

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE AMBIENTAL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE
MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE DEL SECTOR DE LADRILLERAS
DE LA MATRIZ DEL CANTÓN CHAMBO**

Autores:

**GALLO RIVERA ALEXIS DAVID
PAREDES VARGAS CARLOS SANTIAGO**

Tutor:

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA

Riobamba - Ecuador

Año 2019

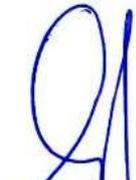
CERTIFICACION DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación el proyecto de investigación de título: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE DEL SECTOR DE LADRILLERAS DE LA MATRIZ DEL CANTÓN CHAMBO”**. Presentado por: Alexis David Gallo Rivera y Carlos Santiago Paredes Vargas, 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

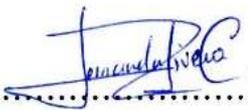
Ing. Marcel Paredes MsC.
Miembro del Tribunal


.....
Firma

Ing. José Prato PhD.
Miembro del Tribunal

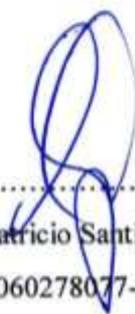

.....
Firma

Ing. María Fernanda Rivera C. MsC.
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 DEL SECTOR DE LADRILLERAS DE LA MATRIZ DEL CANTÓN CHAMBO.”**, ha sido elaborado por GALLO RIVERA ALEXIS DAVID Y PAREDES VARGAS CARLOS SANTIAGO, 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, Gallo Rivera Alexis David, con cédula de identidad No. 0604778936 y Paredes Vargas Carlos Santiago, con cédula de identidad No. 0502829120; hacemos constar que somos autores del presente trabajo de investigación, titulada: **“DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE DEL SECTOR DE LADRILLERAS DE LA MATRIZ DEL CANTÓN CHAMBO.”**, 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.



Gallo Rivera Alexis David
C.I. 060477893-6



Paredes Vargas Carlos Santiago
C.I. 050282912-0

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, siendo el encargado de llenar de bendiciones nuestras vidas, y por guiarme por el camino correcto.

Mi más profundo agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres Luis y Carmen por llenarme de motivaciones y por ayudarme a mejorar como persona. A mi hermano Cristian que supieron darme la fuerza para seguir adelante.

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

Alexis David Gallo Rivera

Para el presente proyecto de investigación quiero agradecer principalmente a Dios, quien más que él sabe los logros y fracasos que en el transcurso de mi vida académica ocurrió.

A mis padres, que fueron la inspiración para cumplir mis metas, a mi abuelita Yolanda que siempre ha estado incondicionalmente a mi lado, a mis hermanos que han estado apoyándome en todo momento.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, especialmente a la Carrera de Ingeniería Ambiental, y a todos los docentes que formaron parte de mi vida universitaria, por haberme transmitido sus conocimientos académicos y experiencias personales, y haber conocido personas agradables, gracias por todos estos años de experiencia y anécdotas.

A los Ingenieros Patricio Santillán, Marcel Paredes y José Prato quienes con paciencia y tiempo supieron guiarme en el trabajo de investigación.

Carlos Santiago Paredes Vargas

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mis padres Luis Gallo y Carmen Rivera 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.

Alexis David Gallo Rivera

Con todo mi amor el presente trabajo quiero dedicársela en especial a mis padres Nelson y Roció, quienes siempre han estado a mi lado apoyándome y me han inculcado que la honestidad, perseverancia, dedicación y esfuerzo siempre serán recompensados; gracias por todo, por ustedes soy lo que soy, puedo decir que me siento una persona orgullosa de tenerlos como padres.

A mi abuelita Yolanda por sus enseñanzas y valores que los mantendré conmigo el resto de mi vida.

A mis queridos hermanos David, Gaby, Francis, quienes a pesar de las cosas que pueden suceder entre hermanos nunca me han dado la espalda y siempre han estado pendiente de mí en esta etapa de mi vida universitaria, este trabajo es para ustedes.

No puede faltar mi amada esposa Katy, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

Carlos Santiago Paredes Vargas

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

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo

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	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Contaminación del Aire	5
2.2 Comportamiento de los Contaminantes en la Atmósfera	5
2.3 Fuente o Causas Principales de Contaminación Atmosférica.....	5
2.4 Calidad del Aire en el Ecuador	6
2.5 Material Particulado.....	6
2.6 Clases de Material Particulado.....	7
2.7 Material Particulado Sedimentable	7
2.8 Fuentes de Contaminación – Fijas o Estacionarias.....	8
2.9 Fuentes de Generación de Material Particulado	8
2.10 Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes.....	9

2.11 Límites Máximos Permisibles	9
2.12 Enfermedades Producidas por Material Particulado de 10 μm y 2,5 μm	10
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	12
3.1 Tipo de Estudio.....	12
3.2 Población y Muestra	12
3.3 Área de Estudio.....	12
3.4 Toma de Puntos GPS	13
3.5 Ubicación e Implantación de las Estaciones de Medición para MPS	14
3.6 Monitoreo del Material Particulado Sedimentable	17
3.7 Cálculo Gravimétrico.....	18
3.8 Material Particulado Volátil.....	18
3.9 Procedimiento para el Análisis Estadístico e Interpretación de Resultados	19
3.10 Análisis de la Composición Química y Morfológica de MPS usando el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y la Espectroscopia de Fotones Rayos X Dispersado (EDX).....	19
3.11 Gráfica de Dispersión de Contaminantes.....	19
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1 Análisis de Material Particulado Sedimentable con el Método Gravimétrico.....	20
4.2 Resultados del Análisis del Material Particulado Volátil	21
4.3 Comparación con los Límites Máximos Permisibles de la OMS y TULSMA.....	23
4.4 Análisis Estadístico Descriptivo	27
4.4.1 Material Particulado Volátil de 2,5 μm	28
4.4.2 Material Particulado Volátil de 10 μm	28
4.5 Análisis Molecular.....	29
4.5.1 Caracterización Morfológica del Material Particulado Sedimentable	29
4.5.2 Caracterización de la Composición Química del Material Particulado Sedimentable	30
4.6 Gráfica de la Dispersión de los Contaminantes	33

CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de Generación de Material Particulado.....	8
Figura 2. Instalación de las estaciones de monitoreo para MPS	15
Figura 3. Colocación del papel filtro para la recolección de MPS	15
Figura 4. Esquema para la Recolección y Transporte de Muestras de MPS	17
Figura 5. Comparación de los Valores de MPS con Límites Establecidos por la OMS y TULSMA.....	21
Figura 6. Comparación de los valores de PM _{2.5} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	24
Figura 7. Comparación de los valores de PM _{2.5} a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	24
Figura 8. Comparación de los valores de PM _{2.5} a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	24
Figura 9. Comparación de los Valores de PM ₁₀ a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	25
Figura 10. Comparación de los Valores de PM ₁₀ a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	25
Figura 11. Comparación de los Valores de PM ₁₀ a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA.....	26
Figura 12. Promedio de los Valores de PM _{2.5} en 24 horas	27
Figura 13. Promedio de los Valores de PM ₁₀ en 24 horas.....	27
Figura 14. Distribución de MPV de 2,5 µm en la Matriz del Cantón Chambo.....	28
Figura 15. Distribución de MPV de 10 µm en la Matriz del Cantón Chambo.....	29
Figura 16. Morfología del MPS correspondiente a la Matriz del Cantón Chambo.....	29
Figura 17. Diámetro de las Partículas Sedimentables	30
Figura 18. Composición Química de la Muestra de la Estación N° 1	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros Establecidos por la OMS	10
Tabla 2. Parámetros Establecidos por el TULSMA	10
Tabla 3. Efectos de los Contaminantes Atmosféricos sobre el Sistema Respiratorio	11
Tabla 4. Localización de las Estaciones de Monitoreo	14
Tabla 5. Resultados de las Concentraciones de MPS	20
Tabla 6. Límites Máximos Permisibles para MPS	20
Tabla 7. Datos de PM _{2.5} en la Matriz del Cantón Chambo.....	22
Tabla 8. Datos de PM ₁₀ en la Matriz del Cantón Chambo	23
Tabla 9. Porcentajes y Promedio de la Composición Química del MPS	31

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Matriz del Cantón Chambo	13
Mapa 2. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de MPS	16
Mapa 3. Mapa de Concentración de MPS	34
Mapa 4. Mapa de Concentración de PM _{2.5}	35
Mapa 5. Mapa de Concentración de PM ₁₀	36

RESUMEN

En la matriz del cantón Chambo una de las principales fuentes de la economía local es la fabricación artesanal de ladrillos, donde se destacan la presencia de 46 hornos de tipo artesanal, mismos que generan contaminantes atmosféricos como el material particulado, monóxido y dióxido de carbono. En la actualidad el aumento de material particulado, es considerado como uno de los mayores problemas de contaminación atmosférica causado por actividades naturales y antrópicas.

La presente investigación planteó realizar el monitoreo de material particulado sedimentable (MPS) que se realizó mediante 7 estaciones de monitoreo pasivo utilizando cajas Petri para su recolección, mismas que fueron ubicadas estratégicamente en la matriz del cantón, y material particulado volátil (MPV) de 2,5 μm y 10 μm , se realizó con el uso del equipo DustTrak™ II.

Se tomaron mediciones de MPS durante el periodo de 14 de enero al 13 de febrero de 2019. Dentro del análisis de los resultados se determinó que las estaciones 1(0,61 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), 2(0,66 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), 3(0,55 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), 5(0,67 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$), 7(0,76 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$) sobrepasan los valores máximos de OMS, en cuanto la estación 4(1,07 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$) excede los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA. Dentro del análisis de los resultados obtenidos para MPV hay que mencionar que no superaran valores máximos de las dos normativas.

Se analizó las muestras de MPS en el microscopio electrónico de barrido, dentro del análisis de la composición química de las muestras se encontraron 9 elementos, además las partículas presentan formas esféricas, redondeadas e irregulares.

Finalmente se presentó el comportamiento del MPS y MPV de 2.5 μm y 10 μm generado mediante mapas de dispersión y concentración de contaminantes utilizando la dirección y velocidad del viento a través de los datos de las estaciones meteorológicas.

Palabras Clave: ladrilleras, Chambo, material particulado sedimentable, material particulado volátil, estaciones de monitoreo, mapa de dispersión.

ABSTRACT

Chambo, it's a town located in Chimborazo province, one of the primary sources of the local economy is the manufacture of bricks, which highlights the presence of 46 artisan-type kilns, which generate atmospheric pollutants such as particulate matter, monoxide, and carbon dioxide. The increase in MP is considered one of the biggest problems of air pollution caused by natural and anthropic activities.

The present investigation proposed the monitoring of sedimentary particulate material that was made through 7 passive monitoring seasons using Petri boxes for their collection, which is being strategically located in the canton matrix, and elastic particulate material of 2.5 μm and ten μm , was made with the use of the DustTrak™ II equipment.

MPS measurements were taking during the period from January 14th to February 13th, 2019. Within the analysis of the results, it was determined that seasons 1 (0.61 mg / cm² / month), 2 (0.66 mg / cm² / month), 3 (0.55 mg / cm² / month), 5 (0.67 mg / cm² / month), 7 (0.76 mg / cm² / month) exceed the maximum values of OMS, as the season 4 (1.07 mg / cm² / month) exceeds the LMP of OMS and TULSMA. In the analysis of the results obtained for MPV, it should be mentioned they will not exceed the maximum values of the two regulations.

The MPS samples are analyzing in the scanning electron microscope. Within the analysis of the chemical composition of the samples, nine elements are found; also the particles have spherical, rounded and irregular shapes.

Finally, the behavior of the MPS and MPV of 2.5 μm and ten μm generated by maps of dispersion and concentration of pollutants; using the wind direction and speed through the data of the meteorological seasons which are presenting.

Keywords: brickworks, Chambo, sedimentary particulate material, elastic particulate material, monitoring seasons, dispersion map.


SIGNATURE



Reviewed by: Maldonado, Ana
Language Center Teacher

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación, abarca el estudio de la contaminación por material particulado (MP), mismo que involucra una problemática que afecta a la población de manera preocupante y además que se relaciona con una serie de impactos hacia el ambiente y la salud humana.

Se estima que cerca de siete millones de personas fallecen cada año en todo el mundo, por la exposición a las partículas finas contenidas en el aire contaminado, las cuales penetran profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular, y provocan enfermedades como accidentes cerebrovasculares, cardiopatías, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias (OMS, 2018).

“Según datos del INEC 2010 la población relacionada con la actividad de fabricación de ladrillos es aquella que está vinculada al sector primario con un 45,54 % de la totalidad de población económicamente activa” (PDOT CHAMBO, 2014). La mayoría de fabricantes son artesanos, que no cuentan con un sistema de mitigación o control de emisiones de gases.

En la matriz del cantón existen alrededor de 46 hornos artesanales para la elaboración de ladrillos. Los dueños de dichos hornos se agrupan en asociaciones a fin de alcanzar ciertos beneficios en la compra de materia prima como el aserrín, arcilla, arena negra, la madera y costos o condiciones preferenciales en cuanto al transporte del producto (Baquero, 2013).

El material particulado está relacionado con la producción artesanal de ladrillos, es por esto que se realizó la investigación en la matriz del cantón Chambo, ya que las mismas por procesos de combustión se encuentran suspendidas en el aire. Según Préndez (2011), el material particulado en el ambiente se refiere a partículas discretas de un amplio rango de tamaños. Se designa comúnmente como $PM_{2.5}$ o PM_{10} lo que refiere a partículas con diámetro aerodinámico menor de $2,5 \mu m$ y $10 \mu m$, respectivamente.

La información que se genera en este estudio, permitirá tener una idea de cuál es el grado de contaminación en la matriz del cantón, producto de la elaboración de ladrillos, debido a que por su proceso de cocción emiten contaminantes atmosféricos, y a ciertas concentraciones pueden provocar daños a la salud humana.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Los contaminantes del aire son sustancias que cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa a la salud de los humanos, interviniendo en su calidad de vida y actividades diarias como también se ve afectado la fauna y flora del planeta (Zali, 2017).

En la matriz del cantón Chambo, las actividades de producción de ladrillo son catalogadas como talleres artesanales, debido a que generan problemas ambientales y daños a la salud por las emisiones de gases, olores que dificultan la respiración, y alteraciones del paisaje en el proceso de cocción.

Durante el proceso de cocción de ladrillos se utilizan como combustibles la madera misma que se convierte luego en la principal fuente de contaminación (CCE, 2016), ya que los hornos emiten grandes cantidades de contaminantes primarios generados por combustión de biomasa (Zuñiga, 2017 & Ramirez, 2011). Estos contaminantes tóxicos del aire emitidos por las ladrilleras se difunden en todo el sector, sin ningún control alguno.

Como parte del desarrollo local, la población sigue en aumento, originando el crecimiento de actividades productivas, especialmente ladrilleras, por lo tanto, se plantea la necesidad de realizar un estudio de cuanto es el nivel de generación de partículas que evalúe la cantidad de material particulado generado por este proceso productivo.

1.2 Justificación

En la actualidad la actividad antrópica es la que genera gran cantidad de desechos al ambiente, afectando principalmente al ser humano, y cambiando las condiciones de los ecosistemas (Vázquez & Beristain, 2012). Las emisiones hacia la atmósfera generadas por la producción industrial es una fuente de contaminación que a medida que avanza el tiempo se acumula y causa molestia en el aparato respiratorio, sobre todo si esta producción no es controlada.

Según el PDOT CHAMBO (2014), en la matriz del cantón Chambo en los últimos años el aire se ha visto afectado principalmente por la ubicación de varias ladrilleras artesanales esparcidas en diferentes sectores del cantón, aumentando el grado de contaminación por el proceso de elaboración de ladrillos.

Todas las ladrilleras existentes en la matriz del cantón se encuentran en constante funcionamiento, además de ello los moradores en general transitan por estos lugares a diario; En este estudio se plantea determinar los niveles de material particulado sedimentable y material particulado volátil PM_{10} y $PM_{2.5}$, conociendo las concentraciones de emisión en las zonas aledañas a los hornos de mayor producción, es un estudio importante porque nos permite determinar la emisión proveniente de las ladrilleras ubicadas en el área de estudio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar y caracterizar las concentraciones de material particulado sedimentable, en el sector de ladrilleras de la matriz del cantón Chambo y su influencia en la comunidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar el material particulado sedimentable con las estaciones pasivas en la matriz del cantón Chambo.
- Realizar mediciones de material particulado volátil en la matriz del cantón Chambo.
- Caracterizar el material particulado sedimentable con el uso del microscopio electrónico de barrido y determinar su composición química del mismo con espectroscopia de fotones rayos X dispersados (EDX).
- Realizar gráficas de dispersión del contaminante en el área de estudio con el uso de sistemas de información geográfica (SIG).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación del Aire

Según Aldás (2013), la contaminación describe un estado de impurificación de la atmósfera por inyección y presencia temporal en ella de materia gaseosa, líquida o sólida, o radiaciones solares ajenas a su composición natural o en proporción superior a aquella.

Se definen como contaminantes del aire, sustancias que están presentes en la atmósfera y afectan de manera adversa a la salud de humanos, animales, plantas o vida microbiana; dañan materiales o interfieren con el disfrute de la vida. Según lo anteriormente enunciado, casi cualquier sustancia natural o sintética que puede presentarse como partícula sólida, gota líquida, gas o mezcla de estas formas y capaz de ser transportada por el viento puede clasificarse como contaminante (Aldás, 2013).

Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en fuentes fijas y fuentes móviles, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado combustión completa. La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo o planetario, cuando por las características del contaminante, se ve afectado el equilibrio del planeta y zonas alejadas a las que contienen los focos emisores (Manahan, 2012).

2.2 Comportamiento de los Contaminantes en la Atmósfera

Los contaminantes varían tanto en el espacio como en el tiempo por lo tanto la cantidad vendrá determinada por la diferencia entre los emitidos y producidos en la misma y los que se eliminan a través de los procesos de autodepuración por deposición, precipitación y absorción por el suelo, el agua y la vegetación. Estos procesos pueden causar acumulaciones excesivas en otros medios (vegetación, suelos, lagos, etc.), incluso lejos del punto de emisión del contaminante, como consecuencia del arrastre atmosférico producido por el viento (Aldás, 2013).

2.3 Fuente o Causas Principales de Contaminación Atmosférica

Algunas de las fuentes principales son los gases de escape de los vehículos automotores (fuentes móviles) y las emisiones de industrias (fuentes fijas o estacionarias), como también en las ciudades donde está permitido utilizar carbón y leña para cocinar o

calentarse, estas emisiones de las casas donde se queman estos combustibles son causa importante de contaminación atmosférica urbana (OMS, 2016).

2.4 Calidad del Aire en el Ecuador

En el Ecuador, la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, las industrias, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, explotaciones mineras a cielo abierto, entre otras (Ministerio del Ambiente, 2010).

La Norma de Calidad del Aire Ambiente (NECA), publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4), emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2 de 31 de marzo de 2003, última modificación 14 de agosto de 2012, establece los objetivos de calidad del aire ambiente, los límites permisibles de los contaminantes criterios y contaminantes no convencionales del aire ambiente y los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente. Los contaminantes considerados por la norma como contaminante común o criterio son: partículas sedimentables, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM_{10}) y menor a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$) (Díaz, 2015).

Los contaminantes considerados en la calidad del aire según el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) Libro VI Anexo 4, describe en sus tablas 1 y 2 las concentraciones de los contaminantes comunes con sus valores máximas permisibles y sus respectivos niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire. Los contaminantes comunes presentes en la calidad aire ambiente son:

- **Partículas:** Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 μm (PM_{10}) y las de fracción respirable más pequeña 2,5 μm ($PM_{2.5}$) (Espinoza, 2014).

2.5 Material Particulado

Material particulado (MP), es un término utilizado para describir pequeños materiales sólidos o líquidos que pueden variar considerablemente de tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas (Erazo, 2013).

Se ha establecido una relación bastante estrecha entre las altas concentraciones de material particulado con las altas tasas de mortalidad a corto y largo plazo, la presencia de las partículas en el ambiente, provoca una reducción en la esperanza media de vida de las personas (Villacrés, 2015).

2.6 Clases de Material Particulado

Según Salinas (2012), el MP según su fuente, varía en composición, toxicidad y tamaño, pudiendo clasificarse en:

- a) **Partículas gruesas:** Principalmente derivadas de la suspensión de polvo, suelo u otros materiales provenientes de caminos, de la agricultura, de minería, de tempestades, de volcanes, entre otros.
- b) **Partículas finas:** Que se derivan de la emisión de procesos de combustión de vehículos (gasolina o diésel), la quema de maderas, la quema de carbón y procesos industriales.
- c) **Partículas ultra finas:** Que son definidas por tener un diámetro aerodinámico menor a 0,1 μm , proceden de la combustión como reacciones fotoquímicas atmosféricas. Forman un agregado de $\text{PM}_{2.5}$, porque su vida es muy corta.

Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material particulado sedimentable (partículas $> 30 \mu\text{g}$) y material particulado volátil que generalmente se dividen en PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, que son partículas más pequeñas de 10 y 2,5 micrómetros de diámetro respectivamente (μm = milésima parte de un milímetro) (Diaz, 2015).

Aragon (2011) menciona que las partículas suspendidas se clasifican en base a su diámetro, en:

- **PTS:** Partículas totales suspendidas diámetro hasta 100 μm .
- **PM₁₀:** Partículas respirables con diámetro aerodinámico menor de 10 μm
- **PM_{2.5}:** Partículas finas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm
- **PM₁:** Partículas ultra fina con diámetro aerodinámico menor de 1 μm .

2.7 Material Particulado Sedimentable

El material particulado sedimentable (MPS) está constituido por partículas contaminantes sólidas, líquida y gaseosa de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ; tamaño y peso que está dentro de la influencia de la fuerza de la gravedad, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en diferentes superficies (edificios, áreas verdes,

avenidas y calles asfaltadas o no asfaltadas), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas; de este grupo de partículas, las más finas son las más peligrosas ya que tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio (Jimenez, 2014).

2.8 Fuentes de Contaminación – Fijas o Estacionarias

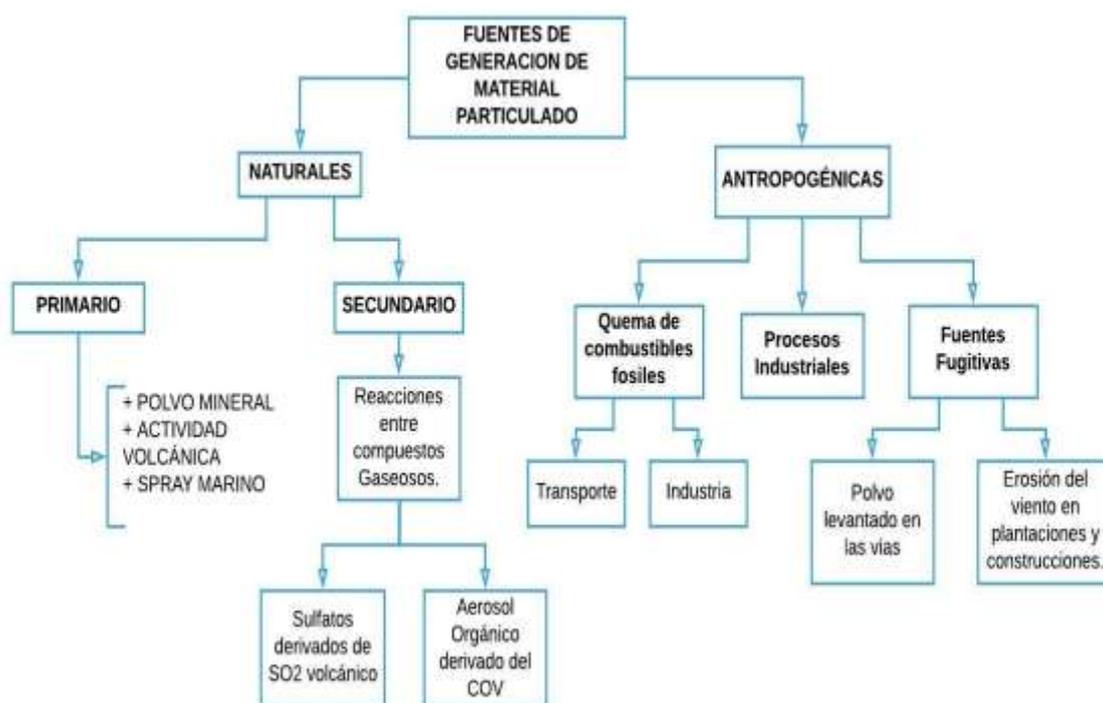
Toda instalación en donde se desarrollan procesos industriales, de servicio, comerciales o toda aquella actividad que genera o podría generar emisiones contaminantes a la atmósfera (Machado & Aguirre, 2015).

