

# Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del Cantón Chambo

## Determination and Characterization of Settleable Particulate Matter Concentrations from the Brickmaking Sector of the Canton Chambo Matrix

Guido Patricio Santillán Lima<sup>1[0000-0003-0743-9107]</sup>, Juan Carlos Santillán-Lima<sup>2 [0000-0001-5812-7766]</sup>, Daniela Margoth Caichug Rivera<sup>3[0000-0002-9755-1508]</sup>, Jonathan Javier Orozco Pilco<sup>4[0000-0002-7618-4112]</sup>, María Fernanda Rivera Castillo<sup>5[0000-0002-9038-6044]</sup>, Guillermo Eduardo Dávalos Merino<sup>6[0000-0003-2347-8632]</sup>

<sup>1,5</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Informáticas. La Plata, Argentina.

<sup>3</sup>Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. Centro de Estudio de Compuestos Orgánicos. La Plata, Argentina.

<sup>4</sup>Universidad Nacional de Chimborazo. Dirección de Investigación. Riobamba. Ecuador.

<sup>6</sup>Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.

<sup>1</sup>psantillan@unach.edu.ec, <sup>2</sup>juancarlos.santillanl@info.unlp.edu.ar

<sup>3</sup>danielarivera@quimica.exactas.unlp.edu.ec, <sup>4</sup>jonathan.orozco@unach.edu.ec,

<sup>5</sup>mfrivera@unach.edu.ec, <sup>6</sup>eduardo.davalos@epoch.edu.ec

### Cómo Citar:

Santillán Lima, G. P., Santillán-Lima, J. C., Caichug-Rivera, D. M., Orozco Pilco, J. J., Rivera Castillo, M. F., & Dávalos Merino, G. E. (2024). Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la matriz del Cantón Chambo. *Tesla Revista Científica*, 4(1), e322. <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e322>

**Recibido:** 2023-12-27

**Revisado:** 2024-01-04 al 2023-01-24

**Corregido:** 2024-02-03

**Aceptado:** 2024-02-12

**Publicado:** 2024-02-20

### TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



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

**Resumen:** En la matriz del cantón Chambo se destacan la presencia de 46 hornos de ladrillo de tipo artesanal, que generan contaminantes atmosféricos. La presente investigación planteó realizar el monitoreo de material particulado sedimentable 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  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , se realizó con el uso del equipo DustTrak™ II. Dentro del análisis se determinó que las estaciones 1(0,61 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 2(0,66 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 3(0,55 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 5(0,67 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 7(0,76 mg/cm<sup>2</sup>/mes) sobrepasan los valores máximos de OMS, en cuanto la estación 4(1,07 mg/cm<sup>2</sup>/mes) excede los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA. Dentro del análisis 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 Oxígeno, Rubidio, Silicio, Carbono, Aluminio, Antimonio, Calcio, Sodio, Potasio, además las partículas presentan formas esféricas, redondeadas e irregulares.

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

**Abstract:** In the township of Chambo, there is a notable presence of 46 artisanal brick kilns that generate atmospheric pollutants. The current study proposed to monitor the sedimentable particulate matter, which was carried out through 7 passive monitoring stations using Petri dishes for collection. These were strategically located throughout the township, and volatile particulate matter (VPM) of 2.5  $\mu\text{m}$  and 10  $\mu\text{m}$  was measured using the DustTrak™ II equipment. The analysis determined that stations 1 (0.61 mg/cm<sup>2</sup>/month), 2 (0.66 mg/cm<sup>2</sup>/month), 3 (0.55 mg/cm<sup>2</sup>/month), 5 (0.67 mg/cm<sup>2</sup>/month), 7 (0.76 mg/cm<sup>2</sup>/month) exceed the maximum values set by the WHO, while station 4 (1.07 mg/cm<sup>2</sup>/month) exceeds the permissible limits of both the WHO and TULSMA. In the analysis for VPM, it is worth mentioning that they did not exceed the maximum values of the two regulations. The MPS samples were analyzed using a scanning electron microscope, and within the chemical composition analysis of the samples, Oxygen, Rubidium, Silicon, Carbon, Aluminum, Antimony, Calcium, Sodium, Potassium were found, in addition to the particles having spherical, rounded, and irregular shapes.

**Keywords:** Brick kilns, settleable particulate matter, volatile particulate matter, monitoring stations, dispersion map.

## INTRODUCCIÓN

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<sub>2.5</sub> o PM<sub>10</sub> lo que refiere a partículas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 µm y 10 µm, 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. 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.

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.

### **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 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).

### **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).

### **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).

### **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  $\mu m$  ( $PM_{10}$ ) y las de fracción respirable más pequeña 2,5  $\mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) (Espinoza, 2014).

### **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 diario 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).

## 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).

## METODOLOGÍA

### 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.

### Población y Muestra

**Población:** La matriz del cantón Chambo.

**Muestra:** Material particulado sedimentable (MPS) y material particulado volátil (MPV) de 10  $\mu\text{m}$  y 2,5  $\mu\text{m}$ , 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).

### 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  $\text{km}^2$  que representa el 2,5% de la superficie de la provincia de Chimborazo (PDOT CHAMBO, 2014). La extensión de la matriz del cantón Chambo es de 2,40  $\text{km}^2$ .

#### 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 1), donde serán ubicadas las estaciones pasivas para la recolección del material particulado sedimentable.

