



CAPITULO 8

Material Particulado Sedimentable en el área minera “La Tierra Prometida” cantón Riobamba provincia de Chimborazo**Sedimentable Particulate Material in the mining area “La Tierra Prometida” canton Riobamba province of Chimborazo**Santillán Lima G. P., Herrera Cuadrado Z. V., & Santillán Lima J. C.
DOI: 10.55204/pmea.43.c184**Guido Patricio Santillán Lima**, <https://orcid.org/0000-0003-0743-9107> 

Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

psantillan@unach.edu.ec

Zayda Vanessa Herrera Cuadrado, <https://orcid.org/0009-0009-8158-1532> 

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba Ecuador

zayda.herrera@esPOCH.edu.ec

Juan Carlos Santillán Lima, <https://orcid.org/0000-0001-5812-7766> 

Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

juankasl@outlook.com

RESUMEN

Con el presente trabajo de investigación se pretende determinar la calidad del aire en la mina “La Tierra Prometida” del cantón Riobamba provincia de Chimborazo para lograr los objetivos planteados se realizó un análisis de la concentración de material particulado sedimentable generado por la actividad de extracción de material pétreo en el área minera, para esto se ubicó de forma estratégica 26 estaciones fijas durante el periodo de 30 días (23 de Agosto – 23 de Septiembre) dentro de las cuales se colocaron cajas Petri, esto permitió el análisis de las muestras en el laboratorio de la Universidad Nacional de Chimborazo con la ayuda del microscopio óptico (100X) para determinar así la concentración de cada una de ellas, 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 todas superan los límites máximos establecidos tanto como en el TULSMA como los de la OMS teniendo así una concentración máxima de 17.76 mg/cm²/mes y con una mínima de 1.32 mg/cm²/mes.

Palabras claves: material particulado sedimentable, sistema de información geográfica, material pétreo, área minera.

ABSTRACT

This research work is intended to determine the air quality in the mine "La Tierra Prometida" in Riobamba City, province of Chimborazo. To achieve the objectives, an analysis of the concentration of settleable particulate matter generated by the extraction of stone material in the mining area was carried out, for this purpose, 26 fixed stations were strategically located during the 30-day period (August 23 - September 23) inside which Petri boxes were placed. This allowed the analysis of the samples in the laboratory of the Universidad Nacional de Chimborazo with the help of an optical microscope (100X) to determine the concentration of each one of them, to later make a concentration and dispersion map with the data obtained through the geographic information systems (GIS) program. With the results obtained from the samples analyzed, it can be said that they all exceed the maximum limits established by both the TULSMA and the WHO, with a maximum concentration of 17.76 mg/cm²/month and a minimum of 1.32 mg/cm²/month.

Keywords: settleable particulate matter, geographic information system, stone material, mining area.

INTRODUCCIÓN

"Tierra Prometida" ubicada en la parroquia Licán, perteneciente al Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, conocida por ser la principal fuente de extracción de material pétreo como: ripio, macadam, piedra, rechazo, polvo de piedra, lastre, subbase, triturado y chispa; la explotación minera de dicho material se ha convertido en la principal actividad económica y de desarrollo de la zona.

Según la (OPS, 2018) la exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos para la salud: aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón las cuales afectan en mayor proporción a población vulnerable, niños, adultos mayores y mujeres. En la actualidad no es posible que se pueda evaluar de forma certera la problemática que se relaciona con la contaminación del aire que se da por la minería, esto se debe a que la información a nivel local es escasa o nula ya que se miden en pocos lugares (González, 2021). Es por eso por lo que cada vez aumenta la preocupación que se da en la sociedad por esta problemática que afecta de forma directa al entorno. Se ve la necesidad de implementar monitoreos de las actividades mineras de la calidad de aire con el fin de verificar las concentraciones de las partículas emitidas por la misma y así hacer una comparación con las normativas actuales.

Con el propósito de conocer la afectación que produce al recurso aire este tipo de actividad en el cantón, se ha considerado realizar un muestreo de calidad de aire, a través del análisis de la concentración de material particulado generado por la actividad de extracción de material pétreo, en el área minera "La tierra Prometida", código 200583, Pequeña Minería. Se establecerá 26 estaciones fijas que ayudará a recolectar el material particulado sedimentable en el área de estudio, luego procedemos al análisis en laboratorio tanto cualitativos y cuantitativos, con estos datos se realizará la interpolación del contaminante y los análisis estadísticos correspondientes. Una vez concluido

podamos así establecer la afectación que se ha generado hasta posteriormente cumplir con el cierre definitivo del área minera.

La minería es una de las actividades que ha causado un fuerte cambio en el ambiente debido al deterioro constante del mismo, teniendo en cuenta el grave impacto atmosférico que se da por las emisiones de partículas, y ruidos que genera esta actividad, a más de ser el principal factor causante del deterioro de la salud de las poblaciones aledañas, “La contaminación atmosférica afecta a las ciudades por medio de gases y aerosoles atmosféricos o material particulado (MP).

El MP es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de diferente origen, tamaño, forma y composición química) con impacto sobre la salud humana” (Egas et al., 2018). Por otra parte, según la (OMS, 2017) determina que existe una relación directa entre la exposición a altas concentraciones de partículas tanto gruesas como finas, así como el índice de mortalidad prematura en la población.

Al ser el Ecuador un país de tercer mundo los métodos utilizados en la explotación de los recursos se consideran precarios razón por la cual aumenta la contaminación ambiental. En la provincia de Chimborazo se explotan materiales de construcción en cantera mediante taludes y maquinaria pesada.

Existen varios estudios que se han ejecutado en la ciudad de Riobamba, en los cuales hace referencia a las condiciones del aire en general, de los cuales no hacen referencia a la afectación por la actividad minera.

Es por tal razón que al estar ubicada el área minera “La tierra Prometida”, cerca de un espacio recreativo, que está autorizado para extraer 800 m³/día de material pétreo por ser pequeña minería, que cuenta con zarandas para procesar el material, y que cuenta con una licencia ambiental que entre sus obligaciones se encuentra el monitoreo continuo de calidad de aire; se necesita determinar la afectación del material particulado a la calidad del aire.