En el caso de la presente investigación el enfoque será únicamente a las fuentes fijas de contaminación atmosférica presentes en el cantón Chambo, es decir, empresas o actividades que empleen hornos (fuente fija) para su producción, por donde emiten directamente los contaminantes a la atmósfera, produciendo alteraciones a la misma.

2.9 Fuentes de Generación de Material Particulado

En la **Figura 1** se esquematiza las principales fuentes de material particulado y algunos ejemplos de los tipos de partículas según la fuente generadora. Esta diversidad de fuentes da como resultado un MP que presenta variaciones en tamaño, geometría, composición química y concentración másica (López, 2016).

Figura 1. Fuentes de Generación de Material Particulado



Fuente: Autores (2019).

2.10 Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes

Los factores meteorológicos son:

- **Velocidad del viento:** Desempeña un papel muy importante, el viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante (Tyson & Scheper, 2015).
- **Dirección del viento:** La dispersión de los contaminantes está influenciada por la dirección del viento, cuando es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores (Turner & Schulze, 2010).
- **Temperatura:** Si la temperatura de la emisión es mayor que la del medio se dispersa con más facilidad (Seinfeld, 2014).
- **Las precipitaciones:** Producen un efecto de lavado, que favorecen la dispersión y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales (Tyson & Scheper, 2015).

2.11 Límites Máximos Permisibles

Norma de Calidad de Aire por 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 clave que entrañan riesgos sanitarios (OPS, 2017).

Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a: Partículas (PM), Ozono (O₃), Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Dióxido de azufre (SO₂), en todas las regiones de la OMS (OMS, 2016).

Los límites máximos permisibles (LMP) de concentración de material particulado presentes en la atmósfera se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 1. Parámetros Establecidos por la OMS

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM ₁₀	1 año	20 µg/m ³
	24 horas	50 µg/m ³
PM _{2.5}	1 año	10 µg/m ³
	24 horas	25 µg/m ³
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm ² /mes

Fuente: OMS (2016).

Norma de Calidad de Aire por la Legislación Ecuatoriana

Según MAE (2012), en el Ecuador existe una normativa ambiental que determina los niveles máximos permisibles en la atmósfera para diversos contaminantes durante un tiempo determinado, cabe recalcar que el contaminante tratado en este estudio es el material particulado; la normativa ambiental vigente en el Ecuador es el TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA), emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2 de 31 de marzo de 2003, última modificación 14 de agosto de 2012; en este texto encontraremos que la normativa ambiental se encuentra dividida en varios libros, pero el Libro VI anexo 4 está destinado a la normativa para la calidad del aire ambiente; los valores máximos permisibles de concentración de material particulado presentes en la atmósfera se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2. Parámetros Establecidos por el TULSMA

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
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
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm ² /mes

Fuente: MAE (2012) valores tomados del anexo 4 del libro VI del TULSMA.

2.12 Enfermedades Producidas por Material Particulado de 10 µm y 2,5 µm

Los estudios científicos han relacionado la contaminación por partículas (como las que se encuentran en el viento y el polvo), que tienen diámetros comprendidos entre 2,5 y 10 micrómetros, son perjudiciales para la salud, que puede irritar los ojos, la nariz y la garganta, y con una serie de problemas significativos hacia la salud y ambiente (Poma,

2012). La **Tabla 3** indica los efectos contaminantes sobre el sistema respiratorio a corto y largo plazo.

Tabla 3. Efectos de los Contaminantes Atmosféricos sobre el Sistema Respiratorio

CONTAMINANTES	EFECTO A CORTO PLAZO	EFECTO A LARGO PLAZO
Material Particulado “respirable” (PM₁₀) y fino (PM_{2.5})	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aumento de Morbimortalidad respiratoria ✓ Disminución en la función pulmonar ✓ Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar ✓ Síndrome bronquial obstructivo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Daño y menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio. ✓ Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta
Particulado ultra fino (PM_{0.1})	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor respuesta inflamatoria. (Comparando con PM₁₀ y PM_{2.5}). ✓ Ingreso rápido al sistema circulatorio y a otros órganos 	

Fuente: Poma (2012).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Estudio

Este estudio se realiza en la matriz del cantón Chambo debido a que en esta zona se encuentran gran cantidad de ladrilleras las cuales aún laboran de manera artesanal, y a su vez muchos de sus trabajadores no cuentan con el equipo necesario de protección.

- **Experimental:** Debido a que es un proceso donde se aplica muestreo, monitoreo y análisis en el laboratorio, el proyecto investigativo permite determinar los niveles de concentración de material particulado sedimentable como también de material particulado volátil que existen en el sector de ladrilleras ubicadas en la matriz del cantón Chambo.
- **Transversal:** La investigación se dará en un periodo de tiempo determinado.
- **De Campo:** Debido a que se realiza recorridos por todas las estaciones de monitoreo pasivo instalados en la matriz del cantón, tomando muestras para realizar la investigación.

3.2 Población y Muestra

Población: La matriz del cantón Chambo.

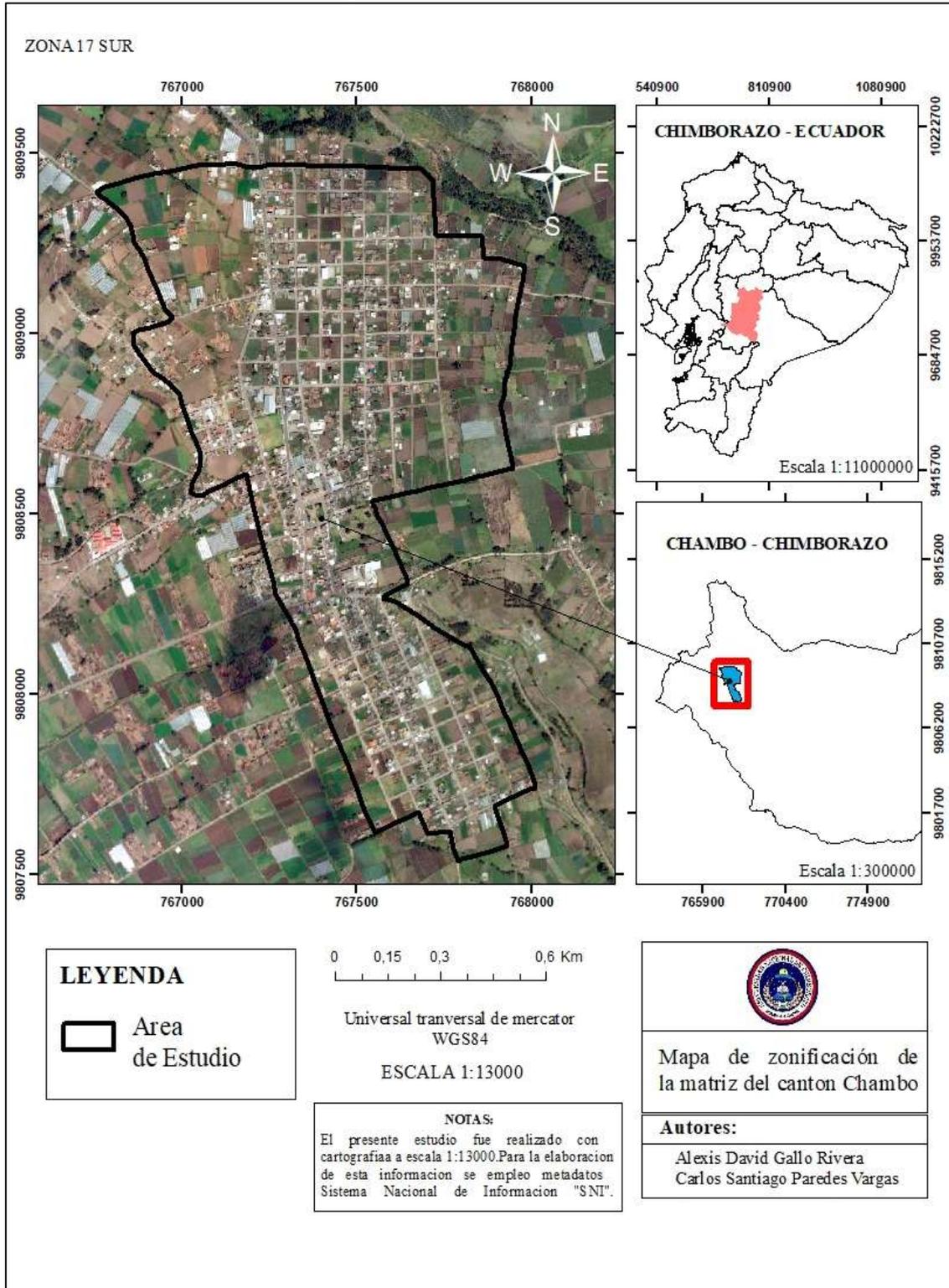
Muestra: Material particulado sedimentable (MPS) y material particulado volátil (MPV) de 10 μm y 2,5 μm , en los diferentes puntos de monitoreo definidos, por el periodo 14 enero – 8 febrero del 2019. Para MPS el periodo de muestreo en todos los puntos fue de 30 días ininterrumpidos en forma simultánea, según lo establece el Libro VI Anexo IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) y por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3.3 Área de Estudio

Ubicación Geográfica

Chambo está ubicado a 8 km de la ciudad de Riobamba, capital de la provincia de Chimborazo, a las faldas de los Montes Quilimás y Cubillínes de la cordillera oriental, a orillas del río que lleva su nombre. Su altitud va desde los 2400 a 4730 msnm. La superficie del cantón posee 162 km² que representa el 2,5% de la superficie de la provincia de Chimborazo (PDOT CHAMBO, 2014). La extensión de la matriz del cantón Chambo (**Mapa 1**) es de 2,40 km².

Mapa 1. Matriz del Cantón Chambo



Fuente: Autores (2019).

3.4 Toma de Puntos GPS

Se realizó un trabajo de campo, el mismo que servirá para la toma de puntos GPS con la ayuda del equipo GPS de marca "GARMIN" para georeferenciar los puntos de muestreo

(**Tabla 4**), donde serán ubicadas las estaciones pasivas para la recolección del material particulado sedimentable.

Tabla 4. Localización de las Estaciones de Monitoreo

Descripción	X	Y	Altura (msnm)
Estación 1	766926	9808921	2761
Estación 2	767375	9809374	2758
Estación 3	767775	9809194	2758
Estación 4	767341	9808626	2753
Estación 5	767384	9808139	2752
Estación 6	767813	9807578	2775
Estación 7	767738	9808003	2768

Fuente: Autores (2019).

3.5 Ubicación e Implantación de las Estaciones de Medición para MPS

Las estaciones se ubicaron estratégicamente con el propósito de cubrir únicamente la matriz del cantón, correspondiente a la delimitación de nuestra zona de estudio. Para la implantación se tomó en cuenta las consideraciones que aplican (Marcos & Valderrama, 2012) como: el lugar de colocación de cada estación debe de estar libre de obstáculos (**Figura 2**, edificaciones en el entorno, de áreas con árboles, tendedores), u otras fuentes de contaminación que puedan ocasionar perturbaciones serias de los valores obtenidos, para lo cual en toda el área de estudio se colocaron un total de 7 equipos, con su respectivo papel filtro para la recolección de MPS (**Figura 3**), abarcando las 46 ladrilleras existentes en la matriz del cantón (**Mapa 2**), con la finalidad de realizar un monitoreo lo más ordenado posible y poder obtener mejores resultados que reflejen la realidad que vive la población.

Fueron escogidos considerando las zonas de mayor contaminación, es decir en función de la distribución de los hornos a los alrededores, para esto se obtuvo la colaboración de los técnicos del GAD municipal de Chambo con quienes previamente se realizó un recorrido.

Es importante destacar que se obtuvo el permiso y apertura de los dueños de las viviendas que contaban con una terraza a disposición donde se colocaron las estaciones.

Figura 2. Instalación de las estaciones de monitoreo para MPS



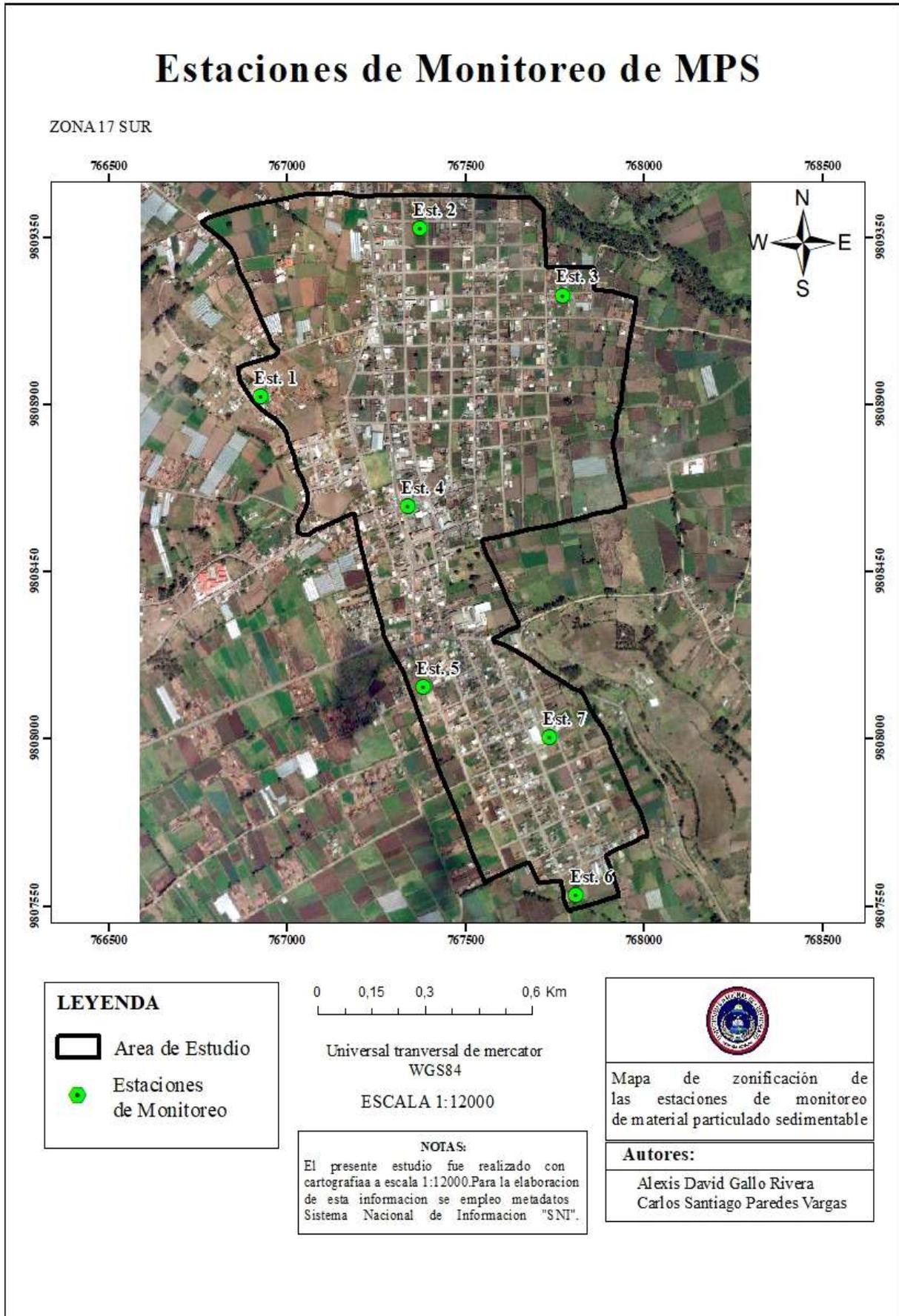
Fuente: Autores (2019).

Figura 3. Colocación del papel filtro para la recolección de MPS



Fuente: Autores (2019).

Mapa 2. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo de MPS



Fuente: Autores (2019).

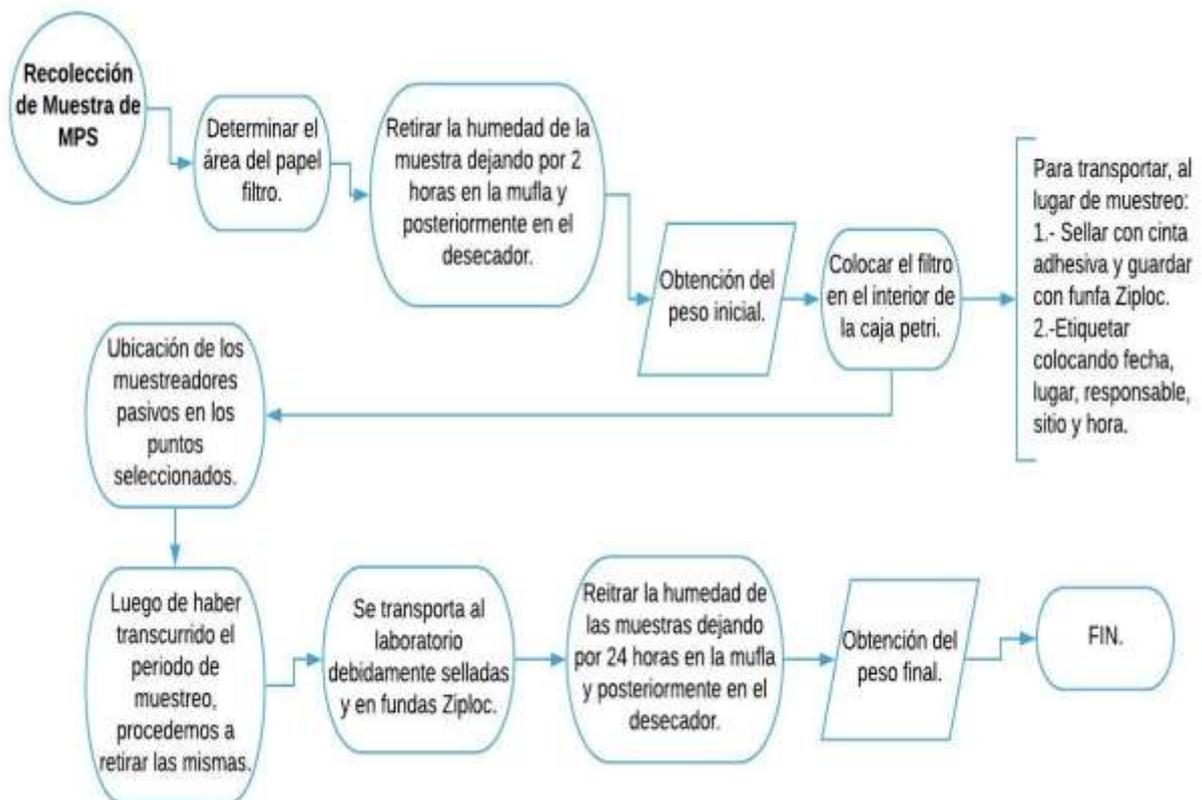
3.6 Monitoreo del Material Particulado Sedimentable

Se lo realizo durante un mes (14 de enero al 13 de febrero del 2019), de acuerdo al TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, la cual menciona que, para obtener una muestra, debe ser recolectada durante treinta días de forma continua, la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por un mes ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 1 \text{ mes}$).

Para la determinación de la cantidad de MPS aplicamos el método pasivo empleado por Almirón, Dalmasso, & Llera (2013), como semuestra en la **Figura 4**, que consiste en colocar una caja Petri con papel filtro previamente pesado y determinada su área, en cada equipo de medición (estaciones de monitoreo) de MPS, establecidos dentro del área de estudio donde permanecerán durante treinta días, los equipos serán ubicados en lugares con mayor probabilidad de receptor MPS.

Una vez finalizado el muestreo, los papeles filtro fueron llevados a la estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente, donde se sometió a una temperatura de 50°C durante 24 h, (Santillán, 2016). Posteriormente se pesará nuevamente cada papel filtro en la balanza analítica CITIZEN.

Figura 4. Esquema para la Recolección y Transporte de Muestras de MPS



Fuente: Autores (2019).

3.7 Cálculo Gravimétrico

Las partículas de MPS están en unidades de miligramos por centímetro cuadrado en un mes, el cual se calcula de la siguiente manera (Santillán, 2016):

$$PAS = \frac{Pf - Pi}{\text{Área}} * 1mes \quad \text{Ecu. (1)}$$

Donde:

- **PAS:** Polvo Atmosférico Sedimentable.
- **Pi (P. inicial):** Este es después de salir de laboratorio.
- **Pf (P. final):** Este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.
- **Área del papel filtro:** $A = \pi * r^2$

3.8 Material Particulado Volátil

Se realizó las mediciones durante un mes, exceptuando los fines de semana y feriados, en horarios pico de 08h30, 12h30 y 15h30.

El monitoreo y cuantificación de MPV se lo realizó utilizando el equipo DustTrak™ II, el cual simultáneamente mide las fracciones de masa y tamaño, y nos dará las lecturas de masa en tiempo real, este equipo posee un fotómetro láser de dispersión de luz con registro de datos alimentados por baterías capaces de ofrecer lecturas de masa de MPV, el mismo que utiliza un sistema de aire de vaina que aísla el material en la cámara óptica, para mantenerla limpia, asegurar una mayor fiabilidad y garantizar un mantenimiento mínimo (TSI, 2013).

El procedimiento fue el siguiente (Santillán, 2016):

- Se procede a encender y ejecutar la calibración del equipo (ZERO CAL), con el filtro 0 μm , esto se debe realizar antes de cada una de las lecturas con los diferentes filtros.
- Terminada su calibración se coloca el filtro de 2,5 μm , luego el de 10 μm .
- Se inicia la recolección de material particulado volátil PM_{2.5} y PM₁₀, el mismo que dura 2 minutos por muestra.
- Arrojándonos datos en (mg/m³), los cuales se transforman a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- La toma de lecturas con el equipo DustTrak™ II, inicia al instante de que el material particulado empieza a disgregarse por el aire.

3.9 Procedimiento para el Análisis Estadístico e Interpretación de Resultados

Con la información obtenida, se analizó estadísticamente la cuantificación de datos de MPS como MPV (PM_{2.5} y PM₁₀), para obtener una clasificación y ordenamiento de los resultados, a través del software estadístico Minitab 18.

A su vez se realizó un análisis comparativo con los valores máximos referenciales para la salud para polvos atmosféricos sedimentables (PAS), según la organización mundial de la salud (OMS) y los límites máximos permisibles de la Legislación Ambiental Ecuatoriana (TULSMA).

