

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO
SEDIMENTABLE EN LA MINA DE CERRO NEGRO CANTÓN RIOBAMBA
PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Autor:

GARCES JAYA JENNY CAROLINA

Tutor:

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA

Riobamba - Ecuador

Año 2021

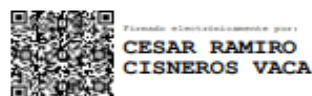
REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de tema: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA MINA DE CERRO NEGRO CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”** presentado por: Jenny Carolina Garcés Jaya y dirigido por: MsC. Guido Patricio Santillán Lima.

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

Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. Cesar Cisneros Vaca
Presidente de Tribunal



.....
Firma

MsC. Patricio Santillán
Tutor del Proyecto



.....
Firma

MsC. Fernanda Rivera
Miembro del Tribunal



.....
Firma

PhD. José Prato
Miembro del Tribunal



.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA MINA DE CERRO NEGRO CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, ha sido elaborado por **JENNY CAROLINA GARCES JAYA**, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.



.....

MsC. Patricio Santillán
Tutor del Proyecto

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **JENNY CAROLINA GARCES JAYA** con cedula de identidad N° 0650057847; hago constar que soy el autor del presente trabajo de investigación, titulada: **“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA MINA DE CERRO NEGRO CANTÓN RIOBAMBA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, el cual constituye una elaboración, dirigida por el Tutor del Proyecto, MsC. Patricio Santillán.

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



.....
Jenny Carolina Garcés Jaya

CI. 0650057847

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y sabiduría para lograr una de mis metas, para no rendirme día a día, agradezco a mis padres Gustavo Garcés y Sheny Jaya por el esfuerzo, dedicación, consejos, valores impartidos, las enseñanzas y fortaleza que me han dado por ser mi guía y mi motor en todo momento, a mi hermana Micaela Garcés por ser mi acompañante y amiga por guiarme en el camino. A mis amigos y compañeros con los que pude compartir muchas alegrías y fueron un gran apoyo.

A mí querida Universidad Nacional de Chimborazo, carrera de Ingeniería Ambiental que me abrió sus puertas para formarme como profesional, con el apoyo de todos los docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de mi etapa de estudio. Finalmente, agradezco el apoyo del MsC. Patricio Santillán, MsC. María Fernanda Rivera y al PhD José Prato, quienes fueron partícipes de la investigación, guiándonos y compartiendo sus conocimientos para lograr nuestro objetivo.

DEDICATORIA

A mi padre celestial y a mis padres terrenales Gustavo Garcés y Sheny Jaya por el arduo trabajo que me han ido formando desde pequeña por la dedicación, los consejos de mi padre la sabiduría de mi madre forjándome para ser una mejor persona y una profesional que con humildad y trabajo fuerte se puede lograr muchas cosas en la vida, a mis hermanos Jordán, Micaela y Ana Gabriel que nunca me ha dejado sola en los momentos buenos y como no en los malos por aconsejarme, por el cariño, por el respeto y dedicación que me han brindado les dedico este logro por ser mi orgullo y pilar fundamental de mi vida. . Como no dedicarle a mi esposo Bryan Castro quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional, este logro es también de él.

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

PM: Material Particulado

PMS: Material Particulado Sedimentable

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

PM_{2,5}: Material Particulado de 2,5 μm

PM₄: Material Particulado de 4 μm

PM₁₀: Material Particulado de 10 μm

OMS: Organización Mundial de la Salud

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

SIG: Sistemas de Información Geográfica

LMP: Límite Máximo Permisible

μm : micrómetro o micra

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

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

ÍNDICE GENERAL

REVISIÓN DEL TRIBUNAL	i
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. OBJETIVOS	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
ESTADO DEL ARTE	6
1. Contaminación atmosférica	6
2. Partículas	7
3. Material particulado	7
3.1. Clasificación de partículas según su formación	7
4. Fuentes de material particulado	9
5. Clasificación de material particulado	10
5.1. Clasificación de partículas según su formación	10
5.2. Clasificación de partículas según su diámetro	10
6. Material particulado sedimentable	10
7. Efectos del material particulado	11
7.1. Efectos sobre la salud:	11
7.2. La exposición a niveles elevados de partículas puede causar	11
7.3. Efectos sobre el ambiente	12
8. Factores Meteorológicos	12
8.1. Transporte convectivo horizontal	13
8.2. Transporte convectivo vertical	13

9.	Estándares de calidad del aire para material particulado.....	14
9.1.	Norma de calidad de aire según el TULSMA	14
9.2.	Norma de calidad de aire según la OMS	15
CAPÍTULO III		16
METODOLOGÍA.....		16
1.	Tipo de estudio	16
2.	Área de estudio	16
3.	Puntos de muestreo de material particulado	17
4.	Monitoreo de material particulado sedimentable	17
5.	Análisis morfológico de material Particulado sedimentable	18
6.	Análisis Geo estadístico	18
7.	Análisis estadístico	18
CAPÍTULO IV		19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		19
1.	Puntos óptimos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro, cantón Riobamba	19
2.	Concentración del material particulado sedimentable en la mina Cerro Negro, cantón Riobamba	21
2.1.	Comparación de material particulado sedimentable en la mina Cerro Negro.....	23
3.	Características morfológicas del material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro, cantón Riobamba	24
4.	Concentración y dispersión, de material particulado sedimentable, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	26
CONCLUSIONES.....		28
ANEXOS		32
Anexo 1. Límites Máximo Permisible establecidos por la OMS		32
Anexo 2. Límites Máximo Permisible establecidos por la TULSMA		32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana TULSMA.....	14
Tabla 2. Estándares establecidos por la OMS.	15
Tabla 3. Estaciones de monitoreo.....	20
Tabla 4. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS.	21
Tabla 5. Concentración de MPS en cada estación de monitoreo.....	21
Tabla 6. Estadística descriptiva de PMS en la Mina Cerro Negro.	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuente de generación de material particulado.....	9
Figura 2. Área de estudio (mina Cerro Negro).....	19
Figura 3. Puntos para el monitoreo de MPS.....	20
Figura 4. Concentración de PMS en la mina Cerro Negro.....	22
Figura 5. Concentración de PMS en la mina Cerro Negro.....	23
Figura 6. Imágenes obtenidas del Microscopio Óptico (100x) PMS en la mina Cerro Negro. (a) PMS estación 9 (P9B-SA); (b) PMS 1 estación (P1B-CN); (c) PMS estación 1(4 P14B-CN); (d) PMS estación 16 (P16B-SC).	25
Figura 7. Rosa de los vientos correspondiente a los meses de mayo y junio de 2021 de las estaciones de monitoreo.....	26
Figura 8. Mapa de dispersión.	27

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la concentración del material particulado sedimentable (PMS) en la mina Cerro Negro por incidencia minera, para lo cual se establecieron dieciséis puntos de muestreo estratégicos, donde el PMS se determinó por medio de un sistema de monitoreo pasivo que consiste en colocar cajas Petri en los equipos de muestreo. Las mediciones se llevaron a cabo durante el periodo del 29 de mayo al 27 de junio de 2021. Los resultados muestran una concentración media de 6,98 mg/cm²/mes, con una desviación estándar de 3,503; un valor máximo de 14,13 mg/cm²/mes y un mínimo 1,95 mg/cm²/mes. Los valores altos obedecen a la cercanía que existe entre las estaciones y la zona minera; además del alto tráfico vehicular debido a que las vías son construidas de material pétreo (lastre). De acuerdo a la legislación ecuatoriana y la OMS, las concentraciones de PMS en las estaciones de monitoreo superan el límite máximo permisible. En lo que respecta al análisis morfológico de PMS a través del microscopio óptico, revelan que las muestras se caracterizan por poseer partículas de forma esférica a redondeada con una superficie lisa y de diferentes tamaños. Finalmente se realizó un mapa de distribución espacial de PMS, el cual representa una herramienta muy importante para las autoridades tomadoras de decisiones y definir planes locales relacionados con la gestión de la calidad del aire y para crear conciencia en la población local.

Palabras Clave: contaminante, distribución espacial, material particulado sedimentable, muestreo.

ABSTRACT

The present research work aims to determine the concentration of the sedimentable particulate material (PMS) in the Cerro Negro mine by mining incidence, for which sixteen strategic sampling points were established, where the PMS was determined by means of a monitoring system passive that consists of placing Petri dishes in the sampling equipment. The measurements were carried out during the period from May 29 to June 27, 2021. The results show a mean concentration of 6.98 mg / cm² / month, with a standard deviation of 3.503; a maximum value of 14.13 mg / cm² / month and a minimum value of 1.95 mg / cm² / month. The high values are due to the proximity that exists between the stations and the mining area; in addition to the high vehicular traffic due to the fact that the roads are built of stone material (ballast). According to the Ecuadorian legislation and the WHO, the concentrations of PMS in the monitoring stations exceed the maximum permissible limit. Regarding the morphological analysis of PMS through the optical microscope, they reveal that the samples are characterized by having spherical to rounded particles with a smooth surface and of different sizes. Finally, a PMS spatial distribution map was made, which represent a very important tool for decision-making authorities and define local plans related to air quality management and to create awareness in the local population.

Key Words: pollutant, spatial distribution, sedimentable particulate matter, sampling.

Reviewed by:

Lcda. Diana Chávez

English Professor.

c.c. 065003795-5

INTRODUCCIÓN

La minería está considerada como una de las actividades industriales más contaminantes del planeta, tanto porque extrae fuentes minerales no renovables y sobre todo por el abuso en el uso de recursos, como el agua; así como en la falta de control de las emisiones contaminantes, que desechaban las compañías mineras hasta hace apenas dos décadas atrás (Bermeo, 2016).