**Tabla 1.** 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: Los Autores

### Ubicación e Implantación de las Estaciones de Medición para MPS

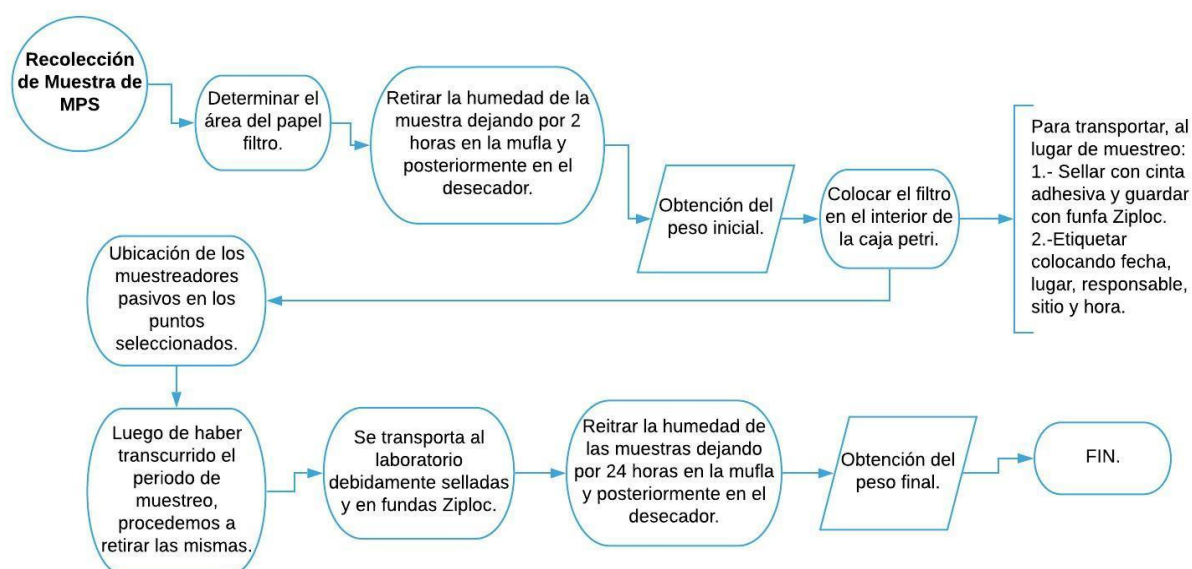
Las estaciones se ubicaron estratégicamente con el propósito de cubrir únicamente la matriz del cantón, correspondiente a la delimitación de nuestra zona de estudio. Para la implantación se tomó en cuenta las consideraciones que aplican (Marcos & Valderrama, Contaminación del aire por material particulado en la ciudad Universitaria-UNMSM., 2012) como: el lugar de colocación de cada estación debe de estar libre de obstáculos (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, abarcando las 46 ladrilleras existentes en la matriz del cantón, 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.

### Monitoreo del Material Particulado Sedimentable

Se lo realizó 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 mg/cm<sup>2</sup> x 1 mes).

**Figura 1.** Esquema para la Recolección y Transporte de Muestras de MPS

**Fuente:** Los Autores

Para la determinación de la cantidad de MPS aplicamos el método pasivo empleado por Almirón, Dalmasso, & Llera (2013), como semuestra en la Figura 1, 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.

### 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:**  $A = \pi * r^2$

### 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  $\mu\text{m}$ , 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  $\mu\text{m}$ , luego el de 10  $\mu\text{m}$ .
- Se inicia la recolección de material particulado volátil  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , el mismo que dura 2 minutos por muestra.
- Arrojan datos en ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), 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.

### **Procedimiento para el Análisis Estadístico e Interpretación de Resultados**

Con la información obtenida, se analizó estadísticamente la cuantificación de datos de MPS como MPV ( $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ ), 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).

### **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  $1\text{cm}^2$ , se montaron sobre un portamuestras de aluminio para posteriormente realizar un recubrimiento de oro en un sputter 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.

### **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).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **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 2 y 3, 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 2.** 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 <sup>2</sup> )	MPS (mg/cm <sup>2</sup> /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: Los Autores

**Tabla 3.** Límites Máximos Permisibles para MPS

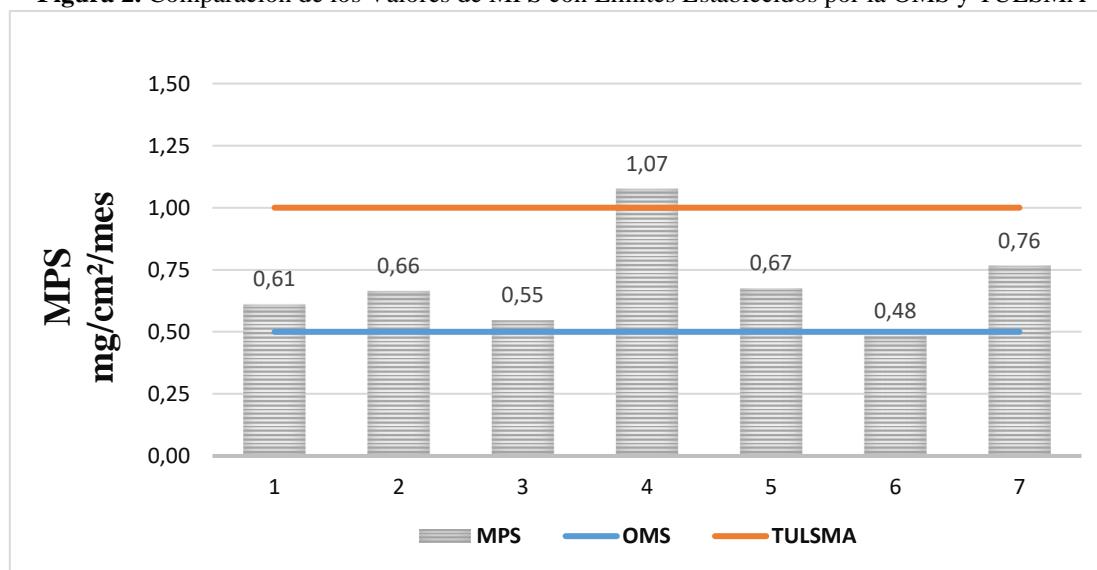
Normativa OMS en un mes de muestreo	Legislación Ambiental Ecuatoriana TULSMA
0,5 mg/cm <sup>2</sup>	1 mg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Los Autores

En la Figura 2, 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 2.** Comparación de los Valores de MPS con Límites Establecidos por la OMS y TULSMA



Fuente: Los Autores

En la estación 6 (0,48 mg/cm<sup>2</sup>/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/cm<sup>2</sup>/mes), 2 (0,66 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 3 (0,55 mg/cm<sup>2</sup>/mes), 5 (0,67

mg/cm<sup>2</sup>/mes) y 7 (0,76 mg/cm<sup>2</sup>/mes) sobrepasa los LMP únicamente de la OMS.

