

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

**ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL PARTICULADO
SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL, DE LOS SECTORES CALPI Y EL BARRIO
LOS PINOS DEL CANTÓN RIOBAMBA.**

Autor(es): ALVARADO BARBA RENATA ALEJANDRA

PUYOL GUEVARA DAVID ESTEBAN

Tutor: Ing. Guido Patricio Santillán Lima, MsC.

Riobamba – Ecuador

Año 2020

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
“ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL, DE LOS SECTORES CALPI Y EL BARRIO LOS PINOS DEL CANTÓN RIOBAMBA”.

Presentado por: Alvarado Barba Renata Alejandra y Puyol Guevara David Esteban,
dirigido por: el Ing. Patricio Santillán.

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

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Patricio Santillán MsC.

Tutor del Proyecto de Investigación



Firma

PhD. José Prato

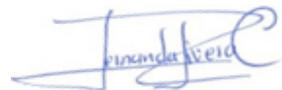
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. María Fernanda Rivera

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL, DE LOS SECTORES CALPI Y EL BARRIO LOS PINOS DEL CANTÓN RIOBAMBA”**, ha sido elaborado por **ALVARADO BARBA RENATA ALEJANDRA Y PUYOL GUEVARA DAVID ESTEBAN**, 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 informarle en honor a la verdad.



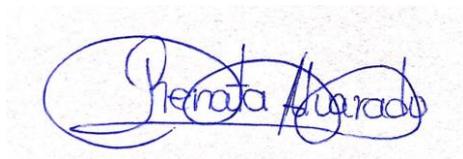
Ing. Patricio Santillán MsC.

C.I. 060278077-7

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, ALVARADO BARBA RENATA ALEJANDRA, con la cédula de identidad No.060403071-8 y PUYOL GUEVARA DAVID ESTEBAN, con cédula de identidad No. 060417351-8; hacemos constar que somos autores del presente trabajo de investigación, titulado: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL, DE LOS SECTORES CALPI Y EL BARRIO LOS PINOS DEL CANTÓN RIOBAMBA”**, el cual constituye una elaboración, dirigida por el Tutor del Proyecto, Ing. Guido Patricio Santillán Lima MsC.

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.



Renata Alejandra Alvarado Barba

C.I. 060403071-8



David Esteban Puyol Guevara

C.I. 060417351-8

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por su bendición diaria que me ha permitido seguir este camino de aprendizaje, a mi padre, mi ángel que desde el cielo me cuida y guía cada paso que doy para cumplir mis sueños.

Agradezco a toda mi familia por ser el pilar fundamental en mi formación de valores y crecimiento personal.

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, especialmente a la carrera de Ingeniería Ambiental y al Ing. Patricio Santillán, Ing. José Prato e Ing. María Fernanda Rivera, quienes con paciencia me guiaron en el trabajo de investigación.

Agradezco a mis docentes por haberme impartido sus valiosos conocimientos y a mis compañeros y amigos que estuvieron presentes en el transcurso de mi carrera universitaria.

Renata Alejandra Alvarado Barba

A Cecilia, mi Madre que fue un apoyo y pilar fundamental en esta meta cumplida, sin duda alguna sin su presencia en mi vida esto no podría ser posible.

A la Carrera de Ingeniería Ambiental perteneciente a la Universidad Nacional de Chimborazo, y a todos los docentes que formaron parte de mi vida universitaria, por haber compartido sus conocimientos académicos y experiencias personales, que sin duda serán de apoyo en mi vida profesional.

A los Ingenieros: Patricio Santillán, Marco Rodríguez, Jonatan Orozco, por guiarme y haberme dado la oportunidad de desarrollar esta investigación con la ayuda de sus conocimientos. A todos mis compañeros y amigos que hice en la universidad, gracias por todos los momentos y recuerdos, fueron de gran apoyo en este gran camino.

David Esteban Puyol Guevara

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico a mi ángel en el cielo mi padre, mi Nini quien a pesar de no estar presente físicamente me ha permitido sentirle junto a mí en mi caminar a lo largo de mi vida universitaria.

A mi madre Marlene quien con su guía me ha apoyado y enseñado a ser una mujer fuerte y luchadora sin darme por vencida a pesar de las dificultades, a mis hermanos Antonella y Pablo por acompañarme en cada momento bueno o malo.

A mis abuelitos Luchito y Charito mis segundos padres que siempre han formado parte de mi crecimiento como persona llenándome de amor y cariño. A mis tías Katy y Dali que gracias a sus consejos he podido tomar las mejores decisiones para cumplir mis metas. A mi primo Sebas que creció junto a mí como mi hermano y mi tío Carlitos por creer siempre en mí.

Renata Alejandra Alvarado Barba

A Cecilia, mi Madre, un ser único y extraordinario, que, con su sencillez, comprensión, honestidad, responsabilidad, paciencia y cariño, me motiva siempre a cumplir mis sueños y a ser una mejor persona cada día.

A mi hermano Mauricio, por ser un apoyo incondicional y a mi primo Pedro por ser como un hermano mayor.

A mis mejores amigos, Nicolás, Israel, Lenin, Pablo, Alex, Jordan, Paúl, Sebastián, Joel, Vanessa C, Viviana, Vanessa M, Yesenia, Michelle N, Michelle L por ser personas que han estado siempre en los peores momentos de mi vida y que a pesar de todo, seguimos forjando una amistad a lo largo de los años.

David Esteban Puyol Guevara

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

Al: Aluminio

C: Carbono

Ca: Calcio

cm²: centímetros cuadrados

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

CO₂: Dióxido de carbono

CO: Óxido de carbono

HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

LMP: Límites máximos permisibles

mg: miligramo

mm: milímetros

mmHg: milímetros de mercurio

m³: metros cúbicos

Na: Sodio

N₂O: Dióxido de nitrógeno

O: Oxígeno

OMS: Organización Mundial de la Salud

PM: Material Particulado

PMS: Material Particulado Sedimentable

PMV: Material Particulado Volátil

PM_{2.5}: Material Particulado de 2.5 µm

PM₁₀: Material Particulado de 10 µm

PST: Partículas suspendidas totales

Rb: Rubidio

Sb: Antimonio

Si: Silicio

SIG: Sistemas de Información Geográfica

SO₂: Dióxido de azufre

Ta: Tantalio

TULSMA: Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente

ug: microgramo

µm: micrómetros o micras

W: Wolframio

ÍNDICE GENERAL

| | |
|-------------------------------------------------------|------|
| CERTIFICADO DEL TRIBUNAL..... | i |
| DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA..... | ii |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | iii |
| AGRADECIMIENTO..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS..... | vi |
| RESUMEN..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| 1.1. Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. General..... | 3 |
| 1.3.2. Específicos..... | 3 |
| CAPÍTULO II..... | 4 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1. Contaminación atmosférica..... | 4 |
| 2.2. Material particulado..... | 4 |
| 2.2.1. Material particulado sedimentable..... | 5 |
| 2.2.2. Composición química del PMS..... | 5 |
| 2.2.3. Material particulado volátil..... | 5 |
| 2.3. Generación de PM..... | 6 |
| 2.4. La meteorología y sus parámetros..... | 8 |
| 2.4.1. Tipo de zonas de dispersión..... | 9 |
| 2.5. Dispersión atmosférica..... | 10 |
| 2.6. Estándares de calidad de aire en el Ecuador..... | 11 |
| 2.6.1. Calidad de Aire según el TULSMA..... | 11 |
| 2.6.2. Calidad de Aire según la OMS..... | 11 |
| 2.7. Efectos del PM sobre la salud..... | 11 |

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 3. METODOLOGÍA | 13 |
| 3.1. Área de estudio | 13 |
| 3.2. Análisis comparativo de PM sedimentable..... | 14 |
| 3.3. Simulación de la dispersión de PM sedimentable..... | 15 |
| 3.4. Análisis comparativo de PM volátil..... | 15 |
| 3.5. Simulación de la dispersión de PM volátil | 15 |
| CAPÍTULO IV | 17 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 17 |
| 4.1. Concentración y análisis descriptivo del PMS..... | 18 |
| 4.2. Análisis estadístico comparativo de PMS | 20 |
| 4.3. Composición química del PMS | 21 |
| 4.4. Simulación de la dispersión del PMS | 24 |
| 4.5. Concentración y análisis descriptivo PMV | 26 |
| 4.6. Análisis estadístico comparativo de PMV | 30 |
| 4.7. Simulación de dispersión de PMV | 33 |
| 5. CONCLUSIONES | 39 |
| 6. RECOMENDACIONES | 40 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 41 |
| 8. ANEXOS..... | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Fuentes Generadoras de PM | 6 |
| Figura 2. Zona de estudio cabecera parroquial de Santiago de Calpi | 13 |
| Figura 3. Zona de estudio del barrio Los Pinos..... | 14 |
| Figura 4. Puntos de monitoreo de PMS y PMV en Calpi..... | 17 |
| Figura 5. Puntos de monitoreo de PMS y PMV en el barrio Los Pinos | 18 |
| Figura 6. Comparación de valores de PMS de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA | 20 |
| Figura 7. PMS de Calpi y Los Pinos | 21 |
| Figura 8. Composición química PMS en la cabecera parroquial de Calpi..... | 23 |
| Figura 9. Composición química PMS en el barrio Los Pinos | 23 |
| Figura 10. Modelo de dispersión PMS en la cabecera parroquial de Calpi | 25 |
| Figura 11. Modelo de dispersión PMS en el barrio Los Pinos..... | 26 |
| Figura 12. Comparación de valores de de $PMV_{2.5}$ de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA | 29 |
| Figura 13. Comparación de valores de de PMV_{10} de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA | 30 |
| Figura 14. $PMV_{2.5}$ de Calpi y Los Pinos..... | 31 |
| Figura 15. PMV_{10} de Calpi y Los Pinos | 33 |
| Figura 16. Modelo de dispersión $PMV_{2.5}$ en la cabecera parroquial Calpi | 34 |
| Figura 17. Modelo de dispersión PMV_{10} en la cabecera parroquial Calpi..... | 35 |
| Figura 18. Modelo de dispersión $PMV_{2.5}$ en el barrio Los Pinos..... | 36 |
| Figura 19. Modelo de dispersión PMV_{10} en el barrio Los Pinos..... | 37 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Clasificación de fuentes de emisión. | 8 |
| Tabla 2. Comparación de valores de PMS de Calpi con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA | 19 |
| Tabla 3. Comparación de valores de PMS del barrio Los Pinos con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA | 19 |
| Tabla 4. Prueba de Tukey, análisis estadístico PMS | 21 |
| Tabla 5. Elementos químicos mayoritario en el PMS | 22 |
| Tabla 6. Valores de $PMV_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Calpi, comparados con TULSMA y OMS | 27 |
| Tabla 7. Valores de PMV_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Calpi, comparados con TULSMA y OMS | 27 |
| Tabla 8. Valores de $PMV_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del barrio Los Pinos, comparados con LMP de TULSMA y OMS | 28 |
| Tabla 9. Valores de PMV_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del barrio Los Pinos, comparados con LMP de TULSMA y OMS | 28 |
| Tabla 10. Prueba de Tukey Análisis estadístico comparativo de $PMV_{2.5}$ | 31 |
| Tabla 11. Prueba de Tukey, Análisis estadístico comparativo de PMV_{10} | 32 |