3.10 Análisis de la Composición Química y Morfológica de MPS usando el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) y la Espectroscopia de Fotones Rayos X Dispersado (EDX)

Este análisis sirve para identificar mediante imágenes la morfología, diámetro y los elementos químicos existentes en el MPS.

Se tomó secciones del papel filtro de 1cm², se montaron sobre un portamuestras de aluminio para posteriormente realizar un recubrimiento de oro en un sputterer coater (SPI). La observación se realiza en un microscopio electrónico de barrido (MEB) VEGAS TESCAM, el procesamiento y análisis de las imágenes se realizó con el software Analysis Pro.

3.11 Gráfica de Dispersión de Contaminantes

Se recogerán datos (velocidad y dirección del viento) de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio (DAC-Riobamba, Macas, Puyo, Guaslan, Cebadas y Guamote), de los meses comprendidos de enero-febrero, de este modo se podrá determinar la dispersión de PM, con el método de interpolación Inverse Distance Weighting (IDW).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de Material Particulado Sedimentable con el Método Gravimétrico

En esta investigación se realizó el análisis de MPS mediante 7 estaciones de monitoreo pasivo durante el periodo de un mes según la OMS y el TULSMA.

A continuación, en las **Tablas 5 y 6**, se muestra los resultados de concentración de material particulado sedimentable los cuales se obtuvieron mediante el cálculo gravimétrico y los valores máximos para MPS.

Tabla 5. Resultados de las Concentraciones de MPS

Estaciones de monitoreo	Ubicación Geográfica		Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	Area del papel filtro (cm ²)	MPS (mg/cm ² /mes)
1	766926	9808921	435,6	471,0	58,09	0,61
2	767375	9809374	434,7	473,2	58,09	0,66
3	767775	9809194	428,8	460,5	58,09	0,55
4	767341	9808626	436,1	498,5	58,09	1,07
5	767384	9808139	437,1	476,2	58,09	0,67
6	767813	9807578	436,2	464,2	58,09	0,48
7	767738	9808003	439,9	484,3	58,09	0,76

Fuente: Autores (2019).

Tabla 6. Límites Máximos Permisibles para MPS

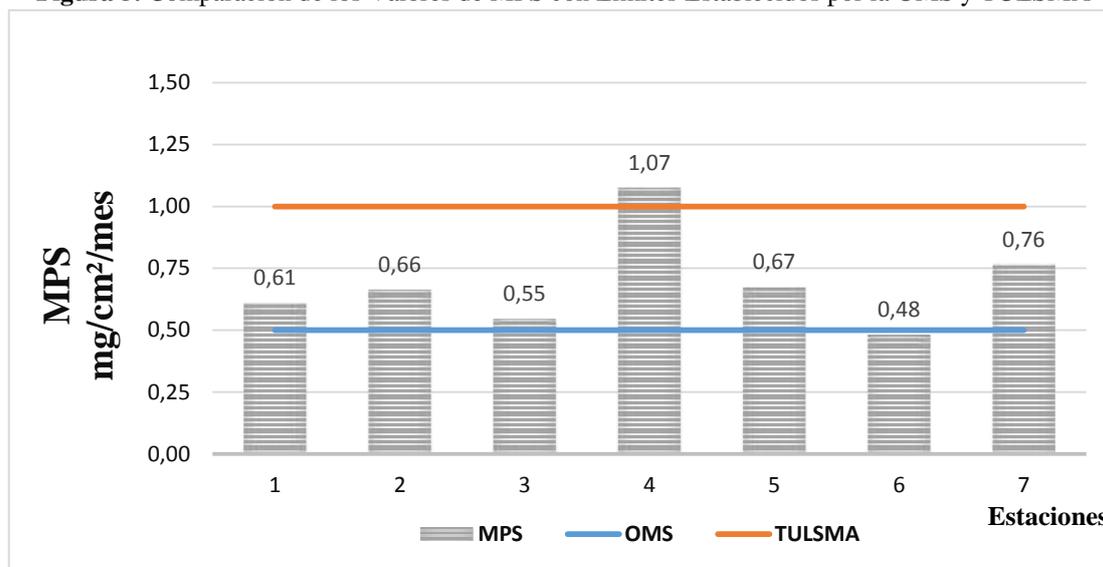
Normativa OMS en un mes de muestreo	Legislación Ambiental Ecuatoriana TULSMA
0,5 mg/cm ²	1 mg/cm ²

Fuente: Autores (2019).

En la **Figura 5**, se indica la comparación de los valores del área de estudio con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA.

Dentro del análisis a la gráfica se observa que la gran mayoría de estaciones tienen valores que cumplen con los límites máximos de la normativa ecuatoriana, sin embargo es lo contrario para lo establecido por la OMS, en síntesis podemos decir que la acumulación si fue efectiva en todas las estaciones y esto se debe especialmente a la incidencia de nuestras fuentes fijas (hornos artesanales), además se pueden incluir otros factores como arrastre de material por el viento en predios con cultivos aledaños y emisiones de fuentes móviles.

Figura 5. Comparación de los Valores de MPS con Límites Establecidos por la OMS y TULSMA



Fuente: Autores (2019).

En la estación 6 (0,48 mg/cm²/mes) no sobrepasa los LMP para MPS en ninguna normativa, esto debido a que en este sector especialmente existe poco tráfico vehicular y escasos hornos artesanales.

Por otra parte, las estaciones 1 (0,61 mg/cm²/mes), 2 (0,66 mg/cm²/mes), 3 (0,55 mg/cm²/mes), 5 (0,67 mg/cm²/mes) y 7 (0,76 mg/cm²/mes) sobrepasa los LMP únicamente de la OMS.

En la estación 4 (1,07 mg/cm²/mes) siendo la única zona sobrepasa los valores máximos del TULSMA y OMS, estación que corresponde al GAD municipal de Chambo que tiene mayor incidencia de fuentes móviles en todo el día, influyo por otra parte el arrastre de materiales de una fábrica de adoquines aledaña, además trabajos de regeneración de las vías en este sector que provocan el levantamiento constante de polvo a la atmósfera.

4.2 Resultados del Análisis del Material Particulado Volátil

Los valores de concentración del MPV de 2,5 µm y 10 µm, determinados con el equipo DustTrak™ II en el periodo enero-febrero del 2019 (14 de enero - 8 de febrero) tres veces al día.

Para un mejor análisis se tomó en consideración sacar un promedio general del día, de cada hora tomada en las 7 estaciones de monitoreo, como se detalla en las **Tablas 7 y 8**.

Tabla 7. Datos de PM_{2.5} en la Matriz del Cantón Chambo

Fechas, 2019	08h30	12h30	15h30
Lunes 14 de enero	8,43	4,86	4,57
Martes 15 de enero	6,14	3,71	1,86
Miércoles 16 de enero	7,43	3,71	2,57
Jueves 17 de enero	7,00	2,43	2,71
Viernes 18 de enero	14,14	7,14	4,57
Lunes 21 de enero	4,00	2,71	3,00
Martes 22 de enero	7,71	12,43	4,57
Miércoles 23 de enero	7,00	2,00	5,71
Jueves 24 de enero	9,00	3,43	4,43
Viernes 25 de enero	5,86	6,86	2,71
Lunes 28 de enero	8,29	12,43	5,43
Martes 29 de enero	8,43	4,29	8,71
Miércoles 30 de enero	7,43	6,43	4,14
Jueves 31 de enero	12,00	3,14	3,57
Viernes 01 de febrero	7,00	2,43	6,14
Lunes 04 de febrero	10,14	2,14	2,00
Martes 05 de febrero	9,00	6,86	1,57
Miércoles 06 de febrero	3,57	4,00	8,43
Jueves 07 de febrero	6,29	2,86	2,71
Viernes 08 de febrero	6,43	6,86	2,29

Fuente: Autores (2019).

Tabla 8. Datos de PM₁₀ en la Matriz del Cantón Chambo

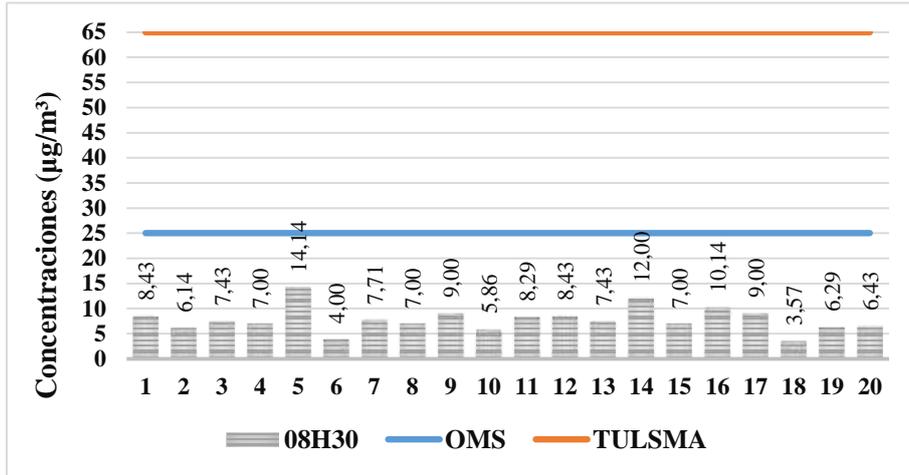
Fechas, 2019	08h30	12h30	15h30
Lunes 14 de enero	6,29	10,71	4,29
Martes 15 de enero	7,14	3,00	4,00
Miércoles 16 de enero	9,00	4,71	4,71
Jueves 17 de enero	8,57	2,71	2,43
Viernes 18 de enero	16,14	8,86	5,14
Lunes 21 de enero	7,00	5,43	3,00
Martes 22 de enero	6,71	12,00	5,03
Miércoles 23 de enero	5,14	4,43	5,29
Jueves 24 de enero	11,43	5,00	5,14
Viernes 25 de enero	7,00	9,86	3,00
Lunes 28 de enero	9,71	14,00	6,14
Martes 29 de enero	8,86	6,43	7,14
Miércoles 30 de enero	7,00	8,86	2,86
Jueves 31 de enero	12,86	4,71	3,14
Viernes 01 de febrero	7,57	4,14	9,00
Lunes 04 de febrero	11,71	4,14	2,14
Martes 05 de febrero	9,43	5,94	2,14
Miércoles 06 de febrero	3,57	6,29	5,43
Jueves 07 de febrero	8,57	2,71	2,43
Viernes 08 de febrero	7,00	9,86	3,00

Fuente: Autores (2019).

4.3 Comparación con los Límites Máximos Permisibles de la OMS y TULSMA

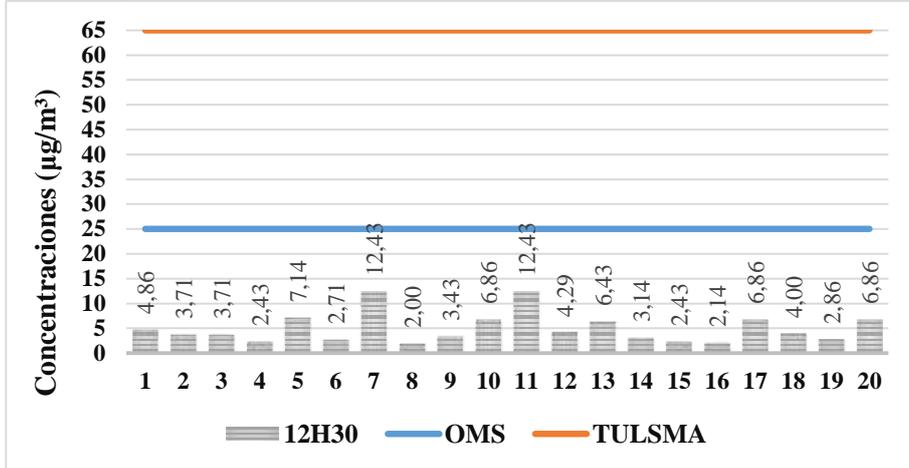
Con los datos obtenidos de MPV de 2,5 μm , se concluye que ningún día excedió los límites de las normativas, como se puede apreciar en las **Figuras 6, 7 y 8.**

Figura 6. Comparación de los valores de PM_{2.5} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



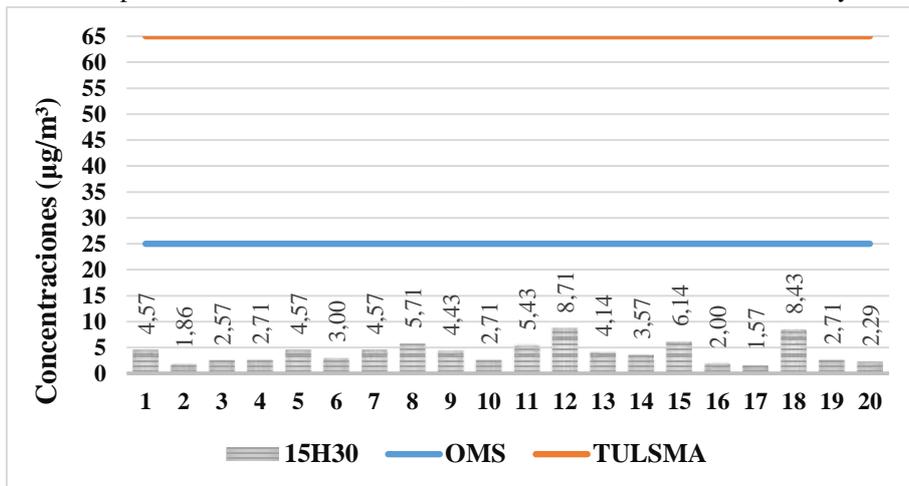
Fuentes: Autores (2019).

Figura 7. Comparación de los valores de PM_{2.5} a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Autores (2019).

Figura 8. Comparación de los valores de PM_{2.5} a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



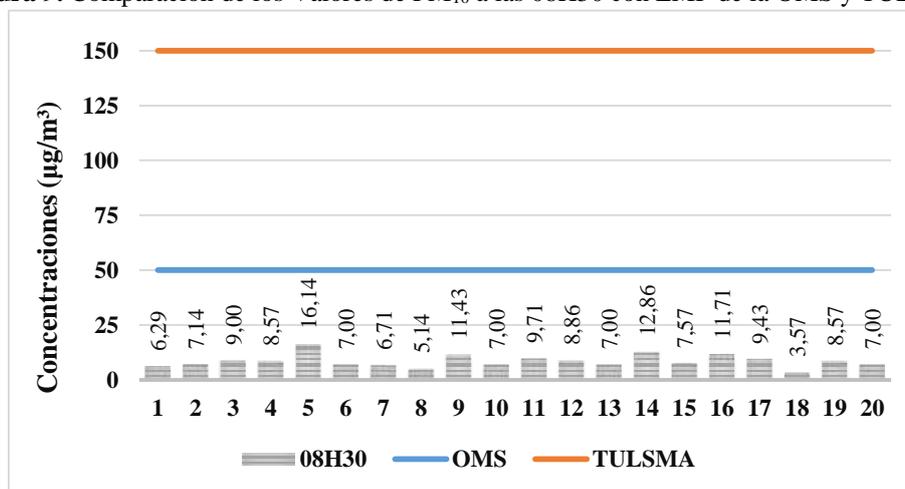
Fuentes: Autores (2019).

Con respecto a las **Figuras 6, 7 y 8**:

- Durante la toma de datos a primera hora en los días 5, 14 y 16 tenemos concentraciones sobre los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Al medio día los valores han bajado teniendo que solamente en los días 7 y 11 tenemos concentraciones sobre los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- En la última medición de la tarde los valores son bajos y no existe ningún día con concentraciones que superen los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

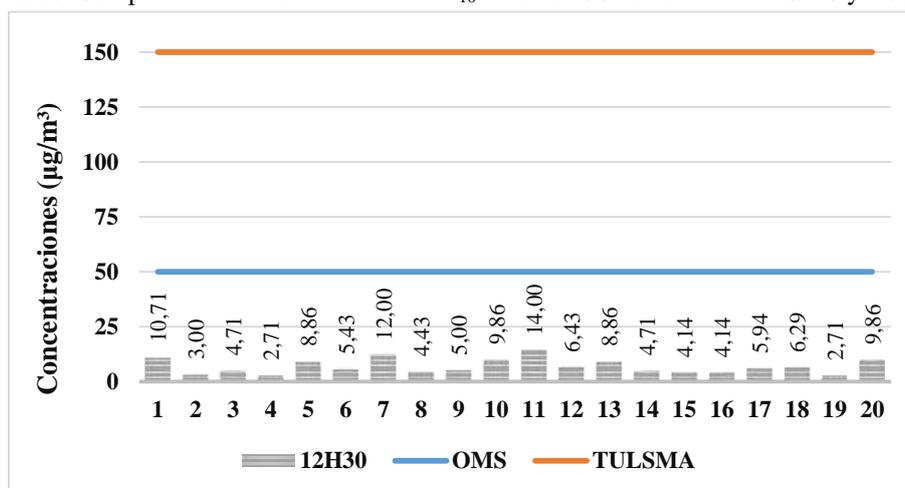
De igual manera con los datos obtenidos de MPV de 10 μm , cumplen con los LMP de la OMS y TULSMA como se puede observar en las **Figuras 9, 10 y 11**.

Figura 9. Comparación de los Valores de PM_{10} a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



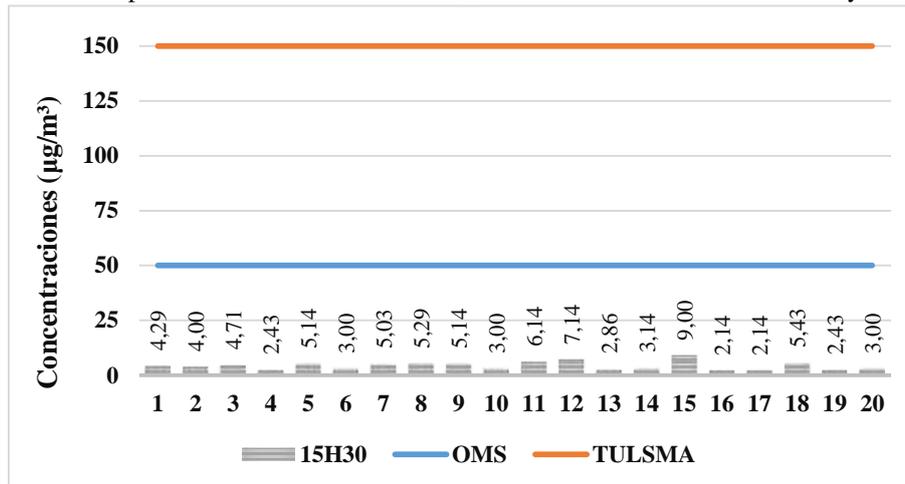
Fuentes: Autores (2019).

Figura 10. Comparación de los Valores de PM_{10} a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Autores (2019).

Figura 11. Comparación de los Valores de PM₁₀ a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Autores (2019).

En las **Figuras 9, 10 y 11**, dentro de la comparación de los valores de concentración de PM₁₀, se concluye que ningún día excedió los valores máximos:

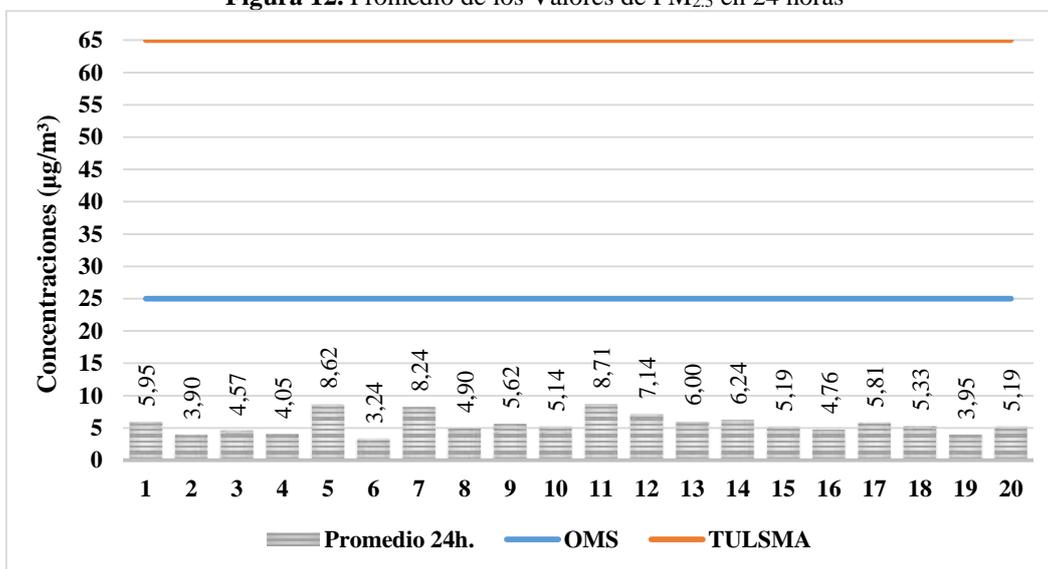
- A primera hora en los días 5, 9, 14 y 16 tenemos valores de concentración mayores a 10 µg/m³.
- Al medio día tenemos que en los días 1, 7 y 11 existen valores sobre los 10 µg/m³.
- En la medición de la tarde no existe ningún día con concentraciones que superen los 10 µg/m³.

La variabilidad climática en los diferentes días ayuda a la dispersión de la concentración del contaminante por ende los valores en general se encuentran por debajo de los límites permisibles.

En General a las primeras horas de la mañana se evidencia mayor cantidad de emisiones en el ambiente y con el pasar de las horas baja notablemente.

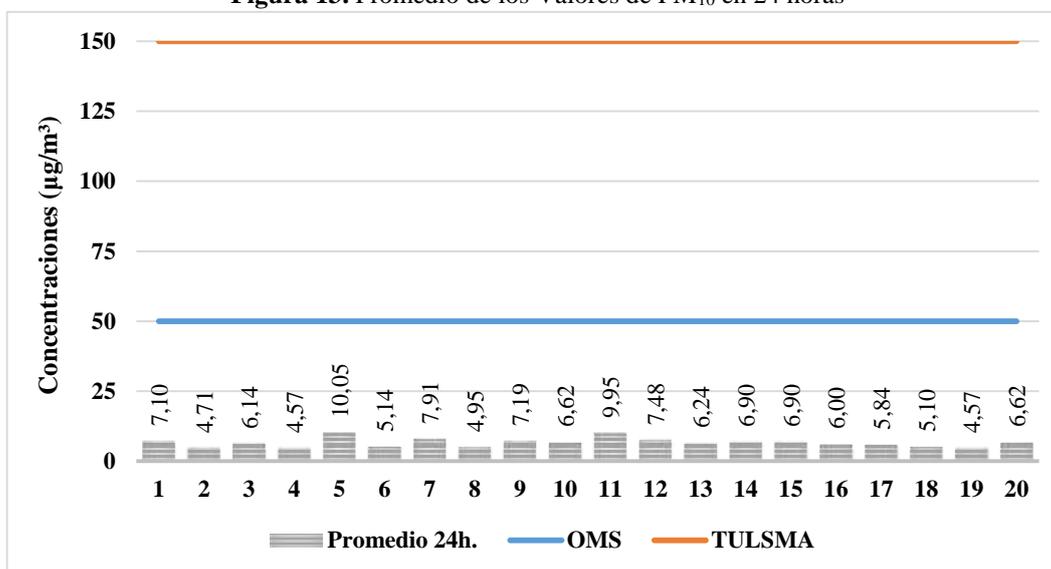
Con los datos obtenidos de las **Tablas 7 y 8**, se realizó un promedio entre los horarios de 08h30, 12h30 y 15h30, para comparar con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA en 24 horas, dando como resultado que ningún punto de monitoreo excede los valores máximos, como se puede observar en las **Figuras 12 y 13**.