La alta demanda de materiales de construcción en Ecuador exige una explotación cada vez mayor. La extracción de los recursos minerales para la construcción ha llevado a que las zonas rurales y periféricas, se encuentren intensamente degradadas por la presencia excesiva de canteras, lo que ha ocasionado un efecto negativo al ambiente y principalmente a la calidad de vida de las zonas pobladas aledañas (Arciniégas, 2012).

Cabe señalar que, la mala calidad del aire se debe principalmente a las emisiones a la atmósfera de la actividad humana por, el transporte, la industria, y minería, entre otros. Esta contaminación es la causante de las emisiones de diferentes tipos de partículas en el aire. Por un lado, podemos encontrar el dióxido de azufre (NO_2) causado por los coches, las partículas en suspensión ($\text{PM}_{2.5}$, partículas de tamaño inferior a 2,5 micras y PM_{10} , de un tamaño superior a 10 micras); y, también encontramos ozono troposférico (O_3), dióxido de azufre (SO_2) o benceno (a) pureno (BAP). Considerándose como los causantes de muchas enfermedades respiratorias y cardiovasculares a nivel mundial, incluso el cáncer (Medina, 2014).

En los últimos años la contaminación del aire, ha levantado la preocupación de la sociedad en general, ya que se ha convertido en un problema grave que afecta a nivel global, por lo que, es necesario implementar en países industrializados, así como en aquellos en los que existe un nivel moderado de actividad industrial y redes de monitoreo de calidad de aire, con el objetivo de verificar las concentraciones de partículas respirables y compararlas con la normativa vigente de cada país (Díaz, 2017).

El sector rural es el más afectado, ya que se han incrementado estos problemas por la presencia de industrias y minerías con procedimientos legales, lo cual, les provocó, salir de las ciudades y asentarse en sectores rurales, generando emisiones de material particulado sedimentable (MPS), afectando de esta manera las actividades como; la

ganadería y agricultura y, a su vez la salud de sus habitantes por este tipo de contaminación, principalmente provocado por el material particulado (PM), por esta razón, es esencial determinar la cantidad de PMS en la mina de Cerro Negro perteneciente al cantón Riobamba.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación del aire es una mezcla de partículas sólidas y gases en el aire. Las emisiones de los automóviles, los compuestos químicos de las fábricas, el polvo que proviene de la minería, el polen y las esporas de moho pueden estar suspendidas como partículas. El desarrollo de la actividad minera más conocido como cantera o cielo abierto, ha generado estudios enfocados en el control y mitigación del impacto que produce. A partir de ahí, dejan notar los efectos ambientales y de tipo social generados por la explotación intensiva e indiscriminada del suelo (Molina, 2018).

La minería es el conjunto de actividades referentes al descubrimiento y a la extracción de minerales que se encuentran bajo la superficie de la tierra. Los impactos de la minería tienen que ver con la mina en sí, con la eliminación de los residuos de la mina, con el transporte del mineral y con el procesamiento del mismo que a menudo produce materiales peligrosos. Aunque los impactos ambientales de la minería varían según el tipo de mineral y de mina, se trata de una actividad intrínsecamente insostenible, pues implica la explotación de un recurso no renovable mediante procedimientos destructivos o contaminantes, como la trituración, la molienda, el lavado y clasificación de los minerales, la refinación y la fundición (Hofman *et al.*, 2020).

Las partículas sedimentables, son creadas por el rompimiento de grandes partículas en procesos como trituración, pulverización, perforaciones, explosiones, mezcla de materiales y en actividades como transporte, tamizado y barreduras. Los efectos de este contaminante sobre el medio ambiente son muy diversos, generalmente deterioran los bienes sobre los que se depositan, empobrecen el paisaje y pueden producir considerables perjuicios en suelos y plantas (Miranda & Aruahuanca, 2017).

Por lo mencionado anteriormente, la mina de Cerro Negro, se ha convertido en un lugar vulnerable, por la afectación que produce el material particulado (PM) proveniente de la minería, industrias, y el transporte que circula por las vías aledañas al lugar. Cada uno de ellos presenta niveles de contaminación por lo que es necesario, llevar a cabo un proceso de medición para identificar el nivel de MP, en la mina de Cerro Negro, el mismo que será

beneficiado con este estudio ya que, se les dará a conocer los resultados de la investigación para el beneficio propio de sus habitantes.

2. JUSTIFICACIÓN

La mina Cerro Negro se ha visto afectada a nivel atmosférico durante años, debido a la actividad minera que se da en la zona; presencia de empresas y actividad de transporte minero, que en los últimos años ha crecido debido a la cercanía de minas utilizadas por las mismas empresas que afecta la salud de los pobladores, agricultura y ganadería del área de estudio, los mismos que manifiestan su inconformidad por la existencia de problemas tanto en sus cultivos como en su salud, este PM se presenta en diferentes diámetros lo que pasa desapercibido en ocasiones, pero las consecuencias son enfermedades respiratorias, auditivas, visuales de las que se pueden mencionar.

En el estudio se plantea realizar un muestreo, de la concentración y un análisis del PM presente en la mina Cerro Negro durante el periodo de un mes, tomando en consideración los factores o comportamientos climáticos (dirección y velocidad del viento) de la zona.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar y caracterizar la cantidad de concentración del material particulado sedimentable en la Mina de Cerro Negro, cantón Riobamba.

3.2. Objetivos específicos

1. Determinar los puntos óptimos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro cantón Riobamba.
2. Cuantificar la concentración del material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro cantón Riobamba
3. Analizar las características morfológicas del material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro, cantón Riobamba.
4. Elaborar un mapa de la concentración y dispersión, con los datos obtenidos de material particulado sedimentable, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es un tema de especial preocupación, ya que los diferentes tipos de contaminantes existentes en la atmósfera, generan problemas en el medio ambiente y afectan la salud de la población humana. La contaminación atmosférica se define como la presencia de sustancias extrañas en la atmósfera en concentraciones suficientes como para interferir en la salud, seguridad o bienestar de los seres vivos. Ésta constituye un problema ambiental debido a que la acción antrópica genera un efecto sobre un componente ambiental (aire) y a su vez el deterioro de éste afecta la supervivencia y la calidad de vida del hombre (Salinas, 2012).

A pesar de que el deterioro de la calidad del aire es un problema creciente desde hace un par de décadas en nuestro país, la preocupación ciudadana y de las autoridades por el tema es reciente, como problema ambiental, la contaminación atmosférica es evidente dentro de asentamientos de tipo urbano, industrial y minero, asociado al crecimiento económico. En los últimos años se ha producido un aumento sostenido en la actividad productiva e industrial, generando un impacto sobre el medio ambiente, que en la mayoría de los casos no ha sido dimensionado (Salinas, 2012).

La concentración y naturaleza de los contaminantes varía entre diversas áreas en el mundo, y es principalmente resultado de la combustión incompleta de combustibles fósiles de los vehículos motorizados, industrias y centrales eléctricas. Cuando un contaminante es emitido directamente desde su fuente, se llama contaminante primario, mientras que el que se forma en la atmósfera por reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas se le conoce como contaminante secundario (Salinas, 2012).

Los contaminantes más ligados a efectos en las enfermedades alérgicas de la vía aérea son los primarios: dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), plomo (Pb), el ozono (O₃) como secundario y el PM suspendido, el dióxido de nitrógeno (NO₂) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs) como primarios y secundarios (Salinas, 2012).

2. Partículas

Las partículas se forman de dos maneras: subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia, y aglomeración o reunión de fragmentos pequeños incluyendo moléculas. El proceso de subdivisión está formado de aerosoles de la marina (la partícula atmosférica que se presenta en mayor cantidad). Otros procesos naturales que introducen PM directamente en la atmósfera son el arrastre o conducción de polvo por el viento, la actividad volcánica y los incendios forestales (Guevara & Logroño, 2020).

La contaminación por partículas es la destrucción de la vegetación, que a su vez causa erosión en el suelo; los incendios; varios procesos industriales que generan gran cantidad de polvos; y actividades humanas que requieren la quema de combustibles como carbón, leña y derivados de hidrocarburos. Dependiendo de su tamaño, las partículas pueden flotar o sedimentar, las partículas que se mantienen flotando se conocen como partículas suspendidas totales (Guevara & Logroño, 2020).

3. Material particulado

Se denomina PM a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El PM forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire (Lara, 2018).

Se cataloga en función de su tamaño y, en el ámbito de la calidad del aire, las partículas PM_{10} que serían las de mayor tamaño, cuya diámetro aerodinámico teórico sería de 10 μm (micrones de metro = millonésima parte del metro) y las partículas finas conocidas como $PM_{2,5}$ cuyo diámetro sería de 2,5 μm (Miranda & Aruhuanca, 2017).

3.1. Clasificación de partículas según su formación

Dentro del proceso de formación, los contaminantes pueden ser clasificados como primarios y secundarios, en donde los primarios se emiten directamente de procesos como: el humo de los tubos de escape de vehículos a motor, la erupción de un volcán o el dióxido de azufre de una fábrica en su proceso de producción; por otro lado, los contaminantes secundarios no se trata de una emisión directa como el caso anterior, sino más bien que, se

forman a partir de reacciones químicas de los contaminantes primarios en condiciones atmosféricas iniciales presentes el aire (Andi & Vega, 2019).

En la Tabla 1 se indica un resumen de la formación del PM tanto fino como grueso en la atmósfera, las reacciones químicas que dan origen, su composición, solubilidad, fuentes emisoras de los mismos, vida media en la atmósfera y la distancia de viaje (Andi & Vega, 2019).

Tabla 1. Caracterización de las fracciones del PM presente en el aire troposférico.

