



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Determinación de la concentración de material particulado sedimentable, en
el Parque Industrial Ambato “Etapa 2”, Provincia de Tungurahua”

Trabajo de titulación para optar al título de ingeniera Ambiental

Autor:

Luna Chafla, Alexandra Margarita

Tutor:

MsC. Guido Patricio Santillán Lima

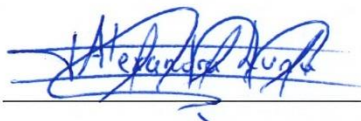
Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Alexandra Margarita Luna Chafía, con cédula de ciudadanía 060442350-9, autora del trabajo de investigación titulado: “DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE, EN EL PARQUE INDUSTRIAL AMBATO “ETAPA 2”, 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, 20 de septiembre de 2024



Alexandra Margarita Luna Chafía

C.I: 0604423509

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 AMBATO “ETAPA 2”, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, bajo la autoría de **Alexandra Margarita Luna Chafila**; 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 02 días del mes de agosto del 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 AMBATO “ETAPA 2”, PROVINCIA DE TUNGURAHUA” por Alexandra Margarita Luna Chafla, con cédula de identidad número 060442350-9, 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 20 de septiembre de 2024.

Ing. Marcel Paredes, MsC.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma


Ing. José Prato PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma

Ing. Carla Silva MsC.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



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

CERTIFICACIÓN

Que, **Luna Chafra Alexandra Margarita** con CC: **0604423509**, estudiante de la Carrera **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 Ambato "Etapa 2", provincia de Tungurahua", cumple con el N 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, 16 de septiembre de 2024

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA
TUTOR

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Universidad Nacional de Chimborazo que nos permite ser unos buenos profesionales con su gran experiencia, a mi tutor MsC. Patricio Santillán y cada maestro que formó parte de este proceso largo con mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio. A la Ingeniera Jennifer Cevallos gracias a su ayuda en el desarrollo de esta investigación para que se logre concluir con éxitos.

Alexandra Luna

DEDICATORIA

Agradezco primero a Dios por permitirme lograr una meta más en mi vida, a mis padres Fernando Luna y Rosita Chafla por su apoyo incondicional ya que sin su esfuerzo y dedicación no hubiera podido culminar mis estudios, por las enseñanzas y sabiduría para así formarme y hacerme una buena persona, a mis hermanos Edison, José y Gabriela que nunca me han dejado sola en los mejores y peores momentos, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida. A mi esposo, Edison Haro que siempre ha estado presente y me ha brindado su apoyo incondicional y por último a mis hijos Martín y Helen por ser mi fuente de motivación para poder superarme cada día, este logro es también para ellos.

Alexandra Luna

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	15
1.1. INTRODUCCIÓN	15
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS.....	18
1.4.1. Objetivo general:.....	18
1.4.2. Objetivos específicos:	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Calidad del aire	19
2.1.1. Calidad de Aire según el Acuerdo Ministerial 097 A -TULSMA	20
2.1.2. Calidad de Aire según la OMS	20
2.2. Material particulado	21
2.2.1. Clases de material particulado	21
2.2.2. Material particulado sedimentable.....	22
2.3. Clasificación según el tamaño de partículas.....	22
2.4. Composición química del PMS	23
2.5. Efectos adversos del material particulado en la salud.....	24

2.6. Efectos sobre el ambiente.....	25
2.7. Fuentes principales de contaminación atmosférica.....	26
2.8. Factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes.....	27
2.9. Estándares de calidad del aire para Material Particulado.....	27
2.9.1. Estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para Material Particulado	27
2.9.2. Estándares de calidad de aire en el Ecuador.....	28
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	29
3.1. Área de estudio	29
3.2. Ubicación e implantación de los equipos de medición para MPS.....	29
3.3. Tipo de estudio	30
3.4. Puntos de Muestreo.....	30
3.5. Monitoreo del Material Particulado	32
3.6. Análisis Morfológico del Material Particulado Sedimentable	32
3.7. Análisis Geoestadístico del Material Particulado Sedimentable	33
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Puntos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Ambato.....	34
4.2. Análisis de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Ambato.....	35
4.3. Comparación de valores según la OMS y el Acuerdo Ministerial 097A.....	37
4.4. Características Morfológicas del Material Particulado Sedimentable del Parque Industrial Ambato	41
4.5. Determinación de elementos encontrados en las muestras del material particulado, según el microscopio de barrido	42
4.6. Dispersión y Concentración de Material Particulado Sedimentable mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	46
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51

5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tamaño de las partículas del suelo.....	23
Tabla 2	Susceptibilidad a los contaminantes atmosféricos en adultos y niños.	25
Tabla 3	Límites máximos permisibles por la Legislación Internacional vigente OMS.....	28
Tabla 4	Límites máximos permisibles por la Legislación Internacional vigente según el Acuerdo Ministerial 097A.....	28
Tabla 5	Ubicación Geográfica UTM	34
Tabla 6	Valores del papel filtro	35
Tabla 7	Concentración de MPS en los puntos de monitoreo.....	36
Tabla 8	Comparación de valores según la OMS.....	37
Tabla 9	Comparación de valores de MPS según el Acuerdo Ministerial 097A.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio Parque Industrial Ambato.....	29
Figura 2 Puntos de muestreo Parque Industrial Ambato.....	31
Figura 3 Comparación de valores de MPS con LMP según la OMS.	38
Figura 4 Comparación de valores de MPS con LMP según Acuerdo Ministerial 097A	40
Figura 5 Comparación de los valores de MPS según la OMS y el Acuerdo Ministerial 097A	40
Figura 6 Observación de las muestras en el microscopio óptico.....	41
Figura 7 Análisis Molecular Muestra 5 microscopio de barrido	42
Figura 8 Reporte molecular muestra 5 microscopio de barrido	43
Figura 9 Análisis Molecular Muestra 32 microscopio de barrido	44
Figura 10 Reporte molecular muestra N° 32, obtenido con el microscopio de barrido	44
Figura 11 Mapa de Dispersión y Concentración PMS.....	47

RESUMEN

Con el presente trabajo de investigación se pretende determinar la calidad del aire en el Parque Industrial del cantón Ambato provincia de Tungurahua, una área industrial que con el pasar de los años se ha ido incrementando, para lograr los objetivos planteados se realizó un análisis de la concentración de material particulado sedimentable generado por la actividades económicas industriales que se realizan en dicho lugar, para esto se ubicó de forma estratégica 34 estaciones fijas durante el periodo de 30 días (07 de Agosto – 07 de Septiembre 2023) dentro de las cuales se colocaron cajas petri con su debido papel filtro, esto permitió el análisis de las muestras en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo con la ayuda del microscopio óptico (100X) y el microscopio electrónico de barrido para determinar así la concentración de cada una de ellas y su composición química molecular, para posterior realizar un mapa de concentración y dispersión con los datos obtenidos mediante el programa de sistemas de información geográfica (SIG).

Con los resultados obtenidos de las muestras analizadas se puede decir que solo la muestra 32 la cual corresponde al Taller de Enderezamiento y pintura “Pintautos” supera los límites máximos establecidos tanto en el TULSMA como los de la OMS teniendo así una concentración máxima de 1,2435 mg/cm²/mes y con una mínima de 0,3736 mg/cm²/mes.

Una vez finalizado el presente trabajo, se pretende contribuir a un correcto manejo del Parque Industrial, así como también para la toma de decisiones que ayuden al cuidado del ambiente y de la salud de los moradores.

Palabras claves: Material particulado sedimentable, zona industrial, limites permisibles, TULSMA

ABSTRACT

The present research aims to determine the quality of the air in the Industrial Park of the Ambato canton, province of Tungurahua. This industrial area has increased over the years. An analysis of the concentration was carried out to achieve the stated objectives. Of sedimentable particulate material generated by the industrial economic activities carried out in said place, for this, 34 fixed stations were strategically located during the period of 30 days (August 7 - September 7, 2023) within which boxes were placed Petri with its proper filter paper, this allowed the analysis of the samples in the laboratory of the National University of Chimborazo with the help of the optical microscope (100X) and the scanning microscope to determine the concentration of each of them and their molecular chemical composition to determine the concentration of each of them, to later create a concentration map and dispersion with the data obtained through the geographic information systems (GIS) program.

The results of the analysis indicate that only sample 32, corresponding to the “Pintautos” Straightening and Painting Workshop, exceeds the maximum limits established by both TULSMA and the WHO. This finding is significant as it points to a potential environmental and public health concern, with a maximum concentration of 1.2435 mg./cm²/month and a minimum of 0.3736 mg/cm²/month.

Upon completion, this research is intended to serve as a valuable tool for the management of the Industrial Park. The findings and recommendations derived from this study will aid in making informed decisions that prioritize the environment and the health of the residents.

Keywords: Sedimentable particulate material, industrial zone, permissible limits, TULSMA



Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mundo presenta una alta concentración de contaminación del aire, la cual se muestra como uno de los riesgos ambientales más importantes y tiene un impacto significativo en la salud. Este tipo de contaminación se caracteriza porque en el aire se detectan sustancias que pertenecen a procesos naturales, y en su mayoría son procesos humanos industriales que, si no se tratan adecuadamente, se mezclan y dañan el aire (Yohannessen, 2017).

Estos contaminantes del aire incluyen el material particulado (PM), que suele ser una mezcla de desechos líquidos y sólidos de procesos orgánicos e inorgánicos que, al exponerse al aire, provocan reacciones químicas que lo contaminan (Armijo, 2016).

A nivel nacional no se han realizado estudios correspondientes sobre la calidad del aire inhalado por los residentes. Por motivos administrativos y logísticos no se tomaron medidas adecuadas para investigar esto (Sanguinetti, 2017)

Mientras que las principales ciudades del país se preocupan por el aire que respiran sus residentes, los municipios han tomado la iniciativa de controlar los niveles de contaminación del aire debido al crecimiento vehicular e industrial, pero esto sigue siendo una instantánea de lo que está sucediendo observado en países más desarrollados (Bravo, 2017).

