



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

“Determinación de la concentración de material particulado sedimentable, en el parque industrial Santa Rosa, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua”

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

**Autor:**

Masaquiza Caizabanda, Lisbeth Daisy

**Tutor:**

MgSc. Guido Patricio Santillán Lima

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda, con cédula de ciudadanía 205001429-5, autora del trabajo de investigación titulado: “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE, EN EL PARQUE INDUSTRIAL SANTA ROSA CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

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

En Riobamba, el 15 de octubre del 2024.



---

Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda

C.I: 205001295

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, MsC. Guido Patricio Santillán Lima catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE, EN EL PARQUE INDUSTRIAL SANTA ROSA, CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” bajo la autoría de Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 11 días del mes de septiembre de 2024



MsC. Guido Patricio Santillán Lima

C.I:0602780777

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE, EN EL PARQUE INDUSTRIAL SANTA ROSA, CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” por Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda, con cédula de identidad número 205001429-5, bajo la tutoría de MsC.GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba el 15 de octubre del 2024.

Marco Marcel Paredes Herrera, MgS.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma

Silvia Torres Rodríguez, PhD.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma

Carla Silva Padilla. /MgS.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Firma



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.17  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

# CERTIFICACIÓN

Que, **Masaquiza Caizabanda Lisbeth Daisy** con CC: **2050014295**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **”Determinación de la Concentración de Material Particulado Sedimentable, en el Parque Industrial Santa Rosa Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua”**, cumple con el **10%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 07 de octubre de 2024

  
Mgs. Guido Patricio Santillán Lima  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación se lo dedico a Dios y a mis pilares fundamentales de mi vida que son mis padres, Pedro y Rosario quienes me brindaron su apoyo incondicional, quienes me han acompañado en momentos difíciles de mi vida y nunca dejaron que me rinda y me motivaron día a día seguir adelante en los estudios y en mi vida personal.

A mis hermanas, Diana, Sulay por ser soporte emocional en mi vida, por demostrarme siempre su cariño y preocupación a pesar de la distancia sus consejos me ayudaron a mantenerme en pie en todo momento alentándome desde el inicio de la carrera.

**Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud, sabiduría y por guiarme por un buen camino, a mi familia porque ellos son mi motivo para seguir adelante, a mis padres por haberme inculcado buenos valores y brindarme el privilegio de formarme como profesional y hacer de mí una mujer íntegra

Agradezco a todos mis docentes de la carrera de ingeniería ambiental por los conocimientos y la formación impartida.

**Lisbeth Daisy Masaquiza Caizabanda**

## **INDICE GENERAL**

DECLARATORIA DE AUTORIA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
INDICE GENERAL.....	
INDICE DE TABLAS.....	
INDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I.....	13
1.1 Introducción .....	13
1.2 Planteamiento del Problema.....	14
1.3 Justificación .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	16
1.4.1 Objetivo general:.....	16
1.4.2 Objetivos específicos:.....	16
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1 Contaminación del aire .....	17
2.2 Material particulado.....	17
2.2.1 Características de material particulado.....	17
2.2.2 Clasificación del material particulado .....	18
2.2.3 Material Particulado Sedimentable .....	19
2.3 Factores que influyen en el transporte y dispersión de contaminantes.....	19
2.4 Efectos adversos a la salud del Material Particulado .....	20
2.5 Efectos Ambientales .....	21
2.6 Estándares de calidad del Aire .....	21

CAPITULO III. METODOLOGÍA .....	23
3.1. Tipo de Estudio .....	23
3.2. Área de Estudio .....	23
3.3. Puntos de Muestreo .....	24
3.4. Monitoreo del Material Particulado Sedimentable.....	25
3.5. Análisis Morfológico y Molecular del MPS .....	25
3.6. Análisis Geoestadístico del Material Particulado Sedimentable.....	26
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	27
4.1 Puntos de monitoreo e identificación de las actividades antrópicas .....	27
4.2 Identificación de las actividades antrópicas.....	29
4.3 Concentración de MPS en el parque industrial Santa Rosa.....	29
4.4 Comparación de los limites permisibles de la OMS y Acuerdo Ministerial 097-A....	31
4.5 Análisis molecular del material particulado sedimentable .....	33
4.5.1 Caracterización morfológica de los MPS de las actividades antrópicas .....	33
4.5.2 Caracterización Química.....	35
4.5.3 Descripción morfológica.....	36
4.6 Análisis Geoestadístico de Concentración.....	39
4.7 Dispersión de MPS .....	42
4.8 Discusión.....	43
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
5.1 Conclusiones .....	45
5.2 Recomendaciones.....	46
6. BIBLIOGRAFIA.....	47
7. ANEXOS .....	51

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Parámetros establecidos por la OMS .....	22
<b>Tabla 2</b> Coordenadas geográficas de las estaciones fijas de monitoreo.....	28
<b>Tabla 3</b> Valores del papel filtro.....	30
<b>Tabla 4</b> Concentraciones del material particulado sedimentable .....	30
<b>Tabla 5</b> Concentraciones de los LMP de la OMS y ACUERDO MINISTERIAL 097-A.....	31

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Distribución de las partículas según su diámetro .....	19
<b>Figura 2</b> Área de estudio Parque Industrial Santa Rosa.....	24
<b>Figura 3</b> Puntos de muestreo Parque Industrial Santa Rosa.....	27
<b>Figura 4</b> Concentraciones de los LMP de la OMS y TULSMA .....	32
<b>Figura 5</b> Comparación morfológica de colores de la muestra 3 del MPS.....	33
<b>Figura 6</b> Comparación morfológica de colores de la muestra 5 del MPS.....	34
<b>Figura 7</b> Comparación morfológica de colores de la muestra 10 del MPS.....	34
<b>Figura 8</b> Composición química del MPS de la estación de monitoreo 4. ....	35
<b>Figura 9</b> Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 1mm .....	37
<b>Figura 10</b> Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 200 $\mu\text{m}$ .....	37
<b>Figura 11</b> Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 20 $\mu\text{m}$ .....	38
<b>Figura 12</b> Mapa de concentración del material particulado sedimentable (MPS) en el parque industrial Santa Rosa. ....	39
<b>Figura 13</b> Mapa de Velocidad del viento para el MPS .....	42

## Resumen

El Parque Industrial Santa Rosa, ubicado en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua, está experimentando un notable crecimiento industrial. Este aumento en la actividad industrial ha generado preocupaciones respecto a la calidad del aire, específicamente en relación con la concentración de material particulado sedimentable (MPS). Por lo tanto, esta investigación consiste en determinar la concentración del material particulado sedimentable en el Parque Industrial Santa Rosa, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Para ello, se establecieron estratégicamente 20 puntos de muestreo en toda el área de estudio, distribuidos uniformemente para abarcar los puntos de mayor impacto, ubicando las estaciones de monitoreo en función de la dirección del viento. Se utilizó el método pasivo gravimétrico para determinar la cantidad de material particulado sedimentable, este método consiste en colocar cajas Petri con papel filtro previamente secado, pesado y determinado su área en cada punto de muestreo en un periodo de 30 días (marzo – abril, 2024); para posteriormente realizar el análisis morfológico y molecular; además, se utilizó el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) para crear el mapa de dispersión de material particulado sedimentable mediante la herramienta de interpolación KRIGING, utilizando los datos de las concentraciones de MPS, velocidad y dirección del viento. Los resultados obtenidos indican que en los puntos de muestro 3 ( $0,6269 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ) ,4 ( $0,6053 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ) ,11 ( $0,6413 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ) Y 19 ( $0,8377 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ) presentan valores de concentración que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS ( $0,5 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ), mientras que la concentración mínima registrada fue el punto 6 ( $0,11 \text{ mg/cm}^2 / \text{mes}$ ), estando que todas las concentraciones se encuentran dentro del rango permitido del Acuerdo Ministerial 097-A. En lo que respecta al análisis morfológico y molecular de la muestra, indica que la partícula observada presenta formas irregulares y rectangulares; la composición química muestra la presencia de una variedad de elementos como: O, Si, Al, Na, Fe, Ca, K, Mg y Ba de origen antropogénico y natural, donde las principales fuentes de emisión son el tráfico vehicular, obras de construcción y actividades industriales. Por último, el estudio geoestadístico de MPS presenta una dispersión en sentido suroeste.

Palabras clave: Organización mundial de la Salud, Material particulado sedimentable, Velocidad del viento

## Abstract

The Santa Rosa Industrial Area, located in the Ambato Canton, Tungurahua Province, is experiencing remarkable industrial growth. This increase in industrial activity has raised concerns regarding air quality, specifically about the concentration of sedimentable particulate matter (SPM). Therefore, this research aims to determine the concentration of sedimentable particulate matter in the Santa Rosa Industrial Park, Ambato Canton, Tungurahua province. Twenty sampling points were strategically established throughout the study area, evenly distributed to cover the points of greatest impact; the monitoring stations were located based on the wind direction. The passive gravimetric method determined the amount of sedimentable particulate matter. This method consists of placing Petri dishes with previously dried filter paper, weighing and determining their area at each sampling point over a period of 30 days (March - April 2024) to carry out the morphological and molecular analysis subsequently. In addition, the Geographic Information System (GIS) software was used to create the dispersion map of sedimentable particulate matter using the KRIGING interpolation tool, which used data on MPS concentrations, wind speed, and direction. The results obtained indicate that sampling points 3 (0.6269 mg/cm<sup>2</sup> /month), 4 (0.6053 mg/cm<sup>2</sup> /month), 11 (0.6413 mg/cm<sup>2</sup> /month) and 19 (0.8377 mg/cm<sup>2</sup> /month) present concentration values that exceed the maximum permissible limits established by the WHO (0.5 mg/cm<sup>2</sup> /month), while the minimum concentration recorded was point 6 (0.11 mg/cm<sup>2</sup> /month), with all concentrations being within the permitted range of Ministerial Agreement 097-A. Regarding the morphological and molecular analysis of the sample, it indicates that the observed particle has irregular and rectangular shapes; the chemical composition shows the presence of a variety of elements such as O, Si, Al, Na, Fe, Ca, K, Mg and Ba of anthropogenic and natural origin, where the main sources of emission are vehicular traffic, construction works, and industrial activities. Finally, the geostatistical study of MPS shows a dispersion in a southwesterly direction.

**Keywords:** World Health Organization, Sedimentable particulate matter, Wind speed.



Reviewed by:  
Lic. Jenny Alexandra Freire Rivera  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0604235036

## CAPÍTULO I

### 1.1 Introducción

En la actualidad, nuestro planeta se ve envuelto en una densa capa de contaminación atmosférica, una problemática que se posiciona como uno de los mayores riesgos ambientales y que representa una grave amenaza para la salud de todos los seres vivos (Carrasco, 2021). El aire que respiramos se encuentra en peligro, en numerosas regiones, la contaminación ha superado los límites aceptables, debido a un desfase entre el crecimiento urbano e industrial y la implementación de políticas ambientales adecuadas (McNeill, 2019).

Esta situación crítica se ve agravada por la acción combinada de emisiones naturales y antropogénicas, así como por las transformaciones químicas que ocurren en la atmósfera (Andi, 2019). En relación con estos elementos que causan la contaminación atmosférica, se incluye el material particulado (PM), el cual consiste en una combinación de partículas sólidas y líquidas, generalmente derivadas de procesos tanto orgánicos como inorgánicos (Cobo & Arcos, 2016).

Este tipo de contaminación se distingue por la presencia en el aire de sustancias provenientes tanto de procesos naturales como, en su mayoría, de actividades humanas industrializadas, cuando no son adecuadamente gestionados, se dispersan en la atmósfera, deteriorando la calidad del aire (Ubilla & Yohannessen, 2017). Cuando estas partículas entran en contacto con el aire, provocan reacciones químicas que lo contaminan. Su naturaleza, en función de sus características físicas y químicas es compleja; estas características se las considera como factores críticos de toxicidad que intervienen en los diferentes niveles tróficos (Cevallos, 2018).