	Particulado Fino	Particulado Grueso
Se forma a partir de:	Gases	Sólidos grandes, gotas
Se forma a través de:	Reacciones química o vaporización. Nucleación, condensación sobre núcleo y coagulación. Evaporación de gotitas de neblina y nubes en el que se han disuelto gases.	Disrupción mecánica (aplastamiento, molienda, abrasión de superficies, etc.). Evaporación de sprays. Suspensión de polvos.
Están compuesto de:	Sulfato, nitrato, amonio, carbono elemental. Compuestos orgánicos como HAPS. Metales como plomo, cadmio, vanadio, níquel, cobre, zinc, manganeso, hierro, etc.	Polvo resuspendido del suelo y las calles. Óxidos de elementos de la corteza (sílice, aluminio, titanio, hierro, etc.). Sal, carbonato de calcio, polen, esporas de hongo, moho. Fragmentos de plantas y animales. Detritus del desgaste de los neumáticos.
Solubilidad	Predominantemente solubles, higroscópico y delicuescente.	Predominantemente insolubles y no higroscópicos.
Fuentes	Combustión del carbón, petróleo, gasolina, diésel o madera. Procesos a altas temperaturas como fundiciones o siderúrgicas.	Resuspensión del polvo industrial en carreteras y calles. Suspensión del suelo en minería, caminos no pavimentados. Fuentes biológicas. Construcción y demolición. Spray oceánico. Combustión de carbón y petróleo.
Vida media en la atmosfera	Días a semanas	Minutos ahora
Distancia de viaje	100 a 1000 km	1 a 10 km

Fuente: (Andi & Vega, 2019).

4. Fuentes de material particulado

Estas partículas vienen en muchos tamaños y formas, y pueden estar conformadas por cientos de diferentes químicos. Algunas se emiten directamente desde una fuente, como obras en construcción, caminos sin asfaltar, campos, chimeneas o incendios. La mayoría de las partículas se forman en la atmósfera como resultado de reacciones complejas de químicos, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, que son contaminantes emitidos por centrales eléctricas, industrias y automóviles (Li *et al.*, 2020).

El PM se produce de dos fuentes, de origen natural y origen antropogénico, el PM producido de fuentes naturales proviene de partículas de erupciones volcánicas, polvo arrastrado por el viento, áreas de vegetación, procesos geotérmicos, estas partículas suelen ser gruesas por lo que la permanencia en la atmósfera es de corto tiempo. En cambio, las partículas provenientes de origen antropogénico, es decir, a causa de las actividades del hombre son generalmente producidos por los procesos industriales, quema de biomasa almacenamiento y traslado de material, generación industrial (Li *et al.*, 2020).

A continuación, se hace referencia a las fuentes generadoras del PM según su tipo de partículas con ejemplos según su fuente generadora (Figura1).

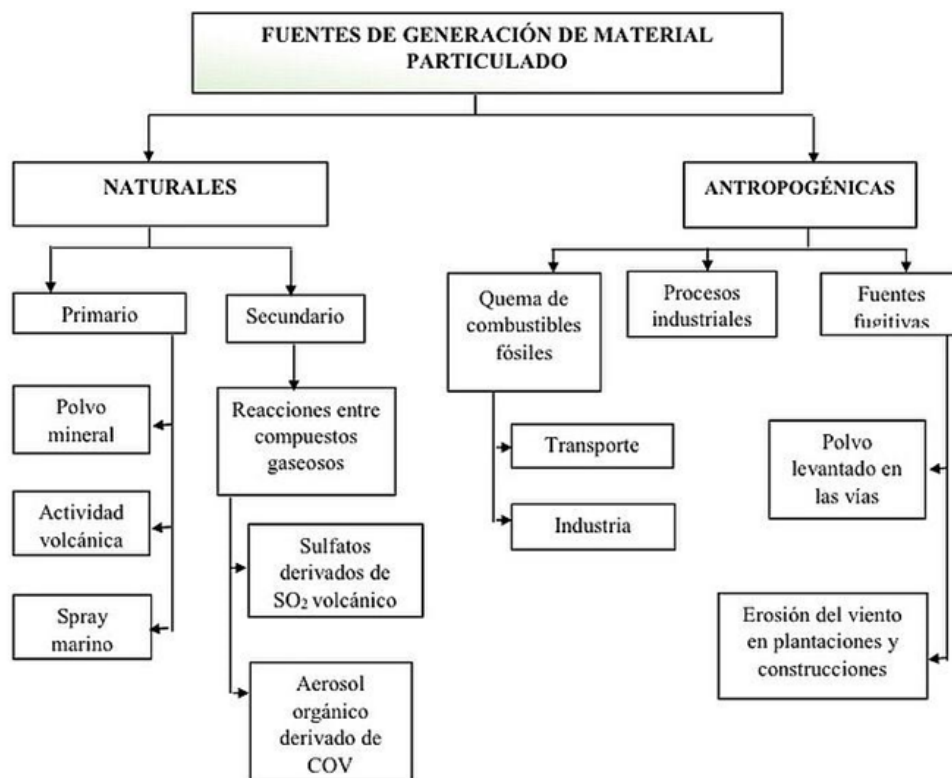


Figura 1. Fuente de generación de material particulado
Fuente: (Guevara & Logroño, 2020).

5. Clasificación de material particulado

El PM sólido se clasifica con relación a su proceso de formación y el diámetro de partícula presente en la atmósfera.

5.1. Clasificación de partículas según su formación

Dentro del proceso de formación, los contaminantes pueden ser clasificados como primarios y secundarios, en donde los primarios se emiten directamente de procesos como: el humo de los tubos de escape de vehículos a motor, la erupción de un volcán o el dióxido de azufre de una fábrica en su proceso de producción; por otro lado, los contaminantes secundarios no se trata de una emisión directa como el caso anterior, sino más bien que, se forman a partir de reacciones químicas de los contaminantes primarios en condiciones atmosféricas iniciales presentes en el aire (Bermeo, 2016).

5.2. Clasificación de partículas según su diámetro

El diámetro de las partículas es uno de los parámetros más importantes para caracterizar su comportamiento y afección en el medio ambiente y sobre todo para la salud de las personas, ya que la mayor parte de las propiedades de las partículas van a depender de su tamaño, siendo así, que el PM puede variar desde nanómetros (0,1 μm) hasta tamaños superiores (a 100 μm) (Alvarado, 2016).

Así, estos se clasifican en: partículas finas que tienen un diámetro aerodinámico menor que 2,5 μm ; partículas gruesas que incluyen un diámetros comprendido entre 2,5 μm y 10 μm , es decir, que aquellas partículas menores a un diámetro de 10 μm se les denomina aerosoles respirables y finalmente partículas suspendidas totales (PST) las cuales, se utiliza para denominar el total de las partículas que se encuentran en el aire y cuyos diámetros pueden llegar a medir hasta los 100 μm , los cuales son considerados como partículas sedimentables porque no permanecen en la atmósfera durante mucho (Chiluiza, 2019).

6. Material particulado sedimentable

Entre los contaminantes atmosféricos particulados, se tiene a la fracción sedimentable que son partículas más grandes, que permanecen en el aire por cortos períodos de tiempo, depositándose en el suelo por su tamaño y grosor, así como su diámetro que va desde los 10 μm pudiendo llegar hasta los 100 μm (Chiluiza, 2019).

7. Efectos del material particulado

7.1. Efectos sobre la salud:

Al respirar inhalamos cualquier partícula que se encuentre en el aire. Las partículas pasan un primer filtro en nariz, faringe y laringe, desde donde pueden ser expulsadas al toser, estornudar, con la saliva o por vía esofágica. Si no se expulsan, las partículas más gruesas MP₁₀ suelen quedar retenidas en los tramos altos del sistema respiratorio (tráquea y bronquios) mientras que las MP_{2,5} penetran hasta zonas más profundas, pudiendo alcanzar los bronquiolos y quedar depositadas en los pulmones. Las MP_{0,1} ultra finas, alcanzan los alveolos, lugar donde se realiza el intercambio de gases, pudiendo pasar al torrente sanguíneo, por lo que podrían causar efectos más severos para la salud (Miranda & Aruahuanca, 2017).

7.2. La exposición a niveles elevados de partículas puede causar

- Distintos estudios científicos sugieren que la exposición a altos niveles de partículas también puede asociarse con bajo peso al nacer y partos prematuros, 24 por lo que las embarazadas son un colectivo de especial protección ante estos episodios (González et al., 2014).
- De forma global, estos contaminantes pueden incidir en la reducción de la esperanza de vida en la población expuesta (González et al., 2014).
- Irritación de las vías respiratorias y de los pulmones, con riesgo de aparición de bronquitis, mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias y reagudización de sintomatología en pacientes con enfermedades crónicas respiratorias (asmáticos y alérgicos) (González et al., 2014).
- Asimismo, puede generar respuestas inflamatorias en el sistema circulatorio, con cambios en la viscosidad de la sangre y de la presión arterial con restricción del suministro de oxígeno a los tejidos, agravando la sintomatología de enfermedades cardiovasculares y pudiendo provocar arritmias, infarto agudo de miocardio y accidentes cerebrovasculares (González et al., 2014).

- La exposición crónica a PM ha mostrado un aumento de la incidencia de cáncer. De hecho, las partículas en suspensión han sido clasificadas como cancerígenos (González *et al.*, 2014).

7.3. Efectos sobre el ambiente

Deterioro en la visibilidad: Las partículas finas (MP_{2,5}) son la causa principal de visibilidad reducida.

Daño ambiental: El viento puede transportar las partículas a través de largas distancias y luego, estas pueden instalarse en el suelo o el agua. Según la composición química, los efectos de esta sedimentación pueden provocar:

- Que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos.
- Cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales.
- Reducción de los nutrientes del suelo.
- Daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas.
- Efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas. Daño sobre materiales: El MP puede manchar y dañar la piedra y otros materiales, incluidos los objetos importantes a nivel cultural, como estatuas y monumentos (Alvarado, 2016).

