacios, E., & Espinoza, C. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador, 2009-2013. posibles efectos en la salud. artículo Ecuador, 32(2), 1–127.
- Patricio, S., Marco, R., Orozco, J., Iván, R., & Bayas, K. (2021). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinerгия*, 4(X), 16.

- Peña, S. (2018). Impacto de la Contaminación Atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Revista Científica de La Universidad de Cienfuego*, 10(2), 285–288.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*.
- Sánchez, M., Martín, R., & Villalobos, E. (2019). Impacto de la contaminación ambiental en los ingresos hospitalarios pediátricos: estudio ecológico. *Pediatría Atención Primaria*, 21(81), 21–29. <https://doi.org/10.4321/s1139-76322019000100003>
- Sanchis, L. (2016). *Caracterización física de las fracciones másicas que constituyen el aerosol atmosférico en la Universidad Miguel Hernández*. 2015–2016.
- Santillán, G., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2, 32–39.
- SEMARNAT. (2011). *Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas*. x, 13–32.
- Suárez, S., & Molina, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 357–363.
- Tenorio, K. (2019). Incidencia del Parque Industrial del Cantón Esmeraldas en la ciudadela “La Florida” mediante el análisis de material particulado sedimentable. 57. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. *Revista Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>
- Vargas, C. (2011). Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) del material particulado sobre la salud humana. 1–37.
- Villacrés, M. (2015). “Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de ambato relacionada con el material particulado sedimentable.”
- Zapata, E. (2015). Análisis ambiental descriptivo de patologías respiratorias y contaminación del aire por material particulado respirable (pm10) en la localidad de Fontibón, Bogotá D.C. 1, 14.

## ANEXOS



**Fotografía 1.** Preparación y reparación de equipos de muestreo.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 2.** Preparación y reparación de equipos de muestreo.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 3.** Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 4.** Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 5.** Instalación de estaciones de material particulado sedimentable.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 6.** Instalación de estaciones de material particulado sedimentable.  
**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 7.** Pesaje de las muestras tomadas.

**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 8.** Secado de muestras tomadas posterior a los 30 días.

**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 9.** Pesaje de las muestras tomadas.

**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 10.** Pesaje de las muestras tomadas.

**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 11.** Análisis microscópico de material particulado.

**Fuente:** Autor (2021).



**Fotografía 12.** Análisis microscópico de material particulado.

**Fuente:** Autor (2021).