

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**“ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO  
SEDIMENTABLE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA”**

**Autor:**

**BRAULIO FABIAN URRUTIA LLERENA**

**Tutor:**

**MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLÁN LIMA**

**Riobamba - Ecuador**

**Año 2021**

## CERTIFICACIÓN DE TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

**ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.**

**Presentado por:** Braulio Fabian Urrutia Llerena y **Dirigido por:** MsC. Patricio Santillán  
Lima

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en el 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:

PhD. José Prato

Presidente del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
JOSE GREGORIO  
PRATO MORENO

.....  
Firma

MsC. Patricio Santillán

Tutor del Proyecto



Firmado electrónicamente por:  
GUIDO  
PATRICIO  
SANTILLAN

.....  
Firma

MsC. Carla Silva

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
CARLA  
FERNANDA  
SILVA PADILLA

.....  
Firma

MsC. Fernanda Rivera

Miembro del Tribunal



Firmado electrónicamente por:  
MARIA FERNANDA  
RIVERA CASTILLO

.....  
Firma

## **DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA**

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de INGENIERO AMBIENTAL. Con el Tema: **“ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, ha sido elaborado por BRAULIO FABIAN URRUTIA LLERENA, 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  
Tutor del Proyecto

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **BRAULIO FABIAN URRUTIA LLERENA** con cedula de identidad N° 1805198536; hago constar que soy el autor del presente trabajo de investigación, titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, 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.



.....  
Braulio Fabian Urrutia Llerena

CI. 1805198536

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida, por darme su fortaleza y su conocimiento para poder llevar adelante este trabajo y siempre extenderme su mano cuando más se lo necesita,

A mi madre por ser un pilar fundamental dándome su apoyo a cada momento y nunca abandonarme con su cariño y afecto, a mi padre por brindarme su esfuerzo y sacrificio y nunca de caer en mis estudios.

Al Ing. Patricio Santillán por brindarme su ayuda, para poder concluir con mi trabajo investigativo, así como también un agradecimiento al Ing. Jonathan Orozco por ayudarme con su conocimiento en la elección de la ubicación para el estudio y también al Ing. Marco Rodríguez por brindarme su aporte, sus conocimientos exhaustivos y su colaboración para concluir con el respectivo trabajo de titulación.

Agradezco a las respectivas instituciones y a los propietarios de los domicilios en los cuales se instaló los equipos de muestreo para el MPS.

***Braulio Fabian Urrutia Llerena***

## **DEDICATORIA**

A mis Padres, Lucia y Edwin por guiarme hacia el camino del bien y nunca soltarme en los momentos difíciles en el transcurso de la vida, especialmente dedico este trabajo a mi madre por sus sabias palabras, sus consejos, por el esfuerzo diario y la lucha constante de apoyarme en cada momento de mi vida, porque cuando no tenía a quien acudir sabía que podía contar contigo, y sobre todo por su apoyo incondicional ya que cuando todo se ponía difícil ahí estabas tú a mi lado diciéndome que todo saldría bien.

A mi hermano Wilson Ramón que siempre estuvo dándome su apoyo a pesar de las dificultades presentadas en el transcurso de mis estudios, por guiarme a ser una persona mejor cada día, por darme la motivación necesaria cuando todo parecía perdido y por ser un hermano incondicional.

A toda mi familia y amigos quienes siempre me apoyaron y me daban una palabra de aliento para seguir con mis estudios y que nunca decaer.

***Braulio Fabian Urrutia Llerena***

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

**PM:** Material Particulado

**PMS:** Material Particulado Sedimentable

**PMV:** Material Particulado Volátil

**PAS:** Polvo Atmosférico Sedimentable

**PM<sub>2.5</sub>:** Material Particulado de 2,5  $\mu\text{m}$

**PM<sub>10</sub>:** Material Particulado de 10  $\mu\text{m}$

**CHR:** Centro Histórico de Riobamba

**INPC:** Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censo

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica

**LMP:** Límite Máximo Permisible

**$\mu\text{m}$ :** micrómetro, micrón o micra

## INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL .....	II
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORIA .....	III
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	VII
INDICE GENERAL .....	VIII
INDICE DE TABLAS .....	XI
INDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. Objetivo general:.....	4
1.3.2. Objetivos específicos: .....	4
CAPITULO II .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Contaminación atmosférica .....	5
2.2. Contaminación atmosférica urbana .....	5
2.3. Material particulado (PM) .....	6
2.4. Clasificación del material particulado .....	7
2.5. Fuentes de material particulado .....	7
2.6. Composición de Material Particulado.....	8
2.6.1. Composición física .....	9
2.6.2. Composición química .....	10
2.7. Material particulado sedimentable.....	11
2.8. Material particulado volátil.....	11
2.9. Material particulado volátil PM <sub>2.5</sub> .....	11
2.10. Material particulado volátil PMV <sub>10</sub> .....	12

2.11.	Efectos del material particulado sobre la salud .....	12
2.12.	Transporte de material particulado en la atmósfera.....	13
2.13.	Parámetros de calidad del aire .....	13
2.13.1.	Texto unificado legislación secundaria medio ambiente.....	13
2.13.2.	Normativa de calidad del aire por la OMS .....	15
CAPITULO III.....		16
METODOLOGIA .....		16
3.1.	Tipo de estudio.....	16
3.2.	Población y muestra .....	16
3.3.	Área de estudio.....	16
3.4.	Toma de puntos GPS.....	17
3.5.	Establecimiento de los puntos de muestreo de Material Particulado Sedimentable 18	
3.6.	Metodología de monitoreo de Material Particulado Sedimentable.....	18
3.7.	Monitoreo de Material Particulado Volátil .....	19
3.8.	Análisis de la Composición Morfológica del PMS.....	20
3.9.	Análisis geoestadístico .....	20
3.10.	Análisis estadístico e interpretación de resultados .....	20
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
4.1.	Puntos de muestro óptimos para la medición de material particulado sedimentable y volátil en el Centro Histórico de Riobamba.....	21
4.1.1.	Área central o de primer orden .....	22
4.1.2.	Área de influencia.....	22
4.2.	Concentración de material particulado sedimentable y volátil en el centro histórico de Riobamba .....	25
4.2.1.	Concentración de material particulado sedimentable en la zona norte del centro histórico de Riobamba .....	25
4.2.2.	Concentración de material particulado sedimentable en la zona Sur del centro histórico de Riobamba 28	
4.2.3.	Concentración de material particulado volátil (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> ) en la zona Norte del centro histórico de Riobamba .....	30
4.2.4.	Concentración de material particulado volátil (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> ) en la zona sur del centro histórico de Riobamba .....	32
4.3.	Caracterización morfológica del material particulado sedimentable en el centro histórico de Riobamba .....	35
4.3.1.	Caracterización morfológica del PMS en la zona Norte del centro histórico de Riobamba 35	

4.3.2. Caracterización morfológica del PMS en la zona Sur del centro histórico de Riobamba	37
4.3.3. Análisis estadístico descriptivo de $PMV_{2,5}$ y $PMV_{10}$ en la Zona Norte del centro histórico de Riobamba	39
4.3.4. Análisis estadístico descriptivo de $PMV_{2,5}$ y $PMV_{10}$ en la zona Sur del centro histórico de Riobamba	41
4.4. Concentración y dispersión del material particulado Volátil mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	42
4.4.1. Simulación de la concentración de PMS en el centro histórico de Riobamba	42
4.4.2. Simulación de la dispersión de material particulado volátil $2,5 \mu m$	43
4.4.3. Simulación de la dispersión de material particulado volátil $10 \mu m$	45
CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	55
Anexo 1. Registro fotográfico del trabajo en el laboratorio	55
Anexo 2. Ubicación de los equipos para el muestreo de PMS	56
Anexo 3. Monitoreo de PMV con el DustTrack™ II	57
Anexo 4. Límites permisibles del TULSMA	58
Anexo 5. Límites permisibles de la OMS	58

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Principales contaminantes del aire urbano y sus fuentes.....	8
<b>Tabla 2:</b> Factores incidentes en la composición química del material particulado.....	10
<b>Tabla 3:</b> Límites Máximos Permisibles para Material Particulado. Texto Unificado de Legislación Secundaria, Libro VI, Anexo 4. Calidad del aire. ....	14
<b>Tabla 4:</b> Parámetros establecidos por la OMS.....	15
<b>Tabla 5:</b> Localización de las estaciones de monitoreo.....	17
<b>Tabla 6:</b> Estaciones de Monitoreo Zona Norte. ....	24
<b>Tabla 7:</b> Estaciones de Monitoreo Zona Sur.....	24
<b>Tabla 8:</b> Valores utilizados para la obtención de datos. ....	26
<b>Tabla 9:</b> Concentraciones de PMS en la zona norte del centro histórico de Riobamba. ....	26
<b>Tabla 10:</b> Valores utilizados para la obtención de datos. ....	28
<b>Tabla 11:</b> Concentraciones de PMS en los puntos de muestreo. ....	28
<b>Tabla 12:</b> Estadística Descriptiva de PMV de la Zona Norte del CHR.....	40
<b>Tabla 13:</b> Estadística descriptiva de PMV de la Zona Sur del CHR.....	41
<b>Tabla 14:</b> Datos mensuales de PMV <sub>2,5</sub> del Centro histórico de Riobamba.....	44
<b>Tabla 15:</b> Datos de promedios de PMV <sub>10</sub> del Centro histórico de Riobamba.....	45

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Distribución de las partículas atmosféricas en número de partículas (/) y en concentración mássica (---). .....	9
<b>Figura 2:</b> Delimitación del Centro Histórico de Riobamba. ....	21
<b>Figura 3:</b> Área de estudio del CHR. ....	23
<b>Figura 4:</b> Puntos de monitoreo del PMS.....	25
<b>Figura 5:</b> Concentración de PMS en la Zona Norte del Centro Histórico de Riobamba. ....	27
<b>Figura 6:</b> Concentración de PMS en la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba. ....	29
<b>Figura 7:</b> Concentración de PMV en la Zona Norte del CHR.....	30
<b>Figura 8:</b> Comparación de la concentración de PMV <sub>2,5</sub> con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Norte del CHR. ....	31
<b>Figura 9:</b> Comparación de la concentración de PMV <sub>10</sub> con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Norte del CHR.....	32
<b>Figura 10:</b> Concentración de PMV en la Zona Sur del CHR. ....	33
<b>Figura 11:</b> Comparación de la concentración de PMV <sub>2,5</sub> con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Sur del CHR .....	34
<b>Figura 12:</b> Comparación de la concentración de PMV <sub>10</sub> con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Sur del CHR .....	35
<b>Figura 13:</b> Imágenes Obtenidas del Microscopio Óptico (100x), PMS en la Zona Norte del CHR. (a) PMS estación 1 (P1A-ER); (b) PMS estación 3 (P3C-PS); (c) PMS estación 6 (P6C-CT); (d) estación 9 (P9C-PS).....	37
<b>Figura 14:</b> Imágenes Obtenidas del Microscopio Óptico (100x), PMS en la Zona Sur del CHR. (a) PMS estación 10 (P10C-SA); (b) PMS estación 12 (P12C-SF); (c) PMS estación 16 (P16C-LM); (d) PMS estación 15 (P15C-SF) .....	39
<b>Figura 15:</b> Distribución del PMV <sub>2,5</sub> y PMV <sub>10</sub> de la Zona Norte del CHR. ....	40
<b>Figura 16:</b> Distribución del PMV <sub>2,5</sub> y PMV <sub>10</sub> de la Zona Sur del CHR.....	42
<b>Figura 17:</b> Mapa de concentración de PMS en el Centro histórico de Riobamba.....	43
<b>Figura 18:</b> Mapa de Simulación de la concentración de PMV <sub>2,5</sub> en el centro histórico de Riobamba. ....	45
<b>Figura 19:</b> Mapa de simulación de la concentración de PMV <sub>10</sub> en el centro histórico de Riobamba. ....	46

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración del material particulado sedimentable (PMS) y volátil (PMV) en el centro histórico de la ciudad de Riobamba. El PMS se determinó mediante cajas Petri ubicadas en las 18 estaciones de monitoreo, durante un mes (15 de Julio al 15 de agosto de 2021). El PMV se midió con el equipo DustTrak™ II por un tiempo de 20 días. Con los datos obtenidos y mediante software ArcGIS 10.x se realizó un mapa de la concentración y dispersión de PM. Los resultados de PMS en la zona norte van desde 0,87 a 15,97 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ), con un valor medio de 7,72  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ . En la zona sur los valores fueron 4,60 a 22,25 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) con un valor medio de 12,97  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ . De acuerdo con la legislación ecuatoriana y la OMS, las concentraciones de PMS exceden los límites máximos permisibles. El  $\text{PM}_{2,5}$  en la zona norte presento un valor medio de 43,62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor máximo de 49,81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un mínimo de 33,14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El  $\text{PMV}_{10}$  presento un valor medio de 48,33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un rango de 32,40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 56,91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la zona sur la concentración de  $\text{PM}_{2,5}$  fue de 42,85 a 66,28 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), con un valor medio de 57,68  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El  $\text{PMV}_{10}$  presento un valor medio de 72,80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , un máximo de 85,33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un mínimo de 51,27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La distribución espacial del PM, determinó focos de emisión a escala local; con un radio crítico de arrastre y deposición de 250 m. Con ello se demuestra que la modelación de PM, representan un instrumento importante para las instituciones que asumen la competencia sobre la gestión de la calidad del aire.

**Palabras clave:** Centro histórico, dispersión, material particulado sedimentable, material particulado volátil, morfología,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ , simulación.

## ABSTRACT

The objective of the current investigation was to determine the sedimentable particulate matter (SPM) and volatile (VPM) concentration in the historical center of Riobamba city. The SPM had determined by Petri dishes located in the 18 monitoring stations for a month (from July 15<sup>th</sup> to August 15<sup>th</sup>, 2021). The VPM had measured with the Dust Track TM equipment for 20 days. A PM concentration and dispersion map had made with the data obtained and using ArcGIS 10.x software. The SPM results in the northern zone range from 0.87 to 15.97 (mg / cm<sup>2</sup> / month), with a mean value of 7.72 mg / cm<sup>2</sup> / month. In the southern zone the values were 4.60 to 22.25 (mg / cm<sup>2</sup> / month) with a mean value of 12.97 mg / cm<sup>2</sup> / month. According to Ecuadorian legislation and the WHO, the SPM concentrations exceed the maximum permissible limits. The PM<sub>2.5</sub> in the northern zone presented a mean value of 43.62 µg / m<sup>3</sup>, with a maximum value of 49.81 µg / m<sup>3</sup> and a minimum of 33.14 µg / m<sup>3</sup>. The PM<sub>10</sub> presented a mean value of 48.33 µg / m<sup>3</sup>, with a range of 32.40 µg / m<sup>3</sup> to 56.91 µg / m<sup>3</sup>. In the southern zone, the concentration of PM<sub>2.5</sub> ranged from 42.85 to 66.28 (µg / m<sup>3</sup>), with a mean value of 57.68 µg / m<sup>3</sup>. The PM<sub>10</sub> presented a mean value of 72.80 µg / m<sup>3</sup>, a maximum of 85.33 µg / m<sup>3</sup>, and a minimum of 51.27 µg / m<sup>3</sup>. The spatial distribution of PM determined emission sources on a local scale, with a critical drag and deposition radius of 250 m. Thus, it had shown that PM modeling represents an important instrument for the institutions that assume responsibility for air quality management.

**Key words:** Historical center, sedimentable particulate matter, volatile particulate matter, morphology, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, simulation.

MONICA  
ALEXANDRA  
CASTELO  
REYNA



Firmado digitalmente  
por MONICA  
ALEXANDRA CASTELO  
REYNA  
Fecha: 2021.12.03  
21:00:41 -05'00'

Reviewed by:  
Mgs. Castelo Reyna Mónica.  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C: 060453982-5

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica viene siendo uno de los principales problemas ambientales que con el paso de los años en las distintas zonas urbanas del país y del mundo se ha ido aumentando, no solo en los países que se encuentran en vías de desarrollo si no en los países desarrollados debido a la masiva producción industrial, el crecimiento urbanístico descontrolado y el alto flujo de vehículos automotores (Ortiz & Tigsi, 2020).

El material particulado (PM) que se producen por una gran variedad de fuentes tanto naturales como antrópicas poseen un amplio rango de propiedades físicas, químicas, morfológicas y termodinámicas (Arciniégas, 2012).

Con el objetivo de monitorear la calidad del aire de la ciudad de Riobamba, esta mantiene un convenio con el municipio de Quito y la CORPAIRE, donde se da a conocer que los gases contaminantes provienen únicamente de fuentes de combustión en todo el casco central de la urbe (Cazco, 2011).

Como medida de protección de la salud de los habitantes y para obtener una mejor calidad del aire de la ciudad, es indispensable cuantificar su calidad (OMS, 2006). Por tal razón en el centro histórico de la ciudad, se precisa estimar las causas y sus posibles efectos que ocasionan la contaminación de PM sedimentable y volátil.

El centro histórico de la ciudad de Riobamba presenta uno de los mayores parques automotores de toda la provincia incluyendo a las líneas de transporte urbano, y a los vehículos particulares, los cuales emanan grandes cantidades de gases contaminantes hacia la atmosfera como: PM, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, así como también ozono troposférico (Gaibor, 2015). Estos gases afectan directamente a la salud de los pobladores que habitan en el centro histórico y sus alrededores.

La presente investigación tiene como objetivo estimar la concentración de Material Particulado Sedimentable (PMS) y Material Particulado Volátil (PMV) en el centro histórico de la ciudad de Riobamba a través de estaciones de monitoreo fijas y móviles (DustTrack II) implementadas en sectores considerados como fuertemente vulnerables a la exposición del contaminante atmosférico y que tienen un alto flujo vehicular.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. PROBLEMA

La contaminación del aire ha presentado un importante riesgo medioambiental para la salud debido a que en los últimos años se estima que la contaminación ambiental del aire en las ciudades y en las zonas rurales, causó 4,2 millones de muertes prematuras por año en todo el mundo, esta mortalidad se debe a la constante exposición de partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos (OMS, 2018).

En el centro de Riobamba existe un incremento tanto en el parque automotor como en el crecimiento demográfico debido a que el cantón se ha transformado en un centro comercial y de servicios de actividades directas e indirectas relacionadas con actividades productivas agrícolas logrando que la zona urbana sea eminentemente comercial industrial y de servicios (GADM Riobamba, 2020).

Pero el que mayor contaminación genera es el parque automotor ya que según datos oficiales revelan que el transporte público de pasajeros, de carga y particulares, generan el 80% del total de los contaminantes a la atmósfera, el 3% lo representa la industria y el 10% restante el comercio y los servicios (Cazco, 2011).