En el presente trabajo de investigación se logró determinar la concentración de material particulado sedimentable (PMS) en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato. 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.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) citado por (Palacios, 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 Ambato, que fue construido en 1986 y desde entonces comenzó a crecer de manera sostenida. Actualmente existen más de 100 empresas con una diversa gama de productos.

Por lo tanto, al ser un gran sitio industrial, existe un mayor nivel de contaminantes debido a los procesos químicos involucrados, lo que puede causar problemas respiratorios a las personas que trabajan en el parque y a los residentes aledaños a este lugar.

1.3. 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 Ambato, existen varias empresas que se dedican a la industrialización de madera, pintura sintética, mecánicas, productos agroquímicos, soldadura de metales, textileras 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 en la salud 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 procedente 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.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general:

- Determinar la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial Ambato “Etapa 2”, 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.
- 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)

CAPÍTULO 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, 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, 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 (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 algunos puntos de monitoreo distribuidos aleatoriamente en límites urbanos, centro histórico, gasolineras, industria, ejes viales etc., (Armijo, 2016).

2.1.1. Calidad de Aire según el Acuerdo Ministerial 097 A -TULSMA

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) es la Normativa Ambiental vigente en el Ecuador por Decreto Ejecutivo N^o.3516 publicado en el Registro Oficial el 31 de marzo de 2003 con su última modificación el 23 de noviembre de 2017 (TULSMA, 2017).

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 N^o. 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 (TULSMA, 2017).

En lo esencial considera como contaminantes: partículas sedimentables PM₁₀, PM_{2,5} Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozono (O₃), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y finalmente habla sobre normas para concentraciones de contaminantes no convencionales que tienen efectos tóxicos y cancerígenos (TULSMA, 2017).

2.1.2. Calidad de Aire según la OMS

Según la OMS citado por (Arroyave, 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, 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 en su salud y 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, 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 se puede encontrar 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 se puede 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 CO₂, CO, NOX, SO₂ para finalizar de acuerdo con los factores antes mencionados se puede diferenciar al MP en partículas sedimentables y volátiles (Arciniegas, 2012).

2.2.2. Material particulado sedimentable

El MPS tiene como principal 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 µm y 10 µm) 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 µm (PM₁),
- Finas con diámetro aerodinámico menor a 2,5 µm (PM_{2,5})
- Gruesas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2,5 y 10 µm (SEMARNAT, 2011).

Podríamos deducir que las partículas (PM_{2,5}) son 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 µm, 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 µm (PM₁₀) 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 se puede 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.

Nombre	Diámetro (mm)
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 y otros, 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, 2017) menciona que al ser considerado el PM un contaminante ambiental el cual es el causante del 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, ($<2,5\mu\text{m}$) 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_3 , Dióxido de Azufre SO_2 , Dióxido de Nitrógeno NO_2 , Monóxido de Carbono CO, y Plomo Pb entre otros., (Oyarzún, 2010) .

Al mismo tiempo el MP de mayor tamaño ($\text{MP}_{2,5\mu\text{m y } 10\mu\text{m}}$) 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 C. , 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.*

Infancia	Senectud
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 efectivade 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, 2019).

Con respecto a bienes materiales las partículas que se depositan en las infraestructuras u objetos como monumentos, sillas de parques, piletas, etc., afectan de manera estética dando un efectovisual negativo producto del acumulamiento de las partículas sedimentables y también provocan la corrosión de 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 amoniaco ocasionando el conocido efecto invernadero, acompañado de la utilización de químicos y fertilizantes para los cultivos, además se puede mencionar otras fuentes de la naturaleza como las erupciones volcánicas e incendios forestales producto de elevadas temperaturas (Núñez, 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** (Castagnasso, 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 ² /mes	
PM₁₀	1 año	20 µg/m ³	
	24 horas	50 µg/m ³	
PM_{2,5}	1 año	10 µg/m ³	
	24 horas	25 µg/m ³	

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 según el Acuerdo Ministerial 097A.

Contaminante	Tiempo de Exposición	Máxima Permitida	Concentración
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm ² /mes	
PM₁₀	1 año	50 µg/m ³	
	24 horas	100 µg/m ³	
PM_{2,5}	1 año	15 µg/m ³	
	24 horas	50 µg/m ³	

Fuente: (DECRETO EJECUTIVO 3516, 2017).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

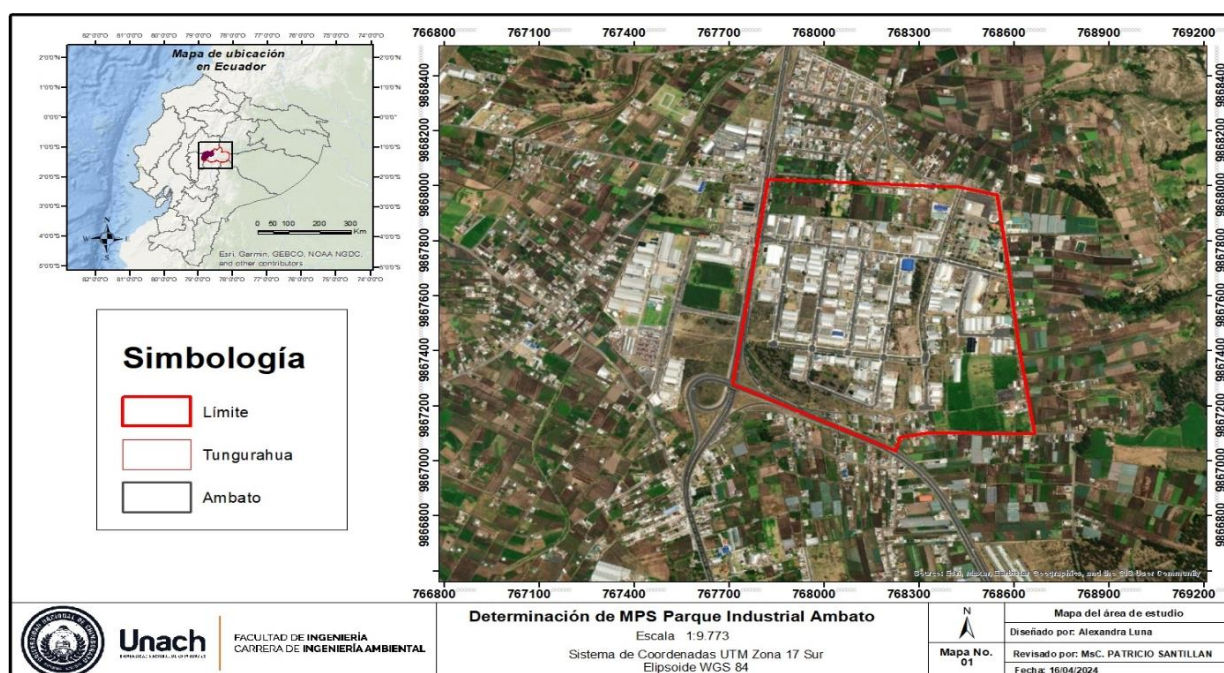
El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato Etapa 2, ubicado en la parroquia Izamba provincia de Tungurahua, situada a una altitud de 2678 m.s.n.m. Según datos obtenidos del anuario meteorológico la provincia de Tungurahua presenta una temperatura de 9 a 20 °C; con una precipitación promedio anual de 504 mm y una humedad relativa de 73,2% (INAMHI, 2019).

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

En el presente estudio se trabajó en el análisis del material particulado sedimentable está concentración de PM se obtuvo de las 34 estaciones fijas distribuidas de manera homogénea en el polígono de estudio. Para posteriormente realizar la interpolación de la dispersión del PM con el uso de la herramienta IDW del software Arc Gis. Para delimitar el área total del estudio se recorrió la misma con el fin de poder recabar información necesaria sobre los límites que posee el Parque Industrial y sus alrededores para posterior colocar las estaciones de monitoreo como se muestra a continuación en la Figura 1.

Figura 1

Área de estudio Parque Industrial Ambato



Fuente: Autor (2024)

3.3. Tipo de estudio

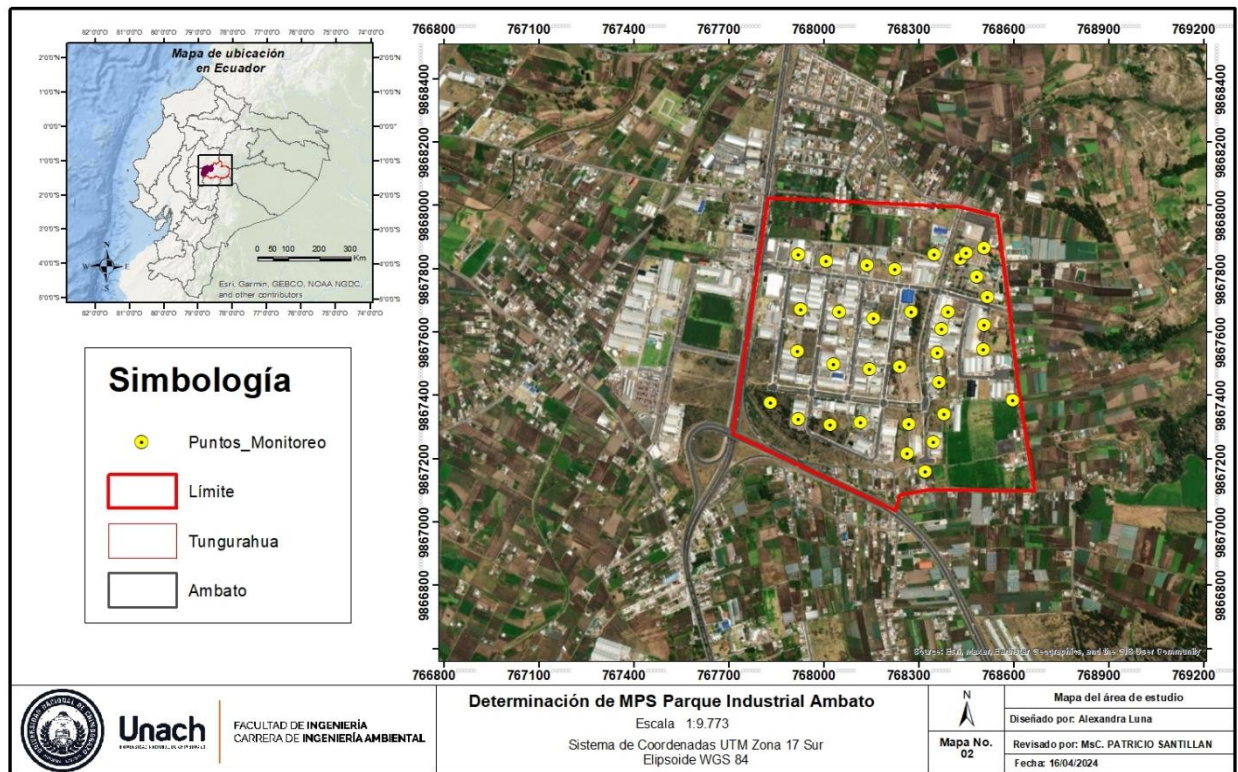
- **Transversal:** La investigación que se realiza tiene un periodo de tiempo determinado.
- **Experimental:** Investigación cuantitativa y cualitativa en donde se realizó un monitoreo, muestreo y posterior análisis en laboratorio para determinar los niveles de concentración de PMS en el parque Industrial de Ambato.
- **Campo:** Ubicación de estaciones de monitoreo en las partes colindantes al parque para recopilación de datos y muestras para análisis.

