

Tesla Revista Científica, ISSN: 2796-9320

Vol. 4 Núm. 2 (2024) e426

<https://doi.org/10.55204/trc.v4i2.e426>

Área: Ingeniería

Artículo de investigación Original

Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable en el Barrio la Libertad Cantón Riobamba

Determination and characterization of sedimentable particulate matter concentrations in the La Libertad neighborhood, Riobamba Canton

Guido Patricio Santillán Lima^{1[0000-0003-0743-9107]}, Zayda Vanessa Herrera Cuadrado^{2 [0009-0009-8158-1532]}, Benito Guillermo Mendoza Trujillo^{3[0000-0001-8555-8350]}, María Fernanda Rivera Castillo^{4[0000-0002-9038-6044]}

^{1,3,4} Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba Ecuador.

¹psantillan@unach.edu.ec, ² zayda.herrera@esPOCH.edu.ec, ³ benitomendoza@unach.edu.ec, ⁴mfrivera@unach.edu.ec

CITA EN APA:

Santillán Lima, G. P., Herrera Cuadrado, Z. V., Mendoza Trujillo, B. G., & Rivera Castillo, M. F. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable en el Barrio la Libertad Cantón Riobamba. *Tesla Revista Científica*, 4(2). <https://doi.org/10.55204/trc.v4i2.e426>

Recibido: 2024-08-05

Revisado: 2024-08-15 al 2023-09-13

Corregido: 2024-10-02

Aceptado: 2024-10-17

Publicado: 2024-10-20

TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Resumen:

El estudio analiza la concentración de material particulado sedimentable (PMS) en el barrio La Libertad, Riobamba, Ecuador, causado por actividades antrópicas como la fabricación de bloques y el tráfico vehicular en vías no asfaltadas. Utilizando 27 estaciones de monitoreo, se midió el PMS durante 30 días mediante un análisis gravimétrico. Los resultados muestran que la concentración más alta alcanzó 26,202 mg/cm²/mes, superando los límites permisibles establecidos por la OMS y la normativa ecuatoriana. El estudio también incluyó análisis morfológicos y geoestadísticos para determinar la dispersión del PMS en la zona, destacando la relación entre la ubicación de las estaciones y las principales fuentes de emisión. La investigación concluye que los niveles de PMS representan un riesgo significativo para la salud de los habitantes, especialmente por las partículas asociadas al tráfico y la industria, recomendando la implementación de medidas de control y monitoreo continuo.

Palabras clave: Material particulado sedimentable, Contaminación del aire, Actividades antrópicas, Monitoreo ambiental

Abstract:

This study analyzes the concentration of sedimentable particulate matter (SPM) in La Libertad neighborhood, Riobamba, Ecuador, caused by anthropogenic activities such as block manufacturing and vehicular traffic on unpaved roads. Using 27 monitoring stations, SPM was measured over 30 days through gravimetric analysis. Results show that the highest concentration reached 26,202 mg/cm²/month, exceeding the permissible limits set by WHO and Ecuadorian regulations. The study also included morphological and geostatistical analyses to determine SPM dispersion, highlighting the relationship between station locations and major emission sources. The research concludes that SPM levels pose a significant health risk, particularly due to particles linked to traffic and industry, recommending the implementation of control measures and continuous monitoring.

Keywords: Sedimentable particulate matter, Air pollution, Anthropogenic activities, Environmental monitoring

1. Introduction

La contaminación de la atmósfera es uno de los principales problemas ambientales que se ha ido agravando con el paso de los años en las diferentes zonas urbanas del mundo, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo, por un alto volumen y diversificación de la producción industrial, un flujo intenso de vehículos automotores y el crecimiento urbanístico desordenado (Ortiz, 2020).

El conocimiento de la composición química de las partículas que se encuentran en el aire es importante

desde el punto de vista epidemiológico y técnico ya que permite, por un lado, determinar el potencial efecto en la salud humana por la presencia de sustancias tóxicas y cancerígenas adheridas a este material y por otro, valorar el aporte de las fuentes de emisión a la contaminación del aire (Argumedo, 2016).

En el Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, las industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto, entre otras (Mejía, Zegarra, Astudillo, & Moscoso, 2018).

En el barrio la Libertad perteneciente al cantón Riobamba, se puede evidenciar algunas actividades antrópicas que son provocadoras de material particulado sedimentable como, por ejemplo: las bloqueras, la presencia de minas de material pétreo y el mal estado de las vías de movilización. Todas estas actividades influyen directa o indirectamente en la emisión de gases y partículas hacia la atmosfera, debido a la fabricación de bloques, al levantamiento de polvo por las minas existentes o por las emisiones provenientes de los escapes de automóviles.

Según (Lizaldes, 2021) el objetivo de la investigación fue determinar la concentración de material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el área urbana del cantón Chambo. Se identificaron y georreferenciaron las principales actividades antrópicas, la recolección de la muestra de material particulado sedimentable que se llevó a cabo mediante el método pasivo gravimétrico donde se ubicaron y georreferenciaron 22 estaciones de monitoreo, las cuales fueron distribuidas de manera aleatoria por toda el área de estudio y separadas a una equidistancia de 200 m, el monitoreo se realizó durante el periodo de un mes (22 de septiembre y finalizando el 22 de octubre).

El hombre es un actor fundamental dentro del ambiente y, como tal, sus acciones pueden ejercer diversos efectos sobre la disponibilidad y calidad de los recursos naturales. A su vez, la mitigación y adaptación al cambio climático global involucran a diferentes niveles de tomadores de decisión que interactúan entre sí de forma compleja (Delgado, 2017).

No existe la posibilidad de pensar en calidad de vida y, consecuentemente, en desarrollo económico, sin la amplia utilización de recursos minerales y, por tanto, sin la minería, de tal manera que el desarrollo del sector minero en un país, con una administración responsable, sería la herramienta principal para alcanzar una mejora, tanto en la calidad de vida como en el bienestar económico de la sociedad. Sin embargo, existe otro escenario en el que no se toman las medidas necesarias para proteger el medioambiente, ocasionando como resultado únicamente contaminación y destrucción (González, 2020).

En el contexto local, la presente investigación se centra en el barrio la Libertad del cantón Riobamba, las actividades antrópicas en el lugar traen consecuencias como lo es la presencia de material particulado, lo cual se produce por parte de bloqueras, minas existentes en el lugar de estudio y también por parte de la movilización de vehículos en vías no asfaltadas.

En la presente investigación se planea realizar mediante un muestreo del área de estudio el monitoreo de material particulado sedimentable, por lo cual se ubicará de forma estratégica 30 estaciones fijas durante el periodo de 30 días, lo que permitirá el análisis de las muestras mediante el laboratorio, para posterior realizar un mapa de concentración y dispersión con los datos obtenidos mediante el programa de sistemas de información geográfica (SIG).