Este estudio tiene como objetivo determinar la concentración de material particulado sedimentable en el parque industrial Santa Rosa, perteneciente al Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. Para lograrlo, se identificarán los puntos de muestreo y se analizarán las propiedades morfológicas del material. Además, se llevará a cabo la dispersión de la concentración del material particulado sedimentable utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## 1.2 Planteamiento del Problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha destacado la grave amenaza que la contaminación del aire representa para la salud en las Américas, considerándola uno de los mayores riesgos ambientales, en 2019, se estimó que aproximadamente 6,7 millones de muertes prematuras fueron causadas por la contaminación del aire, tanto exterior como interior. Además, alrededor del 99% de la población mundial vive en áreas donde la calidad del aire no cumple con los estándares recomendados, poniendo en riesgo la salud de millones de personas (OPS, 2024).

En particular, las principales fuentes antropogénicas que aumentan la concentración de contaminantes atmosféricos incluyen la quema de biomasa, la generación de energía, la combustión industrial y el tráfico vehicular. Estas actividades liberan contaminantes como monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y PM (Lelieveld, Evans, Fnais, Giannadaki, & Pozzer, 2015).

En Ambato, al igual que en otras ciudades del Ecuador, el continuo crecimiento de la población ha llevado a una expansión de las actividades productivas. Esto ha resultado en un aumento de las emisiones de gases de combustión, las cuales se originan a partir de la quema de materiales combustibles. Estos procesos contribuyen al deterioro de la calidad del aire en la ciudad (Cevallos, 2018). El Parque Industrial Santa Rosa, ubicado en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua, está experimentando un notable crecimiento industrial. Este aumento en la actividad industrial ha generado preocupaciones respecto a la calidad del aire, específicamente en relación con la concentración de material particulado sedimentable (MPS).

Actualmente, existe una falta de información precisa y detallada sobre los niveles de MPS en el Parque Industrial Santa Rosa. Esta carencia de datos dificulta la implementación de medidas adecuadas para mitigar los efectos negativos de la contaminación del aire. Además, la identificación de los puntos críticos de muestreo y el análisis de las propiedades morfológicas del material particulado sedimentable son esenciales para comprender mejor las fuentes y el comportamiento de estos contaminantes.

### **1.3 Justificación**

El constante incremento de estas actividades ha llevado a una mayor preocupación por la calidad del aire, particularmente en relación con el MPS. La presencia de este material en el aire tiene efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para el medio ambiente. La inhalación de estas partículas puede causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares, mientras que su deposición en el suelo y cuerpos de agua puede afectar la biodiversidad y los ecosistemas locales.

En este marco dentro del norte del Ecuador estudios como el de Shiguango y Vega (2019) en Riobamba, resaltan la existencia de empresas que emiten material particulado sedimentable que sobrepasa los límites establecidos por la normativa ecuatoriana, así como para la ciudad de Ambato, Cevallos (2018) indica que existe una mayor cantidad de material particulado sedimentable en los sectores comerciales y con alta presencia de materiales y elementos químicos cuyo origen proviene de procesos en los cuales se genera polvo siendo arrastrado por el viento. A su vez, el GAD de Ambato menciona que, el índice de calidad de aire en ciertos momentos del año alcanza hasta un ICA de 493 que se ubica en un estado de Emergencia (GAD, 2023).

Con base en lo expuesto la información del cantón Ambato demuestra que, debido al crecimiento de la ciudad tanto en población como desarrollo de comercio e industrias, se requiere del monitoreo y calidad del aire. Esto para el parque industrial Santa Rosa, se convierte en una realidad, que debe valorarse para conocer e interpretar la situación referente a la contaminación, ya que, la evidencia de la presencia de material particulado sedimentable es notoria pero no está evaluada dentro de esta zona. Es así que con el presente estudio podrán tomarse acciones para mejorar la calidad de aire, que puede causar efectos serios en la salud que incluyen principalmente enfermedades cardíacas y pulmonares.

El conocimiento derivado de este estudio no solo beneficiará a la comunidad del Parque Industrial Santa Rosa y sus alrededores, sino que también servirá como referencia para otras áreas industriales del Ecuador. La mejora en la calidad del aire contribuirá a la salud y bienestar de la población, además de proteger el medio ambiente. Por lo tanto, este estudio es de gran importancia tanto a nivel local como nacional, proporcionando datos críticos para la formulación de políticas ambientales y de salud pública más efectivas.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general:**

Determinar la concentración de material particulado sedimentable, en el Parque Industrial Santa Rosa, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua

### **1.4.2 Objetivos específicos:**

- Determinar los puntos de muestreo en el área de estudio para el análisis de material particulado sedimentable en el Parque Industrial Santa Rosa.
- Analizar las propiedades morfológicas del material particulado sedimentable proveniente del área de estudio.
- Realizar la dispersión de la concentración de material particulado sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información geográfica (SIG).

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Contaminación del aire**

La contaminación del aire se refiere a la presencia de sustancias en la atmósfera que pueden resultar perjudiciales para los seres humanos, los animales, las plantas o los materiales (Kampa & Castanas, 2008). Los contaminantes tienen orígenes variados y pueden presentar diferentes propiedades según su composición, su origen y las circunstancias en las que fueron generados (Schraufnagel, et al., 2019).

Los principales mecanismos de contaminación del aire provienen de procesos industriales que implican combustión, tanto en fuentes fijas como móviles, liberando dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre, entre otros contaminantes. Además, ciertas industrias emiten gases dañinos durante sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han sufrido combustión completa (Rosser, et al., 2024).

### **2.2 Material particulado**

El material particulado, compuesto por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, tiene diversos orígenes: naturales, industriales y urbanos. Su composición física, química y meteorológica, así como su tamaño y forma, presentan gran variabilidad (Zanoletti, et al., 2020). Debido a su facilidad para ingresar al tracto respiratorio humano y ocasionar daños a la salud y al medio ambiente, el PM se considera uno de los principales contaminantes atmosféricos. Por ello, es fundamental evaluar sus concentraciones mediante métodos de monitoreo adecuados y que las autoridades ambientales tomen las medidas necesarias para su control (Zhang, Huang, Liu, Wang, & Chen, 2024).

#### **2.2.1 Características de material particulado**

Las variaciones en la densidad de las partículas se determinan mediante procesos de aglomeración; las partículas formadas por aglomeración suelen tener una densidad menor, ya que una proporción significativa de su volumen está compuesta por poros llenos de aire (Tang, Jia, Yang, Li, & Bo, 2023). Además, las partículas presentes en la atmósfera se clasifican típicamente en distintos rangos de tamaño, desde material sedimentable (partículas > 30 µg) hasta partículas suspendidas, las cuales se dividen comúnmente en PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, siendo estas

últimas partículas con diámetros inferiores a 10 y 2,5 micrómetros respectivamente ( $\mu\text{m}$  = milésima parte de un milímetro) (Díaz & Páez, 2006).

### 2.2.2 Clasificación del material particulado

Según Escudero (2017), las partículas sólidas son categorizadas según el método de su formación y su tamaño.

#### a) Clasificación según su formación

- **Primarias:** Son aquellas que se encuentran en el estado en que fueron emitidas inicialmente, como resultado de procesos físicos o químicos inherentes a la fuente emisora.
- **Secundarias:** son aquellas que se forman en la atmósfera a través de fenómenos de condensación, precipitación o reacciones químicas con otras sustancias presentes en ella.

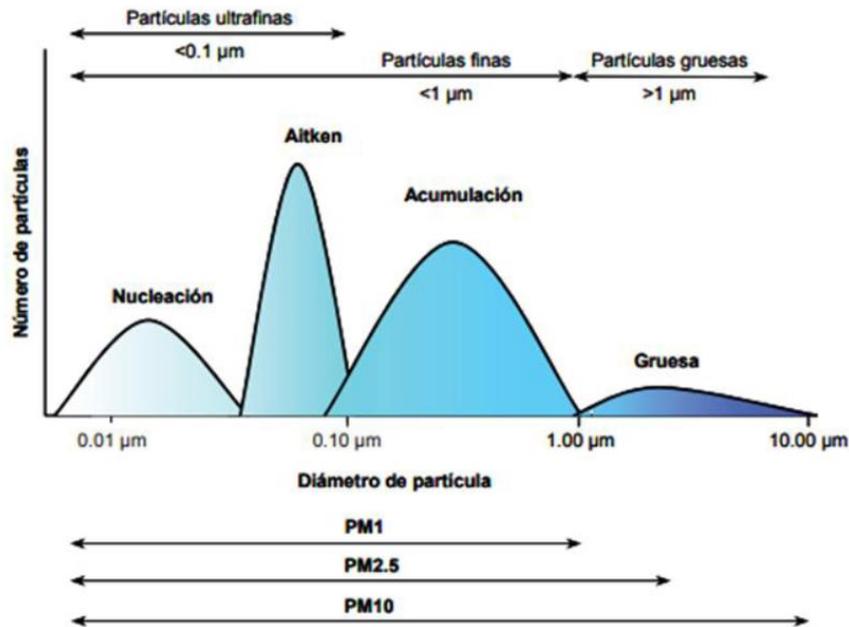
#### b) Clasificación según su tamaño

En la figura 1, se evidencia que el tamaño de las partículas es un factor crucial para entender su comportamiento y su impacto en el medio ambiente, así como en la salud humana. Esto se debe a que muchas de las características de las partículas están estrechamente relacionadas con su tamaño. Es importante destacar que el tamaño de las partículas puede variar considerablemente, desde dimensiones nanométricas ( $0,1\mu\text{m}$ ) hasta tamaños más grandes, superiores a  $100\mu\text{m}$  (Arciniegas, 2012).

De este modo, se clasifican en diferentes categorías: las partículas finas, que tienen un diámetro aerodinámico menor de  $2,5\mu\text{m}$ ; las partículas gruesas, que abarcan un rango de diámetros entre  $2,5\mu\text{m}$  y  $10\mu\text{m}$ , estas últimas denominadas aerosoles respirables cuando son menores de  $10\mu\text{m}$ ; y finalmente las partículas suspendidas totales (PST), que representan el conjunto de partículas presentes en el aire y cuyos diámetros pueden alcanzar hasta  $100\mu\text{m}$ . Estas últimas son consideradas partículas sedimentables, ya que no permanecen en la atmósfera por un largo período de tiempo (Cesar, Nascimento, & Carvalho, 2013).

**Figura 1**

*Distribución de las partículas según su diámetro*



*Nota.* En el gráfico se evidencia el diámetro de partícula de las partículas de PM1, PM2.5 y PM10. Tomado de Arciniegas (2012).

### 2.2.3 Material Particulado Sedimentable

El material particulado sedimentable comprende partículas que se encuentran en suspensión en el aire y que se depositan debido a la acción gravitatoria, conocida como deposición seca. Además, abarca contaminantes en estado gaseoso. También incluye partículas no sedimentables que son transportadas y depositadas por la lluvia o la nieve, fenómeno conocido como deposición húmeda (Villacrés, 2015).

### 2.3 Factores que influyen en el transporte y dispersión de contaminantes

Los factores que influyen de acuerdo con (Arrieta, 2016) son:

- **Velocidad del viento:** La velocidad del viento es un factor determinante en la dispersión de contaminantes en el aire. Cuando el viento sopla, diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante. Una velocidad del viento alta puede llevar los contaminantes lejos de su fuente de emisión, reduciendo así su concentración en áreas específicas.