En la estación 4 (1,07 mg/cm<sup>2</sup>/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 aldeaña, además trabajos de regeneración de las vías en este sector que provocan el levantamiento constante de polvo a la atmósfera.

### 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 4 y 5.

**Tabla 4.** Datos de PM<sub>2.5</sub> en la Matriz del Cantón Chambo

<b>Fechas, 2019</b>	<b>08h30</b>	<b>12h30</b>	<b>15h30</b>
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:** Los Autores

**Tabla 5.** Datos de PM<sub>10</sub> en la Matriz del Cantón Chambo

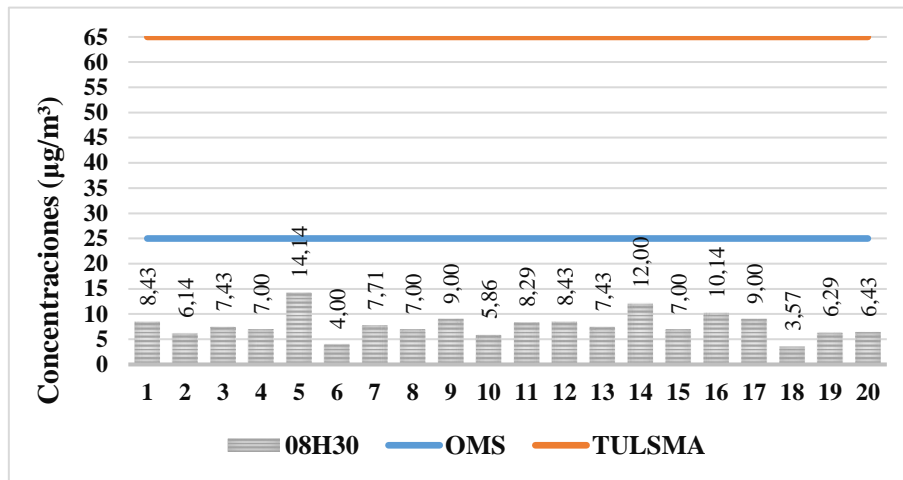
<b>Fechas, 2019</b>	<b>08h30</b>	<b>12h30</b>	<b>15h30</b>
Lunes 14 de enero	6,29	10,71	4,29
Martes 15 de enero	7,14	3,00	4,00
Miércoles 16 de enero	9,00	4,71	4,71
Jueves 17 de enero	8,57	2,71	2,43
Viernes 18 de enero	16,14	8,86	5,14
Lunes 21 de enero	7,00	5,43	3,00
Martes 22 de enero	6,71	12,00	5,03
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: Los Autores

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

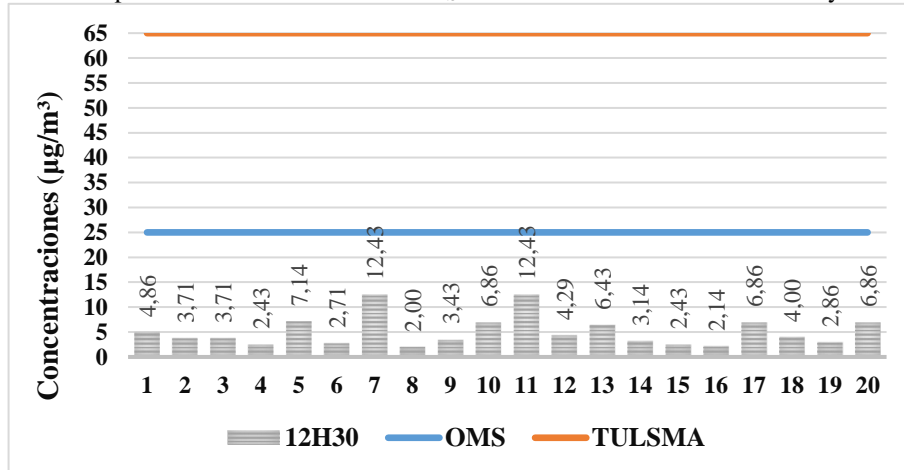
Con los datos obtenidos de MPV de 2,5 µm, se concluye que ningún día excedió los límites de las normativas, como se puede apreciar en las Figuras 3, 4 y 5.

Figura 3. Comparación de los valores de PM<sub>2.5</sub> a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



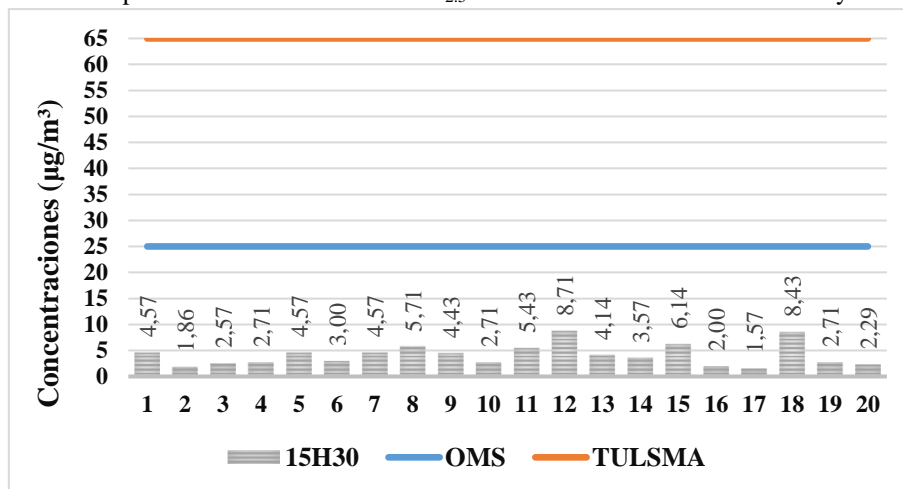
Fuentes: Los Autores

Figura 4. Comparación de los valores de PM<sub>2.5</sub> a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Los Autores