8. Factores Meteorológicos

Los factores meteorológicos son de gran importancia en la contaminación atmosférica, esto se identifica mediante la observación dentro de una área precisa o determinada en un periodo de varios días donde se da la variación de la calidad del aire aun cuando las emisiones son constantes. La concentración del contaminante dependerá de la relación de fuerzas entre las fuentes de contaminantes y las condiciones de autodepuración atmosférica (Guevara & Logroño, 2020).

Los factores meteorológicos ayudan a determinar la dispersión, concentración, transformación y la eliminación del PM que depende de las condiciones meteorológicas del área de estudio y el tiempo que se le da al muestreo, condiciones como la velocidad y dirección del viento indican la distancia que recorre el PM y a su vez la formación que éste

va tomando. Obteniendo mediante estos factores una correcta predicción y análisis exhaustivo del contaminante (Andi & Vega, 2019).

Las principales variables meteorológicas a considerar por su influencia sobre la calidad del aire son:

1. El transporte convectivo horizontal, que depende de la velocidad y dirección del viento;
2. El transporte convectivo vertical, que depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera (Guevara & Logroño, 2020).

8.1. Transporte convectivo horizontal

Al transportar los contaminantes, el viento, genera dispersión horizontal y determina la zona que va a estar expuesta a los mismos. Por lo tanto, a una mayor velocidad de viento menor será las concentraciones del contaminante a nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla. Sin embargo, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar, valles y montañas, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se genera una acumulación progresiva de contaminantes, que da lugar a un aumento de la concentración de los mismos en las zonas barridas por este tipo de vientos (Guevara & Logroño, 2020).

8.2. Transporte convectivo vertical

El grado de difusión vertical de contaminantes es la variación vertical de temperaturas en la atmósfera. Determinado la capacidad de difusión vertical del contaminante, comparando la variación vertical de temperaturas de un estrato de aire atmosférico con el gradiente vertical adiabático, que corresponde a una variación de -1°C por cada 100 metros de altura (Guevara & Logroño, 2020).

De esta forma se obtienen tres clases de estabilidad atmosférica en el estrato, entonces la variación de la temperatura con la altura sea mayor, igual o inferior que la correspondiente al gradiente vertical adiabático. Por consiguiente, si en la capa de aire la temperatura desciende con la altura bastante menos de un grado cada 100 metros, los movimientos verticales del aire son limitados por lo que hay poca o nula dispersión vertical de

contaminantes. En estas condiciones se dice que la clase de estabilidad atmosférica es del tipo estable (Guevara & Logroño, 2020).

Cuando la temperatura del estrato desciende con la altura más de un grado cada 100 metros de altura, la estabilidad atmosférica será del tipo inestable y los movimientos verticales del aire están muy favorecidos difundiéndose los contaminantes verticalmente hasta donde alcance la inestabilidad. Por último, tenemos el caso de la estratificación indiferente o nula, que se da cuando coincide la variación de temperatura del estrato con el gradiente vertical adiabático. En estas condiciones la dispersión vertical de contaminantes no está limitada (Guevara & Logroño, 2020).

9. Estándares de calidad del aire para material particulado

Los niveles de calidad de aire son emitidos por la entidad responsable (OMS, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), para proteger la vida y salud de las personas con un margen razonable de seguridad (MAE, 2017).

9.1. Norma de calidad de aire según el TULSMA

El TULSMA fue emitido el 31 de marzo de 2003 a través del Registro Oficial Suplemento 2, con la última modificación del 29 de marzo de 2017, el cual es la normativa ambiental vigente en el Ecuador, que denota los límites máximos permisibles (LMP) para los contaminantes presentes en la atmosfera en un intervalo de tiempo. Los valores de los LMP de concentración de PM presentes en la atmosfera se encuentran en el Libro VI, como se muestra en el anexo 4 (MAE, 2017).

Tabla 2. Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana TULSMA.

Contaminante	Tipo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm ² /mes
PM ₁₀	1 año	50 µg/m ³
	24 horas	150 µg/m ³
	1 año	15 µg/m ³
PM _{2,5}	24 horas	65 µg/m ³

Fuente: Valores tomados del anexo 4 del Libro VI del TULSMA (MAE, 2017).

9.2. Norma de calidad de aire según la OMS

Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos claves que entrañan riesgos sanitarios; las directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos de las pruebas científicas actuales concernientes a: PM, ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y SO₂ en todas las regiones de la OMS (OMS, 2018). Los valores de LMP de concentración de PM presentes en la atmósfera se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Estándares establecidos por la OMS.

Contaminante	Tipo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm ² /mese
	PM10	20µg/m ³
PM2,5	24 horas	50 µg/m ³
	1 año	10 µg/m ³
	24 horas	25 µg/m ³

Fuente: (OMS, 2018)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

En la metodología se detalla el desarrollo del estudio en campo, el funcionamiento y la utilización de los equipos para el monitoreo *in-situ*, tales como el equipo sedimentador para PMS colocados en varios puntos de muestreo enfocándose en la metodología aleatoria y presentados mediante un mapa de concentración y dispersión de PMS, teniendo en cuenta la dirección y velocidad del viento, complementado con la caracterización de la composición fisicoquímica y morfológica del PMS.

1. Tipo de estudio

- **Transversal:** El tipo de investigación realizada tiene un periodo de tiempo establecido.
- **Experimental:** Es una investigación cuantitativa donde se realizó muestreos, monitoreo y análisis de laboratorio, con el fin de determinar los niveles de concentración de PMS en la mina “CERRO NEGRO”.
- **De Campo:** Se implementó estaciones de monitoreo en la parte aledaña a la mina “CERRO NEGRO” donde se recopiló datos y muestra para determinar el PMS.
- **Exploratorio:** porque mediante esta investigación se dio a conocer la concentración de PMS que existen en la mina “CERRO NEGRO”.

2. Área de estudio

El área de estudio ha sido establecida con el fin de conocer si las emanaciones de PM procedentes de la mina CERRO NEGRO afectan o no a la calidad del aire. La mina está ubicada en la ciudad de Riobamba, la misma que se encuentra en la región Sierra, centro del Ecuador a 2850 msnm; llega a registrar una temperatura media de 14 °C y cuenta con un clima frío característico de las ciudades de esta zona.

La mina “CERRO NEGRO” se encuentra ubicada en el sur de la ciudad de Riobamba entre las Av. Córdova y Guatemala y está rodeada por el barrio de Aguisacte, Porlón y San Clemente.

3. Puntos de muestreo de material particulado

Según Marcos & Valderrama (2016), mencionan aplicar ciertas consideraciones tales como, el lugar donde se situó cada estación debe estar libre de obstáculos significativos (edificaciones en el entorno, de áreas con árboles, de tendedores), 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 mayor vulnerabilidad como es el caso de habitantes cercanos a las industrias del sector.

En el lugar de estudio se colocaron 16 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.

4. Monitoreo de material particulado sedimentable

El monitoreo de PMS se determinó mediante el método pasivo propuesto por González *et al.*, (2014). El cual se plantea colocar papel filtro en cajas Petri previamente secado, pesado y determinado su área. Esto se puede observar en el libro VI del TULSMA donde menciona que “La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$)” (MAE, 2017).

Una vez pasado este tiempo se retirará los recipientes de las estaciones de muestreo para su respectivo análisis de laboratorio, donde el papel filtro será puestos en el interior de la estufa a 50°C durante 24 horas, necesario para eliminar la presencia de humedad adquirido en el proceso de recolección de la muestra (Andi & Vega, 2019). Posteriormente el papel filtro será pesado en la balanza analítica (GARMI) y calculado su peso inicial y final (Ecuación 1).

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

Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso inicial (mg), este es después de salir de laboratorio.

Pf: Peso final (mg), este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo

Área del papel filtro: $A = \pi \times r^2$ (Andi & Vega, 2019).

5. Análisis morfológico de material Particulado sedimentable

Para conocer la forma de las partículas finas de PMS, se utilizó el microscopio óptico donde las partículas capturadas en el papel filtro de cada punto de monitoreo fueron fotografiadas en el microscopio a una resolución de 100x. Las muestras de papel filtro fueron colocadas sobre el porta muestras para tomar su respectivas fotografía, y así obtener las mejores condiciones de imagen donde se pueden apreciar la forma de las micro partículas (Santillán *et al.*, 2016).

6. Análisis Geo estadístico

Mediante la recolección de datos los que conlleva la velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, durante el mes de muestreo, con lo que se procede a determinar la dispersión que tiene el PMS se lo realizo mediante el método de interpolación KRIGING del sistema de información Geográfica (SIG) (Andi & Vega, 2019).

7. Análisis estadístico

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

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Puntos óptimos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro, cantón Riobamba

El presente estudio forma parte del proyecto de investigación: Determinación del PMS generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo. Para cumplir con los objetivos del mencionado proyecto se seleccionó la mina de Cerro Negro cuya actividad es la producción de material pétreo. Este tipo de actividad genera PMS que afecta a la población aledaña. El área de estudio está ubicada en el sector Cerro Negro perteneciente al cantón Riobamba, en la región sierra centro del Ecuador, a una altitud promedio de 2761 m.s.n.m., (Figura 2). La temperatura media anual en la ciudad de Riobamba varía entre 9 y 21 °C; con una precipitación de 491 mm; una presión atmosférica promedio de 545 mm y una humedad relativa del 72 % (INAMHI, 2019).