Generalidades

El área minera conocida como: “Tierra Prometida”, se encuentra ubicada en la parroquia Licán, perteneciente al Cantón Riobamba, su principal actividad económica se centra en la extracción y procesamiento de material pétreo. La superficie del área de interés tiene una longitud de 4 hectáreas, detallando a continuación sus coordenadas geográficas:

Tabla 1. Coordenadas Geográficas

DATUM: WGS 84 - UTM		
La Tierra Prometida		
Vértices	Coordenadas	Coordenadas
	X	Y
1	757591.38	9815470.31
2	757577.97	9815346.32
3	757837.26	9815564.61
4	757944.33	9815502.87

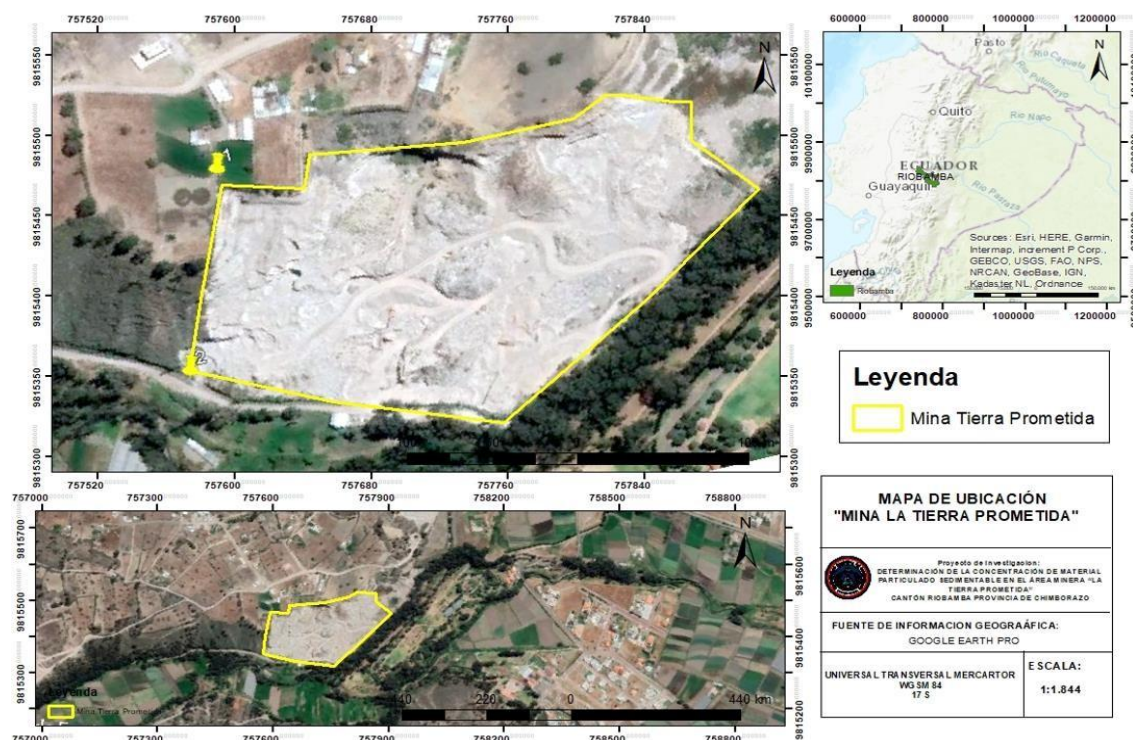


Figura 1. Mapa de la ubicación de la Mina “La Tierra Prometida”

Contaminación Atmosférica

Se refiere a contaminación atmosférica a la presencia de sustancias dañinas en la atmosfera, debido a sus altas concentraciones podrían ser perjudiciales tanto para la salud de la población como para los diferentes ecosistemas (Ubilla ,Yohannessen, 2017)

Los Contaminantes Atmosféricos

Son partículas tanto solidas como liquidas, además de ser compuestas por vapores y gases, que se encuentran en la atmosfera, debido a su alta concentración, estas afectan al bienestar, salud y comodidad de las personas (Gutiérrez, 2018)

El desarrollo económico y de la industria han sido el principal factor de un aumento desenfrenado de la contaminación, los procesos industriales al emitir gases tóxicos en sus procesos productivos y la minería cielo abierto al emitir material particulado (Amable ,Méndez,Bello, 2017), explica que “la contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo, o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores”

Los contaminantes atmosféricos se clasifican en 2 grupos; primarios y secundarios, los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la

atmosfera afectando directamente a la salud de la población, a la producción agrícola, etc., los contaminantes secundarios son aquellos que se forman a partir de reacciones químicas a partir de los contaminantes primarios (Ubilla, Yohannessen, 2017).

Contaminantes Primarios

Son sustancias que son vertidas a la atmosfera de manera directa por la fuente. Por lo que su composición tanto química como física es muy variada. Debido a sus grandes contaminantes primarios esto provoca un 90% de problemas de contaminación a la atmosfera (Gutiérrez, 2018)

- Partículas
- Componentes orgánicos volátiles (VOC)
- Óxidos de azufre (SO₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Óxidos de carbono (CO_x)
- Halógenos y sus derivados.
- Partículas de metales tales como plomo, mercurio, cobre y zinc.
- Sustancias radioactivas.
- Partículas de amianto y asbesto.
- Otros contaminantes primarios importantes.

Fuentes de Contaminación Atmosférica

Las actividades del hombre, el metabolismo de la materia viva y los fenómenos naturales que son producidos en la tierra, también son acompañados de vapores, polvos, aerosoles y gases.

Al momento de propagar en la atmósfera se componen en los diferentes ciclos conocido como biogeoquímicos, que se presentan en nuestro planeta. Estas fuentes de contaminación del aire cuentan con 2 grandes clasificaciones (Gutiérrez, 2018)

Naturales

- Incendios forestales
- Emisiones volcánicas
- Descomposición de la materia orgánica en suelos y pantanos originados por la acción del viento y el polen.

Antropogénicas

- Generación de energía
- Emisiones de vehículos
- Procesos de combustión
- Minas
- Canteras e industria de materiales de construcción
- Procesos de calentamiento y tueste
- Procesos metalúrgicos
- Extracción de combustibles
- Procesos químicos

- Centrales nucleares

En la **tabla 2** se detallan las principales fuentes de contaminación.