El Material Particulado (PM), es uno de los contaminantes atmosféricos que representa una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición dependiendo fundamentalmente de su origen.

Los efectos a la salud humana tras la exposición a dicho contaminante han sido investigados extensivamente y se han asociado con la generación de problemas respiratorios, exacerbación de enfermedades cardiovasculares e incluso daños genéticos, aumentando la morbilidad en la población, además de estar estrechamente relacionado con la creciente incidencia del cáncer, especialmente de pulmón (Mejía, Zegarra, Astudillo, & Moscoso, 2018).

La contaminación del aire es reconocida como un problema de salud pública a nivel mundial, la cual se relaciona con problemas de salud, que pueden ser tanto agudos como crónicos, y que afectan a grupos vulnerables de la población: adultos mayores y niños.

Los contaminantes del aire exterior que afectan la calidad del aire ambiente que han sido reconocidos por su potencial efecto negativo sobre la salud son seis: Ozono (O_3), Dióxido de Azufre SO_2 , Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y Material Particulado menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$) (Espinoza, 2014).

En el sector la Libertad de la ciudad de Riobamba se ve afectado a nivel atmosférico debido a la actividad antrópica que se realiza en la zona, la presencia de material particulado en la zona puede causar enfermedades respiratorias, auditivas, visuales de las que se pueden mencionar.

El presente estudio plantea determinar y caracterizar el material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el barrio “La Libertad” del cantón Riobamba mediante un muestreo de la concentración y un análisis del PM presente durante un periodo de un mes, considerando los factores o comportamientos climáticos de la zona.

METODOLOGIA.

En la metodología se explicó el proceso experimental del estudio de campo en el barrio la Libertad del cantón Riobamba, los equipos necesarios y el funcionamiento de cada uno para el monitorio in-situ del material particulado sedimentable, tales como equipos sedimentadores que fueron colocados en varios puntos estratégicos de muestreo.

Los datos que se obtuvieron por los puntos de monitoreo fueron representados en un mapa de concentración y dispersión el cual se elaboró mediante las herramientas de los sistemas de información geográfica, teniendo en

cuenta datos como la dirección y la velocidad del viento.

Área de estudio

“La libertad” es un barrio del cantón Riobamba que pertenece a la provincia de Chimborazo, con una superficie de 72,206 hectáreas, se encuentra ubicado al sureste de la ciudad con una altitud de 2738 a 2750 m.s.n.m, (Latitud: 1°41'43.14" S, Longitud: 78° 38'43.01" O). La ciudad de Riobamba posee un clima templado, con una temperatura promedio de 18 a 25 °C (PDOT RIOBAMBA, 2015).

Dentro del barrio se realizan actividades antrópicas como minas, bloqueras y la más predominante es el tráfico vehicular, debido que la ubicación del barrio se encuentra en una vía que une a la ciudad de Riobamba con la parroquia san Luis y la vía Riobamba-Macas que es muy transitada por vehículos cantonales e interprovinciales, provocando que la calidad del aire se vea afectada en la zona.

Ubicación Geográfica

El área de estudio se tuvo que definir con el propósito de conocer si las emanaciones de material particulado provenientes de las actividades antrópicas en el barrio la Libertad afectan la calidad del aire.

El barrio la Libertad perteneciente a la parroquia urbana Yaruquíes, se encuentra ubicado en la ciudad de Riobamba.

Puntos de muestreo

La visita de campo sirvió para la toma de puntos de control con el GPS en los distintos puntos de muestreo en las que se analizaron geo estadísticamente, y se determinaron la dispersión de PM mediante el software de Sistema de Información Geográfica (SIG).

En el área de estudio se colocaron 27 estaciones de monitoreo pasivo para poder determinar Material Particulado Sedimentable. Las estaciones se ubicaron mediante un muestreo no probabilístico el cual consiste en un procedimiento donde las unidades muestrales no se seleccionan al azar, sino son elegidas en base al criterio del investigador, con el propósito de cubrir toda el área de estudio y poder registrar datos confiables, tomando en cuenta el área que más afecta la actividad antrópica.

El control de las estaciones fue de manera continua durante un periodo de 30 días, dentro de las cuales se colocaron una caja Petri con el papel filtro el cual fue pesado de forma previa y de igual manera determinada su área (Santillán et al., 2016).

Para la obtención de coordenadas de los puntos de muestreo se utilizó el instrumento de navegación “UTM Map”, que permitió georreferenciar las estaciones pasivas necesarias para la recolección de datos PMS. Las coordenadas fueron evidenciadas en una tabla de elaboración propia.

La herramienta **Fishnet de ArcGIS nos** permitió representar mallas de puntos y coordenadas sobre nuestro entorno de trabajo. Algunas de ellas, permiten insertar grillas en ArcGIS o, lo que es lo mismo, mallas de tipo vectorial con las que poder trabajar en campo (Quesada Muelas, 2014).

Para la generación de proyectos de índole ambiental, es necesario representar información de determinadas

variables en forma de cuadrículas, mallas o grillas. Esto se debe a que puede ser muy beneficioso realizar análisis ambientales, por ejemplo, densidad de especies, a nivel de un área o muestra determinada, en este caso, cada uno de las cuadrículas de igual tamaño de una malla o grilla. Además, a nivel de generación de mapas, la visualización mejora muchísimo, lo que hace el mapa mucho más interpretable por el usuario final (Quesada Muelas, 2014).

Para poder determinar los puntos de análisis se utilizó la herramienta FISHNET la cual nos ayudó a crear capas vectoriales utilizando variables como son: las coordenadas (x,y,z), la dirección y la velocidad del viento permitiéndonos así sectorizar el área de estudio en cuadrículas. Todos estos valores podremos encontrarlos en las estaciones meteorológicas más aledañas al área de estudio (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), estación de TUNSHI y la estación ubicada en San Juan.

Instalación de los equipos de muestreo

Para la instalación de las estaciones de monitoreo en el barrio La Libertad se deberá tener en cuenta algunos parámetros como:

- El lugar de colocación de cada estación deberá estar libre de obstáculos, de tal forma que la muestra pueda ser recolectada por acción gravitacional.
- Garantizar la seguridad de los equipos de monitoreo.
- Debe haber suficientes estaciones para poder ocupar toda el área de estudio.
- Verificar que los equipos de muestreo estén en buenas condiciones.