3.4. Puntos de Muestreo

La ubicación geográfica específica del lugar mediante la utilización de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), ya que este puede registrar las coordenadas en (x, y, z) registrando así los puntos necesarios para el muestreo teniendo en cuenta la población, factores meteorológicos y topográficos, distribución espacial de las fuentes emisoras de material particulado. La información tomada mediante las estaciones colocadas es necesario para el proceso de validación para la realización de los mapas necesarios.

Como se observa en la Figura 2 se colocarán 34 puntos de muestreo, estos estarán ubicados de forma estratégica para poder registrar datos confiables tomando en cuenta el área más industrializada. El control de las estaciones fue de manera continua durante un periodo de 30 días, dentro de las cuales se coloca en una caja Petri con el papel filtro el cual se pesó de forma previa y de igual manera determinada su área (Santillán & Rodríguez, 2016).

Figura 2
Puntos de muestreo Parque Industrial Ambato



Fuente: Autor (2024)

Para ello se llevó un registro con la información de cada sitio como es las coordenadas geográficas. De igual forma incluir fotografías o descripciones en donde se detalla el área y sus alrededores, también registrar si existe algo inusual que afecte el monitoreo del material particulado (Ministerio del Ambiente, 2008).

Para determinar los puntos de análisis se utilizó la metodología FISHNET la cual es una herramienta que ayuda a crear capas vectoriales utilizando variables como son las coordenadas (x,y,z) y, la dirección y velocidad del viento permitiendo así sectorizar el área de estudio en cuadrículas, todos estos valores se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más aledañas al área de estudio como es la Estación Meteorológica del Aeropuerto Ambato.

Al analizar la extensión del área de trabajo puedo definir el número de cuadrículas que necesito teniendo en cuenta la anchura y la altura de la zona de estudio (Gis&Beers, 2016).

Se represento las entidades generadas con una simbología graduada tomando en consideración la variable velocidad que se representa mediante el símbolo de la flecha y asignándole así la rotación al símbolo seleccionado para representar así la variable dirección del viento (Noriega, 2015).

3.5. Monitoreo del Material Particulado

Para la medición del material particulado sedimentable se basó en el principio gravimétrico. Este principio se fundamenta en la medición del peso considerando las partículas que quedan atrapadas o recogidas en el filtro para posterior pesado. Con el peso del papel filtro recolectado del punto de muestreo menos el peso de un papel filtro limpio da el resultado de la cantidad de material particulado sedimentable para ello se ocupa la **Ecuación 1** (Murillo & Roman, 2011).

Ecuación 1. Polvo Atmosférico Sedimentable

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

Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso inicial (mg) (laboratorio)

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

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

3.6. Análisis Morfológico del Material Particulado Sedimentable

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 con en el microscopio con una resolución de 100x.

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 & Rodríguez, 2016).

3.7. Análisis Geoestadístico del Material Particulado Sedimentable

Para desarrollar un adecuado análisis geoestadístico es ineludible la creación de un ciclo metodológico, para poder obtener procesos lógicos de la información y desarrollar mejores resultados para lo cual se realizó la recolección de los datos de la dirección y velocidad del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio (Rodríguez, 2014).

Una vez procesado los resultados obtenidos en la simulación se empleó el Sistema de Información Geográfica ArcGIS para la visualización del mapa de dispersión de material particulado sedimentable. Para ello se utilizó la herramienta de análisis espacial IDW la cual resuelve la ecuación 2:

Ecuación 2. Interpolación con la Distancia Inversa Pondera

$$IDW Z(S_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i)}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad \lambda_i = \frac{1}{d_i^2}$$

Donde: $Z(S_0)$ es el valor que se estima del punto que se ha interpolado

S_0 : es el número de las observaciones usadas para la estimación

λ_i es el peso dado al valor observado $Z(S_i)$ en las cercanías del valor S_0 .

Los pesos de (λ) de los valores son determinados con el fin de que el error promedio sea cero con esto la varianza de error es minimizada, lo cual entrega una predicción no sesgada (Moscoso & Astudillo, 2017).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Puntos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de Ambato

Para el estudio realizado que forma parte del proyecto investigación que consta con la Determinación del PMS que se genera de forma antrópica por las actividades del cantón Ambato. Por tal motivo para cumplir los objetivos que han sido planteados en esta investigación se procedió a seleccionar el Parque Industrial Ambato cuya actividad es manufacturera, almacenamiento, transporte, negocios inmobiliarios, entre otros. Son ideales para la gestión logística de las empresas.

Debido a la generación de este material ya sea este polvo, humo, aserrín el mismo que produce PMS las mismas que afectan de forma directa a los sectores aledaños del Parque Industrial Ambato.

Para poder determinar la concentración del PMS se ubicaron las 34 estaciones fijas para el respectivo monitoreo, las cuales se situaron de manera aleatoria teniendo en cuenta los criterios que deben cumplir el lugar en donde se las ubique (lugar plano, sin edificaciones cerca, arboles) en la Tabla 5, se describen las coordenadas.

Tabla 5
Ubicación Geográfica UTM

MUESTRA	Descripción	X	Y
M1	Textilería	768505	9867865
M2	Mecánica	768516	9867711
M3	Mecánica	768432	9867831
M4	Curtiembre	767919	9867844
M5	Equino	768006	9867825
M6	Aserradero	768136	9867812
M7	Aserradero	768225	9867798
M8	Aserradero	768597	9867385
M9	Equino	768349	9867845
M10	Equino	768449	9867849
M11	Cultivos	768483	9867774
M12	Colortex	768507	9867623
M13	Cultivos	768503	9867544
M14	Laboratorio	768392	9867665
M15	Cultivos	768371	9867610
M16	Construcción	768359	9867534

M17	Cuerpo de Bomberos	768363	9867442
M18	Cuerpo de Bomberos	768380	9867341
M19	Equino	768345	9867252
M20	Lavadora	768268	9867309
M21	Cultivos	768262	9867217
M22	Cultivos	768116	9867314
M23	Textilería	768020	9867307
M24	Lavandería	767918	9867325
M25	Ferretería	768277	9867663
M26	Construcción	768241	9867491
M27	Calzado	768320	9867159
M28	Encauchería	768156	9867644
M29	Mecánica	768143	9867482
M30	Ferretería	768049	9867663
M31	Mecánica	768030	9867499
M32	Pintura Sintética	767928	9867672
M33	Cárnicos	767916	9867539
M34	Restaurant	767832	9867378

Fuente: Autor (2024).

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

Para determinar la concentración de PM en el Parque Industrial de la ciudad de Ambato se utilizó el método pasivo mediante un muestreo aleatorio estratificado, primero se obtuvo el área del papel filtro utilizado en las cajas Petri se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6
Valores del papel filtro

Radio papel filtro (cm)	Área del papel filtro (cm ²)
4,2	55,41

Fuente: Autor (2024).

Luego se prosigue a colocar las 34 estaciones durante un mes (agosto- septiembre 2023) como lo requiere las normativas de calidad de aire de la OMS y el Acuerdo Ministerial 97A -TULSMA, los resultados obtenidos del PMS en cada una de las estaciones fijas, se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7*Concentración de MPS en los puntos de monitoreo.*

MUESTRA	X	Y	Peso inicial mg	Peso final mg	PMS (mg/cm ² /mes)
M1	768505	9867865	424	447,9	0,4313
M2	768516	9867711	420	455,2	0,6353
M3	768432	9867831	425	455,3	0,5468
M4	767919	9867844	421	444,7	0,4277
M5	768006	9867825	420	440,7	0,3736
M6	768136	9867812	423	450,7	0,4999
M7	768225	9867798	425	448,7	0,4277
M8	768597	9867385	419	470,6	0,9312
M9	768349	9867845	422	475,5	0,9655
M10	768449	9867849	420	464,8	0,8085
M11	768483	9867774	421	445,5	0,4422
M12	768507	9867623	419	451,3	0,5829
M13	768503	9867544	425	458,2	0,5992
M14	768392	9867665	420	448,6	0,5162
M15	768371	9867610	421	450,6	0,5342
M16	768359	9867534	423	462,3	0,7093
M17	768363	9867442	425	460,6	0,6425
M18	768380	9867341	421	463,3	0,7634
M19	768345	9867252	418	438,9	0,3772
M20	768268	9867309	422	465,9	0,7923
M21	768262	9867217	420	445,4	0,4584
M22	768116	9867314	423	449,7	0,4819
M23	768020	9867307	421	441,9	0,3772
M24	767918	9867325	423	458,2	0,6353
M25	768277	9867663	422	451,8	0,5378
M26	768241	9867491	423	454	0,5595
M27	768401	9867093	420	451,2	0,5631
M28	768156	9867644	422	451,7	0,5360
M29	768143	9867482	420	466,7	0,8428
M30	768049	9867663	423	450,4	0,4945
M31	768030	9867499	420	444,1	0,4349
M32	767928	9867672	420	488,9	1,2435
M33	767916	9867539	421	455,3	0,6190
M34	767832	9867378	422	450,2	0,5089

Fuente: Autor (2024).