Tabla 2. Fuentes de Contaminación Atmosférica Primarios

CONTAMINANTE PRIMARIOS	ORIGEN
MATERIAL PARTICULADO	MP GRUESO: Proveniente de la extracción de materiales pétreos. MP FINO: Proveniente de los procesos de combustión uso de automóviles, otros procesos industriales.
OZONO	Contaminante secundario: reacciones entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.
DIOXIDO DE NITROGENO	Combustión de altas temperaturas: empresas eléctricas, calderas, congestión vehicular.
PLOMO	Principal fuente procesos industriales (baterías de plomo) y vehículos automotores.
MONÓXIDO DE CARBONO	Producto de la combustión incompleta del gas natural, carbón o madera. El tráfico vehicular es una fuente importante de CO.
DIÓXIDO DE AZUFRE	Emitido por la quema de combustibles, extracción de metales a través de la minería.

Nota: Se muestra las fuentes principales de contaminación

Material Particulado Sedimentable

Material sedimentable está constituido por partículas que se encuentran en el aire estas se alojan en el suelo por acción de la gravedad. Sus velocidades de sedimentación son apreciables quedándose así en la atmosfera por poco tiempo.

Se originan por el rompimiento de partículas de mayor tamaño en los procesos de trituración, pulverización, perforaciones, mezcla de materiales entre otros (Vásquez, 2017).

Efectos sobre el Ambiente y la Salud

La minería contribuye de manera importante con la contaminación atmosférica, durante los procesos como son la extracción de mineral, procesamiento, manipulación y transporte del material. Generando esto contaminantes dañinos como material particulado.

Ambiente

El daño al ambiente se relaciona a todo acto u omisión de este que altere, transforme o dañe de forma significativa a algún elemento del mismo, rompiendo así el equilibrio natural de los ecosistemas (Chacon, 2023).

Tabla 3. Daño al ambiente

Daño	Afectación
Superficie de la tierra	Destruye y modifica la cobertura de la corteza terrestre, formando cantidades grandes de material.
Contaminación del aire	Genera cantidades grandes de material particulado que son absorbidos por animales y seres humano.
Contaminación de las aguas superficiales	Al no ser tratados de forma debida el material particulado generadas se filtran hacia el subsuelo, contaminando los yacimientos de aguas subterráneas.
Impacto sobre flora y fauna	Las actividades que se generan eliminan la flora existente en la corteza terrestre, la fauna es afectada por la destrucción de su habitat.

Salud

El tamaño de las partículas tiene una relación directa con los problemas de salud que generan estas. Las partículas con menor tamaño (10 μm) son las que ocasionan mayores problemas ya que estas pueden ingresar a los pulmones, y en algunas ocasiones al torrente sanguíneo (EPA, 2022).

Otros problemas que genera esto son:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardiacas o pulmonares
- Infartos (no mortales)
- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios (irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar).

Estándares de Calidad del Aire

Es un valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinan fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados (MAE, 2017).

Tabla 4. Norma de calidad de aire según Acuerdo Ministerial 097 A

Contaminante	Exposición (tiempo)	Concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	1 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$
PM₁₀	24 horas	150 ug/m^3
	1 año	50 ug/m^3
Pm 2,5	24 horas	65 ug/m^3
	1 año	15 ug/m^3

Nota: La concentración es el valor establecido como límite máximo permisible de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado.

Tabla 5. Organización Mundial de la Salud

Contaminante	Exposición (tiempo)	Concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm ² /mes
PM₁₀	24 horas	45 ug/m ³
	1 año	15 ug/m ³
PM_{2,5}	24 horas	15 ug/m ³
	1 año	5 ug/m ³

Nota: La concentración es el valor establecido como límite máximo permisible de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado.

Factores que Influyen en el Transporte del Material Particulado

La dispersión o transporte del material particulado está relacionada por diversos factores estos (**Tabla 6**) se pueden ser controlados y no controlados (Fuentes, 2016).

Tabla 6. Factores del transporte del MP

Factor	Condición
Área de estudio	Locales del área y característica de la superficie del lugar del estudio.
Accidentes topográficos	Determinan los componentes del viento, teniendo en cuenta las alteraciones de las corrientes del que circulan.
Topografía	Establecen la velocidad y dirección, así también la magnitud de la dispersión siendo estos afectados por montañas, laderas entre otros.

METODOLOGÍA

En la metodología se describió el levantamiento de la información en el campo, con esto se detalló en donde se colocaron las estaciones para los puntos de muestreo, los parámetros a considerar, la técnica de muestreo, conservación y el transporte de las muestras recogidas (Ambiental-SCA, 2015)

En el presente estudio se trabajó en el análisis del material particulado sedimentable esta concentración de PM lo obtuvimos de las 26 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.

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 la mina La Tierra Prometida.

- **Campo:** Ubicación de estaciones de monitoreo en las partes colindantes a la mina para recopilación de datos y muestras para análisis.

Área de Estudio

Se localiza en el sector de Parque Ricpamba, parroquia Licán, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Esta se encuentra en la región Sierra centro del Ecuador a 2850 msnm, llega a tener una temperatura media de 14°C, con un clima frío característico del lugar.

El área minera LA TIERRA PROMETIDA, conforma 4 hectáreas mineras, cuyas coordenadas de los vértices de las concesiones se detallan en los sistemas de proyección cartográfica datum WGS-84 zona 17 Sur.

Para acceder a la mina, se toma la Av. Pedro Vicente Maldonado en sentido noroeste (NW), hasta llegar a la gasolinera de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), se da un giro hacia la izquierda por la calle Diego Rodríguez, se continúa en esta dirección aproximadamente 2 km hasta llegar al área.

Para delimitar el área total del estudio se recorrió la misma con el fin de poder recabar información necesaria sobre los límites que posee la mina y sus alrededores para posterior colocar las estaciones de monitoreo como se muestra a continuación en la

Figura 2.