RESUMEN

El sector Calpi y barrio Los Pinos son zonas que presentan una constante expansión, crecimiento demográfico e incidencia por actividades industriales como producción de cal, bloques, cemento y cerámica, esta investigación tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo del material particulado en ambos sectores, donde se obtuvieron datos de 7 puntos de muestreo respectivamente que permitieron identificar la concentración del PMS y PMV, para ser comparados con los LMP de la OMS y del TULSMA por medio de un software estadístico realizando una prueba de Tukey al 5% y ejecutando una simulación de la dispersión del contaminante por medio de un sistema de información geográfica.

En los datos de concentración del PMS tenemos que en Calpi en el período noviembre-diciembre de 2018 no sobrepasa los LMP, en el barrio los Pinos en el periodo julio-agosto 2019 los valores sobrepasan los LMP establecidos. En cuanto a la concentración del PMV_{2.5} y PMV₁₀ en Calpi se cumple con ambas normativas en casi todos los puntos de muestreo, en el barrio Los Pinos el PMV_{2.5} no cumple las normativas, pero el PMV₁₀ cumple con el TULSMA.

La simulación de la dispersión del contaminante indica que en la zona de Calpi la dirección del viento es noreste y la velocidad promedio es de 1.667 m/s, en el barrio Los Pinos la dirección del viento es suroeste y velocidad un promedio de 2.08 m/s; en ambas la cobertura vegetal juega un papel importante en cuanto a dispersión y concentración de los contaminantes.

Palabras claves: Calpi, Los Pinos, contaminante, PMV 2.5, PMV 10, PMS, LMP, OMS, TULSMA, Tukey al 5%, sistema de información geográfica, simulación de la dispersión.

ABSTRACT

The Calpi sector and Los Pinos neighborhood present a constant expansion, demographic growth, and incidence due to industrial activities such as lime, blocks, cement, and ceramics production. The research's objective was to carry out a comparative analysis of the particulate material in both sectors. The data was obtained from 7 sampling points respectively that allowed the identification of the concentration of PMS and PMV, to be compared with the OMS and TULSMA LMP using a statistical software performing a Tukey test at 5% and executing a simulation of the dispersion of the contaminant through a geographic information system.

In the data of concentration of the PMS we have that in Calpi in November-December 2018 does not exceed the LMP, in the neighborhood Los Pinos in the period July-August 2019, the values exceed the LMP established. As for the concentration of PMV2.5 and PMV10 in Calpi, both norms are in almost all sampling points. In the Los Pinos neighborhood, PMV2.5 does not meet the norms, but PMV10 meets the TULSMA.

The simulation of contaminant dispersion indicates that in the Calpi area. The wind direction is northeast, and the average speed is 1,667 m/s. In the Los Pinos neighborhood, the wind direction is southwest, and the average rate is 2.08 m/s. In both areas, the vegetation coverage plays a vital role in terms of contaminant dispersion and concentration.

Keywords: Calpi, Los Pinos, contaminant, PMV 2.5, PMV 10, PMS, LMP, OMS, TULSMA, Tukey 5%, geographic information system, dispersion simulation



Reviewed by: Marcela González R.
English Professor

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales que se ha intensificado con el paso de los años en las diferentes zonas urbanas del mundo, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo. En el Ecuador, la contaminación del aire es por causa de deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial, las industrias, la utilización de tecnologías poco sustentables en las actividades productivas y de transporte, mala calidad de los combustibles, lo que genera la emanación de material particulado a la atmósfera (Mejía, Zegarra, Astudillo, & Moscoso, 2018).

Son muchos los efectos en la salud por Material Particulado (PM), la mayoría relacionados con síntomas en las vías respiratorias superiores, como reacciones alérgicas, congestión nasal, sinusitis, tos, fiebre del heno, irritación en los ojos, entre otros. Y otros relacionados con vías respiratorias inferiores, como bronquitis, asma, enfisema, entre otros. Además existen problemas severos, como cáncer de pulmón y anomalías reproductivas (Gaviria, Benavides, & Tangarife, 2011).

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

Esta problemática está presente en la cabecera parroquial de Santiago de Calpi de la provincia de Chimborazo, ya que empresas como Petroecuador y Mendogas generan residuos sólidos y no tienen una adecuada gestión externa, además de la Unión Cementera Nacional (UCEM), que genera emisiones de polvo como parte de su proceso industrial y de manera similar existen actividades de fabricación de bloques y cal cerca del área de estudio (Andi & Vega, 2019).

De igual manera en el barrio Los Pinos del cantón Riobamba se ubica la industria ECUACERAMICA que genera PM debido a sus procesos productivos, además en este sector es notable el crecimiento poblacional ocasionando que la zona urbana se vaya extendiendo y esto ha incrementado el flujo vehicular el cual también genera una contaminación atmosférica (Ortiz & Tigsí, 2020).

CAPÍTULO I

1.1. Planteamiento del problema

La contaminación atmosférica produce alrededor de 7 millones de muertes al año; siendo esta una de las problemáticas ambientales más fuertes en las zonas urbanísticas del mundo. Está presente en países desarrollados como también en aquellos países en vías de desarrollo debido a la alta presencia de industrias, automóviles y crecimiento demográfico (Organización Mundial de la Salud, 2012).

Ecuador al ser un país en vías de desarrollo presenta algunos problemas como la mala planificación territorial, crecimiento del parque automotor y la falta de aplicación de la normativa ambiental que ayude a la mitigación de los impactos ambientales, lo cual afecta directamente la calidad del aire y provoca problemas en la salud por la generación de PM en las distintas actividades.

El PM es una mezcla de partículas sólidas y líquidas presentes en el aire y su composición química representa una alta complejidad, ya que proviene de distintas actividades que la población realiza a diario como son: la construcción, la movilidad y procesos productivos en general (Salas, Álvarez, Bendezú, & Pomalay, 2017).

En el sector de Calpi y del barrio los Pinos de la ciudad de Riobamba existe una problemática en común, ya que en ambos sectores la producción del PM se relaciona a las diferentes industrias que se ubican en cada zona que realizan actividades como la producción de cemento, bloques, cal y cerámica, generándose un problema en la salud y en el ambiente. Al tener características similares las dos áreas de estudio es necesario llevar a cabo un análisis comparativo para comprender el comportamiento de PM, según las condiciones de cada zona.

1.2. Justificación

En la cabecera parroquial de Santiago de Calpi existen empresas y fábricas dedicadas a la producción de cemento, cal y bloques que originan un impacto sobre el recurso aire, por la generación de PM (Andi & Vega, 2019). Además, en el barrio Los Pinos tenemos industrias de cerámica que se encuentran en los alrededores de la zona urbana provocando una alta contaminación atmosférica; esto ocasiona molestias respiratorias y visuales, considerándose para la OMS como un agente que a mediano y largo plazo generaran

enfermedades mortales en los seres humanos (Ortiz & Tigi, 2020). Cabe destacar que el cantón Riobamba presenta características geomorfológicas regulares como la altitud, latitud, características físicas como la velocidad y dirección del viento, que influyen en el transporte del PM lo que genera que se extienda fácilmente a grandes extensiones de terreno (GADM Riobamba, 2014).

Por lo tanto, es importante tener claro el comportamiento del PM ya que las características geomorfológicas son similares, pero la realidad social es distinta en cada sector, además de que existen diferentes actividades productivas y su parque automotor difiere de acuerdo con la zona de estudio.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo comparar de acuerdo con la situación de cada sector el comportamiento del PM sedimentable y volátil para así poder comprender la dispersión que existe dentro de cada área de estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Realizar un análisis comparativo del material particulado sedimentable y volátil, de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba.

1.3.2. Específicos

- Desarrollar un análisis comparativo del material particulado sedimentable, por incidencia industrial de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba.
- Realizar una simulación de la dispersión del material particulado sedimentable, por incidencia industrial de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba usando sistemas de información geográfica.
- Desarrollar un análisis comparativo del material particulado volátil, por incidencia industrial de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba.
- Realizar una simulación de la dispersión del material particulado volátil, por incidencia industrial de los sectores Calpi y el barrio Los Pinos del cantón de Riobamba usando sistemas de información geográfica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se conoce como la presencia en la atmósfera de elementos contaminantes que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema. Desde un punto de vista antropocéntrico la contaminación atmosférica se refiere a los contaminantes que afectan la salud o el bienestar humano (Ubilla & Yohannessen, 2017).