Según Cazco (2011), los principales contaminantes que arrojan los vehículos automotores y que afectan la salud de la población son: el monóxido de carbono, que se forma debido a la combustión incompleta en los motores de los vehículos que usan gasolina, los hidrocarburos que se forman por componentes de la gasolina y otros derivados del petróleo.

Además, otras sustancias contaminantes pueden ser gases, material particulado o compuestos orgánicos volátiles, presentes durante lapsos prolongados y en cantidades que superen los niveles de tolerancia permitidos, los principales componentes que se depositan en las vías respiratorias y en el tejido pulmonar están partículas de metales pesados, óxidos ácidos, contaminantes orgánicos, bacterias, hongos y virus (Cifuentes et al., 2020).

Por otro lado el principal problema de contaminación atmosférica que presenta el centro histórico de la ciudad de Riobamba son las partículas de  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , las cuales provienen de medios naturales y antrópicos (Cazco, 2011). Toda esta problemática tiene un alto grado de afectación en los habitantes del centro histórico generando incomodidad y descontento en los moradores de la zona que se sienten directamente perjudicados.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La contaminación por PM es una problemática del día a día y que se está saliendo de control ya que la emanación de partículas contaminante hacia la atmosfera aumenta constantemente por las actividades antrópicas.

Es por ello que se necesita tomar medidas preventivas y medidas regulatorias que ayuden a minimizar esta contaminación, además se requiere de constantes estudios sobre calidad del aire que ayuden a establecer políticas y ordenanzas en beneficio de la salud de las personas.

El centro histórico de Riobamba presenta uno de los parques automotores con mayor congestión de la provincia de Chimborazo y con el pasar de los días va en aumento por lo que el aire del centro histórico se va deteriorando a cada segundo y por ello se requiere medidas regulatorias y preventivas que permitan mantener un ambiente equilibradamente saludable para precautelar la salud de las personas que habitan en el centro histórico y sus alrededores.

En la presente investigación se planteó realizar un muestreo sobre la calidad del aire mediante la concentración de PMS y PMV, en el centro histórico de la ciudad de Riobamba durante el periodo de un mes (15 de julio al 15 de agosto de 2021). Además, se realizó un mapa de dispersión de PMV, para lo cual se consideró factores y comportamientos climáticos como: velocidad y dirección del viento.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

- Determinar la cantidad de concentración del material particulado sedimentable y volátil en el centro histórico de la ciudad de Riobamba.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

1. Establecer puntos de muestro para la medición de material particulado sedimentable y volátil en el Centro Histórico de Riobamba.
2. Estimar la concentración de material particulado sedimentable y material particulado volátil durante un mes de monitoreo.
3. Analizar las características morfológicas del material particulado del centro Histórico de Riobamba.
4. Realizar una simulación de la dispersión del contaminante con los datos muestreados de material particulado mediante el uso del software SIG.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmosfera de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgos para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier tipo de origen, así como pueden atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables (Amable *et al.*, 2017).

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 (Amable *et al.*, 2017).

Así como el agua o la tierra, el aire que compone la atmósfera también mantiene un balance químico y energético necesario para sostener las condiciones que hacen posible la vida, y cuya alteración repercute en otros ciclos importantes, como el del agua (Ortiz & Tigsí, 2020).

#### 2.2. Contaminación atmosférica urbana

La contaminación atmosférica urbana (CAU) es uno de los principales retos de salud medioambiental para las personas en general, la contaminación del aire doméstico va reduciendo contrariamente a la CAU, generada por la expansión de las megaciudades (vehículos motorizados y combustibles fósiles residenciales), la globalización industrial, las centrales eléctricas, la agricultura intensiva y los residuos (Ortega *et al.*, 2018).

Los principales compuestos de la CAU implicados son la materia particulada, la menor de 2,5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>) o la menor de 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y ozono (O<sub>3</sub>) (Ortega *et al.*, 2020).

El O<sub>3</sub> troposférico se considera de tipo secundario puesto que se forma a partir de reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar y de precursores como NO<sub>x</sub> y los compuestos orgánicos volátiles (COV) (Jaramillo & Toro, 2020).

### **2.3. Material particulado (PM)**

El material particulado se utiliza para describir pequeños materiales sólidos o líquidos que pueden variar considerablemente de tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas (Cevallos, 2018). El tamaño varía desde 0,005 hasta 500  $\mu\text{m}$ , las partículas más pequeñas se comportan como gases, mientras que las mayores son más características de materiales sólidos, además varía la densidad de estos materiales considerablemente debido a sus diferencias entre estructura y composición elemental (Cevallos, 2018).

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

El material particulado sedimentable está formado principalmente en polvo de ciudad resuspendido proveniente de erosión del terrero y vías sin pavimento, por su parte, el  $\text{PM}_{10}$  está formado en su mayor proporción por partículas de polvo fino de ciudad fino, material proveniente de fuentes de emisión y material de desgaste (Díaz, 2015).

El material de desgaste proviene principalmente de material depositado a filo de calzadas por erosión y material de frenos y neumáticos (Díaz, 2015).

Las partículas  $\text{PM}_{2,5}$  representan, en promedio, alrededor de la mitad del  $\text{PM}_{10}$ , que está formado por material de desgaste y principalmente por material proveniente de fuentes de combustión (Díaz, 2015).

Las partículas primarias de material particulado provienen de dos causas principales que son las fuentes industriales y la quema de combustibles, entre las fuentes industriales se incluyen las operaciones de fundición de metales ferrosos y no ferrosos; la aglomeración y procesamiento de roca mineral; la molienda, manejo y almacenamiento de grano en la agricultura; la limpieza de carbón; la producción de cemento y una variedad de diversos procesos de fabricación (Cevallos, 2018).

Las principales causas por las que se produce las partículas secundarias pueden ser por emisiones de gases como resultado de algunas actividades del hombre, que incluyen a los sulfatos, nitratos y algunos hidrocarburos ocasionando molestias a las personas al reducir la visibilidad y, sobre todo, por su participación en la formación de lluvia ácida, por eso las partículas dependen de su fuente de origen y del comportamiento atmosférico (Cevallos, 2018).

#### **2.4. Clasificación del material particulado**

El material particulado está conformado por partículas de diversos tamaños, en estado sólido o líquido, exceptuando el agua que no ha sido combinada con ninguna otra sustancia. Entre las partículas que están formando parte del material particulado están las de mayor tamaño, el material particulado sedimentable, luego el material particulado ( $PM_{10}$ ) y finalmente el material particulado ( $PM_{2.5}$ ) (Villacrés, 2015).

El material particulado de acuerdo con su diámetro aerodinámico de sus partículas puede clasificarse en:

- Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100  $\mu m$ .
- Inhalables o respirables ( $PM_{10}$ ), cuyo diámetro es menor a 10  $\mu m$ .
- Finas, con diámetro menor a 2,5  $\mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) y
- Gruesas, con diámetro menor a 10  $\mu m$  ( $PM_{4}$  Y  $PM_{10}$ ) (Guevara & Logroño, 2020).

#### **2.5. Fuentes de material particulado**

El material particulado tiene su origen natural principalmente en emisiones de suelos, que dan lugar a partículas minerales, de océanos, que generan aerosol marino; así como también procede de actividades volcánicas y emisiones conformadas por residuos vegetales o de microorganismos, también llamadas emisiones biogénicas (Villacrés, 2015). Por otro lado el PM provenientes de origen antropogénico es decir a causa de las actividades del hombre son en su mayoría producidos por los procesos industriales, quema de biomasa almacenamiento y traslado de material, generación industrial, etc. (Guevara & Logroño, 2020).

En relación a las zonas urbanas, el tráfico vehicular es el principal generador de material particulado, y procede de la combustión de los autos, de los frenos, llantas, así como de la erosión del pavimento (Villacrés, 2015).

En la Tabla 1 se presenta las diferentes fuentes generadoras de PM según el tipo de contaminante y el tipo de partículas.

**Tabla 1.** Principales contaminantes del aire urbano y sus fuentes.

<b>Contaminante</b>	<b>Fuente principal</b>
Ozono O <sub>3</sub>	Emisiones de automóviles. Reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno.
Óxidos de Azufre SO <sub>2</sub>	Plantas termoeléctricas, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, automóviles, calentadores residenciales y comerciales, combustión de carbón y otros combustibles fósiles como la gasolina.
Óxidos de Nitrógeno NO <sub>2</sub>	Las fuentes interiores de NO <sub>2</sub> pueden ser: estufas de gas en mal funcionamiento, calderas, chimeneas y calentadores de queroseno portátiles. Exterior: por combustión a excesivas temperaturas, debido a la reacción del oxígeno del aire y el nitrógeno presente en los combustibles.
Monóxido de Carbono CO	Motores de explosión. Hornos y calentadores domésticos.
Partículas finas menos de 2,5 ug PM <sub>2,5</sub>	Combustión industrial y residencial, emisiones vehiculares, incendios de vegetación y reacciones de gases en la atmósfera (SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> ) y compuestos orgánicos volátiles.
Partículas finas menos de 10 micras PM <sub>10</sub>	Fuentes fijas: construcciones, móviles: automotores.

**Fuente:** (Peña, 2018).

## 2.6. Composición de Material Particulado

El material particulado presenta una composición física y química muy variable que está formado por una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas.

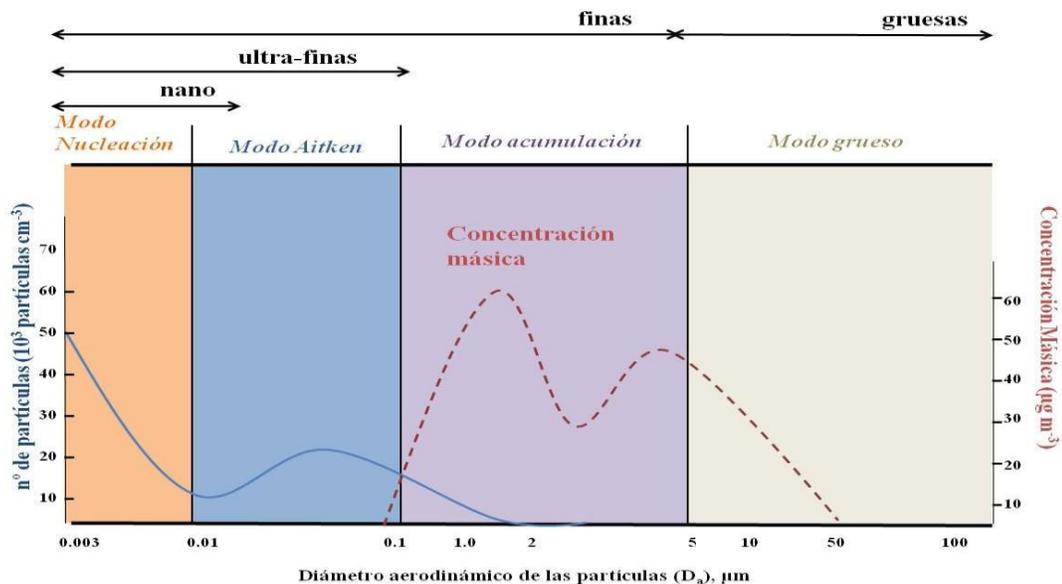
### 2.6.1. Composición física

Las características físicas del PM ejercen influencia en su transporte, tiempo de persistencia y posibilidad de su deposición, tanto en el ambiente como en el sistema respiratorio, que interviene directamente sobre los efectos en la salud humana (Guevara & Logroño, 2020).

Una propiedad relevante es la concentración másica o cantidad de material particulado por unidad de volumen de aire. En la baja atmosfera las concentraciones de partículas totales en número y peso varían en el intervalo de  $10^2 - 10^5$  partículas por  $\text{cm}^3$  y  $1 - 100 \text{ ug m}^{-3}$  respectivamente (Borrás, 2013).

La granulometría o distribución por tamaños es una propiedad relevante de las partículas ambientales tiene típicamente una distribución modal lo que significa que la masa total de las partículas tiene a agruparse en torno a varios diámetros (Borrás, 2013). Ver en la figura 1.

**Figura 1:** Distribución de las partículas atmosféricas en número de partículas (/) y en concentración másica (---).



**Fuente:** (Borrás, 2013).

La higroscopicidad es la capacidad de absorber agua líquida o en fase vapor del material particulado. Esta propiedad se relaciona, por ejemplo, con su crecimiento bajo condiciones húmedas, originando que, a mayor humedad relativa, la partícula presentará mayor capacidad de formación de gotas en las nubes (Borrás, 2013).

### 2.6.2. Composición química

La composición química del material abarca un rango amplio de especies tales como compuestos orgánicos, óxidos de silicio, sulfatos, nitratos y amonio. De tal forma que las partículas interactúan con diferentes sustancias en el aire formando compuestos químicos e inorgánicos. La composición más común de las partículas finas son los sulfatos. Las partículas más pequeñas contienen aerosoles, partículas de combustión y vapores re condensados de carácter orgánico y metálico (Guevara & Logroño, 2020). La Tabla 2 hace referencia a los factores y compuestos que inciden en la composición química del PM.

**Tabla 2:** Factores incidentes en la composición química del material particulado.

Factores	Categoría	Compuestos
<b>Fuente</b>	Origen natural	Polvo mineral, emisiones marinas, erupciones volcánicas, productos de biomasa, materiales biológicos como fragmentos de plantas, polen, etc.
	Origen antropogénico	Partículas minerales, derivadas de procesos de combustión y de procesos industriales
<b>Mecanismo de formación</b>	Primario	Material particulado inorgánico, hidrocarburos policíclicos aromáticos, plaguicidas
	Secundario	compuestos semivolátiles oxigenados (ácidos carboxílicos, peroxiacetilnitratos), oligómeros.
<b>Tamaño</b>	Fracción Gruesa	Compuestos cristalinos (sílice, magnesio, calcio, aluminio...), cloruro sódico, elementos biológicos primarios (polen, esporas, larvas de insectos...), cenizas de carbón
	Fracción Fina	Sulfatos, nitratos, componentes orgánicos, metales (plomo, hierro, cobre, níquel...), carbono elemental

**Fuente:** (Borrás, 2013).

El material compuesto de carbono son las partículas compuestas predominantemente de C, H y O, y cantidades más reducidas de otros elementos, a este material le corresponde el denominado carbono elemental, el carbono orgánico y a todos los compuestos procedentes de procesos de combustión incompleta y de procesos de degradación fotoquímica (Borrás, 2013).

El origen de estas partículas es tanto de origen natural como antropogénico engloban procesos de emisión primarios y secundarios, a su vez su contribución es, aproximadamente, del 5% de la masa total, pero se caracteriza por aparecer preferentemente en ambientes urbanos e industriales y provocar graves efectos en la salud humana y en el medio ambiente (Borrás, 2013).

### **2.7. Material particulado sedimentable**

El material particulado sedimentable (PMS) presenta partículas contaminantes de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras, que se sedimentan y se depositan en forma de polvo en diferentes superficies, desde donde regresan al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas (Gallo & Paredes, 2019).

Se lo conoce también como polvo sedimentable, está compuesta por partículas que se depositan en el aire a consecuencia de la gravedad, por contaminantes gaseosos, partículas arrastradas por la lluvia o conocida como deposición húmeda, presentan velocidades de sedimentación muy apreciables, estos permanecen en la atmósfera por cortos periodos de tiempo (Guevara & Logroño, 2020).

### **2.8. Material particulado volátil**

El fragmento de partículas en suspensión también llamado material particulado volátil (PMV) son aquellas partículas suspendidas totales (PST) en el aire, la cual se dispersan de una manera constante y homogénea, por lo que permanecen suspendidos durante un intervalo de tiempo mayor hasta que son destruidos por precipitación (Guevara & Logroño, 2020).

Para el presente estudio a realizar se toma en cuenta dos tipos de tamaño de diferentes diámetros, de diámetros 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , la cual es la clasificación que se usa frecuentemente para la investigación sobre contaminación del aire para determinar niveles de concentración de PM y de riesgo a la salud (Andi & Vega, 2019).

### **2.9. Material particulado volátil PM<sub>2.5</sub>**

El material particulado volátil (PMV<sub>2.5</sub>) se identifica por tener un diámetro menor a 2,5  $\mu\text{m}$ , cercano a la longitud de onda de luz, por tanto estas partículas resultan de procesos de

combustión de carbón, petróleo, gasolina, diésel, madera o a través de procesos industriales de alta temperatura como fundiciones de acero, teniendo una vida útil desde días hasta semanas por lo que pueden transportarse a una distancia de miles de kilómetros, siendo pues, una fracción significativa de PM<sub>2.5</sub> se deposita en todo el tracto respiratorio humano, causando enfermedades pulmonares, enfermedades cardíacas y muertes prematuras (Guevara & Logroño, 2020).

### **2.10. Material particulado volátil PMV<sub>10</sub>**

El material particulado (PMV<sub>10</sub>) cuyos diámetros están comprendidos entre 2,5 µm y 10 µm, son señaladas como aerosoles oxigenados, que a través del origen de fuentes naturales puede estar relacionado con el polvo del suelo y la corteza terrestre, el rocío del mar, el cual se transforma en aerosol marino, así como partículas presentes en cenizas de volcanes, incendios forestales y elementos traza comúnmente de metales (Andi & Vega, 2019).

A través de las actividades antropogénicas las difusiones de material particulado se genera a través de las emisiones de tráfico vehicular, actividad industrial y energéticos (Guevara & Logroño, 2020).

### **2.11. Efectos del material particulado sobre la salud**

Los seres humanos al vivir en comunidades desarrolladas y en consecuencia contaminadas, por lo general expone sólo áreas limitadas de piel a la atmósfera, aproximadamente cada día se inhala 7500 litros de aire, de tal manera que sus pulmones y sistema respiratorio general están en contacto con ella y tienen la potencialidad de retener cualquier sustancia nociva del aire, así la nariz, la garganta y el sistema bronquial son los que con más frecuencia se ven afectados (Cevallos, 2018).

En 2015 la contaminación atmosférica fue una de las principales causas mundiales de morbilidad, provocando 6,5 millones de muertes y 167,3 millones de años de vida perdidos ajustados por discapacidad, varios estudios epidemiológicos han demostrado la existencia de una relación directa entre la contaminación del aire y la incidencia de enfermedades vasculares ateroscleróticas, por lo que atribuye a la contaminación atmosférica el 19% de la mortalidad vascular y el 21% de las muertes por ictus (García *et al.*, 2021).

Los principales agentes contaminantes que representan un riesgo para la salud son las partículas en suspensión en el aire como la materia particulada, tanto la menor de 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) o la menor de 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), y ozono ( $\text{O}_3$ ) (Ortega *et al.*, 2020).