Figura 5. Comparación de los valores de PM<sub>2.5</sub> a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Los Autores

Con respecto a las Figuras 3, 4 y 5:

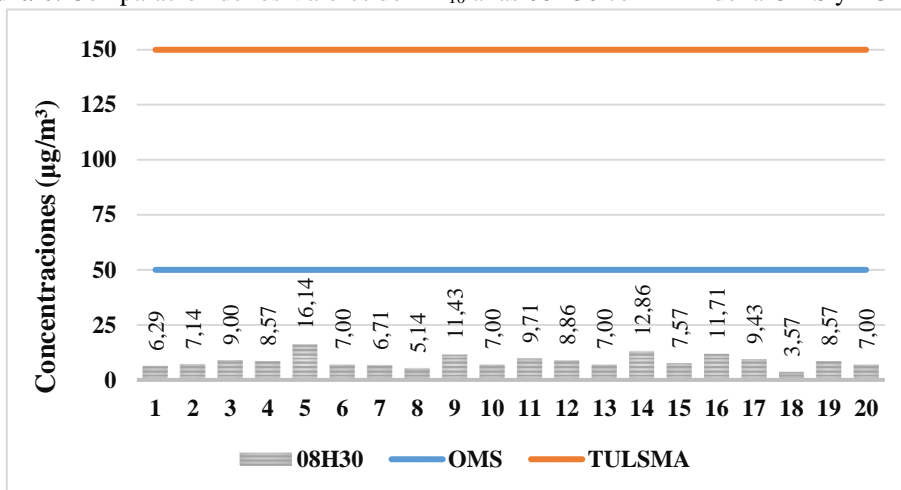
- Durante la toma de datos a primera hora en los días 5, 14 y 16 tenemos concentraciones sobre los

10 µg/m<sup>3</sup>.

- Al medio día los valores han bajado teniendo que solamente en los días 7 y 11 tenemos concentraciones sobre los 10 µg/m<sup>3</sup>.
- En la última medición de la tarde los valores son bajos y no existe ningún día con concentraciones que superen los 10 µg/m<sup>3</sup>.

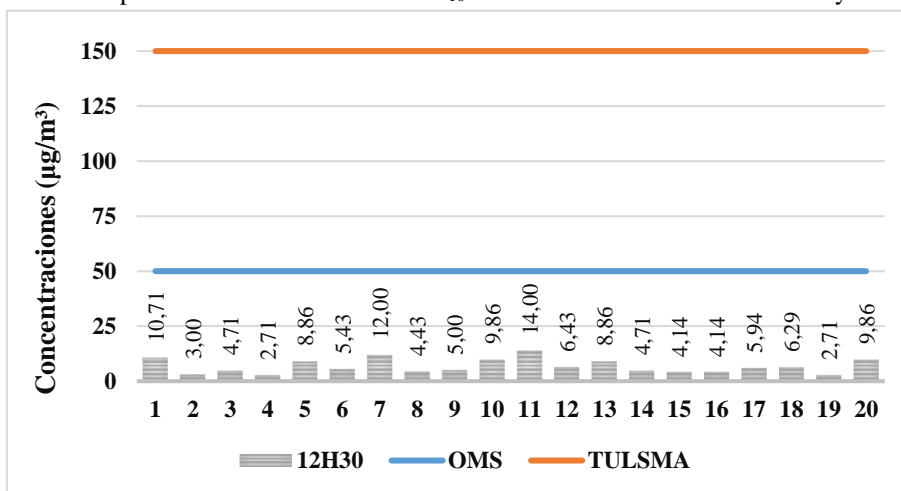
De igual manera con los datos obtenidos de MPV de 10 µm, cumplen con los LMP de la OMS y TULSMA como se puede observar en las Figuras 6, 7 y 8.

**Figura 6.** Comparación de los Valores de PM<sub>10</sub> a las 08H30 con LMP de la OMS y TULSMA



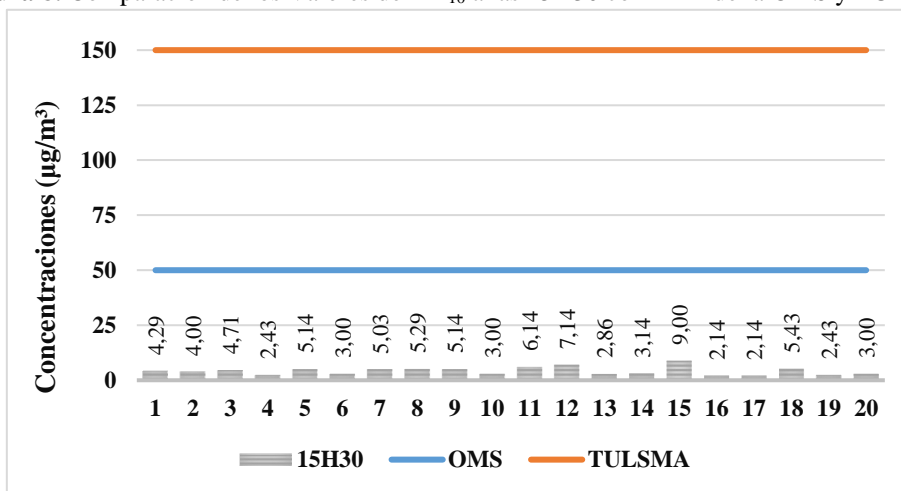
Fuentes: Los Autores

**Figura 7.** Comparación de los Valores de PM<sub>10</sub> a las 12H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Los Autores

**Figura 8.** Comparación de los Valores de PM<sub>10</sub> a las 15H30 con LMP de la OMS y TULSMA



Fuentes: Los Autores

En las Figuras 6, 7 y 8, dentro de la comparación de los valores de concentración de PM<sub>10</sub>, se concluye que ningún día excedió los valores máximos:

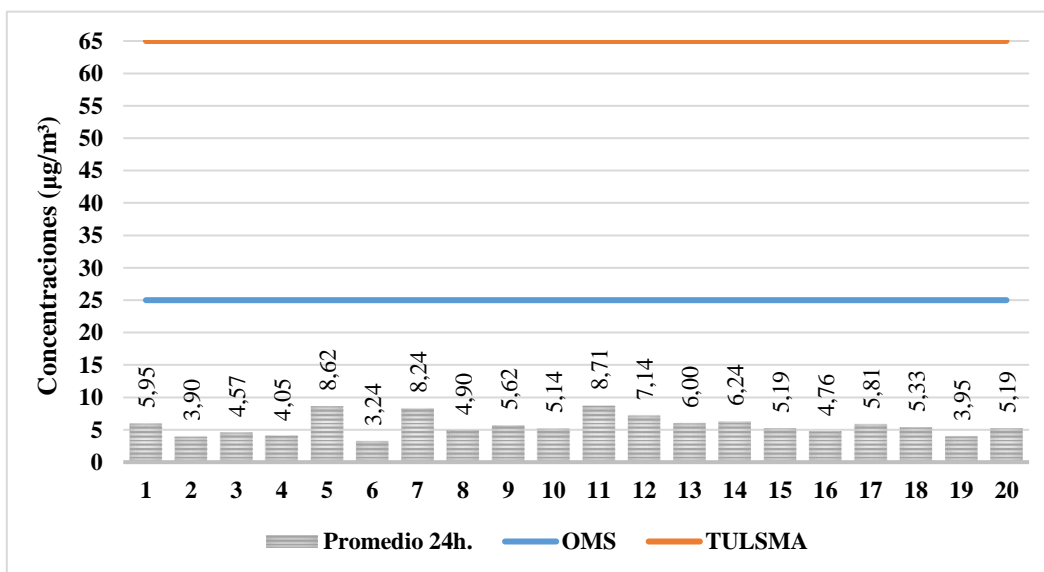
- A primera hora en los días 5, 9, 14 y 16 tenemos valores de concentración mayores a 10 µg/m<sup>3</sup>.
- Al medio día tenemos que en los días 1, 7 y 11 existen valores sobre los 10 µg/m<sup>3</sup>.
- En la medición de la tarde no existe ningún día con concentraciones que superen los 10 µg/m<sup>3</sup>.

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.

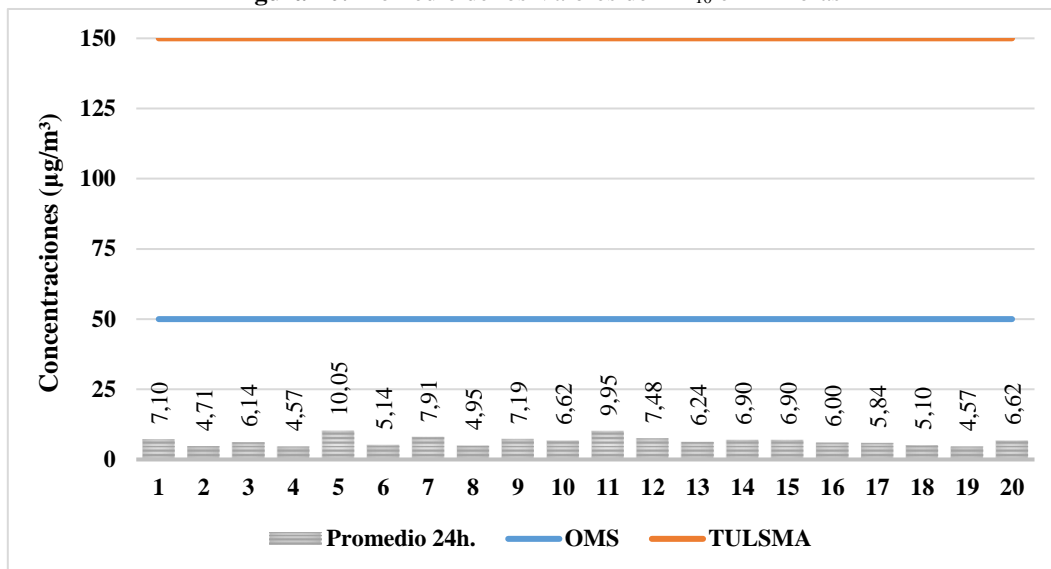
Con los datos obtenidos de las Tablas 4 y 5, se realizó un promedio entre los horarios de 08h30, 12h30 y 15h30, para comparar con los límites máximos permisibles de la OMS y TULSMA en 24 horas, dando como resultado que ningún punto de monitoreo excede los valores máximos, como se puede observar en las Figuras 9 y 10.

**Figura 9.** Promedio de los Valores de PM<sub>2,5</sub> en 24 horas



Fuente: Los Autores

**Figura 10.** Promedio de los Valores de PM<sub>10</sub> en 24 horas



Fuente: Los Autores

### Análisis Estadístico Descriptivo

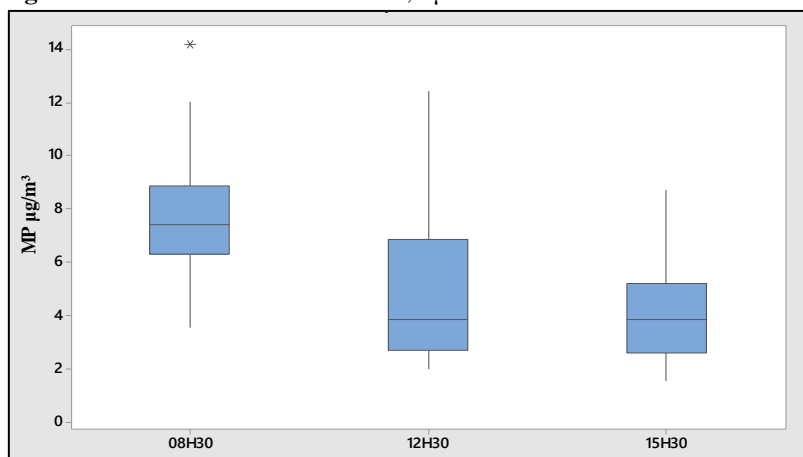
Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadística básica, como la media, mediana, el error estándar de la media, la desviación estándar, mínimo y máximo, cuartiles y el rango, con los datos obtenidos se utilizó una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

#### Material Particulado Volátil de 2,5 µm

Con los valores obtenidos de PM<sub>2.5</sub>, en la matriz del cantón Chambo se obtuvo una media para las 08h30, 12h30 y 15h30, de 7,76 µg/m<sup>3</sup>, 5,04 µg/m<sup>3</sup>, 4,08 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, el valor mínimo que se registra en el sector es de 1,57 µg/m<sup>3</sup> y un valor máximo de 14,14 µg/m<sup>3</sup>, (Figura 11).