- **Dirección del viento:** La dirección del viento también influye en la dispersión de los contaminantes. Cuando la dirección del viento es constante, los contaminantes pueden acumularse en una misma área, lo que resulta en niveles de contaminación más altos en esa zona. En contraste, si la dirección del viento es variable, los contaminantes se dispersan sobre un área más extensa, lo que conduce a concentraciones más bajas en áreas específicas.
- **Temperatura:** La temperatura del aire y de las emisiones de contaminantes también juega un papel importante en su dispersión. Si la temperatura de las emisiones es mayor que la del medio ambiente, los contaminantes tienden a dispersarse más fácilmente. Esto se debe a que las diferencias de temperatura pueden generar corrientes de convección que ayudan a dispersar los contaminantes en el aire.
- **Precipitaciones:** Las precipitaciones, como la lluvia, tienen un efecto de lavado sobre la atmósfera. Cuando llueve, las gotas de agua atrapan partículas en suspensión en el aire y las arrastran hacia el suelo. Esto ayuda a limpiar el aire y a reducir la concentración de contaminantes, especialmente de partículas provenientes de actividades como la construcción y ciertos procesos industriales.

#### 2.4 Efectos adversos a la salud del Material Particulado

Según Bravo (2017), el material particulado (PM) se reconoce como un contaminante ambiental que afecta la salud humana, identificando a la industrialización, la actividad minera y el tráfico vehicular como las principales fuentes de emisión. Las partículas ultrafinas de PM con un tamaño menor a 2,5  $\mu\text{m}$  tienen una capacidad superior para desencadenar inflamación en el sistema respiratorio humano. Esto se debe a su facilidad para penetrar en otros órganos, lo que puede ocasionar problemas respiratorios más graves, como hipersecreción, obstrucción bronquial y bronquitis crónica, entre otros. Estas partículas suelen estar asociadas con contaminantes como el ozono ( $\text{O}_3$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), monóxido de carbono (CO) y plomo (Pb), entre otros (Carrasco, 2021).

Simultáneamente, el material particulado de tamaño más grande (con diámetros entre 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ ) penetra directamente en los pulmones y puede provocar diversas afecciones en el tracto respiratorio, incluyendo neumonía, bronconeumonía, e incluso cáncer. Además, puede ocasionar problemas en la vista y la piel, manifestándose como alergias, conjuntivitis, dermatitis y otros daños más graves (Nho, 2020).

## **2.5 Efectos Ambientales**

La contaminación atmosférica produce grandes cantidades de material particulado que son inhaladas por animales y humanos. Por otro lado, la contaminación de las aguas superficiales ocasiona que, al no ser tratadas adecuadamente, las partículas generadas se filtren hacia el subsuelo, contaminando los depósitos de aguas subterráneas (Flores, 2022).

De acuerdo con (Santillán, et al., 2024), las partículas suspendidas en el aire pueden tener un impacto significativo en el clima, y uno de estos componentes es el carbono negro (BC) o hollín. Este material, presente en la atmósfera, absorbe la radiación de onda corta, como la luz visible, y afecta la transferencia de energía, dificultando que la luz solar alcance el suelo. Estos efectos reducen la visibilidad y perturban el equilibrio de energía en la parte superior de la troposfera, lo que se conoce como forzamiento radiactivo. Como resultado, el BC ha sido identificado como el segundo o tercer agente de calentamiento más significativo, después del dióxido de carbono y el metano.

Las aves enfrentan dificultades durante su migración debido a la reducción de visibilidad causada por los contaminantes en la atmósfera, además, las plantas sufren por la lluvia ácida, que resulta de la combinación de la humedad del aire con diversos contaminantes provenientes de actividades humanas. Esta lluvia ácida afecta la fotosíntesis, la composición química del suelo, el crecimiento de las plantas y la población de microorganismos. Como consecuencia, los animales que se alimentan de estas plantas también se ven afectados, lo que perturba la cadena alimentaria y, en última instancia, puede afectar a los seres humanos (Blanco et al., 2019).

## **2.6 Estándares de calidad del Aire**

Los estándares de calidad del aire establecen límites permisibles de emisiones atmosféricas, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, con el fin de prevenir la contaminación a gran escala. Estas normativas, tanto internacionales como nacionales, son fundamentales para guiar las políticas ambientales y proteger la salud pública (Furlow, 2024). La Organización Mundial de la Salud (OMS) proporciona información y directrices a nivel global sobre la calidad del aire, mientras que cada país establece sus propias normas ambientales. En Ecuador, el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del

Ambiente sirve como la normativa vigente en materia de calidad ambiental (Santillán, et al., 2024).

En la tabla 1, se detallan los límites máximos permitidos de concentración de material particulado en la atmósfera según la OMS.

**Tabla 1**

*Parámetros establecidos por la OMS*

<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Máxima concentración permitida</b>
<b>PM10</b>	1 año	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM2,5</b>	1 año	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Partículas Sedimentables</b>	30 días	0,5 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$

**Fuente:** (OMS, 2016).

## CAPITULO III. METODOLOGÍA

En el marco metodológico se describe el desarrollo del estudio en el campo, en el cual se detalló en donde se colocaron las estaciones para los puntos de muestreo, los parámetros a considerar, la técnica de muestreo, conservación y el transporte de las muestras recogidas

En este estudio se trabajó en el análisis del material particulado sedimentable MPS, cuyas concentraciones se obtuvieron de 20 estaciones fijas distribuidas de manera homogénea en el área de estudio, A esto le sigue la caracterización morfológica y química de las muestras representativas y, finalmente, gráficos de concentración y dispersión de MPS, utilizando la herramienta de interpolación KRIGING del software ArcGIS.

### 3.1. Tipo de Estudio

- **Transversal:** La investigación que se realiza tiene un periodo de tiempo establecido.
- **Experimental:** Es una Investigación cuantitativa y cualitativa donde se realizó monitoreo, muestreos y análisis de laboratorio con el fin de determinar los niveles de concentración de PMS en el parque Industrial Santa Rosa.
- **Campo:** Ubicación de estaciones de monitoreo en las áreas circundantes al parque industrial santa rosa para la recopilación de datos y muestras para el análisis.

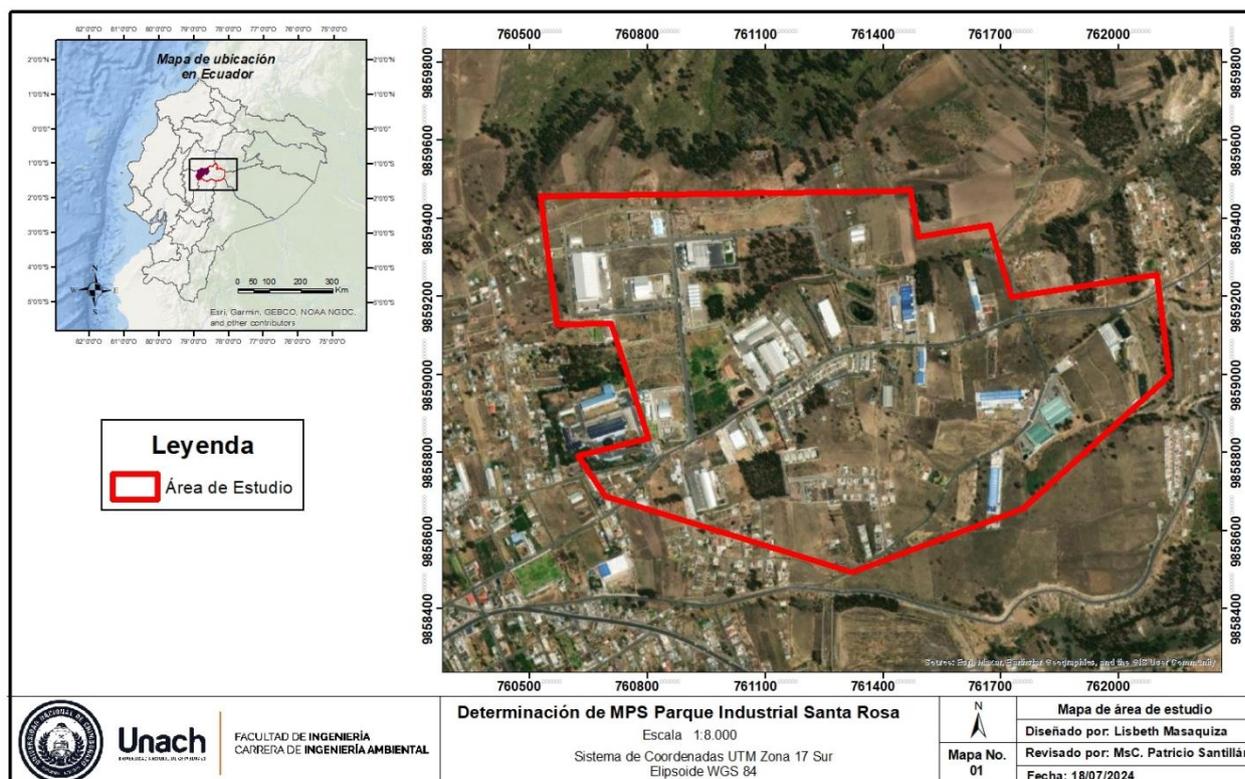
### 3.2. Área de Estudio

El área de estudio ha sido establecida en el Parque Industrial Santa Rosa, ubicado en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, situada a una altitud de 2.500 m.s.n.m. La parroquia Santa Rosa se encuentra en la zona del valle interandino en la unidad hidrográfica del río Ambato la cual posee un clima templado seco, la temperatura media anual es de 12.5 °C. (Chavez,2020)

Según datos obtenidos del anuario meteorológico la provincia de Tungurahua presenta una temperatura de 9 a 20 °C; con una precipitación promedio anual de 504 mm y una humedad relativa de 73,2% (INAMHI, 2021).

**Figura 2**

*Área de estudio Parque Industrial Santa Rosa.*



**Nota.** El mapa resalta el área de estudio en la cual se encuentra emplazado el parque industrial de Santa Rosa. Fuente: Elaboración propia

Para delimitar el área total del estudio se recorrió la misma con el fin de poder recolectar información necesaria sobre los límites que posee el Parque Industrial Santa Rosa y sus alrededores para posterior poder colocar los puntos de muestreo.

### 3.3. Puntos de Muestreo

Según Marcos & Valderrama (2016), mencionan aplicar ciertas consideraciones tales como, el lugar donde se situó cada estación debe estar libre de estructuras de más de 1m de altura y libre de obstáculos significativos (edificaciones en el entorno, de áreas con árboles, de tendaderos), u otras fuentes de contaminación de manera que la muestra pueda ser recolectada por acción gravitacional. para la implantación de los equipos de muestreo se tomó en cuenta los puntos de las empresas del parque industrial santa rosa y domicilios cercanos a las industrias. En el lugar de estudio se colocaron 20 puntos de muestreo distribuidos de forma

aleatoria. El muestreo se realizó con el propósito de lograr registrar datos confiables, tomando en cuenta los lugares con mayor circulación de automotores y zonas vulnerables para los habitantes del sector.

### **3.4. Monitoreo del Material Particulado Sedimentable**

El monitoreo de MPS se llevó a cabo durante un mes, en base al Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el Registro Oficial 387, donde se menciona que la máxima concentración de una muestra colectada durante 30 días de manera continua será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm<sup>2</sup> x mes) (MAE, 2017).

Para determinar la cantidad de MPS se utilizó el método gravimétrico mediante captación de partículas en envases abiertos establecido por la norma vigente (Acuerdo Ministerial 097-A) (MAE, 2017). Para implementar este método se aplicó la metodología empleada por (Almirón y otros, 2008) adaptada a esta investigación, colocando cajas Petri con papel filtro previamente secado, pesado y determinado su área en cada estación de monitoreo. Luego de haber finalizado el muestreo, se retirará los recipientes de las estaciones de muestreo para su respectivo análisis de laboratorio, donde el papel filtro será puesto en el interior de la estufa a 50 °C por 24 horas, C para eliminar la presencia de humedad y ser pesado nuevamente en la balanza analítica

Según Marcos & Valderrama (2016), el cálculo del polvo atmosférico sedimentable se realizará mediante la siguiente formula:

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

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

Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso inicial (mg) (laboratorio)

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

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

### **3.5. Análisis Morfológico y Molecular del MPS**

Para identificar la forma de las partículas de material particulado sedimentable PMS, se procedió a utilizar el microscopio óptico, se tomó el papel filtro con las partículas recogidas de cada uno de los puntos establecidos para ser fotografiadas en el microscopio con una resolución de 10x. Para las respectivas fotografías las muestras fueron colocadas sobre el porta muestras para obtener una mejor imagen en donde se pudo apreciar la forma micro de cada una de las partículas (Santillán-Lima, y otros,2016).