En un metaanálisis realizados por la Sociedad Española Neurológica (SEN), se observó que por cada aumento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$   $\mu\text{m}$  en el aire, se aumentaba en un 6% el riesgo acumulado de mortalidad de cualquier causa, y en un 11% el riesgo de muerte vascular, además en otro metaanálisis se demostró que cada aumento de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$   $\mu\text{m}$  en el aire se asociaba a un aumento del riesgo de ictus (HR 1,064) y de ictus mortal (HR 1,125) (García *et al.*, 2021).

## **2.12. Transporte de material particulado en la atmósfera**

La mayoría de contaminantes expulsados a la atmosfera por fuentes naturales o antrópicas, se da gracias a la presencia de varios factores meteorológicos como por ejemplo el viento, nubosidad entre otros, y de tipo topográfico como son las montañas, edificios, etc. todos estos factores instituyen un problema en la predicción de las concentraciones totales en el aire (Gaibor, 2015).

La dispersión de un contaminante se da como resultado de tres mecanismos absolutos:

- Movimiento del aire que transporta el contaminante en la dirección del viento
- Las fluctuaciones de la velocidad que dispersan el contaminante en todas las direcciones.
- La difusión de masa debido a los gradientes de concentración (Gaibor, 2015).

## **2.13. Parámetros de calidad del aire**

### **2.13.1. Texto unificado legislación secundaria medio ambiente**

El Texto Unificado Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente en el Libro VI De la Calidad Ambiental Anexo 4, denominado Norma de Calidad de Aire Ambiente (NCAA), consiste en una norma técnica dictada bajo el amparo de la Ley de

Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (MAE, 2017).

Como Objeto el Anexo 4 del TULMA establece que la presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades (MAE, 2017).

Sobre el material particulado expresa que está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como PM<sub>2.5</sub> al material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 µm. Por otro lado, se designa como PM<sub>10</sub> al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 µm (MAE, 2017).

El PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y Partículas Sedimentables se encuentran dentro del grupo de contaminantes comunes del aire ambiente. La norma establece un valor límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado (MAE, 2017).

Para estos contaminantes se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas que se pueden ver en la tabla 3.

**Tabla 3:** Límites Máximos Permisibles para Material Particulado. Texto Unificado de Legislación Secundaria, Libro VI, Anexo 4. Calidad del aire.

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
<b>Partículas menores a 10 µm (PM 10)</b>	50 µg/m <sup>3</sup> (Promedio anual)
	100 µg/m <sup>3</sup> (Promedio en 24 horas)
<b>Partículas menores a 2,5 µm (PM 2,5)</b>	15 µg/m <sup>3</sup> (Promedio anual)
	65 µg/m <sup>3</sup> (Promedio en 24 horas)

**Fuente:** (MAE, 2017).

### 2.13.2. Normativa de calidad del aire por la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) brindan ciertas directrices para una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, las mismas que se aplican en todo el mundo basándose en pruebas científicas actuales que conciernen a partículas (PM), Ozono (O3), Dióxido de nitrógeno (NO2) y Dióxido de azufre (SO2) en todas las regiones de la OMS (OMS, 2018).

En las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire se estima que una reducción media anual de las concentraciones de partículas (PM<sub>10</sub>) de 35 microgramos/m<sup>3</sup>, común en muchas ciudades en desarrollo, a 10 microgramos/m<sup>3</sup>, permitiría reducir el número de defunciones relacionadas con la contaminación en aproximadamente un 15% (OMS, 2018).

A continuación, en la tabla 4 se muestran los límites máximos permisibles (LMP) de concentraciones de material particulado presentes en la atmosfera.

**Tabla 4:** Parámetros establecidos por la OMS.

<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Máxima concentración permitida</b>
<b>Partículas Sedimentables</b>	30 días	0,5 mg/cm <sup>2</sup> /mes
	1 año	20 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 horas	50 µg/m <sup>3</sup>
	1 año	10 µg/m <sup>3</sup>
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	24 horas	25 µg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** (OMS, 2018).

## CAPITULO III

### METODOLOGIA

#### 3.1. Tipo de estudio

Experimental: debido a que es un proceso donde se aplica muestreos, monitoreo y análisis en el laboratorio de las muestras obtenidas.

Transversal: porque el presente trabajo se lleva a cabo en un periodo de tiempo determinado.

Exploratorio: porque la investigación permitió conocer los niveles de concentración de material particulado sedimentable como también de material particulado volátil que existen en el centro histórico de la ciudad de Riobamba.

De Campo: debido a que se realizó recorridos a todos los puntos de monitoreo instalados en el centro Histórico de Riobamba, tomando las respectivas muestras para su análisis.

#### 3.2. Población y muestra

**Población**: Todo el centro histórico de Riobamba que incluyo las parroquias: Lizarzaburu, Veloz, Maldonado y Velasco.

**Muestra**: PMS y PMV de 2,5 $\mu$ m y 10 $\mu$ m en los diferentes puntos de monitoreo establecidos previamente.

#### 3.3. Área de estudio

El cantón Riobamba se encuentra ubicado en la zona Sierra Centro, en la provincia de Chimborazo, al sur de la capital de la República, a una altitud de 2754 m.s.n.m. con una superficie de 2900 hectáreas de área urbana. La temperatura promedio en la ciudad de Riobamba varía entre 9 y 21 °C; con una precipitación anual de 491 mm con rangos mensuales de (3-83 mm); una presión atmosférica promedio de 545 mm de Hg y una humedad relativa del 72% (INAMHI, 2017).

El Centro Histórico de Riobamba (CHR) se encuentra ubicado en la capital de la provincia de Chimborazo que abarca 103 manzanas y aproximadamente 2000 inmuebles ubicados en

las dos zonas dentro del centro histórico, dividiendo la información en las parroquias: Lizarzaburu, Veloz, Maldonado y Velasco según el director del municipio de Riobamba.

El CHR posee características muy particulares, permaneciendo así en algunos sectores intacta su arquitectura clásica. El CHR está compuesto por viviendas, parques, mercados, plazas, iglesias y edificios cuya altura no supera los siete pisos en algunos casos

### 3.4. Toma de puntos GPS

Para la toma de puntos GPS se realizó una visita de campo necesaria la cual con ayuda del equipo GPS de alta precisión de marca “GARMIN” permitió georreferenciar los puntos de muestreo en donde serán ubicadas las estaciones para la recolección de datos de PMS

Las coordenadas de los puntos de monitoreo se evidencian en la tabla 5:

**Tabla 5:** Localización de las estaciones de monitoreo.

Descripción	X	Y	Altitud (m.s.n.m)
Estación 1	760698.60	9815389.05	2783
Estación 2	760996.24	9815259.81	2776
Estación 3	761212.76	9814950.73	2763
Estación 4	761192.74	9815119.27	2768
Estación 5	761313.74	9815302.95	2772
Estación 6	761386.46	9815447.96	2758
Estación 7	761529.50	9815284.62	2775
Estación 8	761449.69	9814953.95	2778
Estación 9	761536.33	9815105.95	2765
Estación 10	761695.48	9815067.6	2770
Estación 11	761809.26	9815102.86	2767
Estación 12	761926.69	9814786.33	2769
Estación 13	761988.88	9814656.09	2768
Estación 14	761835.75	9814604.46	2769
Estación 15	761808.65	9814445.01	2769
Estación 16	761636.98	9814713.12	2771
Estación 17	761474.95	9814815.82	2758
Estación 18	761447.67	9814658.58	2764

**Fuente:** El Autor (2021).

### **3.5. Establecimiento de los puntos de muestreo de Material Particulado Sedimentable**

De acuerdo con lo que establece Marcos & Valderrama (2012), los equipos de muestreo deben estar situados en lugares con mayor probabilidad de receptor el PMS, es decir en una área de exposición libre de obstáculos significativos o cercanos a fuentes de contaminación, de tal forma que la muestra pueda ser recolectada por acción gravitacional, para el establecimiento de los equipos de muestro se tomó en cuenta los lugares con mayor concentración de automotores, los sitios de mayor aglomeración de transportes públicos y los lugares más vulnerables para los habitantes del sector.

En el área de estudio se colocaron 18 estaciones de monitoreo pasivo para determinar PM sedimentable. Las estaciones se ubicaron mediante un muestreo no probabilístico el cual consiste en un procedimiento donde las unidades muestrales no se seleccionan al azar, sino son elegidas en base al criterio del investigador, con el propósito de cubrir toda el área del Centro Histórico de Riobamba.

### **3.6. Metodología de monitoreo de Material Particulado Sedimentable**

El monitoreo de PMS se lo realizó en el lapso de un mes (15 de julio al 15 de agosto del 2021), de forma continua como lo menciona el Libro VI, Anexo 4 del TULSMA con el propósito de obtener muestras significativas máximas de un miligramo por centímetro cuadrado, por un mes ( $1\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 1\text{mes}$ ) (MAE, 2017).

Para la determinación del PMS se aplicó el método pasivo empleado por Santillán et al. (2021) que consiste en colocar cajas Petri con papel filtro previamente pesado, secado y determinada su área. El resultado se alcanza mediante el cálculo de los pesos final e inicial y dividiendo para el área donde se recogió la muestra; obteniendo valores en unidades de  $\text{mg}/\text{cm}^2$  durante 1 mes

A continuación, se detalla la fórmula utilizada para la determinación:

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

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

Pi: Peso del papel filtro después de salir de laboratorio

Pf: Peso del papel filtro después de estaré expuesto al periodo de muestreo

Área del papel filtro:  $A = \pi \times r^2$  (Santillán et al., 2021)

### 3.7. Monitoreo de Material Particulado Volátil

Para la estimación del Material Particulado Volátil se realizó mediciones durante un mes (16 de Julio al 16 de agosto del presente año), tomando en cuenta que se excluyó los fines de semanas y feriados, en distintos puntos del Centro Histórico de Riobamba, en 2 horarios de diferentes de 8h30 y 12h30 que están dentro de las horas pico que presenta la ciudad.

Se utilizó el quipo *DustTrack II*, el cual puede medir conjuntamente fracciones de masa y tamaño ya que posee un fotómetro laser alimentados por baterías que nos proporcionara lecturas de masa de PM en tiempo real, dicho fotómetro utiliza un sistema de aire de vaina que aísla el material particulado en la cámara óptica para que se mantenga limpia y con eso certifica una mayor fiabilidad, demandando un mantenimiento mínimo del mismo (Santillán et al., 2016).

A continuación, se detalla el procedimiento de la utilización del equipo *DustTrack II*

- Se procedió a encender el equipo DUSTTRAK™ II
- Se ejecutó la calibración del equipo (ZERO CAL) con el filtro 0  $\mu\text{m}$  antes de empezar a realizar cada una de las lecturas con los diferentes filtros.
- Remover el filtro (0) después de que haya terminado su ejecución, el equipo se encuentra calibrado y listo para su uso.
- Colocar el filtro de 2,5  $\mu\text{m}$  y posteriormente el de 10  $\mu\text{m}$ , presionando START
- Se inicia la medición de PM que tarda aproximadamente 2 minutos por muestra.
- Después de que se haya terminado su ejecución tomar la lectura que aparece en la pantalla ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y transformarlos a  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- La lectura se inicia en el equipo *DustTrack II* al momento de que el MP empieza a dispersarse por el aire (Santillán et al., 2016).

### **3.8. Análisis de la Composición Morfológica del PMS**

Para el análisis de la morfología de las partículas finas de PMS, se utilizó el microscopio óptico donde las partículas capturadas en el papel filtro de cada punto de monitoreo fueron fotografiadas a una resolución de 100x. Las muestras de papel filtro fueron colocadas sobre el porta muestras para tomar sus respectivas fotografías, y así obtener las mejores condiciones de imagen donde se pueden apreciar la forma de las micro partículas (Santillán et al., 2021).

### **3.9. Análisis geoestadístico**

Para el análisis de la distribución espacial se lo realizó con el software ArcGIS 10.x, que permite representar variables continuas en el espacio mediante la utilización de modelos de datos inteligentes, dentro de este programa existen diferentes tipos de herramientas de las cuales para el análisis de interpolación de datos se utilizó *Spatial Analyst* y *Geostatistical Analyst* (Santillán et al., 2021).

Para realizar la interpolación se tomó en cuenta los valores de PM<sub>2,5</sub> y de PM<sub>10</sub>, los cuales fueron obtenidos durante 25 días de muestreo consecutivos, también se utilizó valores de velocidad y dirección del viento de estaciones cercanas al sitio de estudio, de los meses comprendidos de julio-agosto del 2021.

### **3.10. Análisis estadístico e interpretación de resultados**

A través de la información obtenida, se realizaron pruebas de normalidad para comprobar los supuestos del análisis ANOVA agrupando los datos de PMV asociado a las fracciones tanto de PM<sub>2,5</sub> µm y de PM<sub>10</sub> µm, también se realizó un ANOVA de una sola vía, ( $p < 0,5$ ), para detectar diferencias estadísticas entre tratamientos y pruebas de medias Tukey; en este análisis estadístico se utilizó el software MINITUAB 17 (Santillán et al., 2021).

De la misma forma se realizó un análisis comparativo con los Valores máximos Referenciales para la Salud para Polvos atmosféricos sedimentables (PAS), según la OMS y también los valores límites máximos permisible por el TULSMA.

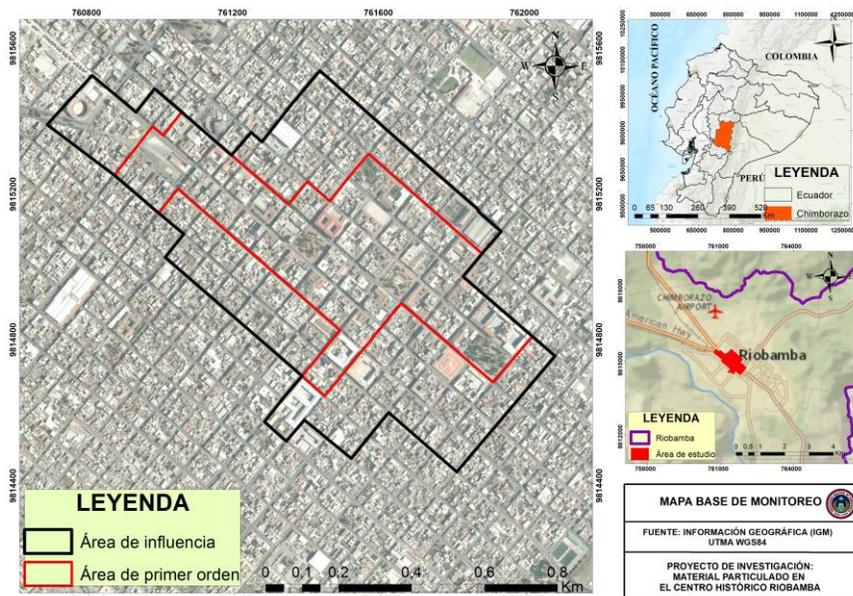
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Puntos de muestro óptimos para la medición de material particulado sedimentable y volátil en el Centro Histórico de Riobamba

El presente estudio forma parte del proyecto de investigación, “Determinación del material particulado sedimentable generado por actividad antrópica en los cantones Riobamba y Chambo”. Para dar cumplimiento a los objetivos del presente proyecto, se eligió el Centro Histórico de la ciudad de Riobamba que es patrimonio cultural de la nación, la cual presenta la mayor población del centro de la urbe y que la generación de PM afecta directamente a la salud de los habitantes. El área de estudio está ubicada en el centro del cantón Riobamba perteneciente a la zona Sierra Centro del Ecuador, al sur de la capital de la Republica, con una altitud de 2754 m.s.n.m., y con una superficie de 2900 hectáreas (Gaibor, 2015).

El Centro Histórico de la ciudad de Riobamba se estableció de acuerdo a la delimitación realizada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC), mediante Acuerdo Ministerial N° 035 de fecha abril 2008, en donde la ciudad de Riobamba fue declarada como bien perteneciente al patrimonio cultural (INPC, 2020). Este Instrumento legal establece los límites de sus áreas protegidas de la siguiente manera (Figura 2):

**Figura 2:** Delimitación del Centro Histórico de Riobamba.



Fuente: Autor (2021).

#### **4.1.1. Área central o de primer orden**

Esta área comprende el núcleo urbano de la ciudad de Riobamba conformado de cuarenta y cuatro manzanas, donde se ubican edificaciones de gran valor cultural e histórico y espacios públicos, entre otros (INPC, 2020). Enmarcados en los siguientes límites:

En forma prolongada desde la intersección de las calles José Joaquín de Olmedo y Juan de la Valle, comienza el trazado de delimitación: Tomando la calle Juan de la Valle, se llega a la avenida Daniel León Borja, se continúa hacia la calle Libertador, misma que converge en la calle Primera Constituyente, prosigue esta arteria hasta arribar en la Calle García Moreno, continúa hacia la calle España y de arriba a la calle argentinos. Siguiendo esta ruta se alcanza la Calle Tarqui y el trazado continúa hasta la calle Pedro Alvarado, prosiguiendo el recorrido se llega a la calle Primera constituyente e inmediatamente a la Cinco de Junio. Se dirige a la calle Gaspar de Villarroel que confluye en la calle Guayaquil, continua el recorrido llegando a la calle Carabobo y por esta se dirige hasta la calle José Joaquín de Olmedo para concluir el recorrido en el límite que es la calle Juan Lavalle.