Figura 12. Promedio de los Valores de PM_{2.5} en 24 horas



Fuente: Autores (2019).

Figura 13. Promedio de los Valores de PM₁₀ en 24 horas



Fuente: Autores (2019).

4.4 Análisis Estadístico Descriptivo

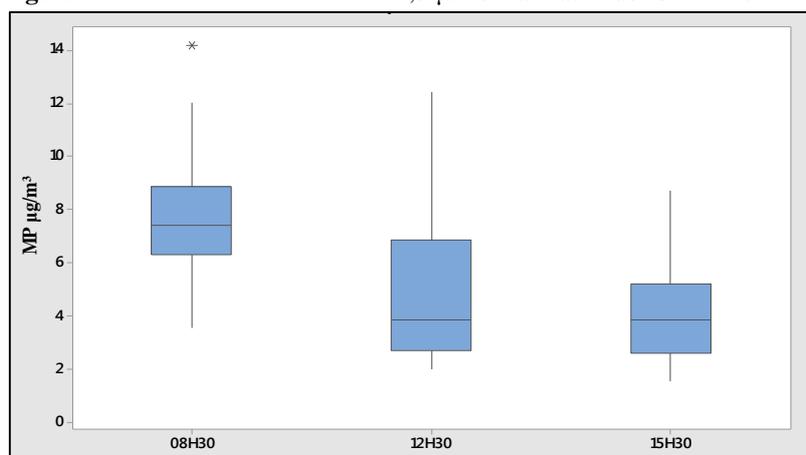
Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadística básica, como la media, mediana, el error estándar de la media, la desviación estándar, mínimo y máximo, cuartiles y el rango, con los datos obtenidos se utilizó una gráfica de cajas.

4.4.1 Material Particulado Volátil de 2,5 μm

Con los valores obtenidos de $\text{PM}_{2.5}$, en la matriz del cantón Chambo se obtuvo una media para las 08h30, 12h30 y 15h30, de $7,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $5,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, el valor mínimo que se registra en el sector es de $1,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $14,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (**Figura 14**).

El rango que se estableció en el análisis estadístico es de $10,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $7,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiendo a cada hora (**Anexo N° 3**).

Figura 14. Distribución de MPV de 2,5 μm en la Matriz del Cantón Chambo



Fuente: Autores (2019).

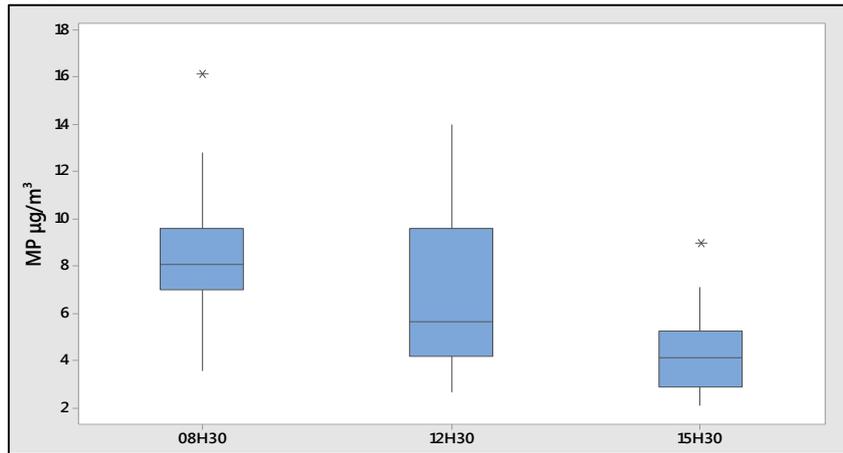
De acuerdo a Santillán (2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos de MPV en la matriz del cantón Chambo junto con los valores máximos según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, ya que se establece como media diaria $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el $\text{PM}_{2.5}$, respectivamente.

4.4.2 Material Particulado Volátil de 10 μm

Con los valores de PM_{10} , se obtuvo una media de $8,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para las 08h30, 12h30 y 15h30, respectivamente; el valor mínimo que se registra en el sector es de $2,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo de $16,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Figura 15**).

El rango establecido es de $12,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $6,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiendo a cada hora (**Anexo N° 4**).

Figura 15. Distribución de MPV de 10 μm en la Matriz del Cantón Chambo



Fuente: Autores (2019).

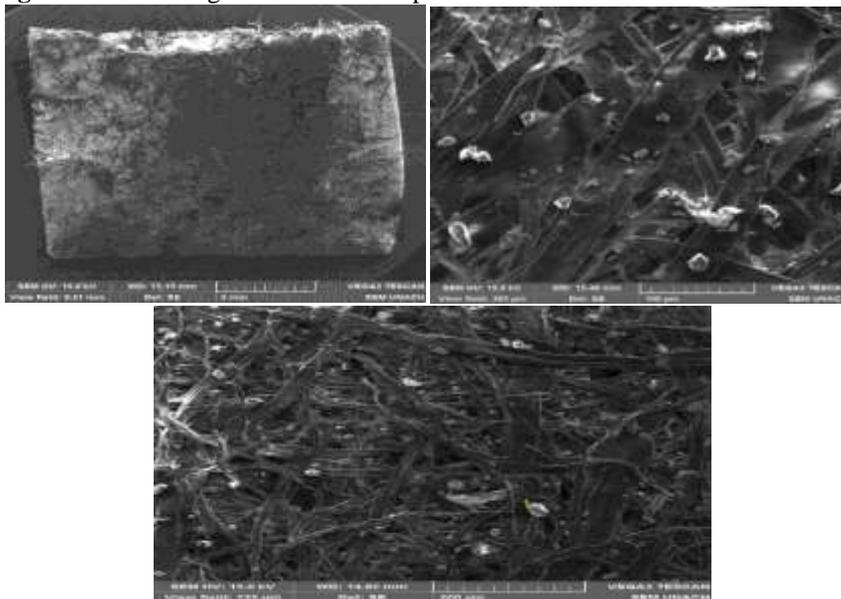
Los valores obtenidos de PM_{10} al comparar con los límites máximos permisibles según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores máximos, ya que se establece como media diaria 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

4.5 Análisis Molecular

4.5.1 Caracterización Morfológica del Material Particulado Sedimentable

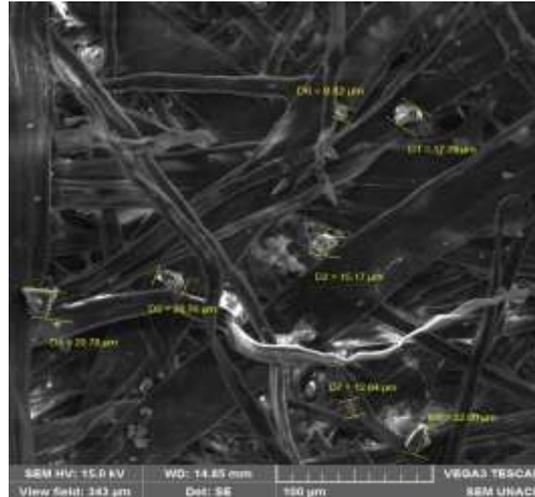
Se analizó la morfología del MPS que se encontraban en el papel filtro con el uso del microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 2x, 100x y 200x, **Figura 16**, donde se puede identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas. En la **Figura 17**, se identifica el diámetro de las partículas sedimentables.

Figura 16. Morfología del MPS correspondiente a la Matriz del Cantón Chambo



Fuentes: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus "La Dolorosa".

Figura 17. Diámetro de las Partículas Sedimentables



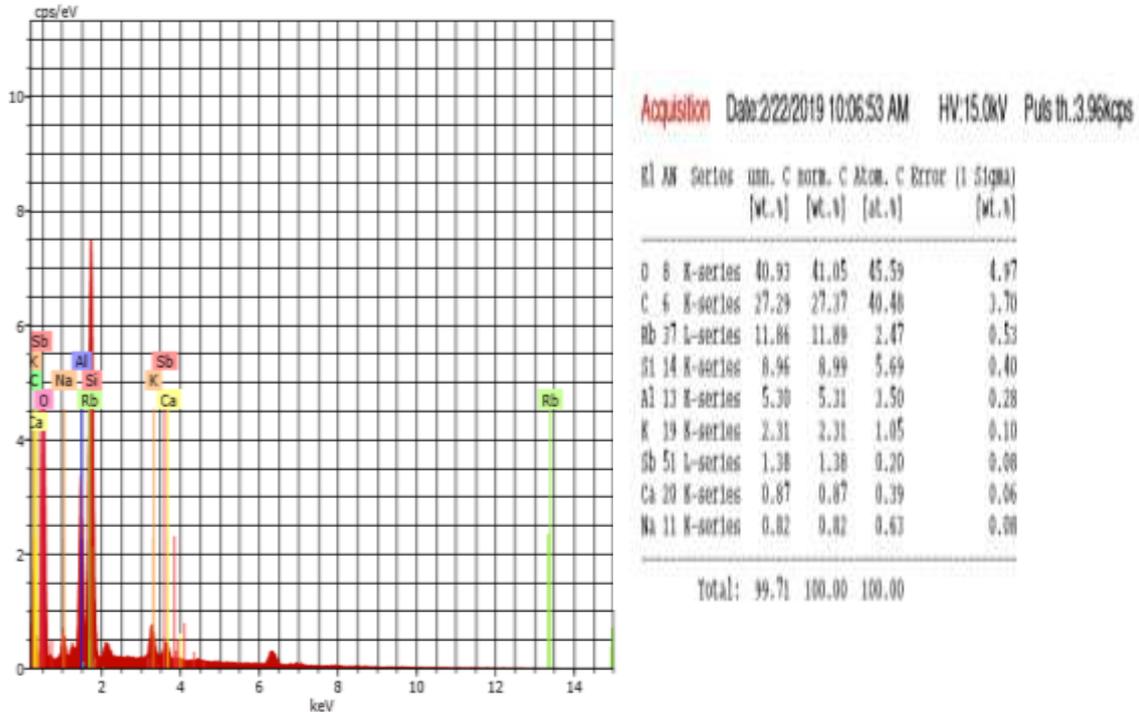
Fuentes: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Se realizó el análisis de 7 muestras recolectadas en el área de estudio. La morfología de las muestras de MPS se caracterizó por presentar formas irregulares y esféricas. Estas partículas presentaron de manera general contenido de elementos metálicos y compuestos orgánicos debido a la combustión incompleta de los hornos como la quema de leña para la fabricación de ladrillos y campos de cultivos aledaños a las viviendas (Jaya & Gomezcoello, 2012). En cuanto al diámetro de las partículas las mismas oscilan entre un rango de 5,2 a 22,00 μm . Se concluye que el tamaño de partículas abarca el PM_{10} que son nocivas para la salud, según Aragon (2011), Se ha demostrado que incide en el ser humano de manera respiratoria y cardiovascular.

4.5.2 Caracterización de la Composición Química del Material Particulado Sedimentable

La composición química del MPS recolectado en papel filtro proveniente de la matriz del cantón Chambo se determinó por medio de EDX, se examinó 7 muestras del cual se tomó para su análisis cinco puntos, en las esquinas de la muestra que son cuatro y uno en el centro, donde se obtiene un gráfico y una tabla con la composición química en porcentaje (**Figura 18**).

Figura 18. Composición Química de la Muestra de la Estación N° 1



Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Para un mejor análisis se realizó un promedio de porcentaje de composición química de MPS como se presenta en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Porcentajes y Promedio de la Composición Química del MPS

Compuestos	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5	Estación 6	Estación 7	Promedio
Oxígeno (O)	42,74	50,64	49,79	53,49	45,02	36,24	49,96	46,84
Carbono (C)	29,83	20,85	8,67	12,91	20,94	42,61	17,60	21,91
Rubidio (Rb)	11,44	12,02	11,47	12,65	9,76	4,37	12,86	10,65
Silicio (Si)	8,07	8,28	7,70	9,06	7,89	3,50	10,73	7,89
Aluminio (Al)	3,32	4,09	6,85	6,43	4,35	0,95	4,29	4,33
Antimonio (Sb)	1,59	1,52	7,04	1,47	5,46	6,09	1,32	3,50
Calcio (Ca)	1,09	1,06	5,87	1,14	4,68	5,48	1,04	2,91
Sodio (Na)	0,60	0,71	2,16	1,35	0,93	0,47	1,56	1,11
Potasio (K)	1,34	0,81	0,45	1,50	0,97	0,30	0,65	0,86

Fuente: Autores (2019).

Los no metales encontrados en nuestra muestra tienen un porcentaje promedio: Oxígeno 46,84% y Carbono 21,91%. Existe una influencia de ladrilleras artesanales, debido a que, durante la producción de los ladrillos en los diferentes hornos, se utiliza la leña (madera seca) misma que es quemada y producto de esto se originan algunos compuestos

orgánicos asociados al carbono, como el monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) que a su vez son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural.

Según Jaya & Gomezcoello (2012) en su trabajo de titulación menciona que la configuración de los ladrillos dentro del horno, dificulta la presencia de oxígeno, ocasionando una combustión incompleta y deficiente a temperaturas que no son suficientemente altas para quemar toda la leña.

El carbono y oxígeno, a su vez se producen a partir de la combustión incompleta de vehículos automotores con uso de diésel. Este puede permanecer en la atmósfera por varios días y semanas, para luego sedimentar (Bergman, 2011).

A su vez se encontró metales alcalinos, en las muestras de estudio se encontraron 3 elementos de este grupo con un porcentaje: Rubidio 10,65%, sodio 1,11 %, y potasio 0,86%.

El rubidio proviene de los catalizadores de los vehículos ligeros, pesados y otros medios de transporte y maquinaria, que utilizan básicamente como combustibles gasolina y diésel., en bajas concentraciones no traen problema a salud (Vargas, 2010).

Se encontró Si, Al, y Ca, los cuales son materiales de la composición del suelo proveniente del polvo de los caminos y carreteras, de los procesos de construcción y del polvo arrastrado por el viento que pueden permanecer suspendidos muchos días (Quijano & Henao, 2010).

Tenemos un porcentaje de silicio 7,89%, aluminio 4,33%, calcio 2,91%, sodio 1,11% Potasio 0,86 %, debido a que para la fabricación de ladrillos se hace una mezcla con arcillas.

El calcio es un elemento químico que se encuentra de forma natural en el ambiente en pequeñas concentraciones que no producen daño al ser humano, sin embargo, también son utilizados en algunos procesos industriales que hacen que aumenten su concentración en el medio ambiente pudiendo causar daños pulmonares a la población expuesta (ATSDR, 2018).

4.6 Gráfica de la Dispersión de los Contaminantes

Finalmente, se obtuvieron los mapas correspondientes, para visualizar la dispersión de material particulado sedimentable, material particulado volátil $PM_{2.5}$ y PM_{10} . El objetivo de los mapas es poder interpretar que sucede con el material particulado en cuanto a su movilidad es decir hacia dónde se dirige y su distribución, en que zonas se acumulan en menor o mayor proporción.

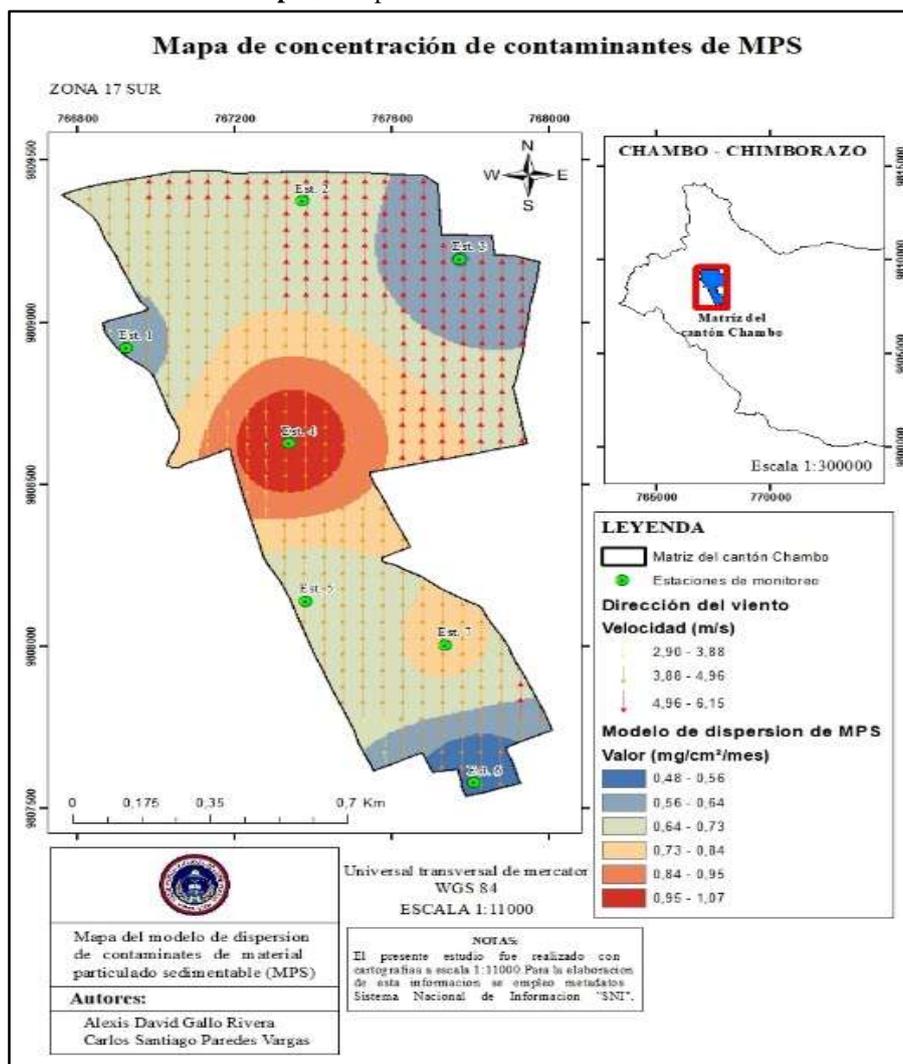
Para esto, se generó un mapa de dispersión del contaminante trabajando con coordenadas geográficas en X - Y, también se representan los valores de velocidad y dirección del viento del mes de enero – febrero de 2019, parámetros importantes que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas: DAC-Riobamba, Macas, Puyo, Guaslan, Cebadas, Guamote, cercanas a nuestra zona de estudio.

El análisis que se realizó a los mapas, sirve para dar un criterio de cuál es la realidad en cuanto a influencia o afectación a los pobladores de la matriz, dentro del periodo enero a febrero de 2019, tiempo que duro los trabajos de recolección de datos en campo para la investigación.

En la investigación realizada en México por Sánchez (2015), la dispersión de los contaminantes atmosféricos depende del movimiento del viento.

Se realizó el modelo de dispersión para material particulado sedimentable (**Mapa 3**), mediante una clasificación por colores para identificar las zonas con menor y mayor concentración misma que va en una escala de colores de azul a rojo.

Mapa 3. Mapa de Concentración de MPS



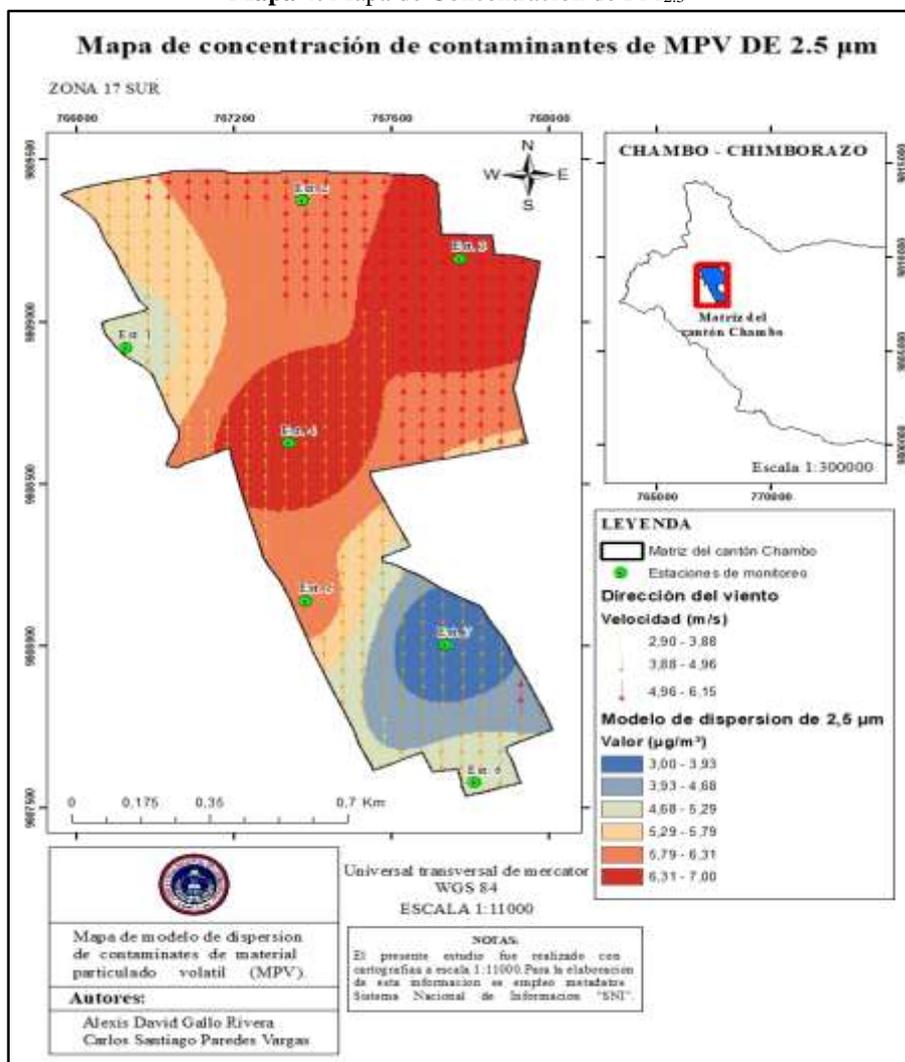
Fuente: Autores (2019).

La zona de mayor concentración se encuentra en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) y está representada en el mapa por el color rojo, perteneciente al Municipio de Chambo con un valor de 0,95 – 1,07 mg/cm²/mes, el particulado tiende a dirigirse en dirección de Sur a Norte de acuerdo al mapa de dirección del viento de las estaciones meteorológicas de la zona.

La dirección del viento esta en sentido NE, y la velocidad se encuentra entre los valores de 2,90 a 6,15 m/s, datos obtenidos de las estaciones meteorológicas.