Monitoreo del Material Particulado Sedimentable

El monitoreo de PMS se llevó a cabo durante el periodo de un mes, en base al Acuerdo Ministerial 097 publicado en el Régimen Oficial 387, donde se menciona que la máxima concentración de una muestra colectada durante un mes de manera continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^3 \times \text{mes}$) (Ministerio del Ambiente, 2015).

Para el análisis de la cantidad material particulado sedimentable se aplicó un análisis gravímetro, que propone colocar papel filtro en cajas Petri previamente secado, pesado y determinado su área. El tiempo establecido para el monitoreo es de 30 días. El resultado se alcanzó mediante el cálculo de los pesos final e inicial y dividiendo para el área donde se recogió la muestra; obteniendo valores en unidades de mg/cm^2 durante 1 mes (Santillán et al., 2021).

Después del muestreo respectivo realizado durante los 30 días, el resultado se alcanzó mediante el cálculo de los pesos final e inicial y dividiendo para el área donde se recogió la muestra; obteniendo valores en unidades de mg/cm^2 durante 1 mes (Huatuco, 2012).

$$PAS = \frac{Pf - pi}{\text{Área}} * 1\text{mes} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi (P. inicial): este es después de salir de laboratorio.

Pf (P. final): este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.

Área del papel filtro: $A = \pi * r^2$

$\Pi = 3.1416$

R=radio del papel filtro

Análisis morfológico y molecular del PMS

Para la caracterización del MPS, se realizó un corte de 1 cm² al papel filtro de dos muestras representativas que contenga la mayor concentración. Posteriormente fueron colocadas sobre el porta muestras de aluminio y recubiertas con partículas de oro para obtener las mejores condiciones de imagen (Santillán Lima, y otros, 2016). Para la determinación de las características morfológicas y moleculares, se utilizó el microscopio electrónico de barrido, el cual permite obtener imágenes de alta resolución.

3.8 Análisis Geoestadístico

Una vez procesado los resultados obtenidos se empleó el Sistema de Información Geográfica ArcGIS para la visualización del mapa de dispersión de material particulado sedimentable, que se obtuvo por medio de las 27 estaciones fijas que fueron ubicadas en el área de estudio. Para ello se utilizará la herramienta de análisis espacial IDW la cual resuelve la siguiente ecuación:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{Ecuación 2})$$

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

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 se determinaron con el fin de que el error promedio sea cero con esto la varianza de error es minimizada, lo cual entrega una predicción no sesgada (Moscoso et al., 2015).

Tipo de Investigación

La presente investigación es de campo y laboratorio. La investigación de campo y laboratorio va a requerir del uso de datos que se recolecta en el área de estudio. Con el fin de realizar el muestreo pasivo por el método gravimétrico que se identificó la concentración de material particulado medida por medio del pesaje en el laboratorio recolectando así datos para su respectivo análisis cuantitativo

Por otro lado, se basó en el nivel de conocimiento descriptivo y exploratoria, donde (Cabezas, 2018) señala que la investigación de tipo descriptivo hace referencia a la interpretación de la información sin alterarla por medio de técnicas que ayuden a la caracterización de la problemática a estudiar.

Es así que, para la realización del presente trabajo se describió el objeto de estudio y la caracterización correspondiente para la medición in situ del material particulado sedimentable por medio del método gravimétrico, a la vez, se realizó el análisis cuantitativo de los datos obtenidos en el monitoreo para comparar con la normativa legal vigente del Acuerdo Ministerial 097-A, anexo 4 respectivo al parámetro de material particulado sedimentable, permitiendo conocer la problemática que ejerce el material particulado sobre la población y así realizar una propuesta base para mitigar los impactos en mediciones futuras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Establecimiento de estaciones fijas en el área del estudio para el análisis de material particulado

sedimentable

Para poder establecer las estaciones fijas en el área de estudio y el posterior análisis de PMS se realizaron reuniones con el presidente del barrio en el cual realizo el estudio, para poder conocer más a fondo el estado actual de dicha área. Así se logró constatar algunas de las principales actividades las cuales son: elaboración artesanal de bloques, aserraderos, fertilizantes, mecánicas, entre otras actividades.

Basándose en lo anteriormente mencionado y gracias a los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS), se pudo delimitar el área de estudio, lo cual nos dio un total de (72,20 ha). Obtenida esta información, se procedió a implementar los 27 puntos de muestreo, los cuales fueron distribuidos de forma aleatoria, con el propósito de cubrir toda el área de estudio.

Es de suma importancia tener en cuenta que las estaciones de monitoreo fueron fijas y para su ubicación se tomaron en cuenta algunas consideraciones para obtener resultados confiables; es decir que las estaciones fijas se implementaron en lugares libres de obstáculos como podrían ser: edificaciones, áreas con árboles, tendaderos, u otras fuentes de contaminación que puedan ocasionar perturbaciones serias en los valores obtenidos.

Tabla 1. Ubicación Geográfica UTM.

PUNTOS	DESCRIPCION	X	Y
1	Av. Juan Félix Proaño	762.130,995	9.813.281,310
2	Av. Juan Félix Proaño	762.120,412	9.813.159,602
3	Calles Av Juan Félix Proaño y Ucrania	762.168,037	9.813.193,116
4	Av. Juan Félix Proaño	762.159,218	9.813.120,796
5	Av. Juan Félix Proaño	762.155,690	9.813.023,782
6	Av. Juan Félix Proaño	762.236,829	9.812.995,560
7	Calles Av. Juan Félix Proaño e Islandia	762.196,612	9.812.438,170
8	Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda	762.151,457	9.812.613,148
9	Av. Juan Félix Proaño	762.172,623	9.812.524,248
10	Calles Av. Juan Félix Proaño y Yugoslavia	762.226,246	9.812.472,036
11	Calle Yugoslavia	762.325,024	9.812.514,370
12	Av. Juan Félix Proaño	762.206,490	9.812.357,736
13	Av. Juan Félix Proaño	762.243,179	9.812.247,669
14	Av. Juan Félix Proaño	762.248,823	9.812.198,280
15	Av. Juan Félix Proaño	762.257,290	9.812.157,358
16	Calle sin nombre	762.336,312	9.812.161,591
17	Calle sin nombre	762.141,579	9.812.294,236
18	Calles Av. Juan Félix Proaño e Islandia	762.138,757	9.812.384,547
19	Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda	761.979,301	9.812.599,037
20	Av. Austria	762.001,878	9.812.847,393
21	Calles Av. Austria y Austria	762.083,723	9.812.644,192
22	Av. Austria	761.952,489	9.812.457,925
23	Av. Islandia	762.155,690	9.812.089,624
24	Av. Austria	761.921,445	9.812.775,426
25	Av. Italia	761.905,923	9.812.268,836
26	Av. Juan Félix Proaño	762.172,623	9.812.771,192
27	Av. Juan Félix Proaño	762.233,301	9.812.354,914

Fuente: Los Autores.