Para determinar las características morfológicas y moleculares se utilizó el microscopio electrónico de barrido, el cual permite obtener imágenes de alta resolución con aumentos de 20x y 200x. Las imágenes obtenidas nos permitieron observar la forma, tamaño y composición química del Material Particulado Sedimentable.

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

Para hacer el análisis geoestadístico, se emplearon los datos de concentraciones de material particulado sedimentable obtenidos de las 20 estaciones fijas ubicadas en el área de estudio. Se empleó el software de Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante la herramienta de interpolación KRIGING que permitió crear el mapa de dispersión del MPS. Kriging es un método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra (Porras, 2017).

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

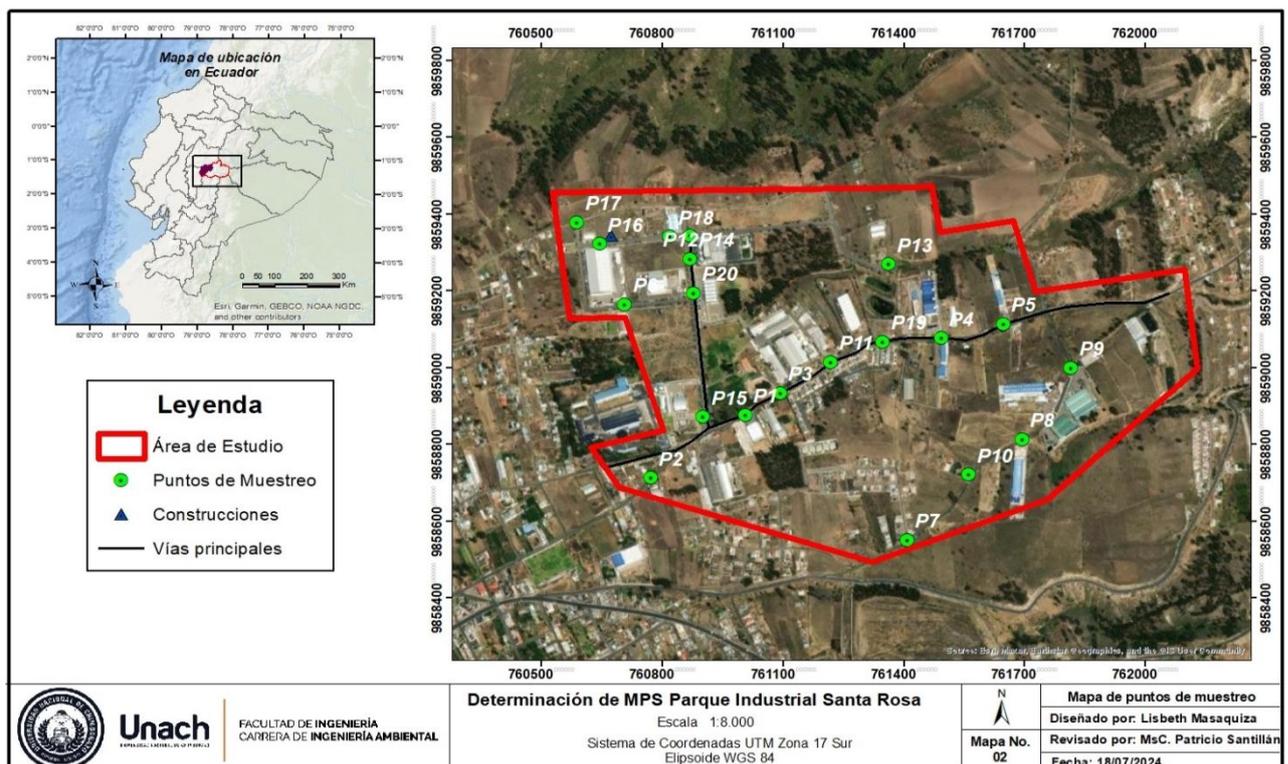
### 4.1 Puntos de monitoreo e identificación de las actividades antrópicas

Para la elaboración del presente estudio que conforma parte del proyecto de investigación se enfoca en la Determinación del MPS, la cual es generada de forma antrópica por las actividades del parque industrial Santa Rosa.

En la Figura 3, se observan la ubicación de los puntos de muestreo, las cuales fueron distribuidas de manera estratégica y aleatoria. La selección de los puntos específicos se basó en criterios técnicos esenciales, como la necesidad de que el lugar sea plano, libre de edificaciones cercanas y sin árboles que pudieran interferir con las mediciones.

**Figura 3**

*Puntos de muestreo Parque Industrial Santa Rosa.*



*Nota.* En el mapa se encuentra identificado los 20 puntos de muestreo en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

La instalación de las estaciones fijas se realizó en todo el sector del Parque Industrial Santa Rosa, en las coordenadas que se observan en la (Tabla 2). Se gestionaron y obtuvieron

las autorizaciones necesarias tanto de los propietarios de las empresas que operan dentro del parque, como de los dueños de los predios donde se instalaron los puntos de muestreo.

**Tabla 2**

*Coordenadas geográficas de las estaciones fijas de monitoreo*

	<b>EMPRESAS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	<b>Innova Estilo Mobiliario</b> Fabricación de todo tipo de muebles a medida.	761006	9858877
<b>2</b>	<b>Indiquimica S. A</b> Proveedor de productos de limpieza.	760772	9858713
<b>3</b>	<b>Madearq S.A</b> Se dedica a fabricación de madera de puertas, ventanas, contraventanas y sus marcos, etc.	761094	9858934
<b>4</b>	<b>Anatom</b> Es una empresa que se dedica la fabricación de Zapatillas	761493	9859077
<b>5</b>	<b>Fortecalza</b> Es una fábrica de calzado y ropa.	761648	9859114
<b>6</b>	<b>Grupo Jimevi</b> Productos químicos para una limpieza profunda y efectiva en cualquier entorno industrial.	760707	9859165
<b>7</b>	<b>Casa</b>	761409	9858551
<b>8</b>	<b>ALUVID GLASS</b> Se dedica al procesamiento y comercialización de vidrio plano templado.	761695	9858814
<b>9</b>	<b>Ecu matriz CIA.LTDA</b> diseñan, fabrican y comercializan productos de metal y plástico.	761816	9859000
<b>10</b>	<b>Cancha Deportivo</b>	761561	9858722
<b>11</b>	<b>Cepolfi Industrial</b> Se dedica a la elaboración de partes y piezas en polímeros y fibra de vidrio para el sector carroceros.	761219	9859015
<b>12</b>	<b>Molinos Miraflores S.A</b> Se dedica a la elaboración de pan y pastelería.	760870	9859283
<b>13</b>	<b>Casa</b>	761363	9859269

<b>14</b>	<b>Seyquin CIA.LTDA</b> es una empresa que se dedica a la producción, comercialización e importación de productos químicos para el área textil, lavandería e industrial.	760870	9859344
<b>15</b>	<b>Avihol</b> Es una empresa que se dedica a la fabricación de productos veterinarios.	760901	9858872
<b>16</b>	<b>Megaprofer S.A</b> Distribuidor Ferretería de alta calidad, la mejor atención y súper precios.	760644	9859324
<b>17</b>	<b>Casa</b>	760588	9859379
<b>18</b>	<b>Empresa Reserborio</b>	760818	9859341
<b>19</b>	<b>Condominios Santa Rosa</b>	761348	9859067
<b>20</b>	<b>Tesalia</b> Se dedica a la explotación e industrialización de agua natural, agua mineral, hielo seco, la producción de bebidas isotónicas y carbonatadas y agua saborizada.	760877	9859194

*Nota.* En la tabla se encuentran detalladas la georreferenciación de cada empresa con su respectivo nombre y actividad productiva. Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2 Identificación de las actividades antrópicas**

En el área de estudio se identificaron una serie de actividades que denotan la contribución de emisiones de material particulado sedimentable, entre otros contaminantes. Entre las actividades destacan la construcción de edificios comerciales, el tráfico vehicular y diversas actividades industriales que engloban la manufactura de procesos de distintos materiales.

#### **4.3 Concentración de MPS en el parque industrial Santa Rosa**

Después de haber efectuado el monitoreo en los 20 puntos, en un periodo de tiempo de 30 días (marzo-abril 2024), se procede a la recopilación de datos para ello se debe tener en cuenta el área del papel filtro detallado en la (Tabla 3).

**Tabla 3***Valores del papel filtro*

Radio del papel filtro (cm)	Área del papel filtro (cm <sup>2</sup> )
4,2	55,51

*Nota.* En la tabla se detalla el radio de papel filtro en cm y el área del mismo en cm<sup>2</sup>.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos al haberse aplicado el método de gravimetría, la cual implica el pesaje de la muestra antes y después de la sedimentación, para obtener de esta forma la cantidad exacta de MPS se encuentran en la (Tabla 4).

**Tabla 4***Concentraciones del material particulado sedimentable*

Estación de monitoreo	Área	Peso Inicial (mg)	Peso Final (mg)	PMS (mg/cm/mes)
1	55,51	422	431,8	0,1765
2	55,51	440	459,1	0,3441
3	55,51	400	434,8	0,6269
4	55,51	401	434,6	0,6053
5	55,51	440	453,8	0,2486
6	55,51	426	432,5	0,1171
7	55,51	425	436,2	0,2018
8	55,51	428	445,6	0,3171
9	55,51	418	432,4	0,2594
10	55,51	420	439,1	0,3441
11	55,51	433	468,6	0,6413
12	55,51	414	427,6	0,2450
13	55,51	400	422,7	0,4089
14	55,51	416	441,7	0,4630
15	55,51	433	452,9	0,3585
16	55,51	431	449,3	0,3297
17	55,51	440	457,8	0,3207
18	55,51	439	456,3	0,3117
19	55,51	434	480,5	0,8377
20	55,51	437	446,9	0,1783

Fuente: Elaboración propia.

En la (Tabla 4) se identifican los resultados de la concentración de MPS, en donde se establece que el valor más elevado se encuentra dentro del **punto 19** con 0,8377 (mg/cm<sup>2</sup>/mes). Mientras que el dato que contienen menos concentración se localiza en el **punto 6** perteneciente a la empresa GRUPO JIMEVI con un valor de 0,11 (mg/cm<sup>2</sup>/mes).

#### 4.4 Comparación de los límites permisibles de la OMS y Acuerdo Ministerial 097-A

Mediante los valores del Límite Máximo Permissible LMP, que se hallan descritos en la (Tabla 5) sobre la concentración de MPS, se evalúa que en el punto 3 (0,6269 mg/cm<sup>2</sup> /mes) ,4 (0,6053 mg/cm<sup>2</sup> /mes) ,11 (0,6413 mg/cm<sup>2</sup> /mes) Y 19 (0,8377 mg/cm<sup>2</sup> /mes) no cumplen con los rangos que se establecen en la OMS es decir superan el valor de 0,5 mg/cm<sup>2</sup>/mes. Sin embargo, al compararlos con el TULSMA que son de 1 mg/cm<sup>2</sup>/mes, se observa que todos valores se mantienen por debajo de esta cifra.