En los Mapas 4 y 5 se representa las concentraciones de material particulado volátil de $PM_{2.5}$ y PM_{10}

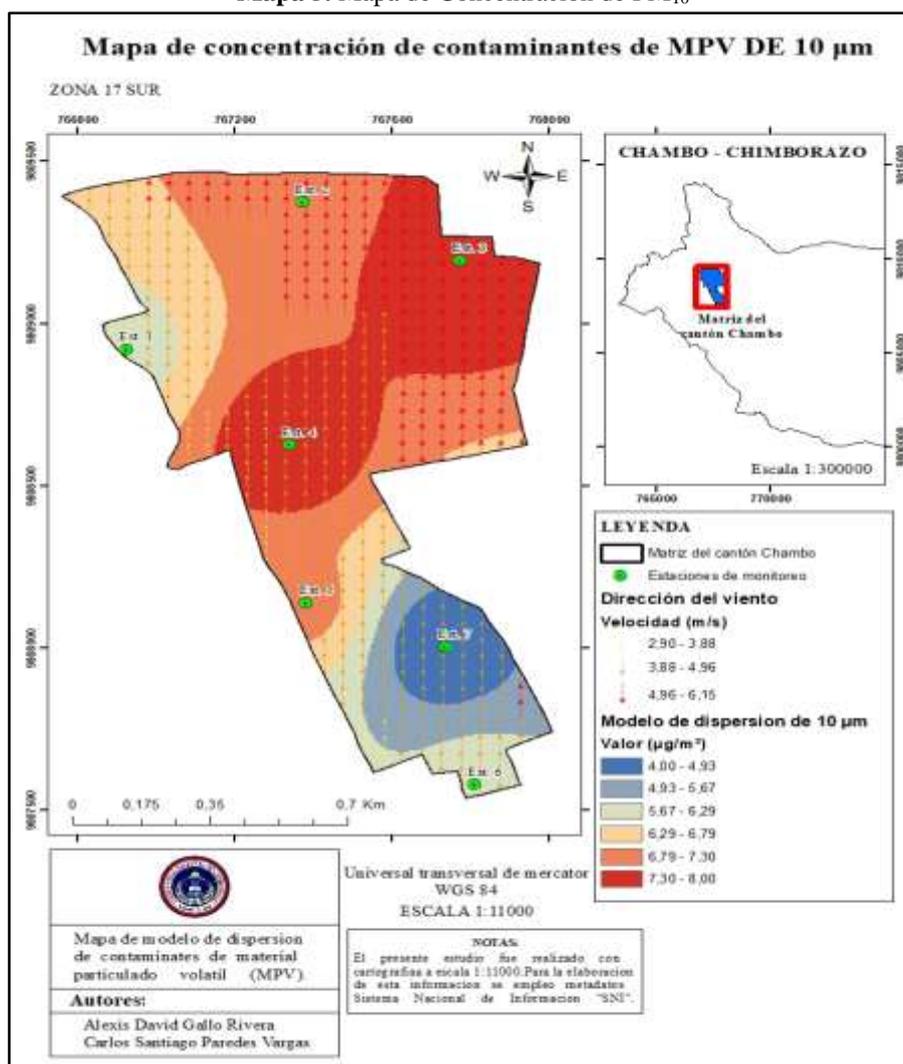
Mapa 4. Mapa de Concentración de $PM_{2.5}$



Fuente: Autores (2019).

Modelo de dispersión para el material particulado de 2,5 µm, las zonas con mayor concentración, se encuentran en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4), con un valor de 7,00 µg/m³, perteneciente a la ubicación del GAD Municipal de Chambo zona céntrica de alto comercio que además es característico por el tráfico vehicular y en el punto de monitoreo N° 3 (Est.3) con un valor de 6,31 µg/m³ zona con una importante presencia de ladrilleras artesanales. En el punto de monitoreo N° 7 (Est.7) representado en el mapa con el color azul nos da valores bajos de concentración de 3,93 µg/m³, este pertenece a la zona del terminal terrestre lugar donde se encuentra el centro de salud, podemos destacar poca presencia de ladrilleras y bajo tránsito vehicular. Es importante indicar que el particulado tiende a dirigirse en dirección NE.

Mapa 5. Mapa de Concentración de PM₁₀



Fuente: Autores (2019).

Como se observa en el **Mapa 5** las zonas de mayor concentración se encuentran en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) con un valor de 8,00 µg/m³, perteneciente a la ubicación del GAD Municipal de Chambo y se distribuye hacia el punto de monitoreo N° 3 (Est.3) con un valor de 7,30 µg/m³ respectivamente. En el punto de monitoreo N° 7 (Est.7) es una zona de baja influencia está representado en el mapa con el color azul además representa valores bajos de concentración con un valor de 4,93 µg/m³. El particulado tiende a dirigirse en dirección NE.

CONCLUSIONES

- Se hace más evidente la presencia de emisiones de gases de combustión de los diferentes hornos en la matriz durante las primeras horas de la mañana, debido a su presencia en el ambiente.
- Dentro de la comparación con las normativas para el MPS, la mayoría de datos superan el LMP únicamente de la OMS, es decir que si existe acumulación.
- La estación 4 supera ambas normativas OMS y TULSMA, instalada en el GAD municipal de Chambo, sector céntrico de la matriz, en este lugar aglomera el mayor índice de tránsito y tráfico vehicular, pues están presentes buses cantonales y urbanos, vehículos livianos, camiones, etc., considerado como sector de uso comercial, institucional y residencial.
- La concentración y dispersión para el MPV en la zona de estudio es en dirección NE y se acumulan en mayor porcentaje en las estaciones 4 y 3 además hay que mencionar que en esta última existe un elevado número de hornos como lo refleja la gráfica de dispersión de 2,5 y 10 μm .
- Las técnicas de microscopía electrónica (MEB), en su morfología se caracterizó por presentar formas irregulares y esféricas, además el diámetro de las partículas oscila entre un rango de 5,2 a 22,00 μm .
- En el microanálisis de rayos X (EDX), en las muestras se encontraron 9 elementos químicos como: Oxígeno, Rubidio, Silicio, Carbono, Aluminio, Antimonio, Calcio, Sodio, Potasio, mismas que son relacionadas con la producción de ladrillos y el tránsito vehicular.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para saber si hay acumulación de partículas en las parroquias de San Gerardo, Quimiag y San Luis, que se encuentra en la dirección del viento hacia donde se dirigen los contaminantes.
- Aplicar esta metodología para el estudio en diferentes catones o parroquias en el Ecuador, con la finalidad de obtener resultados actuales sobre contaminantes atmosféricos.
- Monitorear en períodos prolongados el material particulado originado durante el proceso de horneado de los ladrillos, para reducir la contaminación hacia el factor aire y evaluar los impactos que se presentarían en la salud humana.
- Para la realización de similares trabajos de investigación se recomienda un conocimiento previo del sector a investigar, con el fin de conocer la población de estudio y así optimizar recursos (tiempo, dinero).

BIBLIOGRAFÍA

- Adame, R. (2010). *Contaminación ambiental y calentamiento global*. Trillas, Mexico.
- Aldás, L. V. (2013). *Diagnóstico y monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Central del Ecuador*. Quito.
- Almirón, M., Dalmasso, A., & Llera, J. (2013). *Evaluación de material particulado sedimentable en una calera de los Berros-San Juan-Argentina*. San Juan, Argentina: Scielo, 29-38.
- Aragon, A. (2011). *Caracterización de partículas suspendidas con elementos pesados por microscopía electrónica de barrido*. San Luis de Potosí, México.
- ATSDR, a. f. (2018). *Reseña toxicológica de compuestos químicos. ToxFAQs*, 1-4.
- Baquero, J. (2013). *La depredación ambiental por la industria del ladrillo en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo*. Riobamba: IPSUM.
- Bergman, J. (13 de mayo de 2011). *Ventanas al universo*. Obtenido de carbón negro: https://www.windows2universe.org/earth/climate/black_carbon.html&lang=sp
- CCE. (2016). *Cuánto más sabes sobre quemar leña*. Coronel, Chile: Observatorio ecológico de coronel.
- Díaz, V. (2015). *Informe de la calidad del aire en Quito*. Quito, Pichincha.
- Erazo, R. (2013). *Influencia de emisiones industriales en el polvo atmosférico de la ciudad de San Luis Potosí, México*, Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental, 22(1), 5-15.
- Espinoza, C. (2014). *Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador. 2009-2013. Contaminantes*. Cuenca-Ecuador: Revista de Ciencias Ambientales de la U de Cuenca.
- Jaya, J., & Gomezcoello, J. (Enero de 2012). *Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando tres tipos de combustibles*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>

- Jimenez, D. (19 de agosto de 2014). *Incidencia de rinitis alérgica con relación a la exposición de material particulado emitido por los billetes en el área de especies monetarias del banco central del Ecuador*. Obtenido de file:///C:/Users/PC/Downloads/TESIS%20DE%20GRADO%20DEL%20DR.%20DAVID%20JIM%C3%89NEZ%20OLLAGUE.pdf
- López, S. (2016). *Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a 10 µm, en el casco urbano del Municipio de Ocaña, norte de Santander*. Obtenido de <http://200.93.148.28/drupal/files/D1dCBLxWr0Gnvid.pdf>
- Machado & Aguirre. (2015). *Elaboración de un inventario de fuentes fijas de combustión establecidas en el parque industrial de la ciudad de Cuenca para la estimación de sus emisiones atmosféricas*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21768/1/tesis.pdf>
- MAE. (2012). *Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente (Lexis)*. Obtenido de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/TEXTO-UNIFICADO-LEGISLACION-SECUNDARIA-MEDIO-AMBIENTE.pdf>
- Manahan, E. (2012). *Introducción a la química ambiental*. Traducido por Ivette Mora Leyva., pág. 402.
- Marcos, R., & Cabrera, M. (2009). *Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando la metodologías de tubo pasivo y placa*. Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT, pág. 51.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan Nacional de la Calidad del Aire*, Quito-Ecuador.
- OMS. (Septiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Obtenido de: <http://www.who.int/mediaentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS. (2 de Mayo de 2018). *El mundo respira aire contaminado*. Obtenido de: <http://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

- OPS,(20 de octubre de 2017). *Contaminación del aire ambiental*. Obtenido de https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=295&Itemid=72243&lang=es
- PDOT CHAMBO, 2014. *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton chambo*. Chambo, Ecuador
- Poma, J. M. (2012). *Modelo de identificación de factores contaminantes*. Lima, Perú.
- Préndez, M. (2011). *Some guidelines to improve air quality management in Santiago, Chile: from commune to basin level, in air quality monitoring, assessment and management*. Santiago, Chile: InTech.
- Quijano, A., & Henao, J. (2010). *Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM_{2,5} en Pamplona-Norte de Santander-Colombia*. Bistua, 1-20.
- Ramirez, B. (2011). *Estudio del impacto ambiental en le proceso de elaboracion de ladrillo en la comunidad del Chote*. Mexico: Universidad Veracruz.
- Salinas, P. (2012). *Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencias por mornilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010.*. Obtenido Universidad Austral de Chile.
- Santillán, P. (2016). *Estimación del grado de contaminación de Material Particulado*. Perfiles, 8.
- Seinfeld, J. (2014). *“Inventario de emisiones atmosféricas contaminantes de la ciudad de Cochabamba”,Bolivia, año 2008.*”. Obtenido de Acta Nova 5.3 (2012): 344-373.
- TSI. (2013). *I. Monitor de aerosoles dusttrak™*. Obtenido de [Internet].: www.tsi.com
- Turner, D., & Schulze, R. (2010). *Guía práctica para el modelado de dispersión atmosférica. Asociación de Gestión de Aire y Desechos.* ", Trinity Consultants, U.S.EPA. *Guía del usuario para el modelo de regulación AMS / EPA-AERMOD, Estados Unidos*.
- Tyson, L., & Scheper, N. (2015). *“Transporte y dispersión de contaminantes del aire”*. Berkeley University of California., California, Estados Unidos.

- Vargas, Q. M. (2010). *Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM10 en Pamplonaa-Norte de Santander-Colombia*. Bistua, Facultad de ciencias basicas, 1-15.
- Vázquez, C., & Beristain, F. (2012). *Caracterización del patrón de comportamiento de las partículas en suspensión en el Valle de México*. Mexico, Información Tecnológica, 3-10.
- Villacrés, M. F. (2015). *Evaluacion de la contaminacion atmosferica de la ciudad de ambato relacionada con el material particulado sedimentable*. Riobamba - Ecuador.
- Zali, A. (2017). *Public Member Dose Assessment of Bushehr Nuclear Power Plant Under Normal Operation By Modeling The Fallout From Stack Using The HYSPLIT Atmospheric Dispersion Model*. Diario ambiental, 1-8.
- Zuñiga. (2017). *Modelamiento de Gases - Ladrilleras. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustin*. Arequipa, Perú.

ANEXOS

Anexo N° 1. Datos de material particulado volátil de 2.5 µm en cada zona a diferente horario.

PM_{2.5} µm (µg/m³)																						
Fechas	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 4			Estación 5			Estación 6			Estación 7			
	2019	08h30	12h30	15h30	08h30	12h30	15h30															
14 E.	6	2	3	22	10	8	3	3	6	6	4	4	9	4	5	8	7	4	5	4	2	
15 E.	4	8	2	7	10	1	8	1	1	5	1	4	4	1	3	9	4	1	6	1	1	
16 E.	7	5	1	7	5	4	9	2	3	8	3	3	11	2	2	4	6	3	6	3	2	
17 E.	9	3	1	8	2	4	9	2	1	7	5	8	6	2	2	5	1	1	5	2	2	
18 E.	12	1	2	9	1	1	10	2	2	20	7	7	19	36	16	16	2	3	13	1	1	
21 E.	3	5	9	6	1	1	5	1	2	4	3	2	5	2	3	3	5	1	2	2	3	
22 E.	3	19	2	11	13	5	3	13	3	12	13	5	5	13	7	14	12	4	6	4	6	
23 E.	6	5	5	3	2	3	33	1	2	3	1	3	1	1	2	2	3	23	1	1	2	
24 E.	9	1	3	10	6	7	12	1	3	11	3	5	8	2	4	7	10	8	6	1	1	
25 E.	2	4	5	5	5	3	17	6	4	4	11	2	2	15	2	6	5	2	5	2	1	
28 E.	6	12	2	7	12	13	12	11	15	12	13	4	5	13	1	7	13	2	9	13	1	
29 E.	5	4	6	8	3	6	25	8	32	6	5	6	3	4	4	6	3	4	6	3	3	
30 E.	3	7	4	2	7	3	19	6	12	14	7	4	5	6	2	6	8	3	3	4	1	
31 E.	19	5	3	8	2	5	8	4	2	20	4	4	11	3	4	10	2	2	8	2	5	
01 F.	3	1	3	9	3	11	6	3	2	7	6	13	9	1	9	9	2	3	6	1	2	
04 F.	15	1	2	7	3	2	12	1	2	16	7	3	11	1	3	6	1	1	4	1	1	
05 F.	8	2	1	5	14	5	19	9	1	16	10	1	7	5	1	3	6	1	5	2	1	
06 F.	2	1	2	2	2	37	2	14	10	9	8	4	5	1	3	3	1	1	2	1	2	
07 F.	4	6	1	8	2	4	9	2	1	7	5	8	6	2	2	5	1	1	5	2	2	
08 F.	6	4	2	5	5	3	17	6	4	4	11	2	2	15	2	6	5	2	5	2	1	

Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 2. Datos de material particulado volátil de 10 µm en cada zona a diferente horario.

PM₁₀ µm (µg/m³)																					
Fechas 2019	Estación 1			Estación 2			Estación 3			Estación 4			Estación 5			Estación 6			Estación 7		
	08h30	12h30	15h30																		
14 E.	13	3	5	7	47	3	4	4	6	3	5	2	8	3	5	5	9	6	4	4	3
15 E.	5	2	8	7	6	4	10	2	1	6	2	3	5	3	8	10	5	3	7	1	1
16 E.	9	5	5	15	8	2	9	3	7	9	4	4	11	3	2	5	7	11	5	3	2
17 E.	9	2	2	11	8	6	10	3	1	6	3	2	13	1	3	6	1	1	5	1	2
18 E.	6	3	4	7	2	2	35	6	2	14	19	5	20	28	20	17	2	2	14	2	1
21 E.	6	20	8	22	3	2	6	3	4	5	5	3	4	4	2	4	2	1	2	1	1
22 E.	2	15	7	8	13	4	2	13	6	14	14	1	7	14	9	7	12	7	7	3	1
23 E.	7	5	3	9	3	2	8	1	3	4	2	5	3	4	8	3	14	14	2	2	2
24 E.	14	2	8	11	7	3	10	1	8	11	4	5	9	3	6	11	15	4	14	3	2
25 E.	4	5	2	6	5	1	15	6	2	11	14	3	3	16	4	5	17	8	5	6	1
28 E.	6	12	3	9	14	13	11	13	13	13	15	4	10	14	5	12	15	3	7	15	2
29 E.	5	4	11	11	4	5	23	13	16	7	9	5	3	6	6	7	4	3	6	5	4
30 E.	7	18	7	3	11	3	11	8	2	10	10	3	6	5	2	8	7	2	4	3	1
31 E.	22	7	4	9	6	3	8	6	3	22	4	3	12	4	3	9	2	3	8	4	3
01 F.	4	3	1	4	4	4	8	8	3	6	8	47	13	1	2	9	3	4	9	2	2
04 F.	17	1	3	7	2	2	14	3	2	23	18	5	10	2	1	7	1	1	4	2	1
05 F.	8	11	2	5	12	3	14	8	3	19	7	1	13	2	4	2	1	1	5	1	1
06 F.	1	3	2	1	4	6	4	30	20	7	1	3	4	3	3	5	2	2	3	1	2
07 F.	9	2	2	11	8	6	10	3	1	6	3	2	13	1	3	6	1	1	5	1	2
08 F.	4	5	2	6	5	1	15	6	2	11	14	3	3	16	4	5	17	8	5	6	1

Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 3. Análisis estadístico - matriz del cantón Chambo – PM_{2.5}

Variable	N	Media	EE Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
08H30	20	7,76	0,54	2,43	3,57	6,33	7,43	8,86	14,14	10,57
12H30	20	5,04	0,69	3,06	2,00	2,75	3,86	6,86	12,43	10,43
15H30	20	4,08	0,45	2,03	1,57	2,60	3,85	5,21	8,71	7,14

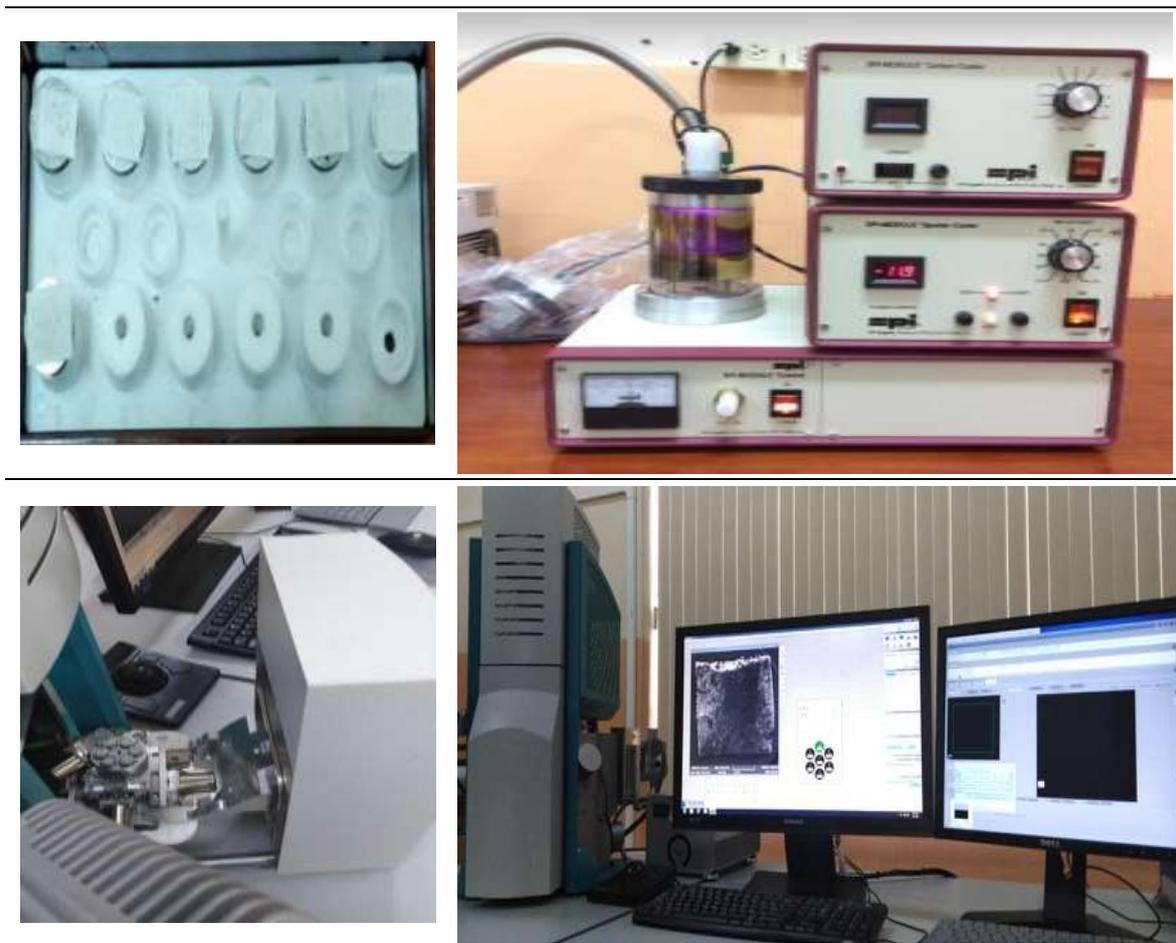
Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 4. Análisis estadístico - matriz del cantón Chambo – PM₁₀

Variable	N	Media	EE Media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
08H30	20	8,54	0,64	2,85	3,57	7,00	8,07	9,64	16,14	12,57
12H30	20	6,69	0,73	3,28	2,71	4,21	5,69	9,61	14,00	11,29
15H30	20	4,27	0,41	1,82	2,14	2,90	4,14	5,25	9,00	6,86

Fuente: Autores (2019).

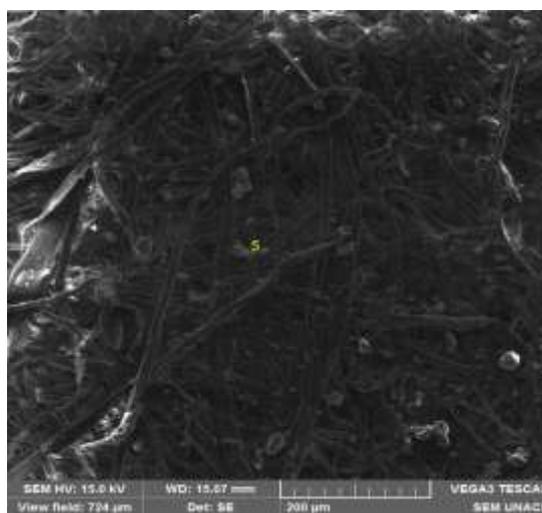
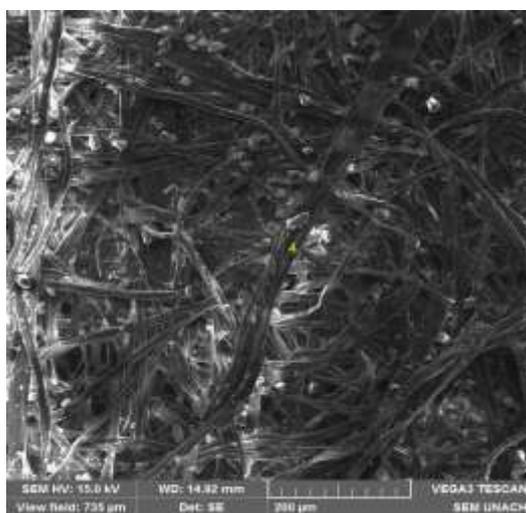
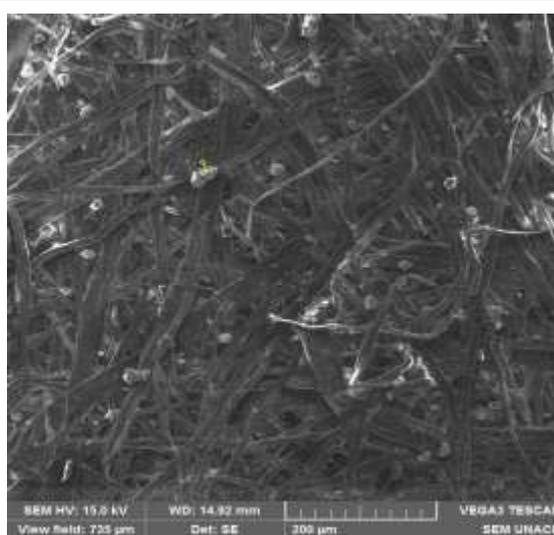
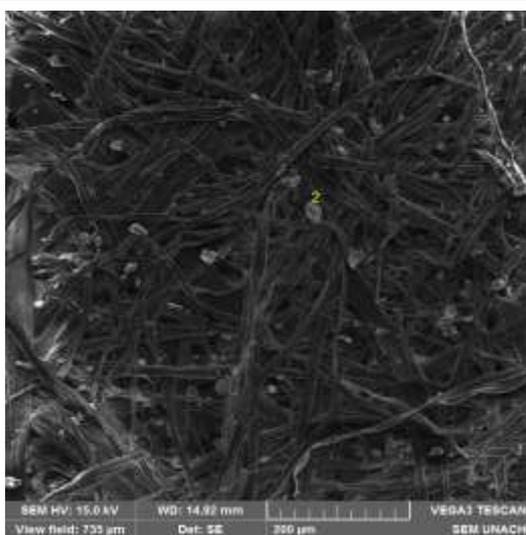
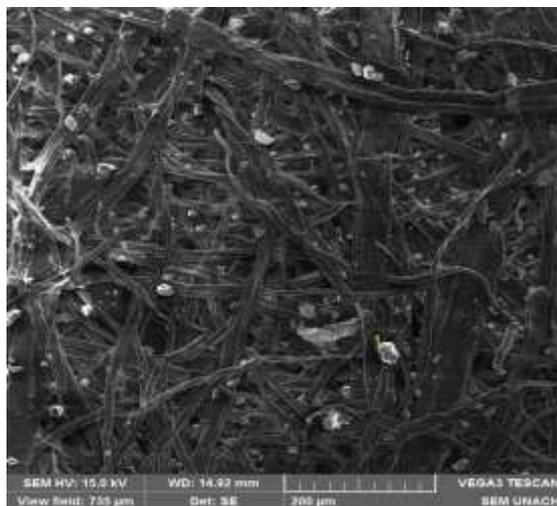
Anexo N° 5. Análisis de MPS con el microscopio electrónico de barrido



Fuente: Autores (2019).