Análisis de la concentración de material particulado sedimentable en el Barrio la Libertad de Riobamba

Para poder determinar la concentración de PMS se procedió a realizar el cálculo de los valores obtenidos en

las 27 estaciones de monitoreo, mediante el valor del área del papel filtro el cual sirvió de base para los cálculos de todas las estaciones.

Tabla 2. Valores utilizados para la obtención de datos.

Área del papel filtro (cm^2)	Radio del papel filtro (cm)
58,088	4,3

Fuente: Los Autores.

En la tabla 3 se evidencia los valores de PMS realizados durante el mes de monitoreo (4 de abril al 4 de mayo del 2023). La concentración más alta fue 2,6202 $mg/cm^2/mes$, registrado en la estación 4, ubicada en el sector de la vía principal del barrio, mientras que la concentración más baja de PMS fue de 0,1963 $mg/cm^2/mes$, registrado en la estación 8 ubicado en las Calles Av. Juan Félix Proaño y Holanda. Durante todo el mes de monitoreo se pudo obtener un promedio de 0,6256 $mg/cm^2/mes$.

Estos valores altos se deben al alto tráfico vehicular, principalmente la circulación excesiva del transporte de buses urbanos y rurales, lo que sobrepasa los valores permisibles establecidos por la OMS; además según (Bermeo Jimbo & Vega Bastidas, 2018) la gran acumulación de contaminantes en zonas centrales de las ciudades se debe a factores como el aumento de temperatura, insolación y construcciones que impiden la circulación del aire, aspectos que son importantes para conocer la calidad el aire y saber riesgo que corren las personas al estar expuesto a este tipo de contaminante (PMS).

Tabla 3. Concentración de MPS en los puntos de monitoreo.

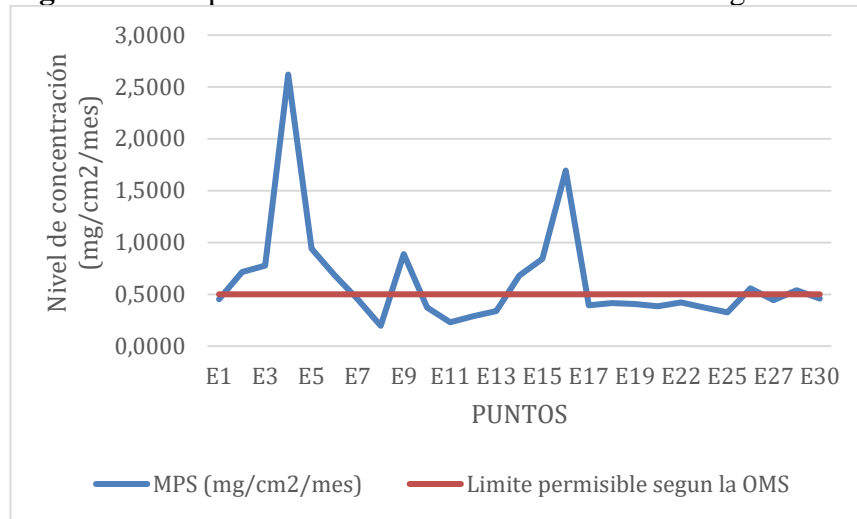
ESTACIÓN	PESO INICIAL DEL PAPEL (mg)	PESO FINAL DEL PAPEL (mg)	MPS $mg/cm^2/mes$
E1	481,2	507,5	0,4528
E2	480,5	522	0,7144
E3	481,9	527	0,7764
E4	458,4	610,6	2,6202
E5	475,6	530,3	0,9417
E6	486,2	525,9	0,6834
E7	482,7	509	0,4528
E8	476	487,4	0,1963
E9	487,7	539,2	0,8866
E10	456,4	478,1	0,3736
E11	476,9	490,3	0,2307
E12	463,6	480,4	0,2892
E13	480,7	500,4	0,3391
E14	476,5	516,1	0,6817
E15	484,2	533	0,8401
E16	476,7	575,1	1,6940
E17	454,5	477,3	0,3925
E18	472,4	496,5	0,4149
E19	460,1	483,7	0,4063
E20	469,2	491,6	0,3856
E21	463	487,5	0,4218
E22	475,2	496,8	0,3718
E23	488,8	507,8	0,3271
E24	459,8	492,1	0,5561
E25	472,5	498,2	0,4424
E26	467,2	498,5	0,5388
E27	488,6	515,3	0,4596

Fuente: Los Autores.

Comparación de valores según la OMS y el Acuerdo Ministerial N°97/A

Como se puede observar en la figura 1 son 16 puntos los que cumplen con los LMP según la OMS de MPS.

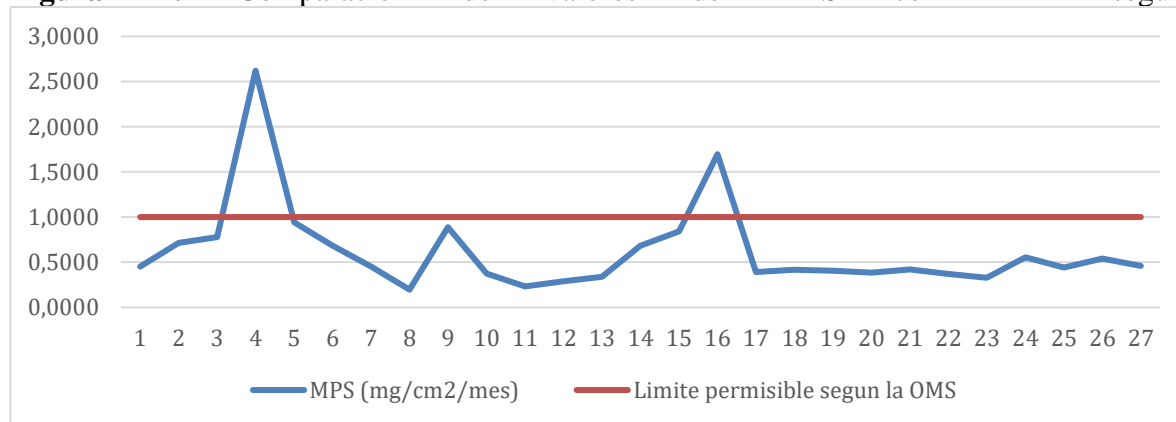
Figura 1: Comparación de valores de MPS con LMP según la OMS.