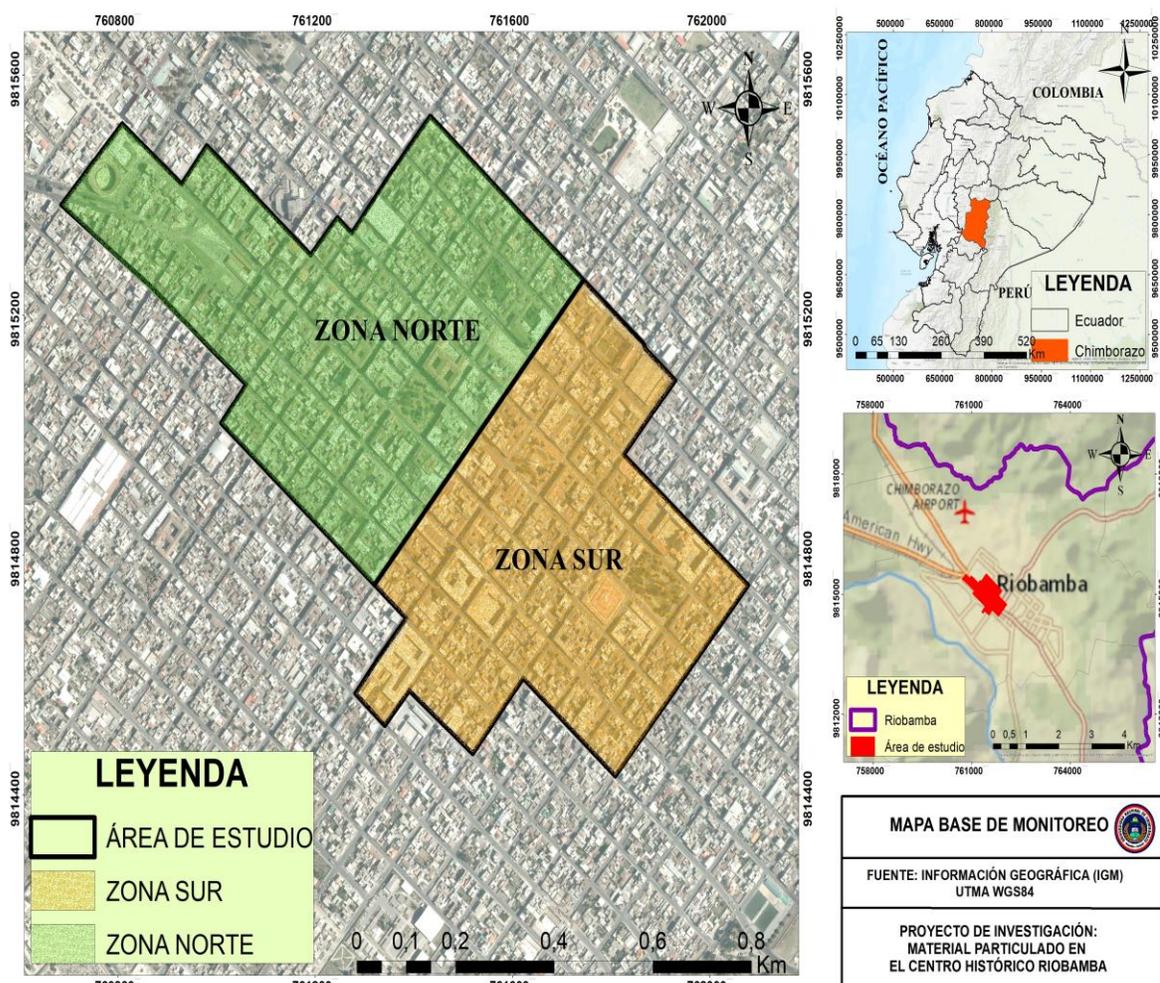
#### **4.1.2. Área de influencia**

El área de influencia a la zona sirve de marco urbano, referencia entre la construcción tradicional y lo contemporáneo, entre la urbe antigua y la urbe nueva, edificaciones, espacios urbanos que se encuentran ubicados en ciento cuatro manzanas (INPC, 2020). En los límites comprendidos de la siguiente manera:

Desde la intersección de las calles José Joaquín de Olmedo y Bolivia, da inicio el trazado que se dirige por la calle Bolivia hasta la avenida Daniel León Borja, continua por la calle Vargas Torres, y converge en la calle Primera Constituyente, continua luego hasta la calle Dávalos y arriba en la calle José Veloz, sigue el trazado hasta llegar a la calle Junín para luego continuar hasta la calle Diego de Almagro hasta empatar en la José Joaquín de Olmedo que converge en la calle Juan de Velasco, para luego arribar a la calle Chile y continuar el recorrido hasta la calle 5 de Junio, prosiguiendo el recorrido toma la calle Colombia y se dirige a la calle Eugenio Espejo que, luego alcanza la calle Gaspar de Villarroel y continua por esta hasta la calle José Joaquín de Olmedo y finalmente cierra el circuito en el límite de la calle Bolivia.

El área de influencia es elegida como sitio de estudio ya que representa en su totalidad la delimitación del Centro Histórico de Riobamba que incluye la urbe antigua y la urbe nueva con un área de 72,13 ha, de las cuales se dividió en dos zonas (Figura 3), para una mejor interpretación de los datos de PMS y de PMV.

**Figura 3:** Área de estudio del CHR.



**Fuente:** Autor (2021).

En el sitio de estudio se colocaron dieciocho estaciones de monitoreo para determinar el PMS y están distribuidas de la siguiente manera:

- 1) **ZONA NORTE:** Estaciones P1-P2-P4, comprende el sector de la ex Estación Riobamba; las estaciones P5-P6-P7 ubicadas en el sector del Coliseo Teodoro Gallegos Borja y estaciones P3-P8-P9 ubicadas en sector del Parque Sucre (Tabla 6).

**Tabla 6:** Estaciones de Monitoreo Zona Norte.

<b>Punto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sector</b>	<b>Código</b>
P 1	Av. Unidad Nacional y Francia	Ex Estación Riobamba	P1A-ER
P 2	Calle Guayaquil y Carabobo	Ex Estación Riobamba	P2C-ER
P 3	Calle José Joaquín de Olmedo y España	Parque Sucre	P3C-PS
P 4	Calle Pichincha y Guayaquil	Ex Estación Riobamba	P4C-ER
P 5	Calle José Veloz y Pichincha	Coliseo Teodoro Gallegos Borja	P5C-CT
P 6	Calle Argentinos y Vicente Rocafuerte	Coliseo Teodoro Gallegos Borja	P6C-CT
P 7	Calle España y José de Orozco	Coliseo Teodoro Gallegos Borja	P7C-CT
P 8	Calle 10 de Agosto y Cristóbal Colón	Parque Sucre	P8C-PS
P 9	Calle José Veloz y Juan Larrea	Parque Sucre	P9C-PS

**Fuente:** Autor (2021).

- 2) **ZONA SUR:** Estaciones P10-P11 comprende el sector de San Alfonso; P12-P13-P14-P15 ubicadas en San Francisco y P16-P17-P18 en el sector de la Merced (Tabla 7).

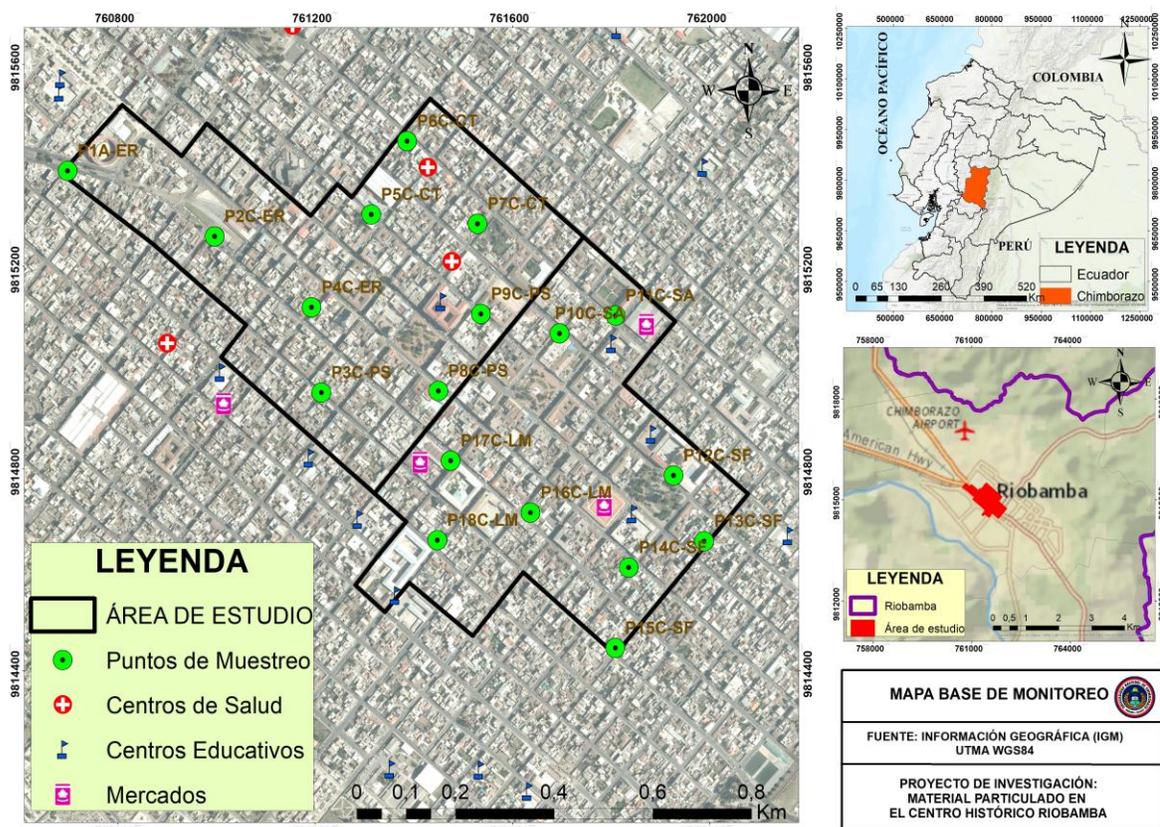
**Tabla 7:** Estaciones de Monitoreo Zona Sur.

<b>Punto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Sector</b>	<b>Código</b>
P 10	Calle José de Orozco y Eugenio Espejo	San Alfonso	P10C-SA
P 11	Calle 5 de Junio y Argentinos	San Alfonso	P11C-SA
P 12	Calle José Veloz y Alvarado	San Francisco	P12C-SF
P 13	Calle Diego de Almagro y Primera Constituyente	San Francisco	P13C-SF
P 14	Calle 10 de Agosto y Alvarado	San Francisco	P14C-SF
P 15	Calle Diego de Almagro y José Joaquín de Olmedo	San Francisco	P15C-SF
P 16	Calle Guayaquil y Tarqui	La Merced	P16C-LM
P 17	Calle Eugenio Espejo y Guayaquil	La Merced	P17C-LM
P 18	Calle 5 de Junio y Gaspar de Villarroel	La Merced	P18C-LM

**Fuente:** Autor (2021).

Es importante indicar que el Centro Histórico de Riobamba posee un alto índice poblacional y tráfico vehicular, por lo que mediante el presente estudio se determinó la concentración de PMS a través de las estaciones fijas de monitoreo (Figura 4) y su posterior generación del mapa de dispersión del PMV.

**Figura 4:** Puntos de monitoreo del PMS.



Fuente: Autor (2021).

## 4.2. Concentración de material particulado sedimentable y volátil en el centro histórico de Riobamba

### 4.2.1. Concentración de material particulado sedimentable en la zona norte del centro histórico de Riobamba

Para determinar la concentración de PMS se realizó el cálculo de los valores obtenidos en las 9 estaciones de monitoreo, mediante el valor del área del papel filtro (Tabla 8) el cual sirvió de base para calcular el PMS en todas las estaciones.

**Tabla 8:** Valores utilizados para la obtención de datos.

Área del papel Filtro (cm <sup>2</sup> )	Radio del papel filtro (cm)
55,42	4,2

Fuente: Autor (2021).

En la tabla 9 se muestra los valores de PMS realizado durante el mes de monitoreo (15 de julio al 15 de agosto de 2021). La concentración más alta de PMS fue de 15,97 mg/cm<sup>2</sup>/mes, registrado en la estación 3, ubicada en el sector del parque Sucre; en cambio la concentración más baja de PMS fue de 0,87 mg/cm<sup>2</sup>/mes, registrado en la estación 2 ubicada en la ex Estación de Ferrocarril Riobamba. Durante todo el mes de monitoreo se obtuvo en promedio 7,72 mg/cm<sup>2</sup>/mes. Estos valores altos se deben a un excesivo flujo vehicular que existe en el punto 3 que se encuentra en la calle José Joaquín de Olmedo y España, ya que según los moradores del sector manifiestan que diariamente hay un alto congestionamiento vehicular constante, lo que genera grandes cantidades de material particulado provocando molestias y problemas en la salud de las personas y que como menciona Rodríguez & Núñez (2016) las personas que están expuestas diariamente a las emisiones de PP principalmente de vehículos con motores a diésel tienen un mayor riesgo de contraer cáncer de pulmón y de cáncer de vejiga.

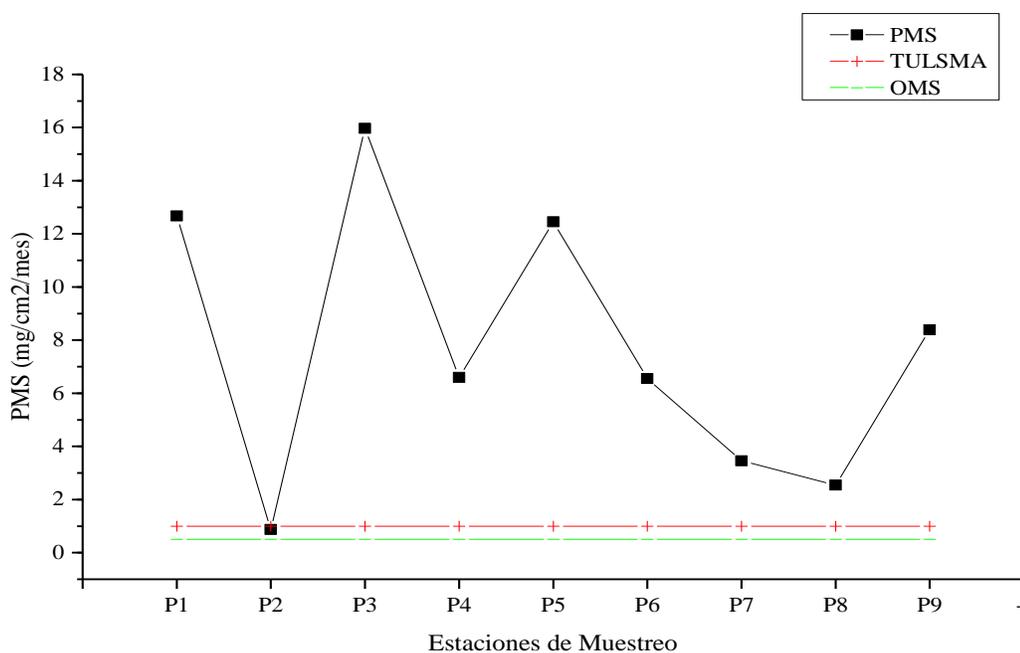
**Tabla 9:** Concentraciones de PMS en la zona norte del centro histórico de Riobamba.

Estaciones	Código	Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm <sup>2</sup> /mes)
P1	P1A-ER	446,5	469,9	12,67
P2	P2C-ER	446,8	448,4	<b>0,87</b>
P3	P3C-PS	440,3	469,8	<b>15,97</b>
P4	P4C-ER	445,9	458,1	6,60
P5	P5C-CT	457,7	480,7	12,45
P6	P6C-CT	459,5	471,6	6,55
P7	P7C-CT	448,2	454,6	3,46
P8	P8C-PS	443,1	447,8	2,54
P9	P9C-PS	449,7	465,2	8,39

Fuente: Autor (2021).

En la figura 5 se muestran las concentraciones de PMS de la zona Norte del Centro Histórico de Riobamba que abarca 9 estaciones de monitoreo. En los resultados se identifica al punto 2 de muestreo, que presenta un valor de 0,87 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), el cual está dentro de los límites permisibles del TULSMA donde su valor es de 1 (mg/cm<sup>2</sup>/mes), pero si sobre pasa el valor establecido por la OMS ya que su límite permisible es de 0,5 (mg/cm<sup>2</sup>/mes). En el resto de puntos de muestreo los valores obtenidos sobrepasan los límites permisibles de la OMS y del TULSMA, en la figura también se observa los puntos 1, 3 y 5 que tienen valores de 12,67; 15,97 y 12,45 (mg/cm<sup>2</sup>/mes) respectivamente, estos son los valores con concentraciones elevadas de la zona norte del CHR, destacando al punto 3 que tiene la más alta concentración debido a que este punto de muestreo se encuentra en la calle José Joaquín de Olmedo y España que es una arteria principal por donde circulan diariamente cientos de vehículos principalmente automóviles particulares (Inca, 2020), que en horas pico provocan el levantamiento y la deposición de PMS en las estaciones de muestreo. Debido a las altas concentraciones de PMS, los efectos a la salud humana tras la exposición a dicho contaminante, ha provocado problemas respiratorios, exacerbación de enfermedades cardiovasculares y en varios casos incluso daños genéticos, aumentando la morbilidad en la población (Mejía et al., 2018).

**Figura 5:** Concentración de PMS en la Zona Norte del Centro Histórico de Riobamba.



**Fuente:** Autor (2021).

#### 4.2.2. Concentración de material particulado sedimentable en la zona Sur del centro histórico de Riobamba

Para determinar la concentración de PMS, se realizó el cálculo de los valores obtenidos en las 9 estaciones de monitoreo, mediante el valor del área del papel filtro (Tabla 10) el cual sirvió de base para calcular el PMS en todas las estaciones.

**Tabla 10:** Valores utilizados para la obtención de datos.

Área del papel filtro (cm <sup>2</sup> )	Radio del papel filtro (cm)
55,42	4,2

**Fuente:** Autor (2021).

En la tabla 11 se muestra los valores de PMS realizado durante el mes de monitoreo (15 de julio al 15 de agosto de 2021). La concentración más alta de PMS fue de 22,25 mg/cm<sup>2</sup>/mes, registrado en la estación 16, ubicada en el sector de la Merced; en cambio la concentración más baja de PMS fue de 4,60 mg/cm<sup>2</sup>/mes, registrado en la estación 17 ubicada en la Calle Eugenio Espejo y Guayaquil, en el sector la Merced. Durante todo el mes de monitoreo se obtuvo en promedio 12,97 mg/cm<sup>2</sup>/mes.