**Tabla 5**

*Concentraciones de los LMP de la OMS y ACUERDO MINISTERIAL 097-A*

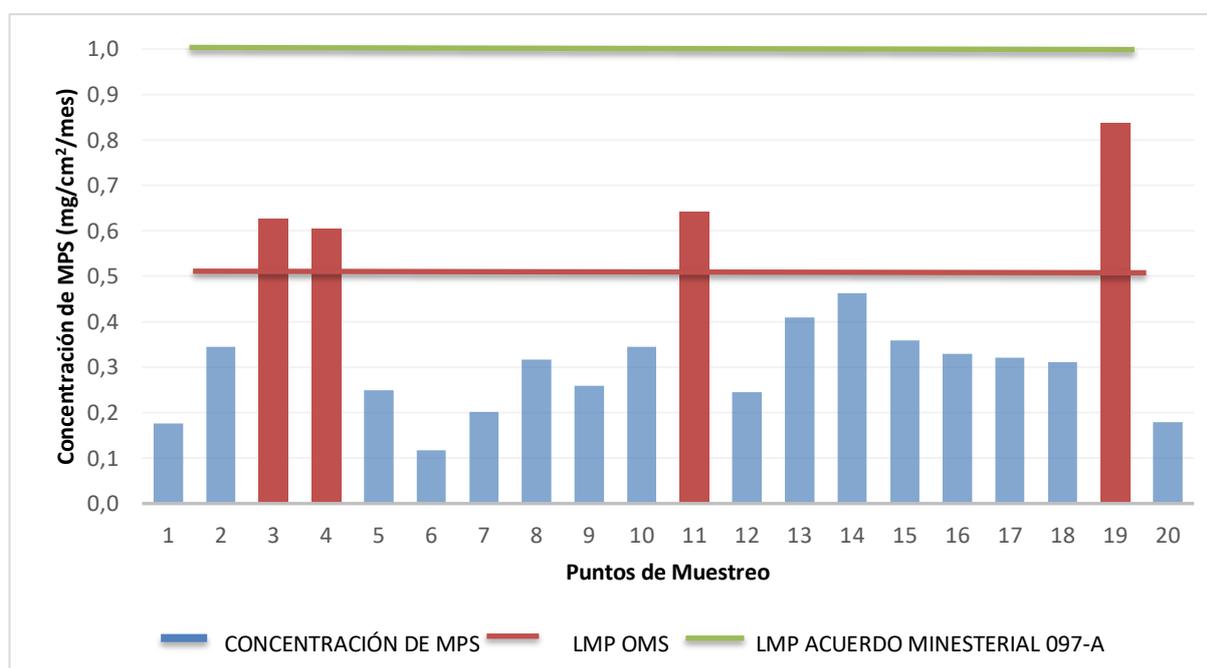
Puntos	PMS (mg/cm/mes)	LMP "OMS"	Cumple SI O NO	LMP "TULSMA"	Cumple SI O NO
1	0,1765	0,5 mg/cm <sup>2</sup> /mes	SI	1 mg/cm <sup>2</sup> /mes	SI
2	0,3441		SI		SI
3	0,6269		NO		SI
4	0,6053		NO		SI
5	0,2486		SI		SI
6	0,1171		SI		SI
7	0,2018		SI		SI
8	0,3171		SI		SI
9	0,2594		SI		SI
10	0,3441		SI		SI
11	0,6413		NO		SI
12	0,2450		SI		SI
13	0,4089		SI		SI
14	0,4630		SI		SI
15	0,3585		SI		SI
16	0,3297		SI		SI
17	0,3207		SI		SI
18	0,3117		SI		SI
19	0,8377		NO		SI
20	0,1783		SI		SI

**Nota.** En la tabla se observa si las concentraciones cumplen o no los LMP de la OMS y ACUERDO MINISTERIAL 097-A Fuente: Elaboración propia

Este análisis detallado permitió evaluar el grado de cumplimiento de las concentraciones de MPS en las diferentes estaciones de monitoreo, identificando aquellas que se encuentran dentro de los parámetros aceptables y aquellas que exceden los límites permitidos, donde los puntos P3, P4, P11 y P19 que sobrepasaron los intervalos, podrían deberse a factores como el alto flujo vehicular que proviene de las vías al ser una zona industrial, además en estos lugares existe la presencia de una mayor cantidad de empresas que se dedican a múltiples procesos y caminos sin pavimentar que provocan una cantidad de polvo en el ambiente, para una mejor comprensión y representación gráfica se puede ver la (Figura 4), que ilustra de manera detallada la distribución de sus valores.

**Figura 4**

*Concentraciones de los LMP de la OMS y TULSMA*



**Nota.** La gráfica representa los valores permitidos por la OMS y TULSMA con los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

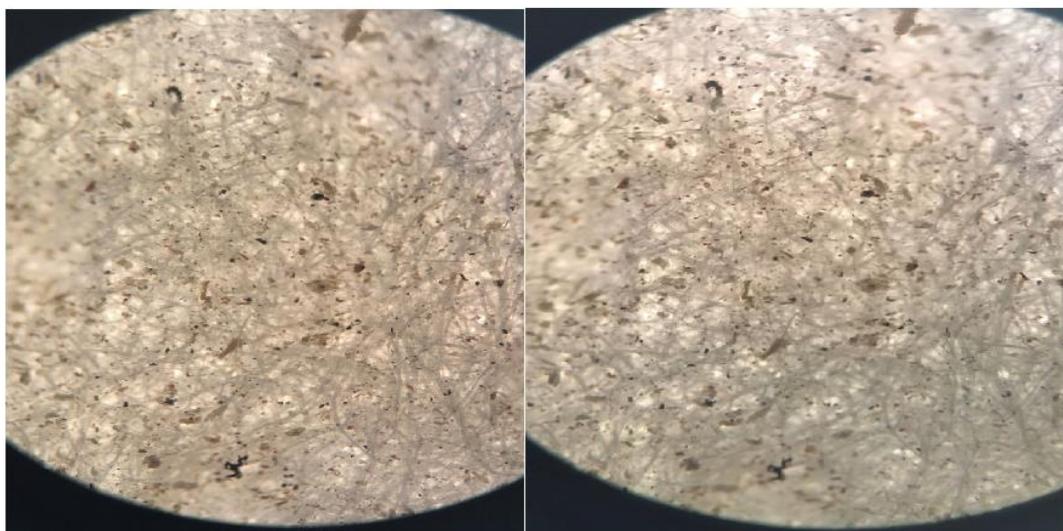
## 4.5 Análisis molecular del material particulado sedimentable

### 4.5.1 Caracterización morfológica de los MPS de las actividades antrópicas

Las tres muestras que fueron seleccionadas de MPS para la caracterización morfológica, fue realizada mediante el uso de un Microscopio Óptico. Este tipo de equipos permite obtener imágenes con una resolución de 10x, lo cual facilita una identificación más clara, como es su forma, color e incluso el tamaño.

#### Figura 5

*Comparación morfológica de colores de la muestra 3 del MPS*

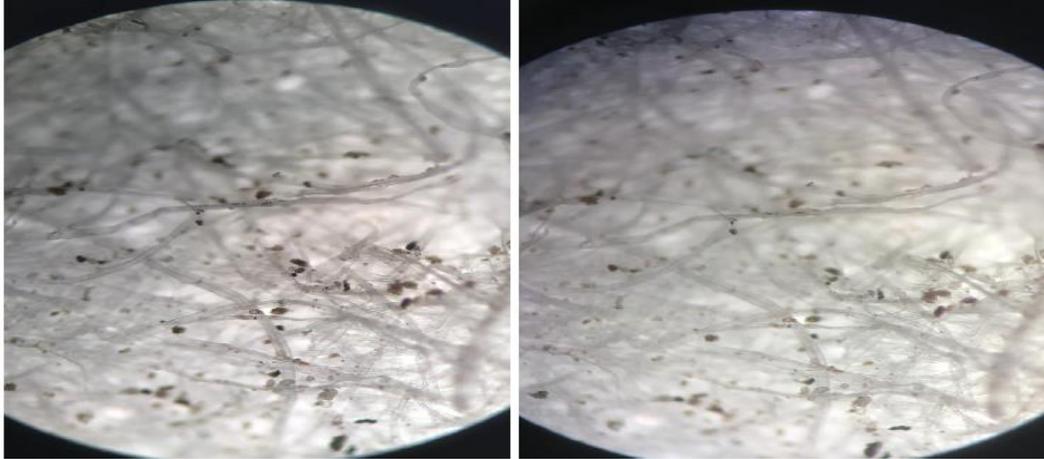


Fuente: Elaboración propia

La (Figura 5), permite identificar pequeñas partículas de aserrín de color amarillo, así como polvo fino, esta observación se debe a la presencia de una fábrica de madera en dicha zona. Debido a que esto es una fuente significativa de estos tipos de partículas, por los procesos de corte y lijado de madera que generan aserrín en grandes cantidades, dispersándose a su vez al ambiente circundante. Además, el polvo contribuye al aumento de partículas finas producidas por el tránsito y actividades industriales constantes en el área.

## Figura 6

*Comparación morfológica de colores de la muestra 5 del MPS*

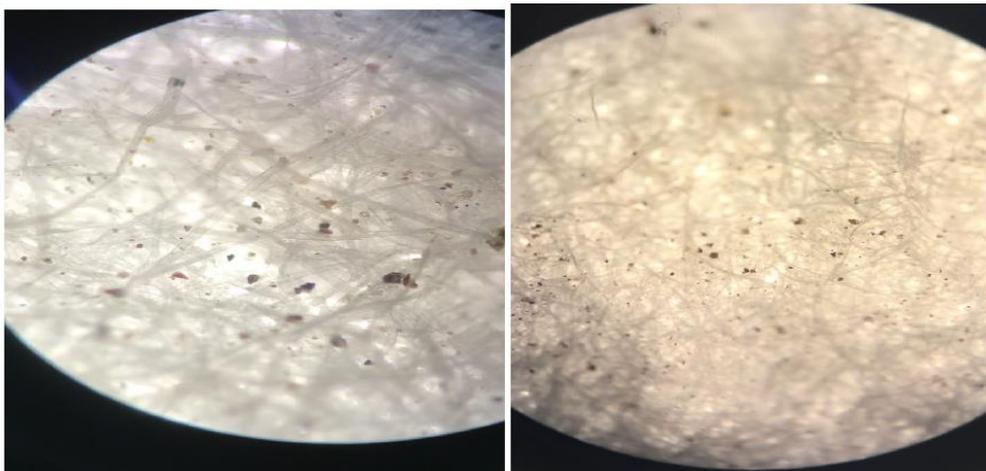


Fuente: Elaboración propia

En la (Figura 6), se contemplan diminutas partículas morfas de color grisáceo, las mismas que pueden atribuirse a la naturaleza del entorno caracterizado por poseer una mayor densidad de árboles, que al momento de hacer viento levantan las partículas como el polvo, polen y la materia orgánica de la flora arbórea del suelo.