Una vez realizado el análisis se pudo determinar que el valor más alto dentro de 34 puntos de monitoreo de MPS, corresponde al **punto 32** con un valor de 1,2435 (mg/cm²/mes) mientras que el valor más bajo lo presento el **punto 5** con 0,3736 (mg/cm²/mes).

4.3. Comparación de valores según la OMS y el Acuerdo Ministerial 097A

Tabla 8

Comparación de valores según la OMS

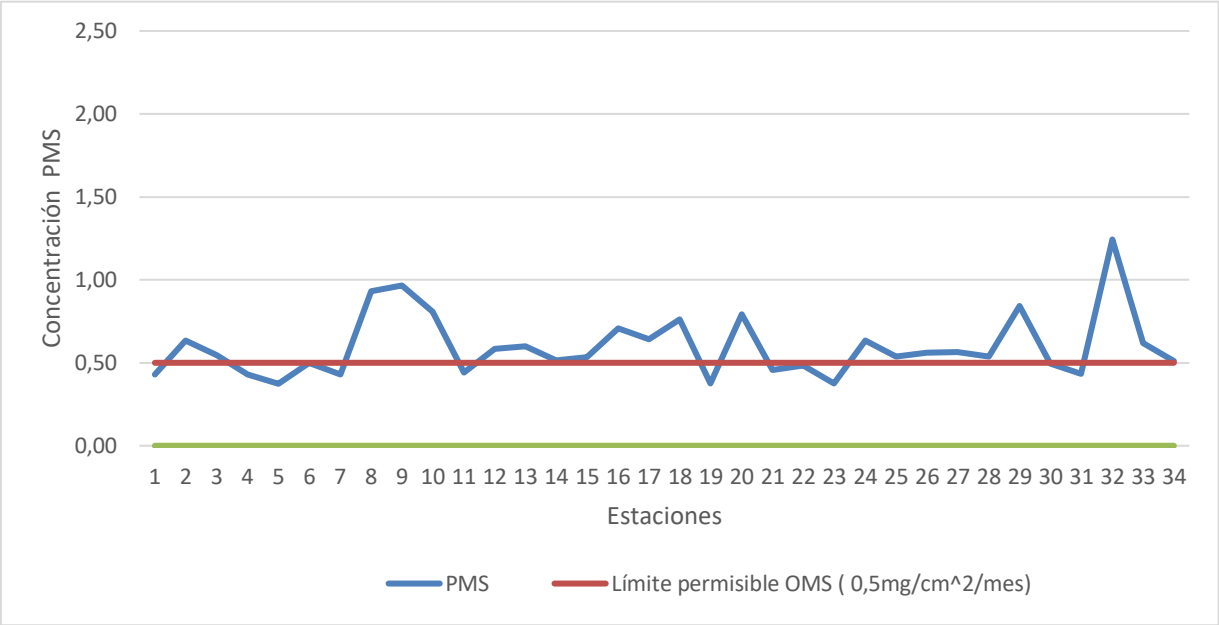
MUESTRA	PMS (mg/cm ² /mes)	Limite permisible según la OMS	Cumple SI O NO
M1	0,4313	0,5 (mg/cm ² /mes)	SI
M2	0,6353		NO
M3	0,5468		NO
M4	0,4277		SI
M5	0,3736		SI
M6	0,4999		SI
M7	0,4277		SI
M8	0,9312		NO
M9	0,9655		NO
M10	0,8085		NO
M11	0,4422		SI
M12	0,5829		NO
M13	0,5992		NO
M14	0,5162		NO
M15	0,5342		NO
M16	0,7093		NO
M17	0,6425		NO
M18	0,7634		NO
M19	0,3772		SI
M20	0,7923		NO
M21	0,4584		SI
M22	0,4819		SI
M23	0,3772		SI
M24	0,6353		NO
M25	0,5378		NO
M26	0,5595		NO
M27	0,5631		NO
M28	0,5360		NO
M29	0,8428		NO
M30	0,4945		SI
M31	0,4349		SI
M32	1,2435		NO
M33	0,6190		NO
M34	0,5089		NO

Fuente: Autor (2024).

En la Tabla 8 se muestra la comparación de los datos a partir de la (Tabla 7) de acuerdo con los LMP según la OMS de MPS. Con referencia a los valores expuestos se pudo identificar que las muestra **1, 4, 5, 6, 7, 11, 19, 21, 22, 23, 30, 31** estos puntos son los que

están dentro de los límites permisibles establecidos por la OMS (0,5 mg/cm²/mes), mientras que los 22 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 (2024)

A continuación, en la **Tabla 9**. Se muestra la comparación con la **Tabla 7**. De acuerdo con los límites permisibles por la normativa de calidad ambiental de Ecuador del Acuerdo Ministerial 097 -A.

Tabla 9
Comparación de valores de MPS según el Acuerdo Ministerial 097A.

MUESTRA	PMS (mg/cm ² /mes)	Limite permisible según Acuerdo Ministerial 097A	Cumple SI O NO
M1	0,4313		SI
M2	0,6353		SI
M3	0,5468		SI
M4	0,4277		SI
M5	0,3736		SI
M6	0,4999		SI
M7	0,4277		SI
M8	0,9312		SI
M9	0,9655		SI
M10	0,8085		SI

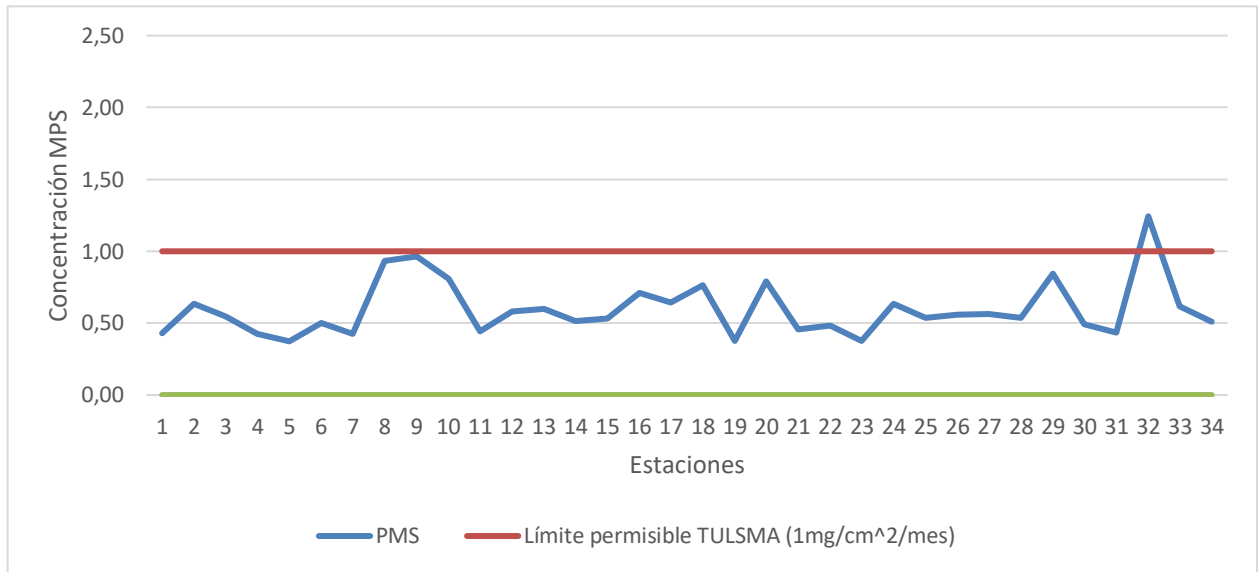
M11	0,4422		SI
M12	0,5829		SI
M13	0,5992		SI
M14	0,5162		SI
M15	0,5342		SI
M16	0,7093		SI
M17	0,6425	1 (mg/cm ² /mes)	SI
M18	0,7634		SI
M19	0,3772		SI
M20	0,7923		SI
M21	0,4584		SI
M22	0,4819		SI
M23	0,3772		SI
M24	0,6353		SI
M25	0,5378		SI
M26	0,5595		SI
M27	0,5631		SI
M28	0,5360		SI
M29	0,8428		SI
M30	0,4945		SI
M31	0,4349		SI
M32	1,2435		NO
M33	0,6190		SI
M34	0,5089		SI

Fuente: Autor (2024)

Del mismo modo de acuerdo con los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 097A que es de 1 (mg/cm²/mes) se puede establecer que únicamente se encuentra fuera de este rango la muestra 32: con un valor de 1,2435 (mg/cm²/mes) mientras que los demás 33 puntos se encuentran dentro 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 Acuerdo Ministerial 097A