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

**Tabla 11:** Concentraciones de PMS en los puntos de muestreo.

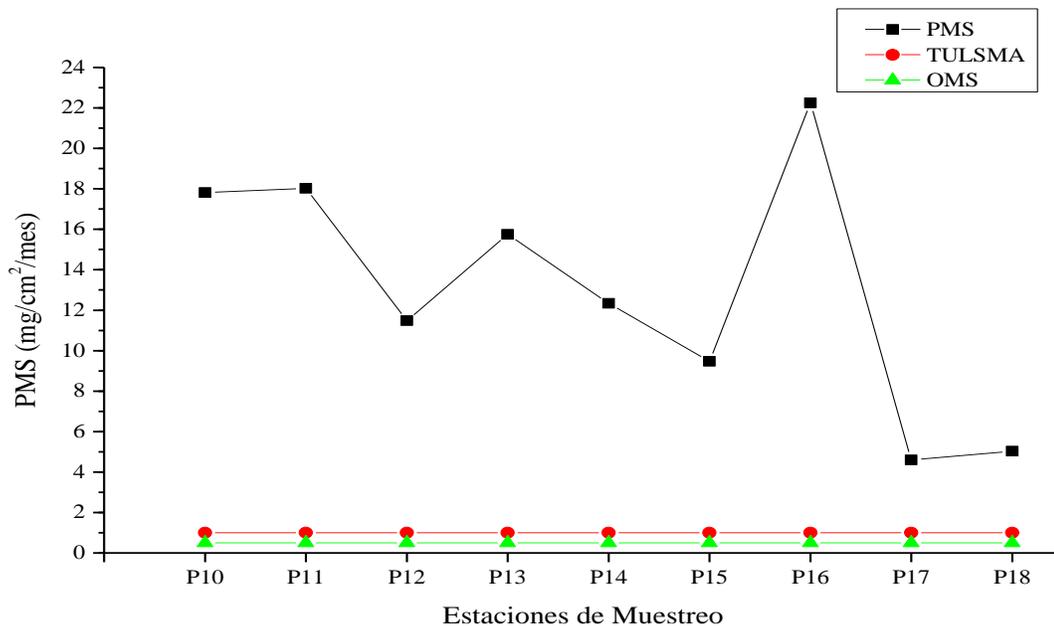
Estaciones	Código	Peso inicial del papel (mg)	Peso final del papel (mg)	PMS (mg/cm <sup>2</sup> /mes)
P10	P10C-SA	448,9	481.8	17,81
P11	P11C-SA	445,2	478.5	18,03
P12	P12C-SF	446,6	467.8	11,48

P13	P13C-SF	448,8	477,9	15,75
P14	P14C-SF	449,1	471,9	12,34
P15	P15C-SF	448,1	465,6	9,47
P16	P16C-LM	448,3	489,4	<b>22,25</b>
P17	P17C-LM	449,7	458,2	<b>4,60</b>
P18	P18C-LM	456,5	465,8	5,03

Fuente: Autor (2021).

En la figura 6 se muestran los valores de las concentraciones de PMS en la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba. Los puntos de muestreo con mayor concentración fueron las estaciones 10, 11 y 16, con valores de 16,81; 18,03 y de 22,25 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) respectivamente. Estos resultados al ser comparados con los propuestos por la OMS ( $0,5 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) y el TULSMA ( $1 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ), sobrepasan dichos valores. Por otro lado vale la pena indicar que en el sector de La Merced en las calles Guayaquil y Tarqui, existe la presencia cercana de una metalmecánica que emite gran cantidad de PMS como son el polvo (pelusa con metales) de acero y otros metales, residuos de chatarra de acero, aluminio, cobre y otros metales, residuos de lámina galvanizada, lamina negra y viruta de acero y otros metales, también se emite humos, gases vapores, olores y ruidos; que afectan directamente a la salud humana causando inflamación de las superficies de los pulmones (Núñez, 2015).

**Figura 6:** Concentración de PMS en la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba.



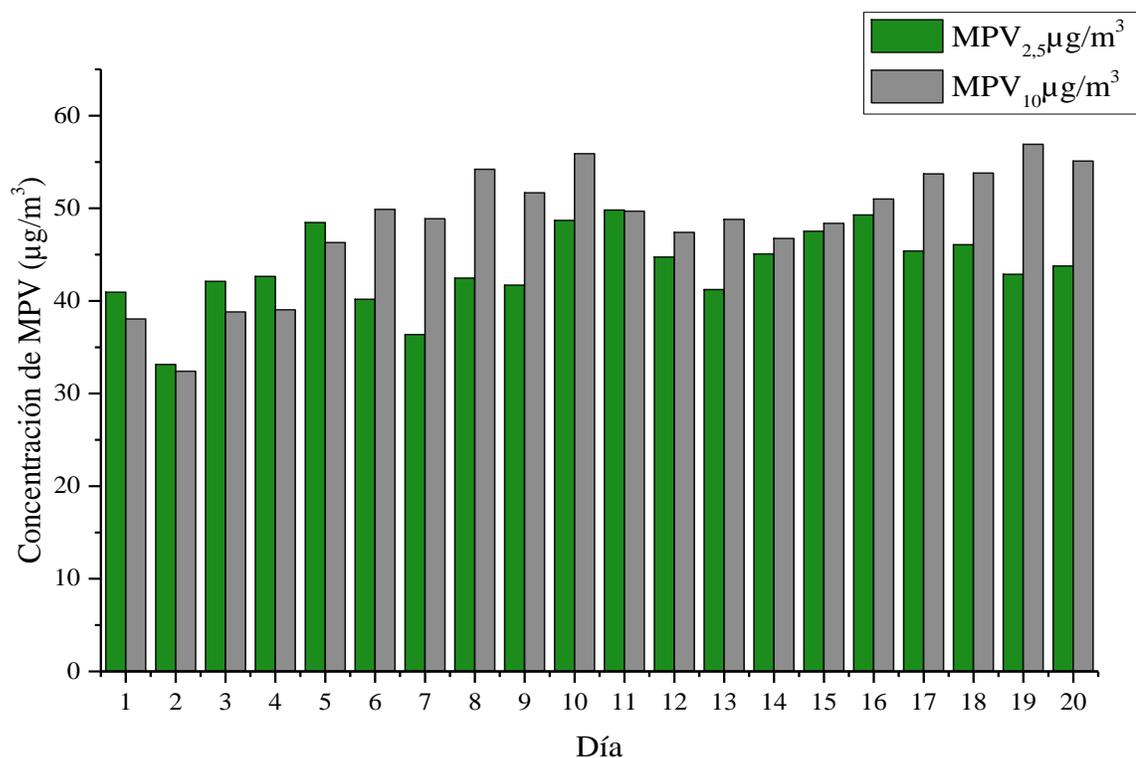
Fuente: Autor (2021).

Es importante indicar que los puntos 12, 13 y 14 pertenecientes al sector de San Francisco, tienen concentraciones considerables de 11,48; 15,75 y 12,34 ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ) respectivamente, debido a que en el sector existe una variedad de lavadoras y pulverizadoras de vehículos que emitan grandes cantidades de PMS, además existe la presencia de mercados que provocan congestión vehicular, ocasionando el levantamiento de polvo y la generación de partículas sedimentables, que afectan a la salud de la población.

#### 4.2.3. Concentración de material particulado volátil ( $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$ ) en la zona Norte del centro histórico de Riobamba

En la figura 7 se muestran las concentraciones de  $\text{PMV}_{2.5}$  y  $\text{PMV}_{10}$ , de la Zona Norte del CHR, donde el valor medio obtenido para  $\text{PM}_{2.5}$  durante los 20 días de monitoreo fue  $43,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor máximo de  $49,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (día 11) y un mínimo de  $33,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (día 2). Por lo contrario, la concentración diaria de  $\text{PMV}_{10}$  presenta un valor medio de  $48,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un rango que va desde  $32,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado el día 2, hasta  $56,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado el día 19.

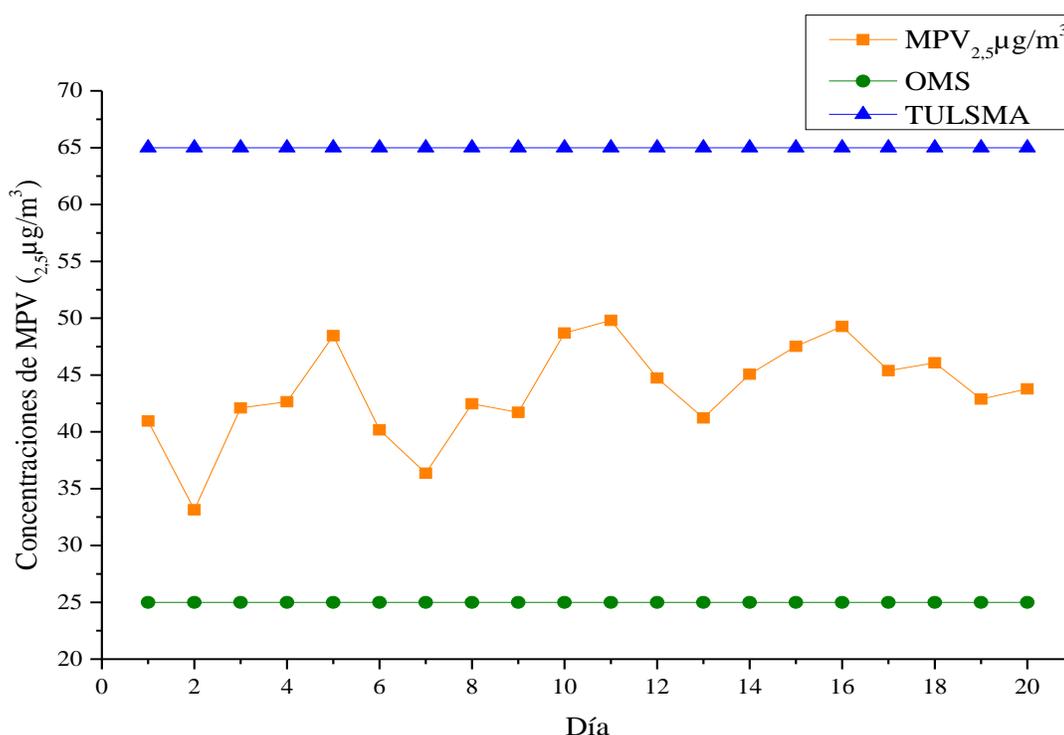
**Figura 7:** Concentración de PMV en la Zona Norte del CHR.



Fuente: Autor (2021).

En la figura 8 se puede observar la concentración de  $PMV_{2,5}$  en la Zona Norte, con los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y del TULSMA. Los valores obtenidos muestran que no cumplen con la normativa establecida por la OMS ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que si cumplen con los límites señalados por el TULSMA ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Es así que los valores registrados en los días 2 y 7 fueron de  $33,14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $36,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente; estos valores fueron los más cercanos al límite máximo permisible propuesto por la OMS. Además, se puede apreciar que existe una ligera variación en la concentración de  $PMV_{2,5}$  en los primeros días del monitoreo, debido a que el índice de tráfico vehicular en horas pico es elevado e influye directamente en la concentración de  $PMV_{2,5}$  del sitio de estudio.

**Figura 8:** Comparación de la concentración de  $PMV_{2,5}$  con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Norte del CHR.

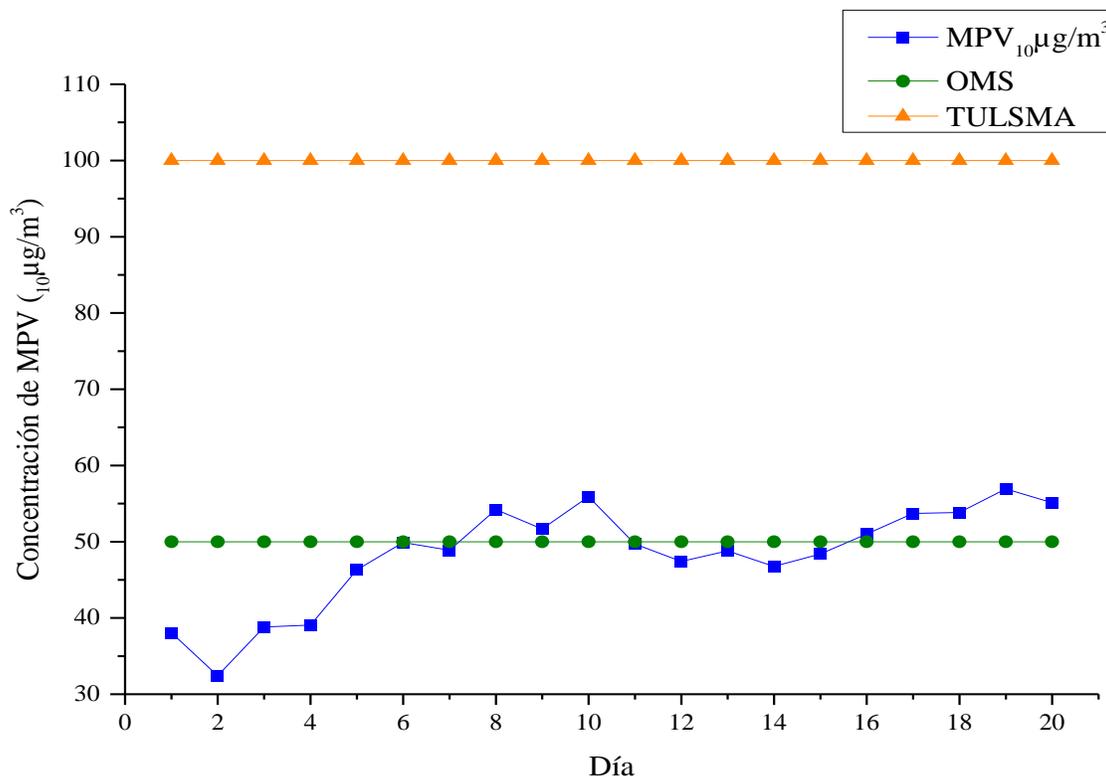


Fuente: Autor (2021).

En la figura 9 se observa la comparación de la concentración de  $PMV_{10}$  de la Zona Norte con los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA. Los valores obtenidos en la mayoría de los días de muestreo no sobrepasan los límites establecidos por la OMS a excepción de los días 8, 9 y 10 que tienen una concentración de  $54,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $51,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $55,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, los mismos que si superan los límites máximos permisibles de la OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), igualmente las concentraciones de los días 16, 17, 18, 19

y 20 tienen valores de  $51,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $53,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $53,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;  $56,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $55,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, si sobrepasan los límites señalados por la OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sin embargo, ninguno de los valores registrados en los 20 días de monitoreo supera los valores máximos permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Figura 9:** Comparación de la concentración de  $\text{PM}_{10}$  con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Norte del CHR

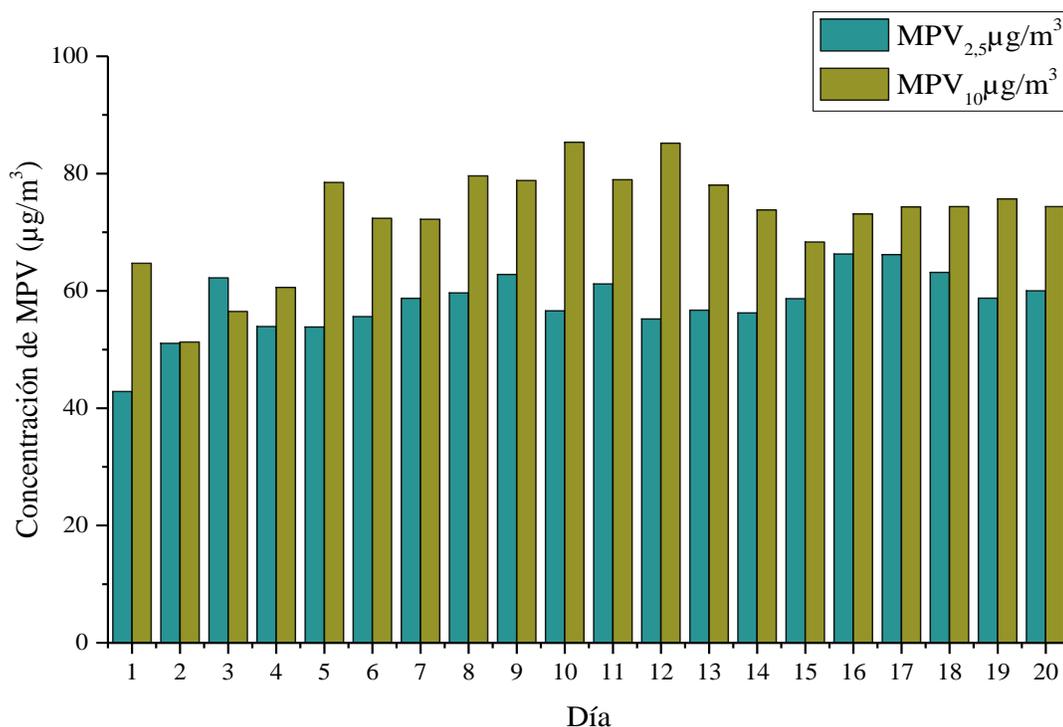


Fuente: Autor (2021).

#### 4.2.4. Concentración de material particulado volátil ( $\text{PM}_{10}$ y $\text{PM}_{2.5}$ ) en la zona sur del centro histórico de Riobamba

En la figura 10 se muestran las concentraciones de  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  registradas en la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba. La concentración diaria de  $\text{PM}_{2.5}$  tuvo una variación de  $42,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $66,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un promedio de  $57,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  de la Zona Sur del CHR durante los 20 días de monitoreo, presentan un valor medio de  $72,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un valor máximo de  $85,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $85,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado los días 10 y 12 respectivamente y un valor mínimo de  $51,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrado en el día 1.

**Figura 10:** Concentración de PMV en la Zona Sur del CHR.

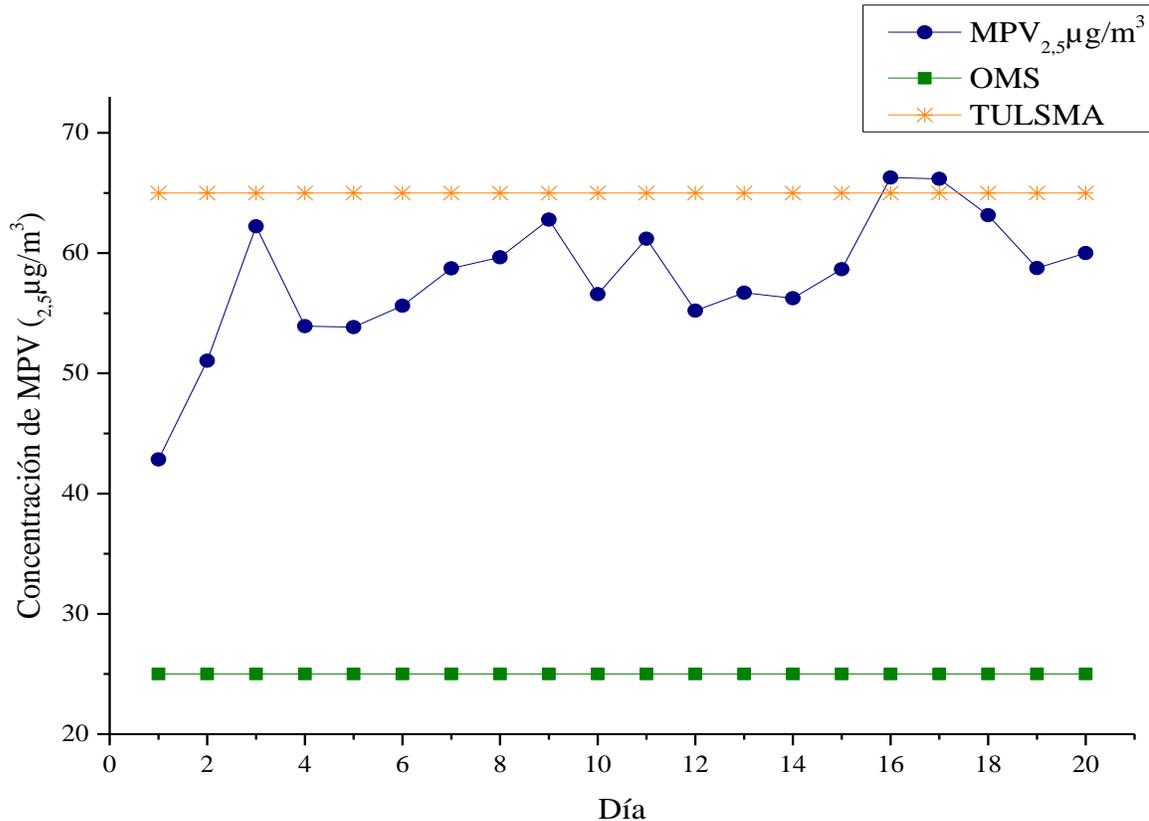


**Fuente:** Autor (2021).

En la figura 11 se muestra la concentración de PMV<sub>2.5</sub> de la Zona Sur, en relación a los límites permisibles establecidos por la OMS y del TULSMA. Los valores obtenidos expresan claramente que exceden los límites permisibles señalados por la OMS (25µg/m<sup>3</sup>) y por la legislación ecuatoriana (65µg/m<sup>3</sup>).