Los contaminantes según su origen se clasifican en antropogénicos, derivados de la actividad humana, o naturales, resultantes de procesos de la naturaleza, por ejemplo, erupciones volcánicas o polen en suspensión. Y la contaminación gaseosa está compuesta por PM, compuestos volátiles y gases como: dióxido y monóxido de carbono (CO_2 , CO), dióxido de azufre (SO_2) y óxido nitroso (N_2O) (Ubilla & Yohannessen, 2017).

La contaminación afecta a todo el planeta convirtiéndose en un grave problema ambiental ya que existen sustancias químicas contaminantes que causan un efecto nocivo en las personas y afectan en los distintos ecosistemas (Manzur, Benzal, & Gonzalez, 2012).

2.2. Material particulado

El PM es un conjunto de partículas sólidas y líquidas suspendidas en la atmósfera, tienen diferentes características fisicoquímicas, tamaño y composición y son procedentes de diversos orígenes y fuentes de emisión. El PM no sedimenta en períodos cortos, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad (Arciniégas, 2012).

Este es emitido a la atmósfera producto de diferentes actividades, tanto naturales como antropogénicas. Entre las actividades naturales se encuentran las emisiones volcánicas, el polvo de la superficie, las partículas arrastradas por el viento y los aerosoles marinos y biogénicos. Dentro de las actividades antropogénicas se encuentran el transporte automotor, los aviones, los barcos, los trenes, la maquinaria agropecuaria, las actividades vinculadas con la construcción, los procesos de combustión en fuentes estacionarias, las industrias (Arciniégas, 2012).

2.2.1. Material particulado sedimentable

El PMS está constituido por partículas que se encuentran en el aire y que se depositan por efecto de la acción gravitacional, y por contaminantes en estado gaseoso, y partículas no sedimentables que son arrastradas por la lluvia o nieve (Lozano, 2018).

El PMS posee partículas contaminantes sólidas de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras ($\geq 10 \mu\text{m}$), tamaño y peso que está dentro de la influencia de la gravedad, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies, desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbana (Lozano, 2018).

Partículas sedimentables mayor a 10 micras ($> 10 \mu\text{m}$), son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en periodos cortos de tiempo. Este PMS se produce principalmente por la desintegración de partículas, a través de procesos mecánicos como: polvo, polen, esporas, moho, hollín, partículas metálicas, cemento, fragmentos de plantas e insectos, polvo tóxico de las fábricas y agricultura y de materiales de construcción (Lozano, 2018).

2.2.2. Composición química del PMS

La composición química del PMS puede variar constantemente, ya que algunos elementos pueden ser considerados como nutrientes y otros son contaminantes tóxicos potenciales. Las plantas y el suelo son los principales receptores de PMS y esto influye en la cadena alimenticia del ser humano siendo de mucha importancia el estudio de sus componentes tóxicos para determinar que compuestos son tóxicos y perjudiciales para la salud (Tenorio, 2017).

Los metales pueden ser inhalados, ingeridos o absorbidos por la piel a través de las partículas sedimentables en áreas contaminadas actuando como elementos cancerígenos o tóxicos para el ambiente dependiendo del tiempo de exposición o concentración. En estudios realizados de calidad de aire se tiene como resultado que las personas que laboran cerca de áreas industriales o vías de alto tráfico tienen riesgo por la presencia de elementos metálicos (Tenorio, 2017).

2.2.3. Material particulado volátil

El material particulado volátil (PMV) también llamado fracción de partículas en suspensión son aquellas partículas suspendidas totales (PST) en el aire (algunas veces,

incluso mayores a tamaños de 100 micras) que se dispersan de una manera estable y homogénea en el aire, por lo que permanecen suspendidos durante un intervalo de tiempo mayor hasta que son suprimidos por precipitación (Andi & Vega, 2019).

El PM se clasifica principalmente por su tamaño, se divide en la fracción gruesa o respirable con diámetro de partículas menores a 10 μm , definida como PM_{10} y una fracción fina con diámetro de partícula menor a $< 2.5 \mu\text{m}$, definida como $\text{PM}_{2.5}$ (Arrieta Fuentes, 2016).

El PM suspendido en el aire se compone de fragmentos de minerales, cenizas, residuos de combustión de carbón, hollín, producto de combustión de fuel oil, desechos orgánicos, granos de polen, esporas, materiales sintéticos, aerosoles, gotas de rocío de lluvias ácidas y líquidos diversos. La industria y el movimiento vehicular, se consideran las principales fuentes de emisión de PM que, en conjunto con factores meteorológicos y topográficos, hacen que el comportamiento del PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ varíe temporalmente de manera irregular en la atmósfera (Arrieta Fuentes, 2016).

2.3. Generación de PM

- 1. Fuentes Generadoras:** Estas fuentes son antropogénicas o naturales, también puede ser producto de reacciones químicas por influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PM (INECC, 2010a). En la **Figura 1**, se muestra el tipo de fuentes de generación de PM.

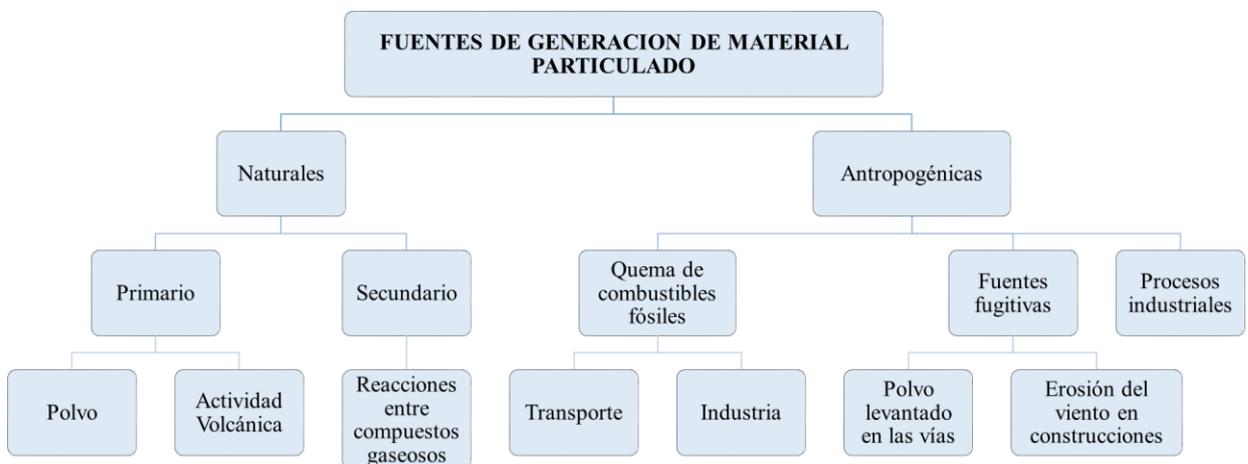


Figura 1. Fuentes Generadoras de PM

Fuente: Burgos & Tejeiro (2019)

2. Fuentes fijas o estacionarias: Estas fuentes se refieren a toda instalación establecida en un solo lugar y que tenga como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En este tipo de establecimientos, las emisiones de partículas primarias pueden generarse a través de actividades de combustión o como resultado de diversos procesos que se llevan a cabo dentro de las fuentes fijas (INECC, 2010)

Las emisiones de partículas por combustión dependen del tipo de combustible que se utiliza. Entre las fuentes fijas con actividades de combustión que contribuyen a las emisiones de partículas sobresalen las plantas generadoras de electricidad, especialmente aquellas que emplean carbón, y las plantas industriales y comerciales. Los procesos industriales en general son también una fuente muy importante de partículas, y comúnmente las emisiones se generan como resultado de uno de los siguientes mecanismos (INECC, 2010):

- a) La molienda, trituración o abrasión de materiales. Un ejemplo es la molienda del Clinker de cemento.
- b) La evaporación de materia volátil derivada de materiales sujetos a calentamiento, por ejemplo, la que se presenta en los hornos de vidrio y de metales no ferrosos.
- c) El arrastre de partículas finas en flujos gaseosos, como en el secado de los compuestos químicos por atomización.

3. Fuentes Móviles: En esta fuente están todas aquellas motorizadas con permiso de circulación por caminos públicos, como lo son vehículos particulares, camiones, autobuses, motocicletas, así como también se toman en cuenta aquellos que no circulan por carreta o por ciudad como las maquinarias de construcción, uso agrícola, embarcaciones, entre otras. Las emisiones de este tipo de fuentes son principalmente un producto de la combustión y evaporación de los combustibles utilizados, así como del desgaste tanto de los frenos como de las llantas (INECC, 2010b).

4. Fuentes fugitivas: Consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como la construcción y demolición, entre otras. El MP asociado a este tipo de fuentes corresponde principalmente a partículas

gruesas, siendo prácticamente el 90% mayores a 2.5 μm . Las emisiones fugitivas también tienen un origen natural, debido a la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos: la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013).

Tabla 1. Clasificación de fuentes de emisión.

| CLASIFICACIÓN DE FUENTES EMISORAS | | | |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo | Contaminantes | Subtipo | Ejemplo de actividades |
| Fuentes fijas | MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO _x y NO _x | Areales | Calefacción residencial, quemas agrícolas e incendios forestales. |
| | | Puntuales (industria) | Generación eléctrica, procesos industriales como combustión en calderas generadoras de vapor y hornos industriales, y otros procesos industriales como la fabricación de cemento. |
| Fuentes fugitivas | MP ₁₀ , MP _{2.5} | Polvo suspendido | Construcción de edificios. Calles sin pavimentar. |
| Fuentes móviles | MP ₁₀ , MP _{2.5} , NO _x , COV y SO _x | En ruta | Buses, camiones, vehículos particulares, vehículos comerciales, taxis y motocicletas. |
| | | Fuera de ruta | Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos. |

Fuente: Jorquera (2014)

2.4. La meteorología y sus parámetros

La meteorología es la encargada de todos los fenómenos que suceden en las capas bajas de la atmósfera en un periodo corto. La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen en cada instante, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo (Burgos & Tejeiro, 2019).