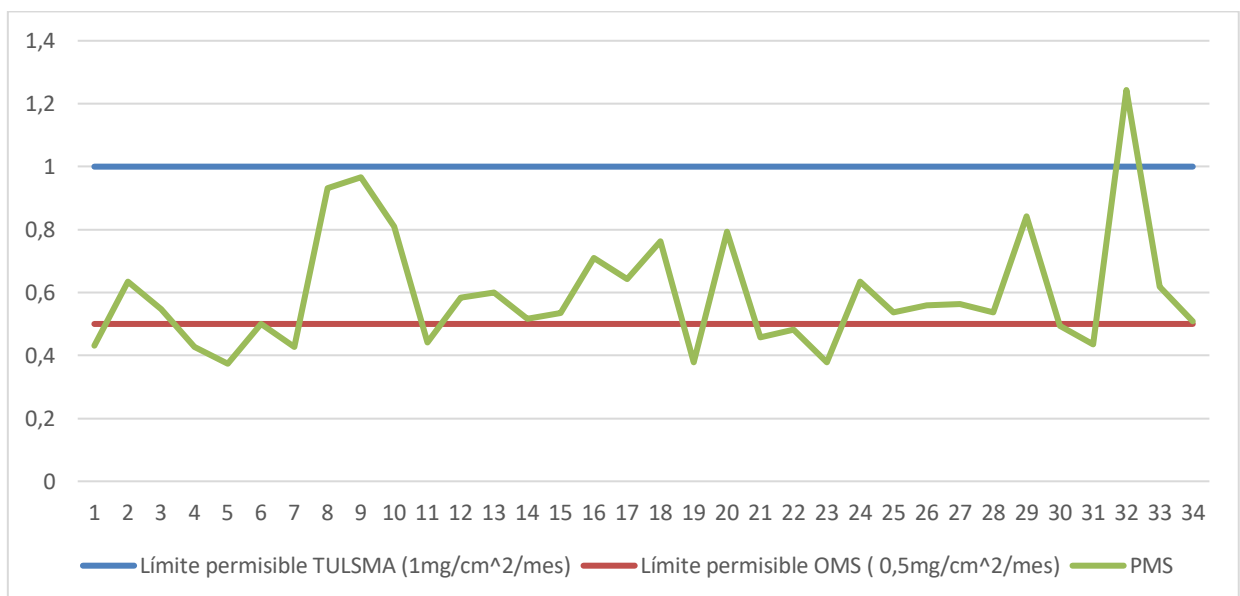


Fuente: Autor (2024)

Se debe considerar factores, ya sean naturales o provocados por el hombre, como la velocidad y dirección del viento, la humedad en el área, el tráfico de vehículos, la altura del lastre, todos los cuales pueden afectar la dispersión de partículas y, por lo tanto, la dispersión de partículas a lo largo del período de muestreo (Arrieta Fuentes, 2016).

Figura 5

Comparación de los valores de MPS según la OMS y el Acuerdo Ministerial 097A



Fuente: Autor (2024)

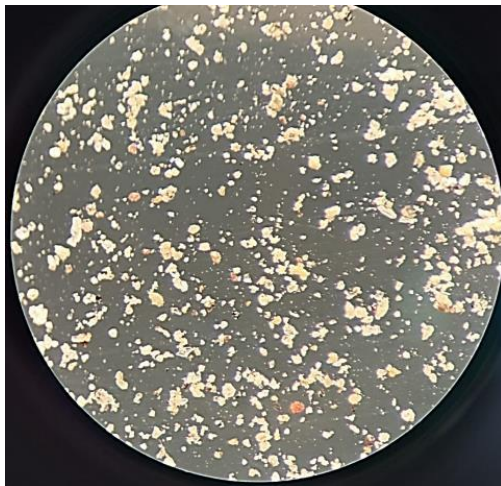
En la figura 5 se puede observar que al comparar los límites máximos permisibles tanto del Acuerdo Ministerial 097-A como de la OMS el único valor que sobrepasa estos límites corresponde a la muestra 32 con un valor de 1,2435 (mg/cm²/mes).

4.4. Características Morfológicas del Material Particulado Sedimentable del Parque Industrial Ambato

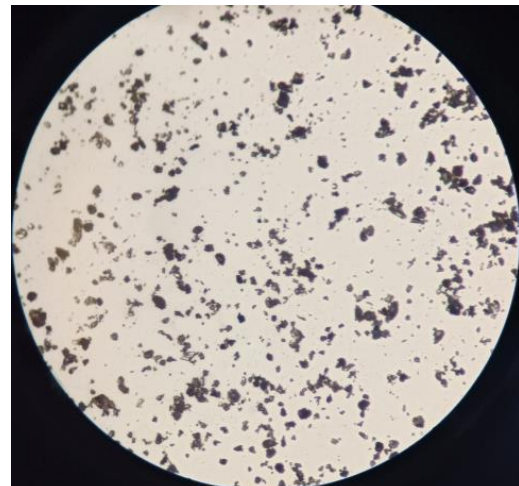
La caracterización del material particulado sedimentable de las 34 estaciones establecidas en el interior del Parque Industrial Ambato se las puede observar en la **Figura 6**.

Figura 6

Observación de las muestras en el microscopio óptico



Muestra 5



Muestra 32

Fuente: Autor (2024)

Las imágenes obtenidas del microscopio óptico en una resolución 100x muestran el resultado de una morfología irregular además de diferentes tamaños que se relacionan con la ubicación de cada una de las muestras, también existen formas semiesféricas, como partículas alargadas levemente cilíndricas (López, 2013).

En la muestra 5 se puede observar diferentes tipos de partículas como pueden ser orgánicas debida a la coloración verde esto se debe a que esta muestra fue tomada en el Centro de Equitación en donde existe gran variedad de vegetación (López, 2013).

Partículas de la muestra 32 (polvo) que se presentó en forma de granos irregulares y

porosos, debido al proceso de pintura automotriz, por ende, estas fuentes de emisión de PMS, traerá graves consecuencias al medio ambiente y a la salud de las personas que viven alrededor de la zona de estudio (López, 2013).

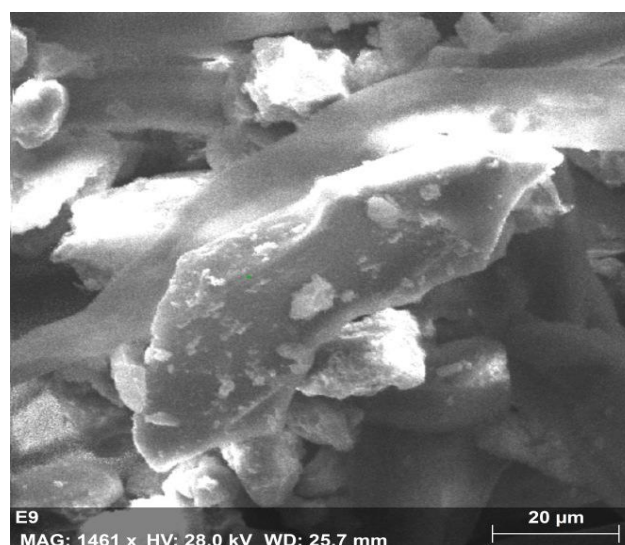
4.5. Determinación de elementos encontrados en las muestras del material particulado, según el microscopio de barrido

La composición química del material particulado se determinó a través del uso del microscopio electrónico de barrido arrojando los siguientes resultados en la muestra 5 se puede observar presencia de: O, Si, Al, Na, In, K, Mg, Fe. Dónde claramente el Oxígeno y el Silicio abunda alrededor de la muestra tomada. Así mismo en la muestra 32 se observa elementos como: C, O, Fe, Si, Al, In, Ba, Mg.

Haciendo una relación en ambas estaciones, el silicio tiene una mayor presencia. Debido a que, este elemento se encuentra generalmente en la corteza terrestre en forma de cuarcita, que es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo, con una composición del 90% de Silicio. Este elemento puede causar enfermedades de las vías respiratorias, tuberculosis pulmonar, enfermedad renal crónica, cáncer de pulmón y silicosis (SEMARNAT, 2011).

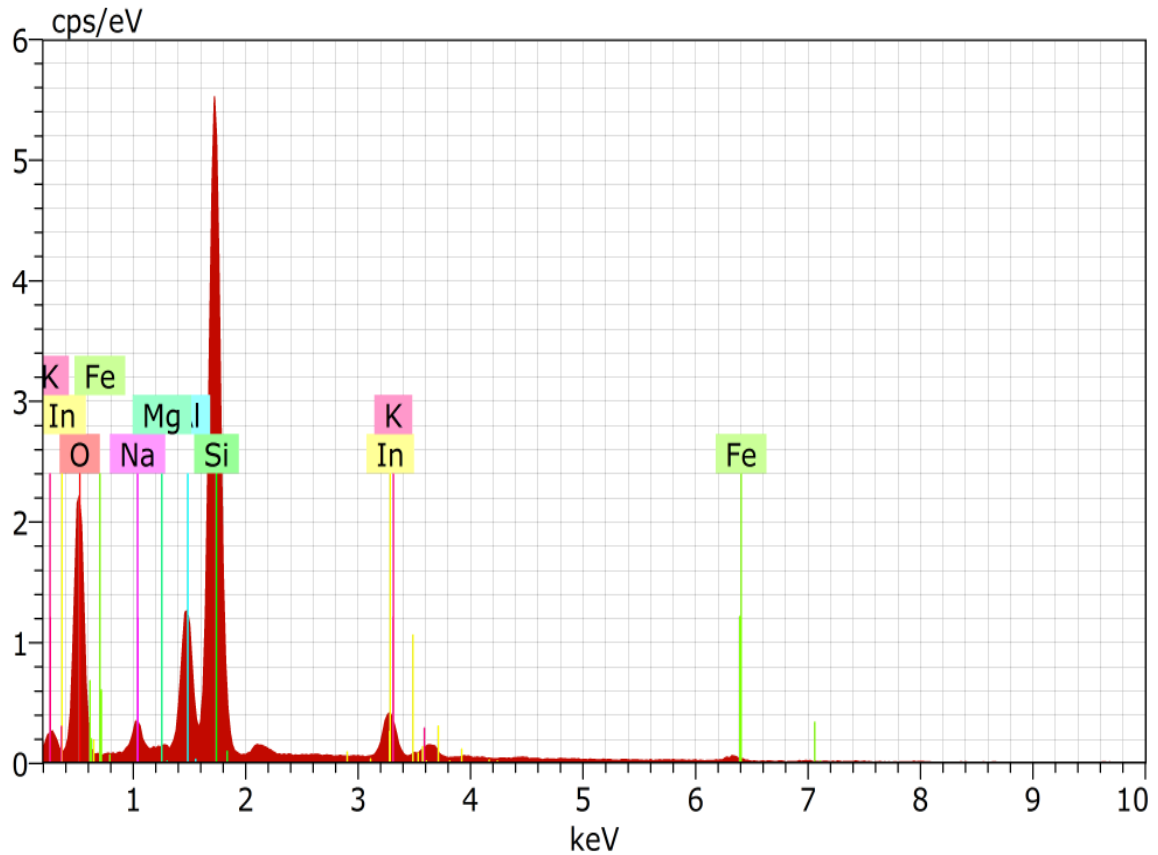
Figura 7

Análisis Molecular Muestra 5 microscopio de barrido



Fuente: Autor (2024)

