

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 Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE
MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN EL SECTOR
CALPI CANTÓN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL**

Autor(es): ANDI SHIGUANGO JUAN GABRIEL

VEGA DÍAZ ROBINSON MANUEL

Tutor: Ing. Guido Patricio Santillán Lima

Riobamba - Ecuador

Año 2019

CERTIFICACION DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación el proyecto de investigación de título: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN EL SECTOR CALPI CANTÓN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL”**.
Presentado por: Juan Gabriel Andi Shiguango y Robinson Manuel Vega Díaz, dirigida por: Ing. Patricio Santillán.

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

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Patricio Santillán MsC.
Tutor del Proyecto de Investigación


.....
Firma

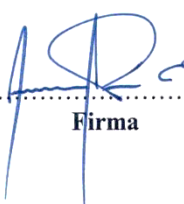
Ing. Marcel Paredes MsC.
Miembro del Tribunal


.....
Firma

Ing. José Prato PhD.
Miembro del Tribunal


.....
Firma

Ing. Iván Ríos PhD.
Presidente del Tribunal


.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN EL SECTOR CALPI CANTÓN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL”**, ha sido elaborado por **ANDI SHIGUANGO JUAN GABRIEL Y VEGA DÍAZ ROBINSON MANUEL**, 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

C.I. 060278077-7

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, Andi Shiguango Juan Gabriel, con cédula de identidad No. 1500867625 y Vega Díaz Robinson Manuel, con cédula de identidad No. 0503624975; hacemos constar que somos autores del presente trabajo de investigación, titulado: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN EL SECTOR CALPI CANTÓN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL”**, 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.



.....

Andi Shiguango Juan Gabriel

C.I. 1500867625



.....

Vega Díaz Robinson Manuel

C.I. 0503624975

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la sabiduría, entendimiento que me brinda en los momentos difíciles, por las fuerzas que me das para salir adelante, gracias por ser la luz que guía mi camino.

Agradezco a mi familia, especialmente mis padres Juan y Rosario, por ser un ejemplo de superación y lucha diaria, por su apoyo incondicional para cumplir todas mis metas, gracias por sus consejos y por formarme como una persona de bien. A mi abuelita Elena que siempre ha estado incondicionalmente a mi lado.

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, especialmente a la carrera de Ingeniería Ambiental y a sus docentes por haberme formado y guiado en el transcurso de la carrera.

Agradezco mis compañeros y amigos que estuvieron en el transcurso de la carrera, al Ing. Patricio Santillán, José Prato y Marcel Paredes, quienes con paciencia y tiempo supieron guiarme en el trabajo de investigación.

Juan Gabriel Andi Shiguango

A ti Dios, a ti a quien tal vez jamás voy a entenderte, pero sé que estás siempre a mi lado en mis buenos y malos momentos, y me has ayudado de formas inexplicables e inefables, haciendo que cada cosa sucedida en mi vida sea más que una bendición.

A mis padres Alfonso Vega y Lucrecia Díaz, por haberme apoyado moral, psicológica y económicamente. A mis hermanas por estar en los momentos tristes, difíciles y cómo no en los buenos infinitamente gracias. A mis amigos, con quienes nos apoyamos profesional y moralmente en nuestra etapa universitaria Ing. Carlitos Paredes e Ing. Alexis Gallo.

Al Instituto de Fomento al talento Humano por haberme apoyado con la beca para lograr mi sueño de ser un profesional y aportar al desarrollo de mi país en materia ambiental. Finalmente, al Ing. Patricio Santillán, Ing. Marcel Paredes y el Dr. José Prato, quienes contribuyeron con sus valiosos conocimientos para la ejecución de la presente investigación y por todo el apoyo y las facilidades otorgadas.

Robinson Manuel Vega Díaz

DEDICATORIA

El presente trabajo se la dedico en especial a mis padres Juan y Rosario, por ser ese pilar fundamental que con su cariño incondicional me han sabido apoyar en cada uno de mis propósitos en el transcurso de mi vida, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y me han inculcado que la honestidad, perseverancia, dedicación y esfuerzo.

A mi hermana Samira, por ser una persona que siempre estuvo pendiente de mí y ser un eje primordial para cumplir mis metas.

Juan Gabriel Andi Shiguango

Querido lector este trabajo dedico a mi gran y única familia, nadie mejor que ellos para lograr cumplir mis sueños en esta maravillosa vida. A ellos, mis complementos perfectos que cada segundo hacen un tesoro invaluable a mi existencia:

Para:

- Lucrecia Díaz: Mi madre querida, la nobleza, el temple, la soñadora, la emprendedora, mi vida y mi ejemplo de vida, te dedico este mi esfuerzo que es un grano de arena comparado con lo te mereces mami.
- Alfonso Vega: El padre que siempre soñé, toda la moral, ética sabiduría que me brinda sin la necesidad de hablar, ni regañarme para convertirme en una mejor persona cada día, te dedico este mi esfuerzo papi.
- Evelin Vega: Mi hermanita con la que puedo contar para todo, gracias Ev...
- Verónica Vega: Mi hermanita menor

Robinson Manuel Vega Díaz

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

MP: Material Particulado

MPS: Material Particulado Sedimentable

MPV: Material Particulado Volátil

PM_{2.5}: Material Particulado de 2,5 µm

PM₁₀: Material Particulado de 10 µm

µm: micrómetro, micrón o micra

SIG: Sistemas de Información Geográfica

MEB: Microscopio Electrónico de Barrido

EDX: Espectroscopia de fotones rayos X dispersados

OMS: Organización Mundial de la Salud

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

LMP: Límite máximo permisible

mg/cm²/mes: miligramos/ centímetro cuadrado/ mes

µg/m³: microgramos/ metro cubico

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	vi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	3
2. Objetivos.....	4
2.1. General.....	4
2.2. Específicos	4
3. Marco teórico.....	5
3.1. Contaminación del aire	5
3.2. Emisión de gases tóxicos a la atmósfera.....	5
3.3. Material particulado	6
3.3.1. Clasificación del PM	6
3.3.1.1 Clasificación de partículas según su formación	6
3.3.1.2 Clasificación de partículas según su diámetro.....	8
3.3.2. Tipo de fuente generadora de PM	9
3.3.3. Material particulado sedimentable.....	9
3.3.4. Material particulado volátil.....	9

3.3.4.1. Material particulado volátil PM _{2,5}	9
3.3.4.2. Material particulado volátil PM ₁₀	10
3.5. Composición mineralógica y química del PM.....	10
3.6. Efectos adversos a la salud del PM.....	10
3.6.1. Efectos sobre el sistema cardiovascular	11
3.7. Factores meteorológicos	11
3.8. Estándares de calidad del aire para material particulado	12
3.8.1. Norma de calidad de aire según el TULSMA	12
3.8.2. Norma de calidad de aire según la OMS.....	12
4. Metodología.....	13
4.1. Área de estudio	13
4.2. Visita de campo	14
4.3. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS	14
4.3.1. Monitoreo de PMS	15
4.3.2. Monitoreo de PMV.....	16
4.4. Caracterización fisicoquímica con el microscopio electrónico de barrido (MEB)	16
4.5. Análisis geoestadístico.....	16
5. Resultados y discusión	17
5.1. Concentración y análisis descriptivo del PMS	17
5.2. Concentración y análisis descriptivo del PMV	19
5.2.1. Análisis global de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	19

5.2.2. Análisis diario de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA	21
5.2.3. Análisis estadístico descriptivo	25
5.2.3.1. Material particulado volátil PM _{2,5}	25
5.2.3.2. Material particulado volátil PM ₁₀	26
5.3. Caracterización química del PMS	27
5.4. Caracterización morfológica	34
5.5. Simulación de la dispersión de contaminantes de PM	36
6. Conclusiones	40
7. Recomendaciones	41
8. Bibliografía	42
9.1. Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana TULSMA	49
9.2. Estándares establecidos por la OMS	49
9.3. Datos de PM _{2,5} en cada punto a diferente horario	50
9.4. Datos de PM ₁₀ µm en cada punto a diferente horario	51
9.5. Análisis estadístico- Cabecera parroquial Calpi-PM _{2,5}	52
9.6. Análisis estadístico- Cabecera parroquial Calpi-PM ₁₀	52
9.7. Composición química del PMS en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi	52
9.8. Trabajo en laboratorio	60
9.9. Ubicación de los equipos para el muestreo pasivo de PMS	61
9.10. Trabajo en laboratorio para el análisis de PMS en el laboratorio de microscopia de la UNACH	62
9.11. Monitoreo de PMV en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi	63

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Caracterización de las fracciones del PM presente en el aire troposférico.	7
Tabla 2. Concentración de PMS en cada punto de monitoreo.....	18
Tabla 3. Comparación de valores de PMS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA.....	18
Tabla 4. Concentración de PM _{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA.....	21
Tabla 5. Concentraciones de PM ₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA.....	23
Tabla 6. Elementos químicos encontrados en cada punto de monitoreo.....	31
Tabla 7. Promedio total de cada elemento.....	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las partículas según su diámetro.....	8
Figura 2. Área de estudio delimitada, cabecera parroquial de Calpi.....	14
Figura 3. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMS Y PMV	17
Figura 4. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA.....	19
Figura 5. Comparación de la concentración de PM _{2,5} con los LMP de la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo.....	20
Figura 6. Comparación de la concentración de PM ₁₀ con los LMP la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo.....	20
Figura 7. Comparación de los valores de PM _{2,5} con los LMP de la OMS Y TULSMA	23

Figura 8. Comparación de valores de PM ₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA ..	25
Figura 9. Distribución de PM _{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi	26
Figura 10. Distribución de PM ₁₀ , cabecera parroquial Calpi	26
Figura 11. Caracterización físico-química de la zona de monitoreo 1	27
Figura 12. Caracterización físico-químico zona de monitoreo 2	28
Figura 13. Caracterización físico-química zona de monitoreo 3.....	28
Figura 14. Caracterización físico-química zona de monitoreo 4.....	29
Figura 15. Caracterización físico-química zona de monitoreo 5.....	30
Figura 16. Caracterización físico-química zona de monitoreo 6.....	30
Figura 17. Caracterización físico-química zona de monitoreo 7.....	31
Figura 18. Diámetros del PM de la muestra 1 y 2, observados a 100x	34
Figura 19. Diámetros del PM de la muestra 3 y 4, observados a 100x	34
Figura 20. Diámetros del PM de la muestra 5 y 6, observados a 100x	35
Figura 21. Diámetros del PM de la muestra 7, observado a 100x.....	35
Figura 22. Modelo de dispersión de PMS, en la cabecera parroquial de Calpi.....	37
Figura 23. Modelo de dispersión PM _{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi.....	38
Figura 24. Modelo de dispersión PM ₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi.....	39

RESUMEN

En la cabecera parroquial de Santiago de Calpi ubicada al suroeste del cantón Riobamba, se evaluó la concentración de material particulado volátil de 2,5 μm y 10 μm , así como el material particulado sedimentable, debido a la incidencia de empresas como Unión Cementera Nacional, Petroecuador, fábricas dedicadas a la producción de cal y bloques, y tráfico vehicular, los cuales son precursores de emisiones de material particulado.

Para este estudio se establecieron 7 puntos estratégicos de muestreo, en el cual, los análisis de material particulado volátil se ejecutaron con el uso del equipo DustTrak™ II durante 2 minutos en cada monitoreo, y el material particulado sedimentable se recolectó en cajas Petri mediante el método pasivo. Las mediciones se llevaron a cabo durante el periodo noviembre-diciembre, los resultados muestran promedios de concentraciones máximas de 43,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 47,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mínimas de 18,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} respectivamente. Con relación al material particulado sedimentable, se analizaron 7 muestras, de las cuales la concentración máxima registrada fue de 1,218 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$, debido a la presencia de industrias cercanas al punto de muestreo, superando así el límite máximo permisible propuesto por la Organización Mundial de la Salud y el TULSMA, así también, se registró una concentración mínima de 0,102 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$. Se analizaron las muestras de material particulado sedimentable con el microscopio electrónico de barrido, en las que se encontró elementos mayoritarios como antimonio, calcio, rubidio, silicio, aluminio, hierro y magnesio, además, la morfología de las partículas presenta forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa. Finalmente se realizó un mapa de velocidad y dirección de viento con datos meteorológicos, mostrando el comportamiento del material particulado, los cuales se transportan en dirección sureste con una velocidad máxima de hasta 6,26 m/s, en donde la mayor incidencia de emisiones de material particulado se presentó en dos puntos de muestreo, mas no, en toda la cabecera parroquial.

Palabras claves: material particulado volátil, material particulado sedimentable, DustTrak™ II, Calpi, microscopio electrónico de barrido, contaminación del aire.

ABSTRACT

In the parish center of Santiago de Calpi located southwest on the southwest of the canton Riobamba, the concentration of volatile particulate material of 2,5 μm and 10 μm was evaluated, as well as the sedimentable particulate material, due to the incidence of companies such as Unión Cementera Nacional, Petroecuador, factories devoted to the production of lime and blocks, and vehicular traffic, which are precursors of particulate matter emissions.

For this study 7 strategic sampling points were established, in which the analyzes of volatile particulate material were executed with the use of the DustTrak™ II equipment during 2 minutes in each monitoring, and the sedimentable particulate material was collected in Petri dishes through the passive method. The measurements were carried out during the november-december period, the results show averages of maximum concentrations of 43,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 47,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and minimums of 18,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 16,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$ and PM_{10} respectively. Regarding the sedimentary particulate material, 7 samples were analyzed, of which the maximum registered concentration was 1,218 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{month}$, due to the presence of industries near the sampling point, thus surpassing the maximum permissible limit proposed by The World Health Organization and the TULSMA, likewise, registered a minimum concentration of 0,102 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{month}$. We analyzed the samples of sedimentary particulate material with the scanning electron microscope, in which we found major elements such as antimony, calcium, rubidium, silicon, aluminum, iron and magnesium, in addition, the morphology of the particles has an irregular, rectangular shape, laminar, elongated, amorphous. Finally, a map of wind speed and direction was made with meteorological data, showing the behavior of the particulate material, which are transported in a southeasterly direction with a maximum speed of up to 6,26 m/s, where the highest incidence of particulate material was presented in two sampling points, but not in the entire parish center.

Key words: volatile particulate material, sedimentary particulate material, DustTrak™ II, Calpi, TULSMA, scanning electron microscope, air pollution.



Reviewed by: Valle, Doris
Language Center Teacher



1. Introducción

La contaminación del aire ha alcanzado niveles altos en muchos lugares, en los cuáles las políticas ambientales no han seguido su ritmo de crecimiento, dando como resultado la mala calidad del aire, mediante emisiones naturales y antropogénicas, así como los cambios químicos que ocurren en la atmósfera a través de su procesamiento (McNeill, 2019).

La contaminación del aire genera un riesgo medioambiental que afecta a la salud y se considera como el causante de muchas enfermedades respiratorias y cardiovasculares a nivel mundial, incluso el cáncer (OMS, 2018).

Dentro de los diferentes contaminantes atmosféricos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) manifiesta que el material particulado (PM) se presenta con niveles críticos de concentración con mayor frecuencia, lo cual afecta la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades, esto debido al aumento en la densidad de la población y el progreso de las industrias en general (Gaviria, Muñoz, & González, 2012).

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 (Wang, Zhao, Sun, Xue, & Xie, 2018), por lo que es necesario implementar en países industrializados, así como en aquellos en los que existe un nivel moderado de actividad industrial, 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 (Garrido & Camargo, 2012).

En la cabecera parroquia de Santiago de Calpi de la provincia de Chimborazo, se ha determinado las acciones que impactan sobre el recurso aire, producto de la presencia de empresas como Petro-Ecuador y Mendogas, las cuales aportan con la generación de residuos sólidos, debido a que no presentan gestión externa, por otro lado, la Unión Cementera Nacional (UCEM), genera emisiones de polvo como parte de su proceso industrial y de manera similar las actividades de fabricación de bloques y cal cerca del área de estudio (GAD Santiago de Calpi, 2015). Estas emisiones atmosféricas, tienen un impacto en el recurso aire de Calpi, por lo que conocer la química de cada partícula es

muy importante para saber la fuente de emisión, y así diseñar estrategias adecuadas de control o tecnologías aplicadas a la reducción de la contaminación (McNeill, 2019).

Debido a la poca información de fuentes oficiales sobre la presencia de PM suspendidos en la atmósfera y tomando en consideración que los habitantes de la zona de estudio dependen en su mayoría de la actividad industrial, agrícola y de construcción para satisfacer las necesidades de desarrollo y subsistencia (GAD Santiago de Calpi, 2015), se realizó el presente trabajo de investigación, con la finalidad de determinar la concentración de material particulado volátil (PMV) y sedimentable (PMS), mediante el uso de diferentes instrumentos de medición y caracterización para los mismos.

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación atmosférica se ha convertido en un problema de mayor importancia que afecta a todos los seres vivos tanto a nivel global como local en los últimos años, esto debido a que, en muchas ciudades y zonas rurales se han registrado episodios agudos relevantes a la contaminación del aire, por lo que su exposición a estas partículas atmosféricas fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras por año en todo el mundo (OMS, 2018).

La contaminación del aire es producto del crecimiento poblacional, lo cual conlleva a un mayor uso de transporte particular, así como de las industrias que realizan actividades productivas y extractivas (Cevallos, 2018). Particularmente, las principales fuentes antropogénicas que incrementan la concentración de contaminantes atmosféricos son la quema de biomasa, la generación de energía, combustión de origen industrial, tráfico vehicular los cuales emanan monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y PM (Lelieveld, Evans, Fnais, Giannadaki, & Pozzer, 2015).

El registro de sustancias particuladas provenientes de fuentes naturales y en gran parte de actividades antropogénicas, se van acumulando en el entorno aire a nivel urbano y rural, siendo así, que una mayor concentración de elementos nocivos presentes en la atmósfera, constituye un problema, principalmente para la salud humana y consiguiente el ecosistema, ya que estas partículas no se pueden identificar a simple vista (Mejía, 2016).

Las partículas atmosféricas alteran la cantidad de radiación solar transmitida a través de la atmósfera terrestre, lo cual intensifica el calentamiento de la superficie terrestre y la baja atmósfera, que contribuye al efecto invernadero y en consecuencia al cambio climático (West *et al.*, 2016).

En la cabecera parroquial de Santiago de Calpi se evidencia la presencia de varias empresas en funcionamiento en sus alrededores que emanan PM, por lo tanto, llevar a cabo un proceso de medición, identificación, análisis y control del PM, así como sus respectivos niveles de contaminación, representan un acto relevante para la protección de los ecosistemas y la salud humana.

1.2. Justificación

En la cabecera parroquial de Santiago de Calpi, existen empresas como Petro-Ecuador, Cemento Chimborazo, Mendogas y fábricas dedicadas a la producción de cal y bloques, los cuales generan un impacto sobre el recurso aire (GAD Santiago de Calpi, 2015), emanando PM de diferentes diámetros. Esto conlleva a que las personas estén expuestas directamente a este tipo de PM, teniendo así, la probabilidad de contraer enfermedades respiratorias (West *et al.*, 2016). De igual forma, la geomorfología presente en el cantón Riobamba como altitud y latitud, así como características físicas tales como la velocidad y dirección del viento, hacen que el PM pueda transportarse en grandes extensiones de terreno (GADM Riobamba, 2014).

Es necesario llevar a cabo monitoreos de calidad de aire, ya que actualmente no existen estudios sobre PMV y PMS, los mimos que son emanados por industrias cercanas a la cabecera parroquial de Santiago de Calpi. Este trabajo de investigación busca cuantificar la concentración, morfología y composición química del PM presente en la atmósfera durante un mes, teniendo en cuenta su comportamiento en el espacio y tiempo, lo que permite comprobar la calidad del aire respirable en el sector de estudio, para estimar el riesgo a la que está expuesto la población.

2. Objetivos

Según el planteamiento del problema fueron establecidos los siguientes objetivos:

2.1. General

Determinar y caracterizar concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi, cantón Riobamba por incidencia industrial.

2.2. Específicos

- Ejecutar un muestreo de material particulado sedimentable, utilizando el método pasivo en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi durante un mes, noviembre-diciembre de 2018.
- Realizar un monitoreo de material particulado volátil mediante la utilización de un equipo de medición in situ en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi durante un mes, noviembre-diciembre de 2018
- Caracterizar el material particulado sedimentable en su morfometría mediante el uso del microscopio electrónico de barrido, así como, la composición química con espectroscopia de fotones de rayos X dispersados (EDX).
- Elaborar un mapa de concentración y dispersión del material particulado volátil y sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3. Marco teórico

3.1. Contaminación del aire

De acuerdo a Kampa & Castanas (2008) señala que “La contaminación del aire es definida como cualquier sustancia en el aire que puede causar daño a los seres humanos, animales, vegetación o materiales” (Schraufnagel *et al.*, 2019).

Los contaminantes del aire provienen de varias fuentes y cada una tienen características diferentes en dependencia de su composición, fuente y condiciones bajo las cuáles fueron producidas, es así, que los gases más comunes son: óxidos de sulfuro (principalmente dióxido de sulfuro (SO₂), óxidos de nitrógeno como el dióxido de nitrógeno (NO₂), hidrocarburos reactivos (frecuentemente denominados compuestos orgánicos volátiles) y el monóxido de carbono (CO) (Schraufnagel *et al.*, 2019).

3.2. Emisión de gases tóxicos a la atmósfera

La atmósfera de la tierra contiene una dinámica natural de gases, sin embargo las emisiones provocadas por las actividades antropogénicas ha incrementado los niveles de los gases, haciendo que los mecanismos de absorción natural de la atmósfera se vea superado, entre los cuales están gases naturales como el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) (Sherrard, 2018).

La formación de contaminantes atmosféricos se da principalmente por la quema y combustión incompleta de combustibles fósiles, por ejemplo, las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO) para cubrir la demanda actual de energía, así también, el SO_x y NO_x están relacionados e involucrados en la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida, que conllevan a una amenaza para la salud humana y el medio ambiente en general (Barea, Montoro, & Navarro, 2014).