Fuente: Los autores (2023)

En la Figura 2 Se muestra la comparación con la Tabla 4 De acuerdo con los límites permisibles por la normativa de calidad ambiental de Ecuador ACUERDO MINISTERIA N°97/A. De igual manera revisando los límites permisibles del ACUERDO MINISTERIA N°97/A que es de 1 (mg/cm²/mes) se puede observar que únicamente dos puntos se encuentran fuera de los rangos los cuales son: **punto 4** ubicado en la calle Av. Juan Félix Proaño con 2,6202 (mg/cm²/mes) y el **punto 16** con 1,6940 (mg/cm²/mes). Mientras que los demás puntos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Figura 2: Comparación de valores de MPS con LMP según AM 97/A.



Fuente: Los autores (2023)

Análisis estadístico de concentración de MPS

Los datos obtenidos de concentración media de MPS registrada en el área de estudio, así como los valores del error, desviación estándar y varianza se muestran en la **Tabla 7** El análisis estadístico descriptivo de MPS obtenido en las 27 estaciones de monitoreo mostro una media de 0,6256; con una desviación estándar de 0,500; un valor mínimo de 0,1963 y un valor máximo de 2,6202.

Tabla 4. Tabla Estadística descriptiva de PMS en el barrio la Libertad

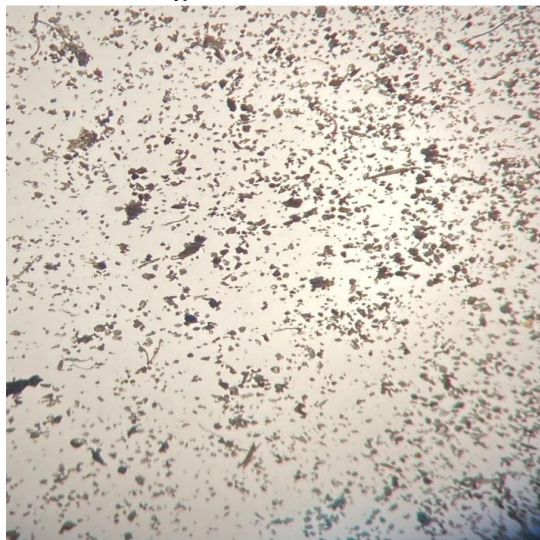
Área de estudio	N	Media	Error estándar	SD	Varianza	Mínimo	Máximo
Barrio la Libertad	27	0,625	0,492	0,5001	0,250	0,196	2,620

Fuente: Los autores (2023)

Análisis cualitativo y caracterización morfológica del MPS

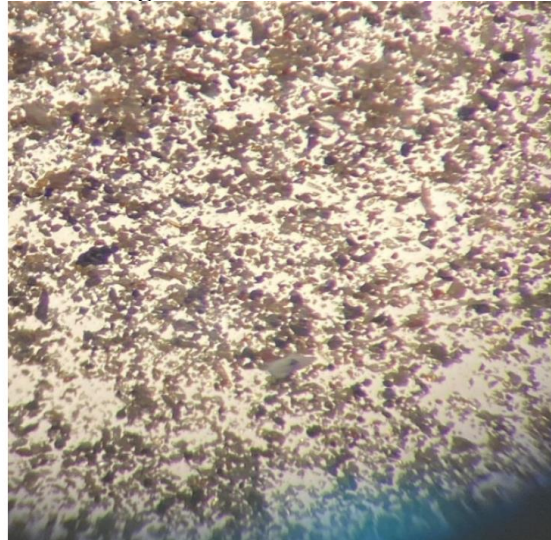
Para proceder con la caracterización morfológica de MPS y conocer la forma y tamaño de las partículas sedimentadas en cada uno de los 27 puntos de monitoreo, se utilizó el microscopio óptico, donde se obtuvo imágenes de 100x, 40x, 10x.

Figura 2: MPS Punto 4.



Fuente: Autores (2023).

Figura 3: MPS Punto 4



Fuente: Autores (2023).

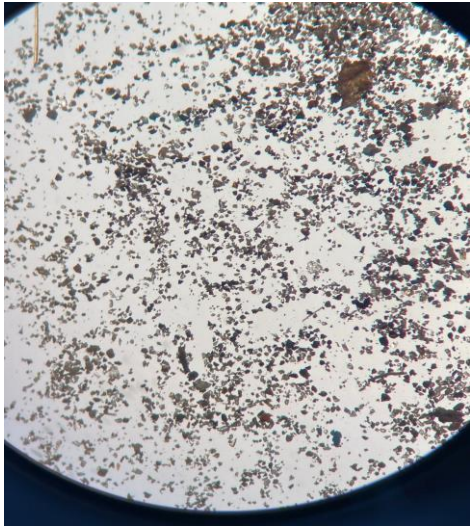
Las **Figuras 2 y 3**, representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 4**, donde se puede evidenciar rastros de asfalto que se levanta de los automóviles que llegan con frecuencia al lugar, debido a que en este sitio se encuentra un Colegio y además es una vía muy transcurrida debido a que conecta con otras comunidades. Los valores de concentración son altos, debido a que existe gran flujo de vehículos.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y a su vez también sobrepasa los límites permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

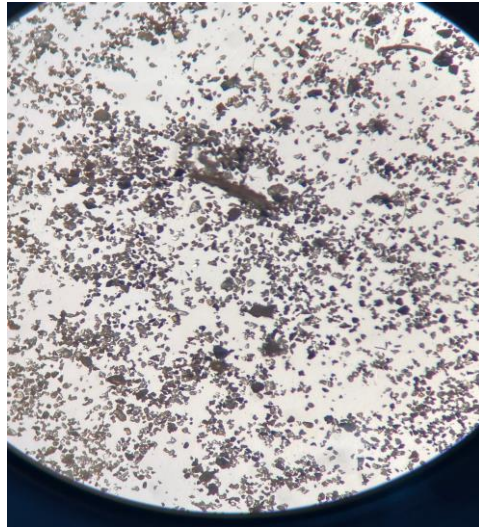
Las **Figuras 4 y 5** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 16**. Los rastros de MPS de este punto pueden provenir del mal estado de la vía y de actividades como la agricultura. En este punto existe una gran afluencia de vehículos debido a que existe una estación de servicio. Los valores de concentración son altos debido a que existe un mayor número de actividades a los alrededores y a esto se suma el mal estado de la vía.