Por otra parte, como la atmósfera es el entorno donde se generan y se dispersan todos los contaminantes, dependen en gran cantidad de las condiciones meteorológicas. Por ende, para desarrollar actividades como la planificación de la calidad del aire, es fundamental entender la meteorología con la contaminación del aire y su influencia en la dispersión de

los contaminantes. Los planificadores emplean este conocimiento para ubicar las estaciones de monitoreo del sistema de vigilancia de calidad del aire y para desarrollar planes de implementación orientados al cumplimiento de los estándares de calidad del aire en exteriores (Burgos & Tejeiro, 2019).

- 1. Temperatura:** La temperatura es un parámetro que representa el calor, o transferencia de energía térmica. Definiéndola también como una medida de la energía cinética relacionada con el movimiento aleatorio de las partículas que componen el sistema. Por otro lado, cuando se tiene una diferencia de temperatura, la energía tiende a transferirse del sistema de mayor temperatura que al de menor temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico. En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de la temperatura es Kelvin. Sin embargo, también son utilizadas otras escalas de temperatura, como la escala Celsius (o centígrada), y, en los países anglosajones, la escala Fahrenheit. (Burgos & Tejeiro, 2019)
- 2. Viento:** El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire, ocasionado por las distintas presiones atmosféricas, otorgadas por las distintas temperaturas o la desigual distribución del calentamiento solar sobre la superficie terrestre; este, presenta variaciones significativas en el tiempo y en el espacio a lo que se le define como velocidad del viento. Por otro lado, la dirección del viento es hacia donde se dirige este; Por ejemplo, un viento del oeste sopla del oeste, 270° a partir del norte; un viento del norte sopla desde una dirección de 360° . Las distintas direcciones del viento están referidas a la rosa de los vientos que señala los puntos cardinales y pueden presentarse en 4, 8, 12 y 16 rumbos (Burgos & Tejeiro, 2019).

2.4.1. Tipo de zonas de dispersión

- a. Zonas urbanas:** Los edificios frenan los movimientos del aire y crean turbulencias: Las propias actividades urbanas (industria, tráfico, calefacciones, etc.) generan calor y se crea un microclima denominado isla de calor. En la periferia de la ciudad, la temperatura es más fría. Se dificulta la dispersión de los contaminantes, formando las cúpulas de contaminación. Estas situaciones se ven incrementadas en situaciones anticiclónicas y que pueden ser dispersadas por efecto de las lluvias y los vientos (Centro Europeo de Postgrado, 2020).

b. Zonas con vegetación: Las zonas con vegetación hacen que disminuya o frene la velocidad del viento y provocan y facilitan la deposición de los contaminantes (Centro Europeo de Postgrado, 2020).

- La vegetación absorbe CO₂ (actúa como sumidero).
- Fija los óxidos de azufre, oxigenándose el SO₂, dando lugar a sulfatos.
- El plomo se acumula sin transformarse en las plantas, eliminándolos de la atmósfera.

2.5. Dispersión atmosférica

Se denomina “dispersión atmosférica” al proceso que transporta y mezcla los contaminantes en el aire. La dispersión de los contaminantes en la atmósfera depende del viento, de la elevación de la pluma y de la turbulencia del aire. Los contaminantes, luego de ser emitidos a la atmósfera, se diluyen debido a su mezcla con el aire limpio, generando plumas que un tiempo después de su emisión y, en la mayoría de los casos, son casi horizontales (Venegas & Mazzeo, 2012).

Esta dispersión está influenciada significativamente por la variabilidad de la dirección del viento. Si la dirección del viento es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores (Venegas & Mazzeo, 2012).

El viento también desempeña un papel significativo en el transporte y dilución de los contaminantes. Cuando su velocidad aumenta, mayor es el volumen de aire que se desplaza por unidad de tiempo, por la zona donde está localizada una fuente de emisión de contaminantes. En consecuencia, la concentración disminuye si la emisión es constante (Venegas & Mazzeo, 2012).

La velocidad del viento afecta el tiempo de recorrido de los contaminantes entre la fuente y los receptores. Cuando los contaminantes son emitidos desde las fuentes, con impulso vertical y calor, la elevación de estos también está afectada por la velocidad del viento (Venegas & Mazzeo, 2012).

2.6. Estándares de calidad de aire en el Ecuador

Los estándares que rigen en el Ecuador son los de la OMS y los límites permisibles determinados por el texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente (TULSMA), para así de esta manera salvaguardar la salud de las personas y la calidad del medio ambiente.

2.6.1. Calidad de Aire según el TULSMA

La normativa ambiental encargada de la calidad del aire vigente en el Ecuador es el TULSMA, emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2, del 31 de marzo de 2003, última modificación 29 de marzo de 2017, misma en la que se determinan los límites máximos permisibles (LMP) para la atmósfera de diversos contaminantes durante un tiempo determinado (MAE, 2017).

En el TULSMA, los valores de LMP de concentración de PM presentes en la atmósfera se encuentran en el libro VI, anexo 4 (MAE, 2017), como se muestra en el **Anexo 8.1**.

2.6.2. Calidad de Aire según la OMS

La norma internacional vigente sobre la calidad del Aire es la de la OMS como se muestra en el **Anexo 8.2.**, y las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales referentes a:

- Partículas (PM)
- Ozono (O₃)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂), en todas las regiones (OMS, 2018).

2.7. Efectos del PM sobre la salud

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

Los efectos sobre la salud pueden adoptar diversas formas, desde enfermedad pulmonares y respiratorias agudas hasta enfermedades crónicas como bronquitis crónica, cáncer,

enfisema pulmonar o asma, así mismo, síntomas desfavorables generales e irritaciones, lo que, en consecuencia, la contaminación del aire hace que exista una mortalidad alta (Kurt, Zhang, & Pinkerton, 2016).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de estudio

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

El lugar presenta un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo a húmedo, las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 5 a 13 °C, la humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 y el 85 % y las precipitaciones anuales fluctúan entre 3.9 y 129.8 mm (GADM Santiago de Calpi, 2015).

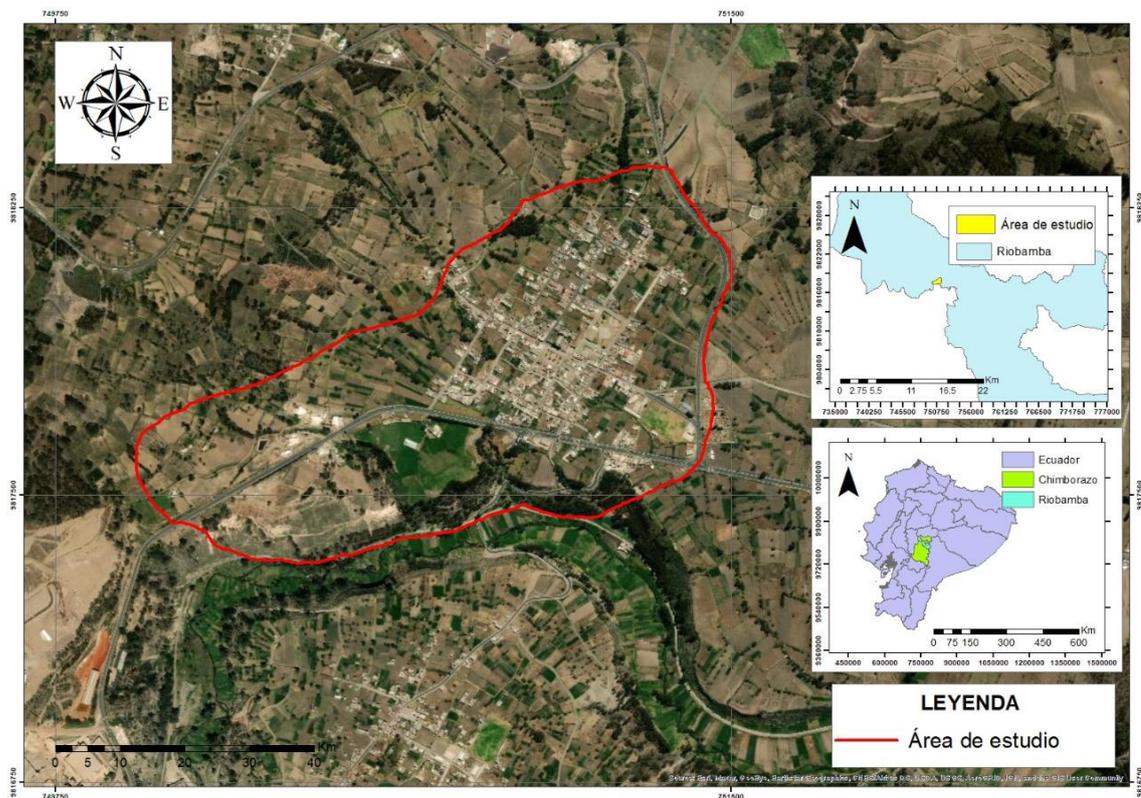


Figura 2. Zona de estudio cabecera parroquial de Santiago de Calpi
Elaboración. Autores (2020)

La segunda área de estudio fue el barrio los Pinos perteneciente a la parroquia urbana Juan de Velasco (**Figura 3**), ubicado en la ciudad de Riobamba en las coordenadas: latitud

1°38'51" S y longitud: 78°40'59" W. La ciudad se encuentra en la región Sierra, centro del Ecuador a 2850 msnm; llega a registrar una temperatura media de 14 °C y cuenta con un clima frío característico de las ciudades de esta zona (GADM Riobamba, 2014).