Es así que los días 16, 17, 3, 9, 11 y 18 presentan una concentración de 66,28 µg/m<sup>3</sup>; 66,18 µg/m<sup>3</sup>; 62,23 µg/m<sup>3</sup>; 62, 78 µg/m<sup>3</sup>; 61,19 µg/m<sup>3</sup> y 63,15 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, sobrepasando dicha normativa. Esto obedece a que en los días de monitoreo existe una alta concentración de material particulado volátil emitidos principalmente por el transporte público como son los buses urbanos y los taxis, además también por la circulación de vehículos particulares que provocan el levantamiento de partículas finas y gruesas, afectando considerablemente la salud de las personas.

**Figura 11:** Comparación de la concentración de  $PMV_{2,5}$  con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Sur del CHR.

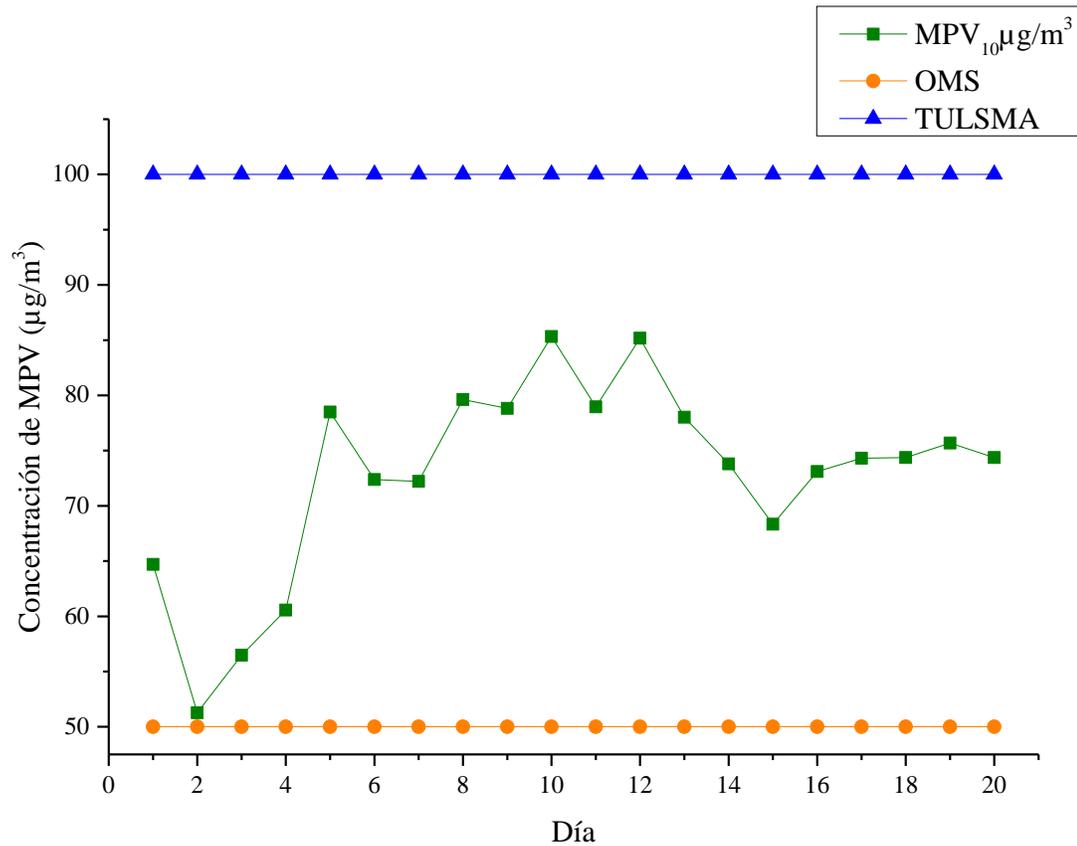


**Fuente:** Autor (2021).

Con respecto a la comparación de las concentraciones de  $PMV_{10}$  con los límites permisibles de la OMS y del TULSMA en la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba, se puede observar de mejor manera en la figura 12, en donde los valores obtenidos en los días de monitoreo muestran que sobrepasan los límites máximos permisibles de la OMS ( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), aunque se tiene una concentración de  $51,27\text{ OMS } \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrada en el día 2, que se acerca a la normativa señalada por la OMS.

Se visualiza también los valores obtenidos cumplen con la norma establecida por el TULSMA ( $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sin embargo, existe concentraciones altas de  $85,33\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de  $85,17\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los días 10 y 12 respectivamente, que están cercanas a los límites máximos permisibles de la legislación ecuatoriana, debido a que existen días que son comerciales y presentan un alto tráfico vehicular principalmente de carga y de buses urbanos que circulan por el área de estudio.

**Figura 12:** Comparación de la concentración de  $PMV_{10}$  con los LMP de la OMS y el TULSMA en la Zona Sur del CHR



Fuente: Autor (2021).

### 4.3. Caracterización morfológica del material particulado sedimentable en el centro histórico de Riobamba

#### 4.3.1. Caracterización morfológica del PMS en la zona Norte del centro histórico de Riobamba

Las partículas sedimentables recolectadas en 9 estaciones de monitoreo corresponden a la Zona Norte del Centro Histórico de Riobamba (Figura 13). Las imágenes revelan que las partículas de las muestras analizadas se identifican por poseer variadas formas y diferentes tamaños. Con respecto a la morfología se aprecia que existen partículas de origen natural que se caracterizan por tener superficies irregulares rugosas, partículas con bordes definidos que muchas de las veces forman aglomeraciones y por su forma y tamaño que depende de la fuente ya sea mineral o polvo del suelo (Franco, 2020).

Además, también existen la presencia de partículas de origen antropogénicas que por lo general son partículas semiesféricas asociadas principalmente a partículas volantes producto de la quema de carbón y partículas esféricas que provienen de fuentes de combustión y fuentes de emisión secundaria es decir se producen mediante reacciones químicas en la atmosfera (Franco, 2020).

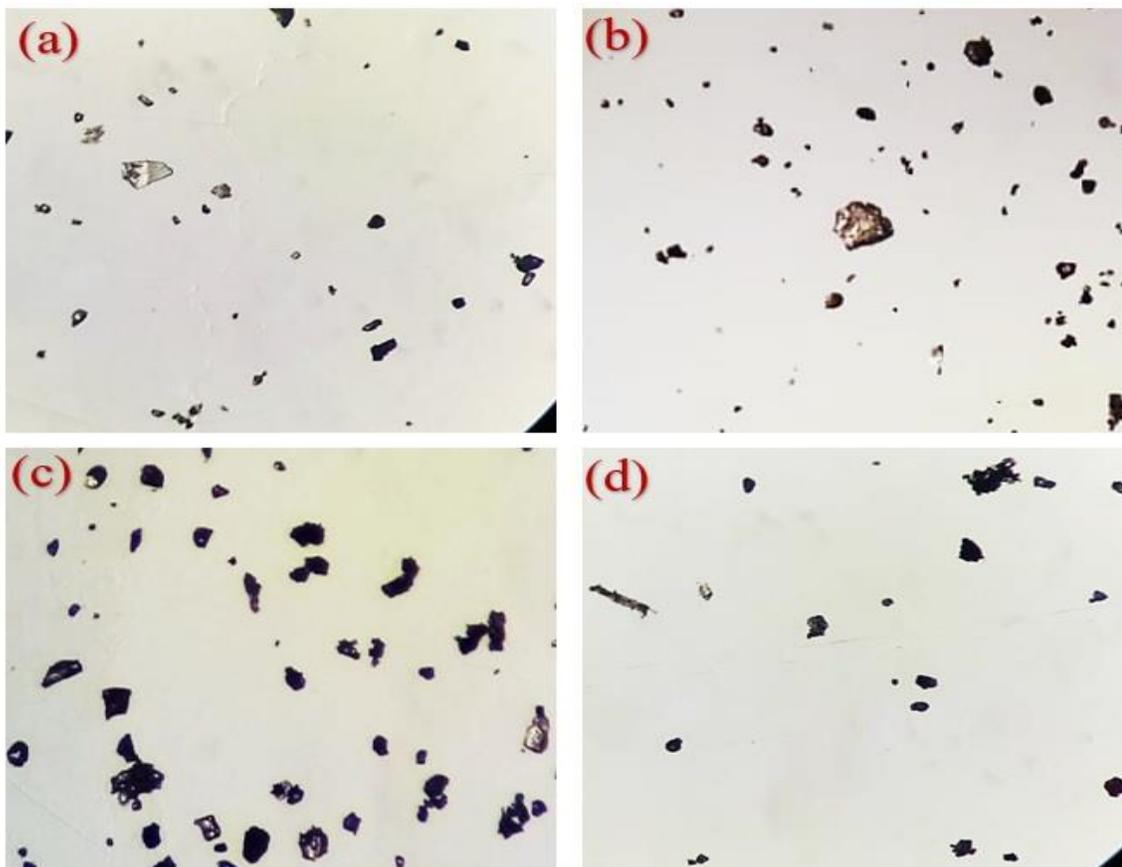
La figura 13 (a) corresponde a la imagen de una partícula recolectada en el punto 1 (P1A-ER), mostrando mayoritariamente formas de tipo irregular como primas irregulares que están asociados a fuentes naturales, además como menciona González (2018), este tipo de partículas poseen cierto grado de desarrollo geométrico es decir que tienen simetría, ángulos y clivajes característicos de materiales cristalinos.

La figura 13 (b), presentan una morfología casi esférica que están asociadas principalmente a combustión de carbón y a procesos de transporte, además, según estudios realizados por Franco (2020), este tipo de partículas irregulares se relacionan también a fuentes naturales como polvo del suelo o partículas minerales. Aquellas partículas con superficie más irregular son típicas de los motores de combustión interna que presentan óxidos como Al, Na y Si, relacionados a procesos físicos que ha generado la adhesión de partículas del suelo (Santiago et al., 2015).

En la figura 13 (c), se aprecia una morfología irregular con dudosas agrupaciones de pequeñas partículas que según Franco (2020), pueden ser agrados de hollín los cuales son partículas difusas que forman aglomeraciones, estas morfologías son asociadas primordialmente a emisiones provenientes de motores a diésel y gasolina, es decir provenientes de emisiones vehiculares y que la afluencia del transporte público y privado es característico de la zona de estudio

En la figura 13 (d), muestra partículas con formaciones irregulares pequeñas asociadas a fuentes antropogénicas como el desgaste de las vías ocasionadas por el tráfico vehicular predominante en el área de estudio, además se visualiza una partícula con morfología alargada que pueden tener su origen en reacciones secundarias en la atmosfera (Franco, 2020). Como se muestra en estudios anteriores (Santiago et al., 2015), estas partículas de forma alargadas presentan óxidos de Al, Si, K, Fe y C, que en grandes cantidades sugieren una fuerte influencia tanto de la combustión, como de la resuspensión del suelo.

**Figura 13:** Imágenes Obtenidas del Microscopio Óptico (100x), PMS en la Zona Norte del CHR. (a) PMS estación 1 (P1A-ER); (b) PMS estación 3 (P3C-PS); (c) PMS estación 6 (P6C-CT); (d) estación 9 (P9C-PS).



Fuente: Autor (2021).

#### 4.3.2. Caracterización morfológica del PMS en la zona Sur del centro histórico de Riobamba

El Material Particulado Sedimentable recolectado en las estaciones de monitoreo de la Zona Sur del Centro Histórico de Riobamba, se muestra en la figura 14. Las imágenes obtenidas del microscopio óptico revelan claramente que hay dos grupos de partículas en las que se puede dividir el PMS, existen partículas de residuos de combustión y partículas minerales (polvo). Las partículas contienen compuestos orgánicos constituidos básicamente por Carbono e Hidrogeno, componentes metálicos, iones inorgánicos como sulfatos, nitratos, amonio y cloruros, además contienen carbón elemental.

La figura 14 (a), presenta una morfología mayoritariamente irregular con diferentes tamaños, hay formas semiesféricas en algunos casos y una partícula alargada ligeramente cilíndrica,

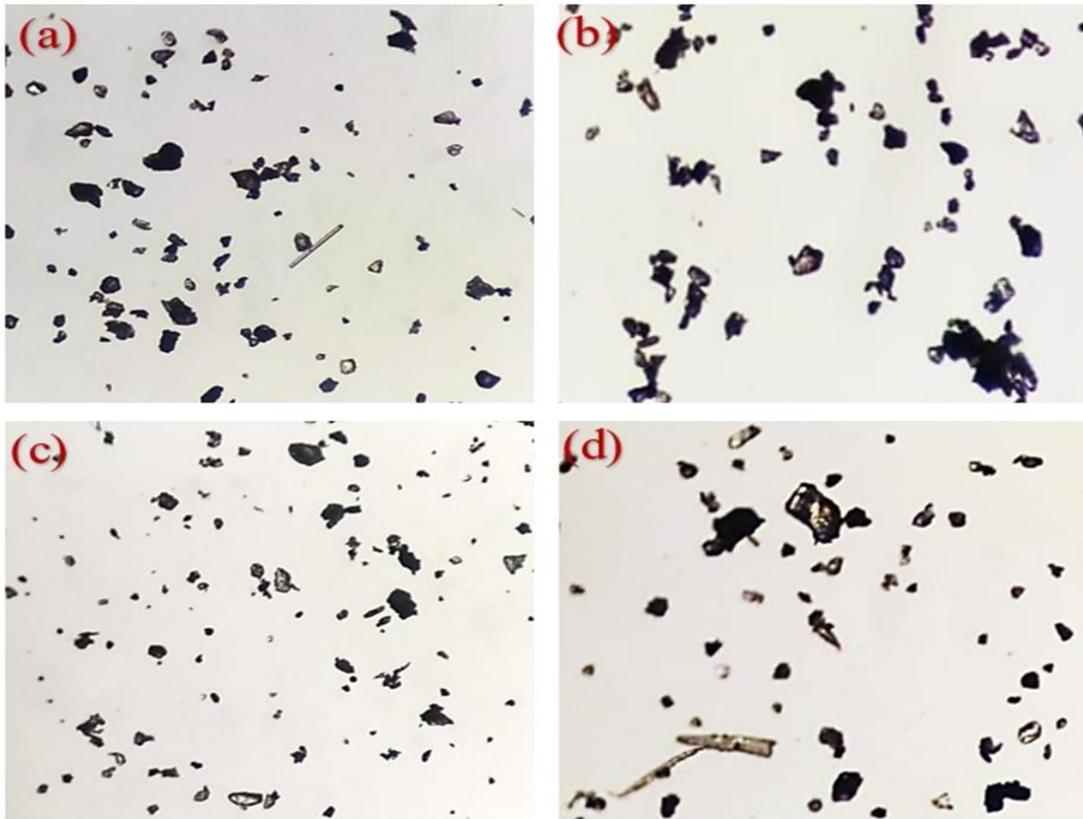
se evidencia partículas prismáticas irregulares que según el estudio realizado por González (2018), este tipo de morfología presenta materiales cristalinos con altos contenidos de oxígeno y que por su composición se trata de partículas de SiO<sub>2</sub>, además, menciona que estas características son asociadas a fuentes naturales tales como la abrasión y resuspensión de minerales.

La figura 14 (b), corresponde al PMS del punto 12(P12C-SF), en la cual se visualiza una morfología formada por pequeños prismas irregulares que se agrupan en cadenas y que principalmente pueden ser partículas finas de hollín debido a que el tráfico vehicular es constante en la zona de estudio, esto fortalece el hecho de que estas partículas tienen su origen en emisiones vehiculares. Según Alves *et al.* (2015) este tipo de morfología pueden contener compuestos cancerígenos y mutágenos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HPA) que constituyen un riesgo para la salud de las personas.

La figura 14 (c) se muestra la imagen del PMS de la estación de monitoreo 16 (P16C-LM), con formas semiesféricas e irregulares, con partículas pequeñas levemente dispersadas asociadas a fuentes antropogénicas. En el estudio presentado por González, (2018), menciona que este tipo de morfologías tienen características comunes en relación a la textura que suele ser superficial corrugada y que tienen un alto contenido de oxígeno sugiriendo que son partículas de óxido de hierro, asociadas posiblemente a las emisiones de la industria metal mecánica y siderúrgica, lo cual refuerza que las partículas presentadas en la imagen anteriormente mencionada provienen de talleres de mecánica automotriz, pulverizadoras y metalmecánica donde se realiza procesos de soldadura y fundición, sitios que quedan cerca de los puntos de monitoreo.

La figura 14 (d), muestra el PMS del punto 15 (P15C-SF), en la que se evidencia una morfología predominante de partículas irregulares y agregados que varían en forma y tamaño, este tipo de partículas tiene como fuente principal los procesos de combustión de combustibles fósiles, además se alcanzan a visualizar partículas irregulares en forma de láminas que pueden ser atribuidas al desgaste de las llantas de los vehículos de transporte público y privado (Franco, 2020). Cabe mencionar que el alto índice de tráfico vehicular, así como los sitios de lavadoras y pulverizadoras de carros son característicos del sitio de estudio.