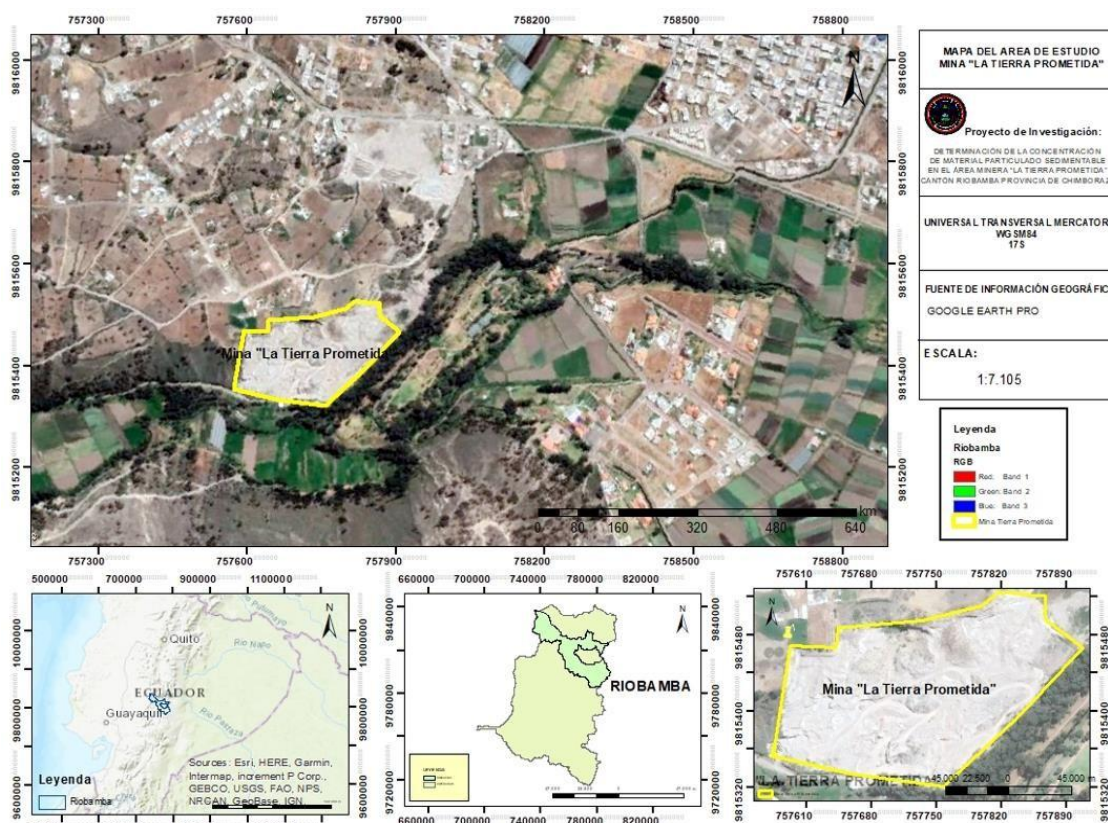


Figura 2. Área de estudio mina “La Tierra Prometida”

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 (Consulting, 2015).

Se colocarán 26 puntos de muestreo, estos estarán ubicados de forma estratégica para poder registrar datos confiables tomando en cuenta el área más afecta de la mina y los lugares aledaños a la misma. El control de las estaciones fu 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-Lima, y otros, 2016).

Para ello se llevó un registro con la información de cada sitio como es las coordenadas cartográficas. De igual forma incluir fotografías o descripciones en donde se detalle el área y sus alrededores, también registrar si existe algo inusual que afecte el monitoreo del material particulado (Ministerio de 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 obtuvo de las estaciones meteorológicas más aledañas al área de estudio (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Dirección de aviación civil (DAC), Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) y Estación Meteorológica de Tunshi.

Analizamos la extensión de nuestra área de trabajo para así poder definir el número de cuadrículas que pudimos obtener 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).

Monitoreo del Material Particulado

Para la medición del material particulado sedimentable nos basamos en los principios gravimétricos. 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 filtro recolectado del punto de muestreo menos el peso de un papel filtro limpio da el resultado de la cantidad de material particulado sedimentable (Pérez, 2018).

Ecuación 1. Polvo Atmosférico Sedimentable

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

Dónde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso inicial (mg) (laboratorio)

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

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

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 fotografías 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-Lima, y otros, 2016).

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 siguiente ecuación:

Ecuación 2. Interpolación con la Distancia Inversa Pondera IDW

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad i = 1, \dots, n$$

Donde:

$Z(S_0)$ es el valor que se estima del punto que se a interpolado S_0 n es el número de las observaciones usadas para la estimación y 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 (Mosco & Astudillo, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puntos de muestreo para la medición de material particulado sedimentable en la mina “La Tierra Prometida”

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 Riobamba. Por tal motivo para cumplir los objetivos que han sido planteados en esta investigación se procedió a seleccionar la mina “La Tierra Prometida” cuya actividad es la producción de material pétreo.

Debido a la generación de este material el cual produce PMS las mismas que afectan de forma directa a los sectores aledaños de la mina.

Para poder determinar la concentración del PMS se ubicaron las 26 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 7**, se describen las coordenadas.