El equilibrio correcto entre combustible y oxígeno es importante para la correcta combustión, sin embargo esta reacción química en la vida real no es posible, haciendo que su deficiencia traiga consigo la producción de gases tóxicos, PM que se origina principalmente en la descarga de los productos cocidos en los hornos, operación en la que se observa la presencia de abundantes subproductos de la cocción, como cenizas que

quedan después de la combustión de los combustibles sólidos (ramas de eucalipto, aserrín y carbón mineral), que afecta a la salud integral de la población aledaña (González, 2011).

3.3. Material particulado

El PM deriva de un agregado de partículas líquidas, sólidas-líquidas y sólidas que se encuentra en suspensión en la atmósfera, las mismas que difieren en tamaño, composición y origen, por lo que, el tamaño de las partículas suspendidas en el aire varía, desde nanómetros a decenas de micrómetro, siendo así que conviene clasificarlo mediante sus propiedades aerodinámicas o también llamado diámetro aerodinámico, el cual es un factor trascendental y decisivo para el transporte y eliminación de las partículas en el aire (Escudero, 2017)

3.3.1. Clasificación del PM

El PM sólido se clasifica con relación a su proceso de formación y el diámetro de partícula presente en la atmósfera (Escudero, 2017).

3.3.1.1 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 (ISTAS, 2012).

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.

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 a horas
Distancia de viaje	100 a 1000 km	1 a 10 km

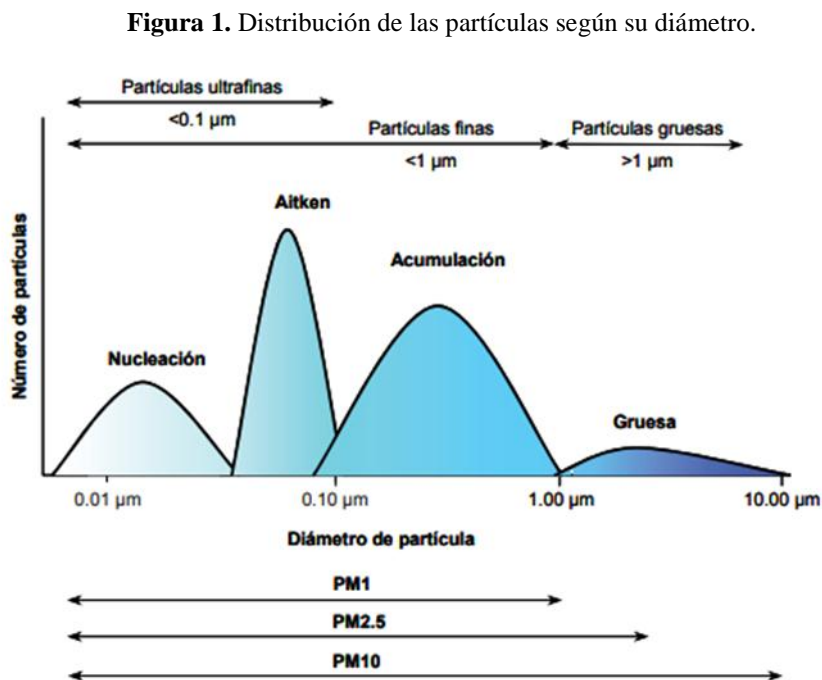
Fuente: Cáceres (2015)

3.3.1.2 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 ($0,1 \mu\text{m}$) hasta tamaños superiores (a $100 \mu\text{m}$) (López, 2017). (Véase **Figura 1**)

Así, estos se clasifican en: partículas finas que tienen un diámetro aerodinámico menor que $2,5 \mu\text{m}$; partículas gruesas que incluyen un diámetros comprendido entre $2,5 \mu\text{m}$ y $10 \mu\text{m}$, es decir, que aquellas partículas menores a un diámetro de $10 \mu\text{m}$ 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 $100 \mu\text{m}$, los cuales son considerados como partículas sedimentables porque no permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo (González, 2012)

En la **Figura 1** se muestra la distribución de las partículas de acuerdo a su diámetro. El eje X representa el tamaño y el eje Y el número de partículas, lo que nos indica partículas ultrafinas menores a $0,1 \mu\text{m}$ hasta partículas gruesas mayores a $1 \mu\text{m}$.



Fuente: (Cáceres, 2015)

3.3.2. Tipo de fuente generadora de PM

Esto abarca fuentes de origen natural y antropogénicas, en donde para las naturales algunas partículas sólidas provienen de los océanos, áreas con vegetación, polvo arrastrado por el viento, zonas áridas y semiáridas, erupciones volcánicas, procesos geotérmicos; estas partículas tienden a ser gruesas y con cortos tiempos de permanencia en la atmósfera (Liora *et al.*, 2016). Sin embargo, el PM producido por fuentes antropogénicas proviene de procesos industriales de extracción; generación de calor doméstico e industrial; quema de biomasa; actividades de transporte, almacenamiento y traslado de materiales, circulación de vehículos (Fromme, 2018).

3.3.3. 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 (Secretaría de Ambiente, 2016).

3.3.4. Material particulado volátil

La fracción de partículas en suspensión también llamado material particulado volátil (PMV) son aquellas partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente (algunas veces, incluso mayores a tamaños de 100 μm) que se dispersan de una manera estable y homogénea en el aire, por lo que permanecen suspendidos durante un intervalo de tiempo mayor hasta que son suprimidos por precipitación (Cevallos, Díaz, & Sirois, 2017).

Para el estudio a realizar se toma en cuenta dos tipos de PM, de diámetros 2,5 μm y 10 μm , la cual es la clasificación que se usa comúnmente en la investigación sobre contaminación del aire para determinar niveles de concentración de PM y de riesgo a la salud (Brusseau, Matthias, Comrie, & Musil, 2019).

3.3.4.1. Material particulado volátil PM_{2,5}

El PM_{2,5} tienen un diámetro menor a 2,5 μm , cercano a la longitud de onda de luz, ya que estas partículas resultan de procesos de combustión de carbón, petróleo, gasolina, diésel, madera o través de procesos industriales de alta temperatura como fundiciones de acero y tienen una vida útil de días hasta semanas por lo que pueden transportarse a una

distancia de miles de kilómetros, siendo así que, una fracción significativa de PM_{2,5} se deposita en todo el tracto respiratorio humano, causando enfermedades pulmonares, enfermedades cardíacas y muertes prematuras (Pui, Chen, & Zuo, 2014).

3.3.4.2. Material particulado volátil PM₁₀

El PM₁₀ cuyos diámetros comprendidos entre 2,5 µm y 10 µm, son denominadas aerosoles respirables, que a través del origen de fuentes naturales puede estar relacionado con el polvo del suelo y la corteza terrestre, el rocío del mar, el cual se transforma en aerosol marino, así como partículas encontradas en cenizas de volcanes e incendios forestales (carbono orgánico) y elementos traza principalmente de metales (Albuquerque, Coutinho, Rodrigues, Ginja, & Borrego, 2017). A través de actividades antropogénicas, las emanaciones se produce debido a las emisiones de tráfico vehicular y a las actividades de los procesos industriales y energéticos (Santos, 2015).

3.5. Composición mineralógica y química del PM

El PM puede considerarse como un sistema complejo desde el punto de vista químico y mineralógico, que dependiendo de las zonas de muestro (rurales, urbanas, industriales), la mineralogía y química global de las partículas es muy variada (González, 2012)., “pero también las condiciones de dispersión, distancia a las fuentes, topografía y química atmosférica juega un papel importante en la formación de las partículas secundarias” (Dèdelè & Miškinytè, 2018).

Las actividades industriales también juegan un papel importante, ya que al aportar compuestos complejos derivados de sus actividades, aportan concentraciones anómalas a la atmósfera desde un punto de vista geoquímico (Regalado, 2015).

3.6. Efectos adversos a la salud del PM

Las partículas atmosféricas pueden afectar gravemente nuestro medio ambiente, la calidad de aire y el bienestar de ecosistemas y por ende a la salud humana, de igual manera, también juega un papel importante en el cambio climático (Fuzzi *et al.*, 2015)

Los efectos sobre la salud pueden adoptar diversas formas, desde enfermedad pulmonares y respiratorias agudas hasta enfermedades crónicas como bronquitis crónica, cáncer, enfisema pulmonar o asma, así mismo, síntomas desfavorables generales e irritaciones,

lo que en consecuencia, la contaminación del aire hace que exista una mortalidad alta (Kurt, Zhang, & Pinkerton, 2016).

Los contaminantes penetran en el cuerpo humano a través del sistema respiratorio que filtra las partículas grandes, pero deja pasar las más pequeñas de radio inferior y mayores a 1 μm , se precipitan hacia los pulmones donde se depositan en las paredes de los bronquios y pueden penetrar profundamente en el pulmón, es por eso que, al PM se lo identifica como nocivo para la salud y consta como el noveno factor de riesgo de enfermedades en nivel mundial (West *et al.*, 2016).

3.6.1. Efectos sobre el sistema cardiovascular

Varios estudios sugieren que el PM ejerce efectos significativos en el sistema cardiovascular, por lo que la investigación sobre este tema se ha centrado tanto en los efectos a largo plazo de la exposición crónica del PM como en los efectos agudos de los aumentos de la mortalidad cardiovascular, siendo así que, en un análisis previo, se demostró que, para cualquier aumento en la mortalidad causada por PM, dos tercios del efecto se debió a las enfermedades cardiovasculares (Fuzzi *et al.*, 2015).

3.7. Factores meteorológicos

Los factores meteorológicos son fundamentales para determinar las variaciones temporales y los niveles de contaminación de PM; tanto así, que llegar a comprender estos factores y sus interacciones, es fundamental para una predicción precisa, un análisis exhaustivo y una reducción efectiva de los contaminantes presentes en la atmosfera (Li *et al.*, 2019).

Los factores meteorológicos determinan la dispersión, concentración, transformación y eliminación del PM en la atmosfera dependiendo principalmente de las condiciones meteorológicas presentes en la zona de estudio y el tiempo de muestreo, tales como la velocidad y dirección del viento que indican la distancia de recorrido del PM y su formación durante el transporte del mismo (Wang *et al.*, 2019)

3.8. 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), etc.), para proteger la vida y salud de las personas con un margen razonable de seguridad.

3.8.1. Norma de calidad de aire según el TULSMA

La normativa ambiental vigente en el Ecuador es el TULSMA, emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2, del 31 de marzo de 2003, última modificación 29 de marzo de 2017, el cual determina los niveles máximos permisibles (LMP) presentes en la atmósfera para diversos contaminantes durante un tiempo determinado (MAE, 2017).

En este texto, los valores de LMP de concentración de PM presentes en la atmósfera se encuentran en el libro VI, anexo 4 (MAE, 2017), como se muestra en el **anexo 9.1**.

3.8.2. 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 el **anexo 9.2**.

4. Metodología

En la metodología se explica el desarrollo del estudio en el campo, el funcionamiento y uso de los equipo para el monitoreo in-situ, tales como el DustTrak™ II para material particulado volátil (PMV) y equipos sedimentadores para material particulado sedimentable (PMS) colocados en varios puntos de muestreo, que posteriormente fueron representados mediante un mapa de concentración y dispersión de PMS y PMV tomando en cuenta la dirección y velocidad del viento, complementado con la caracterización de la composición fisicoquímica y morfológica del PMS.

Posteriormente, se realizó el análisis estadístico descriptivo mediante el uso de un software estadístico, en el que se obtuvo analizadores estadísticos como: el valor de la media, error estándar de la media, mediana, primer cuartil, tercer cuartil, el máximo y el mínimo. Finalmente, se realiza el diagrama de cajas para representar los valores obtenidos.

4.1. Área de estudio

Se seleccionó el área de estudio con la finalidad de conocer si la presencia de industrias, como Petroecuador, Unión Cementera Nacional (UCEM) o Calera El Rey (industria dedicada a producción de Cal) existentes alrededor del lugar, tienen o no influencia en la contaminación atmosférica de la cabecera parroquial de Santiago de Calpi, mediante sus emisiones (GAD Santiago de Calpi, 2015).

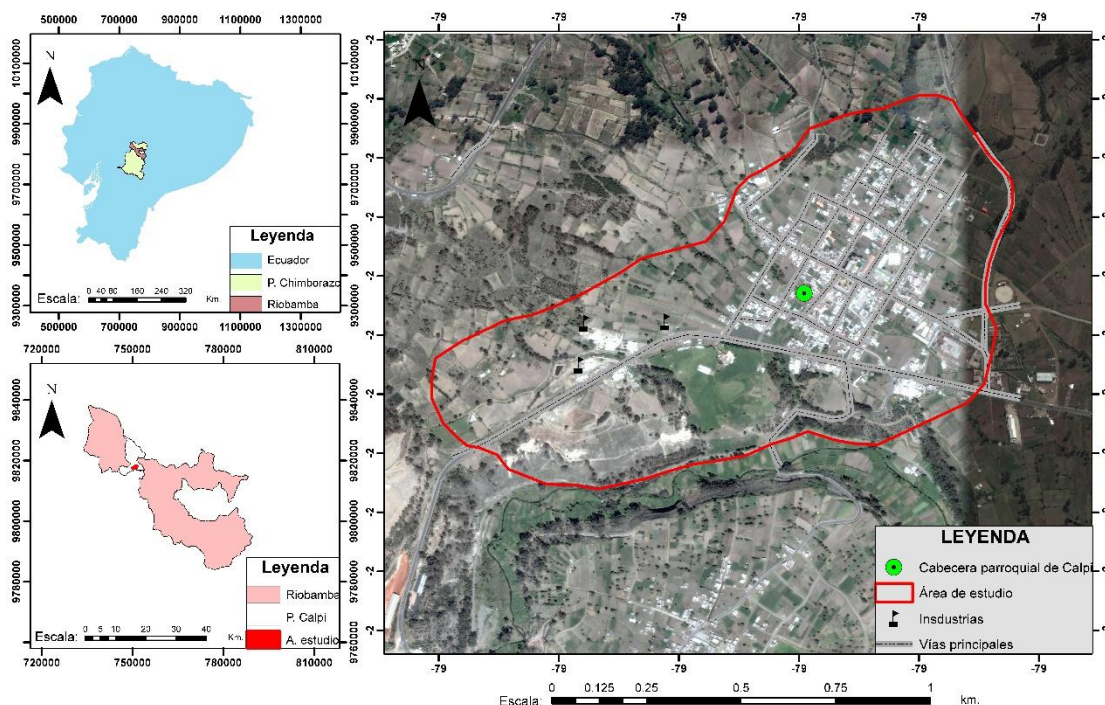
La cabecera parroquial de Santiago de Calpi se encuentra a 8 km de distancia del cantón Riobamba, capital de la provincia de Chimborazo, ubicado al suroeste del cantón Riobamba y está limitada al norte por la provincia de Tungurahua; al Este por la parroquia Lican; al oeste por la parroquia San Juan, al Norte por la parroquia San Andrés y al Sur con el cantón Colta (GAD Santiago de Calpi, 2015). (**Véase Figura 2**)

Las características del lugar son las siguientes:

1. Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo.
2. Las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 5 a 13 °C.
3. La humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 y el 85 %.
4. Las precipitaciones anuales fluctúan entre 3,9 y 129,8 mm (GAD Santiago de Calpi, 2015).

5. Ubicación geográfica Latitud: 9817868 (UTM) Longitud: 751067 (UTM), Altitud: 3092 m.s.n.m. (Centeno, 2015).

Figura 2. Área de estudio delimitada, cabecera parroquial de Calpi.



Fuente: Los autores (2019)

4.2. Visita de campo

Esta visita sirvió para la toma de puntos de control con el GPS 60 csx (color, brújula y altímetro barométrico, tarjeta de memoria) de alta precisión, marca GARMIN en los distintos puntos de muestreo en las que fueron analizados geo estadísticamente, para finalmente determinar la dispersión del PM mediante el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

4.3. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS

Según Marcos & Valderrama (2012), cada equipo de muestreo debe estar situado en un área de exposición libre de obstáculos significativos o cercanas a fuentes de contaminación, de tal forma que la muestra pueda ser recolectado por acción gravitacional.

En el área de trabajo se instalaron 7 equipos de muestreo tomando en consideración los puntos de mayor vulnerabilidad por aglomeración de personas, tales como la presencia

de escuelas, centro de salud, parque central, industrias, etc., con la finalidad de extraer resultados fiables que reflejen la calidad de vida en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi.

Luego se procedió a aplicar el método pasivo empleado por Arciniégas (2012), en el que consiste colocar papel filtro en una caja Petri, por lo que, el papel filtro debe ser pesado antes y después de su recolección de PMS, así como el área del papel. La caja Petri permaneció durante un mes de monitoreo, situados estratégicamente en las zonas de mayor recepción posible de PMS (Santillán *et al.*, 2016).

4.3.1. Monitoreo de PMS

El monitoreo de PMS se llevó a cabo durante un mes (12 de noviembre al 11 de diciembre del 2018). Según el TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, hace referencia a que, para la obtención de una muestra representativa, el muestreo se debe llevar a cabo durante 30 días de forma continua, siendo así que la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por treinta días (1 mg/cm² x 30 d) (MAE, 2017).

Una vez obtenido el muestreo respectivo, los papeles filtro fueron 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 Santillán *et al.* (2016), posteriormente el papel filtro fue pesado en la balanza analítica SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0,0001 g. Finalmente se calcula el polvo atmosférico sedimentable (PAS) mediante diferencias de peso entre la final e inicial, y dividiendo para el área del papel filtro donde se acumuló la muestra, obteniendo el resultado en unidades de mg/cm²/mes (Marcos & Valderrama, 2012). A continuación, la fórmula empleada [1]:

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{\text{Área}} * 1\text{mes} \quad [1]$$

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: $A = \pi \cdot r^2$

4.3.2. Monitoreo de PMV

El monitoreo de PMV se llevó a cabo durante 1 mes (12 de noviembre al 10 de diciembre del 2018), en diferentes puntos de la zona de estudio, teniendo en consideración las horas pico en el sector que son 8H00,12H00 y 16H00; exceptuando fines de semana y feriado.

El monitoreo del PMV se lo realizó con el DustTrak™ II, el cual mide concentraciones de material particulado presentes en la atmósfera, ya que posee un fotómetro láser manual de dispersión de luz que funciona con registro de datos manuales y programables, los cuales funciona con baterías que ofrecen lecturas de masa de PMV en tiempo (TSI, 2018). Inicialmente, se procedió a encender y ejecutar el equipo con el filtro 0 μm (ZERO CAL) para su respectiva calibración. Terminada su calibración, se colocaron los filtros de 10 μm y 2,5 μm para medir la concentración de PMV el cual dura 2 minutos para cada filtro, obteniendo valores en mg/m^3 , los cuales posteriormente se transforman a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Santillán *et al.*, 2016).

4.4. Caracterización fisicoquímica con el microscopio electrónico de barrido (MEB)

Para caracterizar física y químicamente las muestras de PMS se realiza un corte del papel filtro de cada muestra de 1 cm^2 sobre portamuestras de aluminio y posteriormente se metalizaron con oro. La observación se realiza con el MEB, VEGAS TESCAM en la cual se tomaron imágenes a 100x y 200x. El procesamiento y análisis de las imágenes se realizó con el software Analysis Pro.

En las imágenes se puede observar la morfología, composición química y tamaño del PM en cada filtro con el que se tomó las muestras.

4.5. Análisis geoestadístico

Para el análisis geoestadístico, se obtuvieron datos de velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio como son la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), DAC (Dirección de Aviación Civil) y la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo), de los meses comprendidos de octubre-noviembre, de este modo se determinó la dispersión de PM influido, con el método de

interpolación KRIGING la cual se desarrolla con un software de sistemas de información geográfica (SIG) (Lara, 2018).

5. Resultados y discusión

Los resultados muestran la concentración del material particulado sedimentable y volátil, en la cual se dividió el área de estudio en siete puntos de muestreo como se observa en la **Figura 3**, así como, la composición físico-química del PMS, la morfología del PMS, el mapeo de la concentración, dispersión del material particulado y la discusión de los resultados en relación con las industrias locales.

Figura 3. Ubicación de los puntos para el monitoreo de PMS Y PMV



Fuente: Los autores (2019)

5.1. Concentración y análisis descriptivo del PMS

Una vez realizado el monitoreo durante un mes del PMS en los siete puntos de muestreo, se tiene los datos correspondientes de peso para cada punto de monitoreo en la **Tabla 2**, donde se obtuvo un promedio de $0,381 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ de los siete puntos de muestreo, de

todos los días, para el período noviembre-diciembre de 2018, siendo así, que este valor no sobrepasa los LMP propuesto por la OMS y el TULSMA.

Tabla 2. Concentración de PMS en cada punto de monitoreo

Punto	Ubicación geográfica (UTM)		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm ² /mes)
1	750080	9817608	475,6	506,7	0,535
2	750488	9817698	469,9	535,4	1,128
3	750848	9817934	473,5	492,3	0,324
4	751012	9817880	477,1	487,8	0,184
5	751234	9818157	467,5	473,4	0,102
6	751157	9817987	479,7	489,4	0,167
7	751286	9817699	471,2	484,2	0,224

Fuente: Los autores (2019)

En la **Tabla 3**, se muestra la comparación de los valores de concentración de PMS (obtenidos a partir de la **Tabla 2**) con los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA, donde, las muestras 1 y 2 con valores de 0,535 mg/cm²/mes y 1,128 mg/cm²/mes respectivamente, sobrepasan el LMP de la OMS que es de 0,5 mg/cm²/mes, mientras que para el LMP propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes, solo sobrepasa en la muestra 2, comprobando de esta manera que los puntos de monitoreo más cercanos a las industrias, tienen mayor afección por la emisión de PM, a diferencia de los otros que se encuentran relativamente alejados, así también, la influencia de la velocidad y dirección del viento para este mes, favorece su dispersión (Zeng & Zhang, 2017).