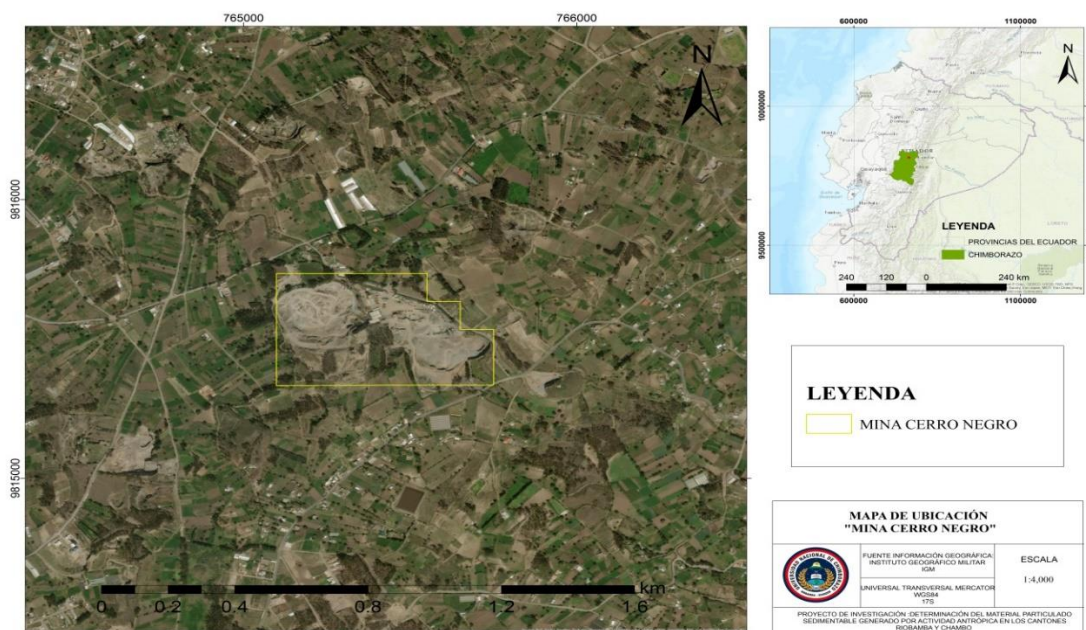


Figura 2. Área de estudio (mina Cerro Negro).

En el sector se colocaron dieciséis estaciones de monitoreo para determinar PMS, las cuales fueron ubicadas de manera aleatoria, con la finalidad de abarcar toda el área de estudio. Las estaciones están distribuidas de la siguiente manera: P1- P2- P14- P15, ubicadas en el Barrio Cerro Negro; P11- P12- P13, en el Barrio Aguigsate; P8- P9- P10, en el Barrio Socorro Alto; P6- P7, en el Barrio Caminos del Sol; P4- P5, en el Barrio Las Retamas; P3 en el Barrio San Martín y P16 en el Barrio San Clemente (Tabla 4).

Tabla 4. Estaciones de monitoreo.

Punto	Descripción	Código	Latitud (N)	Longitud (E)
P 1	Barrio Cerro Negro	P1B-CN	765124	9815704
P 2	Barrio Cerro Negro	P2B-CN	765218	9815350
P 3	Barrio San Martín	P3B-SM	764637	9815705
P 4	Barrio Las Retamas	P4B-LR	764861	9816059
P 5	Barrio Las Retamas	P5B-LR	765156	9816074
P 6	Barrio Caminos del Sol	P6B-CS	765705	9816213
P 7	Barrio Caminos del Sol	P7B-CS	765626	9815922
P 8	Barrio Socorro Alto	P8B-SA	765998	9815900
P 9	Barrio Socorro Alto	P9B-SA	765805	9815635
P 10	Barrio Socorro Alto	P10B-SA	766238	9815457
P 11	Barrio Aguigsate	P11B-BA	765853	9815343
P 12	Barrio Aguigsate	P12B-BA	765514	9814850
P 13	Barrio Aguigsate	P13B-BA	765433	9815154
P 14	Barrio Cerro Negro	P14B-CN	765171	9814869
P 15	Barrio Cerro Negro	P15B-CN	764800	9815070
P 16	Barrio San Clemente	P16B-SC	764726	9815508

Para corroborar nuestra Hipótesis y teniendo en cuenta que nuestra área de estudio corresponde a una zona de actividad minera. Estos puntos corresponden a estaciones fijas de monitoreo (Figura 3), que permitieron determinar la concentración de PMS y su posterior generación del mapa de dispersión.

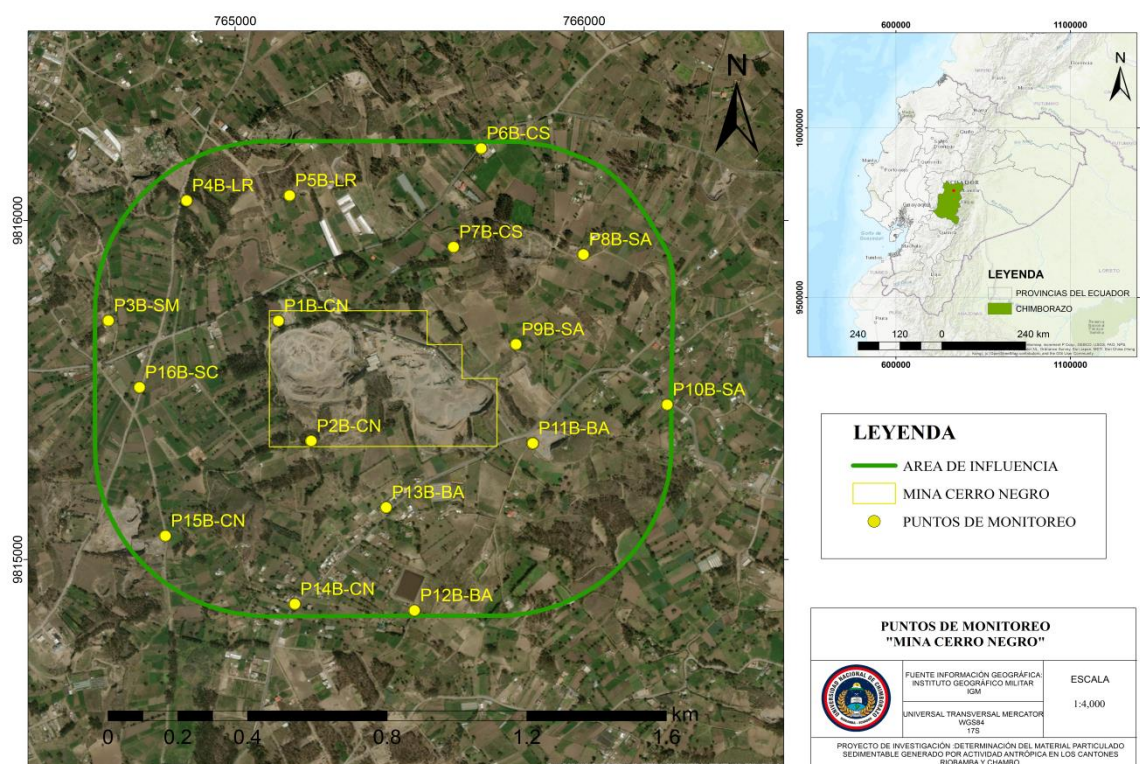


Figura 3. Puntos para el monitoreo de MPS.

2. Concentración del material particulado sedimentable en la mina Cerro Negro, cantón Riobamba

Para conocer la concentración de PMS, en primer lugar se determinó el área del papel filtro (Tabla 5). Este valor sirvió de base para realizar el cálculo de PMS obtenido en las 16 estaciones de monitoreo.

Tabla 5. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS.

Radio del papel Filtro (cm)	Área del papel Filtro (cm²)
4,2	55,41

En la tabla 6 se muestran los valores de PMS de las 16 estaciones durante el mes de monitoreo (29 de mayo al 27 de junio del 2021). Donde la concentración más alta (14,13 mg/cm²/mes) se registró en el punto 16 ubicado en el barrio San Clemente, mientras tanto que la concentración más baja se registró en el Barrio Socorro Alto (SA) con un valor de 1,95 mg/cm²/mes. Estos valores obtenidos en el muestreo se generan por la explotación de material pétreo en la Mina, además del alto tráfico vehicular en la zona debido a que las vías son construidas de material pétreo (lastre).

Tabla 6. Concentración de MPS en cada estación de monitoreo.

Estación de muestreo	Código	Peso Inicial (mg)	Peso Final (mg)	PMS (mg/cm²/mes)
P 1	P1B-CN	482,7	499,1	8,88
P 2	P2B-CN	488,7	511,4	12,29
P 3	P3B-SM	479,2	486,0	3,68
P 4	P4B-LR	458,2	462,2	2,17
P 5	P5B-LR	482,7	492,9	5,52
P 6	P6B-CS	476,6	491,5	8,07
P 7	P7B-CS	477,3	492,8	8,39
P 8	P8B-SA	478,2	484,5	3,41
P 9	P9B-SA	476,9	480,5	1,95
P 10	P10B-SA	483,8	499,4	8,45
P 11	P11B-BA	482,6	491,1	4,60
P 12	P12B-BA	481,5	498,7	9,31
P 13	P13B-BA	501,9	513,3	6,17
P 14	P14B-CN	476,7	486,2	5,14
P 15	P15B-CN	483,4	501,0	9,53
P 16	P16B-SC	482,2	508,3	14,13

La concentración de PMS, en las 16 estaciones de monitoreo establecidas en la mina Cerro Negro se muestran en la Figura 3. Estos valores al ser comparados con los establecidos por la OMS (0,5 mg/cm²/mes) y el TULSMA (1 mg/cm²/mes), sobrepasan los límites permisibles. La presencia de valores altos obedece a que en el sector existe fuertes polvaredas y calles sin asfalto con ello, existe una mayor probabilidad de que los habitantes aledaños al área de estudio presenten un deterioro en su salud (Hernández *et al.*, 2013).

Con ello se crea la necesidad de proseguir con los monitoreos para obtener datos históricos de la concentración de PMS. De igual manera se debe alertar a las autoridades para que realizar obras de pavimentaciones en las vías principales; así como la difusión de la información obtenida, para concientizar a la población local ante su exposición en los días que se presentan las polvaredas características de este sector.