Esta zona posee una temperatura ambiente media registrada durante todo el año es de 13.4 °C, la humedad relativa en la zona es de 63.1%, la velocidad del viento es de 2.1 m/s, su precipitación atmosférica es de 564.5 mm y una presión atmosférica de 1023 mmHg.

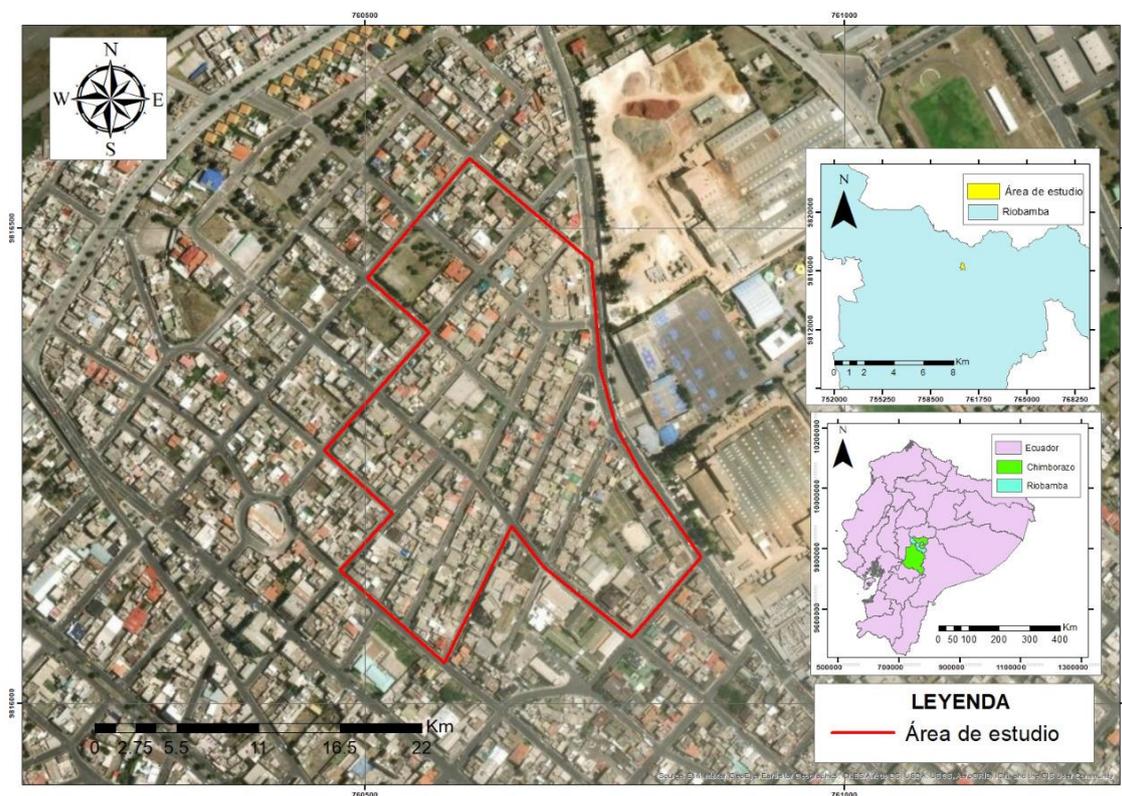


Figura 3. Zona de estudio del barrio Los Pinos

Elaboración. Autores (2020)

3.2. Análisis comparativo de PM sedimentable

En el análisis comparativo del PM sedimentable se extraerá datos de los estudios realizados por (Andi & Vega, 2019) y (Ortiz & Tigsi, 2020) a través de la elaboración de tablas de comparación de datos de concentración de PMS y análisis molecular de PMS de cada uno de los sectores con la ayuda del software estadístico MINITAB para después realizar una prueba de Tukey al 5% (Fallas, 2012) donde se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado (MINITAB, 2018) a través de esto podemos determinar cuál es la diferencia que existe en cada sector de acuerdo con la cantidad y composición de PM sedimentable de cada

muestra tomada, con esto se podrá esclarecer que industria tendría más incidencia en la contaminación atmosférica del lugar.

3.3. Simulación de la dispersión de PM sedimentable

Para la simulación, se obtendrán datos de PM sedimentable de los estudios realizados, además de datos de la velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas a las áreas de estudio como son la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), DAC (Dirección de Aviación Civil), la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo) y San Juan (**Anexos 8.3 y 8.4**), para que con la ayuda del método de interpolación Kriging (SIG) (Lara Basantes, 2018), se pueda obtener un ráster (Pucha, 2012) el cual nos servirá para identificar la velocidad y la dirección del viento se empleará la herramienta Fishnet que nos permite crear capas vectoriales de parcelas que podemos emplear para sectorizar el área de estudio (GisBeers, 2016), posterior a esto se generará una extracción de valores por puntos de acuerdo a los sitios de monitoreo de PMS de los estudios que se realizará el análisis comparativo, para poder así generar la simulación del mismo.

3.4. Análisis comparativo de PM volátil

En el análisis comparativo del PM volátil se extraerá datos de los estudios realizados través de la elaboración de tablas de comparación de datos de concentración de PMV de cada uno de los sectores con la ayuda del software estadístico MINITAB para después realizar una prueba de Tukey al 5% (Fallas, 2012) donde se utiliza en ANOVA para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado (MINITAB, 2018) a través de esto podemos determinar cuál es la diferencia que existe en cada sector de acuerdo con la cantidad de PM volátil de cada muestra tomada, con esto se podrá esclarecer que industria tendría más incidencia en la contaminación atmosférica del lugar.

3.5. Simulación de la dispersión de PM volátil

Para la simulación, se obtendrán datos de PM volátil de los estudios realizados, además de datos de la velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas a las áreas de estudio como son la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), DAC (Dirección de Aviación Civil), la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo) y San Juan (**Anexos 8.3 y 8.4**), para que con la ayuda del método de

interpolación Kriging (SIG) (Lara Basantes, 2018), se pueda obtener un ráster (Pucha, 2012), el cual nos servirá para identificar la velocidad y dirección del viento se empleara la herramienta Fishnet que nos permite crear capas vectoriales de parcelas que podemos emplear para sectorizar el área de estudio (GisBeers, 2016), posterior a esto se generará una extracción de valores por puntos de acuerdo a los sitios de monitoreo de PMV de los estudios que se realizará el análisis comparativo, para poder así generar la simulación del mismo.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran la concentración del material particulado sedimentable y volátil, que se tomaron en los sectores de Calpi y barrio Los Pinos los cuales están delimitados por un área de estudio y siete puntos de monitoreo (**Anexos 8.5 y 8.6**) como se observa en las **Figuras 4 y 5**.

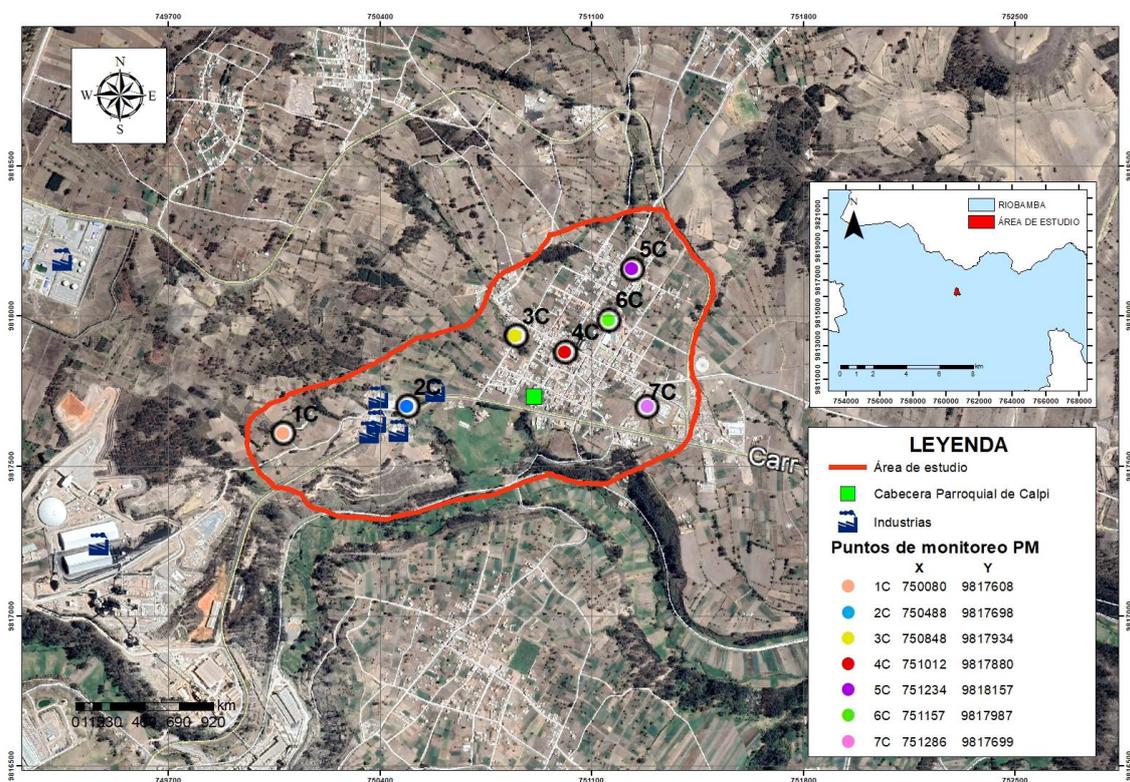


Figura 4. Puntos de monitoreo de PMS y PMV en Calpi
Elaboración. Autores (2020)