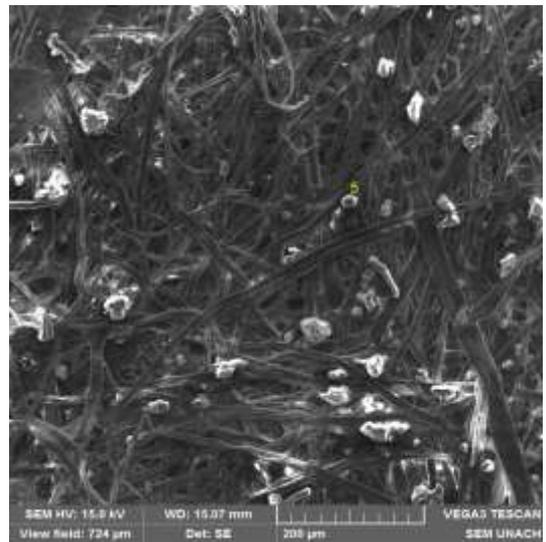
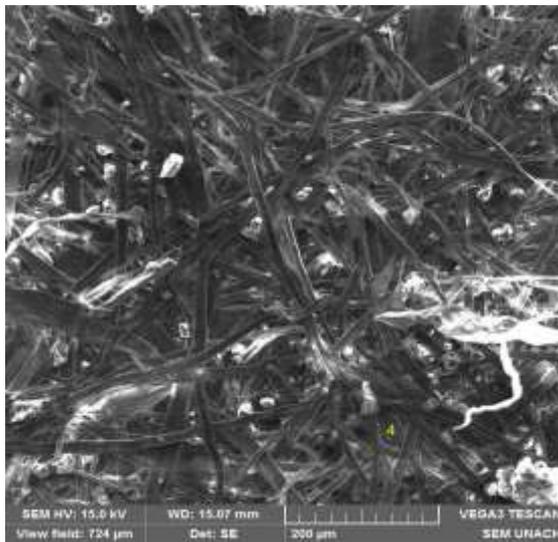
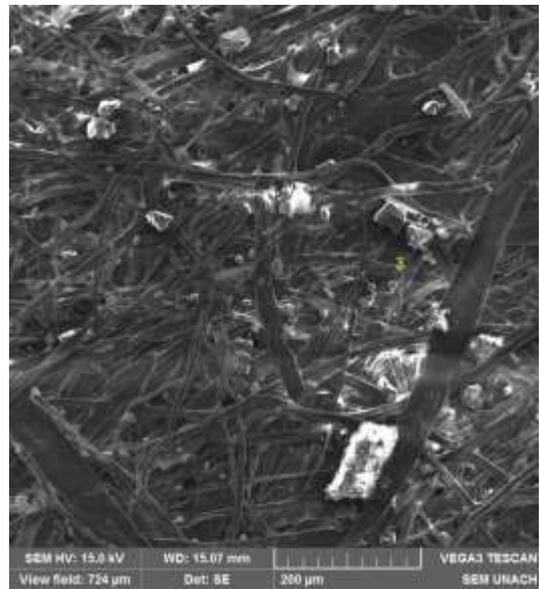
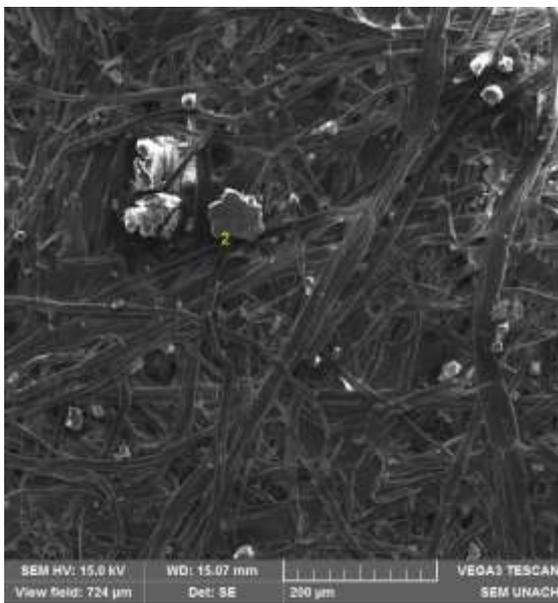
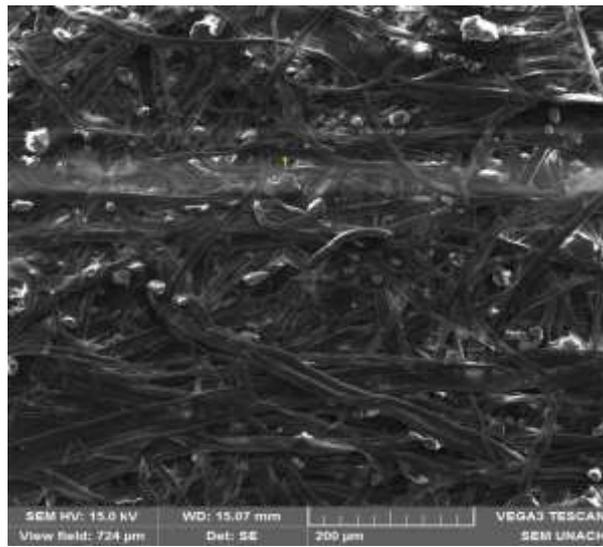
Anexo N° 6. Morfología de material particulado sedimentable de la matriz del cantón Chambo.

Estación 1



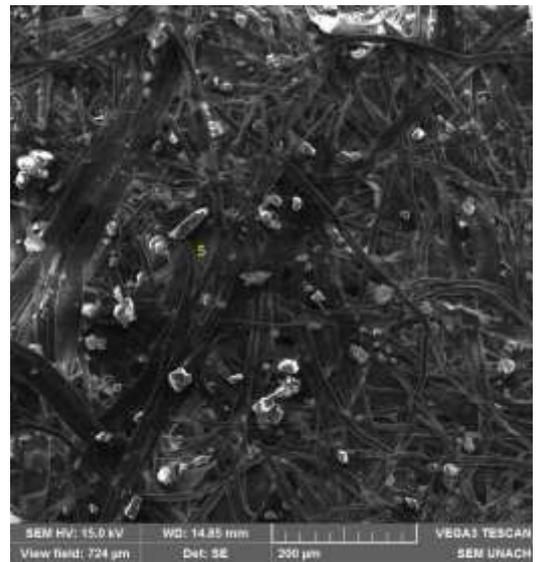
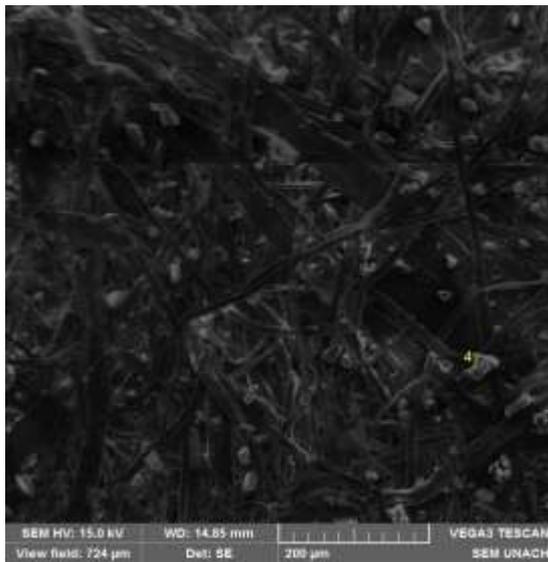
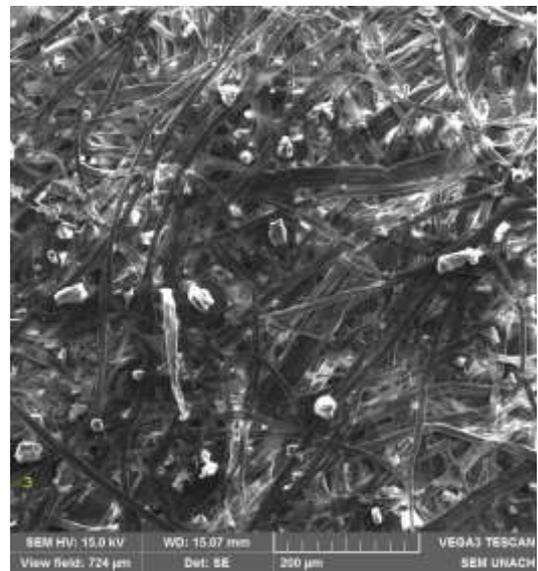
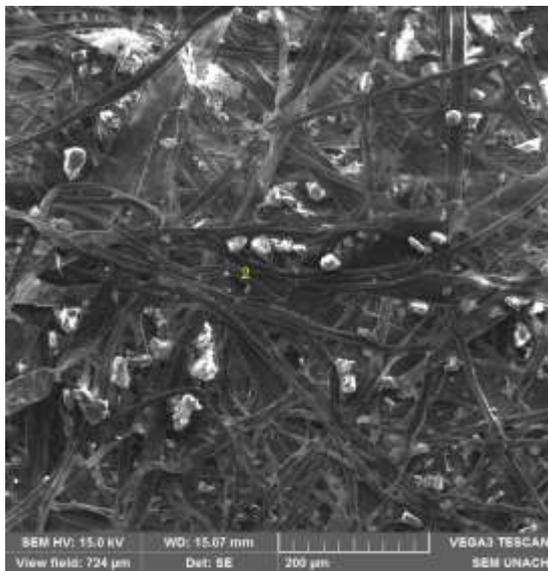
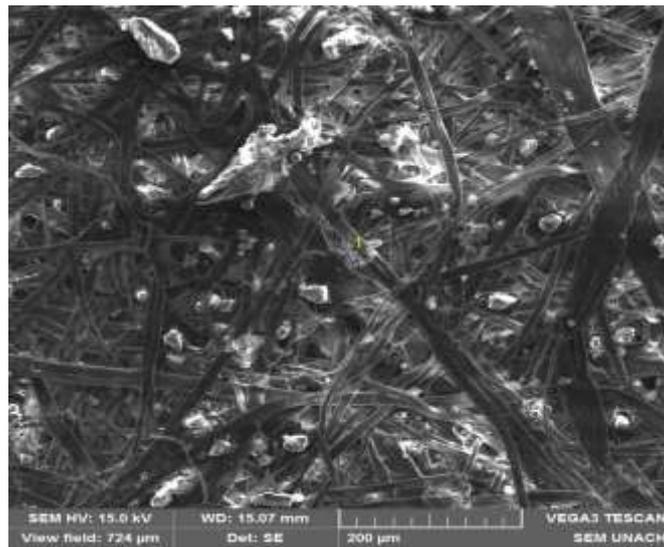
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 2



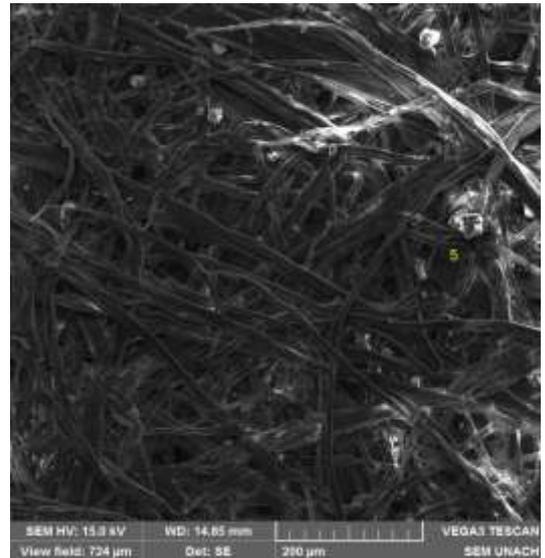
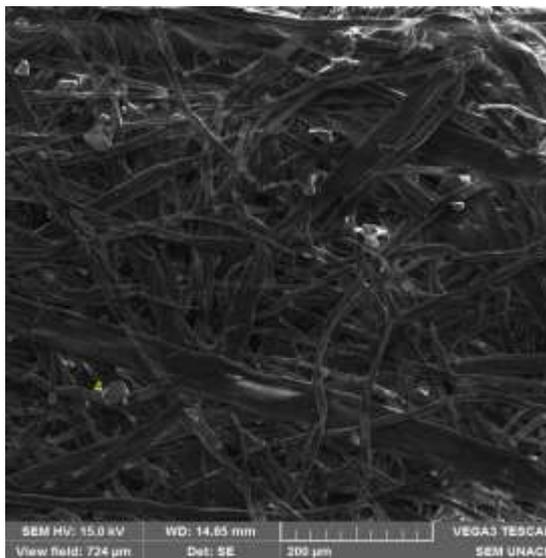
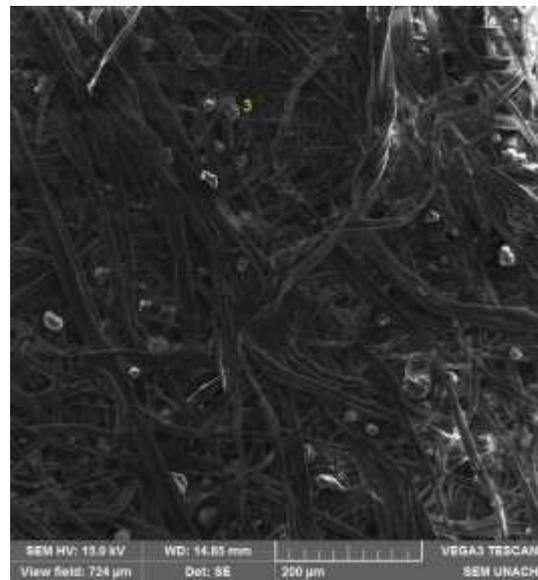
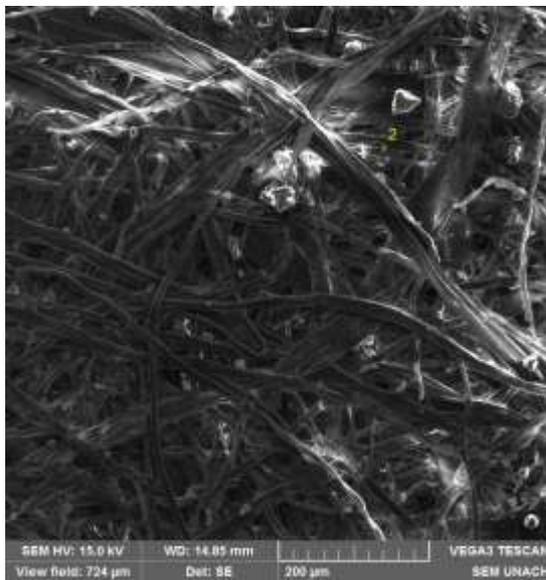
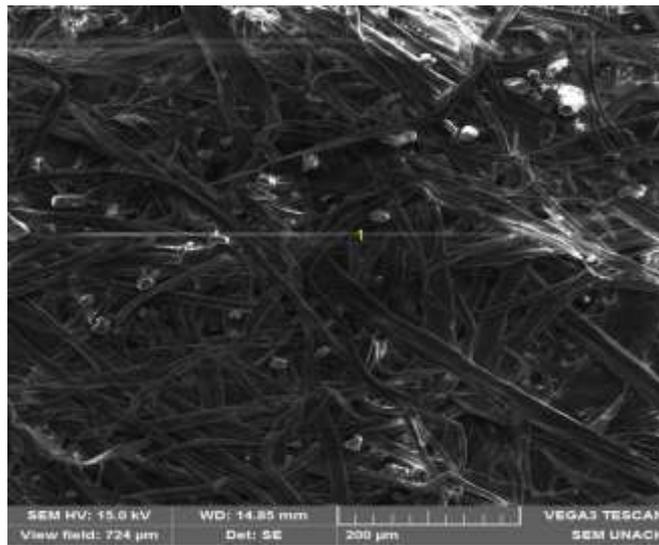
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 3



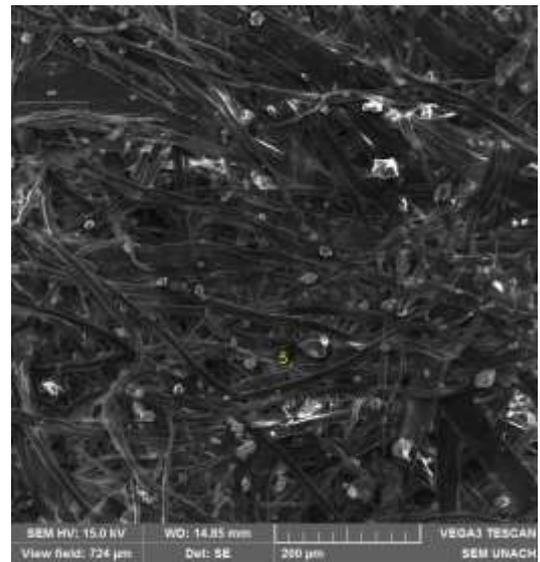
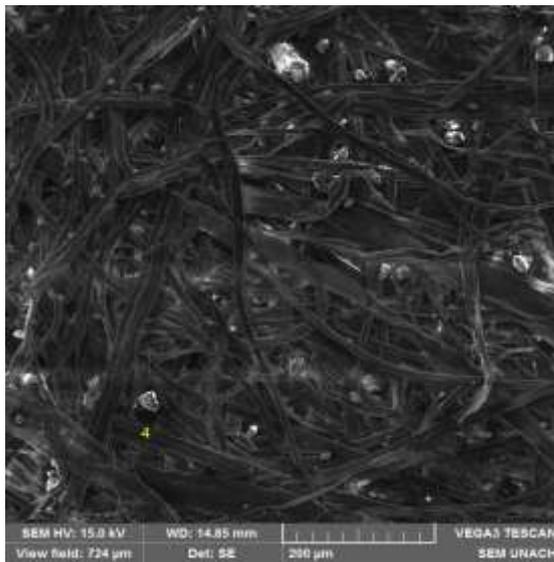
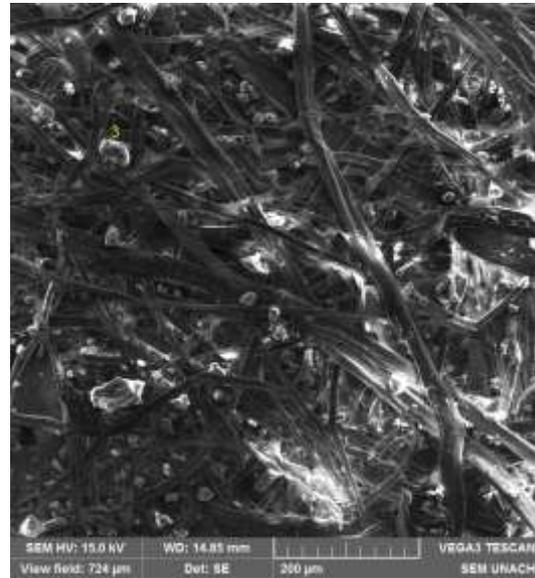
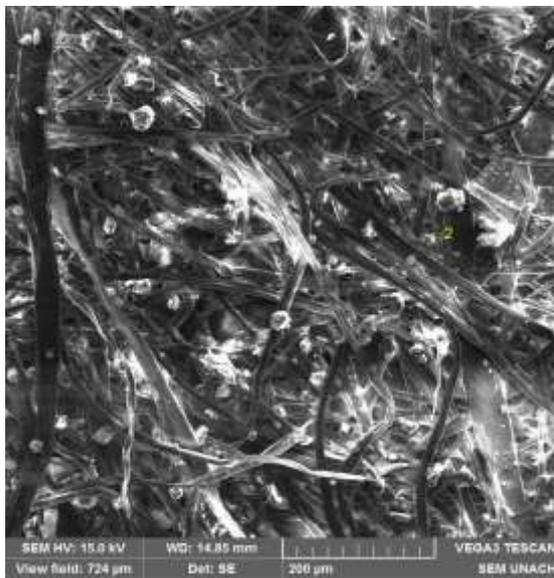
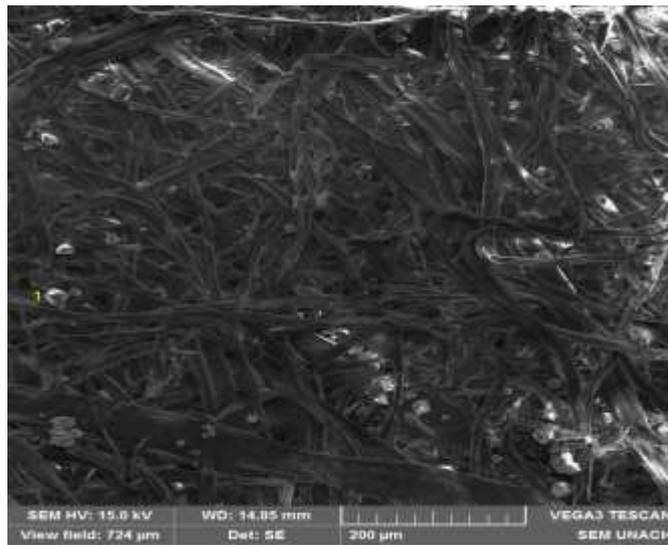
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 4