El rango que se estableció en el análisis estadístico es de 10,57 µg/m<sup>3</sup>, 10,43 µg/m<sup>3</sup>, 7,14 µg/m<sup>3</sup>, correspondiendo a cada hora.

**Figura 11.** Distribución de MPV de 2,5 µm en la Matriz del Cantón Chambo



Fuente: Los Autores

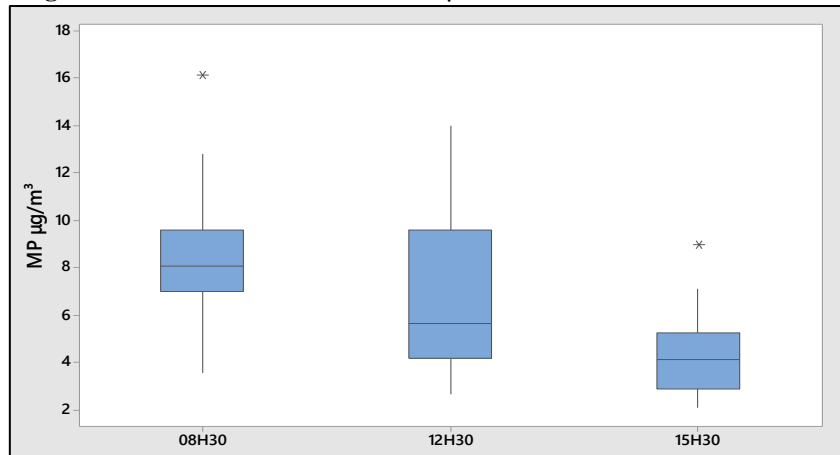
De acuerdo a Santillán (2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos de MPV en la matriz del cantón Chambo junto con los valores máximos según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, ya que se establece como media diaria 25 µg/m<sup>3</sup> y 65 µg/m<sup>3</sup> para el PM<sub>2.5</sub>, respectivamente.

### Material Particulado Volátil de 10 $\mu\text{m}$

Con los valores de  $\text{PM}_{10}$ , 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 12).

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.

**Figura 12.** Distribución de MPV de 10  $\mu\text{m}$  en la Matriz del Cantón Chambo



Fuente: Los Autores

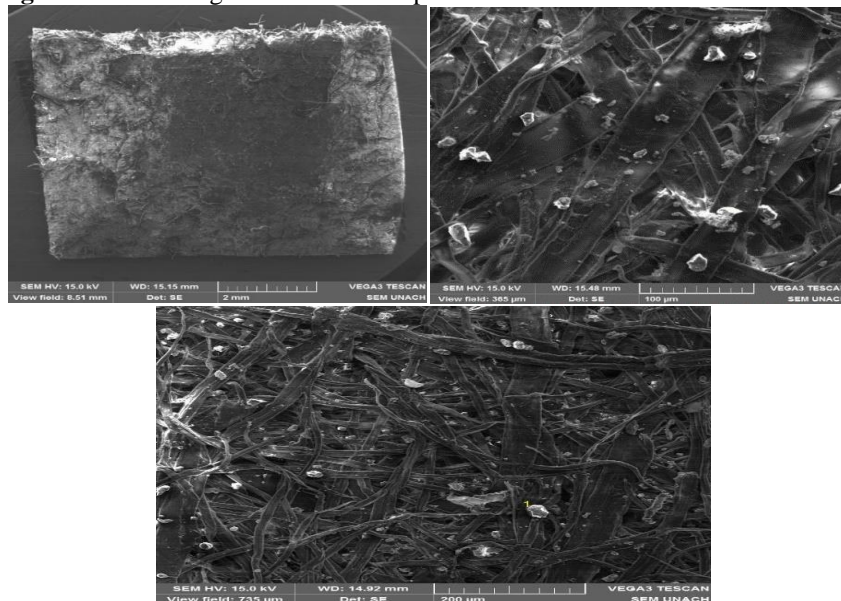
Los valores obtenidos de  $\text{PM}_{10}$  al comparar con los límites máximos permisibles según la OMS y el TULSMA, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores máximos, ya que se establece como media diaria  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente.

### Análisis Molecular

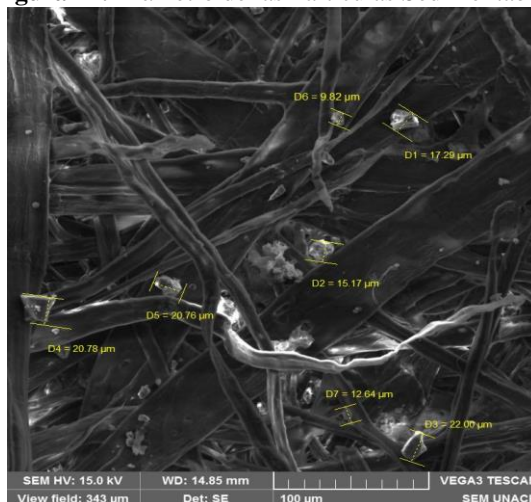
#### Caracterización Morfológica del Material Particulado Sedimentable

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 13, donde se puede identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas. En la Figura 14, se identifica el diámetro de las partículas sedimentables.

**Figura 13.** Morfología del MPS correspondiente a la Matriz del Cantón Chambo



Fuentes: Los Autores Adaptado de laboratorio de microscopía, UNACH campus "La Dolorosa".