Tabla 3. Comparación de valores de PMS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA

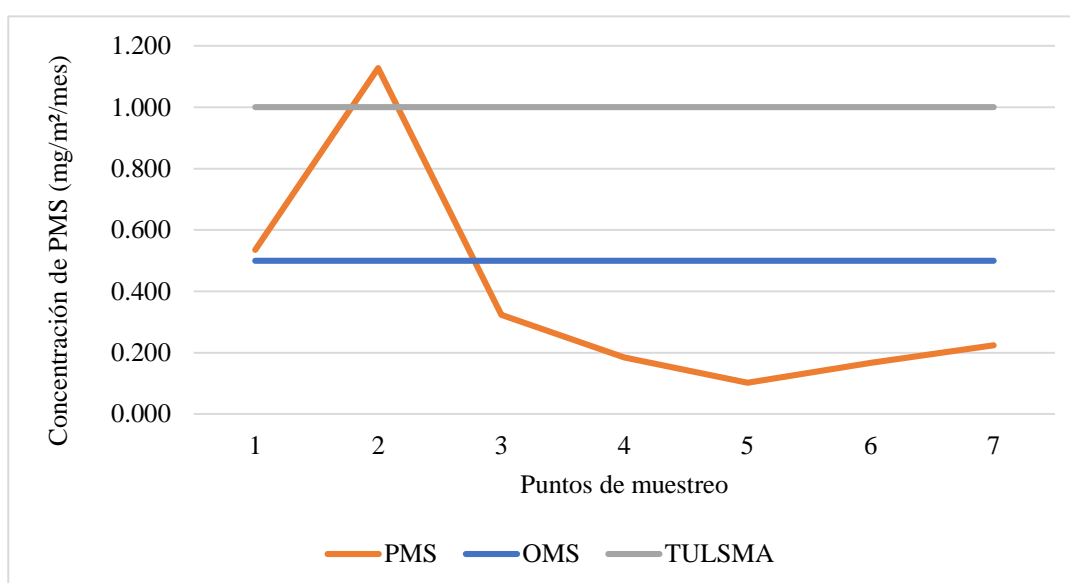
Muestra	PMS (mg/cm ² /mes)	LMP OMS	Permisible	LMP TULSMA	Permisible
1	0,535	0,5 mg/cm ² /mes	NO	1 mg/cm ² /mes	SI
2	1,128		NO		NO
3	0,324		SI		SI
4	0,184		SI		SI
5	0,102		SI		SI
6	0,167		SI		SI
7	0,224		SI		SI

Fuente: Los autores (2019)

En la **Figura 4** se observa que las muestras obtenidas en los puntos de monitoreo 3, 4, 5, 6 y 7, no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA, debido a que durante el período de monitoreo, los datos de dirección del viento

fueron favorables para la dispersión del área poblada, con un sentido sureste y con velocidades comprendidas entre media y alta de 3,79 m/s y 6,26 m/s respectivamente, por lo que según (Zeng & Zhang, 2017), las condiciones desfavorables en la atmósfera afectan a la dispersión de los contaminantes como por ejemplo la baja temperatura del aire o la dirección y velocidad del viento; así también, los días fueron soleados, lo cual hace que el aire circundante se caliente y se produzca el movimiento vertical o convectivo en la atmósfera (ESTRUCPLAN, 2015), lo cual favorece a la dispersión de los contaminantes en el centro poblado de la cabecera parroquial de Santiago de Calpi.

Figura 4. Comparación de valores de PMS con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA



Fuente: Los autores (2019)

5.2. Concentración y análisis descriptivo del PMV

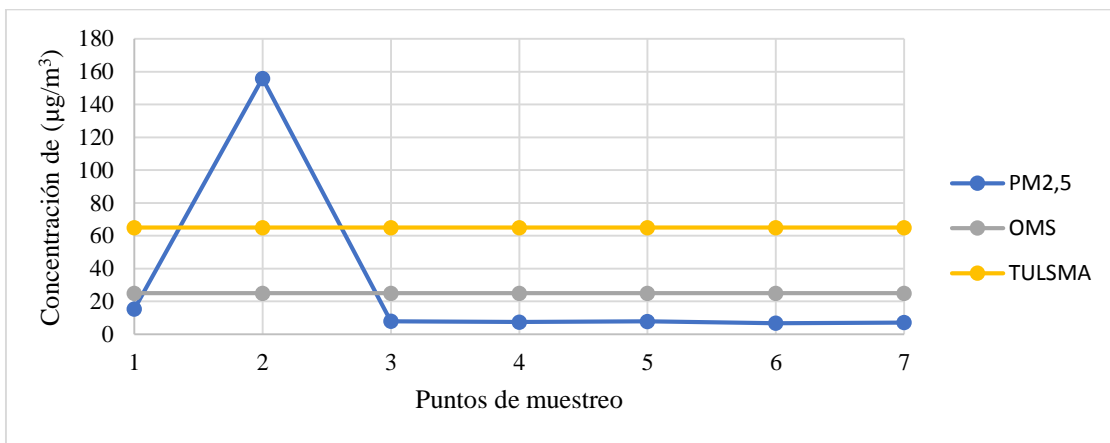
Los valores de concentración del PMV de 2,5 μm y 10 μm , se obtuvieron con el uso del equipo DustTrak™ II (véase anexos 9,3 y 9,4 respectivamente), en el período noviembre-diciembre de 2018 (12 de noviembre-10 de diciembre de 2018).

5.2.1. Análisis global de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

En las Figuras 5 y 6 se muestra la concentración global de $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} respectivamente, para lo cual se realizó un promedio general en cada uno de los siete puntos, con los datos obtenidos durante los 21 días de monitoreo en tres horarios diferentes (8H:00, 12H:00, 16H:00) (véase anexo 9,3 y 9,4), así también, se hizo la comparación con los

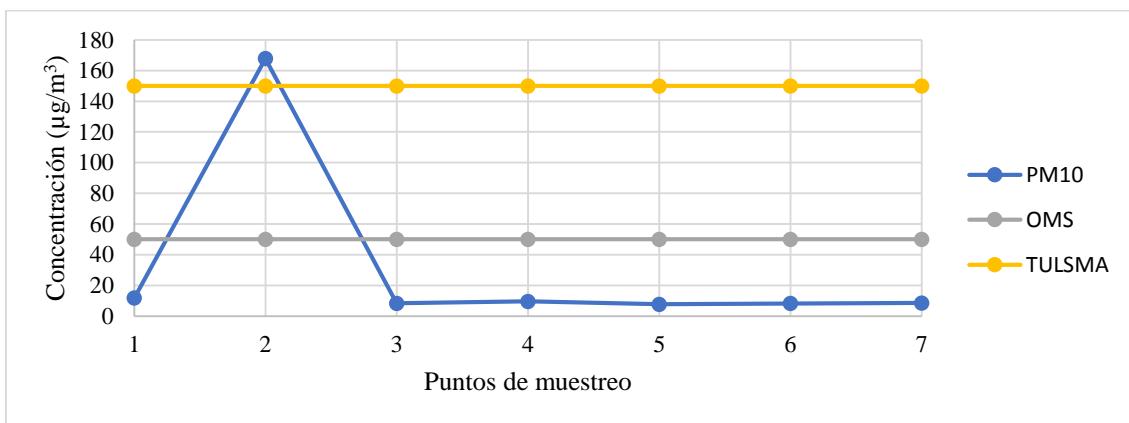
límites máximos permisibles propuestos por la OMS y el TULSMA, en el cual se observó que tanto para el PM_{2,5} como para el PM₁₀, la concentración sobrepasa sólo en un área, la cual corresponde al punto de monitoreo 2, mientras que en los demás puntos (1, 3, 4, 5, 6 y 7), se mantienen por debajo de los LMP propuestos. Aunque los LMP para el caso del PM₁₀ es menos riguroso, este tiene un comportamiento similar al PM_{2,5}, sobrepasando la concentración solamente en el punto de monitoreo 2, esto debido a que según el GAD Santiago de Calpi (2015), existen industrias cercanas al punto de monitoreo tales como Petro-Ecuador, Cemento Chimborazo, Mendogas y fábricas dedicadas a la producción de bloques y cal, las cuales emanan PM.

Figura 5. Comparación de la concentración de PM_{2,5} con los LMP de la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo



Fuente: Los autores (2019)

Figura 6. Comparación de la concentración de PM₁₀ con los LMP la OMS y el TULSMA por cada punto de monitoreo



Fuente: Los autores (2019)

5.2.2. Análisis diario de la concentración de PMV en la cabecera parroquial de Calpi en comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Con los datos obtenidos del monitoreo de PM_{2,5} y PM₁₀ durante el período noviembre-diciembre de 2018 (véase anexos 9,3 y 9,4), se hizo un promedio diario para cada una de las horas de los 7 siete puntos muestreo, dando los siguientes resultados (véase Tablas 4 y 5).

La **Tabla 4**, indica la comparación de la concentración del PM_{2,5} con respecto a la OMS y el TUSLMA, en donde los días 2, 4, 7, 10, 12 y 17 correspondientes a concentraciones de 18,77 µg/m³, 18,86 µg/m³, 21,81 µg/m³, 21,86 µg/m³, 21,86 µg/m³ y 24 µg/m³ respectivamente, no sobrepasaron el LMP propuesto por la OMS, que es de 25 µg/m³, sin embargo en los demás días, la concentración de PM sobrepasa el LMP permitido por la OMS, esto debido a que en tales días, no hubo mayor presencia de viento, que transporta los contaminantes atmosféricos a larga distancia, ya que según Angelo & Calderón (2014), estas partículas pueden estar suspendidas en la atmósfera de varios días, hasta semanas.

Tabla 4. Concentración de PM_{2,5} en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

DÍA	8H00	12H00	16H00	PROMEDIO (µg/m ³)	LMP OMS 25 µg/m ³	LMP TULSMA 65 µg/m ³
1	36,14	40,16	24,86	33,72	NO	SI
2	22,14	13,44	20,71	18,77	SI	SI
3	28,86	24,29	27,00	26,71	NO	SI
4	18,57	19,43	18,57	18,86	SI	SI
5	33,29	56,00	41,71	43,67	NO	SI
6	28,57	36,14	54,86	39,86	NO	SI
7	22,29	21,43	21,71	21,81	SI	SI
8	44,29	33,71	28,14	35,38	NO	SI
9	31,14	38,43	19,86	29,81	NO	SI
10	22,14	21,29	22,14	21,86	SI	SI
11	31,14	38,43	19,86	29,81	NO	SI
12	22,14	21,29	22,14	21,86	SI	SI
13	32,43	24,14	37,86	31,48	NO	SI

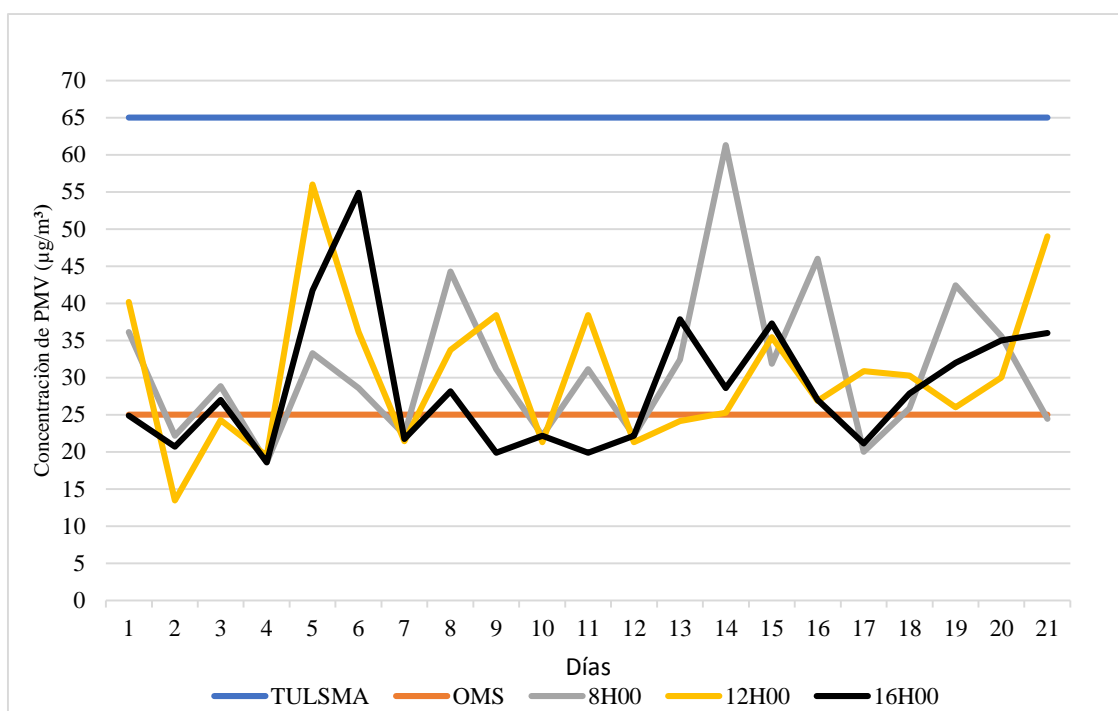
14	61,29	25,29	28,57	38,38	NO	SI
15	31,86	35,43	37,29	34,86	NO	SI
16	46,00	26,86	27,00	33,29	NO	SI
17	20,00	30,86	21,14	24,00	SI	SI
18	25,86	30,29	27,86	28,00	NO	SI
19	42,43	26,00	32,00	33,48	NO	SI
20	35,57	30,00	35,00	33,52	NO	SI
21	24,43	49,00	36,00	36,48	NO	SI

Fuente: Los autores (2019)

Con relación al TULSMA que propone un LMP de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones registradas de todos los días no sobrepasan la normativa propuesta por dicha institución, visualizada en la **Figura 7**, la cual muestra las concentraciones de cada uno de las horas tomado todos los días (gris, amarillo, negro) y los LMP (azul, naranja), así también, se observa que la concentración de $\text{PM}_{2,5}$, sobrepasa los LMP propuestos por la OMS en casi todos los días y en todas las horas de monitoreo, las misma que estuvieron cercanas a alcanzar el valor del LMP del TULSMA, esto tiene relación, ya que el LMP propuesto por la OMS y el TULSMA para el $\text{PM}_{2,5}$ es más exigente que para el PM_{10} por su mayor peligrosidad para la salud de las personas.

Sin embargo, para los días 2, 4, 7, 9, 10, 12 y 17, las concentraciones estuvieron por debajo de los LMP propuesto por las instituciones ya mencionadas, ya que según Zeng & Zhang (2017), menciona que la velocidad y dirección del viento, favorece su dispersión, teniendo relación ya que para esos días se evidencio tales condiciones.

Figura 7. Comparación de los valores de PM_{2,5} con los LMP de la OMS Y TULSMA



Fuente: Los autores (2019)

En la **Tabla 5**, se indica la comparación de la concentración del PM₁₀ con respecto al LMP propuesto por la OMS y el TULSMA (50 µg/m³ y 150 µg/m³ respectivamente), en la que los valores de concentración registrados no sobrepasaron los LMP. Sin embargo, existen días en las que las concentraciones incrementaron, estando cercanas a los LMP propuestos por la OMS, como: el día 1, 14 y 16 con valores de 47,62 µg/m³, 46,38 µg/m³ y 45,86 µg/m³ respectivamente, ya que según Angelo & Calderón (2014), estas partículas pueden estar suspendidos en la atmósfera desde varios días hasta semanas.

Tabla 5. Concentraciones de PM₁₀ en la cabecera parroquial de Calpi y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

DÍA	8H00	12H00	16H00	PROMEDIO (µg/m ³)	LMP OMS 50 µg/m ³	LMP TULSMA 150 µg/m ³
1	57,43	41,57	43,86	47,62	SI	SI
2	23,14	27,43	31,71	27,43	SI	SI
3	36,86	22,86	27,43	29,05	SI	SI
4	17,14	16,00	16,57	16,57	SI	SI
5	23,43	24,29	39,43	29,05	SI	SI
6	14,57	58,29	35,86	36,24	SI	SI

7	19,29	24,43	22,14	21,95	SI	SI
8	32,71	25,86	30,14	29,57	SI	SI
9	20,71	44,14	26,86	30,57	SI	SI
10	25,00	20,86	29,29	25,05	SI	SI
11	20,71	44,14	26,86	30,57	SI	SI
12	24,71	20,86	29,29	24,95	SI	SI
13	55,71	24,57	36,71	39,00	SI	SI
14	42,43	40,00	56,71	46,38	SI	SI
15	49,29	26,57	25,29	33,71	SI	SI
16	42,00	40,43	55,14	45,86	SI	SI
17	32,43	44,00	36,86	37,76	SI	SI
18	30,29	26,57	28,29	28,38	SI	SI
19	26,86	27,00	24,43	26,10	SI	SI
20	28,00	56,43	23,57	36,00	SI	SI
21	26,71	24,43	30,71	27,29	SI	SI

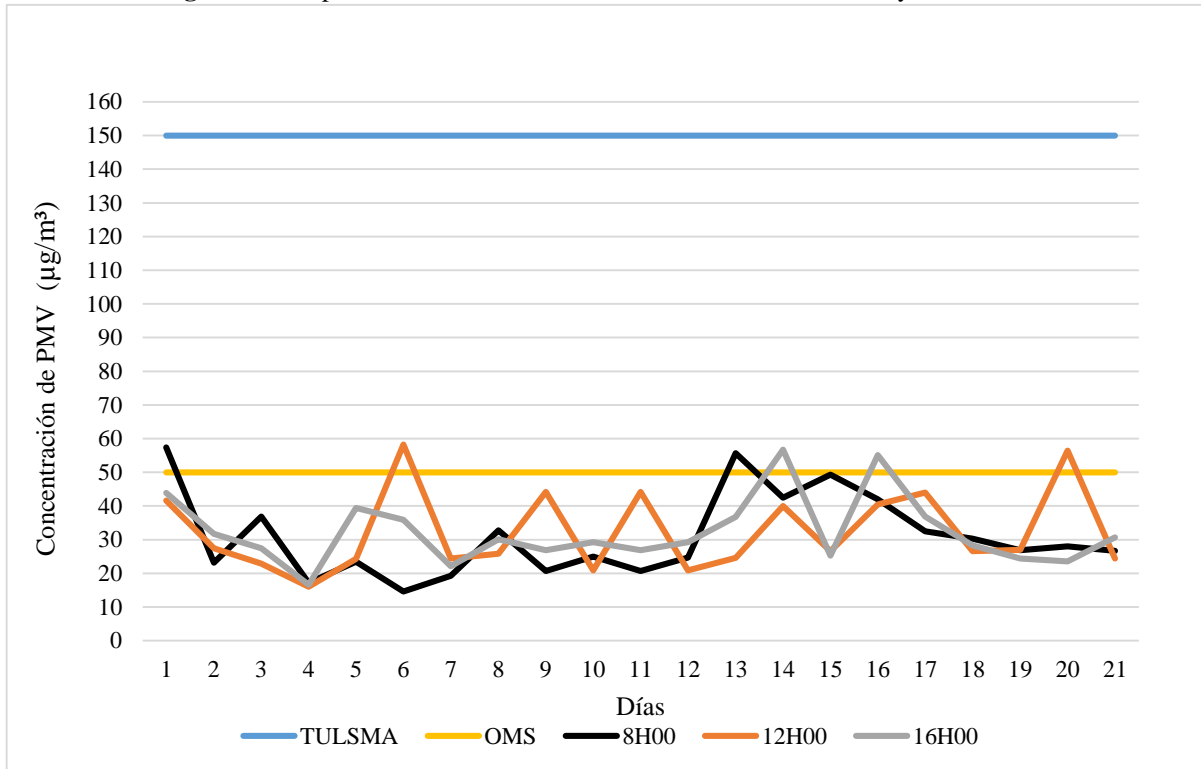
Fuente: Los autores (2019)

La **Figura 8** se representan los datos de la **Tabla 5**, en la cual se observa la comparación de las concentraciones para cada una de las horas de todos los días de muestreo (negro, naranja y gris) con los límites permitidos (azul, amarillo), donde se destaca que la mayoría de las concentraciones no sobrepasan el LMP de la OMS, así también se ve que ninguno de estos valores sobrepasan el LMP del TULSMA, debido a que alrededor del lugar de estudio existe actividad moderada de quema agrícola, tráfico vehicular, actividades industriales, resuspensión de polvo, que son fuentes antropogénicas generadoras de PM₁₀ (Schwarz *et al.*, 2019).

Por otro lado, las mediciones tomadas para los días 1 y 13 a las 8H00, 6 y 20 a las 12H00 y 14 y 16 a las 16H00, sobrepasan el LMP de la OMS, pero no los del TULSMA, así también existe un intervalo de días que van desde el 12 al 17 en los cuales los valores de concentración de PM₁₀, tienen un comportamiento al alza en todos los horarios, algunos de los cuales incluso sobrepasan el LMP de la OMS, esto debido a que en estos días hubo condiciones secas en el lugar. Lo mencionado anteriormente tiene relación con lo que menciona Flores, Manoj, Junming, & Denise (2011), que nos dice que este tipo de condiciones ayuda a la resuspensión del PM, el cual llega a estar suspendido en el aire creando una columna o tolvanera.

Las concentraciones por emisiones de PM_{2,5} y PM₁₀ siguen un comportamiento similar, las cuales tienen un promedio de 30,27 µg/m³ y 31,86 µg/m³ respectivamente, sin embargo, se debe tener más en consideración la emisión de PM_{2,5} ya que según Pui *et al.*, (2014), estas partículas se producen a altas temperaturas producto de la combustión.

Figura 8. Comparación de valores de PM₁₀ con los LMP de la OMS y el TULSMA



Fuente: Los autores (2019)

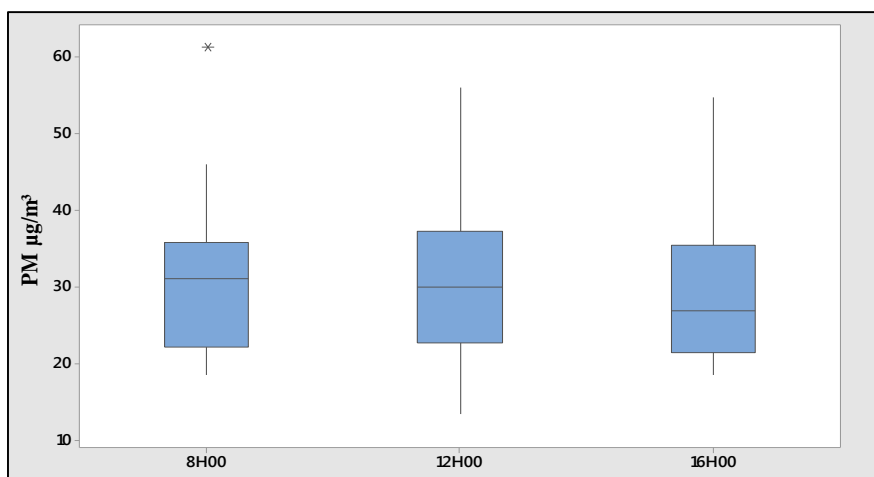
5.2.3. Análisis estadístico descriptivo

Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadísticas básicas, como la media, el error estándar de la media, la mediana, la desviación estándar, el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil, el máximo y el rango, y para las gráficas se utilizaron las de caja.