Figura 8
Reporte molecular muestra 5 microscopio de barrido



Spectrum: 120919 570

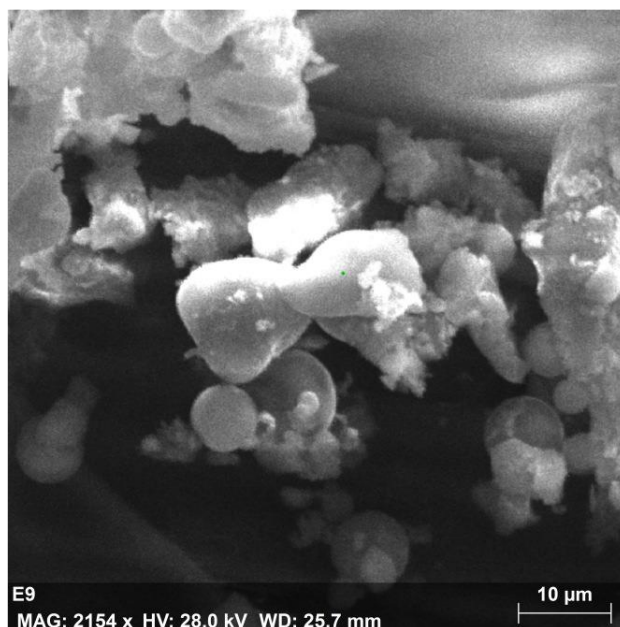
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	66.28	57.06	70.86	8.26
Si	14	K-series	31.45	27.07	19.15	1.42
Al	13	K-series	7.93	6.83	5.03	0.43
Na	11	K-series	4.22	3.64	3.14	0.33
In	49	L-series	3.73	3.21	0.56	0.15
K	19	K-series	1.07	0.92	0.47	0.07
Mg	12	K-series	0.87	0.75	0.61	0.09
Fe	26	K-series	0.61	0.53	0.19	0.06
Total:			116.17	100.00	100.00	

Fuente: Autor (2024)

En la muestra número 5 tenemos la presencia de Silicio con una concentración de 31,45% y en menor concentración los elementos Al, Na, In, K, Mg, Fe con 7,93%, 4,22%, 3,73% respectivamente y otras trazas de metales.

Figura 9

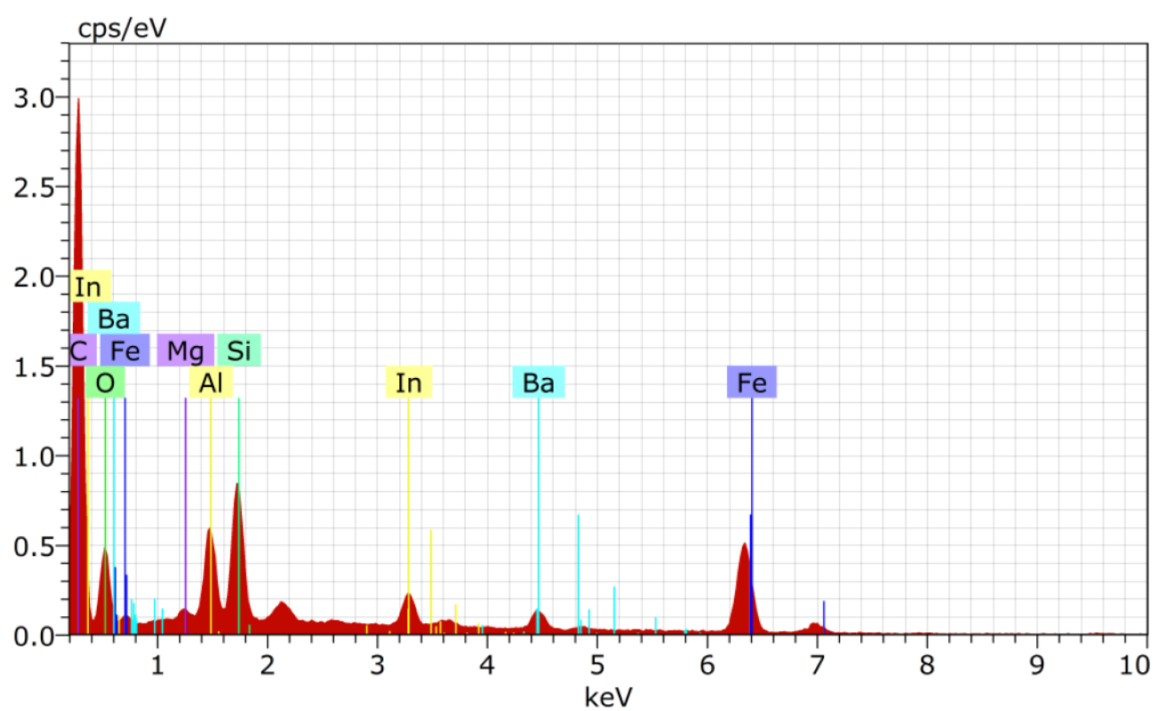
Análisis Molecular Muestra 32 microscopio de barrido



Fuente: Autor (2024)

Figura 10

Reporte molecular muestra N° 32, obtenido con el microscopio de barrido



Spectrum: 120919 572

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	508.51	68.66	79.15	60.70
O	8	K-series	145.76	19.68	17.03	21.63
Fe	26	K-series	25.89	3.50	0.87	0.73
Si	14	K-series	17.62	2.38	1.17	0.83
Al	13	K-series	14.89	2.01	1.03	0.80
In	49	L-series	12.47	1.68	0.20	0.44
Ba	56	L-series	10.35	1.40	0.14	0.35
Mg	12	K-series	5.17	0.70	0.40	0.36
Total:			740.66	100.00	100.00	

Fuente: Autor (2024)

En la muestra 32 se observa la presencia en menor concentración de los elementos Fe, Si, Al con 25,89%, 17,62%, 14,89% respectivamente y otras trazas de metales tales como Indio, Bario, Magnesio se descarta la presencia de Carbono y el Oxígeno ya que son elementos propios del proceso de análisis.

Análisis

Las partículas sedimentables que se encontraron en el análisis de las dos muestras presentan una variedad de formas, como esferas, elipses, redondeadas, cubos, formas irregulares o geometría fractal, placas angulares y porosas de tamaños mayor a 10 μm . Como lo menciona (Chen, 2021), la morfología de este tipo de partículas por lo general es de origen de procesos industriales o naturales, combustión, tránsito vehicular.

En las muestras analizadas tenemos la presencia del C el cual se produce a partir de la combustión incompleta de vehículos automotores a diésel, su presencia es un polvo negro o café el cual está formado por minúsculas partículas permaneciendo en la atmósfera por varios días y semanas, después se deposita en el suelo (Bergman, 2011).

También está la presencia de silicio y aluminio, sustancias del suelo, del polvo de caminos y autopistas, del polvo de los procesos constructivos y del polvo transportado por el viento que puede permanecer suspendido durante muchos días (Quijano & Henao, 2019).

También se identificaron elementos como hierro, potasio, y sodio, provenientes de la resuspensión de polvo, la combustión de vehículos, el desgaste de llantas y frenos. Por último, está el elemento In, que es el elemento básico del transistor del motor de un coche. Las partículas y compuestos liberados al aire en determinadas concentraciones pueden tener efectos nocivos para la salud humana, como una función pulmonar reducida, una mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias, muerte prematura y cáncer (Vargas & Onatra, 2024).

4.6. Dispersión y Concentración de Material Particulado Sedimentable mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

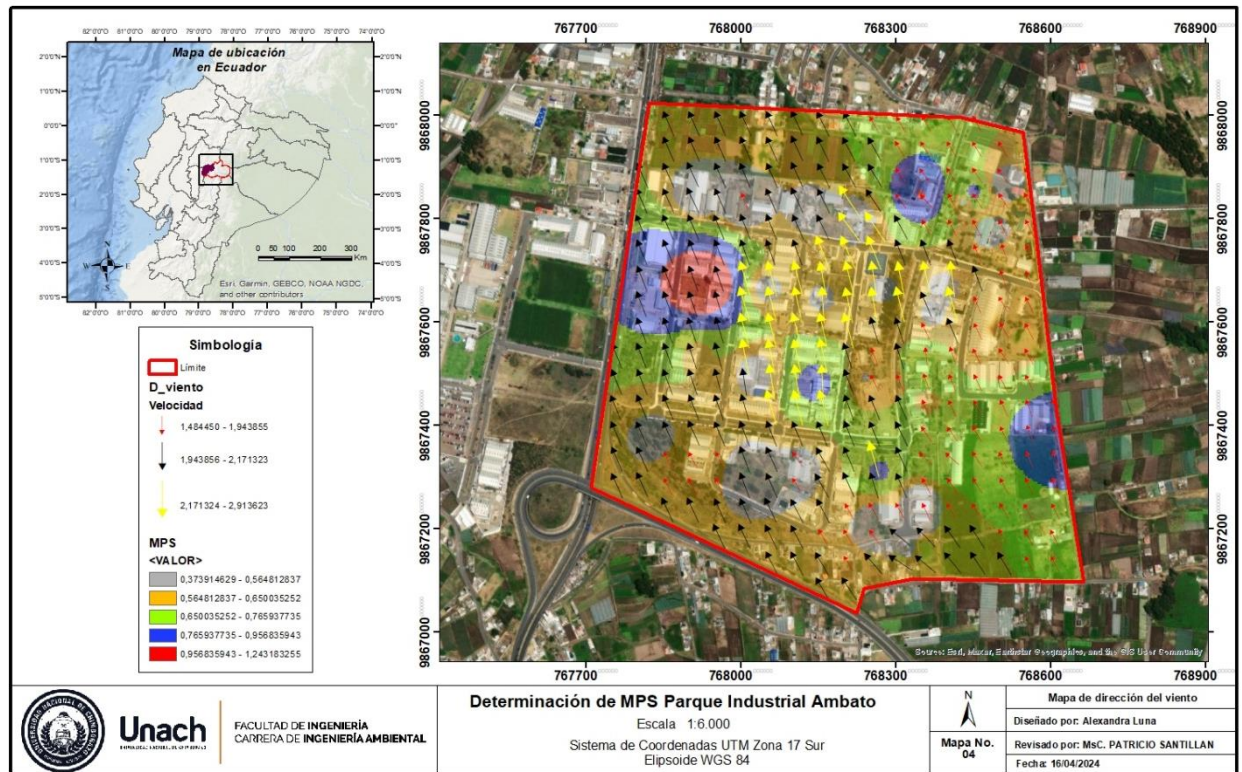
Se realizó como parte final la elaboración del mapa de la dispersión y concentración del PMS del Parque Industrial Ambato durante el periodo de los meses (agosto – septiembre del 2023).