**Figura 14:** Imágenes Obtenidas del Microscopio Óptico (100x), PMS en la Zona Sur del CHR. (a) PMS estación 10 (P10C-SA); (b) PMS estación 12 (P12C-SF); (c) PMS estación 16 (P16C-LM); (d) PMS estación 15 (P15C-SF).



Fuente: Autor (2021).

#### 4.3.3. Análisis estadístico descriptivo de $PMV_{2,5}$ y $PMV_{10}$ en la Zona Norte del centro histórico de Riobamba

El análisis estadístico descriptivo el  $PMV_{2,5}$  y  $PMV_{10}$  obtenido en la zona norte del CHR se muestra en la tabla 12. Para el  $PMV_{2,5}$  se tiene una media de 43,621; con una desviación estándar de 4,251; una varianza de 18,067; con un error estándar de 0,950; un valor mínimo de 33,138 y máximo de 49,805. Con Respecto al  $PMV_{10}$  se tiene una media de 48,33; con una desviación estándar de 6,64; una varianza de 44,07; un valor mínimo de 32,49 y un máximo de 56,91. Estos valores son producto del incremento de la contaminación atmosférica a causa de la combustión del parque automotor que día a día va creciendo en la ciudad de Riobamba y genera emisiones de gases contaminantes y que según Zavala (2020), la contaminación por parte de los vehículos se atribuye a la combustión de los carburantes que se utilizan para el funcionamiento de sus motores, lo que conlleva a la producción y

emisión de gases como el monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos nitrosos y material particulado, estos gases tienen influencia directa en la salud humana y en el ambiente.

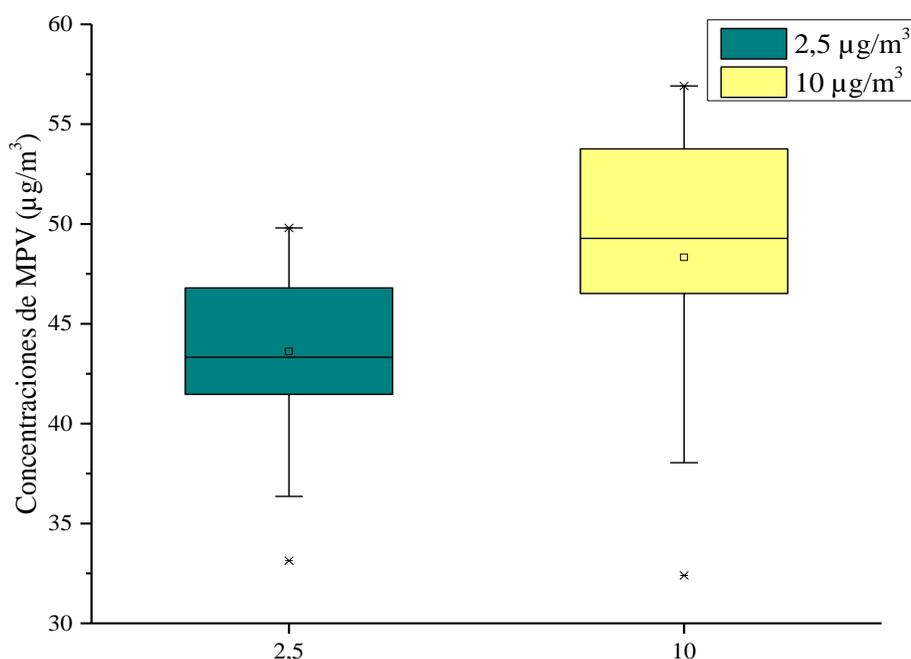
**Tabla 12:** Estadística Descriptiva de PMV de la Zona Norte del CHR.

PMV	Media	Error Estándar	StDev	Varianza	Min	Max	IC de 95%
2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43,621	0,950	4,251	18,067	33,138	49,805	(41,098; 46,144)
10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	48,33	1,48	6,64	44,07	32,40	56,91	(45,81; 50,85)

**Fuente:** Autor (2021).

La figura 15 se muestra las concentraciones de PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> registradas mediante el equipo *DustTrack II*. El valor corresponde a las dos mediciones (8h30 y 12h30) en las cuales se observa que las concentraciones están dentro del rango de 5,81 y 7,34 para el PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub>. De igual forma presenta valores atípicos de 33,14 del PMV<sub>2,5</sub> y de 32,40 para el PMV<sub>10</sub>. Estas diferencias pueden estar asociadas a la cantidad de tráfico vehicular que circula en la Centro Histórico ya que existe horas pico. Este tipo de pruebas son indicadores claves del grado de afectación a la salud humana que ocasiona las emisiones de gases contaminantes de los vehículos.

**Figura 15:** Distribución del PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> de la Zona Norte del CHR.



**Fuente:** Autor (2021).

#### 4.3.4. Análisis estadístico descriptivo de PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> en la zona Sur del centro histórico de Riobamba

La tabla 13 muestra la concentración media del PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> obtenido de las 9 estaciones que corresponden a la Zona Sur del CHR, así como los valores de la desviación estándar. Para el PMV<sub>2,5</sub> se tiene una desviación estándar de 5,40; un valor mínimo de 42,85 y valor máximo de 66,28. En relación al PMV<sub>10</sub> se tiene una desviación estándar de 8,80; un valor mínimo y máximo de 51,27 y 85,33 respectivamente.

En la zona sur del CHR los factores que inciden al incremento de la contaminación atmosférica son: el tráfico vehicular, talleres de metalmecánica, lavadoras y pulverizadoras de vehículos, mercados y centros comerciales. Sin embargo, el tráfico vehicular es quien aporta más debido a que en el área de estudio circulan vehículos que usan diésel como combustible y que según Túqueres (2017), los motores que usan diésel consumen menor cantidad de combustible pero generan una contaminación 4 veces mayor debido a que este combustible emite niveles muy altos de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y partículas en suspensión, este tipo de contaminantes es muy nocivo, es más pesado y caen antes al suelo.

**Tabla 13:** Estadística descriptiva de PMV de la Zona Sur del CHR.

PMV	Media	Error Estándar	StDev	Varianza	Min	Max	IC de 95%
2,5 µg/m <sup>3</sup>	57,98	1,21	5,40	29,11	42,85	66,28	(54,68; 61,29)
10 µg/m <sup>3</sup>	72,80	1,97	8,80	77,52	51,27	85,33	(69,50; 76,11)

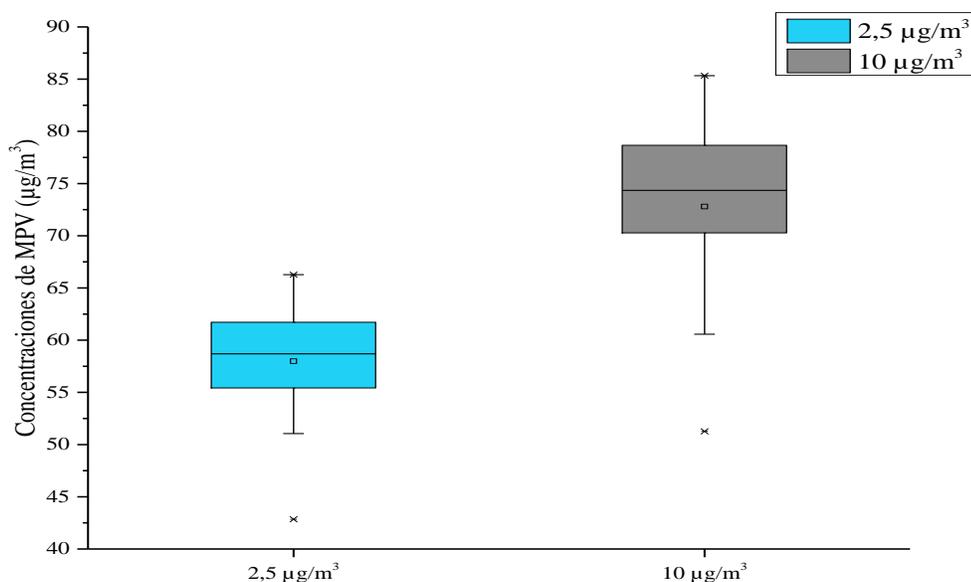
**Fuente:** Autor (2021).

La figura 16 muestra el valor medio e intervalo de confianza del 95% para las concentraciones de PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> en el área de estudio. Estos valores corresponden al monitoreo diario (8h30 y 12h30) obtenidos con el equipo *DustTrack<sup>TM</sup>* II, en donde se observa que las concentraciones medias de PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> conseguidas en la Zona Sur del CHR si demuestran cambios significativos. Además, se observa también valores atípicos que se excluyen del análisis, es decir que esta fuera de rango.

Los valores obtenidos gravimétricamente para PMV<sub>2,5</sub> y PMV<sub>10</sub> estuvieron entre los 51,06 a 66,28 y 56,47 a 85,33 respectivamente. Estas diferencias pueden estar asociadas a la cantidad

y al tipo de vehículos que circulan en la zona sur del CHR ya que existen centros de acopio de alimentos que requieren del transporte de carga pesada, también existe de lavadoras y pulverizadoras de vehículos y talleres de metal mecánicas que son fuentes de contaminación atmosférica.

**Figura 16:** Distribución del PMV2,5 y PMV10 de la Zona Sur del CHR.



**Fuente:** Autor (2021).

#### 4.4. Concentración y dispersión del material particulado Volátil mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

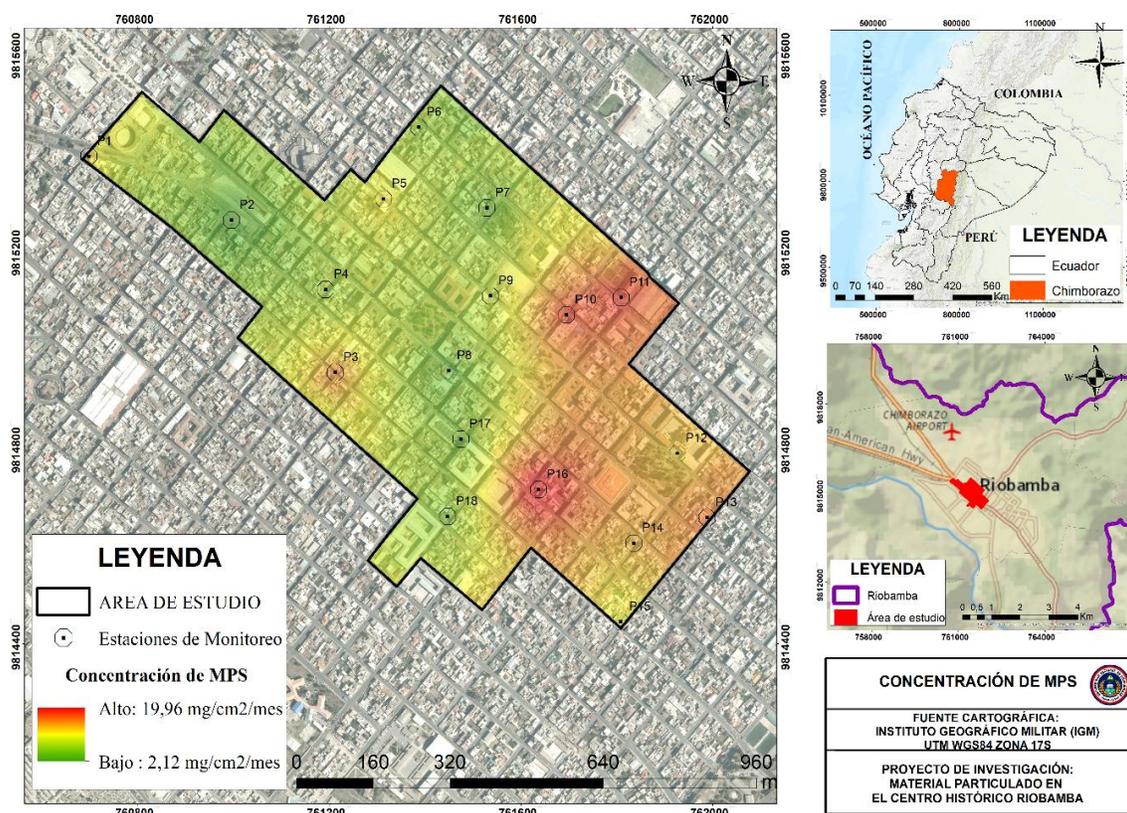
Para el análisis de la concentración y dispersión de material particulado volátil (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y sedimentable, se elaboraron 3 mapas, los cuales sirvieron de base para su respectiva interpretación. Además, se utilizó la dirección y velocidad del viento para determinar la dispersión del PM. Los datos de dirección y velocidad del viento fueron obtenidos de 4 estaciones meteorológicas: 1) Dirección de Aviación Civil DAC; 2) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 3) Universidad Nacional de Chimborazo y 4) Estación Meteorológica de Tunshi.

##### 4.4.1. Simulación de la concentración de PMS en el centro histórico de Riobamba

En la figura 17 se muestra el mapa de dispersión de PMS, donde indica que los puntos con menor concentración son: 2 (0,87 mg/cm<sup>2</sup>/mes); 7(3,46 mg/cm<sup>2</sup>/mes); 8 (2,54mg/cm<sup>2</sup>/mes)

y 17 (4,60 mg/cm<sup>2</sup>/mes); mientras que los puntos de monitoreo que mostraron una mediana concentración fueron: 1 (12,67 mg/cm<sup>2</sup>/mes); 5 (12,45 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y 13 (15,75 mg/cm<sup>2</sup>/mes) y los puntos que presentan mayor concentración fueron: 3 (15,97 mg/cm<sup>2</sup>/mes); 10 (17,81 mg/cm<sup>2</sup>/mes); 11 (18,03 mg/cm<sup>2</sup>/mes); y 16 (22,25 mg/cm<sup>2</sup>/mes); esto se debe a que en la zona de estudio existe un alto índice de tráfico vehicular acompañado de vías deterioradas, lo cual genera levantamiento de PM. Por consiguiente las altas concentraciones no cumplen con los límites permisibles establecidos en la legislación ecuatoriana (TULSMA) y OMS.

**Figura 17:** Mapa de concentración de PMS en el Centro histórico de Riobamba.



**Fuente:** Autor (2021).

#### 4.4.2. Simulación de la dispersión de material particulado volátil 2,5 μm

La tabla 14 muestra la concentración promedio mensual de PMV<sub>2,5</sub>, registrado en las estaciones durante el mes de monitoreo. Con la información obtenida y mediante el uso de sistemas de información geográfica se realizó un análisis geo estadístico que permitió elaborar mapas de distribución espacial.

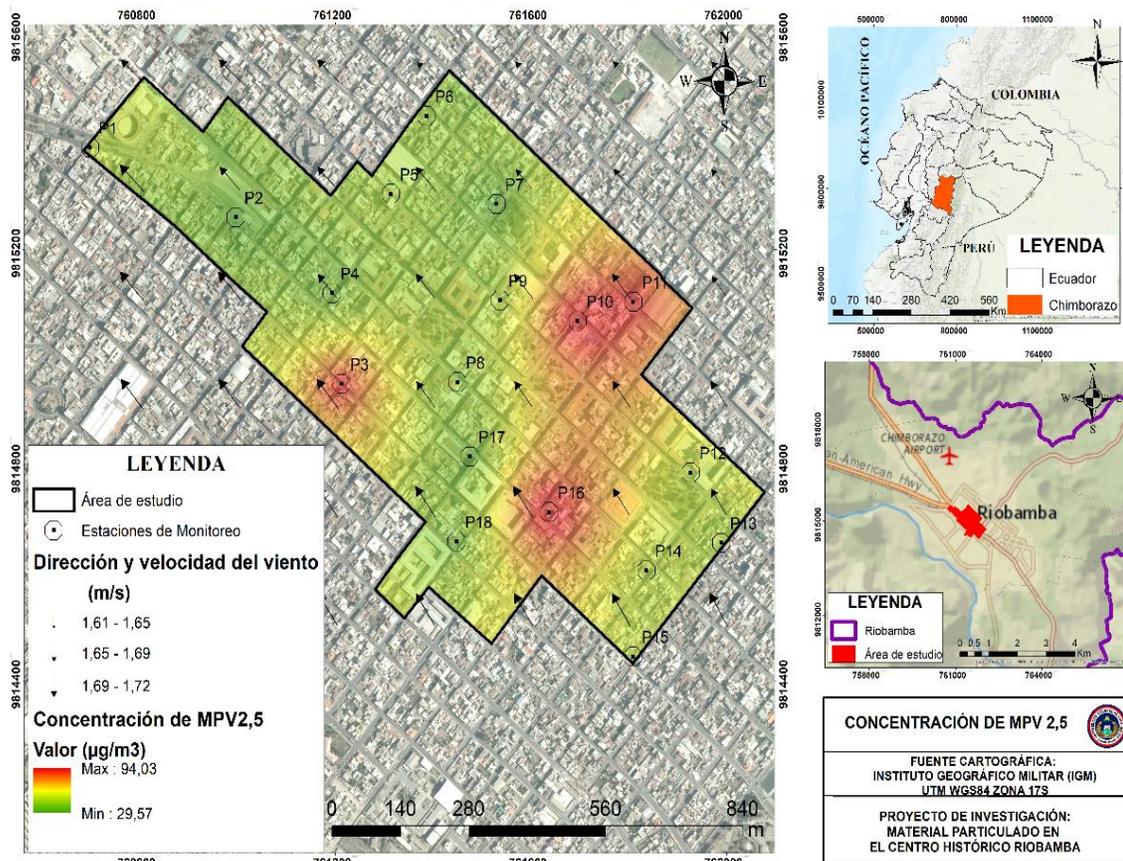
**Tabla 14:** Valores mensuales de  $PMV_{2,5}$  del Centro histórico de Riobamba.