Por otro lado desde el punto de vista a la salud los valores obtenidos son preocupantes, en virtud de que las partículas de PMS ingresan fácilmente por las vías respiratorias hasta los pulmones, alcanzando los alvéolos pulmonares, e incluso, pueden entrar al torrente sanguíneo pudiendo causar diferentes afecciones a las personas (Cáceres, 2015).

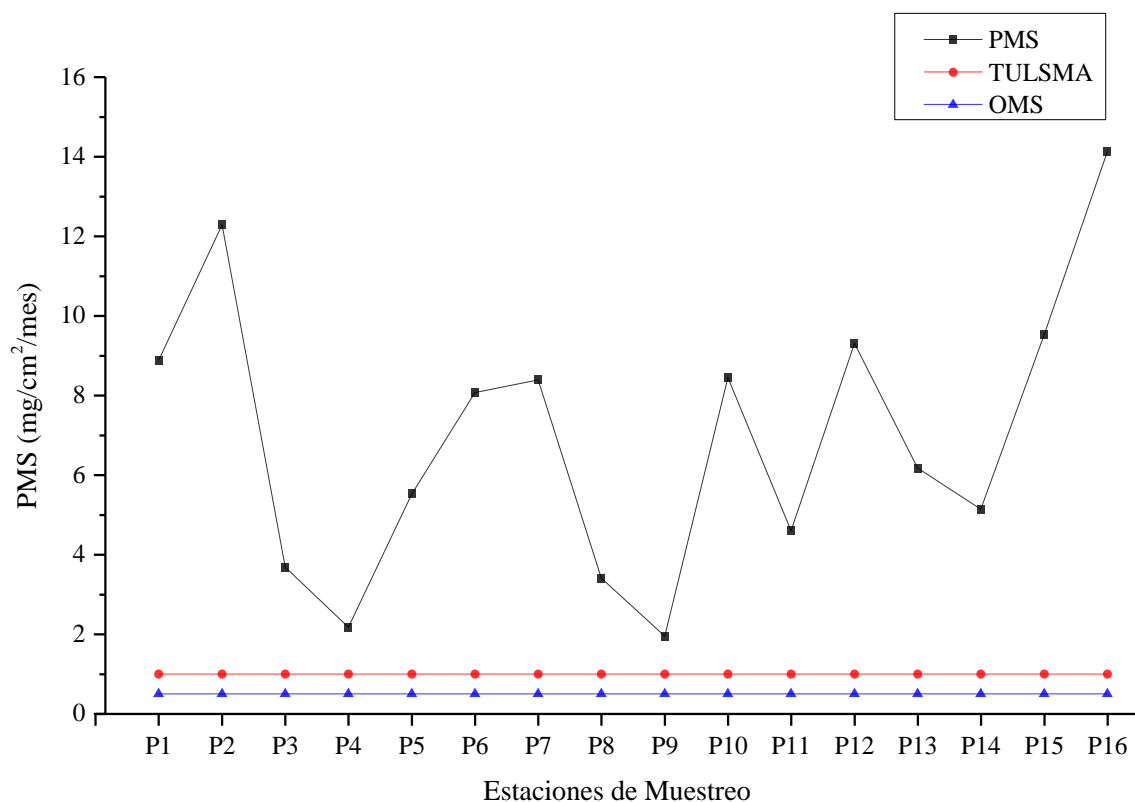


Figura 4. Concentración de PMS en la mina Cerro Negro.

2.1. Comparación de material particulado sedimentable en la mina Cerro Negro

La concentración media de PMS registrada en el área de estudio, así como los valores de desviación estándar se muestra en la Tabla 7. El análisis estadístico descriptivo de PMS obtenido en las 16 estaciones de monitoreo mostro una media de 6,981; con una desviación estándar de 3,503; un valor mínimo de 1,950 y un valor máximo de 14,130. En el área de estudio podemos notar que uno de los factores que aporta al incremento de la contaminación atmosférica de PMS es la extracción de material pétreo de las minas a cielo abierto; así como la circulación del parque automotor por vías no asfaltadas. Otro de los factores que intervienen como emisores de polvos son terrenos aledaños que no tienen vegetación y que producto de constantes vientos acarrear el PMS hacia lugares donde existen poblados cercanos.

Tabla 7. Estadística descriptiva de PMS en la Mina Cerro Negro.

Área de estudio	N	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
Mina Cerro Negro	16	6,981	0,876	3,503	12,274	50,19	1,950	14,130

La Figura 5 muestra el valor medio e intervalo de confianza del 95% para la concentración de PMS encontrado a partir de las mediciones gravimétricas, en las áreas de estudio. Este valor corresponde al monitoreo a través de las estaciones durante 30 días. Los valores muestran diferencias en cuanto a su contenido, el cual está asociado con el tipo y cantidad de extracción de material pétreo de la mina. Razón por la cual se convierte en un indicador de importancia e impacto al momento de extraer material pétreo de minas a cielo abierto.

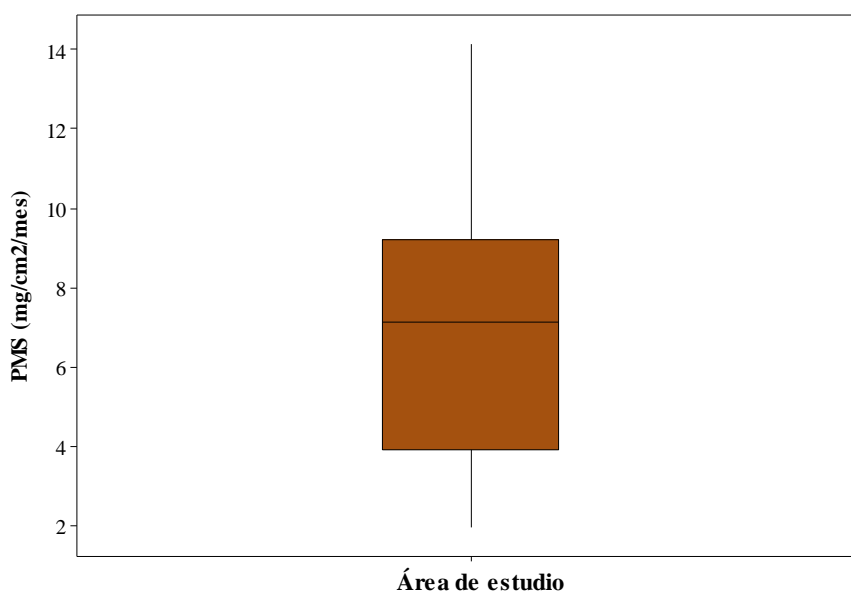


Figura 5. Concentración de PMS en la mina Cerro Negro.

3. Características morfológicas del material particulado sedimentable en la mina de Cerro Negro, cantón Riobamba

El PMS recolectado en las 16 estaciones de monitoreo en la Mina de Cerro Negro se muestran en la Figura 6. Las imágenes revelan que las muestras analizadas se caracterizan por poseer partículas de forma irregular (prismas rectangulares) y de diferentes tamaños. En cuanto a la morfología se observan dos tipos de partículas: (a) naturales; partículas de polvo (minerales) que tienen superficies rugosas, a veces forman agregados estructurales con formas y tamaños irregulares; (b) antropogénicas; su morfología por lo general es de forma esférica y redondeada con una superficie lisa, lo que revela combustión u otro proceso desarrollado a alta temperatura (Santillán *et al.*, 2021).

En cada imagen obtenida del microscopio óptico, se observa claramente dos grupos de partículas en los que se puede clasificar el PMS, estos grupos son: (a) partículas de residuos de combustión y (b) partículas minerales. Las partículas atmosféricas contienen iones inorgánicos (sulfatos, nitratos, amonio y cloruros), componentes metálicos, carbón elemental, compuestos orgánicos (los elementos que participan en los compuestos orgánicos son el carbono y el hidrógeno, seguidos por el nitrógeno, el oxígeno, el fósforo y el azufre.) y compuestos en forma de cristales (Quijano *et al.*, 2010).

La caracterización del PM corresponde a una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Algunas partículas atmosféricas son higroscópicas. La parte orgánica es especialmente compleja porque contienen miles de compuestos (Quijano *et al.*, 2010).

Fracción Insoluble: es una fracción emitida por el motor. Se encuentra en fase sólida y compuesta primordialmente por carbono, pero también incluye pequeños tamaños como cenizas no combustibles. Las cenizas son derivadas principalmente de lubricantes, aditivos de combustibles y del desgaste propio del motor (Quijano *et al.*, 2010).

Sulfatos: los sulfatos son derivados de compuestos de sulfuros del combustible y en una cantidad menor del aceite lubricante. La composición elemental del PM incluye diferentes elementos, unos livianos como el aluminio, silicio, potasio, calcio, y otros pesados como hierro, zinc, vanadio, titanio, cadmio, plomo, mercurio y antimonio además compuestos orgánicos de elevada toxicidad (Quijano *et al.*, 2010).

Hoy en día existe gran interés por investigar el PM debido a los efectos que ocasiona este contaminante sobre la salud y los ecosistemas debido a que estas partículas están dispersas en el aire y fácilmente pueden ingresar a través de las vías respiratorias (Quijano et al., 2010). En lo que respecta a la salud el PM requiere ser evaluado a nivel de las características físicas y químicas; así como las fuentes de origen e intensidad de las emisiones.

La concentración de MP que se genera en las minas se debe a la producción de materiales pétreos como las rocas las cuales son agregados de partículas minerales muy grandes y sin forma determinada que se encuentran en la naturaleza, ejemplos, los granitos, macadán, ripio, mármoles, pizarras y partículas minerales de tamaño pequeño como arenas y arcillas. Este tipo de material es muy apreciado en la construcción, por su resistencia a las condiciones medioambientales.