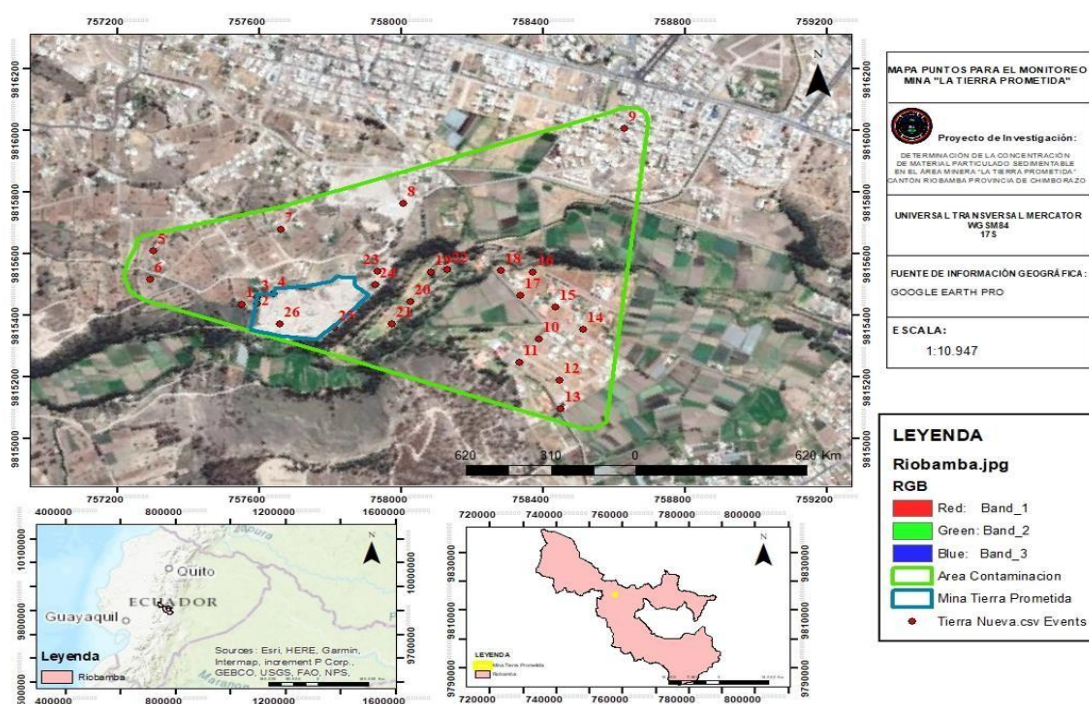
Tabla 7. Estaciones de monitoreo

Punto	Descripción	Código	Coordenadas	
			X	Y
1	Barrio San francisco de Macají	PTP1-SF	757550.19	9815436.24
2	Barrio San francisco de Macají	PTP2-SF	757593.5	9815436.58
3	Barrio San francisco de Macají	PTP3-SF	757594.38	9815459.62
4	Barrio San francisco de Macají	PTP4-SF	757639.4	9815469.26
5	Barrio Tierra Nueva	PTP5-TN	757300.69	9815608.9

6	Barrio Tierra Nueva	PTP6-TN	757292.09	9815515.24
7	Barrio Tierra Nueva	PTP7-TN	757659.18	9815680.02
8	Barrio Tierra Nueva	PTP8-TN	758004.1	9815763.85
9	Barrio Juan Montalvo	PTP9-JM	758627.78	9816007.81
10	Urbanización Ricpamba	PTP10-UR	758386.61	9815322.45
11	Urbanización Ricpamba	PTP11-UR	758333.87	9815246.89
12	Urbanización Ricpamba	PTP12-UR	758445.06	9815189.42
13	Urbanización Ricpamba	PTP13-UR	758447.5	9815095.57
14	Urbanización Ricpamba	PTP14-UR	758511.5	9815353.61
15	Urbanización Ricpamba	PTP15-UR	758435.15	9815425.99
16	Urbanización Ricpamba	PTP16-UR	758370.74	9815540.13
17	Urbanización Ricpamba	PTP17-UR	758336.67	9815463.57
18	Urbanización Ricpamba	PTP18-UR	758279.87	9815545.61
19	Parque Ricpamba	PTP19 - RC	758081.97	9815539.16
20	Parque Ricpamba	PTP20 - RC	758024.95	9815443.58
21	Parque Ricpamba	PTP21 - RC	757972.21	9815371.91
22	Parque Ricpamba	PTP22- RC	758130.39	9815548.12
23	Mina Tierra Prometida	PTP23-TP	757933.34	9815541.14
24	Mina Tierra Prometida	PTP24-TP	757925.65	9815497.6
25	Mina Tierra Prometida	PTP25-TP	757809.98	9815359.1
26	Mina Tierra Prometida	PTP26-TP	757657.12	9815371.18

Para confirmar la hipótesis y teniendo en consideración que el área de estudio corresponde a una zona que tiene una actividad minera. Los puntos que se observan en la **Figura 3** corresponden a la ubicación de cada una de las estaciones fijas que ayudo para poder determinar así la concentración de PMS y para posterior generar el mapa de dispersión.

Figura 3. Mapa Puntos de monitoreo de la mina “La Tierra Prometida”



Concentración del Material Particulado Sedimentable en la Mina “La Tierra Prometida” del cantón Riobamba

Para determinar la concentración del PMS, como primer punto se calculó el área que posee el papel filtro utilizado en cada una de las cajas Petri. Con este valor obtenido **Tabla 8** se puede proseguir con la determinación del PMS de las 26 estaciones colocadas.

Tabla 8. Valores del papel filtro

Radio del Papel Filtro (cm)	Área del Papel Filtro (cm ²)
4.25	56.75

A continuación, se muestran los valores obtenidos en cada una de las 26 estaciones que estuvieron recolectando muestra durante el periodo de 30 días (23 de agosto al 23 de septiembre del 2022). En la **Tabla 9** se puede observar que la concentración más alta es del punto 8 este se ubica en el barrio Tierra Nueva con un valor de 17.76 mg/cm²/mes este valor se debe que la estación se encontraba ubicada en un sector en donde hay considerable tráfico vehicular de igual manera la vía es de material pétreo (lastre).

En los puntos que también poseen una de las concentraciones altas (10.52 mg/cm²/mes) son los punto 25 y 26 los cuales estaban colocados dentro de la mina La Tierra Prometida estos valores obtenidos es debido a la actividad del lugar que se dedica a la explotación del material pétreo. Mientras el valor más bajo (1.32 mg/cm²/mes) es del punto 14 ubicado en la Urbanización Ricpamba (Arciniégas, 2012)

Tabla 9. Concentración PMS

Estación	Código	Peso Inicial (mg)	Peso final (mg)	PMS (mg/cm ² /mes)	TULSMA (mg/cm ² /mes)	OMS (mg/cm ² /mes)
1	PTP1-SF	4737	482.2	4.49	1	0.5
2	PTP2-SF	465.7	472.4	3.54	1	0.5
3	PTP3-SF	454.5	468.0	7.14	1	0.5
4	PTP4-SF	467.0	478.5	6.08	1	0.5
5	PTP5-TN	461.5	470.5	4.76	1	0.5
6	PTP6-TN	464.8	477.5	6.71	1	0.5
7	PTP7-TN	475.9	487.5	6.13	1	0.5
8	PTP8-TN	463.3	496.9	17.76	1	0.5
9	PTP9-JM	464.2	477.6	6.56	1	0.5
10	PTP10-UR	468.0	477.7	5.13	1	0.5
11	PTP11-UR	454.0	462.7	4.60	1	0.5
12	PTP12-UR	467.3	469.8	1.32	1	0.5
13	PTP13-UR	465.2	471.1	3.12	1	0.5
14	PTP14-UR	474.5	477.0	1.32	1	0.5
15	PTP15-UR	445.9	451.4	2.91	1	0.5

16	PTP16-UR	472.6	488.0	4.44	1	0.5
17	PTP17-UR	466.3	489.2	6.82	1	0.5
18	PTP18-UR	468.3	477.5	4.86	1	0.5
19	PTP19 - RC	465.6	475	4.97	1	0.5
20	PTP20 - RC	467.4	473.2	3.07	1	0.5
21	PTP21 - RC	463.5	487.5	4.76	1	0.5
22	PTP22- RC	468.0	489.5	4.49	1	0.5
23	PTP23-TP	475.7	485.6	5.23	1	0.5
24	PTP24-TP	455.5	471.8	8.62	1	0.5
25	PTP25-TP	431.1	451	10.52	1	0.5
26	PTP26-TP	465.3	485.2	10.52	1	0.5

Al revisar los datos obtenidos en la Figura 4 en los cuales constan las concentraciones de cada uno de los puntos de muestreo, los mismo que al ser comparados con los límites máximos permisibles para MPS tanto para el Acuerdo Ministerial 097-A ($1 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) como para la OMS ($0,5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) todos estos valores sobrepasan los límites mencionados.