Para dicho mapa se necesitaron las variables latitud y longitud, mientras que los otros datos a utilizar como son la dirección y velocidad del viento se los obtuvo de la estación meteorológica del Aeropuerto Ambato.

Teniendo en cuenta la dirección la cual fue Noroeste (NOE) y con una velocidad promedio de (2,49 m/s) esto nos indica como ha sido el desplazamiento del material particulado en el área de estudio.

Mediante el uso del sistema de información geográfica (SIG) se procedió a interpolar los datos recogidos de las muestras para así obtener los valores de la concentración para mediante colores poder diferenciar las áreas con mayor o menor concentración; de igual manera se realizó el mismo procedimiento para determinar la dispersión con los datos de la velocidad y dirección del viento clasificándolos así en categorías, en este caso fueron de baja, media y alta como se puede observar en la **Figura 11**.

Figura 11
Mapa de Dispersión y Concentración PMS



Fuente: Autor (2024)

Como se observa en la **Figura 11** la dirección del viento en el periodo (agosto-septiembre) fue en sentido noroeste, y los rangos de concentración se muestran en intervalos de colores. El color plomo refiere los valores más bajos de concentración de PMS en los puntos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 14, 15, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 34 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 comprendidos entre 0,5648 a 0,65 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ en los puntos 2, 12, 13, 17, 24, 27, 33, con empresas que no tienen actividades que generen cantidades de PM representativo como mecánicas, bloqueras, gasolineras etc. y el color verde muestra los valores con niveles medios de concentración en los puntos 16, 18, el color azul con valores comprendidos entre 0,76 a 0,95 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ en los puntos 8, 10, 20, 29 y el color rojo representan los valores de concentración de material particulado más altos el cual en los puntos 9 y 32. 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 5** con 0,3736 mg/cm²/mes y el valor más alto se registró en el **punto 32** con 1,2435 mg/cm²/mes. Esta última concentración es la que representa problemas significativos para las personas que laboran dentro de esta empresa; así como habitantes aledaños a las instalaciones del Parque Industrial.

Discusión

Los resultados obtenidos en el monitoreo de MPS tanto para una zona industrial como para una zona de alto flujo vehicular, residencial y comercial, definitivamente superan las normas con grandes concentraciones de MPS en los puntos motivo de estudio, en comparación con estudios realizados en zonas industriales, estos valores están por encima, según (Guevara & Logroño, 2020) en el monitoreo de MPS realizado en 14 puntos de una comunidad aledaña a una zona industrial, el promedio de la concentración de material particulado sedimentable es de 4,24 mg/cm²/mes; sin embargo, en el punto más cercano a la industria obtuvieron un valor de 8,45 mg/cm²/mes, es por eso que en una comparación con el punto de estudio el cual se encontraba junto a la industria se obtuvo 12,29 mg/cm²/mes es crucial identificar las zonas más vulnerables, ya que están dentro del alcance directo de las emisiones de partículas. Por lo tanto, es fundamental realizar evaluaciones previas antes de que una industria se establezca en un área, con el fin de asegurar que sus actividades no impacten negativamente al medio ambiente ni a la salud de la población.

Existen pocas investigaciones sobre la calidad del aire en la ciudad de Ambato y Riobamba, Instituciones de Educación Superior como Universidad Técnica de Ambato, el Instituto Técnico Superior “ISTRA”, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la Universidad Nacional de Chimborazo en los últimos años han comenzado a realizar estudios sobre las concentraciones de material particulado sedimentable, este es el caso de una investigación realizada en el Parque Industrial de la ciudad de Riobamba con 14 puntos de muestreo se identificó que 6 puntos sobrepasan el nivel permitido según la norma OMS y el Acuerdo Ministerial 097 A (Carrasco & Santillán, 2021). En la Comunidad de Gatazo Grande Cantón Colta se demostró todos los valores obtenidos superan el LMP de la OMS 25 µg/m³, pero no sobrepasan el LPM del Acuerdo Ministerial 097A, esto a consecuencia de la actividad industrial adyacente (Paguay, 2023). Cabe recalcar que en los estudios antes mencionados no existe un plan de contingencia para tomar medidas acertadas y pertinentes

que disminuyan los niveles de contaminación en la atmosfera.

Por otra parte, en un estudio realizado en la Reserva Biológica Limoncocha con el mismo equipo y metodología utilizada para este estudio, en todos los valores (ocho mediciones periódicas) sobrepasa lo permitido por la legislación ecuatoriana, incluso cuando la zona y las condiciones climáticas son completamente distintas a los de este estudio, se obtuvo valores que van de 1,9 mg/cm²/mes hasta los 24,7 mg/cm²/mes (Valdiviezo, 2018).

En la ciudad de Cuenca- Ecuador en donde el 45% de sus puntos superaron los límites establecidos en la normativa ambiental, el punto con mayor concentración que obtuvieron es de 4,32 mg/cm²/mes, cercano al valor que se registró en nuestro punto de monitoreo, lo que claramente se comprueba que en estas zonas se ven afectadas por el flujo vehicular y diversas actividades antrópicas de estas zonas. Una vez realizado los análisis de material particulado sedimentable se pudo evidenciar que en los dos puntos escogidos para el monitoreo los resultados obtenidos sobrepasan los límites máximos permisibles, según la Organización Mundial de la salud (OMS) establece un máximo permisible de MPS de 0,5 mg/cm²/mes como el 100%, de acuerdo a los resultados obtenidos la concentración supera estos límites en un 2458% en el colegio Salesianos, en el sector sur en la Av. Pedro Vicente Maldonado supera en un 1074% (García & Astudillo, 2018).

En otro estudio realizado en Cajabamba una parroquia urbana del cantón Colta en esta zona de estudio se implementaron 22 estaciones de monitoreo los cuales dieron como resultado un valor medio de 0,7098 mg/cm²/mes, con un máximo de 0,9997 mg/cm²/mes y un mínimo de 0,4674 mg/cm²/mes, estos resultados indican que la calidad del aire puede verse seriamente comprometido, ya que la concentración de MPS en áreas urbanas excede el límite máximo permisible propuesto por la OMS. Esto podría deberse a la circulación de automóviles ya que la parroquia Cajabamba es atravesada por una arteria vial importante como la E35 o la Troncal de la Sierra (Santillán & Rodríguez, 2023).

En comparación entre los dos puntos de monitoreo en el presente estudio, en el punto 32 se obtuvo mayor concentración de material particulado sedimentable de 1,2435 mg/cm²/mes, esto debido a la fuerte presencia industrial, en este caso es un taller enfocado al enderezamiento y pintura de autos, proceso que emite polvo hacia la atmósfera producto de la lijada y pulida de los vehículos, por otro lado en el punto 5 se obtuvo la menor

concentración de material particulado $0,3736 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, debido que es una institución dedicada al deporte de equitación en la cual cuenta con muchas áreas verdes, el material particulado se produce por el movimiento de la caballería en su interior, al establecerse una comparación entre estos dos sectores motivo de estudio, es claro y evidente que en el sector donde existe la presencia de procesos industriales la calidad del aire es afectada en mayores concentraciones, en cambio en un sector con espacios naturales el aire es menos contaminado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los resultados que se obtuvieron en el Parque Industrial Ambato de la ciudad de Ambato ayudo para realizar la estimación de la concentración del PMS de las 34 estaciones de monitoreo para consiguiente realizar así el mapa de la dispersión del material particulado sedimentable del área de estudio.
- Se implemento 34 puntos de muestreo de material particulado en el área de estudio ya que no existe estaciones que ayude con este tipo de información. Los valores obtenidos de estas son de importancia debido que dan a conocer la calidad del aire para posterior ver la influencia de estos en la calidad de vida y salud de las personas del sector.
- 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 8, 9, 10, 16, 18, 20, 29, 7, 32 a las establecidas por el Acuerdo Ministerial 097A 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 μm ; 10 μm y 1 μm , 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 8, 10, 20, 29, 9 y 32. 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.