## Figura 7

*Comparación morfológica de colores de la muestra 10 del MPS*



Fuente: Elaboración propia

Como se indica en la (Figura 7) se visualiza partículas microscópicas que provienen principalmente de la empresa Cepolfi, la cual se dedica a la fabricación de vidrio que en su

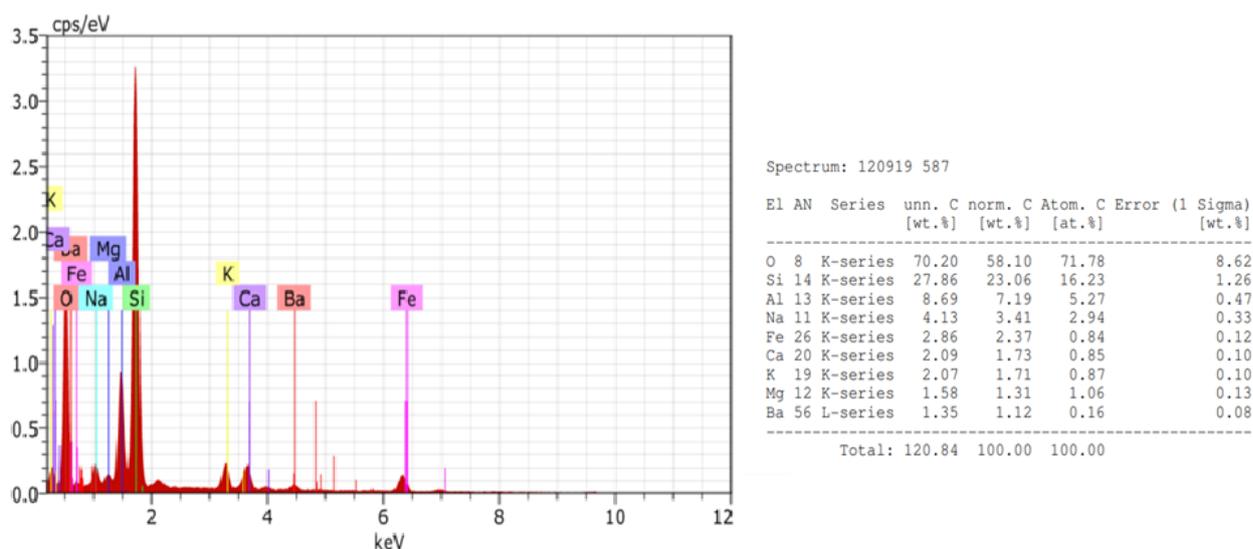
proceso con lleva actividades como es el corte, pulido y manipulación de materiales vitreo. Además, el punto de monitoreo esta alado de la calle principal que conduce al Paseo shopping de la ciudad de Ambato, un lugar muy concurrido por los residentes e incluso por visitantes, por lo que esta exposición incrementa el aumento de partículas al aire debido al tránsito constante.

#### 4.5.2 Caracterización Química

La caracterización química del MPS pertenece a la muestra 4, la cual es representativa del área de estudio seleccionado. Esto se realizó mediante la técnica analítica de espectro-copia de rayos X dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopía ubicado en la Universidad Nacional de Chimborazo.

**Figura 8**

*Composición química del MPS de la estación de monitoreo 4.*



Fuente: Elaboración propia.

El análisis químico que se muestra en la (Figura 8) nos da un detalle de varios elementos químicos, donde el silicio (Si) tiene una mayor proporción con un valor de 23,06 %; posteriormente está el aluminio (Al) con 7,19 %, sodio (Na) con 3,41 % y hierro (Fe) con 2,37 % respectivamente; por último, tenemos al calcio (Ca), potasio (K), Magnesio (Mg) y Bario (Ba) con valores equivalentes entre 1,73%, 1,71%, 1,31% y 1,12% en el respectivo orden.

Cabe mencionar que el oxígeno es un elemento que se encuentra en nuestro entorno en gran cantidad, además desempeña un papel crucial en varios procesos biológicos como

químicos (Guillermo, 2013). Destacando una interacción entre el oxígeno y el silicio que pueden formar numerosos compuestos como es el dióxido de silicio, los cuales forman el ladrillo como el cemento, pero este conforma una parte de vital importancia en la estructura base de los vidrios que se funden a altas temperaturas (Martinez, 2011).

La industria metalúrgica utiliza como metales primordiales al aluminio y hierro por sus propiedades únicas, ya que al estar formado por un grano pequeño lo hace más resistente a la atracción, lo que permite que soporte fuerzas significativas sin ninguna deformación. Incluso tienden a ser más duros, aumentando su capacidad para tolerar condiciones climáticas que causan el desgaste de estos (Sandoval, 2012).

En lo que respecta a la fabricación de madera se puede encontrar elementos como es el Sodio, Calcio y Potasio, los cuales juegan un rol importante. El hidróxido de sodio por ejemplo se utiliza en operaciones como el Kraft que ayuda a descomponer la lignina, también está el calcio en forma de carbonato el cual es utilizado para corregir el pH en producción de la pulpa de madera mejorando así la calidad del papel. Por otra parte, el Potasio es un compuesto que se utiliza desde el inicio para el crecimiento del árbol y su tratamiento (Urrelo & Bozo, 2026).

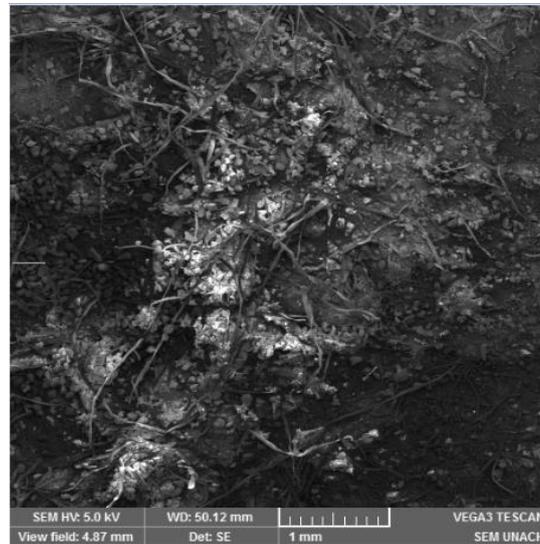
El Magnesio se encuentra en aleaciones ligeras dentro de los vehículos, donde estos pueden expulsar oxido de magnesio y al darse la fricción con el pavimento contribuyen al polvo en el entorno, otro como el Bario se localiza en el recubrimiento y tratamiento que son emitidos cuando los materiales se degradan, pero en poca cantidad (Carlos, 2018).

#### **4.5.3 Descripción morfológica**

Para tener una visualización más clara de las características morfológicas se emplea el uso de un microscopio electrónico de barrido, el cual nos permite identificar formas que pueden ser irregulares, esféricas, fibrosas, entre otras. Para un mejor análisis se obtiene las siguientes micrografías, que se visualizan en las figuras presentadas a continuación:

## Figura 9

*Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 1mm*

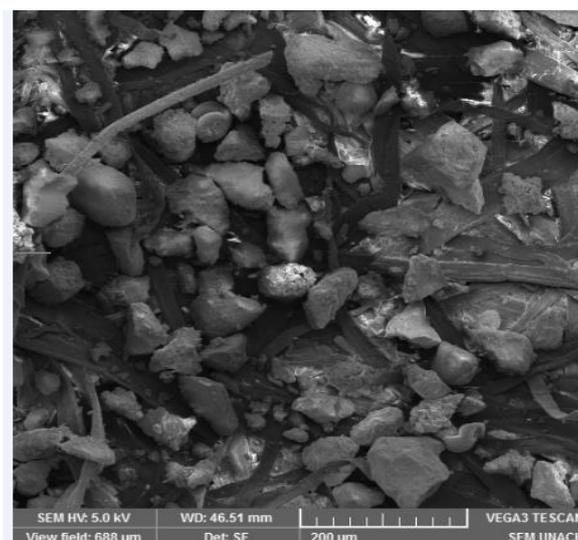


Fuente: Elaboración propia.

La (Figura 9) ilustra una imagen con una escala de 1 mm, que permite evidenciar un cúmulo de varias partículas de polvo de forma rectangulares y alargadas, incluyendo que la claridad de esta permite distinguir formas que parecen raíces, entre otros compuestos que probablemente sean minerales que añaden complejidad a la composición del cúmulo.

## Figura 10

*Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 200  $\mu$ m*

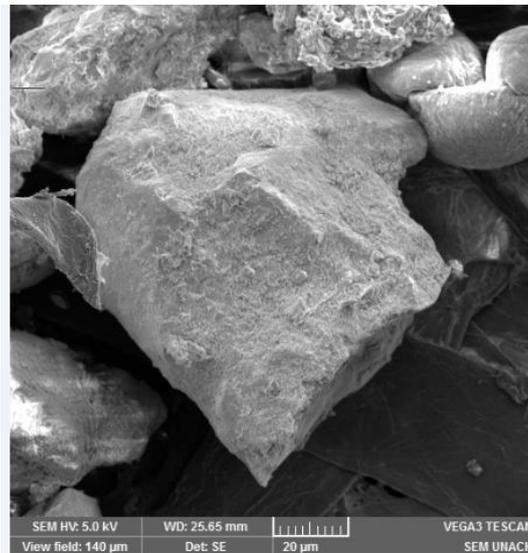


Fuente: Elaboración propia.

Tal como se aprecia en la (Figura 10) a una escala de 200  $\mu\text{m}$ , se observan partículas que poseen una variabilidad morfológica esto puede ser por la presencia de la empresa Anatom la cual se dedica a la fabricación de zapatos que genera residuos de cuero, goma y otros materiales sintéticos, también hay fragmentos fibrosos y alargados esto es consecuente del aserrado y lijado de la madera. Por otro lado, las operaciones de abrasión, corte, moliendo y otros procedimientos industriales forman fragmentos de varias formas como tamaño. De igual manera las condiciones de la naturaleza junto a la interacción química entre las partículas que se encuentran dispersas en el aire modifican sus características físicas.

### Figura 11

*Diámetro de las partículas del MPS del punto de monitoreo 4, en escala de 20  $\mu\text{m}$*



Fuente: Elaboración propia

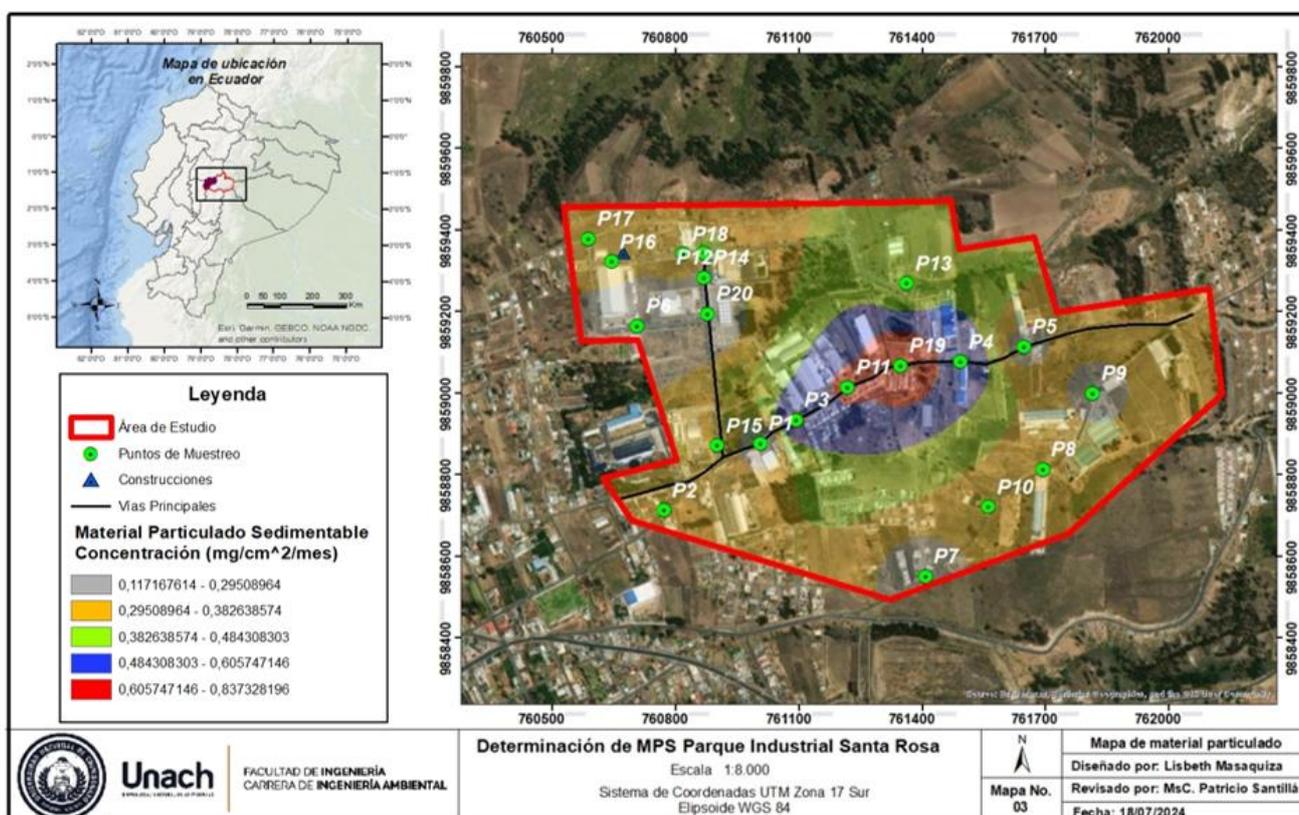
En la (Figura 11) se presenta una mejor claridad ya que a una escala de 20  $\mu\text{m}$  podemos distinguir una partícula que su composición es similar a la de una piedra y otras alrededor que tiene perforaciones en su estructura que dan evidencia de un desgaste o alteración. Dan a denotar que en el entorno existe una complejidad, variando de tal manera la morfología de las partículas.