Con esto se puede decir que existe una gran cantidad de dispersión de las partículas que provienen de la actividad minera que genera la mina La Tierra Prometida comprometiendo así la calidad del aire y el deterioro de la salud de los moradores del sector.

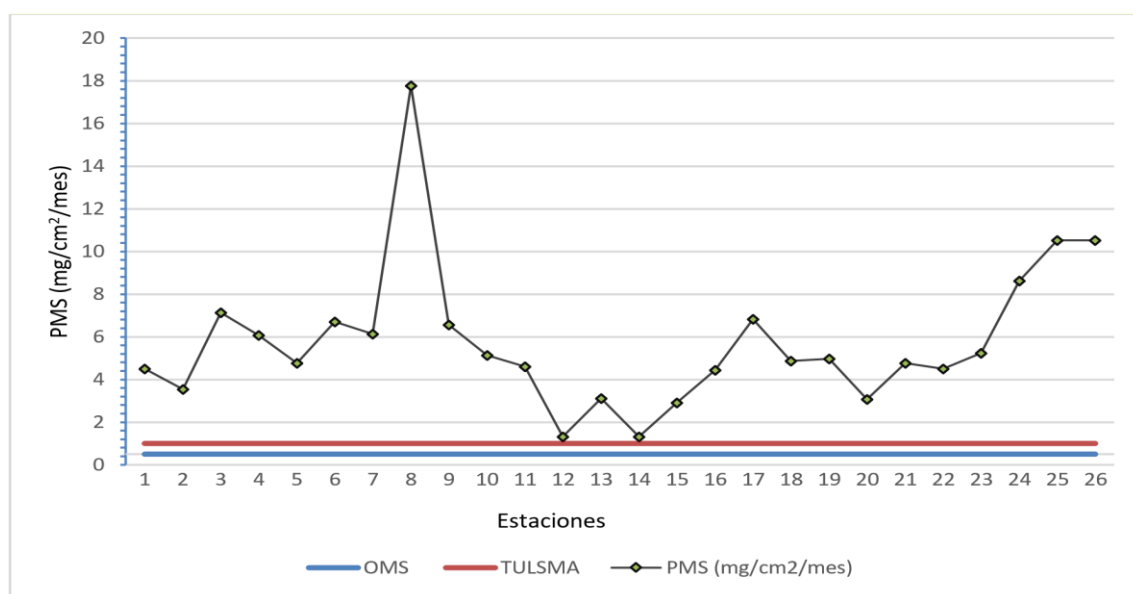
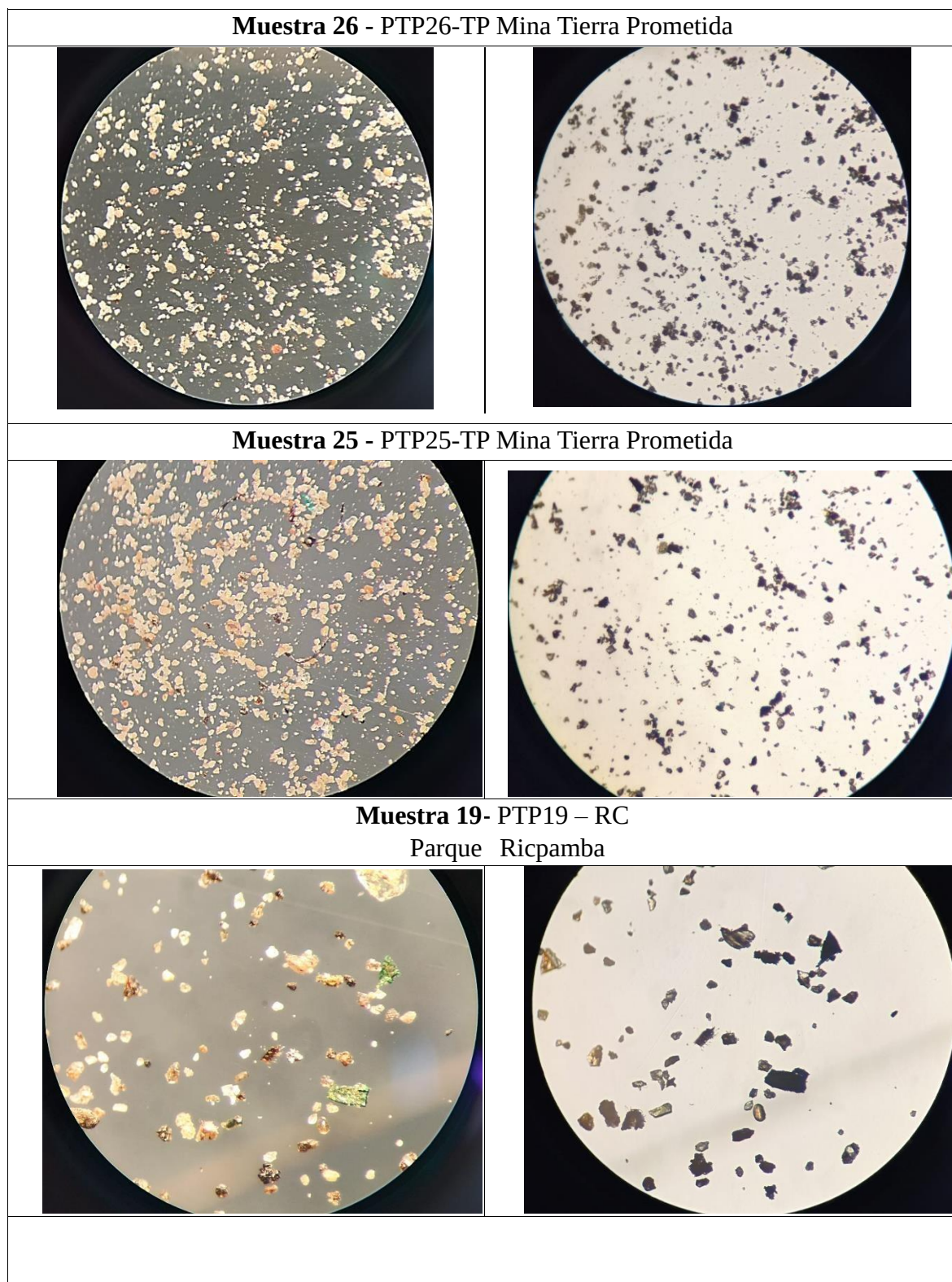