Figura 4: MPS Punto 16

Figura 5: MPS Punto 16



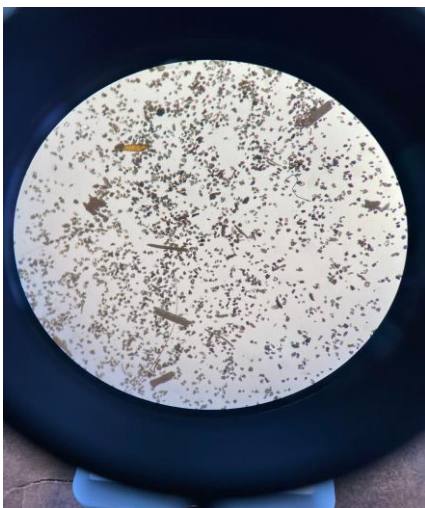
Fuente. Los autores (2023)



Fuente. Los autores (2023)

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y a su vez también sobrepasa los límites permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

Figura 6: MPS Punto 24



Fuente. Los Autores.

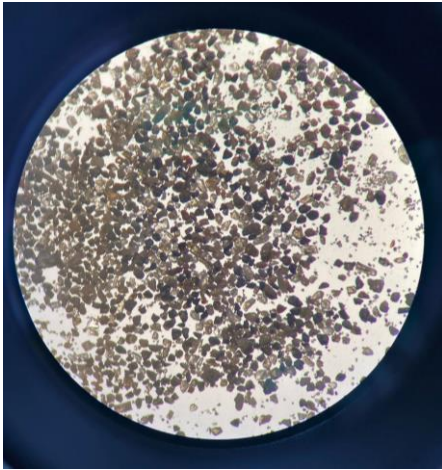
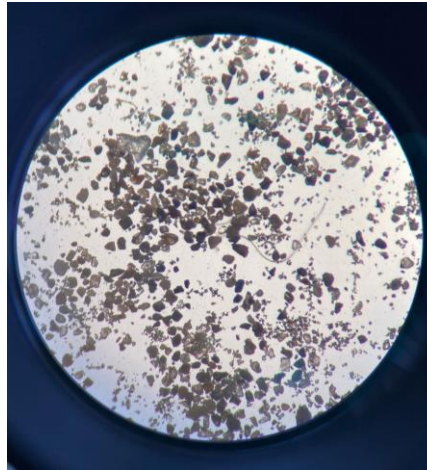
Figura 71: MPS Punto 24



Fuente. Los Autores.

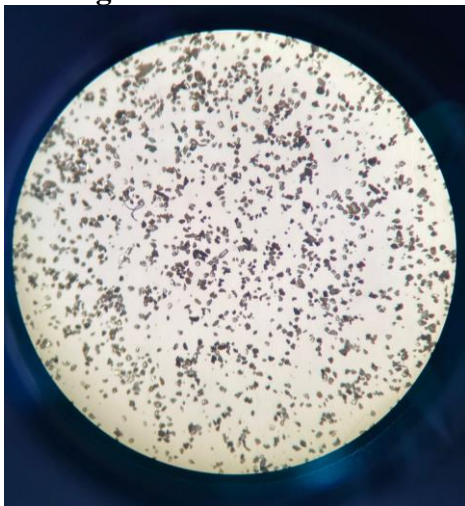
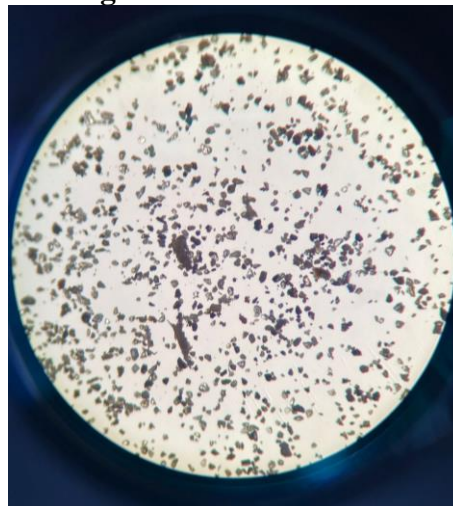
Las **Figuras 6 y 7** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 24**. Estos rastros pueden provenir del mal estado de las vías, las construcciones aledañas. Los valores de concentración son medios debido a que existe un mayor número de actividades antropogénicas en los alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

Figura 8: MPS Punto 9**Fuente:** Los Autores.**Figura9:** MPS Punto 9**Fuente:** Los Autores.

Las **Figuras 8 y 9** representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 9**. Estos rastros pueden provenir de las actividades cercanas al área de estudio tales como: Aserraderos, mecánicas etc., en este punto se evidencia una gran afluencia de vehículos al tratarse de una vía principal y encontrarse cercana a dos instituciones educativas. Los valores de concentración son medios debido a que existe un mayor número de empresas en actividad en sus alrededores.

Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

Figura 10: MPS Punto 20**Fuente:** Los Autores.**Figura11:** MPS Punto 20**Fuente:** Los Autores.

Las **Figuras 10 y 11** Representan el MPS obtenido en el papel filtro del **punto 20**. Los rastros de este punto pueden provenir de la actividad de una bloquera cerca del punto y principalmente del mal estado de las vías, en este sector. Los valores de concentración son medios debido a que existe actividades antropogénicas en sus alrededores.

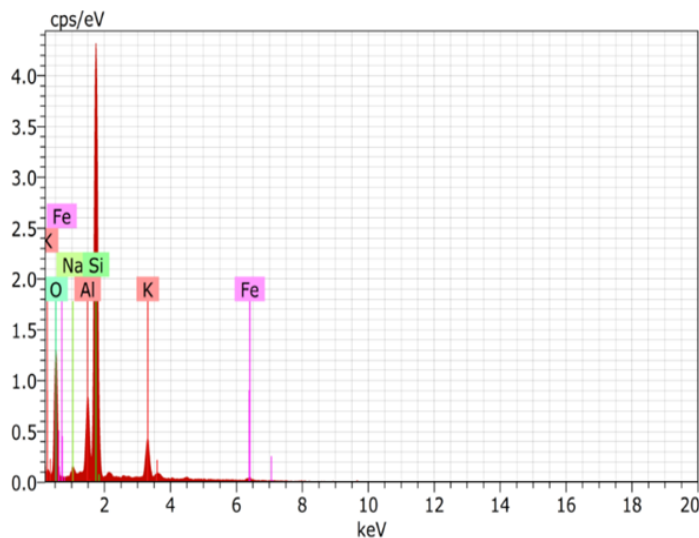
Este material microscópico en grandes cantidades puede ocasionar afecciones a la salud de las personas e incluso estudiantes que viven en esta zona. De acuerdo con los resultados obtenidos en el laboratorio sobrepasa los límites permisibles expuestos por la OMS y está dentro de los parámetros permisibles expuestos por parte del ACUERDO MINISTERIA N°97/A.

Análisis molecular

Caracterización Química

Dentro de la composición química del Material Particulado Sedimentable, se obtuvo mediante la técnica de espectroscopia de fotones rayos X dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopia de la UNACH, se pudo examinar dos muestras significativas del área de estudio.