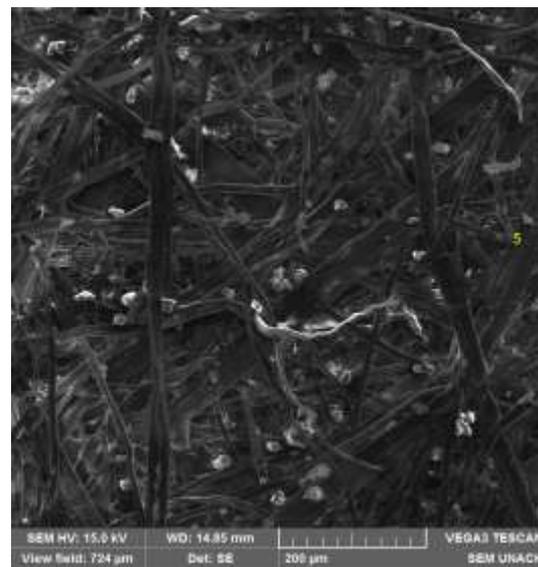
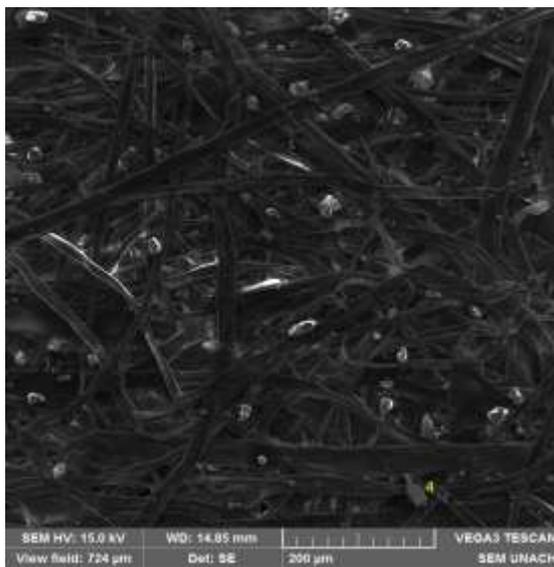
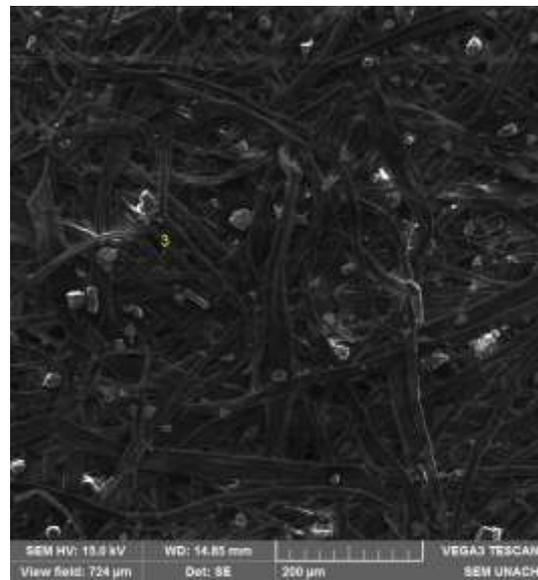
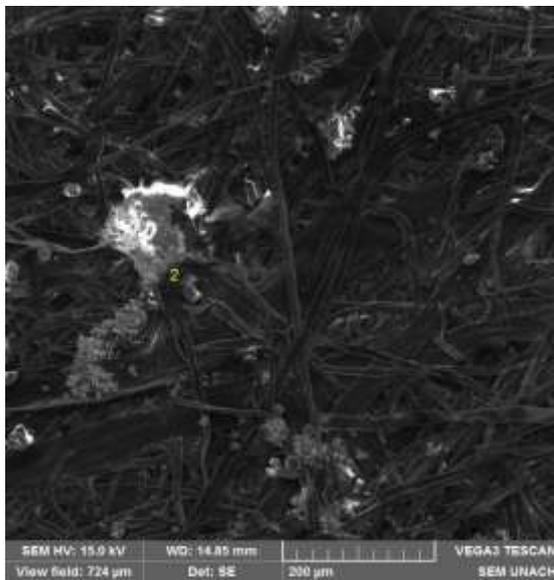
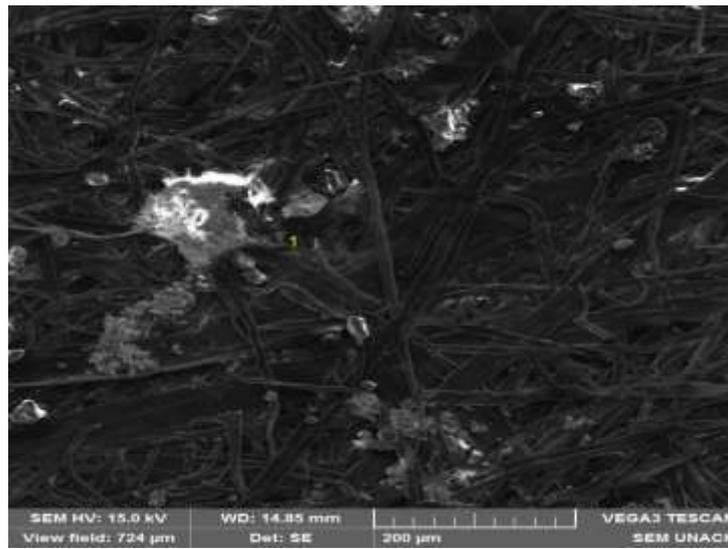
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 5



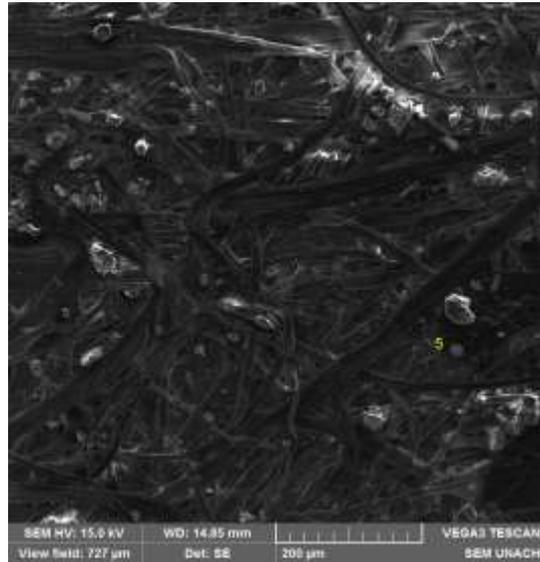
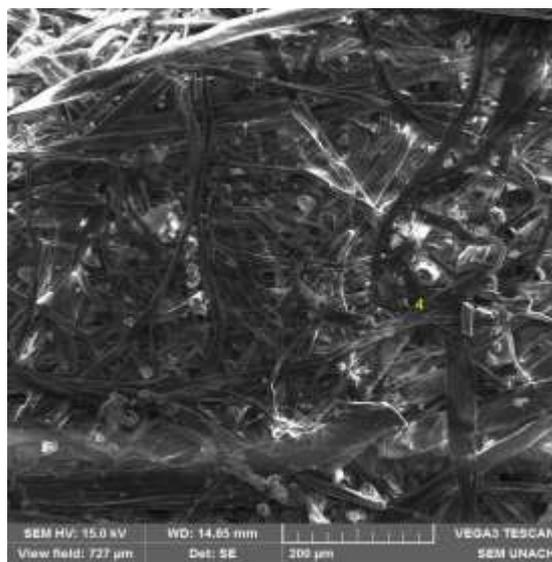
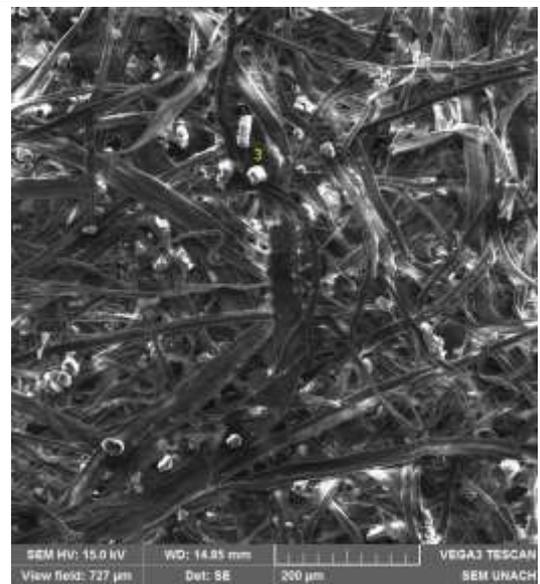
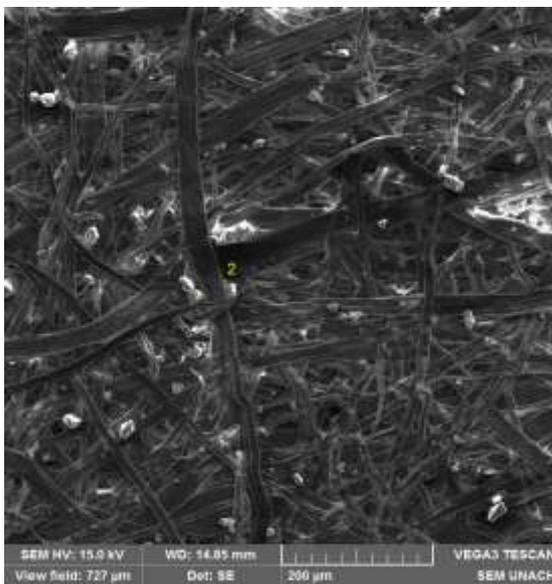
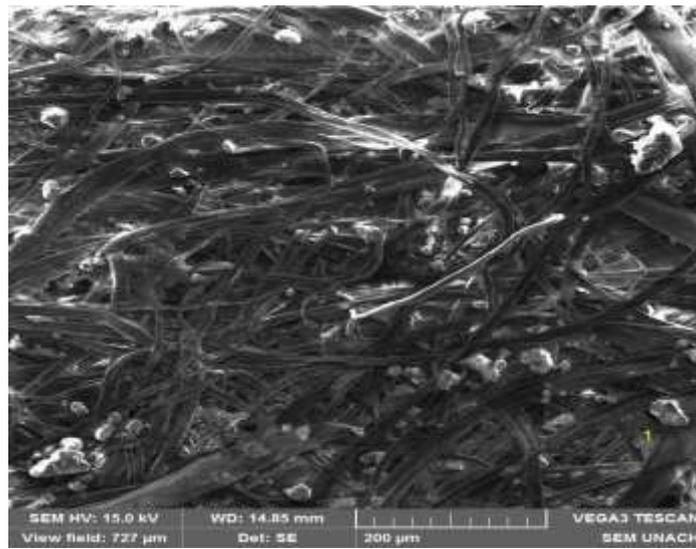
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 6



Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

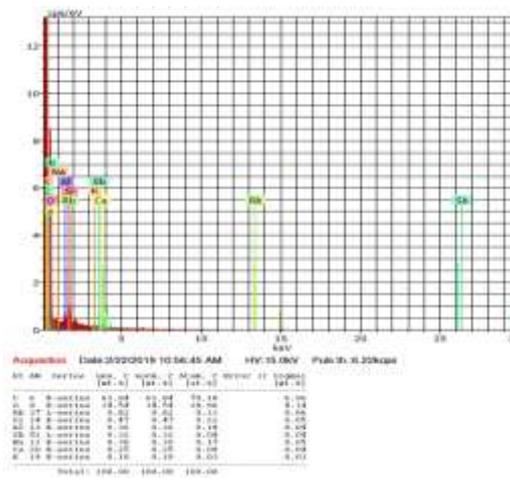
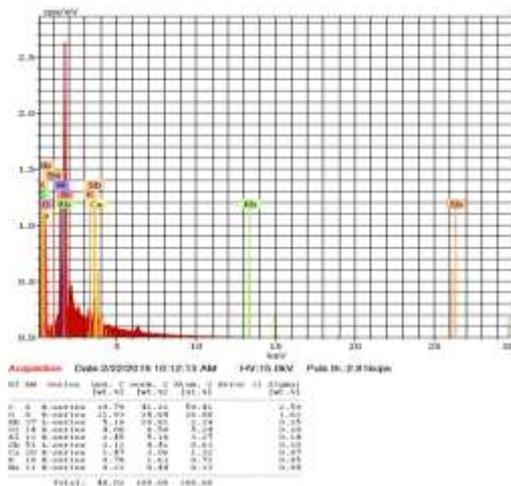
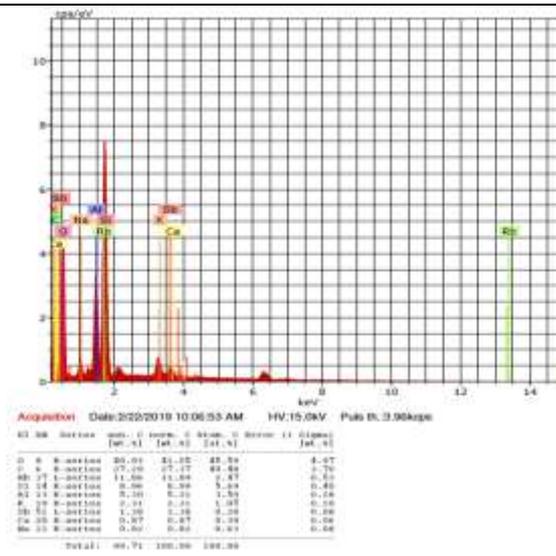
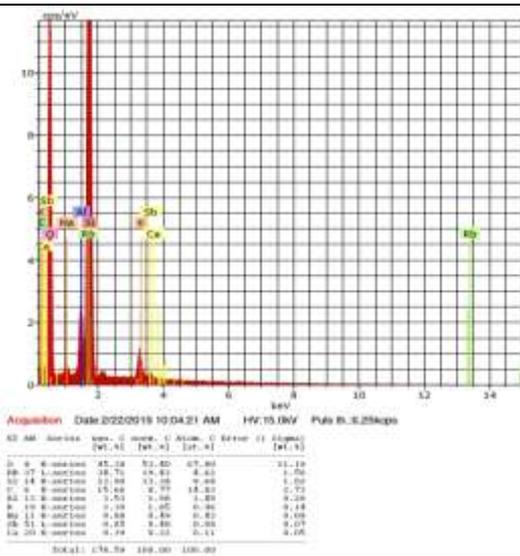
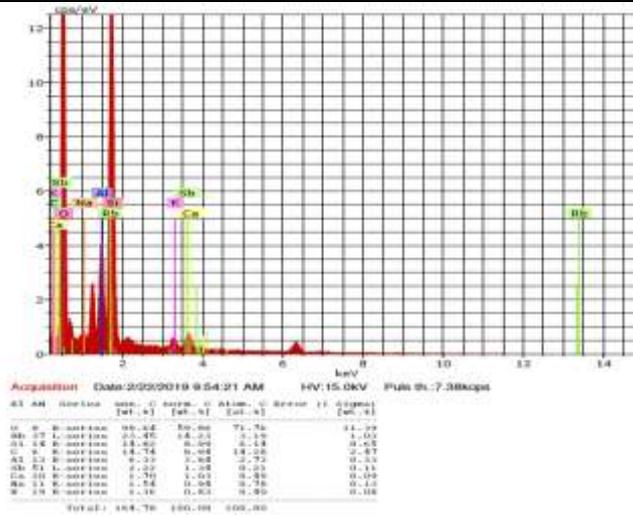
Estación 7



Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

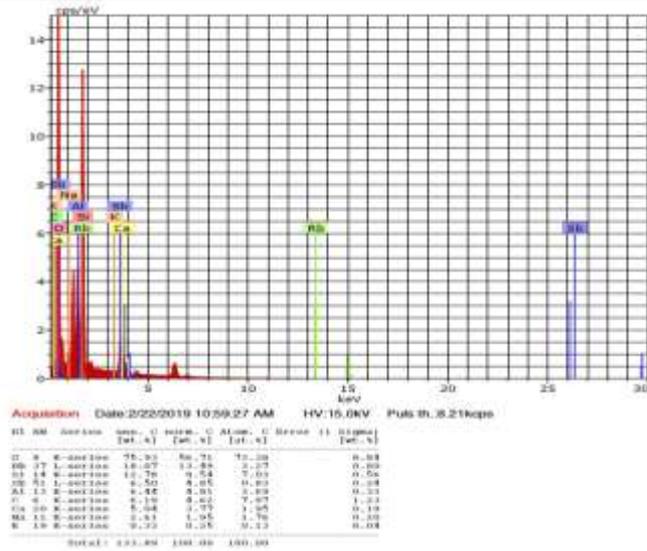
Anexo N° 7. Composición química del material particulado sedimentable de la matriz del cantón Chambo.

Estación 1

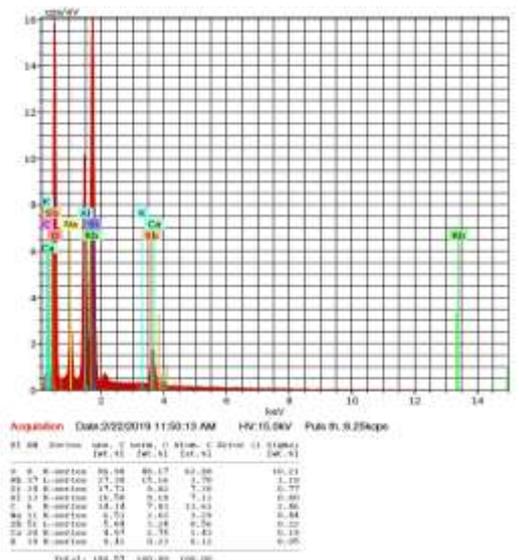
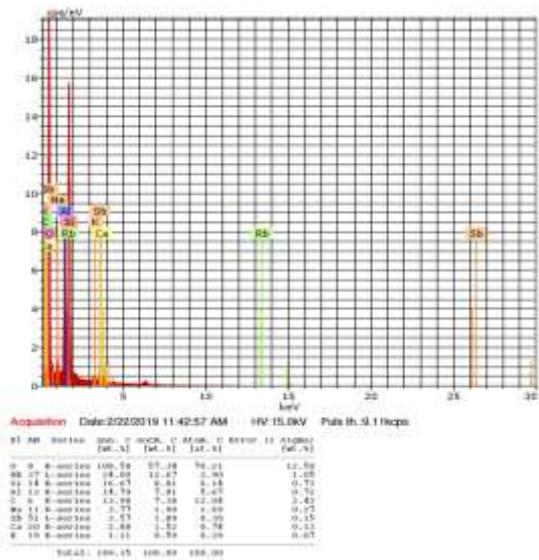
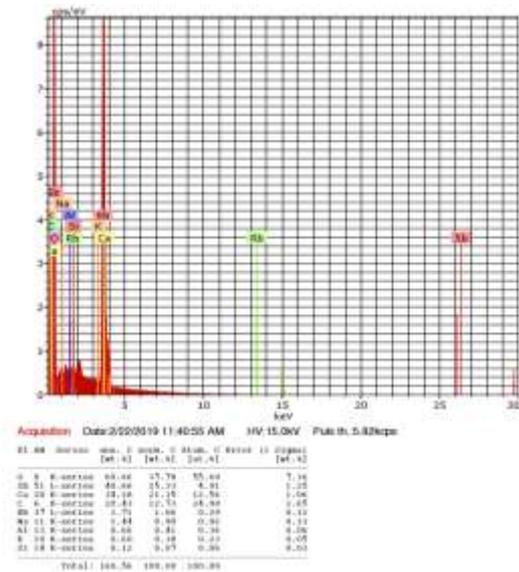
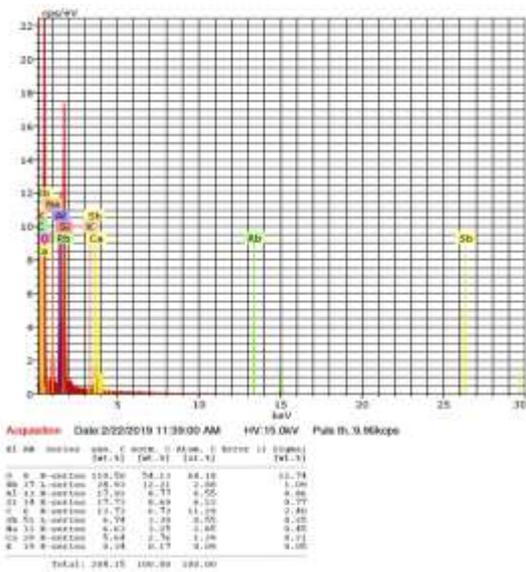
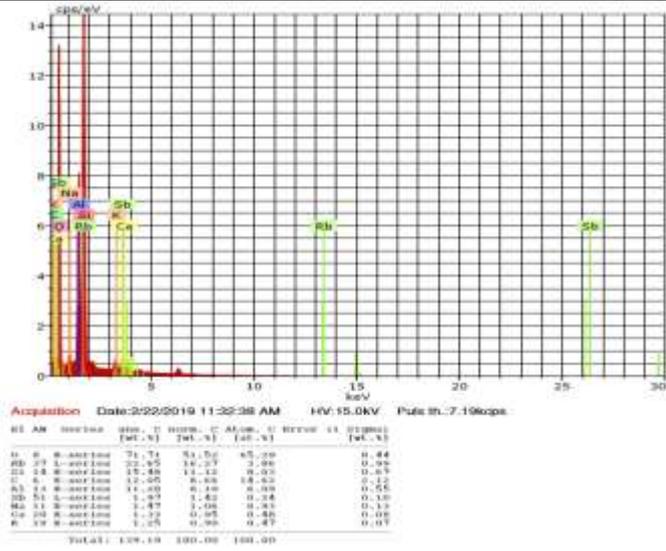


Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus "La Dolorosa".