#### 4.6 Análisis Geoestadístico de Concentración

En la presentación de la (Figura 12) se puede observar una notable variación con respecto a la concentración, los cuales mediante la escala clasificada en 5 rangos del mayor a menor nos permite tener una mejor visualización al estar marcados con diferentes colores para una mejor representación.

**Figura 12**

*Mapa de concentración del material particulado sedimentable (MPS) en el parque industrial Santa Rosa.*



Fuente: Elaboración propia

- Valores mayoritarios entre 0,605 a 0,837:

Según se detalla en el mapa, los valores de material particulado sedimentable están destacados en color rojo en el punto P19, donde se localizan varios condominios. Estos condominios exhiben una exposición significativamente elevada a material particulado, lo cual puede estar relacionado con su ubicación estratégica frente a una avenida principal de alta circulación vehicular. La intensa actividad del tráfico de vehículos contribuye de manera

considerable a la liberación de polvo y otras partículas en el aire. Además, las obras de construcción y mejoras en el condominio también juegan un papel importante en el incremento de la concentración de partículas en el ambiente. Las obras de construcción no solo generan polvo a través de actividades como el movimiento de tierra y el manejo de materiales, sino que también pueden empeorar la situación debido a la falta de medidas adecuadas para controlar la dispersión de partículas.

Por otro lado, Anatom la cual se ubica en el P4, se dedica a la fabricación de calzado. Provocando una emisión de partículas, debido directamente a de diversos procesos industriales que forman parte de su operación diaria. En particular, el manejo de materias primas como cuero, textiles y otros componentes del calzado, junto con la operación de maquinaria pesada, produce una cantidad considerable de polvo y partículas en el aire. Procesos como el corte, lijado y acabado de materiales liberan partículas finas que se dispersan fácilmente y se acumulan en el entorno laboral y sus alrededores.

- Valores intermedios entre 0,382 a 0,484:

Como se observa en el mapa, los puntos marcados en color verde indican áreas con niveles medianos de material particulado. En el punto P13 se ubica una casa, la cual, aunque no genera material particulado en niveles elevados, sí contribuye a una concentración mediana de partículas en su entorno. La generación de material particulado en una vivienda puede estar asociada a varias actividades domésticas y factores ambientales. Entre estos se incluyen el uso de productos de limpieza que liberan polvo y compuestos químicos, también se observa actividad de jardinería que puede levantar tierra y escombros, así como la construcción o renovación de la vivienda, que genera polvo durante los trabajos. Además, el tráfico vehicular cercano y las condiciones meteorológicas, como el viento, pueden arrastrar y acumular partículas en el aire alrededor de la casa.

En el punto P14 se ubica Seyquiin CIA. LTDA., que se dedicada a la producción, comercialización e importación de productos químicos para el sector textil, lavandería e industrial. Aunque esta empresa no genera material particulado en niveles extremos, sí contribuye a una concentración mediana de partículas en el área circundante. La actividad industrial puede generar polvo y material particulado a través de varios procesos. El manejo y procesamiento de productos químicos, el empaquetado, y la carga y descarga de materiales

pueden liberar pequeñas partículas al aire. Además, la interacción de los productos químicos con los materiales de embalaje y las operaciones de mantenimiento pueden contribuir a la presencia de polvo. Si bien la empresa probablemente cuenta con medidas para controlar la liberación de partículas, estas actividades industriales inevitablemente contribuyen a la generación de material particulado en su entorno.

- Valores menores entre 0,117 a 0,295:

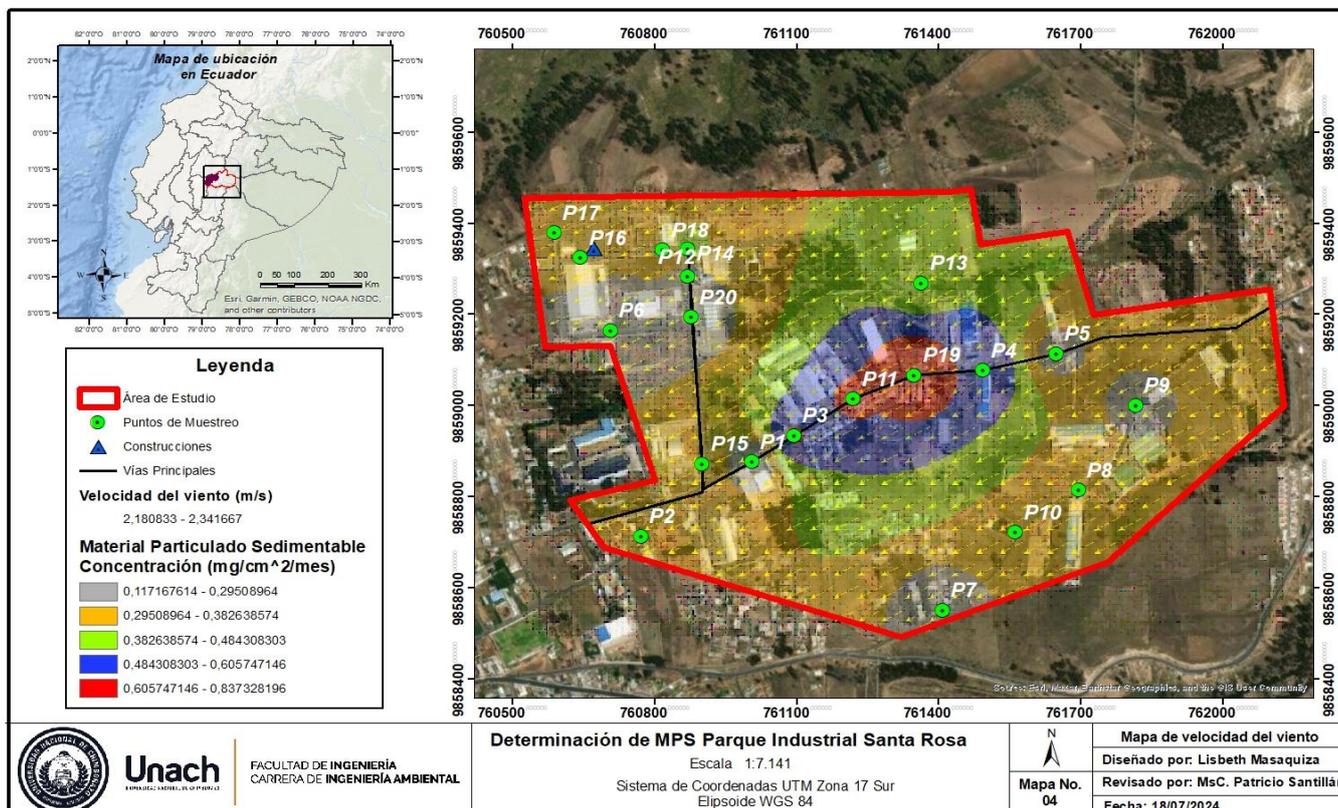
En el mapa se visualiza que los niveles más bajos, representados en color gris, se encuentran predominantemente en las zonas P1, P5, P6, P7, P9, P12 y P20. Estas áreas presentan niveles bajos de material particulado sedimentable, a pesar de la presencia de empresas industriales. Una posible explicación para esta anomalía podría ser la dirección del viento, que dispersa las partículas y evita que se acumulen en estos puntos específicos. Esto sugiere que las corrientes de aire juegan un papel crucial en la distribución de los niveles del material particulado en la zona.

#### 4.7 Dispersión de MPS

La dirección del viento se puede examinar dentro de la (Figura 13), la misma que nos permite identificar como influye la distribución del material particulado.

**Figura 13**

*Mapa de Velocidad del viento para el MPS*



Fuente: Elaboración propia

El análisis de los datos revela que el viento predominante en la región se dirige hacia el suroeste, lo que ofrece una explicación clara de por qué los puntos P3, P4, P11 y P19, ubicados en el centro del mapa, muestran los niveles más elevados de contaminación por material particulado suspendido (MPS). Este fenómeno se debe a que el viento transporta las partículas desde diversas fuentes y las deposita en las áreas circundantes a estos puntos. La topografía de la región y la disposición de las fuentes emisoras también podrían influir en esta concentración, pero es el viento el factor determinante que causa la acumulación de partículas en estos puntos específicos.

La velocidad del viento, que varía entre 2,18 m/s y 2,35 m/s, facilita el transporte de estas partículas, pero al mismo tiempo, su fuerza no es suficiente para dispersarlas completamente una vez que llegan a estas zonas céntricas. Como resultado, las partículas tienden a acumularse, lo que eleva significativamente los niveles de contaminación en estos puntos.

#### **4.8 Discusión**

Se puede analizar que en el documento denominado “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, la cual se realizó en 14 puntos de muestreo, donde la máxima concentración de MPS es en el P6 con un valor de 2,978 y una mínima de 0,135 mg/cm<sup>2</sup>/mes en el P2, destacando que la mayor parte de los 14 puntos sobrepasan los límites permisibles que está dentro de un rango de 0,5 mg/cm<sup>2</sup>/mes establecido por la OMS, excluyendo a los puntos 1 (0,217 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 2 (0,135 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y 3 (0,325 mg/cm<sup>2</sup>/mes), ya están dentro de lo establecido, siendo evidente el impacto significativo de las actividades industriales en el área. La alta concentración de MPS se asocia con industrias que generan grandes cantidades de partículas, como las fábricas de cal, hormigón, y procesamiento de granalla mineral (Carrasco, Determinación de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la Ciudad de Riobamba, 2021).

El presente estudio se centra en la determinación de material particulado sedimentable (MPS) generado de manera antrópica por las actividades en el Parque Industrial Santa Rosa. Los puntos de muestreo se distribuyeron estratégicamente y se seleccionaron con base en criterios técnicos. El monitoreo se realizó en 20 puntos del Parque Industrial Santa Rosa durante 30 días (marzo-abril 2024), y se utilizaron métodos gravimétricos para cuantificar las concentraciones de MPS. Los resultados mostraron variaciones significativas entre los puntos de muestreo, siendo el punto 19 el de mayor concentración (0,8377 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y el punto 6 el de menor (0,1171 mg/cm<sup>2</sup>/mes). Al comparar estos valores se encontró que varios puntos superan los límites de la OMS, aunque todos cumplen con los del TULSMA.

El estudio también incluyó un análisis morfológico de las partículas, revelando variaciones en el origen y la naturaleza de las mismas, como aserrín, polvo fino, y partículas

generadas por actividades industriales y vehiculares. Este análisis resalta la influencia de las actividades industriales y del tráfico en la contaminación por MPS en la zona.

Obteniendo que con respecto a esta investigación realizada en el Parque Santa Rosa de Ambato existe una gran diferenciación, ya que su punto con la concentración más elevada es el P19 con 0,838 mg/cm<sup>2</sup>/mes, mientras que la menor concentración es el P6, con 0,117 mg/cm<sup>2</sup>/mes.

Determinando que los estudios realizados en el Parque Industrial de Riobamba y el Parque Santa Rosa de Ambato revelan una significativa variabilidad en las concentraciones de material particulado sedimentable (MPS), con diferencias notables entre ambas zonas industriales. En Riobamba, la concentración máxima de MPS se registró en el P6 con 2,978 mg/cm<sup>2</sup>/mes, superando ampliamente los límites establecidos por la OMS (0,5 mg/cm<sup>2</sup>/mes), mientras que en Ambato, la mayor concentración se detectó en el P19 con 0,838 mg/cm<sup>2</sup>/mes, también por encima del límite de la OMS, pero dentro de lo permitido por el TULSMA (1 mg/cm<sup>2</sup>/mes).