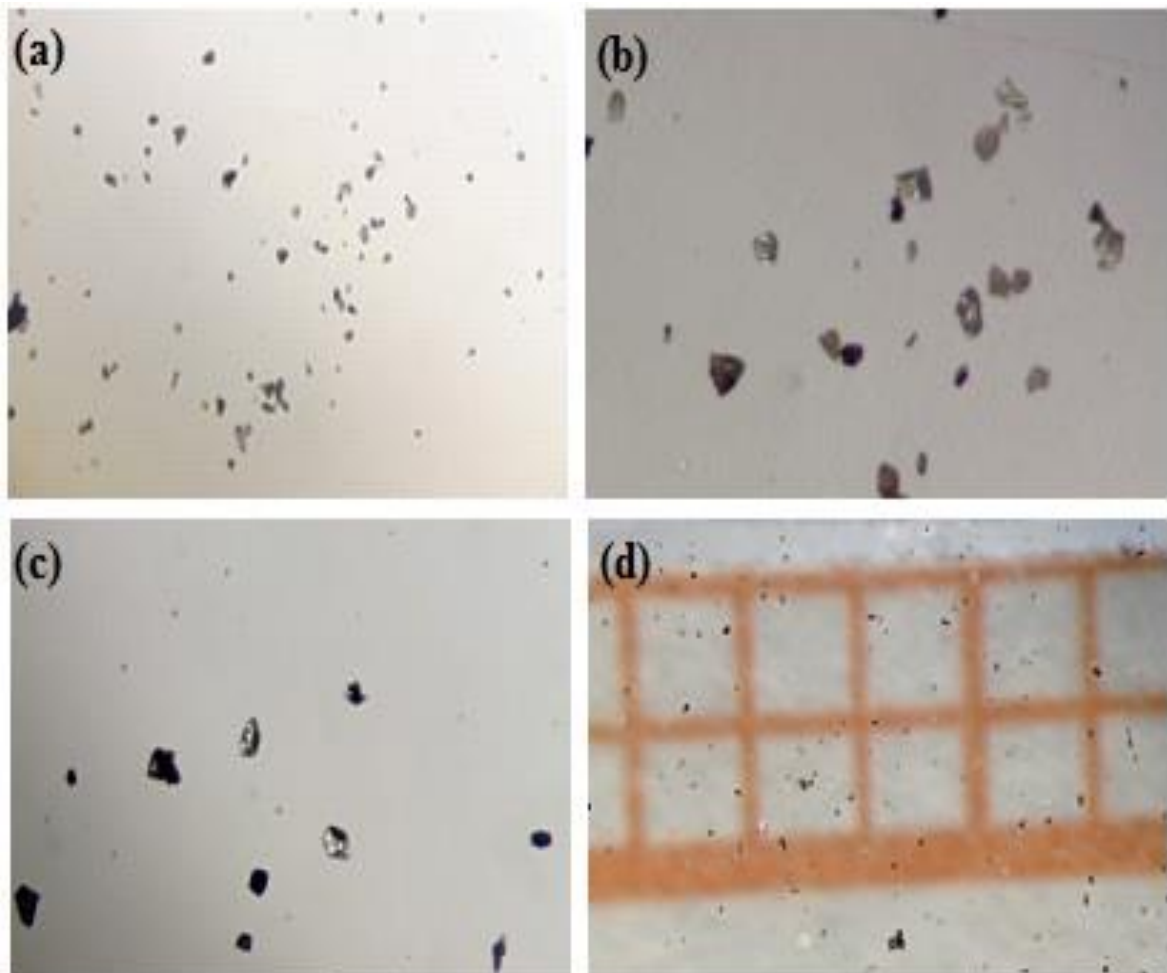


Figura 6. Imágenes obtenidas del Microscopio Óptico (100x) PMS en la mina Cerro Negro. (a) PMS estación 9 (P9B-SA); (b) PMS 1 estación (P1B-CN); (c) PMS estación 1(4 P14B-CN); (d) PMS estación 16 (P16B-SC).

4. Concentración y dispersión, de material particulado sedimentable, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Uno de los Parámetros que influyo de manera directa en las concentraciones de PMS fue la dirección y velocidad del viento. En la figura 7 se representa la rosa de los vientos con datos obtenidos de las 4 estaciones meteorológicas (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Dirección de Aviación Civil DAC, Universidad Nacional de Chimborazo, Estación Meteorológica de Tunshi) donde para el análisis de la velocidad y dirección del viento se calculó los valores promedios mensuales a partir de las mediciones horarias durante 24 horas al día por el mes de muestreo (29 de mayo - 27 de junio). El análisis de la dirección y velocidad del viento corresponde al periodo estudiado mostrando comportamientos similares entre cada estación. La dirección del viento predominante en el área de estudio fue en sentido Sureste y Suroeste, mientras que la velocidad promedio del viento fue de 1,2 m/s. Estos valores sirvieron de base para generar el mapa de dispersión de PMS del área de estudio.

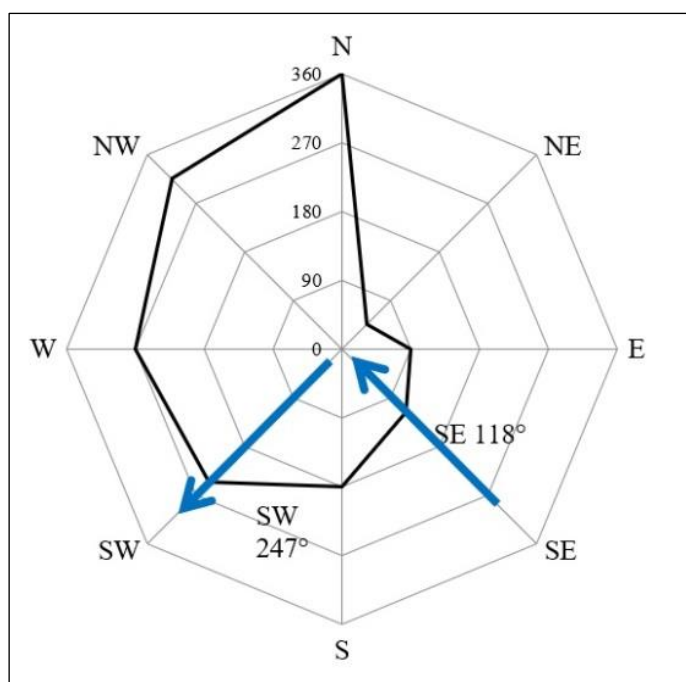


Figura 7. Rosa de los vientos correspondiente a los meses de mayo y junio de 2021 de las estaciones de monitoreo.

La distribución espacial de PMS mediante el método Krigin muestra una tendencia similar para toda el área de estudio. En la figura 8 se observa la dispersión del PMS de acuerdo a los valores expresados en la Tabla 5, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones fijas en la Mina Cerro Negro. El mapa resultante del modelo

muestra una distribución espacial que va desde 1,95 mg/cm²/mes hasta 14,13 mg/cm²/mes. Sin embargo existen puntos con mayor concentración en la estación 2, 15 y 16 con valores de 12,29; 9,53; 14,13 mg/cm²/mes respectivamente debido a la cercanía que existe entre la estación y la zona minera. Por lo contrario, los valores con menor concentración se presentaron en las estaciones: 4, 8 y 9 con valores de 2,17; 3,41; 1,95 mg/cm²/mes respectivamente. Dichos valores sobrepasan los límites permisibles establecidos por el TULSMA y la OMS. Las altas concentraciones están relacionadas con la extracción de material pétreo en la mina; así como la dirección y velocidad del viento.

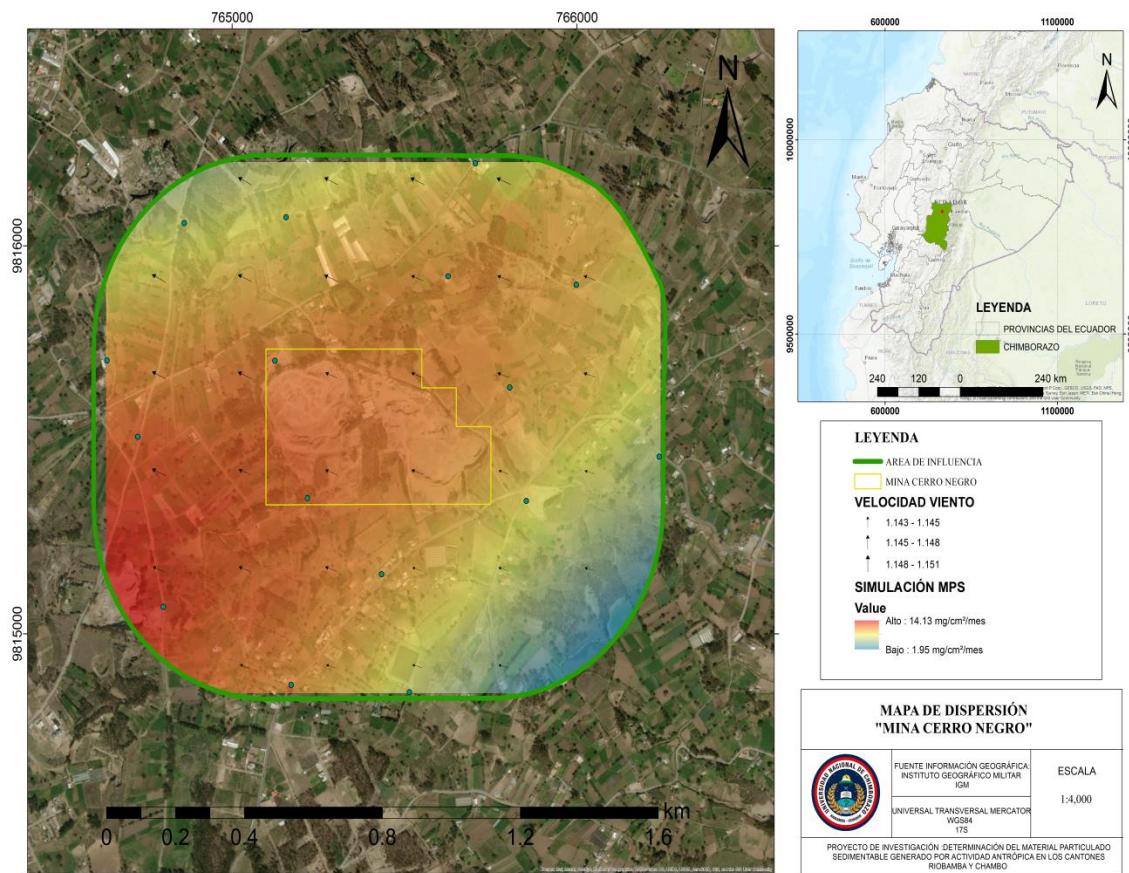


Figura 8. Mapa de dispersión.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la mina Cerro Negro de la ciudad de Riobamba del Ecuador, permitieron estimar la concentración de PMS en las 16 estaciones de monitoreo y con ello se realizó el mapa de dispersión de PMS del área de estudio.