**Figura 14.** Diámetro de las Partículas Sedimentables

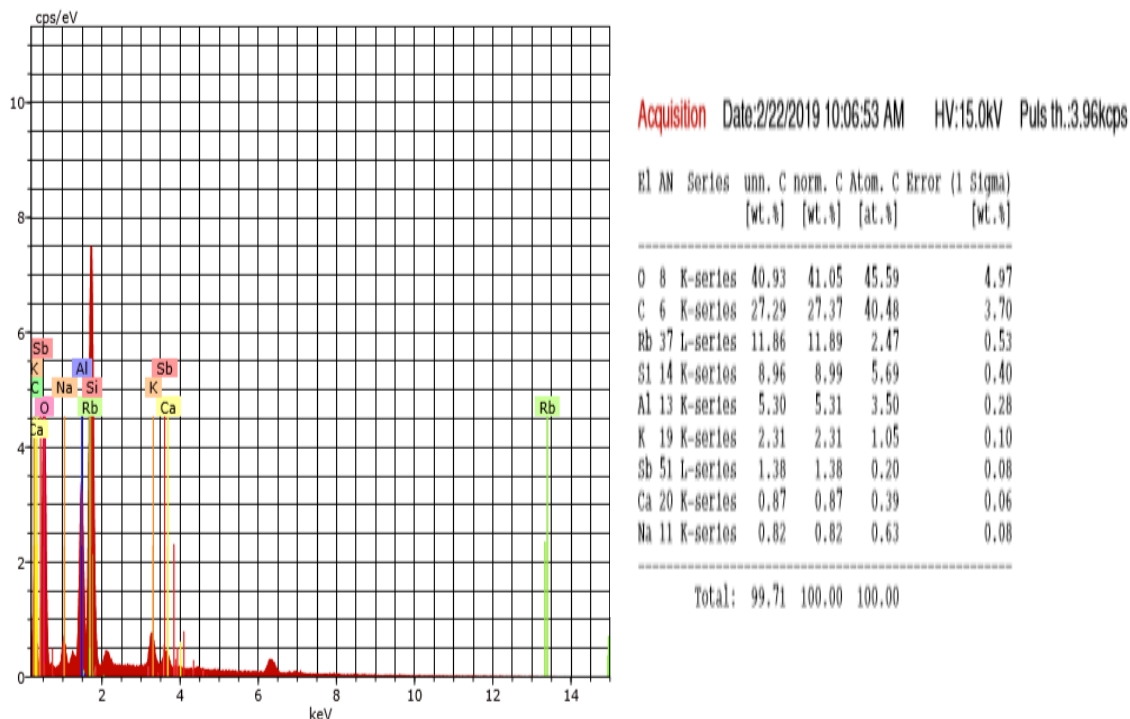
**Fuentes:** Los Autores Adaptado de laboratorio de microscopia, UNACH campus “La Dolorosa”.

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  $\mu\text{m}$ . Se concluye que el tamaño de partículas abarca el  $\text{PM}_{10}$  que son nocivas para la salud, según Aragon (2011), Se ha demostrado que incide en el ser humano de manera respiratoria y cardiovascular.

#### **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 15).

**Figura 15.** Composición Química de la Muestra de la Estación N° 1



Fuente: Los Autores 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 6.

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

**Tabla 6.** Porcentajes y Promedio de la Composición Química del MPS

Fuente: Los Autores

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).

### **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<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. 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.

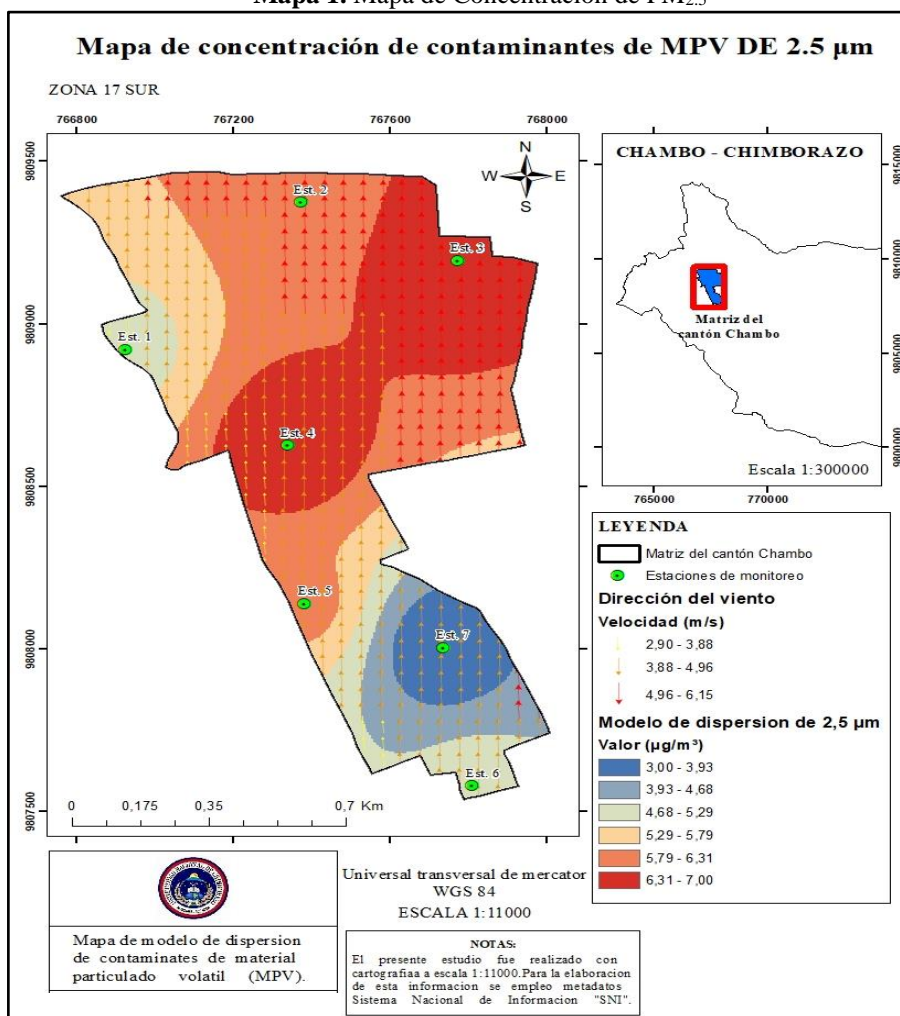
La zona de mayor concentración se encuentra en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) y está representada en el mapa por el color rojo, perteneciente al Municipio de Chambo con un valor de 0,95 – 1,07 mg/cm<sup>2</sup>/mes, el particulado tiende a dirigirse en dirección de Sur a Norte de acuerdo al mapa 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 1 y 2 se representa las concentraciones de material particulado volátil de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>