5.2.3.1. Material particulado volátil PM_{2,5}

Con los valores obtenidos para PM_{2,5}, en la cabecera parroquial Calpi, se determinó un valor medio para las 08h00, 12h00 y 16h00, de 31,46 µg/m³, 30,57 µg/m³ y 28,78 µg/m³, respectivamente; el valor máximo que se registra en el sector es de 61,29 µg/m³ y un valor mínimo de 13,44 µg/m³, el rango (**Figura 9**) que estableció el análisis estadístico es de 42,72 µg/m³, 46 µg/m³ y 36,29 µg/m³, correspondiente para cada una de las horas.

Figura 9. Distribución de $PM_{2,5}$ en la cabecera parroquial de Calpi



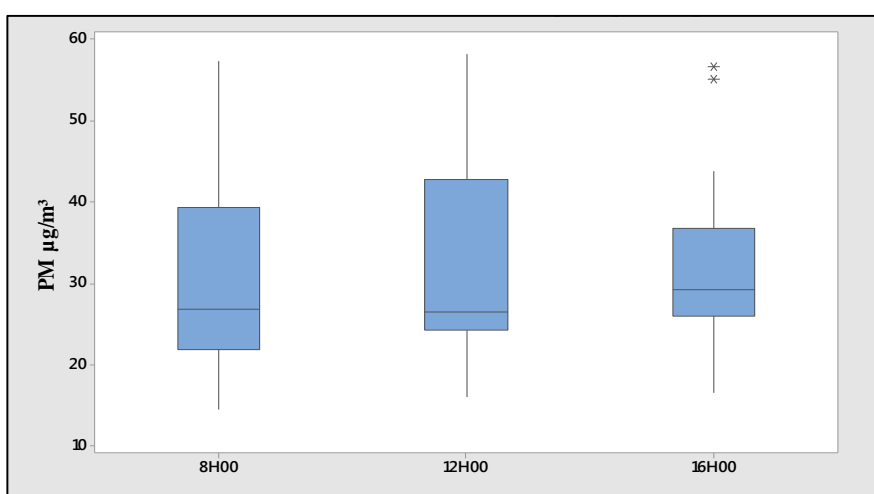
Fuente: Los autores (2019)

En la figura anterior, el diagrama de cajas para las 8H00, 12H00 y 16H00 muestra que aproximadamente el 75% de los valores de concentración de $PM_{2,5}$ sobrepasan los LMP de la OMS y estando por debajo de la normativa del TULSMA. De igual forma, se presenta un valor atípico de $61,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tomado a las 8H00.

5.2.3.2. Material particulado volátil PM_{10}

Para PM_{10} , se determinó un valor medio para las 8h00, 12h00 y 16h00 de $30,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $32,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $33,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; el valor máximo registrado en el sector de estudio es de $58,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $14,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el rango, que se visualiza en la **Figura 10**, que estableció el análisis estadístico es de $42,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $42,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente para cada una de las horas.

Figura 10. Distribución de PM_{10} , cabecera parroquial Calpi



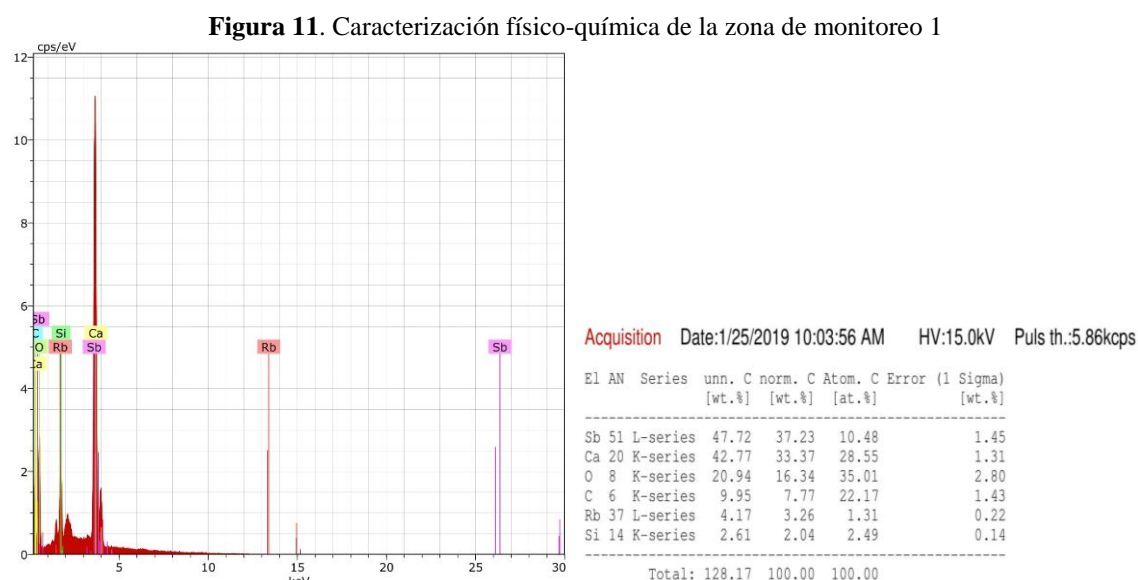
Fuente: Los autores (2019)

En la figura anterior, el diagrama de cajas para las 8H00, 12H00 y 16H00 muestra que aproximadamente el 75% de los valores de concentración de PM₁₀ sobrepasan los LMP de la OMS y estando por debajo de la normativa del TULSMA. De igual forma, se presentan valores atípicos de 55,14 µg/m³ y 56,43 µg/m³ tomado a las 16H00.

5.3. Caracterización química del PMS

La composición química del PMS, se lo realizó a partir de una muestra representativa de cada punto de monitoreo mediante la técnica de espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX), en el laboratorio de microscopia de la UNACH.

En la **Figura 11** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 1, en la cual nos arroja valores en porcentajes de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de antimonio (Sb) y calcio (Ca) de 37,23% y 33,37% respectivamente, en el cual predomina el antimonio que según la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (2016) menciona que “el antimonio es liberado en pequeñas cantidades hacia el medio ambiente a través de incineradores y plantas generadoras de energía por combustión de carbón”, seguido de oxígeno (O) y carbono (C) con un 16,34% y 7,77% respectivamente finalmente se encuentra valores bajos de rubidio (Rb) y silicio (Si) con un 3,26% y 2,04% respectivamente.

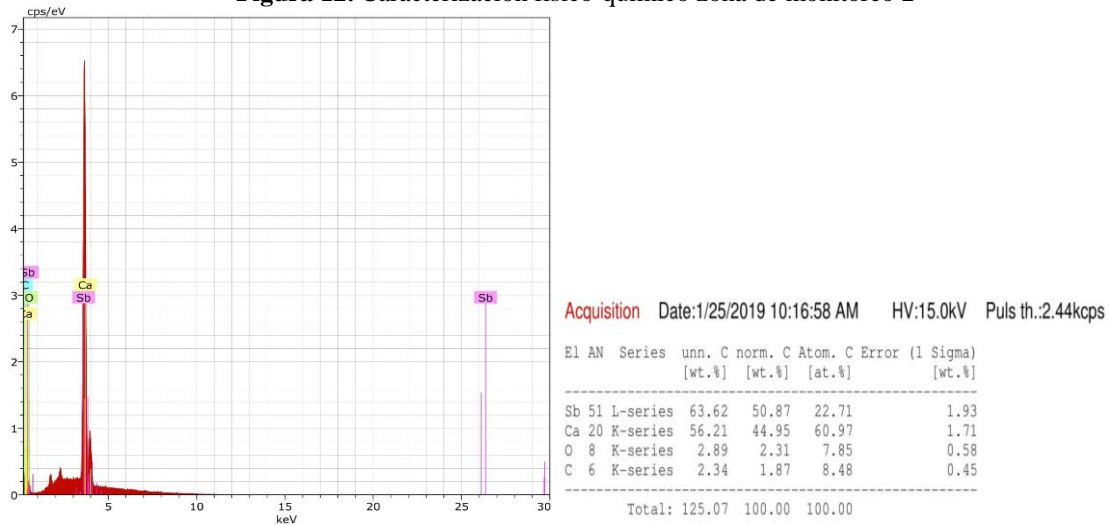


Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 12** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 2, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt.

%) de elementos químicos de Sb y Ca de 50,87% y 44,95% respectivamente, seguido de O y C con un 2,31% y 1,87% respectivamente.

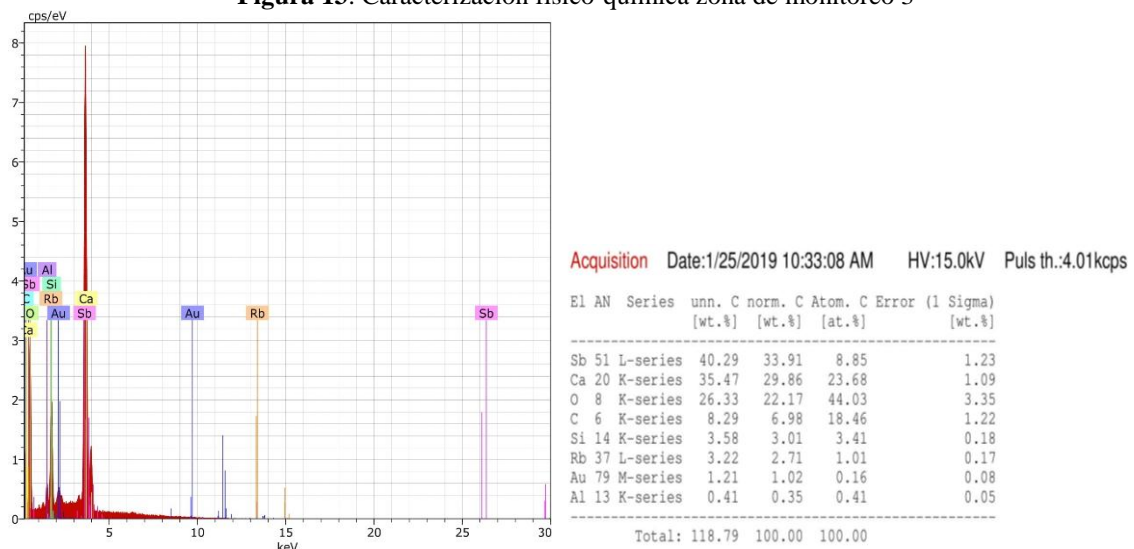
Figura 12. Caracterización físico-químico zona de monitoreo 2



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 13** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 3, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de Sb y Ca de 33,91% y 29,86% respectivamente, seguido de O y C con un 22,17% y 6,98% respectivamente, por último, se encuentra valores de Si y Rb con un 3,01% y 2,71% respectivamente. Existen también valores mínimos de oro (Au) que sería parte del proceso de microscopia más no de la muestra en sí; y de aluminio (Al) que no son representativos.

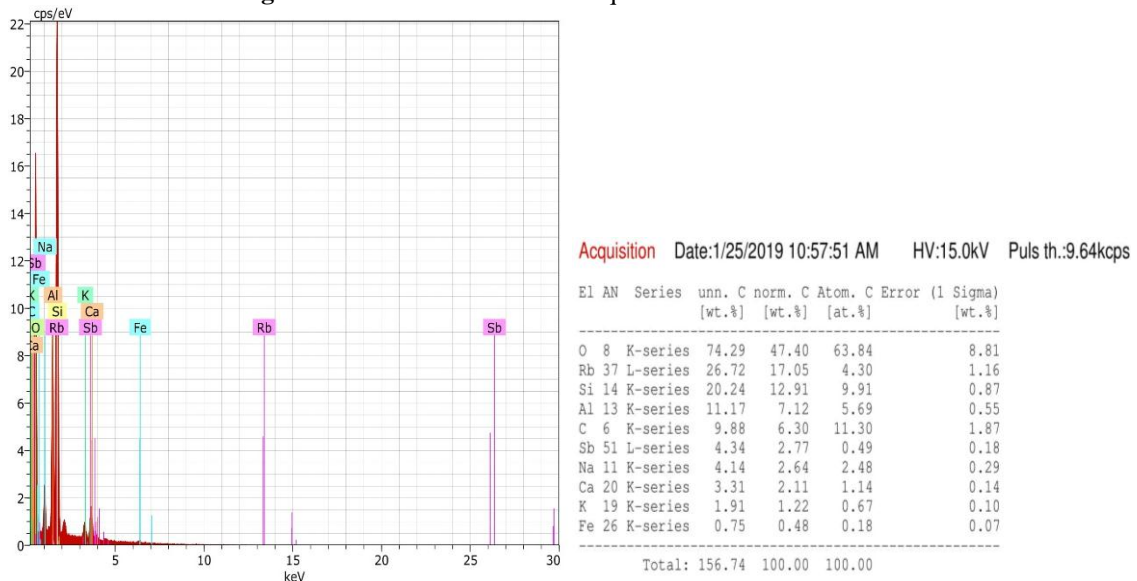
Figura 13. Caracterización físico-química zona de monitoreo 3



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 14** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 4, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de O, Rb, Si, Al de 47,40%, 17,05%, 12,91% y 7,12% respectivamente, seguido de Ca, Sb y sodio (Na) con un 6,30%, 2,77% y 2,11% respectivamente, por último, se encuentran valores mínimos de potasio (K) y hierro (Fe) con 1,22% y 0,48% respectivamente.

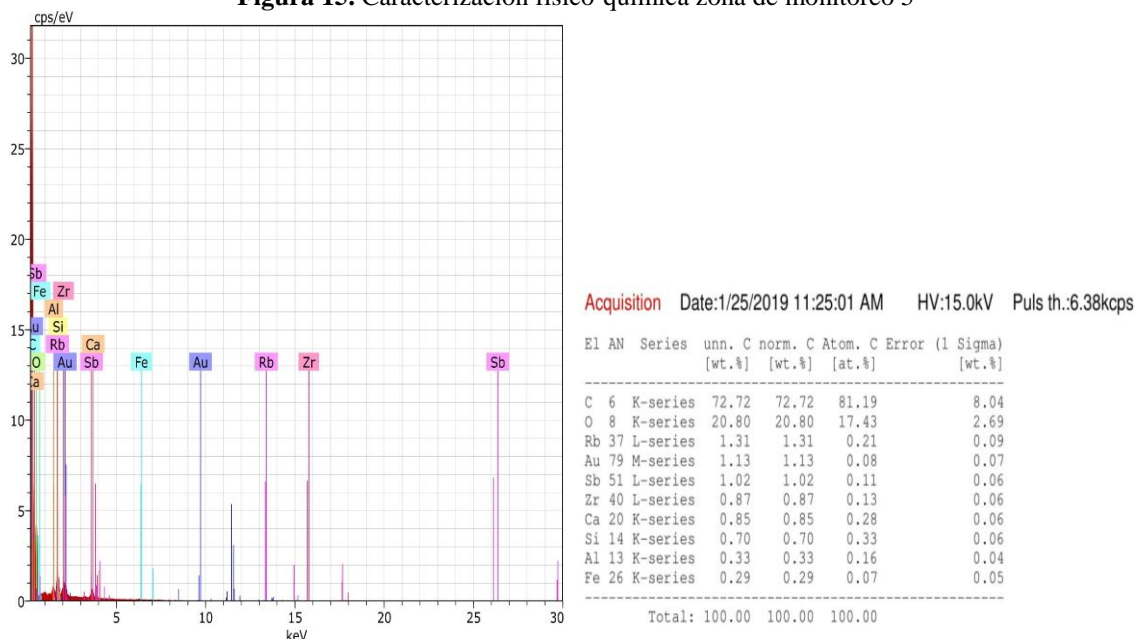
Figura 14. Caracterización físico-química zona de monitoreo 4



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 15** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 5, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de C y O de 72,72% y 20,80% respectivamente, seguido de valores mínimos de Rb, Au, Sb, zirconio (Zr), Ca, Si, Al y Fe de 1,31%, 1,13%, 1,02%, 0,87%, 0,85%, 0,70%, 0,33% y 0,29% respectivamente.

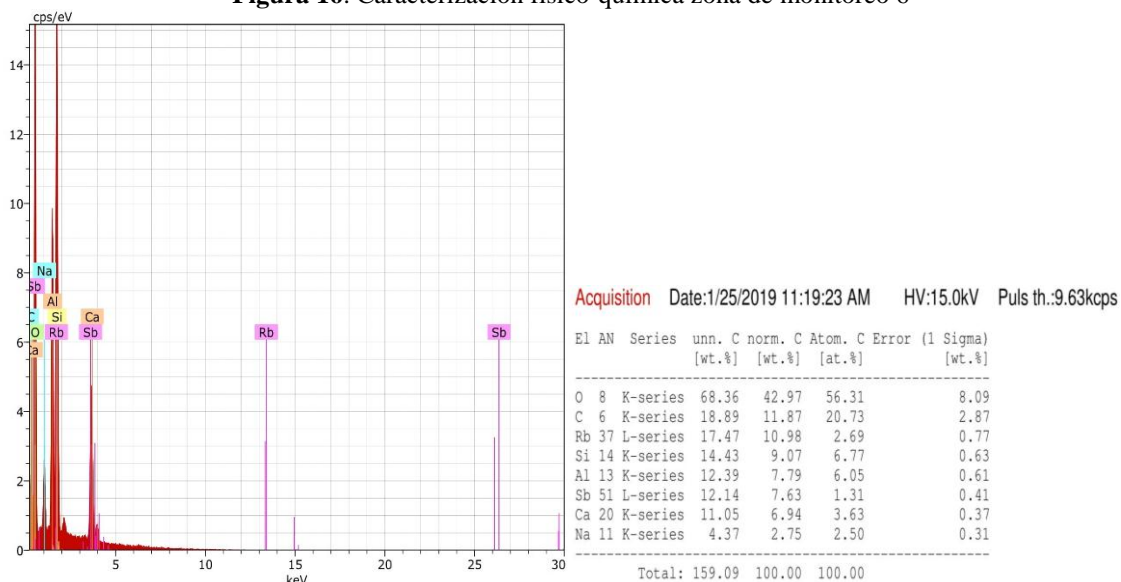
Figura 15. Caracterización físico-química zona de monitoreo 5



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 16** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 6, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de O y C de 42.97% y 11.87% respectivamente, seguido de Rb, Si, Al, Sb, Ca con valores de 10,98%, 9,07%, 7,79%, 7,63%, 6,94%, y 2,75% respectivamente finalmente se encuentran un valor mínimo de Na con un 0%.

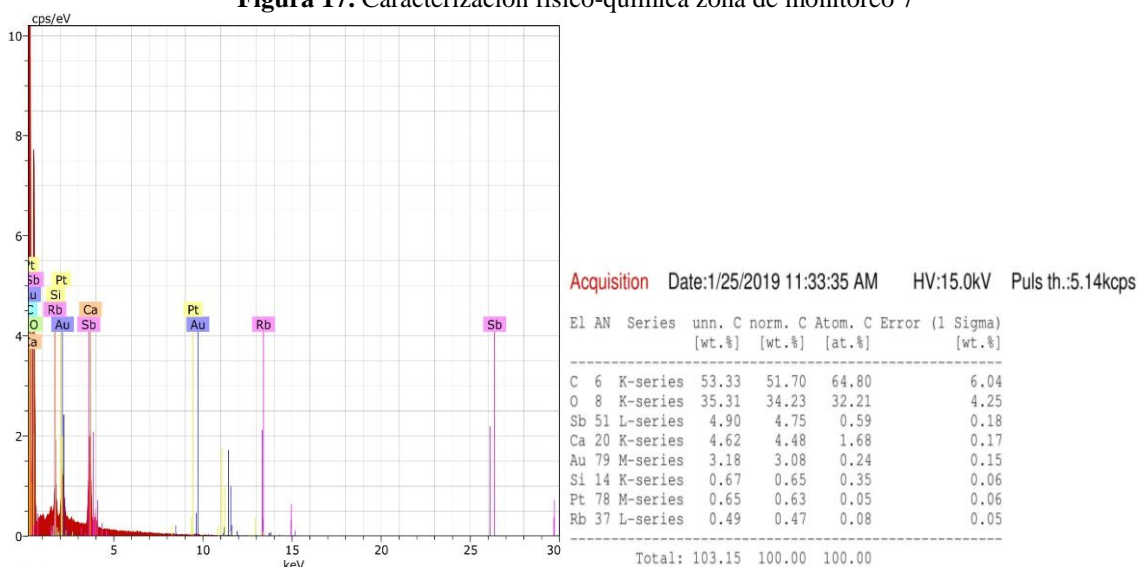
Figura 16. Caracterización físico-química zona de monitoreo 6



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Figura 17** se indica el análisis químico de la muestra del punto de monitoreo N.º 7, en la cual nos arroja valores en porcentaje de concentración (columna 5 (norm. C [wt. %])) de elementos químicos de C y O de 51,40% y 34,23% respectivamente, seguido de Sb, Ca y Au de 4,75%, 4,48% y 3,08% finalmente tenemos valores mínimos de Si, platino (Pt) y Rb de 0,65%, 0,63% y 0,47% respectivamente.

Figura 17. Caracterización físico-química zona de monitoreo 7



Fuente: Los autores (2019), adaptado de UNACH. Laboratorio de microscopía

En la **Tabla 6**, se indica el total de los elementos encontrados en cada uno de los puntos de monitoreo, esto obtenido a partir de un promedio entre las cinco puntas de cada uno de las muestras analizadas en el MEB, en los cuales se puede constatar la existencia de una similitud de elementos químicos en todos los puntos de monitoreo, los cuales corresponden al O, C, Sb y Ca, y que también son los que más prevalecen en todos los puntos.