Figura 12. Caracterización física química Punto N°4



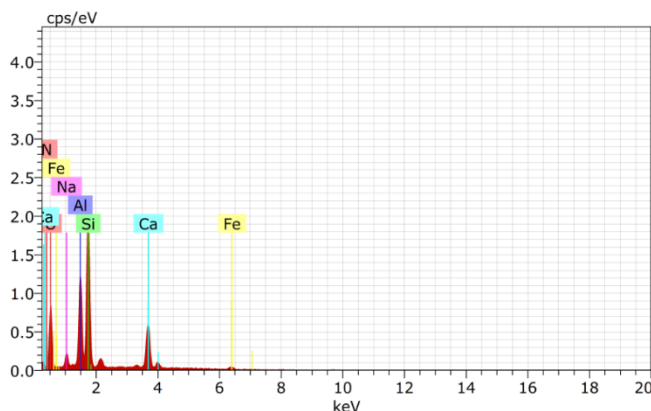
Spectrum: 120919 537

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	63.66	54.55	68.01	8.42
Si	14	K-series	38.32	32.84	23.33	1.73
Al	13	K-series	7.69	6.59	4.87	0.42
K	19	K-series	3.64	3.12	1.59	0.15
Na	11	K-series	2.64	2.27	1.97	0.23
Fe	26	K-series	0.74	0.64	0.23	0.06
Total:			116.70	100.00	100.00	

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

En la figura 12, se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo E4, el cual nos arroja valores que se encuentran en porcentajes de concentración química de Oxígeno (O) y Silicio (Si), con valores de 63,66% y 38,32% respectivamente; seguido de Aluminio (Al), Potasio (K) y Sodio (Na) con valores de 7,69%, 3,64% y 2,64% respectivamente; y en cantidades inferiores el Hierro (Fe), con un valor de 0,74%.

Figura 13. Caracterización físico química Punto N°16.



Spectrum: 120919 540

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	46.03	49.35	60.71	6.37
Si	14	K-series	16.22	17.39	12.18	0.74
Al	13	K-series	12.39	13.28	9.69	0.65
Ca	20	K-series	7.54	8.09	3.97	0.26
N	7	K-series	6.38	6.84	9.61	1.62
Na	11	K-series	3.80	4.07	3.49	0.31
Fe	26	K-series	0.91	0.97	0.34	0.07
Total:			93.27	100.00	100.00	

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

En la figura 13, se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo E16, el cual nos arroja valores que se encuentran en porcentajes de concentración química de Oxígeno (O), Silicio (Si) y Aluminio (Al), con valores de 46,03%, 16,22% y 12,39% respectivamente; Calcio (Ca), Nitrógeno (N) y Sodio (Na) con valores de 7,54%, 6,38% y 3,80% respectivamente; y en cantidades inferiores el Hierro (Fe), con un valor de 0,91%.

Las partículas que contienen Ca, son las dominantes en el material particulado proveniente de vehículos con motores de combustión interna; éste compuesto se encuentra en todas las muestras y se debe a la cercanía de las muestras a vías donde transitan vehículos; los metales como el Al, Si y Ca son materiales de la composición del suelo, el Fe está relacionados con las emisiones vehiculares, mientras que el K es originado por procesos industriales; el Fe es un elemento mayoritario, que puede provenir de la Re-suspensión del polvo y de la combustión de vehículos a diésel.

Caracterización morfológica

Las partículas sedimentadas en el papel filtro fueron analizadas morfológicamente con el uso del microscopio electrónico de barrido; se realizaron cortes en el papel filtro de 1cm², que fueron metalizados con oro, la observación se realizó en el microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 200x, 100x, 50x, 20x y 10x, en donde se pueden identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas.

L1	35,48 μm
L2	59,78 μm
L3	53,35 μm
L4	45,08 μm
L5	32,28 μm
L6	47,34 μm
L7	37,32 μm
L8	31,15 μm
L9	36,55 μm
L10	40,55 μm
L11	29,95 μm
Prom	40,80 μm

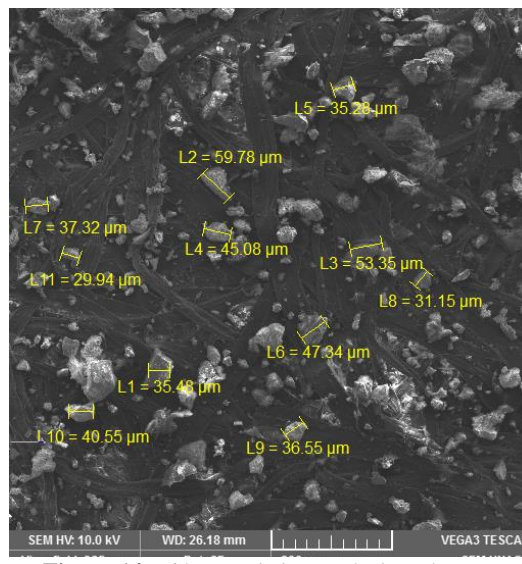


Figura 14. Diámetro de las partículas P4.

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

L1	33,96 μm
L2	44,64 μm
L3	52,37 μm
L4	31,43 μm
L5	87,85 μm
L6	50,40 μm
L7	28,72 μm
L8	53,69 μm
Prom	47,88 μm

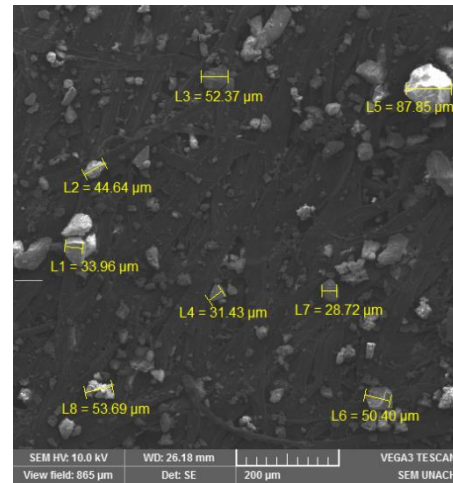


Figura 15. Diámetro de las partículas P16.