Figura 4. Concentraciones de PMS de la mina La Tierra Prometida

Se debe tomar en cuenta los factores ya sean naturales o antrópicos como pueden ser la velocidad y dirección del viento, la humedad del sector, la influencia alta del tráfico vehicular, las vías de lastre, todas estas influyen en la dispersión de las partículas y por ende las concentraciones de MPS durante el periodo de muestreo. (Arrieta Fuentes, 2016)

Características Morfológicas del Material Particulado Sedimentable de la Mina “La Tierra Prometida”

La caracterización del material particulado sedimentable de las 26 estaciones establecidas en torno a la Mina La Tierra Prometida se las puede observar en la **Figura 5**.



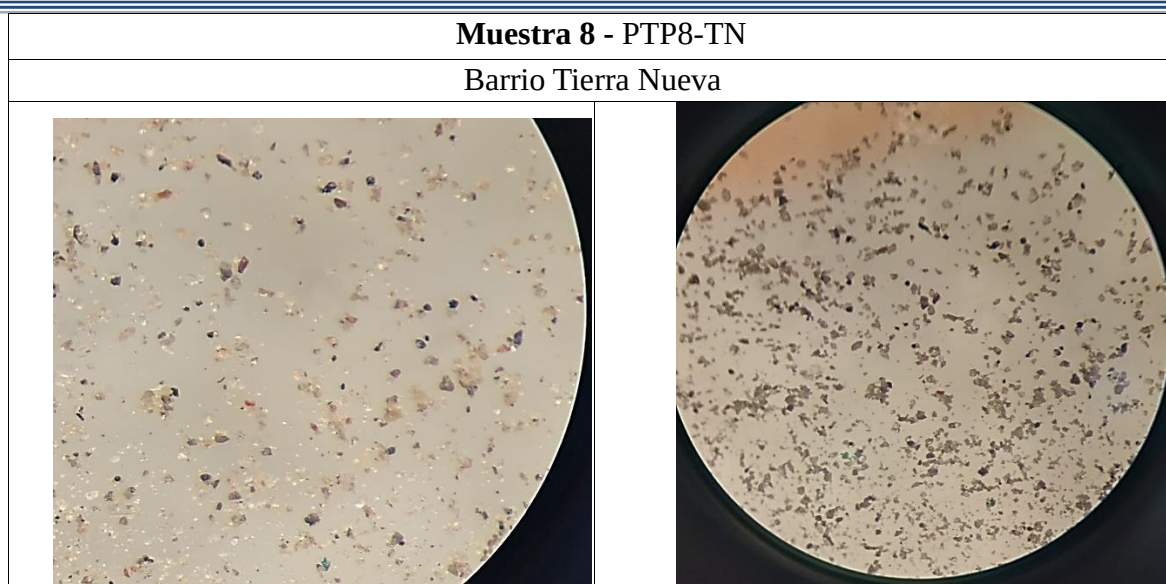


Figura 5. Muestras de las estaciones fijas “La Tierra Prometida”

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. (Lopez, 2013)

En la muestra 19 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 del parque Ricpamba en donde existe gran variedad de vegetación. (Lopez, 2013)

Partículas minerales (polvo) que se presentó en forma de granos irregulares y porosos, debido a la extracción del material pétreo en el área minera, además del mal estado de las vías, y el tráfico vehicular alrededor de la Mina La Tierra Prometida, 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. (Lopez, 2013)

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 de la mina “La Tierra Prometida” durante el periodo de los meses agosto – septiembre del 2022.

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 las estaciones meteorológicas (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),

Dirección de aviación civil (DAC), Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) y Estación Meteorológica de Tunshi).

Teniendo en cuenta la dirección la cual fue Noreste (NE) 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 6.