Tabla 6. Elementos químicos encontrados en cada punto de monitoreo.

Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5		Punto 5		Punto 7	
Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%	Elemento	%
O	42,06	O	31,05	Sb	29,40	O	44,60	O	34,17	O	31,40	C	31,72
C	39,31	Sb	16,51	O	29,05	Rb	14,46	Sb	29,67	C	25,93	Sb	25,88
Sb	13,27	Ca	14,82	Ca	23,13	C	13,33	Ca	25,90	Sb	15,53	O	24,60
Ca	11,93	C	12,95	C	10,54	Sb	11	Rb	14,19	Ca	13,65	Ca	23,58
Rb	10,29	Rb	11,40	N	6,58	Fe	10,53	C	11,87	Rb	4,60	Rb	8,04
Si	8,08	Si	9,35	Rb	6,47	Si	8,59	N	7,98	Al	4,06	In	5,12
Al	6,17	Al	4,67	Si	5,96	Ca	7,75	Si	5,91	Si	3,83	Si	4,70
In	3,90	Au	2,88	Fe	4,74	Al	5,18	Al	3,84	Fe	1,78	N	3,64
Na	3,14	Fe	2,10	Al	1,62	In	3,72	Au	2,58	Au	1,70	Au	6
Fe	2,36	Na	1,28	Au	0,73	Au	2,68	Fe	1,19	Na	1,50	Al	2,47

Ba	1,76	K	1,10	K	0,71	Co	2,33	Mn	1,12	Zr	0,87	Nb	1,57
K	0,73	Mg	0,86	Mg	0,42	Na	2,01	Na	1,09	-	-	Ba	1,40
-	-	Ba	0,73	Na	0,35	K	1,00	Mg	0,78	-	-	Fe	1,07
-	-	-	-	-	-	-	-	S	0,67	-	-	Pt	1,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Na	0,68

Fuente: Los autores (2019)

En la **Tabla 7**, se observa el promedio global de concentración de cada uno de los elementos encontrados en la muestra, donde se obtuvo un total de 21 elementos químicos, los cuales se los clasifica en base al porcentaje de concentración existente, entre ellos tenemos elementos químicos mayoritarios, elementos químicos de menor concentración y elementos químicos de cantidades inferiores.

Tabla 7. Promedio total de cada elemento

Elementos químicos mayoritarios (%)	Elementos de menor concentración (%)	Elementos químicos de cantidades inferiores (%)
O=33,85	Si=6,63	Nb=1,57
C=20,81	N=6,07	Na=1,44
Sb=20,40	In=4,25	Ba=1,30
Ca=17,25	Al=4,00	Mn=1,12
Rb=9,92	Fe=3,40	Pt=1,03
	Co=2,33	K=0,89
	Au=2,19	Zr=0,87
		Mg=0,69
		S=0,67

Fuente: Los autores (2019)

De entre los elementos químicos mayoritarios, se encontraron O y C, con valores en porcentaje de 33,85% y 20,81% respectivamente, los cuales se produce por la quema de combustibles fósiles como carbón, gas y petróleo que liberan partículas en la atmósfera (Bergman, 2011), por otro lado, para el caso del elemento rubidio, este se produce debido a residuos generados, por procesos de quema de combustibles fósiles (Díaz, 2011); esto se relaciona, ya que alrededor del dominio de estudio existe la presencia de industrias como caleras que durante su proceso de producción, se evidencia el uso de hornos que queman combustible, aunque por otro lado otro, este elemento también podría tener relación con el tráfico vehicular en horas pico.

Así también estos resultados guardan relación con lo que sostiene Gao *et al.*, (2002) que “Los principales elementos encontrados por la quema de combustibles fósiles,

transformación de metales e incineración de residuos son el Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, V, Sb”, dentro de los cuales el Sb se encuentra como uno de los elementos químicos de mayor concentración con un porcentaje del 20,40%.

Por otro lado, también se encuentra el Ca y el Si con un porcentaje de concentración de 17,4% y 6,63% respectivamente, los cuales corresponde a un elemento químico que puede provenir del suelo y de la corteza terrestre (Quijano, Saury, & Peña, 2013). Esto tiene relación debido a que en la zona de estudio corresponde a un suelo de areniscas y conglomerados, sin embargo, la presencia de Ca y Si, puede tener relación a la presencia de diversas industrias caleras existentes alrededor de la zona de estudio.

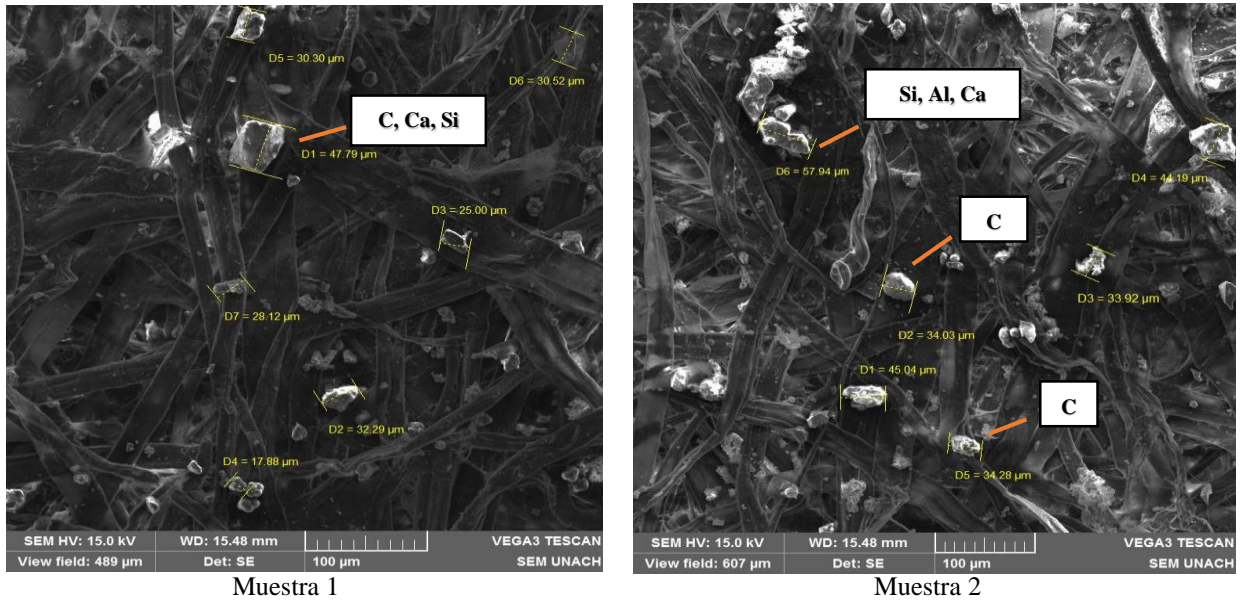
En lo que respecta a los elementos de menor concentración se identificaron al silicio (Si), nitrógeno (N), indio (In), aluminio (Al), hierro (Fe), cobalto (Co) y oro (Au), en la cual el Fe “pueden estar asociados a la contaminación por fuentes vehiculares” (Gutierrez, Quijano, & Quijano, 2012), así mismo se ve como lo mencionado anteriormente tiene relación, ya que por la cabecera parroquial de Calpi, además de industrias, existe la presencia de una vía principal muy transitada durante todos los días del año, la misma que comunica la sierra con la costa ecuatoriana, además la presencia de vehículos en las horas pico que podrían estar contribuyendo a la presencia de este tipo de elementos químicos en el material particulado del aire.

Finalmente, de entre los elementos químicos en cantidades inferiores se identificaron al niobio (Nb), sodio (Na), bario (Ba), manganeso (Mn), platino (Pt), potasio (K), zirconio (Zr), magnesio (Mg) y azufre (S), de los cuales el Mn es considerado carcinógeno (Arciniégas, 2012), y el K “que pueden provenir de los procesos industriales” (Gutierrez et al., 2012), teniendo una relación con lo mencionado, ya que alrededor tenemos la existencia de diferentes tipos industrias, las cuales tienen procesos de incineración para su funcionamiento.

5.4. Caracterización morfológica

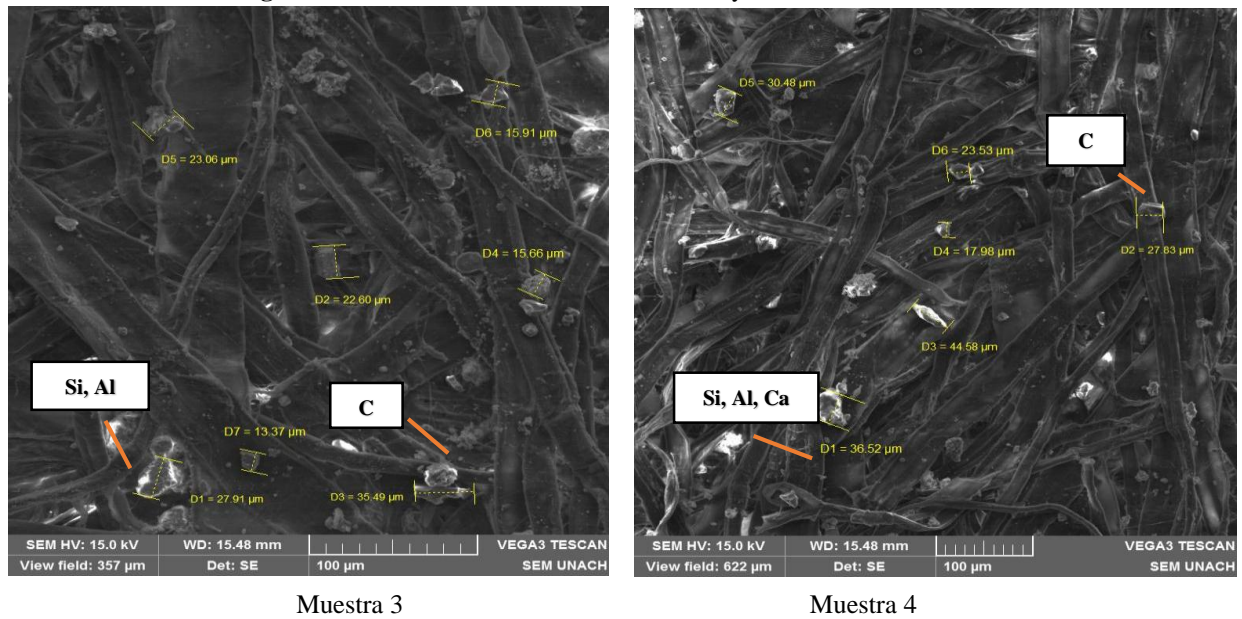
Las siete muestras de PMS fueron analizadas morfológicamente con el uso del MEB, en la cual se tomaron imágenes a 100x en la parte central de la muestra, para poder identificar el tamaño y la forma del material particulado sedimentable. A continuación, se observa las siguientes imágenes.

Figura 18. Diámetros del PM de la muestra 1 y 2, observados a 100x



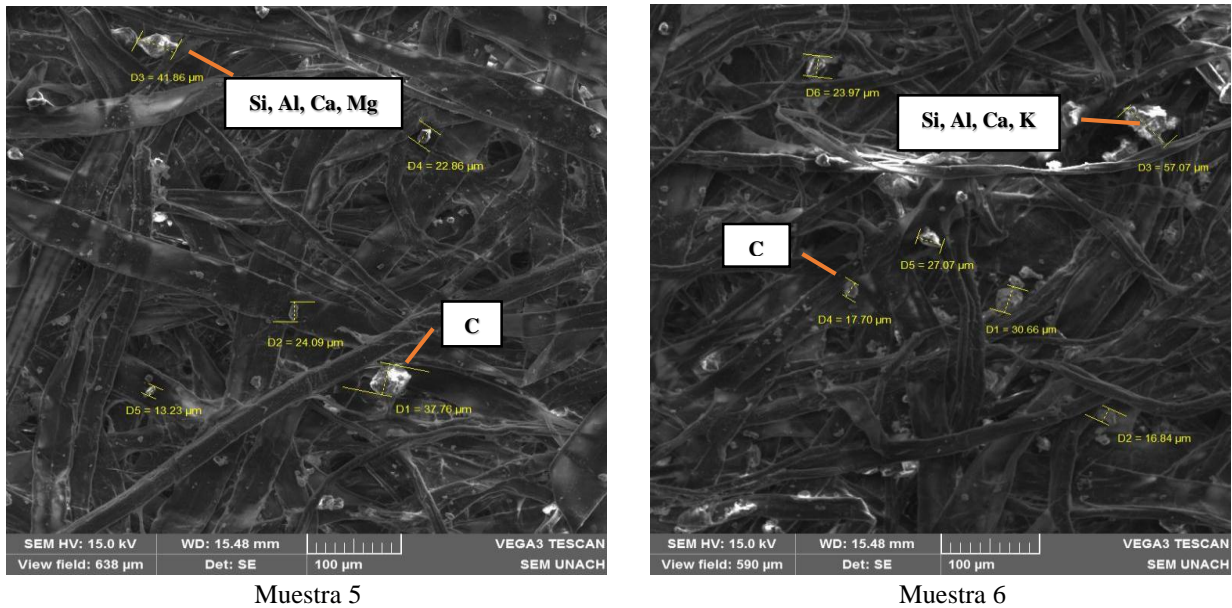
Fuente: Los autores (2019)

Figura 19. Diámetros del PM de la muestra 3 y 4, observados a 100x



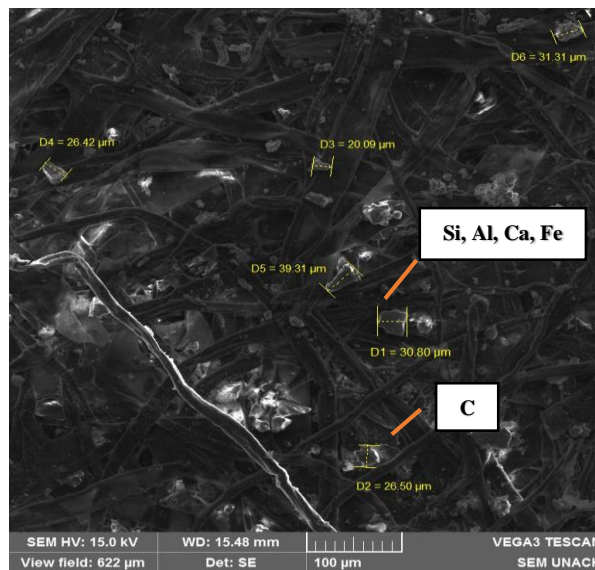
Fuente: Los autores (2019)

Figura 20. Diámetros del PM de la muestra 5 y 6, observados a 100x



Fuente: Los autores (2019)

Figura 21. Diámetros del PM de la muestra 7, observado a 100x



Fuente: Los autores (2019)

De las siete muestras recolectadas, se observó la morfología de 48 partículas, en las cuales, los tamaños de estas partículas sobrepasan los valores de 2,5 μm y 10 μm en relación a los datos tomados para el PMV, siendo así que el promedio de la muestra 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 son 30,65 μm , 47,56 μm , 24,85 μm , 30,65 μm , 27,96 μm , 27,88 μm y 29,07 μm , respectivamente, esto se debe a la aglomeración entre partículas por humedad en el ambiente en las que la finas se unen a las gruesas por tensión superficial, colisionando entre sí (García, 2010). Además, se determinó el tamaño de las partículas al azar en todas

las muestras, teniendo así que, la partícula más pequeña tiene un tamaño de 13,23 μm , mientras que la partícula más grande tiene un tamaño de 47,79 μm .

En las muestras obtenidas de la parroquia Calpi se identificaron en su mayoría conglomerados de PM los cuales provienen de la quema de carbón compuestos principalmente de C, Si, Ca. También se han observado partículas que en su mayoría son esféricas, esto debido a procesos de combustión de combustibles fósiles que se realiza en el sector como la quema de carbón, madera y aceite quemado los cuales se trabaja a altas temperaturas llevados a cabo en la industria de caleras, bloqueras.

De igual forma, producto de procesos de combustión incompleta (automóviles, carbón, quema de biomasa) muy comunes en la parroquia Calpi, se encontró partículas de forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa, esto debido a la aglomeración de elementos químicos tales como Al, Fe, Si, Na, Ca, Sb, Rb presentes en cada uno de las muestras.

5.5. Simulación de la dispersión de contaminantes de PM

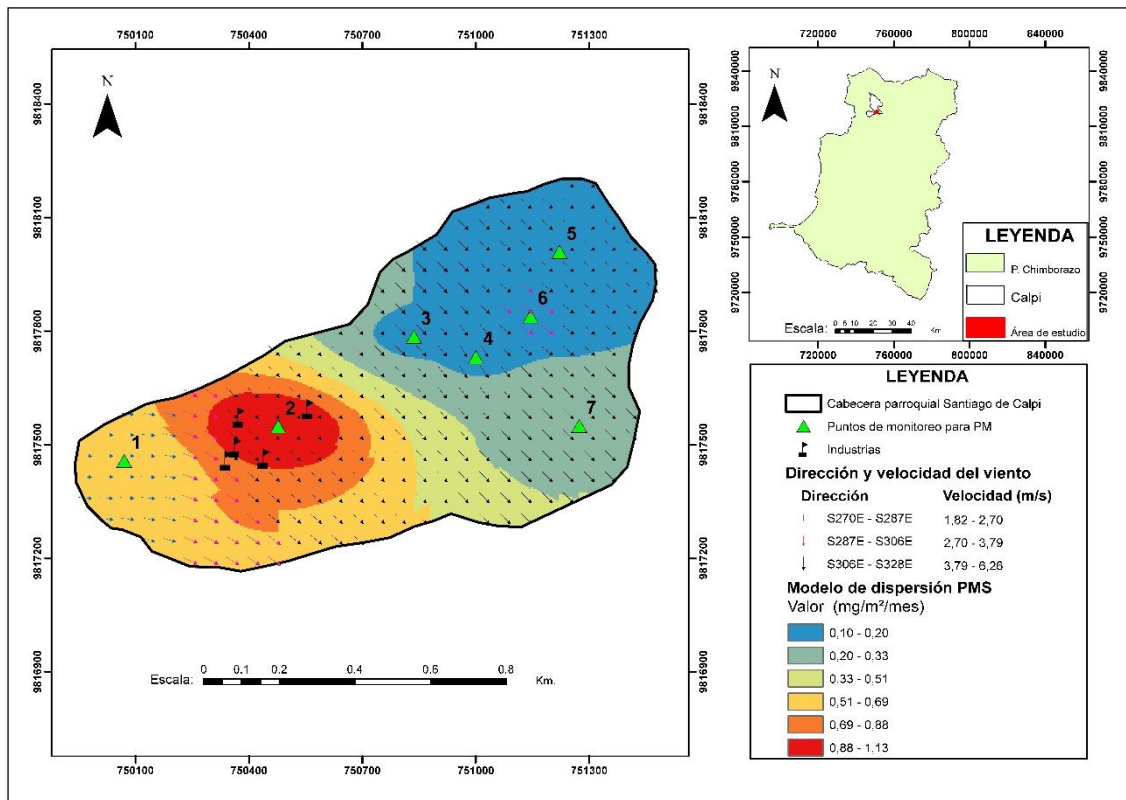
Por último, se elaboraron 3 mapas de simulación para visualizar la dispersión y concentración de material particulado volátil $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} , y PMS durante el período noviembre-diciembre de 2018. Dentro del análisis estadístico se obtuvo una predicción del 99,96%, 99,79% y 99,70%, con un error del de 0,04%, 0,21% y 0,30%.

Así también, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con dos variables, coordenadas en X y Y, y los datos de dirección de viento que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Dirección de Aviación Civil (DAC) y la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH); las unidades de la dirección están dadas en grados; la dirección es 270° y de 329° , indicando que el PM se mueve en esta dirección.

En la **Figura 22** se indica el mapa de simulación, en el cual, se indica la concentración y dispersión de PMS, se tiene un valor alto de concentración en el punto 2 de 1,128 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ el cual sobrepasa todos lo LPM propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), seguido del punto 1 con un valor mínimo de 0,535 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ y un máximo de 0,69 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ que sobrepasa el LMP de la OMS pero no la del TULSMA

que es menos exigente, esto se relaciona por la presencia industrial a sus alrededores, así como la presencia de una vía principal o panamericana sur que atraviesa el lugar, la dirección del viento tiene un sentido sureste con variaciones en la velocidad del viento de entre media y alta correspondiente a valores de 2,70 m/s a 6,26 m/s respectivamente. Para los puntos de monitoreo 3,4,5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ se tiene una concentración mínima de 0,10 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$ y una máxima de 0,12 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{mes}$, las cuales no sobrepasan ninguno de los LMP propuestos por la OMS y el TULSMA, esto se relaciona porque los puntos se encuentran alejados de las actividades industriales además que para ese mes de monitoreo, se tiene velocidades de viento altas (3,79 m/s-6,26 m/s) en el área de estudio con dirección sureste que limpia el aire en el lugar.