Estación 2

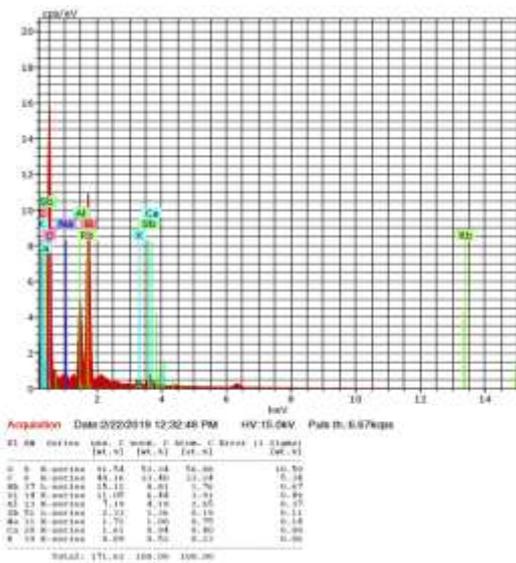
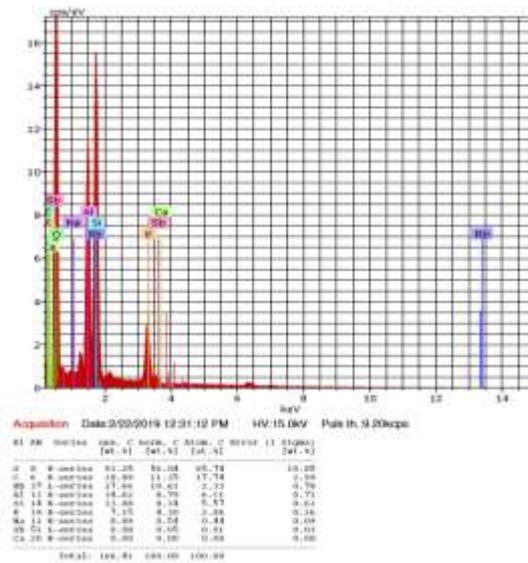
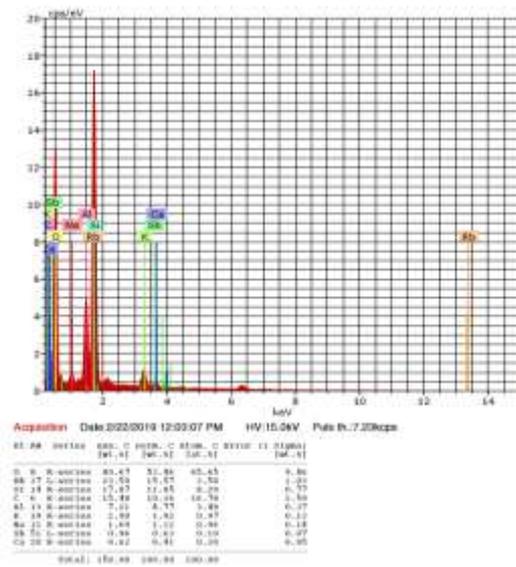
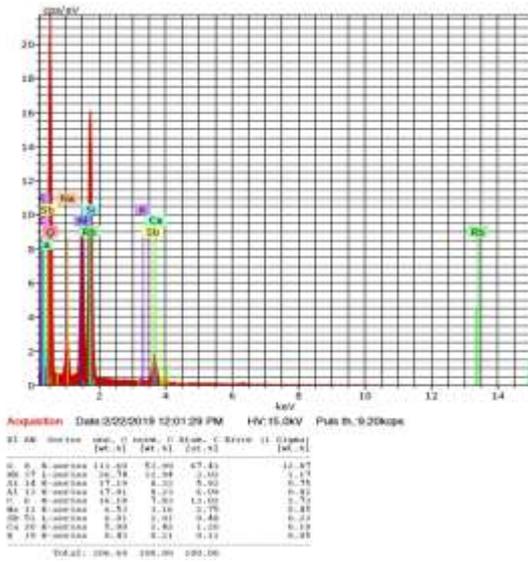
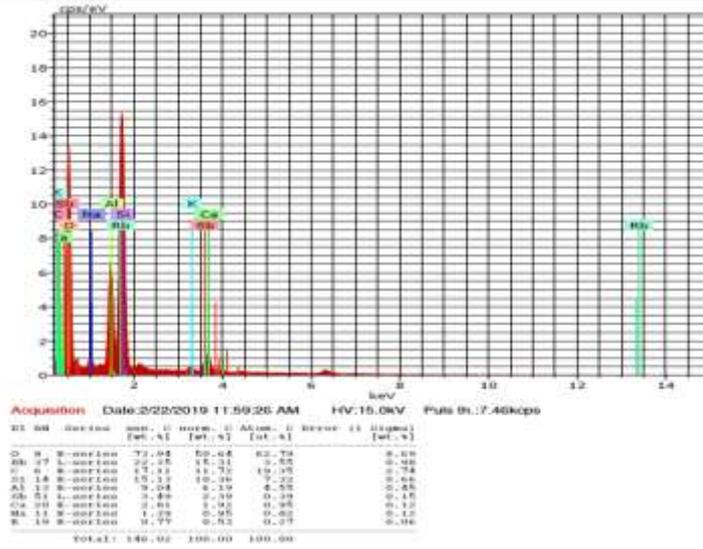


Estación 3



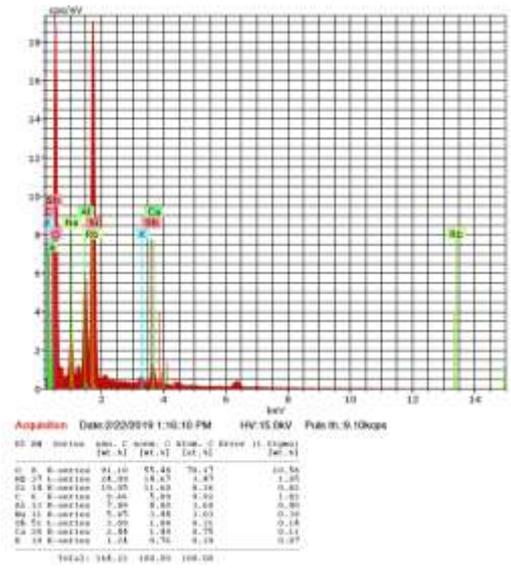
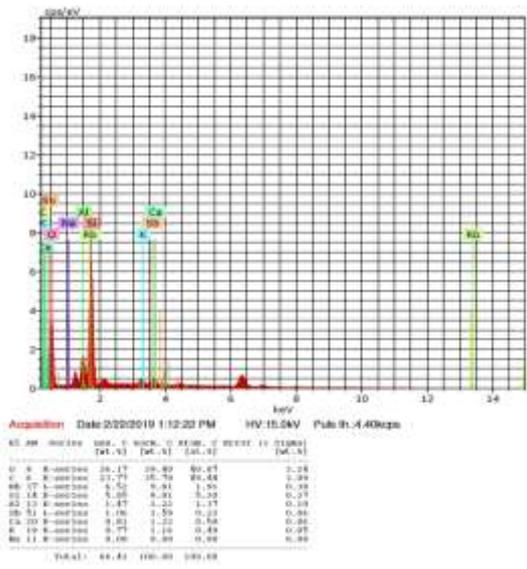
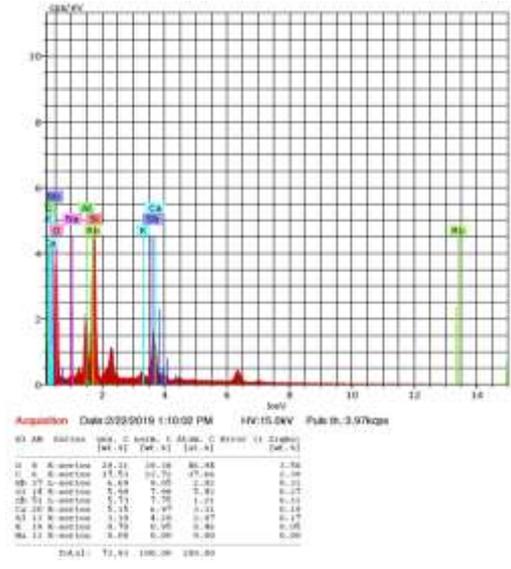
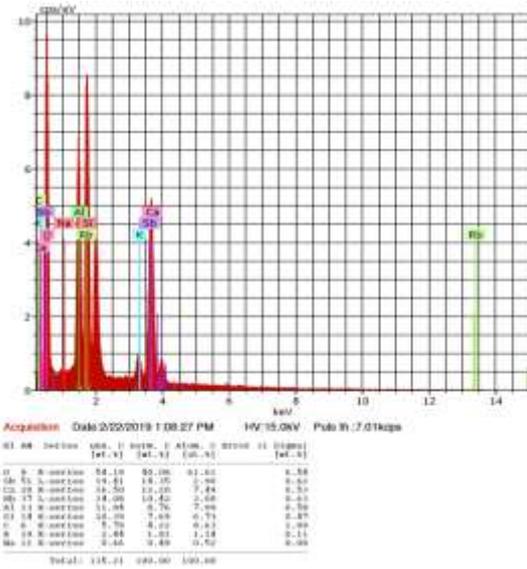
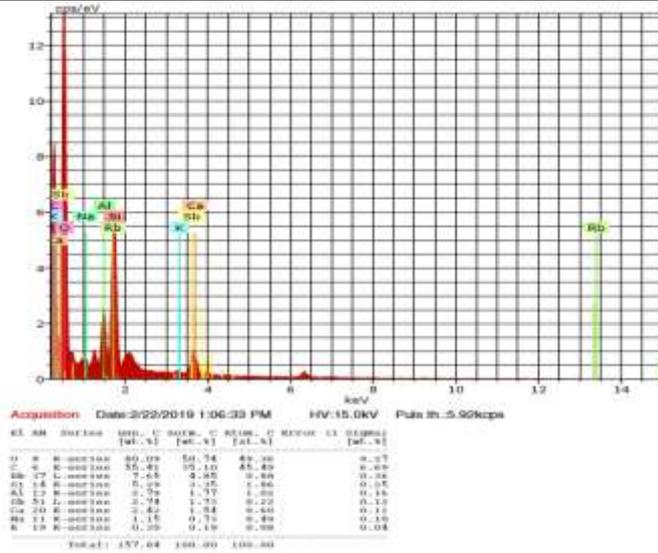
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 4



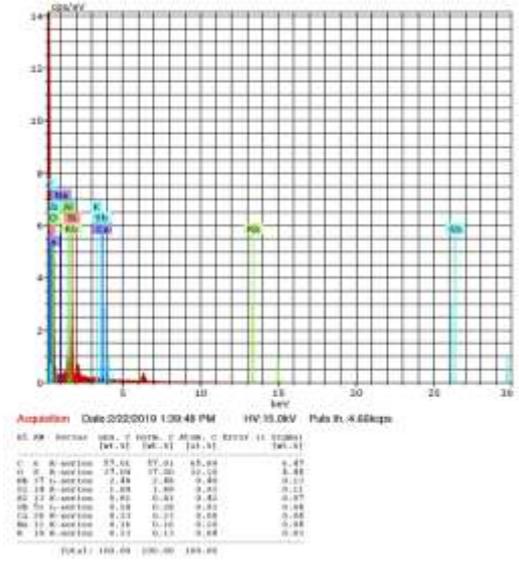
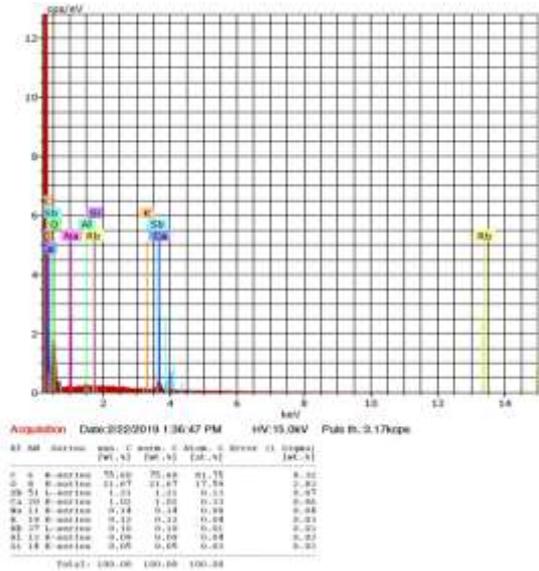
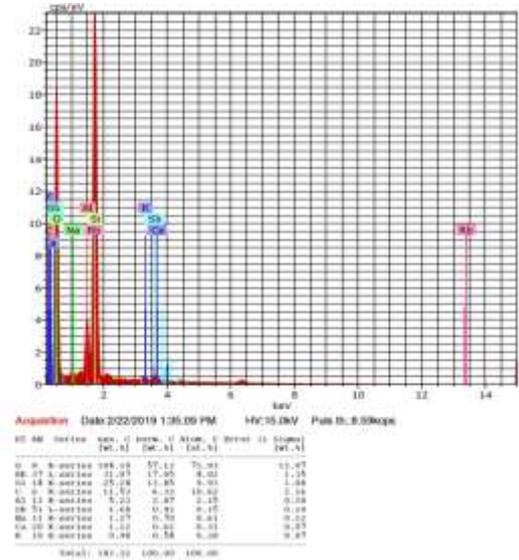
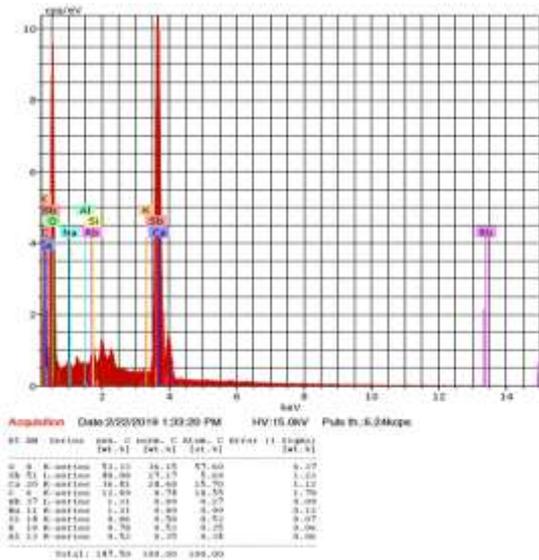
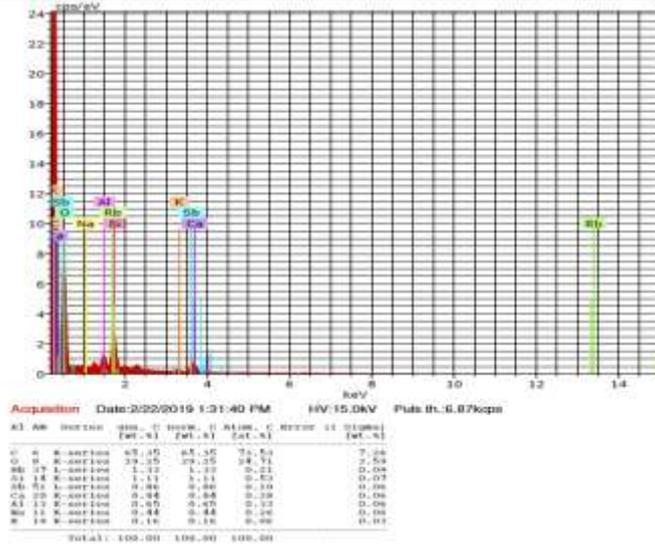
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus "La Dolorosa".

Estación 5



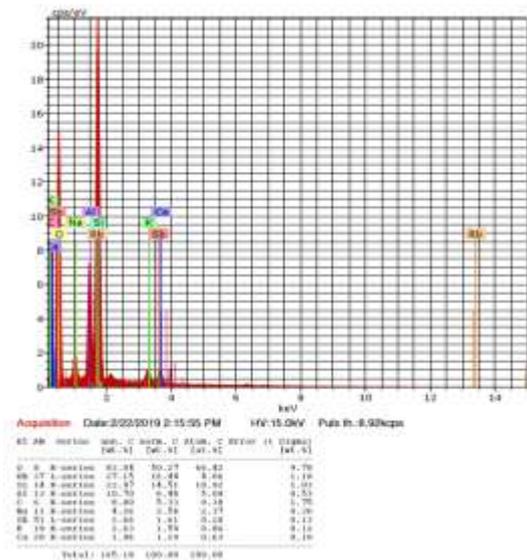
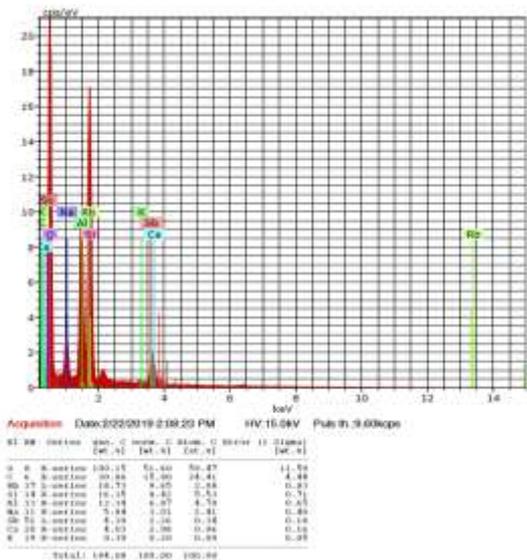
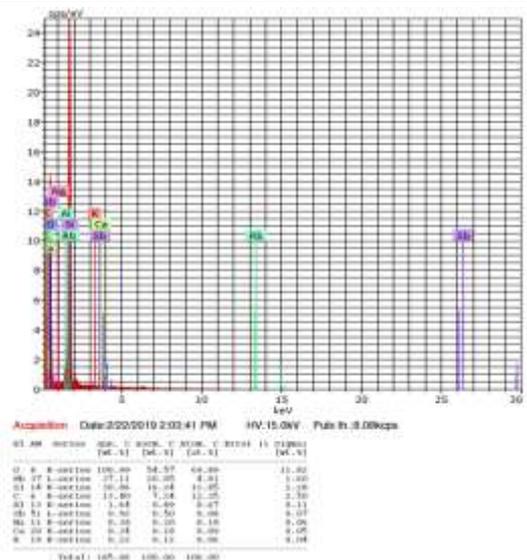
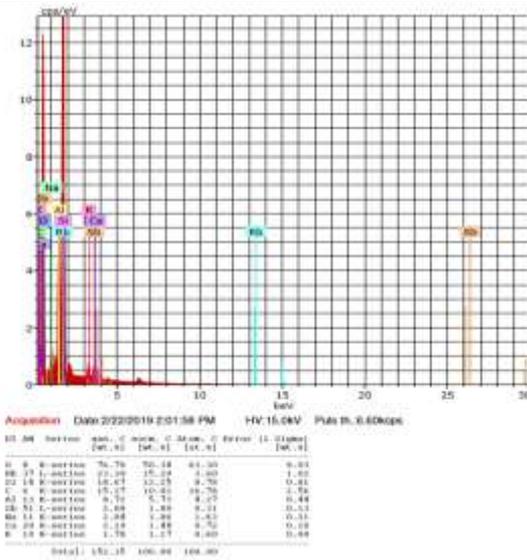
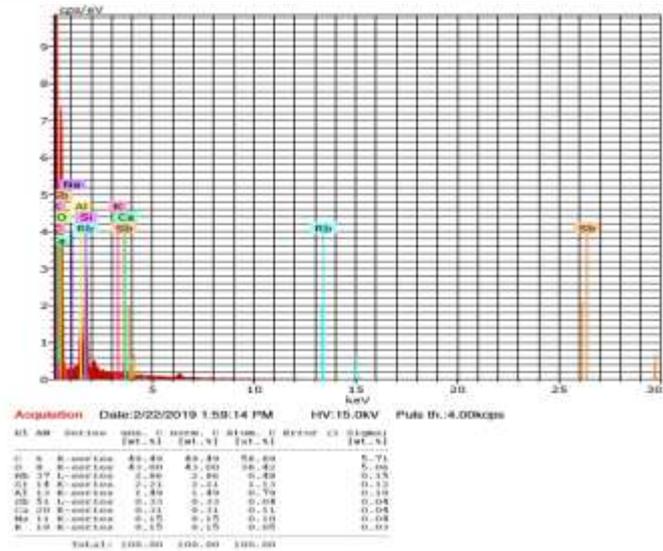
Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus "La Dolorosa".

Estación 6



Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

Estación 7



Fuente: Autores (2019). Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus "La Dolorosa".

Anexo N° 8. Promedios de la composición química del material particulado sedimentable.

Estación 1						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	59,86	53,4	41,05	24,84	34,54	42,74
Rubidio (Rb)	14,23	19,43	11,89	10,81	0,82	11,44
Silicio (Si)	8,99	13,38	8,99	8,5	0,47	8,07
Carbono (C)	8,94	8,77	27,37	41,21	62,84	29,83
Aluminio (Al)	3,84	1,98	5,31	5,1	0,36	3,32
Antimonio (Sb)	1,34	0,48	1,38	4,41	0,32	1,59
Calcio (Ca)	1,03	0,22	0,87	3,06	0,25	1,09
Sodio (Na)	0,94	0,49	0,82	0,44	0,3	0,60
Potasio (K)	0,83	1,85	2,31	1,63	0,10	1,34

Fuente: Autores (2019).

Estación 2						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	56,71	62,42	51,57	49,52	32,99	50,64
Rubidio (Rb)	13,49	12,85	19,01	14,5	0,27	12,02
Silicio (Si)	9,54	9	13,35	9,52	0	8,28
Carbono (C)	4,62	5,1	9,01	19,96	65,58	20,85
Aluminio (Al)	4,81	7,72	4,73	3,21	0	4,09
Antimonio (Sb)	4,85	0,55	0,73	0,78	0,69	1,52
Calcio (Ca)	3,77	0	0,56	0,53	0,44	1,06
Sodio (Na)	1,95	0,34	0,45	0,82	0	0,71
Potasio (K)	0,25	2,03	0,58	1,17	0,03	0,81

Fuente: Autores (2019).

Estación 3						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	51,52	54,13	37,78	57,34	48,17	49,79
Rubidio (Rb)	16,27	12,21	1,06	12,67	15,16	11,47
Silicio (Si)	11,12	8,69	0,07	8,81	9,82	7,70
Carbono (C)	8,66	6,73	12,73	7,38	7,83	8,67
Aluminio (Al)	8,10	8,77	0,41	7,81	9,18	6,85
Antimonio (Sb)	1,42	3,30	25,33	1,89	3,24	7,04
Calcio (Ca)	0,95	2,76	21,35	1,52	2,75	5,87
Sodio (Na)	1,06	3,25	0,90	1,99	3,62	2,16
Potasio (K)	0,90	0,17	0,38	0,59	0,23	0,45

Fuente: Autores (2019).

Estación 4						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	50,64	53,99	53,46	56,04	53,34	53,49
Rubidio (Rb)	15,31	12,94	15,57	10,61	8,81	12,65
Silicio (Si)	10,36	8,32	11,85	8,34	6,44	9,06
Carbono (C)	11,72	7,83	10,26	11,35	23,40	12,91
Aluminio (Al)	6,19	8,23	4,77	8,79	4,19	6,43
Antimonio (Sb)	2,39	2,91	0,63	0,05	1,36	1,47
Calcio (Ca)	1,92	2,42	0,41	0	0,94	1,14
Sodio (Na)	0,95	3,16	1,12	0,54	1	1,35
Potasio (K)	0,53	0,21	1,92	4,30	0,52	1,50

Fuente: Autores (2019).

Estación 5						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	50,74	40,08	39,38	39,40	55,48	45,02
Rubidio (Rb)	4,85	10,42	9,05	9,81	14,67	9,76
Silicio (Si)	3,35	7,69	7,98	8,81	11,60	7,89
Carbono (C)	35,10	4,22	23,72	35,79	5,89	20,94
Aluminio (Al)	1,77	8,76	4,20	2,22	4,80	4,35
Antimonio (Sb)	1,73	14,35	7,75	1,59	1,88	5,46
Calcio (Ca)	1,54	12,20	6,97	1,22	1,49	4,68
Sodio (Na)	0,73	0,49	0	0	3,44	0,93
Potasio (K)	0,19	1,81	0,95	1,16	0,76	0,97

Fuente: Autores (2019).

Estación 6						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	29,25	36,15	57,13	21,67	37	36,24
Rubidio (Rb)	1,33	0,89	17,05	0,10	2,48	4,37
Silicio (Si)	1,11	0,58	13,85	0,05	1,89	3,50
Carbono (C)	65,35	8,74	6,33	75,60	57,01	42,61
Aluminio (Al)	0,65	0,35	2,87	0,09	0,81	0,95
Antimonio (Sb)	0,86	27,17	0,92	1,21	0,28	6,09
Calcio (Ca)	0,84	24,68	0,62	1,02	0,23	5,48
Sodio (Na)	0,44	0,89	0,70	0,14	0,16	0,47
Potasio (K)	0,16	0,53	0,54	0,12	0,13	0,30

Fuente: Autores (2019).

Estación 7						Promedio
Compuestos	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
Oxígeno (O)	43	50,34	54,57	51,60	50,27	49,96
Rubidio (Rb)	2,86	15,29	20,05	9,65	16,44	12,86
Silicio (Si)	2,21	12,25	16,24	8,42	14,51	10,73
Carbono (C)	49,49	10,02	7,24	15,90	5,33	17,60
Aluminio (Al)	1,49	5,73	0,89	6,87	6,48	4,29
Antimonio (Sb)	0,33	1,89	0,50	2,26	1,61	1,32
Calcio (Ca)	0,31	1,44	0,18	2,08	1,19	1,04
Sodio (Na)	0,15	1,86	0,20	3,01	2,58	1,56
Potasio (K)	0,15	1,17	0,12	0,20	1,59	0,65

Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 9. Trabajo en el laboratorio de química, UNACH campus vía guano.



Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 10. Ubicación de las estaciones pasivas e instalación del papel filtro



Fuente: Autores (2019).

Anexo N° 11. Monitoreo con el equipo DustTrak™ II



Fuente: Autores (2019).