5.2. 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.
- Se recomienda que la universidad tenga convenios con las empresas del Parque Industrial de la ciudad de Ambato para tener más acceso a la toma de muestras dentro de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola un ser vivo. 55- 60.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2540941>
- Alvarado, R., & Puyol, D. (2020). *ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL PARTICULADO*.
- Alvis, E. (2012). *Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad*.
- Arciniegas, C. (12 de Agosto de 2012). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO*. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Armijo, R. J. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja revista de ciencias de la vida*, 23(1), 12-24.
[https://doi.org/Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador](https://doi.org/Análisis%20y%20revisión%20de%20la%20red%20de%20monitoreo%20de%20calidad%20del%20aire%20de%20la%20ciudad%20de%20Cuenca%20-%20Ecuador)
- Arrieta Fuentes, A. (2016). *Dispersión de material particulado (PM 10)*.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445
- Arrieta, A. (08 de Julio de 2016). *Dispersión de material particulado (PM 10)*.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445
- Arroyave, M. (2018). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Revista Distrital*, 22(1), 12-20.
<https://doi.org/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*”. Universidad Nacional de Chimborazo, 2017.
- Bergman, J. (2011). Ventanas al universo:
https://www.windows2universe.org/earth/climate/black_carbon.html&lang=sp
- Blanco, L. (2019). *Efecto de la lluvia ácida sobre la germinación y el crecimiento de*.
https://doi.org/10.18975/jais.21.2_27
- Bravo, L. (23 de Abril de 2017). *Red de repositorios Latinoamericanos*.
https://www.bing.com/search?pglt=41&q=Determinaci%C3%B3n+y+caracterizaci%C3%B3n+de+material+particulado+sedimentable+en+el+casco+urbano+del+cant%C3%B3n+Portovelo&cvid=28f8de9f84654d04831b73960bdf04da&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDEzOTHqMGoxqAIAsAIA&FO
- Carrasco, K., & Santillán, P. (2021).
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8352/3/8.TESIS-Karen%20Carrasco->

- Parque%20Industrial-%20%281%29.pdf
- Castagnasso, G. (2017). *Herramientas de gestión: relación entre concentraciones de material particulado fracción gruesa (MP10) y material particulado fracción fina*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100790>
- Castro, P. (2010). Polución por material particulado fino (PM 2,5) incrementa las. *Pontificia Universidad Católica de Chile*, 306-314. <https://doi.org/https://www.scielo.cl/pdf/rchcardiol/v29n3/art04.pdf>
- Chen, Y. (2021). *Characteristics of the coal fines produced from Low Rank Coal Reservoirs and their Wettability*. <https://www.proquest.com/openview/bbe4bbacb5c120bbb58aca6dc69b8e58/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034142>
- Comisión Europea. (13 de Mayo de 2010). *la industria de fabricación de cemento cal, oxido*. <https://prtr-es.es/Data/images/Sumario-Ejecutivo-Cemento-final-CIRCA.pdf>
- Conde, M. (12 de Septiembre de 2013). *IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE CAMBIO Climatico*. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2013nExtra/edlc_a2013nExtrap796.pdf
- DECRETO EJECUTIVO 3516. (29 de Marzo de 2017). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- García, N., & Astudillo, A. (2018). *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*. <https://rlac.buap.mx/sites/default/files/9%2820%29-3.pdf>
- Garreaud, R., & Rutllant, J. (2006). *Factores Metereologicos de la Contaminaci{on Atmosférica*. http://dgf.uchile.cl/rene/PUBS/Libro_CA.pdf
- Guevara, E., & Logroño, B. (2020). *LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SECTOR INDUSTRIAL*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7186/2/8.%20Tesis%20Material%20Particulado%20Guevara-Logro%C3%B1o%202020%20%281%29.pdf>
- INAMHI. (2019). <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Lara, C. (2018). *Revista Científica TESLA*. <https://tesla.puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/tesla/article/view/20>
- López, G. (2013). *El microscopio bajo mis manos*. <https://www.redalyc.org/journal/104/10475688007/html/>
- MAE. (2002). *Normas de Concentraciones de emisión al aire desde fuentes de combustión*. Ministerio del Ambiente. (2008). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/RESOLUCION-35.pdf>

- Moscoso, D., & Astudillo, A. (2017). *Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca-Ecuador*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-17982015000200010&script=sci_abstract&tlng=es
- Murillo, J., & Roman, S. (2011). *Validación de un método de análisis para la determinación de metales pesados*. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/71
- Natura, F. (2009). Calidad del Aire. En *Programa de Calidad de aire en el Ecuador* (págs. 111-121). Fundación Natura.
- Negral, L. (2010). *Variabilidad de niveles y composición del material particulado en suspensión en el sudeste de la Península Ibérica*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=50134>
- Noriega. (2015). https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/noriega_esp_a%C3%B1a_3115360
- Núñez. (2019). *Estimación de fuentes de material particulado atmosférico (pm 10 y pm. 2.5)*. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6017>
- OMS. (30 de Marzo de 2005). https://doi.org/https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.0%202_spa.pdf;jsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1
- OMS. (16 de Diciembre de 2016). <https://www.who.int/es/news/item/16-12-2016-who-celebrates-achievements-in-2016-despite-global-health-challenges>
- Oyarzún, M. (2010). *Contaminación aérea y sus efectos en la salud*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482010000100004
- Paguay, F. (2023). *Polo del Conocimiento*. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5248/html>
- Palacios, E. (2014). CONTAMINACIÓN DEL AIRE EXTERIOR CUENCA - ECUADOR, 2009 - 2013. POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD. *Rraae*, 2(5), 5-7. https://doi.org/https://rraae.cedia.edu.ec/Record/REVUC_724106ab9d9cdece09626335e14b0211
- Peña, S. (2 de Febrero de 2018). *Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000200289
- Quijano, A., & Henao, J. (2019). *Caracterización fisicoquímica del material particulado-*

- fracción respirable*. <https://www.redalyc.org/pdf/903/90315226007.pdf>
- Rodríguez. (2014). *Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico en la evaluación de la calidad del aire*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13446>
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del suelo*. <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sánchez, M. (2019). Impacto de la contaminación ambiental en los ingresos hospitalarios pediátricos: estudio ecológico. *Rev Pediatr Aten Primaria*, 21(81), 21-29. <https://doi.org/https://doi.org/10.4321/s1139-76322019000100003>
- Sanchis, L. (2016). *Caracterización física de las fracciones másicas*.
- Sanguinetti, C. G. (2017). Urban growth . *Reporte economico*, 2(5), 19.24. https://doi.org/http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-%208ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.20%2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMB%20ETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_
- Santillán, P., & Rodríguez, M. (2016). *Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado*. <https://novasinergia.unach.edu.ec/index.php/novasinergia/article/view/232>
- Santillán, P., & Rodríguez, M. (2023). *EAI Endorsed Transactions*. [file:///C:/Users/Profesional/Downloads/Assessment+of+the+Concentration+of+Settleable+Part_240726_154724%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional/Downloads/Assessment+of+the+Concentration+of+Settleable+Part_240726_154724%20(1).pdf)
- SEMARNAT. (2011). *Guía metodológica para MPS*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
- Suárez, y. M. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, págs. 357-363. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubhigepi/chi-2014/chi143h.pdf>
- Tenorio, K. (2019). *INCIDENCIA DEL PARQUE INDUSTRIAL DEL CANTÓN ESMERALDAS MATERIAL PARTICULADO*. Esmeraldas.
- TULSMA. (29 de mARZO de 2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE*. <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/DECRETO%20EJECUTIVO%203516%20-%20TULSMA.pdf>
- Valdiviezo. (2018). *Atena Editora*. <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/determinacion->

- de-la-concentracion-de-metales-pesados-mediante-la-caracterizacion-de-material-particulado-sedimentable-en-la-reserva-biologica-limoncocha-ecuador
- Vargas, C. (Julio de 2011). *Efectos de la fracción gruesa del material particulado en la salud*.
https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/Efectos_en_la_salud_particulado_Claudio_Vargas_2011_MINSAL.pdf
- Vargas, S., & Onatra, W. (2024). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y EFECTOS RESPIRATORIOS EN NIÑOS, EN MUJERES EMBARAZADAS Y EN ADULTOS MAYORES*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262008000100006
- Villacrés. (2015). *Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable*. ESPOCH.
- Yohannessen, C. U. (12 de Febrero de 2017). *Revista Medica Clinica Las Condes*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214?via%3Dihub>
- 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.* Universidad Militar Nueva Granada.

ANEXOS



Fotografía 1. Preparación de equipos de muestreo.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 2. Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 3. Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 4. Instalación de estaciones de material particulado sedimentable.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 5. Instalación de estaciones de material particulado sedimentable

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 6. Supervisión de las estaciones colocadas en el área de estudio.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 7. Pesaje de las muestras tomadas.

Fuente: Autor (2024).



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

Fuente: Autor (2024).



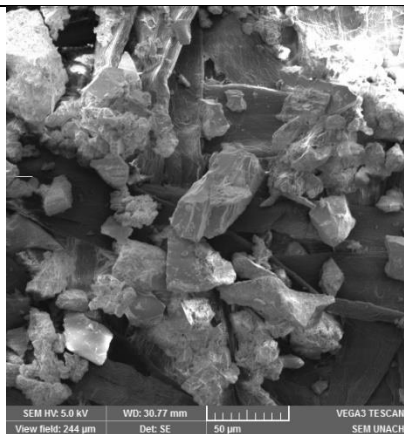
Fotografía 9. Pesaje de las muestras tomadas.

Fuente: Autor (2024).



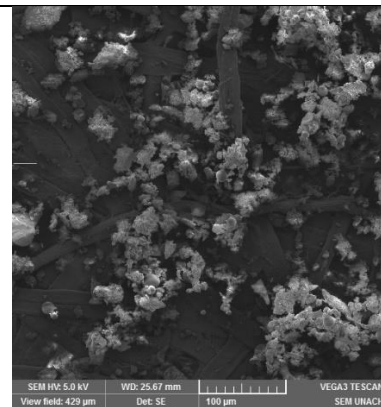
Fotografía 10. Pesaje de las muestras tomadas.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 11. Análisis de material particulado con el microscópico de barrido.

Fuente: Autor (2024).



Fotografía 12. Análisis de material particulado con el microscópico de barrido.

Fuente: Autor (2024).