Figura 22. Modelo de dispersión de PMS, en la cabecera parroquial de Calpi



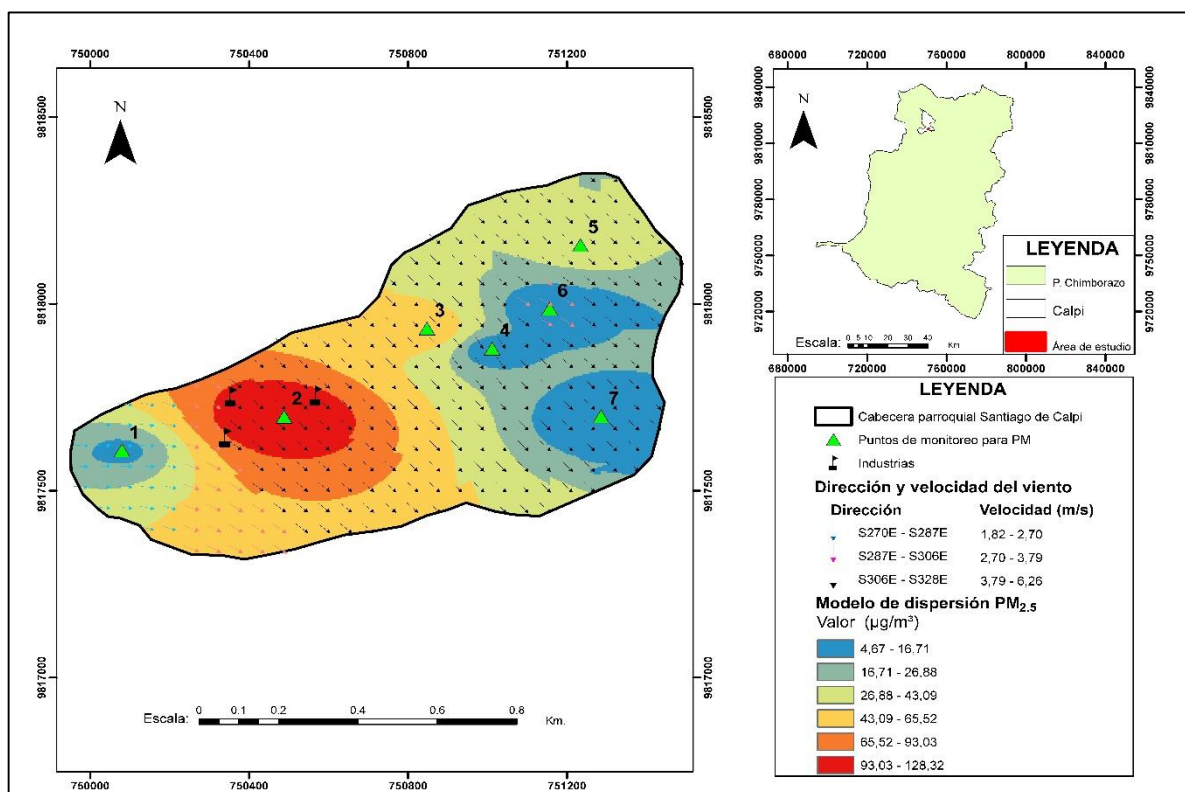
Fuente: Los autores (2019)

En la **Figura 23** se indica el mapa de simulación, en el cual, se indica la concentración y dispersión de $\text{PM}_{2,5}$, en el todo el dominio de estudio, donde se observa que la mayor concentración del $\text{PM}_{2,5}$, se da alrededor del punto de monitoreo 2 con un valor mínimo de $93,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $128,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes a una concentración alta, que sobrepasan todos los LMP propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), esto se relaciona ya que en el lugar se tiene la presencia de varias industrias

de cal y bloque, así como una vía principal que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, en la misma que se evidencia un gran flujo vehicular, la siguiente concentración corresponde al punto 3 con una mínima de $43,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $55,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido del punto 5 con una concentración mínima de $26,88$ y una máxima de $43,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Finalmente los puntos 1, 4, 6 y 7 con una concentración mínima de $4,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que la concentración en los demás puntos va disminuyendo ya que estos se van alejando de la influencia industrial así como de la vía principal antes mencionada, esto tiene relación también porque la dispersión del PM para este período de monitoreo se realiza en sentido sureste, con velocidades del viento mínimas de $1,82 \text{ m/s}$ y altas de $6,25 \text{ m/s}$, ayudando de esta manera a descontaminación del aire atmosférico en el área de estudio.

Figura 23. Modelo de dispersión $\text{PM}_{2,5}$ en la cabecera parroquial de Calpi



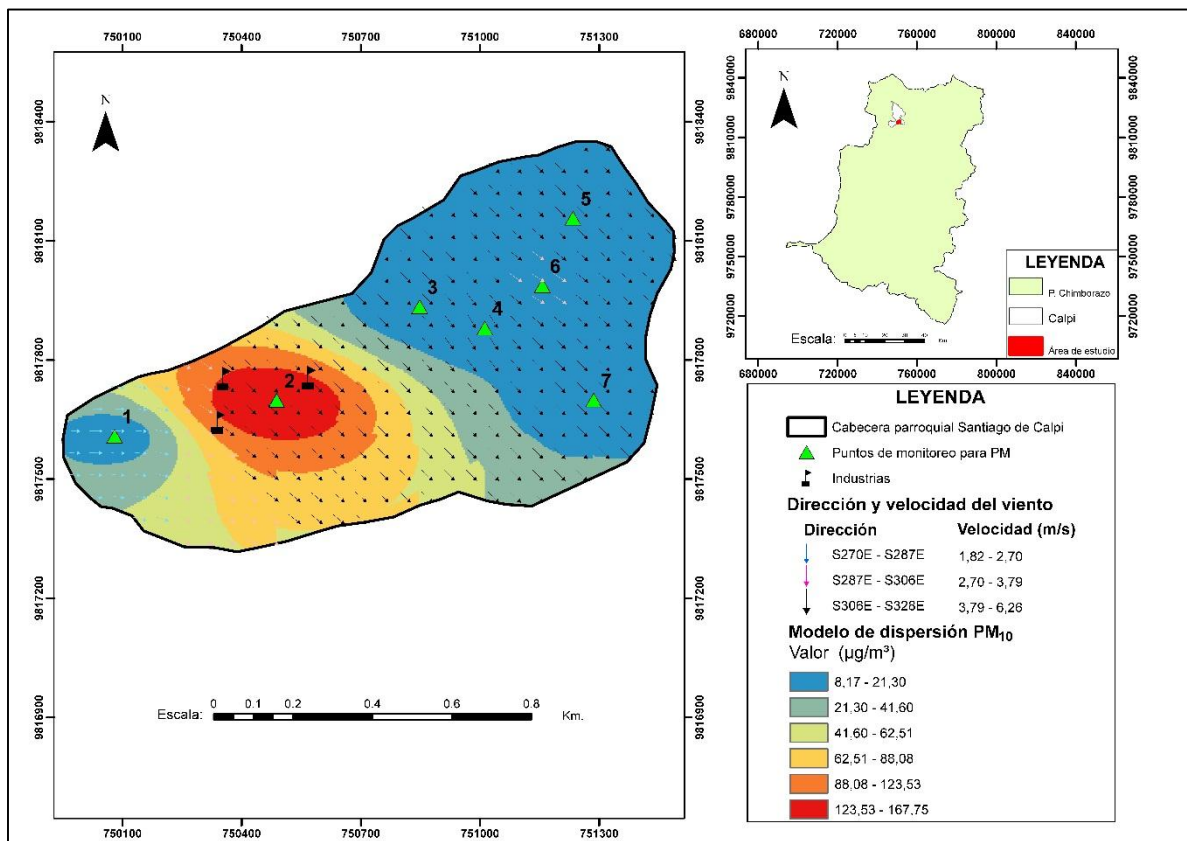
Fuente: Los autores (2019)

En la **Figura 24** se indica el mapa de simulación, en el cual, se indica la concentración y dispersión de PM_{10} , en el todo el dominio de estudio, donde se observa que la mayor concentración del PM_{10} , se da alrededor del punto de monitoreo 2 con un valor mínimo de $123,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máximo de $167,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondientes a una concentración

alta, que sobrepasan todos los LMP propuestos por las entidades reguladoras (OMS y TULSMA), esto se relaciona ya que en el lugar se tiene la presencia de varias industrias de cal y bloque, así como una vía principal que conecta la sierra con la costa ecuatoriana, en la misma que se evidencia un gran flujo vehicular.

Finalmente los puntos 1, 3,4, 5, 6 y 7 con una concentración mínima de $8,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un máxima de $21,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que evidencia que la concentración en estos puntos correspondientes al área poblada es baja, ya que estos puntos están alejados de la influencia industrial directa, así como de la vía principal antes mencionada, esto tiene relación también porque la dispersión del PM para este período de monitoreo se realiza en sentido sureste, con velocidades del viento mínimas de $1,82 \text{ m/s}$ y altas de $6,25 \text{ m/s}$, ayudando de esta manera a descontaminación del aire atmosférico en el área de estudio.

Figura 24. Modelo de dispersión PM_{10} en la cabecera parroquial de Calpi



Fuente: Los autores (2019)

6. Conclusiones

- Correspondiendo al análisis de PMS, se constató que las muestras 1 y 2 de concentraciones $0,535 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ y $1,128 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$ respectivamente sobrepasan los LMP propuestos por la OMS, mientras que para el TULSMA solamente la muestra 2 sobrepasa el LMP, sin embargo, las cinco muestras restantes no sobrepasan los LMP propuestos por las instituciones antes ya mencionadas debido a que estos puntos de muestreo están alejados de las industrias que generan PM.
- Con respecto al $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} se registró concentraciones que sobrepasan los LMP de la OMS y TULSMA en el punto de monitoreo 2, debido a que se encuentra ubicado cerca de las industrias, sin embargo, los demás puntos de monitoreo, al estar ubicados alejados de la mayoría de industrias, registraron concentraciones por debajo del valor permisible propuesto por las instituciones antes mencionados.
- Se encontró concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ similares al PM_{10} demostrando que en el dominio de estudio prevalece la quema de combustibles fósiles, actividades industriales y tráfico vehicular, así como la emisión de polvo atmosférico.
- Con relación a la morfología del material particulado, se caracterizó por tener forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa, además que los tamaños de las partículas están comprendidos entre $13,23 \mu\text{m}$ y $47,79 \mu\text{m}$, debido a la aglomeración de las partículas por humedad.
- Mediante la técnica de microscopía electrónica se han obtenido elementos químicos representativos tanto de combustión incompleta de combustibles fósiles como el Sb (Antimonio), C (Carbono) y O (oxígeno), así como elementos representativos de industrias dedicados a la elaboración de cemento o cal, como el Ca (Calcio) y el Si (Silicio).
- De acuerdo al modelo de simulación, la mayor concentración tanto de PMS y PMV se da en el punto de monitoreo 2, debido a la mayor cantidad de industrias presentes, mientras que en los demás puntos las concentraciones son menores, debido a la dirección del viento que estaba en sentido S270E a S329E con velocidades del viento que varía de entre media y alta con valores de $2,70 \text{ m/s}$ a $6,26 \text{ m/s}$ respectivamente.

7. Recomendaciones

- Es necesario la implementación de una red de monitoreo de calidad de aire durante todo el año, con la finalidad de llevar a cabo mediciones a largo plazo, para conocer los posibles incrementos o disminuciones de PMV y PMS, teniendo así un diagnóstico más robusto de la calidad de aire en el sector y se pueden tomar medidas más acertadas.
- Se deben realizar charlas de información a la población de Calpi sobre los riesgos y enfermedades que pueden producir los contaminantes atmosféricos como lo es el PM emanado de las industrias.
- Es recomendable una fase de sujeción adecuada para las cajas Petri en los equipos de sedimentación durante el período de muestreo para evitar que se vuelen a causa de las condiciones agrestes del clima.
- Se exhorta a realizar una investigación de monitoreo a las fuentes móviles (vehículos) y fijas (industrias) por individual para poder correlacionar la información con la obtenida en este estudio que se basó en un monitoreo en cual se obtuvo datos de emisión promedio globales, los cuáles son necesarios caracterizarlos por individual; esto debido a la existencia de una vía panamericana que conecta la costa con la sierra ecuatoriana por la cual se circulan gran variedad y cantidad de vehículos todos las horas los siete días de la semana, así como la presencia algunas industrias alrededor del lugar.
- Se recomienda realizar estudios similares en los poblados aledaños al dominio de estudio como San Juan y Gatazo Grande. Debido a la incidencia de la dirección del viento, que se pudo observar en el estudio realizado durante la etapa de monitoreo.

8. Bibliografía

- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2016). Resumen de salud pública: antimonio (antimony) | PHS | ATSDR. Retrieved May 7, 2019, from https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs23.html?fbclid=IwAR0BnBmCyqoRKtQcRkxED8HDNaHbMPRn0PSHabzYtut4xGQOmt8kByc3pNg
- Albuquerque, M., Coutinho, M., Rodrigues, J., Ginja, J., & Borrego, C. (2017). Long-term monitoring of trace metals in PM10 and total gaseous mercury in the atmosphere of Porto, Portugal. *Atmospheric Pollution Research*, 8(3), 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.12.001>
- Angelo, G., & Calderón, S. (2014). Estudio acerca del material particulado emitido en ciudades de tamaño medio al sur de Santiago de Chile. *Revista INGE CUC*, 10, 97–108.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Luna Azul*, (34), 195–213. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000100012
- Barea, E., Montoro, C., & Navarro, J. A. R. (2014). Toxic gas removal-metal-organic frameworks for the capture and degradation of toxic gases and vapours. *Chem. Soc. Rev*, 43, 5419. <https://doi.org/10.1039/c3cs60475f>
- Bergman, J. (2011). Carbón negro. Retrieved May 7, 2019, from https://www.windows2universe.org/earth/climate/black_carbon.html&lang=sp
- Brusseau, M. L., Matthias, A. D., Comrie, A. C., & Musil, S. A. (2019). Atmospheric pollution. In *Environmental and Pollution Science* (pp. 293–309). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00017-3>
- Cáceres, D. (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (MP 2.5) en niños que viven próximos a una playa contaminada con relaciones mineros, Chañaral, Chile. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universitat Autònoma de Barcelona.

- Centeno, L. (2015). *Plan de desarrollo turístico sostenible para La parroquia Santiago de Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from [http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4258/1/23T0487 .pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4258/1/23T0487.pdf)
- Cevallos, V. M., Díaz, V., & Sirois, C. M. (2017). Particulate matter air pollution from the city of Quito, Ecuador, activates inflammatory signaling pathways in vitro. *Innate Immunity*, 23(4), 392–400. <https://doi.org/10.1177/1753425917699864>
- Dèdelé, A., & Miškinytė, A. (2018). Seasonal and site-specific variation in particulate matter pollution in Lithuania. *Atmospheric Pollution Research*. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.004>
- Díaz, G. (2011). *Desarrollo sustentable: agua, aire, sólidos*. (Isabel Salinas, Ed.). Nuevo México. Retrieved from <https://issuu.com/citecanos/docs/tomo2>
- Escudero, P. D. (2017). *Material particulado y su incidencia en alteraciones respiratorias en los trabajadores de la construcción en viviendas rurales tipo MIDUVI*. Universidad Técnica de Ambato.
- ESTRUCPLAN. (2015). Transporte y dispersión de contaminantes en el aire ambiental. Retrieved from <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidos-y-gaseosos/transporte-y-dispersion-de-contaminantes-en-el-aire-ambiental/>
- Flores, J., Manoj, S., Junming, W., & Denise, H. (2011). Particulate matter dispersed by vehicles running on agricultural unpaved roads. *Terra Latinoamericana*, 29, 23–24.
- Fromme, H. (2018). Particulate matter and ultrafine particles in indoor air. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11243-6>
- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier Van Der Gon, H., Facchini, M. C., ... Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217–8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>

- GAD Santiago de Calpi. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquia Santiago de Calpi*.
- GADM Riobamba. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Riobamba*. Riobamba.
- García, P. (2010). *Avances en aglomeración y compactación de partículas*. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Santiago de Compostela. Retrieved from https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2822/9788498874266_content.pdf;jsessionid=808D37B254046D51C5E04DAAA458CBF9?sequence=1
- Garrido, A., & Camargo, Y. (2012). Partículas respirables en el aire : generalidades y monitoreo en Latinoamérica. *Inge Cuc*, 8(1), 293–312. Retrieved from <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/268>
- Gaviria, C. F., Muñoz, J. C., & González, G. J. (2012). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(3), 316–327. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v30n3/v30n3a08.pdf>
- González, M. I. (2011). *Determinar los perfiles de temperatura de un horno para ladrillos del sector Chambo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- González, Y. (2012). *Caracterización físico-química del material particulado atmosférico de origen industrial en Andalucía : memoria para optar al grado de doctora*. Universidad de Huelva, Huelva.
- Gutierrez, J., Quijano, M., & Quijano, A. (2012). Monitoreo y caracterización físicoquímica del material particulado PM2.5 en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de La Faculta de Ciencias Básicas*, 10(1), 24–38. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/903/90326398008.pdf>
- ISTAS. (2012). ISTAS: Chemicals harmful to the atmosphere.
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, 151(2), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>

- Kurt, O., Zhang, J., & Pinkerton, K. (2016). Pulmonary health effects of air pollution. *Curr Opin Pulm Med.*, 22(2), 138–143. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46720-7>
- Lara, C. A. (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. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4706/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0005.pdf>
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
- Li, X., Song, H., Zhai, S., Lu, S., Kong, Y., Xia, H., & Zhao, H. (2019). Particulate matter pollution in Chinese cities: Areal-temporal variations and their relationships with meteorological conditions (2015–2017). *Environmental Pollution*, 246, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.103>
- Liora, N., Poupkou, A., Giannaros, T. M., Kakosimos, K. E., Stein, O., & Melas, D. (2016). Impacts of natural emission sources on particle pollution levels in Europe. *Atmospheric Environment*, 137, 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.04.040>
- López, A. (2017). *Análisis de la influencia de las características de los materiales pulverulentos sobre su poder de emisión de polvo*. Universitat Jaume i de Castelló, Castellón.
- MAE. (2017). *Texto unificado legislación secundaria de medio ambiente. Registro Oficial Edición Especial 2*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Marcos, R., & Valderrama, A. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. *Centro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF)*, 14.
- McNeill, V. F. (2019). Addressing the global air pollution crisis: chemistry's role. *Trends*

in Chemistry, 1(2), 333–336. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2019.01.005>

Mejía, D. (2016). *Estandarización del método de ensayo para material particulado PM10 Y PM2.5 con base en la NTC- ISO/IEC 17025:2005*. Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6466/333715M516.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OMS. (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Retrieved from [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)

Pui, D. Y. H., Chen, S.-C., & Zuo, Z. (2014). PM 2.5 in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particuology*, 13, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2013.11.001>

Quijano, A., Saury, T., & Peña, B. (2013). Determinación de Metales y Material Particulado PM 2.5 en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander. *Determination of Metals and Particulate Matter PM 2.5 in Air Samples from Villa Del Rosario, North Santander.*, 11(2), Quijano Parra, A., Saury, T. M., Peña Rodríguez,. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=100117786&lang=es&site=ehost-live>

Regalado, A. D. (2015). *Caracterización del material particulado suspendido PM10 de la red de monitoreo de aire de la ciudad de Quito de los años 2009 y 2010 por Espectroscopía de Absorción Atómica*. Universidad Nacional de Loja, Loja.

Santillán, G., Carrión, 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. *Revista Científica Perfiles*, 16(2), 32–39. Retrieved from <http://ceaa.esepoch.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles16Art5.pdf>

Santos, F. (2015). *Análisis de los niveles de PM10 en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana; aplicación metodológica para la obtención de la carga*

- neta del polvo sahariano*. Universidad Miguel Hernández. Retrieved from [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2717/1/Santos Santos%2C Fabian Alejandro.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2717/1/Santos_Santos%2C_Fabian_Alejandro.pdf)
- Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S.-H., Mortimer, K., ... Wuebbles, D. J. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases. *Chest*, *155*(2), 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>
- Schwarz, J., Pokorná, P., Rychlík, Š., Škáchová, H., Vlček, O., Smolík, J., ... Hůnová, I. (2019). Assessment of air pollution origin based on year-long parallel measurement of PM_{2.5} and PM₁₀ at two suburban sites in Prague, Czech Republic. *Science of The Total Environment*, *664*, 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.426>
- Secretaría de Ambiente. (2016). Informe anual de calidad del aire en Quito: informe anual 2015, 1–56. Retrieved from http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2015.pdf
- Sherrard, M. (2018). Gases that cause air pollution. Retrieved from <https://sciencing.com/gases-cause-air-pollution-7445467.html>
- TSI. (2018). Monitor de aerosol DustTrak II. Retrieved April 18, 2019, from <https://www.tsi.com/dusttrak-ii-aerosol-monitor-8532/>
- Wang, C., Zhao, L., Sun, W., Xue, J., & Xie, Y. (2018). Identifying redundant monitoring stations in an air quality monitoring network. *Atmospheric Environment*, *190*(July), 256–268. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.07.040>
- Wang, S., He, B., Yuan, M., Su, F., Yin, S., Yan, Q., ... Tang, X. (2019). Characterization of individual particles and meteorological conditions during the cold season in Zhengzhou using a single particle aerosol mass spectrometer. *Atmospheric Research*, *219*, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.021>
- West, J., Cohen, A., Dentener, F., Brunekreef, B., Zhu, T., & Armstrong B. (2016). What we breathe impacts our health: Improving understanding of the link between air

pollution and health. *Environmental Science & Technology*, 50(10), 4895–4904.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03827>

Zeng, S., & Zhang, Y. (2017). The effect of meteorological elements on continuing heavy air pollution: A case study in the chengdu area during the 2014 spring festival. *Atmosphere*, 8(4), 7–19. <https://doi.org/10.3390/atmos8040071>

9. Anexos

9.1. Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana TULSMA

Contaminante	Tiempo 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
PM _{2,5}	1 año	15 µg/m ³
	24 horas	65 µg/m ³

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

9.2. Estándares establecidos por la OMS

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm ² /mes
	1 año	20 µg/m ³
PM ₁₀	24 horas	50 µg/m ³
	1 año	10 µg/m ³
PM _{2,5}	24 horas	25 µg/m ³

Fuente: (OMS, 2018)