- Se ha diseñado e implementado puntos de muestreo (16) de PMS debido a que no existían estaciones que registren este tipo de información. Los datos obtenidos mediante este tipo de muestreo son de relevancia para esta localidad porque permitieron conocer el grado de contaminación del aire y como estos fenómenos podrían influir en la salud de las personas.
- Los valores de PMS detectados en el presente estudio, se pueden considerar como indicadores de las condiciones alarmantes de la calidad del aire en las zonas aledañas a la mina Cerro Negro, debido a que fueron encontradas concentraciones superiores a las establecidas por el TULSMA y valores recomendados por la OMS.
- La caracterización morfológica de las partículas de PMS fueron de tipo esféricas, redondeadas, irregulares las cuales indican que son generadas por las actividades antrópicas (extracción de material Pétreo). Este tipo de partículas representan uno de los mayores riesgos para la salud especialmente de las poblaciones aledañas.
- El mapa de distribución espacial de PMS generado a través de software Arcgis permitió conocer las áreas críticas de mayor concentración, el mismo que está relacionado con la extracción de material pétreo en la mina; así como la dirección y velocidad del viento.
- El mapa generado en la presente investigación resulta una herramienta muy importante para las autoridades tomadoras de decisiones y para definir planes locales relacionados con la gestión de la calidad del aire y para crear conciencia en la población local.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable mantener buenas relaciones entre la comunidad y las minas aledañas con la finalidad de llegar acuerdos que brinden beneficios mutuos.
- Se deben realizar charlas de información a la población que encuentra en los alrededores de la mina Cerro Negro sobre los riesgos y enfermedades que pueden producir los contaminantes atmosféricos como lo es el PM emanado de las minas.
- Se recomienda colocar las estaciones fijas a nivel del suelo y libre de obstáculos que no interfieran en la deposición del PMS, de igual manera las cajas Petri deben ser correctamente colocadas con la finalidad que el papel filtro no sea movido por ningún factor meteorológico.
- Es recomendable aplicar una fase de sujeción adecuada para las cajas Petri en los equipos de sedimentación durante el período de muestreo para evitar que se muevan o vuelen a causa de las condiciones del clima.
- Es necesario realizar estudios posteriores de ruido y vibración en el área de estudio debido a la inconformidad que existe por parte de la comunidad hacia la zona minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, J. (2016). Dispersión de material particulado (pm10), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16, 43–54.
- Andi, J., & Vega, R. (2019). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi cantón Riobamba por incidencia industrial. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna Azul*, 34, 195–213.
- Bermeo, A. (2016). Análisis cuantitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato. Universidad Técnica de Ambato.
- Cáceres, D. (2015). Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (MP2.5) en niños que viven próximos a una playa masivamente contaminada con relaves mineros, Chañaral, Chile. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Chiluiza, C. (2019). Evaluación de la concentración de material particulado pm10 y pm2.5 en la parroquia Belisario Quevedo de la provincia de Cotopaxi en el periodo 2018 – 2019. Universidad Técnica de Cotoaxi.
- Díaz, V. (2017). Informe de la calidad de aire-2016 distrito metropolitano de Quito mayo - 2017.
- González, I., De La Rosa, J., Fernández, J., Romero, A., Sánchez, A., Galán, E., Barba, C., & González, Y. (2014). Influencia del Material Particulado Atmosférico , Derivado de residuos Mineros, en la Calidad del Aire y de los Suelos en la Comarca de Riotinto (Huelva). *Macla*, 18, 59–61.
- Guevara, E., & Logroño, B. (2020). Determinación de la concentración de material particulado Sedimentable y volátil e la comunidad San José de Chacuhuan por incidencia industrial. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Hernández, J., Flores, J., Flores, M., Rodríguez, N., Delgado, M., Shukla, M., & DuBois, D. (2013). Material particulado dispersado al aire en áreas sin asfalto en Ciudad Juárez. *Revista de Ciencia y Tecnología de La UACJ*, 11, 9–14.
- Hofman, J., Stokkaer, I., Snauwaert, L., & Samson, R. (2020). Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles. *Environmental Pollution*, 183(2013), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.09.015>

- INAMHI. (2019). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- Lara, C. (2018). Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos. Universidad Nacional De Chimborazo.
- Li, C., Liu, C., & Liu, M. (2020). Spatial distribution characteristics of gaseous pollutants and particulate matter inside a city in the heating season of Northeast China. *Sustainable Cities and Society*, 61, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102302>
- MAE. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. In Registro Oficial Edición Especial. Quito.
- Medina, M. (2014). Determinación del material particulado total producido por la extracción y trituración del material pétreo con la finalidad de elaborar una propuesta de plan de manejo en el área minera kumochi sector las viñas parroquia Izamba, cantón Ambato. Período 201. Universidad Tecnica de Cotopaxi.
- Minitab, 17. (2013). Getting Started with Minitab 17. In Minitab Inc. <https://www.minitab.com/en-us/uploadedfiles/documents/sample-materials/mortgageprocesstime-en.pdf/>
- Miranda, J., & Aruhuanca, L. (2017). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (pm2.5, pm10) para la gestión de la calidad del aire 2017 en la ciudad de Tacna. Universidad Privada de Tacna.
- Molina, C. (2018). Análisis de emisiones de material particulado en la mina “san pablo”, parroquia San Antonio de Pichincha, en la comunidad de Tanlahua. Escuela Politécnica Nacional.
- OMS. (2018). Calidad del aire y salud. *Calidad Del Aire y Salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Quijano, A., Quijano, M., & Henao, J. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado- fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua*, 8, 21.
- Salinas, P. (2012). Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencia por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia. (Vol. 9, Issue 1).
- Santillán, G., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 2, 32–39.
- Santillán, G., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinerгия*, 4, 16.

ANEXOS

Anexo 1. Límites Máximo Permisible establecidos por la OMS

Material Particulado	LMP
Partículas Sedimentables	0,5 mg/cm ² /mes
PM _{2,5}	25 µm/m ³
PM ₄	30 µm/m ³
PM ₁₀	50 µm/m ³

Fuente: (OMS, 2018)

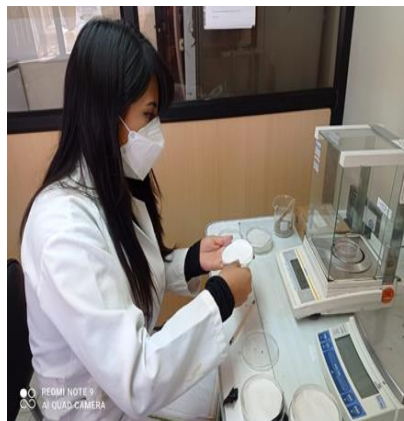
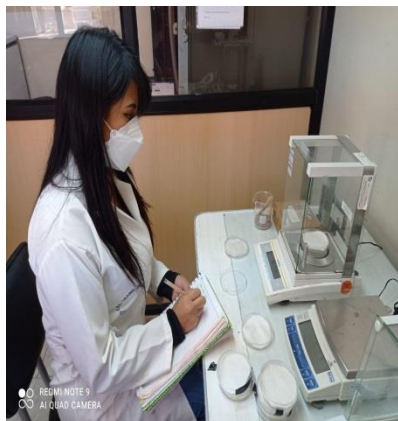
Anexo 2. Límites Máximo Permisible establecidos por la TULSMA

Material Particulado	LMP
Partículas Sedimentables	1 mg/cm ² /mes
PM _{2,5}	50 µm/m ³
PM ₄	70 µm/m ³
PM ₁₀	100 µm/m ³

Fuente: Valores tomados del anexo 4 del Libro VI del TULSMA (MAE, 2017).

Anexo 3. Registro Fotográfico del trabajo en laboratorio

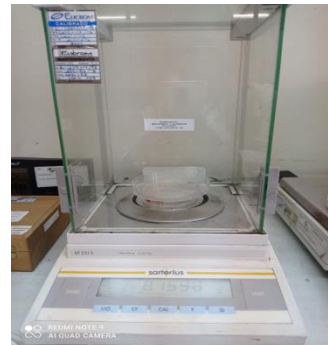
Peso inicial del pael filtro



Muestras secadas

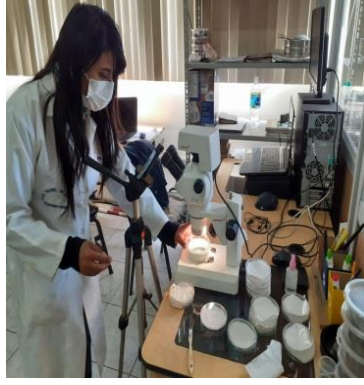


Muestras de estudios secadas para pesar



Muestras secadas para análisis microscopio





Ubicación de los equipos para el muestreo