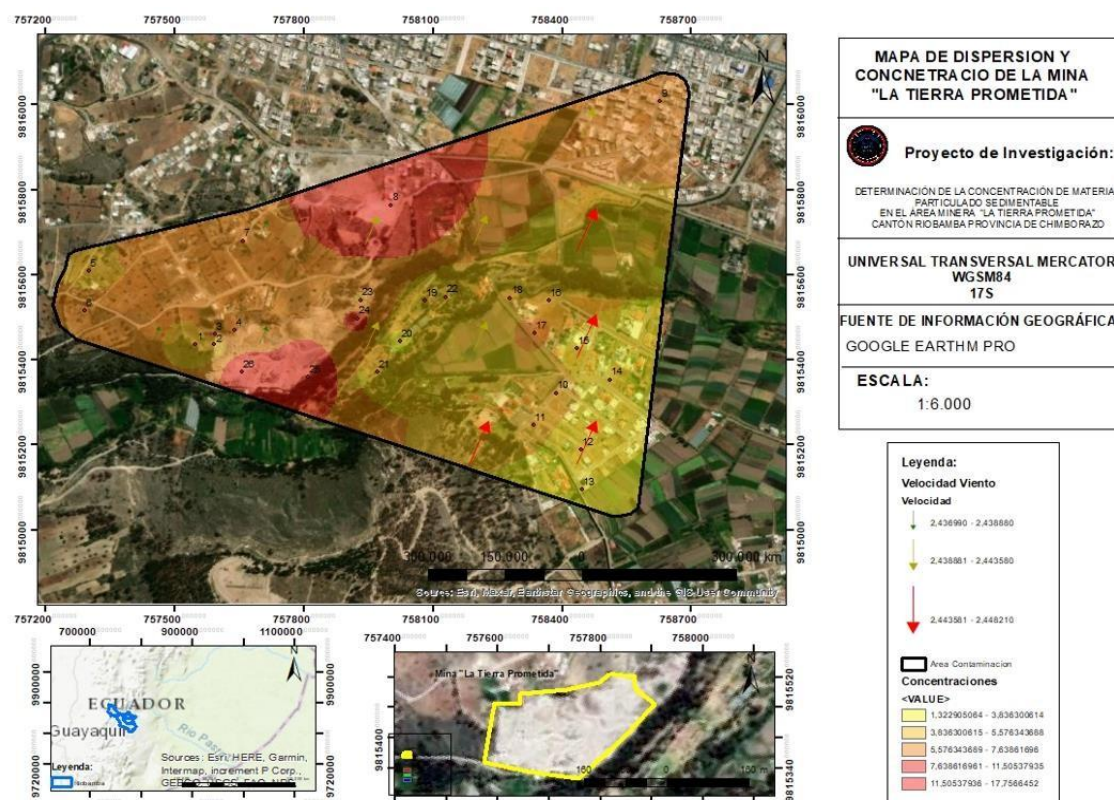


Figura 6. Mapa de Dispersión y Concentración PMS

En la **Figura 6** se puede observar la dispersión y concentración del PMS con este análisis podemos corroborar que los puntos con mayor concentración son 8, 26 y 25 con los valores de 17.76, 10.52, 10.52 esto se debe a la dirección y velocidad con el cual se mueve el viento en el área de estudio y la cercanía que esta al área minera. Mientras

que en los puntos 1, 2, 3, 4 que es en la zona Suroeste existe baja concentración del material particulado debido a la dirección del viento.

CONCLUSIONES

Los valores que se obtuvieron del PMS en esta investigación de la mina “La Tierra Prometida” no cumplen con los límites establecidos por el Acuerdo Ministerial 097 A y la OMS debido a que las concentraciones que emite la mina sobrepasan estos límites.

Al realizar la caracterización de la morfología de las partículas de la mina se observaron diferentes formas como son de tipo semiesféricas, alargadas levemente cilíndricas, irregulares y porosas las cuales son generadas por las actividades diarias de la actividad minera.

El mapa generado en el software ArcGIS el cual realizo el análisis geoestadístico ayudó a diferenciar las áreas con mayor concentración del material particulado como fueron los puntos 8, 25 y 26 debido a la cercanía que se encontraron las estaciones con la mina, los otros puntos con menor concentraciones se deben a la dirección y velocidad del viento que es la que determina la dispersión de las partículas.

FINANCIACIÓN

No se recibió financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Se declara que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org>), los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

<i>Participar activamente en:</i>	<i>Santillán Guido</i>	<i>Herrera Zayda</i>	<i>Santillán Juan</i>
<i>Conceptualización</i>	x		x
<i>Análisis formal</i>	x	x	x
<i>Adquisición de fondos</i>	x		x
<i>Investigación</i>	x	x	x
<i>Metodología</i>	x	x	x
<i>Administración del proyecto</i>	x	x	x
<i>Recursos</i>	x	x	x
<i>Redacción - Borrador original</i>	x	x	x
<i>Redacción - Revisión y edición</i>	x	x	x
<i>Discusión de resultados</i>	x	x	x
<i>Revisión y aprobación de versión final</i>	x	x	x

BIBLIOGRAFÍA

- Amable, Méndez, Bello. (2017). *Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud*. Revista Médica Electrónica, vol.39.
- Ambiental, C. y. (Mayo de 2016). *GeoInnova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/>
- Ambiental-SCA, M. d.-S. (Febrero de 2015). *Guía General de Elaboración de Términos de Referencia Estándar para Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental Aplicable a las Fases de Explotación, Proyectos Mineros CATEGORÍA IV*. Ecuador.
- Chacon, M. P. (2023). *Daño Ambiental y Prescripción*. Revista Judicial, Costa Rica, 28.
- Consulting, S.-A. (2015). *Propuesta metodológica para la validación y estimación de la precisión de productos cartográficos correspondientes a la cobertura y uso de la tierra generados a partir de imágenes de satélite*. German Cooperation.
- Egas et al. (2018). *Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto*. Información Tecnológica, 118.
- EPA. (23 de Mayo de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-lasalud-y-el-medioambiente>
- Fuentes, A. J. (30 de Mayo de 2016). *Dispersión de material particulado (pm10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos*. Boyacá, Colombia : Dialnet-Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, Vol. 16 N° 2.
- Gis&Beers. (Junio de 2016). *Gis&Beers*. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/creacion-de-mallas-de-cuadriculas-con-fishnet/>
- González, J. (2021). *Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático*. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia – UNICEF, 35.
- Gutiérrez, J. M. (2018). *Contaminación atmosférica*. Universidad Tecnológica de La Habana.
- MAE. (2017). *Norma De calidad del Aire Ambiente, Libro VI Anexo 4*. Quito: Registro Oficial Edición Especial.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. Bogotá: K-2 Ingeniería.
- Mosco, D., & Astudillo, A. (2017). *Modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Cuenca - Ecuador*. ITECKNE Innovación e Investigación en Ingeniería.
- Noriega, A. (17 de Abril de 2015). *Grupo TYC GIS Formación*. Obtenido de <https://www.cursosgis.com/construccion-de-un-mapa-eolico-con-arcgis/>
- OMS, O. M. (2017). *Ambient (outdoor) air quality and health*. Ambient (outdoor) air quality and health.
- OPS, O. P. (2018). *Calidad del aire*. Obtenido de CALIDAD EL AIRE : <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20a%20altos%20niveles,vulnerable%2C%20ni%C3%B1os%20adultos%20mayores%20y>
- Pérez, P. C. (Octubre de 2018). *Contaminación del aire por material particulado sedimentable en la zona urbana de Huánuco*. Peru. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Rodríguez, H. F. (2014). *Aplicación de métodos de interpolación y modelamiento geoestadístico de la evaluación de la calidad del aire en Bogotá D.C.* Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Santillán-Lima, G.-P., Damián-Carrión1, D.-A., Rodríguez-Llerena1, M.-V., TorresRodríguez1, S.-H., Cargua-Catagña1, F.-E., & Torres-Barahona1, S.-M. (2016). *Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH*. Riobamba: Perfiles.

- Ubilla ,Yohannessen. (2017). *Contaminación Atmosférica Efectos en la Salud Respiratoria en el Niño*. Revista Médica Clínica Las Condes, 111-118.
- Vásquez, L. L. (2017). *Determinación y Caracterización de Material Particulado*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines (Particulate matter (PM2.5 and PM10))*. World Health Organization.