<b>Punto</b>	<b>Código</b>	<b>Latitud (N)</b>	<b>Longitud (E)</b>	<b>Filtro <math>_{2,5}</math> (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
P 1	P1A-ER	760698,608	9815389,05	51,75
P 2	P2C-ER	760996,24	9815259,81	<b>28,79</b>
P 3	P3C-PS	761212,763	9814950,73	87,72
P 4	P4C-ER	761192,741	9815119,27	32,56
P 5	P5C-CT	761313,745	9815302,95	46,30
P 6	P6C-CT	761386,463	9815447,96	41,02
P 7	P7C-CT	761529,503	9815284,62	29,41
P 8	P8C-PS	761449,697	9814953,95	38,33
P 9	P9C-PS	761536,339	9815105,95	44,35
P 10	P10C-SA	761695,484	9815067,6	92,01
P 11	P11C-SA	761809,261	9815102,86	85,19
P 12	P12C-SF	761926,697	9814786,33	46,25
P 13	P13C-SF	761988,881	9814656,09	43,25
P 14	P14C-SF	761835,751	9814604,46	45,62
P 15	P15C-SF	761808,656	9814445,01	46,48
P 16	P16C-LM	761636,986	9814713,12	<b>97,06</b>
P 17	P17C-LM	761474,95	9814815,82	31,57
P 18	P18C-LM	761447,673	9814658,58	34,40

**Fuente:** Autor (2021).

La figura 18 muestra la dispersión del  $PMV_{2,5}$  de acuerdo a los valores mencionados en la tabla 14, donde podemos observar que la distribución espacial va desde 29,57 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hasta 94,03 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Donde la concentración más alta se presentó en los puntos 3, 10, y 16 con valores de 87,72; 92,01 y 97,06 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) respectivamente. Estos valores altos están relacionados con la presencia de mercados, pulverizadoras de autos y talleres de metalmecánica, que acompañado de la gran afluencia de vehículos generan grandes cantidades de PM. Otro de los factores que inciden a la dispersión del contaminante atmosférico es la dirección (NO) y velocidad del viento la cual fue de 1,61 m/s y 1,72 m/s.

**Figura 18:** Mapa de Simulación de la concentración de PMV2,5 en el centro histórico de Riobamba.



Fuente: Autor (2021).

#### 4.4.3. Simulación de la dispersión de material particulado volátil 10 $\mu\text{m}$

La tabla 15 muestra la concentración de PMV<sub>10</sub>, de acuerdo al promedio mensual de cada estación durante un mes de monitoreo. Con los valores obtenidos y mediante un análisis geoestadístico se elaboró el mapa de dispersión de PMV<sub>10</sub>.

**Tabla 15:** Datos de promedios de PMV<sub>10</sub> del Centro histórico de Riobamba.

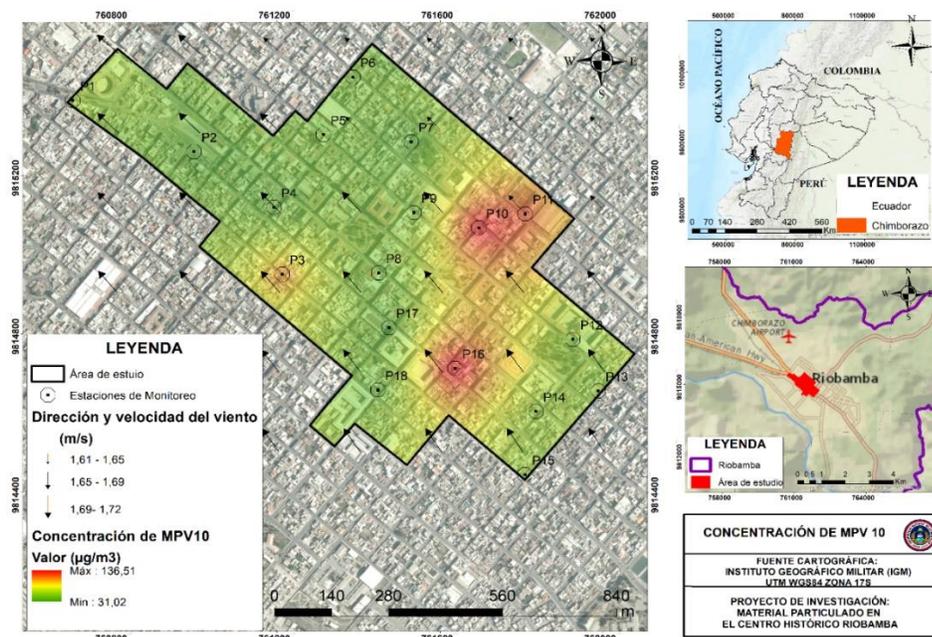
Punto	Código	Latitud (N)	Longitud (E)	Filtro 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
P 1	P1A-ER	760698,608	9815389,05	62,48
P 2	P2C-ER	760996,24	9815259,81	30,89
P 3	P3C-PS	761212,763	9814950,73	101,95
P 4	P4C-ER	761192,741	9815119,27	33,41
P 5	P5C-CT	761313,745	9815302,95	45,61
P 6	P6C-CT	761386,463	9815447,96	44,98
P 7	P7C-CT	761529,503	9815284,62	31,72

<b>P 8</b>	P8C-PS	761449,697	9814953,95	38,38
<b>P 9</b>	P9C-PS	761536,339	9815105,95	45,55
<b>P 10</b>	P10C-SA	761695,484	9815067,6	131,68
<b>P 11</b>	P11C-SA	761809,261	9815102,86	113,79
<b>P 12</b>	P12C-SF	761926,697	9814786,33	48,73
<b>P 13</b>	P13C-SF	761988,881	9814656,09	50,74
<b>P 14</b>	P14C-SF	761835,751	9814604,46	53,39
<b>P 15</b>	P15C-SF	761808,656	9814445,01	50,94
<b>P 16</b>	P16C-LM	761636,986	9814713,12	137,87
<b>P 17</b>	P17C-LM	761474,95	9814815,82	33,26
<b>P 18</b>	P18C-LM	761447,673	9814658,58	36,00

**Fuente:** Autor (2021).

En la figura 19 se aprecia la dispersión del  $PMV_{10}$  de acuerdo a los valores expresados en la tabla 15, en la cual podemos observar que la mayor concentración se da alrededor de los puntos 10 y 16 con valores de  $131,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $137,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , los cuales sobrepasan los límites permisibles establecidos por el TULSMA y la OMS. Las altas concentraciones obedecen a que los puntos de monitoreo 10 y 16 se encuentran cercanos a fuentes de contaminación como talleres de soldadura y centros de abastecimientos de alimentos, este último tiene influencia directa por cuanto llegan camiones y vehículos de carga pesado que generando grandes cantidades de PM. Por último en los puntos 2 y 7 exhibieron la menor concentración con valores de  $30,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $31,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente; estos valores no superan los límites permisibles del TULSMA y de la OMS.

**Figura 19:** Mapa de simulación de la concentración de  $PMV_{10}$  en el centro histórico de Riobamba.



**Fuente:** Autor (2021).

## CONCLUSIONES

- Para determinar la concentración de material particulado sedimentable y volátil ( $PMV_{2,5}$  y  $PMV_{10}$ ) se establecieron 18 puntos de muestreo mediante los cuales permitieron registrar el grado de contaminación del aire y como este tipo de contaminantes afecta a la salud de las personas que viven en el centro histórico de Riobamba.
- Los valores de PMS en la zona norte del centro histórico de Riobamba, superan los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA y la OMS, sin embargo, vale la pena indicar que el punto 2 mostro un valor de 0,87 ( $mg/cm^2/mes$ ), el cual si cumple con la normativa establecida por la legislación ecuatoriana. Los valores de PMS registrados en la zona sur superan los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA y la OMS, debido a que tiene mayor incidencia producto de la excesiva circulación del transporte público y privado.
- Los valores de  $PMV_{2,5}$   $\mu m$  registrados en la zona norte del centro histórico de Riobamba, cumple con la normativa ecuatoriana (TULSMA), sin embargo, excede los límites máximos permisibles establecidos por la OMS. Por lo contrario el  $PMV_{10}$   $\mu m$  presenta valores por debajo del límite permisible establecido en la legislación ecuatoriana y cercanos al límite establecido por la OMS. Los valores  $PMV$  registrados en la zona sur del sitio de estudio cumple con la normativa del TULSMA tanto para las concentraciones de  $PMV_{2,5}$  y  $PMV_{10}$ . Sin embargo, superan los límites establecidos por la OMS, por lo que se puede considerar a este tipo de partículas como indicadores de la calidad del aire.
- El análisis morfológico de las partículas de MP mostro figuras de tipo irregular, semiesféricas, alargadas y amorfas. Este tipo de formas son propias de procesos de combustión interna de los motores a diésel y gasolina. También se observó partículas irregulares en forma de láminas que son producto del desgaste de las llantas de los vehículos y que representan un alto riesgo para la salud de la población del centro histórico.
- El análisis de la distribución espacial mediante el software ArcGIS 10.x, permitió definir que los radios críticos de concentración de  $PM_{2,5}$  se encuentran aproximadamente a 50

metros de los focos de emisión de contaminantes, en la que se observó que la mayor concentración de PMS y de PMV se dan en los puntos 3, 10, 11 y 16, debido a que se encuentran cercanos a fuentes de contaminación principalmente por actividades antrópicas, mientras que el restante de puntos presenta concentraciones menores debido a que la dirección y velocidad del viento se ve afectada por los edificios y viviendas presentes en la zona de estudio, los cuales que tiene influencia directa en la dispersión del contaminante.

## **RECOMENDACIONES**

- Se debe impartir charlas de información a la población del centro histórico de Riobamba sobre los riesgos y enfermedades que pueden producir los contaminantes atmosféricos como lo es el PM emanado por el transporte público.
- Es necesario realizar un monitoreo en los diferentes meses del año, para conocer las posibles variaciones de PMS y PMV por la influencia del viento y la disminución de circulación de vehículos a causa de las restricciones por la pandemia.
- Se recomienda mantener buenas relaciones entre la comunidad y las personas propietarias de vehículos y dueños de centro comerciales con la finalidad de llegar a acuerdos que brinden beneficios mutuos y reducir la tasa de mortalidad por contaminación del aire.
- Actualmente se está dando el regreso progresivo a clases y es indispensable que los habitantes se mantengan informados sobre las consecuencias negativas hacia la salud humana el estar expuesto al material particulado.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Alves, D., Montanari, D., Siqueira, M., & Schuck, S. (2015). Morfología y composición del material particulado atmosférico de la cuenca del Río dos Sinos ( RS ) analizada por microscopía electrónica de barrido. *Geochimica Brasiliensis*, 29(2), 45–57.
- Amable, I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., & Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160–1170.
- Andi, J., & Vega, R. (2019). Determinación y Caracterización de concentraciones de Material Particulado Sedimentable y Volátil en el sector Calpi cantón Riobamba por incidencia Industrial. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de Material Particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna Azul*, 34, 195–2013.
- Bermeo, J., & Vega, D. (2018). Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales mercados de la ciudad de Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Borrás, E. (2013). Caracterización de material particulado atmosférico generado en reactores fotoquímicos y procedente de muestras ambientales. Universitat Politècnica de València.
- Cazco, L. (2011). Mitigación De La Contaminación Del Aire Por Material Particulado Y Gases De Combustión De Automotores En El Centro Comercial De Riobamba [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4232/1/20T00409.pdf>
- Cevallos, J. (2018). Concentración de Material Particulado Sedimentable para determinar el grado de contaminación de aire en la ciudad de Ambato. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Cifuentes, P., Rodríguez, A., Luengo, C., & Tapia, L. (2020). Relación entre contaminación atmosférica y consultas por enfermedades respiratorias en atención primaria de urgencia. *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias*, 36(4), 260–267. <https://doi.org/10.4067/s0717-73482020000400260>
- Díaz, V. (2015). Informe de la calidad de aire (Vol. 151). <http://www.quitoambiente.gob.ec/>
- Franco, D. (2020). Análisis y caracterización del material particulado PM10 y PM2.5 en la ciudad de Manizales. [Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79214>

- GADM Riobamba. (2020). Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2019. <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga/category/1096-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2020-2030>
- Gaibor, V. (2015). Determinación de la Concentración de Material Particulado del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba en el periodo 2014 [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4792/1/236T0146.pdf>
- Gallo, A., & Paredes, C. (2019). Determinación y Caracterización de las Concentraciones de Material Particulado Sedimentable del sector de Ladrilleras de la matriz del cantón Chambo. [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- García, A., López, E., Rodríguez, M., Alonso, M., Amaro, S., Arenillas, J., Ayo, O., Castellanos, M., Fuentes, B., Freijo, M., Gomis, M., Gómez, M., Martínez, P., Morales, A., Palacio, E., Segura, T., Serena, J., Vivancos, J., & Roquer, J. (2021). Recommendations of the Spanish Society of Neurology for the prevention of stroke. Interventions on lifestyle and air pollution. *Neurología*, 36(5), 377–387. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2020.05.018>
- González, L. (2018). Caracterización Química y Morfológica del Material Particulado Suspendido del Área Metropolitana de Monterrey y sus posibles Fuentes de Emisión [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN]. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Guevara, E., & Logroño, B. (2020). Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad de San José de Chanchuan por incidencia industrial. Universidad Nacional de Chimborazo.
- INAMHI. (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. In Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

- [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Inca, S. (2020). Análisis de los Rangos de Confort Urbano en Avenidas de Alto Tráfico Vehicular: Caso de estudio Avenida Pedro Vicente Maldonado, ciudad de Riobamba [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/JPPP/article/download/83/65%0Ahttp://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L603546864%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1155/2015/420723%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76>
- INPC. (2020). Metodología para el levantamiento de Información Geográfica del Centro Historico de Riobamba. In INFORME TÉCNICO DE GEOMÁTICA– INPCZ3-GM - 2020- 10- 020.
- Jaramillo, A., & Toro, M. (2020). Estimación De La Fracción Inhalada De Contaminantes Primarios Del Aire En La Ciudad De Medellín. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 623–643. <https://doi.org/10.20937/rica.53417>
- MAE. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. In Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003 (Issue 3399). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Marcos, R., & Valderrama, A. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. Centro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF), 14. [https://guzlop-editoras.com/web\\_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf](https://guzlop-editoras.com/web_des/med02/saludpublica/pld0456.pdf)
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas Universidad de Cuenca*, 1(19), 55–64.
- Núñez, R. (2015). Oportunidades de producción más limpia en el de Metalmecánica.
- OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. In Oms.
- OMS. (2018). Calidad del aire y salud. Organización Mundial de La Salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Ortega, J., Martínez, I., Boldo, E., Cárceles, A., Solano, C., Ramis, R., Aguilar, E., Sánchez, M., & López, F. (2020). Contaminación atmosférica urbana e ingresos hospitalarios por asma y enfermedades respiratorias agudas en la ciudad de Murcia (España). *Anales de Pediatría*, 93(2), 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.01.012>
- Ortega, J., Sánchez, M., & Ferrís, J. (2018). Contaminación atmosférica y salud de los niños. *Anales de Pediatría*, 89(2), 77–79. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.04.017>
- Ortiz, E., & Tigsi, V. (2020). Determinación y Caracterización de concentraciones de Material Particulado Sedimentable y Volátil en el barrio los Pinos contón Riobamba por incidencia Industrial [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7694/1/TESIS-MATERIAL PARTICULADO%28 Marcelo Paguay%29.docx.pdf>
- Peña, S. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 10(2), 288–288.
- Rodríguez, R., & Núñez, Y. (2016). Nivel de exposición personal a material particulado inhalable PM 2.5 proveniente de vías de alto tráfico vehicular de la ciudad de Barranquilla. Corporación Universidad de la Costa, Barranquilla Colombia.
- Santiago, A., Junqueira, R., Modesto, P., & Viana, R. (2015). Caracterización de material particulado suspendido en el aire de Cuiabá-MT durante el período de quema de bosques. *REVISTAMATERIA*, 20(01), 273–283.
- Santillán, P., Damián, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). Estimación Del Grado De Contaminación De Material Particulado Atmosférico Y Sedimentable En El Laboratorio De Servicios Ambientales De La Unach. *Perfiles*, 2(16), 32–29.
- Santillán, P., Rodríguez, M., Orozco, J., Ríos, I., & Bayas, K. (2021). Evaluación de la concentración y distribución espacial de material particulado en los campus de la UNACH - Riobamba. *Novasinergia*, 4(X), 16.
- Túqueres, R. (2017). Estudio Y Análisis De Las Emisiones De No2 Generadas Por El Campo Automotor En El Sector Del Terminal Terrestre De La Ciudad De Riobamba [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7022/1/236T0278.pdf>
- Villacrés, M. (2015). Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato

relacionada con el material particulado sedimentable [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4855>

Zavala, N. (2020). Análisis y Estudio de las Emisiones Contaminantes de una Unidad Euro I, Euro II, Euro III, del Transporte Urbano de la Ciudad de Riobamba. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

## ANEXOS

### Anexo1. Registro fotográfico del trabajo en el laboratorio

**Fotografía 1**



**Muestras secadas**

**Fotografía 2**



**Pesaje inicial del papel filtro**

**Fotografía 3**



**Muestras de estudio secadas para pesar**

**Fotografía 4**



**Análisis de muestras en el microscopio**

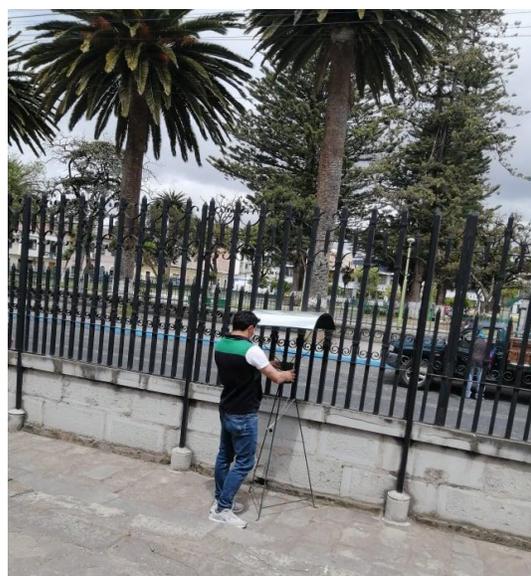
## Anexo 2. Ubicación de los equipos para el muestreo de PMS

**Fotografía 1**



**Ubicación del equipo de muestreo de PMS en la Merced**

**Fotografía 2**



**Instalación del equipo en San Francisco**

**Fotografía 1**



**Instalación del equipo de muestreo de PMS en San Alfonso**

**Fotografía 2**



**Instalación del equipo de muestreo de PMS en el Coliseo Teodoro Gallegos Borja**

### Anexo 3. Monitoreo de PMV con el DustTrack™ II

**Fotografía 1**



**Monitoreo de PMV<sub>2,5</sub> en el sector de San Alfonso**

**Fotografía 2**



**Monitoreo de PMV<sub>10</sub> en el sector de San Francisco**

**Fotografía 1**



**Monitoreo de PMV<sub>2,5</sub> en el sector de La Merced**

**Fotografía 2**



**Monitoreo de PMV<sub>10</sub> en el sector de La plaza de toros**

#### Anexo 4. Límites permisibles del TULSMA

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	1 mg/cm <sup>2</sup> /mes
PM <sub>10</sub>	1 año	50 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	1 año	15 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	65 µg/m <sup>3</sup>

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

#### Anexo 5. Límites permisibles de la OMS

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

**Fuente:** (OMS, 2018)