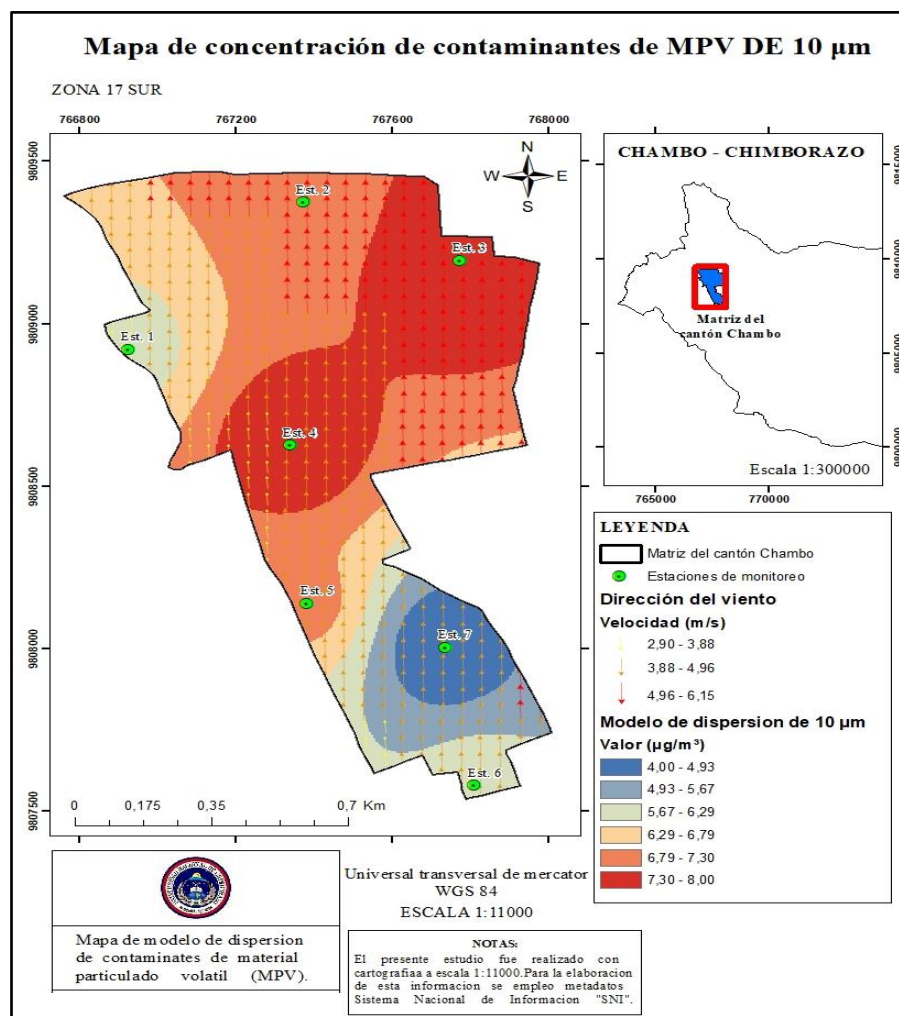
**Mapa 1.** Mapa de Concentración de PM<sub>2.5</sub>



**Fuente:** Los Autores

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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>, 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 2.** Mapa de Concentración de PM<sub>10</sub>



**Fuente:** Los Autores

Como se observa en el Mapa 2 las zonas de mayor concentración se encuentran en el punto de monitoreo N° 4 (Est.4) con un valor de  $8,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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  $7,30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $4,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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  $\mu\text{m}$ .

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  $\mu\text{m}$ .

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.

## 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 Suspensas 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](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.
- Diaz, 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*. San Luis Potosí, Mexico: Revista internacional de contaminación ambiental, 22(1), 5-15.
- Espinoza, C. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador. 2009-2013. Contaminantes. *Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador. 2009-2013. Contaminantes*. Cuenca, 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*.
- López, S. (2016). *Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a 10  $\mu\text{m}$ , 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 Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente (Lexis): <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.
- Marcos, R., & Valderrama, R. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la ciudad Universitaria-UNMSM. *Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF)*, 14.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan Nacional de la Calidad del Aire, Quito-Ecuador*. Obtenido de Plan Nacional de la Calidad del Aire, Quito-Ecuador.
- OMS. (Septiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Obtenido de Calidad del aire ambiente

- (exterior) y salud.: <http://www.who.int/mediaentre/factsheets/fs313/es/>
- OMS. (2 de Mayo de 2018). *El mundo respiran aire contaminado*. Obtenido de El mundo respiran aire contaminado: <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, o. p. (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](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=295&Itemid=72243&lang=es)
- PDOT Chambo, 2014- 2019. (s.f.). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton chambo*. Chambo.
- PDOT CHAMBO, 2014. (s.f.). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton chambo*. Chambo.
- 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<sub>2,5</sub> 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*. Universidad Austral de Chile. Obtenido de 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. 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." *Acta Nova 5.3 (2012): 344-373*. Obtenido de "Inventario de emisiones atmosféricas contaminantes de la ciudad de Cochabamba", Bolivia, año 2008." *Acta Nova 5.3 (2012): 344-373*.
- TSI. (2013). *I. Monitor de aerosoles dusttrak™*. [Internet]. Obtenido de I. Monitor de aerosoles dusttrak™. [Internet].: [www.tsi.com](http://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*. Obtenido de 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*. Obtenido de "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 PM<sub>10</sub> en Pamplona-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. *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.
- 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.