9.3. Datos de PM_{2,5} en cada punto a diferente horario

Día	PM _{2,5} (µg/m ³)																				
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6			Zona 7		
	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00
1	3	13	2	226	221	127	6	7	6	5	11	10	6	12	12	3	11	11	4	6	6
2	27	13	19	109	34	69	6	7	9	4	11	18	3	12	8	3	11	14	3	6	8
3	87	110	93	95	37	75	4	6	4	4	6	3	2	5	3	4	3	7	6	3	4
4	9	8	6	82	92	95	8	9	5	9	3	4	8	9	8	8	8	7	6	7	5
5	18	4	3	172	346	255	9	7	6	9	7	8	8	12	9	11	7	6	6	9	5
6	13	12	10	147	225	353	7	4	3	6	2	3	8	2	5	7	4	7	12	4	3
7	9	8	6	128	122	125	5	6	6	3	4	2	5	5	6	4	3	3	2	2	4
8	87	6	5	162	189	153	10	10	10	18	8	7	12	9	11	10	7	5	11	7	6
9	4	8	7	195	240	103	3	4	6	4	4	6	3	6	8	5	3	4	4	4	5
10	10	5	7	114	124	118	9	7	8	7	4	3	5	3	7	4	3	5	6	3	7
11	4	8	7	195	240	103	3	4	6	4	4	6	3	6	8	5	3	4	4	4	5
12	10	5	7	114	124	118	9	7	8	7	4	3	5	3	7	4	3	5	6	3	7
13	4	8	10	189	112	204	6	14	10	5	7	9	8	6	11	8	13	9	7	9	12
14	2	7	10	372	110	140	13	11	9	9	13	10	11	12	9	10	13	10	12	11	12
15	15	12	12	140	169	202	15	11	10	12	13	11	14	19	7	13	9	8	14	15	11
16	16	14	23	234	150	132	15	3	9	17	4	8	13	5	6	12	4	6	15	8	5
17	3	7	8	117	170	116	3	9	6	5	4	5	4	6	4	5	6	7	3	14	2
18	23	13	12	105	140	132	12	10	12	13	12	9	12	14	8	1	10	10	15	13	12
19	15	12	9	220	114	159	12	9	11	13	12	13	16	14	13	10	12	11	11	9	8
20	11	13	16	204	181	195	10	5	8	5	3	8	4	2	5	7	2	6	8	4	7
21	17	14	12	108	144	133	10	90	80	12	7	9	11	80	7	6	3	5	7	5	6

Fuente: Los autores (2019)

9.4. Datos de PM₁₀ µm en cada punto a diferente horario

Día	PM ₁₀ (µg/m ³)																				
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6			Zona 7		
	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00	08H00	12H00	16H00
1	40	30	20	235	231	224	6	5	5	7	6	30	65	6	5	4	10	20	45	3	3
2	11	10	3	123	140	155	3	7	12	5	9	24	4	7	10	7	8	9	9	11	9
3	15	5	18	210	128	136	7	4	8	6	5	7	5	4	7	10	5	8	5	9	8
4	19	9	11	53	78	81	10	9	8	11	8	4	10	4	6	9	2	3	8	2	3
5	14	2	10	107	113	223	7	4	4	11	11	12	8	13	12	9	9	8	8	18	7
6	15	25	13	60	365	181	5	6	8	7	3	5	6	4	7	5	3	31	4	2	6
7	12	12	11	102	134	121	5	5	5	4	4	6	4	3	3	5	6	4	3	7	5
8	12	9	8	152	113	146	12	22	21	12	10	10	15	11	11	11	8	8	15	8	7
9	5	6	10	114	267	136	8	6	7	4	15	14	3	5	7	6	6	7	5	4	7
10	16	4	9	120	110	160	7	10	8	13	5	9	6	2	5	7	8	5	6	7	9
11	5	6	10	114	267	136	8	6	7	4	15	14	3	5	7	6	6	7	5	4	7
12	14	4	9	120	110	160	7	10	8	13	5	9	6	2	5	7	8	5	6	7	9
13	5	9	10	356	125	204	4	9	8	8	6	11	7	8	6	5	6	5	5	9	13
14	11	6	11	236	210	325	9	12	10	11	14	12	9	13	14	10	13	14	11	12	11
15	17	15	10	240	109	115	20	17	14	17	10	9	16	11	9	16	12	9	19	12	11
16	11	6	11	231	214	320	9	12	10	11	14	12	9	13	8	10	13	14	13	11	11
17	6	12	11	204	24	221	4	8	7	3	5	5	3	5	4	3	4	6	4	34	4
18	18	13	14	127	114	133	10	9	1	14	13	14	13	12	11	9	9	10	21	16	15
19	17	14	12	135	152	118	7	5	9	9	5	7	7	4	8	6	5	8	7	4	9
20	15	23	14	145	352	114	9	6	8	9	4	8	7	4	8	4	2	7	7	4	6
21	11	6	10	131	111	162	9	10	8	11	14	12	7	12	9	12	14	9	6	4	5

Fuente: Los autores (2019)

9.5. Análisis estadístico- Cabecera parroquial Calpi-PM_{2,5}

Variable	N	Media	EEM	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
8H00	21	31,46	2,27	10,41	18,57	22,22	31,14	35,86	61,29	42,72
12H00	21	30,57	2,23	10,21	13,44	22,79	30,00	37,28	56,00	46
16H00	21	28,78	1,98	9,09	18,57	21,43	27,00	35,50	54,86	36,29

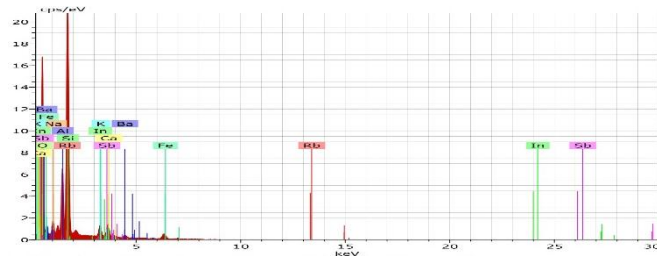
9.6. Análisis estadístico- Cabecera parroquial Calpi-PM₁₀

Variable	N	Media	EEM	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
8H00	21	30,92	2,67	12,22	14,57	21,93	26,86	39,43	57,43	42,86
12H00	21	32,42	2,63	12,06	16,00	24,36	26,57	42,78	58,29	42,29
16H00	21	32,25	2,19	10,04	16,57	26,07	29,29	36,78	56,71	40,14

9.7. Composición química del PMS en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi

Muestra 1

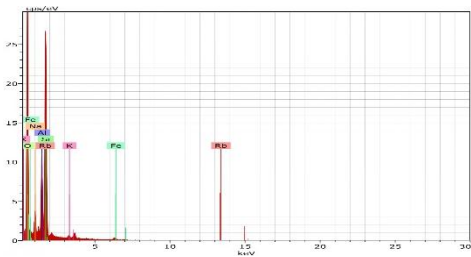
Centro



Acquisition Date:1/25/2019 9:47:09 AM HV:15.0kV Puls th.:9.15kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	80.12	49.49	72.88	9.46
Rb	37	L-series	28.37	17.52	4.83	1.23
Si	14	K-series	21.89	13.52	11.34	0.94
Al	13	K-series	8.75	5.40	4.72	0.44
Fe	26	K-series	5.45	3.37	1.42	0.23
In	49	L-series	3.88	2.39	0.49	0.16
Na	11	K-series	3.17	1.96	2.00	0.24
Ca	20	K-series	3.15	1.95	1.14	0.14
Sb	51	L-series	2.87	1.77	0.34	0.13
Ba	56	L-series	2.85	1.76	0.30	0.14
K	19	K-series	1.42	0.88	0.53	0.08
Total:			161.91	100.00	100.00	

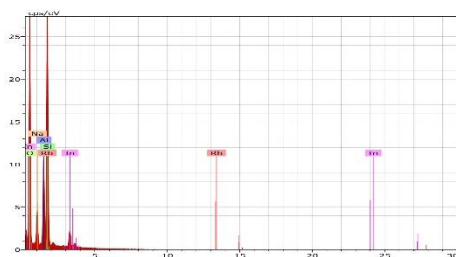
Punta 1



Acquisition Date:1/25/2019 9:52:29 AM HV:15.0kV Puls th.:13.09kcps

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
O	8	K-series	102.89	61.14	78.58	11.83
Rb	37	L-series	24.59	14.61	3.52	1.08
Si	14	K-series	20.65	12.27	8.98	0.89
Al	13	K-series	11.08	6.59	5.02	0.55
Na	11	K-series	5.84	3.47	3.11	0.40
Fe	26	K-series	2.27	1.35	0.50	0.13
K	19	K-series	0.96	0.57	0.30	0.07
Total:			168.29	100.00	100.00	

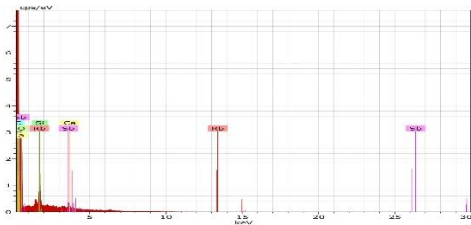
Punta 2



Acquisition Date:1/25/2019 9:57:42 AM HV:15.0kV Puls th.:13.06kcps

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
O	8	K-series	109.78	56.80	76.89	12.73
Rb	37	L-series	29.67	15.35	3.89	1.29
Si	14	K-series	23.05	11.93	9.20	0.99
Al	13	K-series	12.64	6.54	5.25	0.62
In	49	L-series	10.44	5.40	1.02	0.37
Na	11	K-series	7.70	3.98	3.75	0.52
Total:			193.28	100.00	100.00	

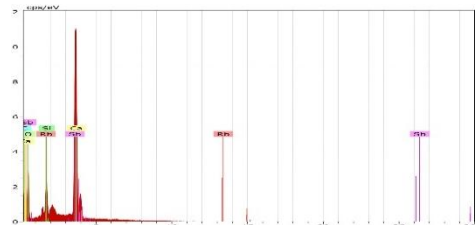
Punta 3



Acquisition Date:1/25/2019 10:00:27 AM HV:15.0kV Puls th.:4.44kcps

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
C	6	K-series	70.85	70.85	77.55	7.84
O	8	K-series	26.53	26.53	21.80	3.35
Sb	51	L-series	0.82	0.82	0.09	0.06
Rb	37	L-series	0.70	0.70	0.11	0.06
Si	14	K-series	0.65	0.65	0.31	0.06
Ca	20	K-series	0.46	0.46	0.15	0.04
Total:			100.00	100.00	100.00	

Punta 4

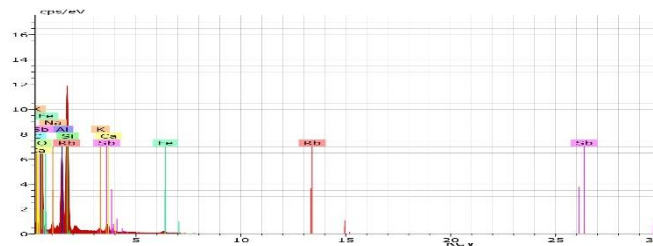


Acquisition Date:1/25/2019 10:03:56 AM HV:15.0kV Puls th.:5.86kcps

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
Sb	51	L-series	47.72	37.23	10.48	1.45
Ca	20	K-series	42.77	33.37	28.55	1.31
O	8	K-series	20.94	16.34	35.01	2.80
C	6	K-series	3.95	7.77	22.17	1.43
Rb	37	L-series	4.17	3.26	1.31	0.22
Si	14	K-series	2.61	2.04	2.49	0.14
Total:			128.17	100.00	100.00	

Muestra 2

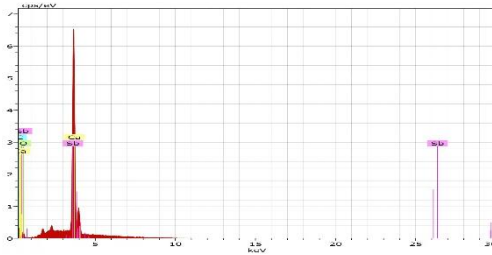
Centro



Acquisition Date:1/25/2019 10:10:16 AM HV:15.0kV Puls th.:6.46kcps

El	AN	Series	unn. C	norm. C	Atom. C	Error (1 Sigma)
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
O	8	K-series	60.80	45.14	56.01	7.24
C	6	K-series	19.60	14.55	24.06	3.03
Rb	37	L-series	18.87	14.01	3.25	0.83
Si	14	K-series	14.40	10.69	7.56	0.63
Al	13	K-series	10.82	8.03	5.91	0.53
Sb	51	L-series	3.03	2.25	0.37	0.13
Fe	26	K-series	2.38	1.76	0.63	0.13
Ca	20	K-series	2.17	1.61	0.80	0.10
Na	11	K-series	1.64	1.22	1.05	0.14
K	19	K-series	0.99	0.73	0.37	0.06
Total:			134.69	100.00	100.00	

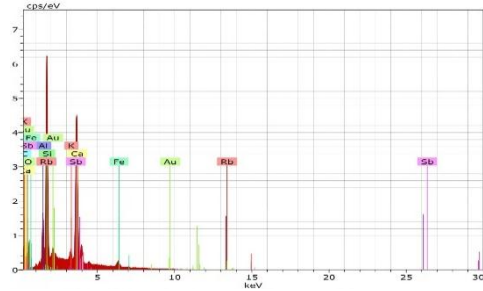
Punta 1



Acquisition Date:1/25/2019 10:16:58 AM HV:15.0kV Puls th.:2.44kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Sb	51	L-series	63.62	50.87	22.71	1.93
Ca	20	K-series	56.21	44.95	60.97	1.71
O	8	K-series	2.89	2.31	7.85	0.58
C	6	K-series	2.34	1.87	8.48	0.45
Total:			125.07	100.00	100.00	

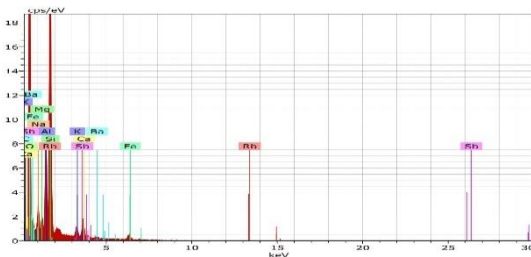
Punta 2



Acquisition Date:1/25/2019 10:12:45 AM HV:15.0kV Puls th.:3.83kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Sb	51	L-series	19.87	23.42	6.57	0.63
Ca	20	K-series	18.77	22.13	18.85	0.59
Rb	37	L-series	10.84	12.78	5.10	0.49
Si	14	K-series	9.80	11.55	14.04	0.44
C	6	K-series	9.13	10.76	30.57	1.43
O	8	K-series	6.58	7.76	16.56	1.05
Fe	26	K-series	3.19	3.77	2.30	0.15
Al	13	K-series	2.58	3.05	3.85	0.15
Au	79	M-series	2.44	2.88	0.50	0.13
K	19	K-series	1.61	1.90	1.66	0.08
Total:			84.82	100.00	100.00	

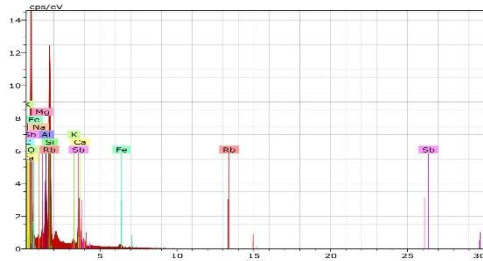
Punta 3



Acquisition Date:1/25/2019 10:20:39 AM HV:15.0kV Puls th.:11.85kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	106.75	55.45	68.02	12.30
Rb	37	L-series	22.65	11.76	2.70	0.99
Si	14	K-series	18.02	9.36	6.54	0.78
C	6	K-series	16.84	8.75	14.30	2.77
Al	13	K-series	9.25	4.81	3.50	0.46
Na	11	K-series	4.24	2.20	1.88	0.20
Fe	26	K-series	3.29	1.71	0.60	0.16
Sb	51	L-series	3.22	1.67	0.27	0.14
Ca	20	K-series	2.89	1.50	0.73	0.13
Mg	12	K-series	2.04	1.06	0.85	0.14
K	19	K-series	1.93	1.00	0.50	0.10
Ba	56	L-series	1.40	0.73	0.10	0.09
Total:			192.53	100.00	100.00	

Punta 4

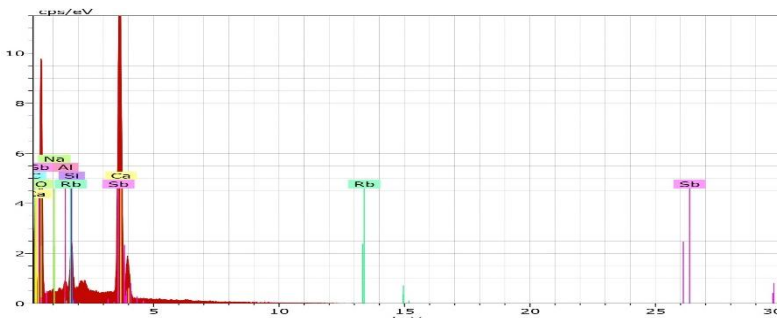


Acquisition Date:1/25/2019 10:23:07 AM HV:15.0kV Puls th.:8.69kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	76.19	46.58	48.14	8.92
C	6	K-series	49.22	28.80	41.43	6.17
Rb	37	L-series	12.01	7.03	1.42	0.54
Si	14	K-series	9.89	5.79	3.56	0.44
Sb	51	L-series	7.41	4.34	0.62	0.26
Ca	20	K-series	6.72	3.93	1.69	0.24
Al	13	K-series	4.75	2.78	1.78	0.25
Fe	26	K-series	2.00	1.17	0.36	0.11
Mg	12	K-series	1.10	0.65	0.46	0.09
K	19	K-series	0.85	0.50	0.22	0.06
Na	11	K-series	0.73	0.43	0.32	0.08
Total:			170.89	100.00	100.00	

Muestra 3

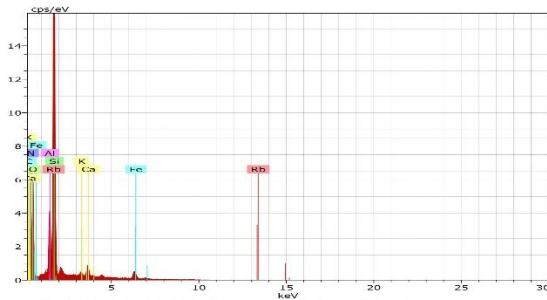
Centro



Acquisition Date:1/25/2019 10:28:07 AM HV:15.0kV Puls th.:7.20kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	46.70	31.99	52.95	5.64
Sb	51	L-series	42.06	28.81	6.27	1.29
Ca	20	K-series	37.26	25.53	16.87	1.15
C	6	K-series	13.93	9.54	21.04	1.90
Rb	37	L-series	2.57	1.76	0.55	0.15
Si	14	K-series	2.29	1.57	1.48	0.13
Al	13	K-series	0.65	0.45	0.44	0.06
Na	11	K-series	0.51	0.35	0.41	0.07
Total:			145.98	100.00	100.00	

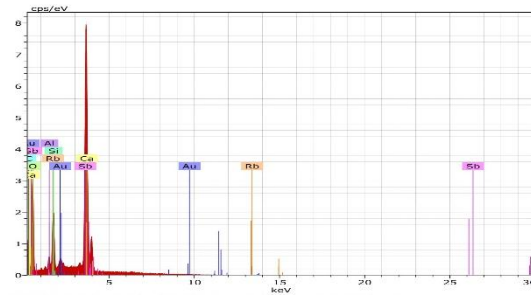
Punta 1



Acquisition Date:1/25/2019 10:30:31 AM HV:15.0kV Puls th.:6.25kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	44.69	37.38	50.85	5.57
Rb	37	L-series	24.12	20.17	5.14	1.05
Si	14	K-series	19.49	16.30	12.64	0.84
C	6	K-series	9.59	8.02	14.53	1.79
N	7	K-series	7.86	6.58	10.22	1.51
Fe	26	K-series	5.67	4.74	1.85	0.22
Al	13	K-series	4.84	4.05	3.26	0.26
Ca	20	K-series	2.45	2.05	1.11	0.11
K	19	K-series	0.85	0.71	0.39	0.06
Total:			119.56	100.00	100.00	

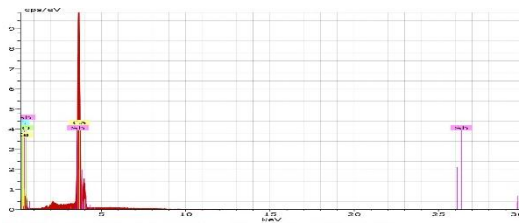
Punta 2



Acquisition Date:1/25/2019 10:33:08 AM HV:15.0kV Puls th.:4.01kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Sb	51	L-series	40.29	33.91	8.85	1.23
Ca	20	K-series	35.47	29.86	23.68	1.09
O	8	K-series	26.33	22.17	44.03	3.35
C	6	K-series	8.29	6.98	18.46	1.22
Si	14	K-series	3.58	3.01	3.41	0.18
Rb	37	L-series	3.22	2.71	1.01	0.17
Au	79	M-series	1.21	1.02	0.16	0.08
Al	13	K-series	0.41	0.35	0.41	0.05
Total:			118.79	100.00	100.00	

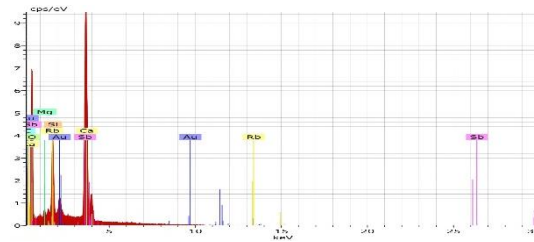
Punta 3



Acquisition Date:1/25/2019 10:36:05 AM HV:15.0kV Puls th.:3.94kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Sb	51	L-series	86.77	49.09	19.73	2.61
Ca	20	K-series	74.97	42.41	51.78	2.27
O	8	K-series	10.66	6.03	18.44	1.64
C	6	K-series	4.37	2.47	10.06	0.74
Total:			176.76	100.00	100.00	

Punta 4

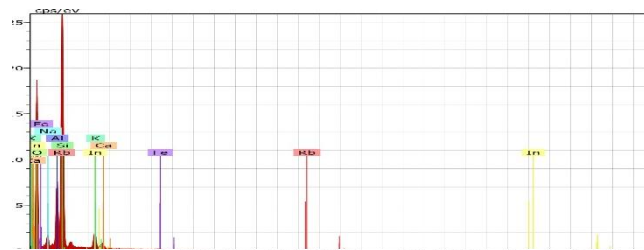


Acquisition Date:1/25/2019 10:39:56 AM HV:15.0kV Puls th.:5.98kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	37.00	28.35	47.70	4.55
Sb	51	L-series	34.15	26.16	5.79	1.05
Ca	20	K-series	30.66	23.49	15.78	0.95
C	6	K-series	14.96	11.46	25.69	2.04
Rb	37	L-series	5.09	3.90	1.23	0.25
Au	79	M-series	4.16	3.18	0.44	0.19
Si	14	K-series	4.02	3.08	2.95	0.20
Mg	12	K-series	0.50	0.38	0.42	0.06
Total:			130.52	100.00	100.00	