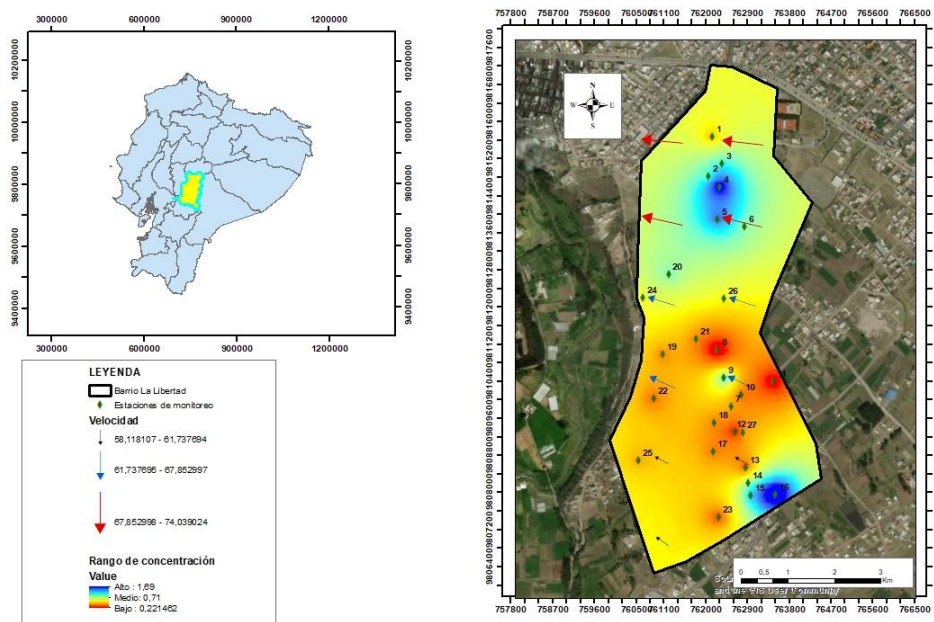
Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia.

Simulación de Dispersión de MPS

El mapa de dispersión de MPS se generó mediante SIG “Sistemas de Información Geográfica” del barrio La Libertad de la ciudad de Riobamba, mediante variables de velocidad y dirección del viento que fueron obtenidas de las tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio:

1. Estación Meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
2. Estación meteorológica de Tunshi
3. Estación meteorológica de San Juan

Figura 16: Mapa de concentración y dispersión de MPS en el Barrio la Libertad de la ciudad de Riobamba



Fuente: Los Autores.

Como se observa en la Figura 12 en el periodo de abril- mayo la dirección del viento fue en sentido noroeste, y los distintos rangos de concentración se distinguen en intervalos de colores. Los valores bajos se pueden distinguir con el color rojo en los puntos de muestreo 8, 10, 12, 13, 17, 18, 21, esto se debe a que en ese sector

no existe ninguna actividad antrópica y solo existe el flujo vehicular. Los valores medios-altos se van a distinguir con los colores amarillo- verde y son los puntos de muestreo 1, 6, 7, 9, 11, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, esto se debe a que en estos sectores ya existe una mayor presencia de vehículos y empresas como mecánicas, pocas bloqueras etc.

Los valores más altos se pueden distinguir por el color azul y son los puntos de muestreo 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16, en estos sectores se encuentran una mayor presencia de vehículos, vías que no se encuentran asfaltadas e industrias que generan MPS en mayor cantidad debido a sus actividades por la fabricación de hormigón, aserraderos, bloqueras, minas, mecánicas, etc. Por lo mencionado anteriormente podemos señalar que el valor más bajo se concentró en el punto de muestro 8 con $0,196 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y el valor más alto se encontró en el punto de muestro 4 con $2,62 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Este último valor de concentración nos representa un problema significativo para los habitantes aledaños en la parte norte del Barrio la Libertad, la misma que encontramos alto tránsito peatonal y presencia de Escuelas y colegios.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Los valores de MPS encontrados en el presente estudio, pueden ser considerados como indicadores de las condiciones alarmantes de la calidad del aire en el barrio La Libertad, ya que se pudo evidenciar concentraciones superiores de las estaciones: 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14, 15, 16, 24, 26 a los valores recomendados por la OMS y las establecidas por el ACUERDO MINISTERIA N°97/A. Por lo cual se determina la necesidad de seguir con los monitoreos; así mismo difundir la información obtenida con la población.

El análisis morfológico del MP nos mostró figuras de tipo irregular, alargadas y amorfas. Este tipo de formas son propias de procesos como la elaboración de bloques, aserraderos, y del mal estado de las vías que provocan que existan estas partículas, lo cual representa un riesgo para la salud de la población del área de estudio.

Mediante el uso de la herramienta SIG tanto el mapa de concentración y dispersión mostraron los niveles de MPS que existen en la zona de estudio, los cuales se dividen en 3 categorías: alto ($1,69 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), medio ($0,78 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) y bajo ($0,22 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$), lo que podemos verificar visualmente que la zona norte y sur del barrio la Libertad son las zonas con mayor concentración de MPS de la investigación con un radio de exposición al norte de 150 metros y al sur de 100 metros.

Las emisiones de MP de origen natural en el área de estudio tienen un papel importante, son generadas por el arrastre del viento, mismo que se evidencia por calles/carreteras sin pavimentar y zonas sin cobertura vegetal siendo una fuente generadora de MP relevante por el alto tránsito vehicular de la zona.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

<i>Participar activamente en:</i>	<i>Autor 1</i>	<i>Autor 2</i>	<i>Autor 3</i>	<i>Autor 4</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		
<i>Metodología</i>				
<i>Administración del proyecto</i>	X	X	X	
<i>Recursos</i>	X	X	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X	X	X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X		X
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X	X	X

REFERENCIAS

- Bermeo Jimbo, J. V., & Vega Bastidas, D. (2018). Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la Ciudad de Riobamba. *Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la Ciudad de Riobamba*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Delgado, M. I. (2017). Análisis interdisciplinario de una cuenca con creciente. *Proimca – Prodeca*, 1.
- Espinoza, E. P. (2014). contaminación del aire exterior. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca.*, 3.
- González, W. V.-M.-A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *ESTUDIOS DE A GESTION*, 4.
- Huatuco, M. (2012). Contaminación del aire por material particulado. *Guzlop*, 8.
- Lizaldes, P. (2021). *Determinación y caracterización del material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el perímetro urbano del cantón chambo*. unach, Riobamba.
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*(19), 55-64. doi:https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1792/1508
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente. Edición Especial.
- Ortiz, E. (2020). Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el barrio los pinos cantón riobamba por incidencia industrial. (*Tesis de Ingeniería*). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Quesada Muelas, L. (23 de Enero de 2014). *Geoinnova*. Obtenido de Geoinnova: https://geoinnova.org/insertar-grillas-en-arcgis/
- Riobamba, G. M. (2015). *PDOT RIOBAMBA*. Riobamba .
- Santillán Lima, G. P., Damián Carrión, D. A., Rodríguez Llerena, M. V., Torres Rodríguez, S. H., Cargua Catagña, F. E., & Torres Barahona, S. M. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la unach. *Perfiles*, 2(16), 32-39.