En ambas áreas, los puntos con menores concentraciones no alcanzan el límite de la OMS, lo que demuestra la influencia de las actividades industriales y la variabilidad de las fuentes de contaminación. La alta concentración de MPS en ciertos puntos destaca la necesidad de una gestión ambiental más estricta para mitigar el impacto de las actividades industriales en estas zonas.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se determinó en total 20 puntos de monitoreo, enfocados en criterios técnicos esenciales como la necesidad de un terreno plano, libre de edificaciones cercanas y sin la presencia de árboles. Es así que de todas las empresas que se encuentra en el Parque Industrial Santa Rosa, se rescata que existen actividades de construcción de edificios comerciales, tráfico vehicular y manufactura de procesos. Con lo cual la concentración máxima fue de  $0,83 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , por lo que, no cumplen con la normativa de la OMS, pero para la normativa de Ecuador están por debajo de  $1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ .

El análisis del material particulado sedimentable del área de estudio evidenció morfológicamente a una escala de 1mm un cúmulo con varias partículas de polvo, a  $200 \mu\text{m}$  variabilidad morfológica, a  $20 \mu\text{m}$  una partícula sólida similar a la piedra. En el tema molecular existió la presencia de pequeñas partículas de aserrín debido a la presencia de una fábrica de madera, y color grisáceo. A su vez, químicamente, se detectó 23% de Silicio, 7,10% de Aluminio, 3,41% de Sodio y 2,37% de Hierro, encontrando además en trazas pequeñas Calcio, Potasio, Magnesio y Bario. Esto por las distintas empresas de vidrio, aluminio y metales del parque industrial, por lo que, la composición de las partículas depende en gran medida de las actividades que se realicen.

La dispersión del material particulado sedimentable se realizó en cinco escalas de color denotando un valor inferior de  $0,11 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$  y un máximo de  $0,83 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ , concentrándose en su mayoría en el área del Punto 19 (Condominios Santa Rosa) y reduciéndose hacia las afueras del parque. Es así que el viento predominante se dirige hacia el suroeste por lo que, el MSP se dispersa hacia los puntos P3, P4, P11 y P19.

## **5.2 Recomendaciones**

Los hallazgos de los puntos de muestreo, evidencian una fuerte medida para el monitoreo y seguimiento de las partículas sedimentables, por ello, es necesario que se continúe una vigilancia permanente para la detección de posibles umbrales que superen los límites establecidos por la normativa, y salvaguardar la salud de los trabajadores del Parque Industrial Santa Rosa.

La dispersión del material particulado sedimentable, es un indicador para que futuras investigaciones consideren nuevos aspectos ambientales para establecer no solo el transporte de estos contaminantes dentro del área de estudio, sino hacia sus exteriores, precautelando el cuidado del área de influencia indirecta del emplazamiento de este parque industrial.

Ante las evidencias encontradas en esta investigación es necesario la socialización de la información tanto con los empresarios que mantienen sus actividades productivas dentro del parque industrial, así como gobiernos locales, para que en conjunto planteen planes de acción y planes de contingencia ante las emisiones y transporte de Mps, que es de interés público y necesario para una calidad de vida digna.

## BIBLIOGRAFIA

- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, 34(1), 195-213. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742012000100012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742012000100012&script=sci_arttext)
- Arrieta, A. (2016). Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43-54. Obtenido de [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/5445](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445)
- Carlos, N. (2018). “ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN VEHÍCULOS A GASOLINA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI”. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29538/1/Tesis%20I.%20M.%20507%20-%20N%C3%BA%C3%B1ez%20P%C3%A9rez%20Carlos%20Santiago.pdf>
- Carrasco, K. (2021). *DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL PARQUE INDUSTRIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8352/3/8.TESIS-Karen%20Carrasco-Parque%20Industrial-%20%281%29.pdf>
- Cesar, A., Nascimento, L., & Carvalho, J. (2013). Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, 47(1), 1209-1212. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/rsp/a/hJc4Htx57sLq74PTqTJbpVf/?format=html&lang=pt>
- Díaz, V., & Páez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Acta Nova*, 3(2), 308-322. Obtenido de [http://scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1683-07892006000100011](http://scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1683-07892006000100011)
- Furlow, B. (2024). US EPA strengthens PM2.5 air pollution limits. *The Lancet Respiratory Medicine*, 12(4), 271. Obtenido de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/science/article/abs/pii/S2213260024000699>
- Guillermo, E. (04 de 2013). *EL OXIGENO*. Obtenido de [https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimI\\_vall/454c5f4f58c38d47454e4f.pdf](https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimI_vall/454c5f4f58c38d47454e4f.pdf)

- MAE. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. En I. R. Quito..
- Martinez, M. (2011). *Materiales y materias primas*. Obtenido de <https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/silicio.pdf>
- Rosser, F. (2024). Outdoor Air Pollution and Pediatric Respiratory Disease. *Clinics in Chest Medicine*, 45(3), 531-541. doi:<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1016/j.ccm.2024.02.025>
- Sandoval, T. (2012). *Análisis y optimización del horno de homogenización de lingotes de aluminio en la empresa Cedal S.A. (corporación ecuatoriana de aluminio) del cantón de Latacunga en la provincia de Cotopaxi*.
- Santillán, P., Llerena, M., Santillán, J., Molina, F., Caichug, D., & Lozada, R. (2024). Assessment of the Concentration of Settleable Particulate Matter Using Geographic Information Systems in the Central Ecuadorian Highlands. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 11(3), 1-10. Retrieved from <https://publications.eai.eu/index.php/sis/article/view/4156/2608>
- Tang, L., Jia, M., Yang, J., Li, L., & Bo, X. Z. (2023). Chinese industrial air pollution emissions based on the continuous emission monitoring systems network. *Scientific Data*, 10(1), 153. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41597-023-02054-w>
- Urrelo, D., & Bozo, C. (03 de julio-agosto de 2026). *Revista Boliviana de química*. Obtenido de Composición química de la madera de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standley proveniente de la comunidad rural Ocho Hermanos, Municipalidad El Carmen Rivero Torrez, Departamento de Santa Cruz.
- Zanoletti, A., Bilo, F., Federici, S., Borgese, L., Depero, L., Ponti, J., & Bontempi, E. (2020). The first material made for air pollution control able to sequester fine and ultrafine air particulate matter. *Sustainable Cities and Society*, 53(1), 101961. doi:<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1016/j.scs.2019.101961>
- Zhang, B., Huang, R., Liu, Y., Wang, L., & Chen, Y. (2024). Effects of atmospheric particulate pollution on lung function of athletes. *Environmental Research*, 252(1), 118763. doi:<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2582/10.1016/j.envres.2024.118763>
- Blanco, L., Galende, N., Fraile, J., Ganges, A., Ruíz, C., Sánchez, R., Salamanca, C., & Gallego, P. (2019). Efecto de la lluvia ácida sobre la germinación y el crecimiento de

- las plantas. *Meridies*, 22, 79-82. <https://www.meridies.info/assets/0b-meridies-22-pags-1-103c.pdf#page=79>
- Bravo, L. L. (2017). Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27760>
- Carrasco, K. (2021). Determinación de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la Ciudad de Riobamba. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8352>
- Cevallos, J. C. (2018). Concentración de material particulado sedimentable para determinar el grado de contaminación de aire en la ciudad de Ambato [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4563>
- Escudero, P. D. (2017). Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales TIPO MIDUVI [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/25950>
- Flores, J. (2022). Relación entre el material particulado generado por la calera san gerónimo S.C.R.L y las infecciones respiratorias agudas en la población de la localidad de Pariahuanca – Carhuaz, marzo – agosto 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5513>
- Jerves, R., & Armijo, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca—Ecuador. *La Granja*, 23(1), Article 1. <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/23.2016.03>
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362-367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367-371. <https://www.nature.com/articles/nature15371>
- McNeill, V. F. (2019). Addressing the Global Air Pollution Crisis: Chemistry’s Role. *Trends in Chemistry*, 1(1), 5-8. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2019.01.005>

- Nho, R. (2020). Pathological effects of nano-sized particles on the respiratory system. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 29, 102242. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2020.102242>
- OMS. (2016). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. <http://www.who.int/mediaentre/factsheets/fs313/es/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2024). Calidad del aire. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Paguay, F. M. (2021). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable en la Comunidad de Gatazo Grande Cantón Colta por incidencia industrial [Tesis de pregrado, Riobamba Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7694>
- Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., Matteis, S. D., Jung, S.-H., Mortimer, K., Perez-Padilla, R., Rice, M. B., Riojas-Rodriguez, H., Sood, A., Thurston, G. D., To, T., Vanker, A., & Wuebbles, D. J. (2019). Air Pollution and Noncommunicable Diseases: A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution. *CHEST*, 155(2), 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214>
- Villacrés, M. F. (2015). Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>

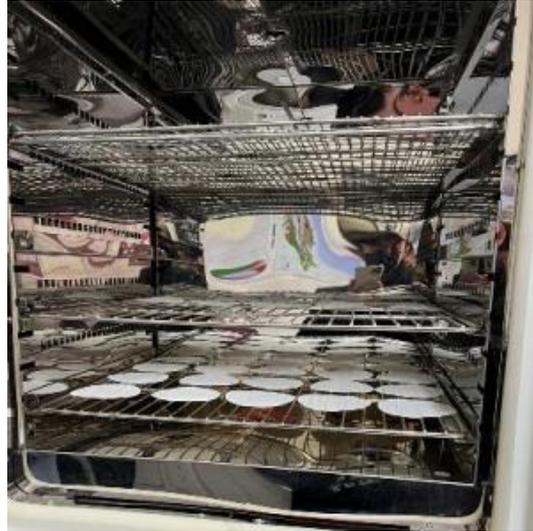
## ANEXOS

### Anexo 1: Análisis en el laboratorio de Servicios Ambientales

#### Recorte del Papel Filtro



#### Secado del Papel Filtro



#### Peso inicial de Papel Filtro



#### Etiquetado de Papel Filtro



## Anexo 2: Recolección de Muestra

### Instalación de Equipos.



### Instalación de Equipos



### Revisión de Muestras

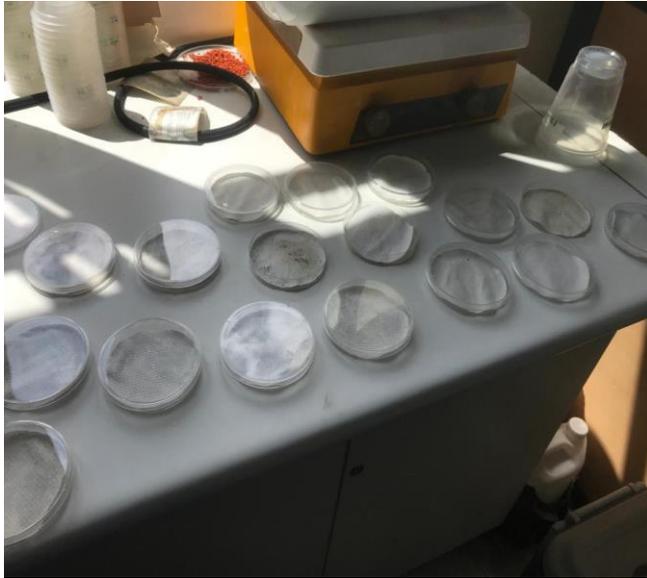


### Revisión de Muestras



### Anexo 3: Análisis de Muestras Recolectadas

#### Muestras recolectas posterior a los 30 días



#### Secado de Muestras Recolectadas



#### Pesaje de las muestras recolectadas



#### Caracterización de las muestras en el microscopio