Muestra 4

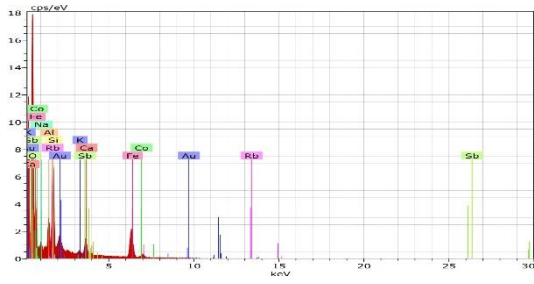
Centro



Acquisition Date:1/25/2019 10:44:27 AM HV:15.0kV Puls th.:10.19kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	85.23	53.94	75.71	10.04
Rb	37	L-series	29.68	18.78	4.96	1.29
Si	14	K-series	22.31	14.12	11.29	0.96
Al	13	K-series	8.58	5.43	4.52	0.43
In	49	L-series	5.88	3.72	0.73	0.22
Na	11	K-series	2.42	1.53	1.49	0.19
K	19	K-series	1.81	1.15	0.66	0.09
Ca	20	K-series	1.28	0.81	0.45	0.08
Fe	26	K-series	0.82	0.52	0.21	0.08
Total:			158.00	100.00	100.00	

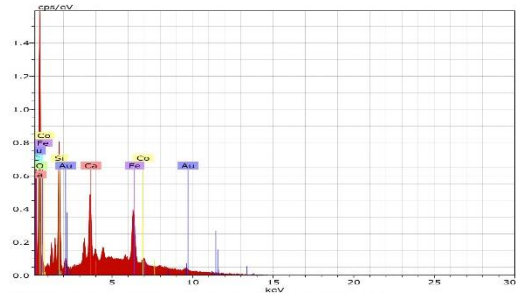
Punta 1



Acquisition Date:1/25/2019 10:47:18 AM HV:15.0kV Puls th.:9.42kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	58.05	50.65	76.72	6.82
Fe	26	K-series	22.31	19.47	8.45	0.72
Rb	37	L-series	8.65	7.55	2.14	0.40
Si	14	K-series	5.99	5.23	4.51	0.28
Au	79	M-series	5.79	5.05	0.62	0.26
Al	13	K-series	3.41	2.98	2.68	0.19
Sb	51	L-series	3.32	2.90	0.58	0.14
Ca	20	K-series	2.71	2.37	1.43	0.12
Na	11	K-series	2.12	1.85	1.95	0.17
Co	27	K-series	1.55	1.35	0.56	0.11
K	19	K-series	0.71	0.62	0.38	0.06
Total:			114.60	100.00	100.00	

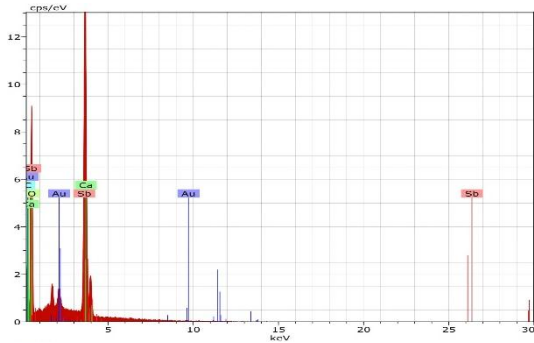
Punta 2



Acquisition Date:1/25/2019 10:53:17 AM HV:15.0kV Puls th.:1.53kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	8.73	41.82	47.77	1.10
C	6	K-series	5.59	26.80	40.78	0.77
Fe	26	K-series	4.52	21.66	7.09	0.17
Ca	20	K-series	0.91	4.34	1.98	0.05
Co	27	K-series	0.69	3.31	1.03	0.05
Si	14	K-series	0.43	2.08	1.35	0.04
Au	79	M-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			20.87	100.00	100.00	

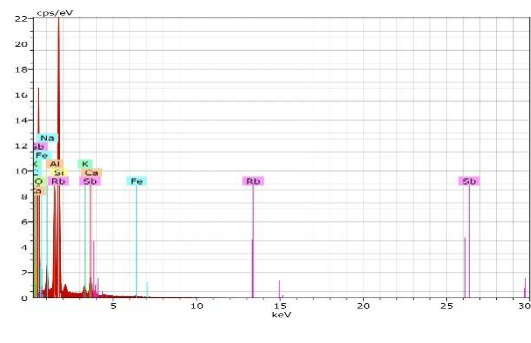
Punta 3



Acquisition Date:1/25/2019 10:49:43 AM HV:15.0kV Puls th.:7.40kcps

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
Sb	51	L-series	43.35	31.85	7.69	1.33
O	8	K-series	39.72	29.18	53.64	4.85
Ca	20	K-series	39.61	29.10	21.35	1.21
C	6	K-series	9.38	6.89	16.87	1.34
Au	79	M-series	4.07	2.99	0.45	0.19
Total:			136.13	100.00	100.00	

Punta 4

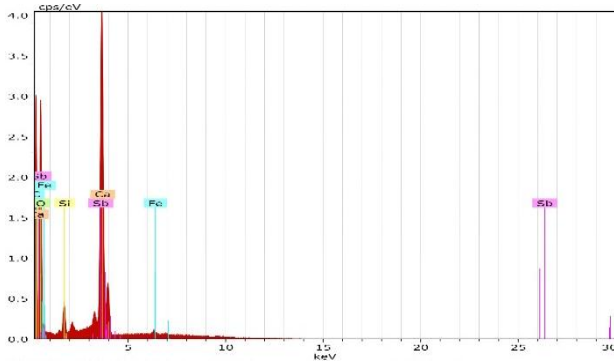


Acquisition Date:1/25/2019 10:57:51 AM HV:15.0kV Puls th.:9.64kcps

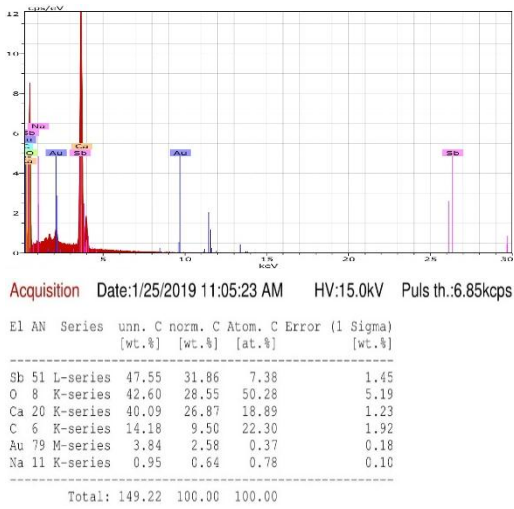
El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	74.29	47.40	63.84	8.81
Rb	37	L-series	26.72	17.05	4.30	1.16
Si	14	K-series	20.24	12.91	9.91	0.87
Al	13	K-series	11.17	7.12	5.69	0.55
C	6	K-series	9.88	6.30	11.30	1.87
Sb	51	L-series	4.34	2.77	0.49	0.18
Na	11	K-series	4.14	2.64	2.48	0.29
Ca	20	K-series	3.31	2.11	1.14	0.14
K	19	K-series	1.91	1.22	0.67	0.10
Fe	26	K-series	0.75	0.48	0.18	0.07
Total:			156.74	100.00	100.00	

Muestra 5

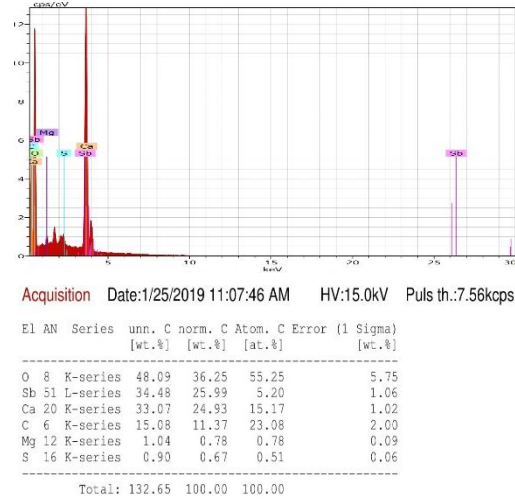
Centro



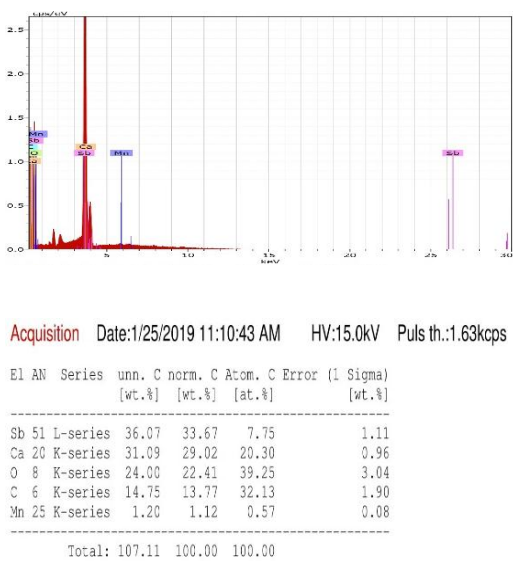
Punta 1



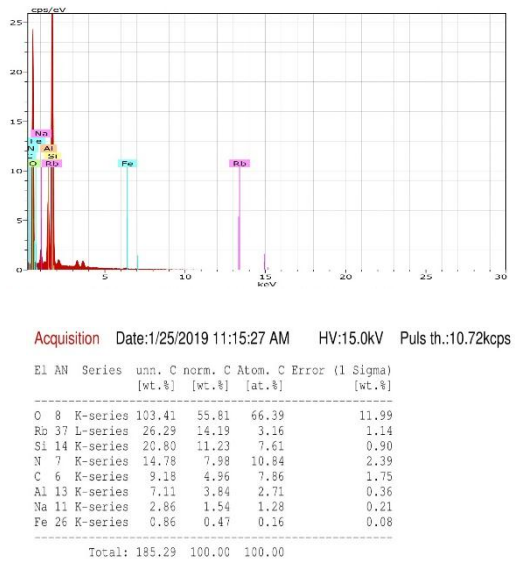
Punta 2



Punta 3

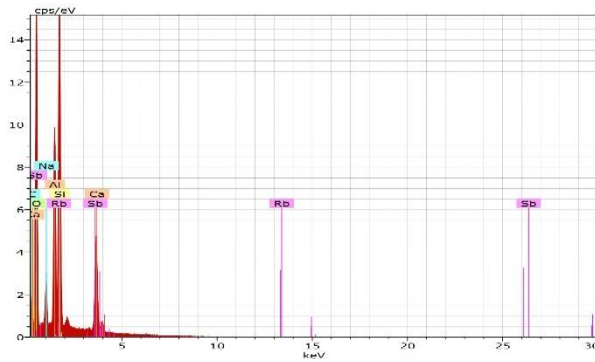


Punta 4



Muestra 6

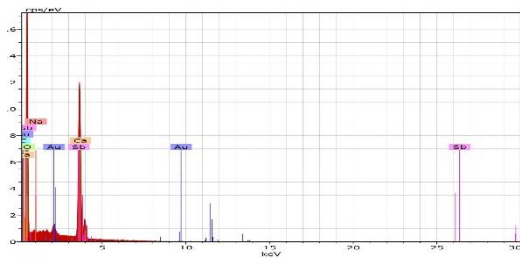
Centro



Acquisition Date:1/25/2019 11:19:23 AM HV:15.0kV Puls th.:9.63kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	68.36	42.97	56.31	8.09
C	6	K-series	18.89	11.87	20.73	2.87
Rb	37	L-series	17.47	10.98	2.69	0.77
Si	14	K-series	14.43	9.07	6.77	0.63
Al	13	K-series	12.39	7.79	6.05	0.61
Sb	51	L-series	12.14	7.63	1.31	0.41
Ca	20	K-series	11.05	6.94	3.63	0.37
Na	11	K-series	4.37	2.75	2.50	0.31
Total:			159.09	100.00	100.00	

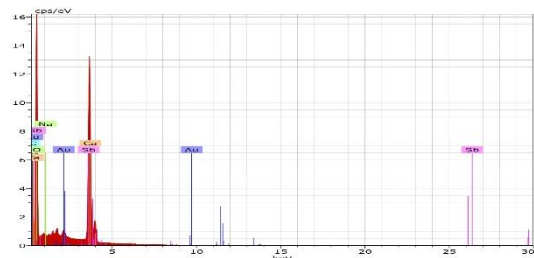
Punta 1



Acquisition Date:1/25/2019 11:21:14 AM HV:15.0kV Puls th.:8.85kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	72.17	43.03	57.59	8.38
Sb	51	L-series	33.57	20.01	3.52	1.04
Ca	20	K-series	30.38	18.11	9.68	0.94
C	6	K-series	26.53	15.82	28.20	3.34
Au	79	M-series	3.69	2.20	0.24	0.18
Na	11	K-series	1.39	0.83	0.77	0.12
Total:			167.72	100.00	100.00	

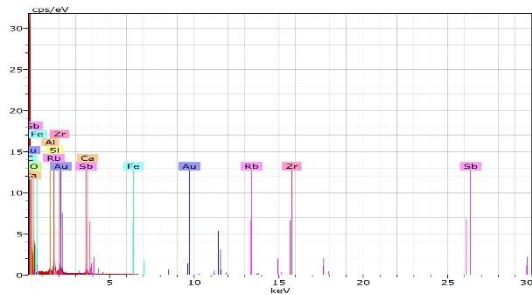
Punta 2



Acquisition Date:1/25/2019 11:23:05 AM HV:15.0kV Puls th.:8.44kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	65.67	41.46	58.93	7.68
Sb	51	L-series	35.38	22.34	4.17	1.09
Ca	20	K-series	33.08	20.89	11.85	1.02
C	6	K-series	20.03	12.65	23.94	2.60
Au	79	M-series	2.78	1.76	0.20	0.14
Na	11	K-series	1.45	0.92	0.91	0.13
Total:			158.39	100.00	100.00	

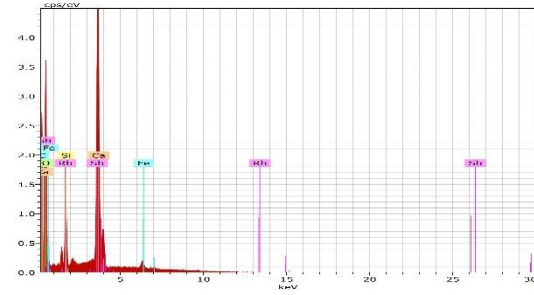
Punta 3



Acquisition Date:1/25/2019 11:25:01 AM HV:15.0kV Puls th.:6.38kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
C	6	K-series	72.72	72.72	81.19	8.04
O	8	K-series	20.80	20.80	17.43	2.69
Rb	37	L-series	1.31	1.31	0.21	0.09
Au	79	M-series	1.13	1.13	0.08	0.07
Sb	51	L-series	1.02	1.02	0.11	0.06
Zr	40	L-series	0.87	0.87	0.13	0.06
Ca	20	K-series	0.85	0.85	0.28	0.06
Si	14	K-series	0.70	0.70	0.33	0.06
Al	13	K-series	0.33	0.33	0.16	0.04
Fe	26	K-series	0.29	0.29	0.07	0.05
Total:			100.00	100.00	100.00	

Punta 4

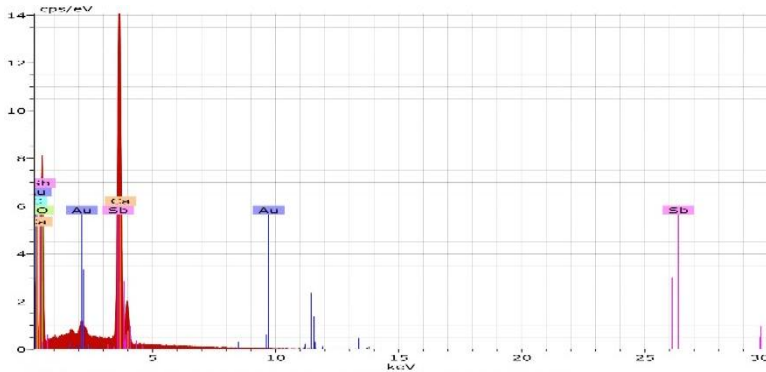


Acquisition Date:1/25/2019 11:27:03 AM HV:15.0kV Puls th.:3.37kcps

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	32.50	28.75	44.15	3.97
Sb	51	L-series	30.12	26.66	5.38	0.93
Ca	20	K-series	24.28	21.48	13.17	0.76
C	6	K-series	18.75	16.59	33.92	2.39
Fe	26	K-series	3.69	3.26	1.44	0.16
Si	14	K-series	1.95	1.73	1.51	0.11
Rb	37	L-series	1.72	1.52	0.44	0.11
Total:			113.01	100.00	100.00	

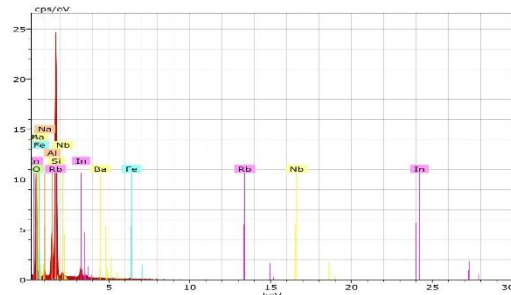
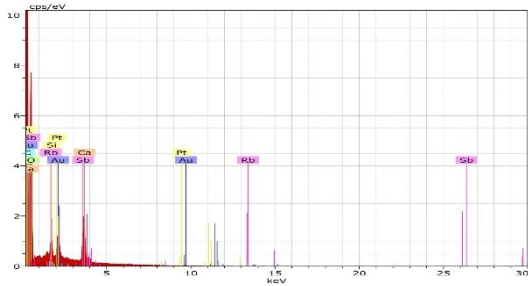
Muestra 7

Centro



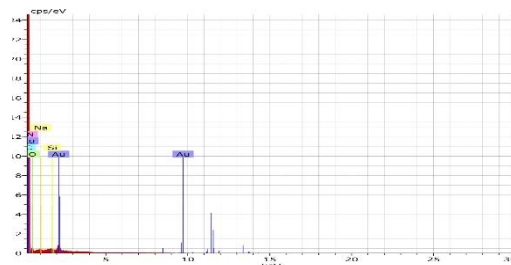
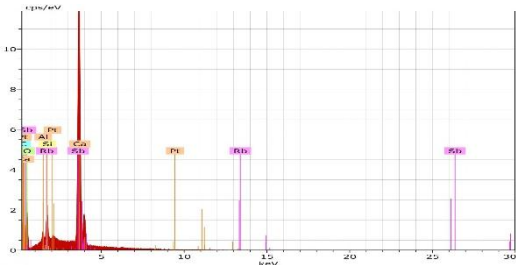
Punta 1

Punta 2

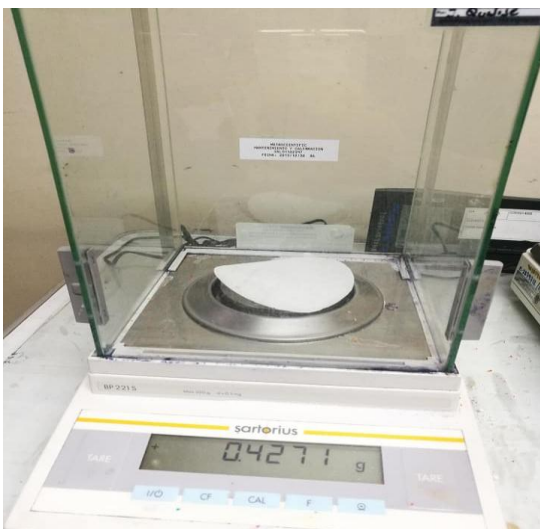
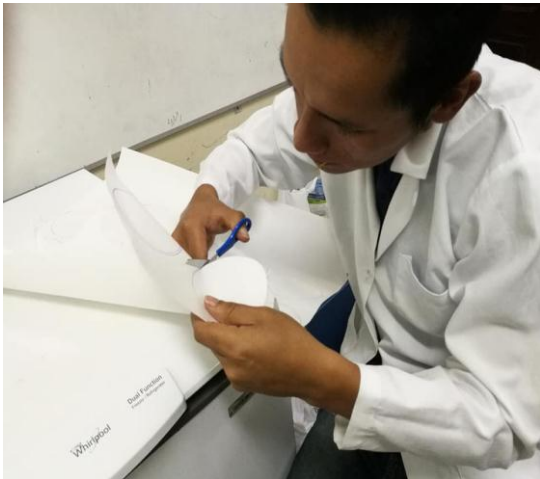


Punta 3

Punta 4



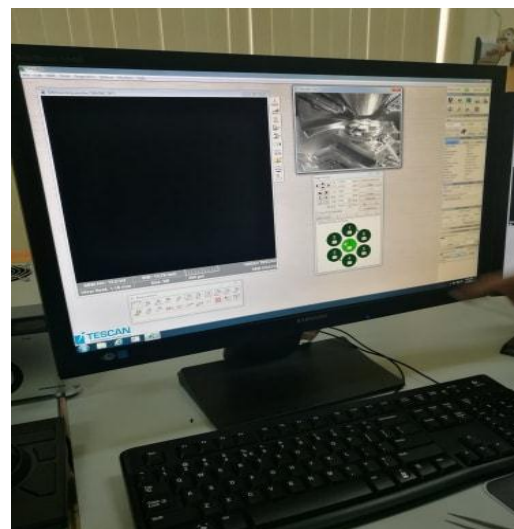
9.8. Trabajo en laboratorio



9.9. Ubicación de los equipos para el muestreo pasivo de PMS



9.10. Trabajo en laboratorio para el análisis de PMS en el laboratorio de microscopía de la UNACH



9.11. Monitoreo de PMV en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi