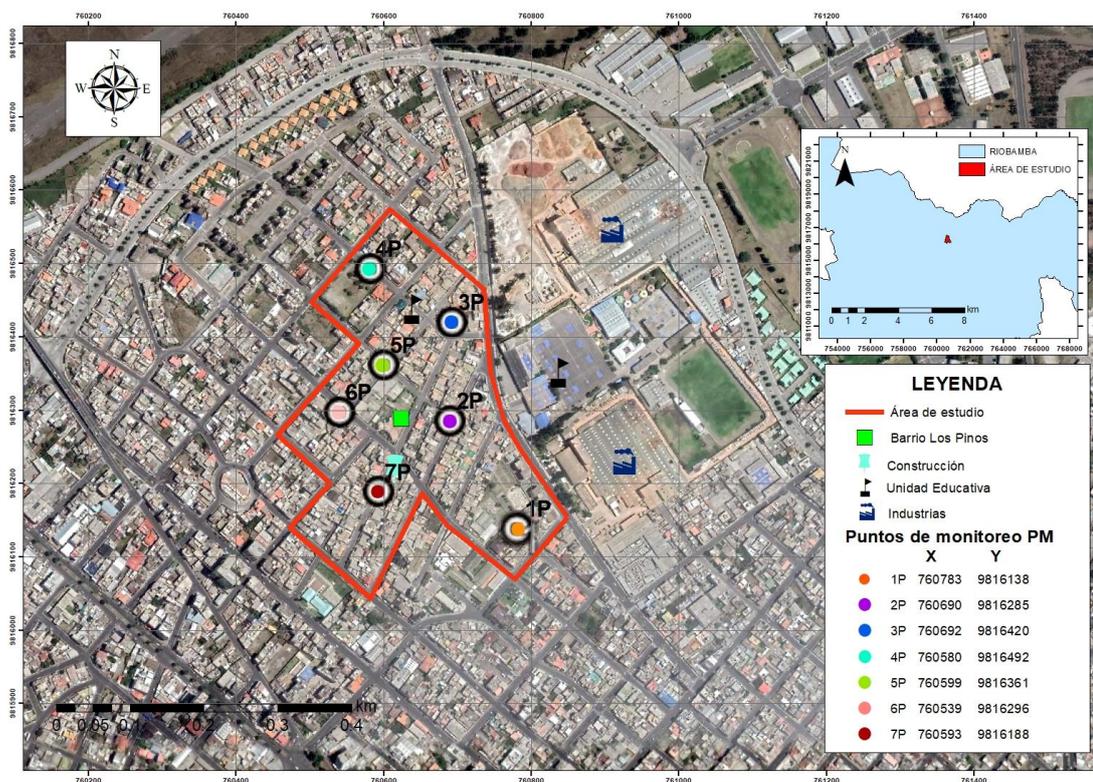


Figura 5. Puntos de monitoreo de PMS y PMV en el barrio Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

También se realizó el análisis descriptivo con referencia a los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA, composición química del PMS, análisis estadístico, simulación de la dispersión del PMS y PMV y la discusión de los resultados en relación con las industrias locales.

4.1. Concentración y análisis descriptivo del PMS

Al analizar la información de los siete puntos de monitoreo del PMS de los dos sectores de estudio (**Anexo 8.7**), se obtuvieron los datos correspondientes de peso para cada punto y se muestra LMP establecidos por el TULSMA y la OMS respectivamente en las **Tablas 2 y 3**, donde se obtuvo un promedio de 0.38 mg/cm²/mes del sector de Calpi en el periodo noviembre-diciembre de 2018 siendo así, que este valor no sobrepasa los LMP propuesto por la OMS y el TULSMA, y en el barrio los Pinos un valor de 3.80 mg/cm²/mes en el periodo julio-agosto 2019, donde dicho valor sobrepasa los límites permisibles establecidos por la OMS y TULSMA.

Tabla 2. Comparación de valores de PMS de Calpi con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA

| PUNTOS | PMS (mg/cm ² /mes) CALPI | LMP OMS (mg/cm ² /mes) | PERMISIBLE | LMP TULSMA (mg/cm ² /mes) | PERMISIBLE |
|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|
| 1C | 0.54 | 0.5 | NO | 1 | SI |
| 2C | 1.13 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 3C | 0.32 | 0.5 | SI | 1 | SI |
| 4C | 0.18 | 0.5 | SI | 1 | SI |
| 5C | 0.10 | 0.5 | SI | 1 | SI |
| 6C | 0.17 | 0.5 | SI | 1 | SI |
| 7C | 0.22 | 0.5 | SI | 1 | SI |
| PROMEDIO | 0.38 | 0.5 | SI | 1 | SI |

Elaboración. Autores (2020)

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

| PUNTOS | PMS (mg/cm ² /mes) LOS PINOS | LMP OMS (mg/cm ² /mes) | PERMISIBLE | LMP TULSMA (mg/cm ² /mes) | PERMISIBLE |
|-----------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|
| 1P | 0.62 | 0.5 | NO | 1 | SI |
| 2P | 1.90 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 3P | 6.10 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 4P | 2.52 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 5P | 3.58 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 6P | 2.46 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| 7P | 9.40 | 0.5 | NO | 1 | NO |
| PROMEDIO | 3.80 | 0.5 | NO | 1 | NO |

Elaboración. Autores (2020)

En la **Figura 6**, se observa la comparación de valores de PMS de Calpi y barrio Los Pinos con los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y TULSMA, donde se identifica que los puntos de monitoreo del 2 al 7 de Los Pinos sobrepasan los LMP de la norma nacional e internacional y el punto 1 con una concentración de 0.62 mg/cm²/mes es el único que cumple con la normativa del TULSMA. En el sector de Calpi sucede lo contrario los puntos del 3 al 7 cumplen con los LMP establecidos y el punto 2 con 1.13 mg/cm²/mes no cumple con la normativa de la OMS y TULSMA. Con estos datos es evidente que existe una mayor contaminación por material particulado sedimentable en el barrio Los Pinos ya que en la mayoría de los puntos de monitoreo sus valores están fuera del rango de los límites establecidos.

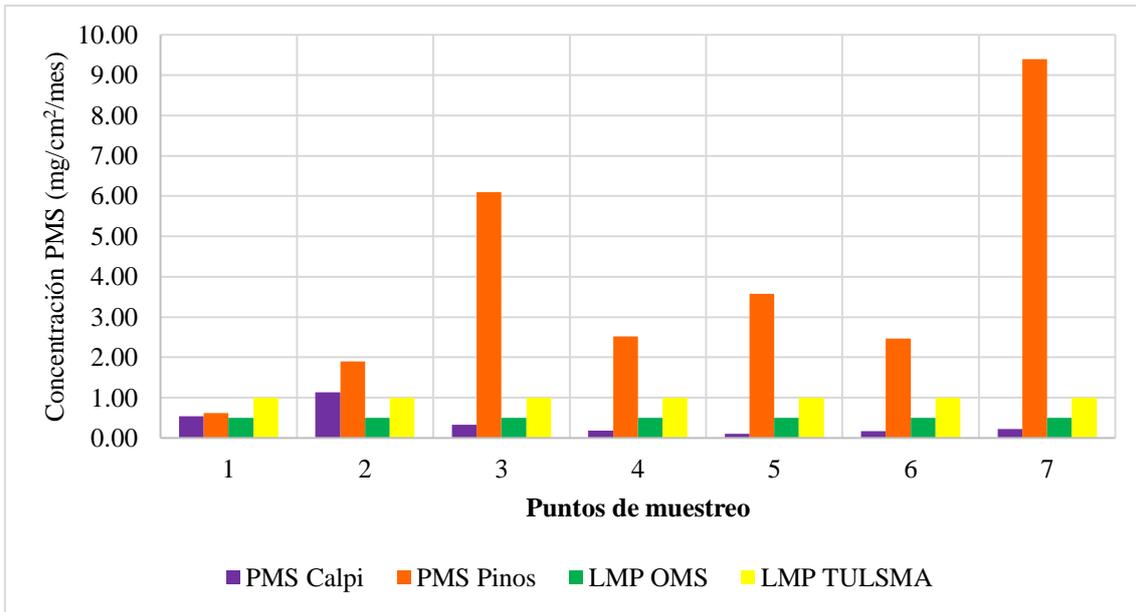


Figura 6. Comparación de valores de PMS de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA
Elaboración. Autores (2020)

4.2. Análisis estadístico comparativo de PMS

A través del software estadístico MINITAB se realizó la prueba Tukey al 5% con los datos de los sectores que son parte del estudio (**Anexos 8.8 y 8.9**); en la **Figura 7** se observa el diagrama de cajas indicando que en el sector de Calpi existe una homogeneidad en los datos ya que no son dispersos además se presenta un valor atípico de 1.13 mg/cm²/mes en el punto 2 de monitoreo el cual está ubicado cerca de una industria, a diferencia del barrio Los Pinos que el diagrama de cajas es mucho más amplio lo que indica que los valores de concentración son más dispersos.

Cada sector está representado por letras como se indica en la **Figura 7**, Los Pinos la letra A y Calpi la letra B demostrando que existen valores significativos es decir que la concentración de PMS es diferente en cada zona de estudio. (Bazán, 2010)

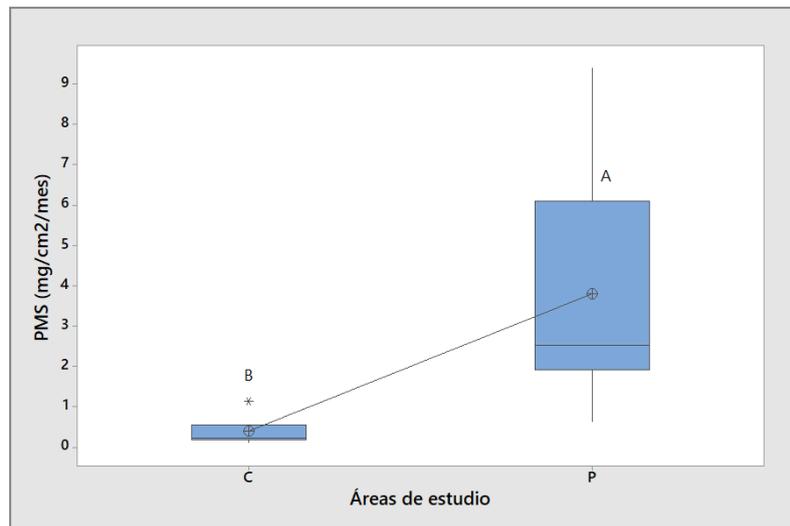


Figura 7. PMS de Calpi y Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

En la **Tabla 4** a través de los datos de concentración de PMS de ambos sectores se determinó un valor medio de 2.089 mg/cm²/mes y una mediana de 0.874 mg/cm²/mes; el valor máximo es de 9.4 mg/cm²/mes que corresponde a Los Pinos y el valor mínimo de 0.102 mg/cm²/mes del sector de Calpi. La desviación estándar es de 2.71 mg/cm²/mes lo que indica que existe una dispersión significativa entre cada sector de monitoreo (Bazán, 2010).

Tabla 4. Prueba de Tukey, análisis estadístico PMS

| VARIABLE | Media | Desviación Estándar | Mínimo | Mediana | Máximo |
|-------------------------------|-------|---------------------|--------|---------|--------|
| PMS (mg/cm ² /mes) | 2.089 | 2.71 | 0.102 | 0.874 | 9.4 |

Elaboración. Autores (2020)

4.3. Composición química del PMS

Tomando los datos del análisis morfológicos de (Andi & Vega, 2019) y (Ortiz & Tigsi, 2020) en la **Tabla 5** de composición química del PMS de ambos sectores los elementos químicos mayoritarios de la zona de Calpi son el O con 37.05 %, el C con 20.81%, el Sb con 20.18 % y el Rb con 9.92 % indicando que existe una quema de combustibles fósiles como son el carbón, gas y petróleo (Durán & Moscoso, 2018), esto tiene relación ya que en los alrededores de cada uno de los puntos de monitoreo existe la presencia de industrias cementeras y caleras además de la cercanía a la vía principal y existe tráfico vehicular. Además, se observa que el Ca tiene un 17.25% y el Si un 6.63% lo que corresponde a

que estos elementos provienen del suelo relacionando la zona de estudio con areniscas y conglomerados, y las industrias de cal (Fernández, 2017).

En el caso del barrio Los Pinos en la **Tabla 5** también se indican los elementos químicos con mayor porcentaje, donde el O tiene un 55.09% y el Si un 23.19.5% siendo los elementos en común de todos los puntos de monitoreo, el Al y Na con 9.69% y 3.42% respectivamente lo que nos indica la presencia de arcillas y feldspatos. En el caso del Ta con 21.37% y W con 10.88% son compuestos que se utilizan en los desengrasantes para evitar la elasticidad de las arcillas. Todos los elementos encontrados en el PMS de este sector forman arcillas, fedelpastos, cuarzo, calcita y piritita que provienen del material utilizado por la industria presente en el sector (Mejía Garcés, 2016); es importante mencionar que la presencia de Si en ambos sectores ya que según estudios realizados se asocia al cáncer de pulmón en los lugares de trabajo donde existe contacto con el silicio cristalino (de Vicente, Díaz, Hervás, & Guisasola, 2014).

Tabla 5. Elementos químicos mayoritario en el PMS

| ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS | | | | | |
|----------------------------------------|----------------|----------|------------------|----------------|----------|
| CALPI | | | LOS PINOS | | |
| Elemento | Símbolo | % | Elemento | Símbolo | % |
| Oxígeno | O | 37.05 | Oxígeno | O | 55.09 |
| Carbono | C | 20.81 | Silicio | Si | 23.19 |
| Antimonio | Sb | 20.18 | Tantalio | Ta | 21.37 |
| Calcio | Ca | 17.25 | Aluminio | Al | 9.69 |
| Rubidio | Rb | 9.92 | Wolframio | W | 10.88 |
| Silicio | Si | 6.63 | Sodio | Na | 3.42 |

Elaboración. Autores (2020)

En la composición química del PMS de cada uno de los sectores tomamos los datos de los elementos que son más relevantes y se encuentran en un mayor porcentaje que se indica en los **Anexos 8.10 y 8.11**, con la ayuda de esta información se realizó un mapa para cada sector, Calpi (**Figura 8**) y barrio Los Pinos (**Figura 9**), en los cuales se indica el elemento químico más predominante en cuanto a porcentaje de concentración en cada punto de muestreo, esto se relaciona a la ubicación y cercanía a lugares como industrias, construcciones o vías de alto tráfico, que fueron ya explicados anteriormente.

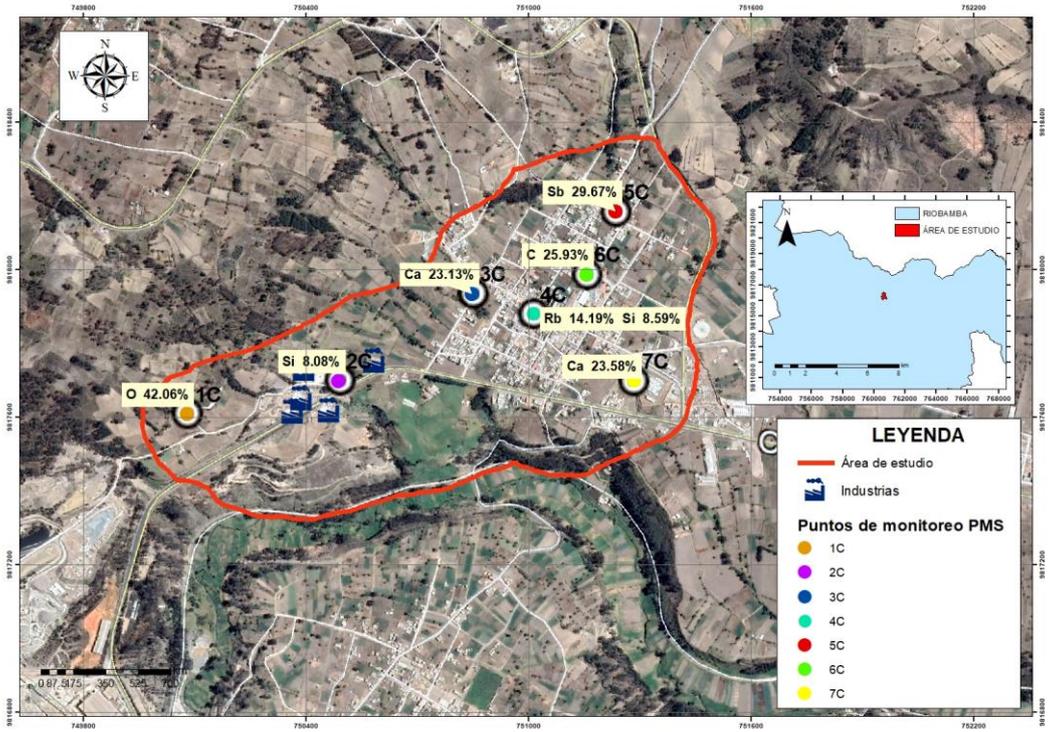


Figura 8. Composición química PMS en la cabecera parroquial de Calpi
Elaboración. Autores (2020)

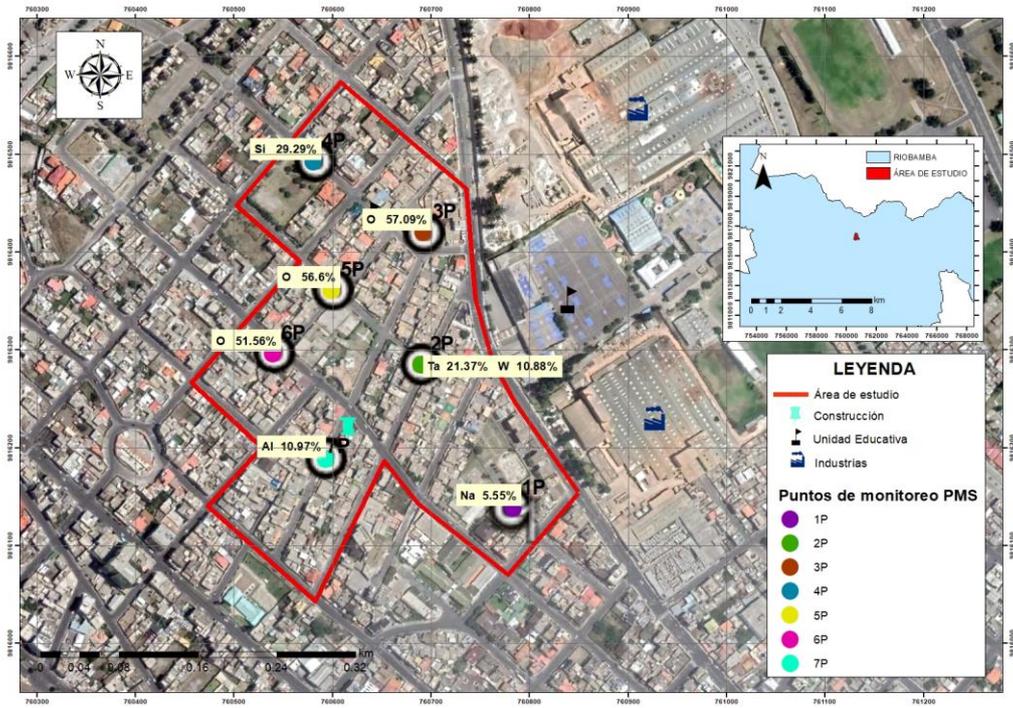


Figura 9. Composición química PMS en el barrio Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

4.4. Simulación de la dispersión del PMS

Se elaboró 2 mapas de simulación de la dispersión y concentración de PMS en ambos sectores, Calpi y Los Pinos durante el período noviembre-diciembre de 2018 y julio-agosto 2019 respectivamente. En los mapas se proyectó de dirección y velocidad del viento, trabajando con coordenadas en X y Y, con datos que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más cercanas a las áreas de estudio como son la ESPOCH (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), DAC (Dirección de Aviación Civil), la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo) y San Juan. La velocidad del viento está dada en unidades de m/s y la dirección del viento grados ($^{\circ}$), lo que nos indica el movimiento que tiene el PMS.

En la **Figura 10** tenemos el modelo de dispersión PMS en la cabecera parroquial de Calpi donde se indica que la concentración con el valor más alto es en el punto 2C con 1.13 mg/m²/mes ya que a su alrededor existen industrias cementeras y caleras (GADM Santiago de Calpi, 2015), la zona de monitoreo del punto 1C es la que sigue en el rango de concentración con 0.54 mg/m²/mes en esta zona existe una incidencia del PMS por la cercanía a la Panamericana Sur. El punto 3C de monitoreo tiene una concentración media de 0.32 mg/m²/mes y los puntos 4C, 5C, 6C y 7C son los que poseen la concentración más baja ya que no existe una influencia industrial y existe una mayor cobertura vegetal a sus alrededores (Lozano, 2020).

En esta zona la dirección del viento es noreste y la velocidad promedio es de 1.667 m/s, al ser una zona rural la dispersión del contaminante es mayor y solo existe un punto de concentración máxima del PMS.

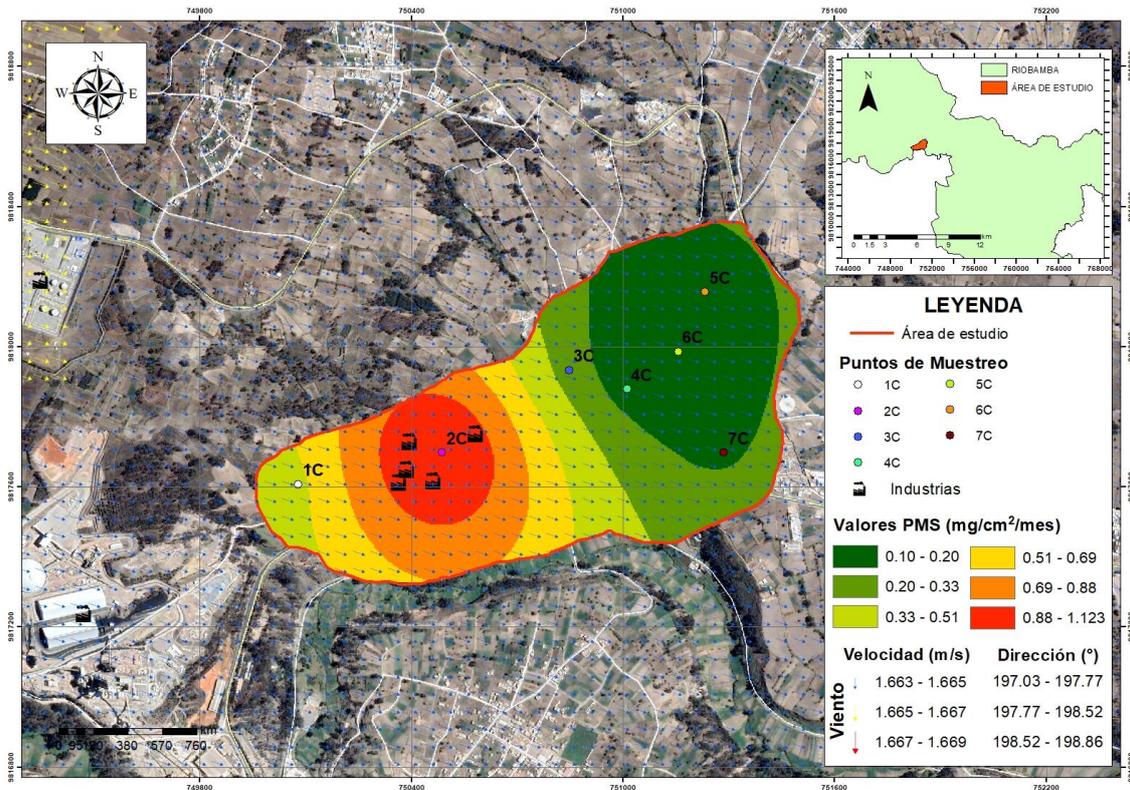


Figura 10. Modelo de dispersión PMS en la cabecera parroquial de Calpi
Elaboración. Autores (2020)

En la **Figura 11** se visualiza el modelo de dispersión PMS del barrio Los Pinos donde tenemos que el punto 7P es el que tiene una mayor concentración con 9.4 mg/cm²/mes y esto es por su cercanía a una construcción, seguido del punto 3P con valor de 6.1 mg/cm²/mes; en este sector la influencia por las industrias no es evidente ya que los puntos con los valores más altos no son tan cercanos a estas, en el punto 5P tenemos una concentración intermedia de 3.58 mg/cm²/mes y los puntos de monitoreo con menor concentración son el 1P, 2P, 4P y 6P. En esta zona de estudio la dirección del viento es suroeste y velocidad un promedio de 2.08 m/s esto influye mucho en la concentración y dispersión del PMS; además que la cobertura vegetal juega un papel muy importante ya que este sector está ubicado en una zona urbana donde no existe muchas zonas verdes las cuales ayudan a retener este contaminante y también influyen para que la dispersión se de en una menor extensión (Lozano, 2020).

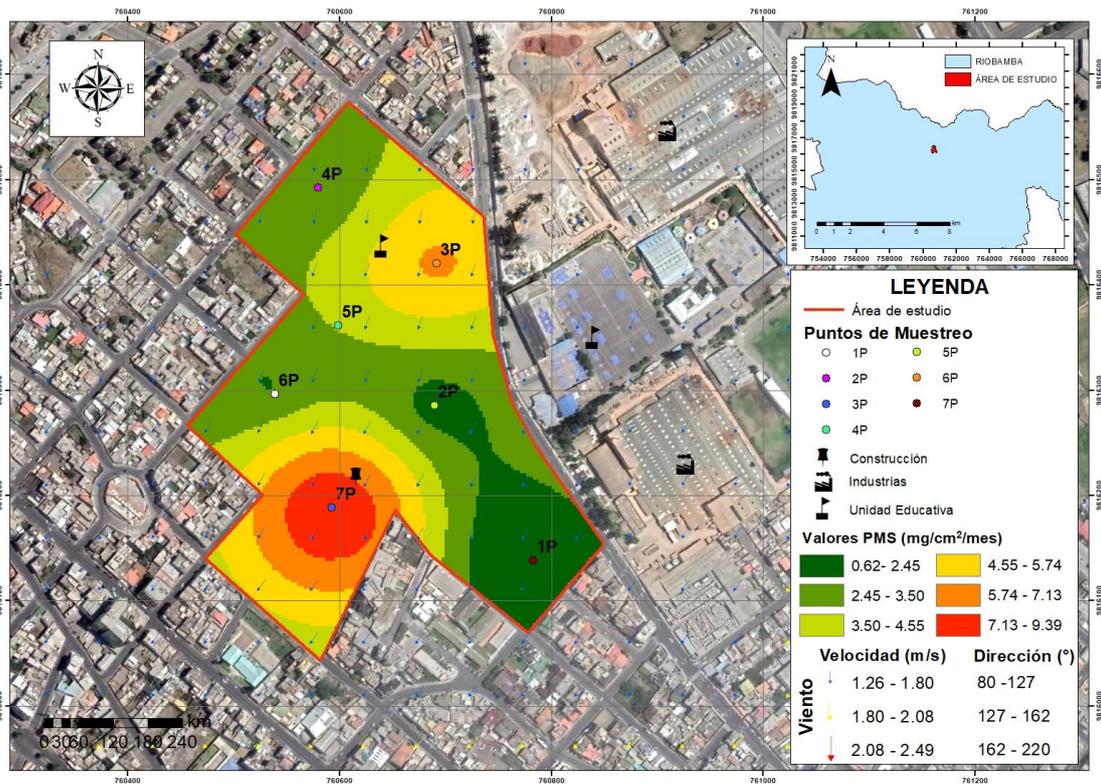


Figura 11. Modelo de dispersión PMS en el barrio Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

4.5. Concentración y análisis descriptivo PMV

Es necesario explicar las concentraciones de cada uno de los lugares de estudio con respecto a los límites máximos permisibles de la normativa ambiental internacional OMS y nacional TULSMA vigente (**Anexo 8.12**).

CALPI

En la **Tabla 6**, se presentan los valores de $PMV_{2.5}$ de cada punto de monitoreo del área de estudio, mismos que a su vez son comparados con la normativa ambiental internacional vigente, es decir, la OMS donde podemos verificar que existe un cumplimiento en casi todos los puntos excepto en el punto 2C de monitoreo, así también los valores son comparados con la normativa nacional vigente que es el TULSMA donde se repite el mismo caso donde el único punto que no cumple es el 2C, lo que puede relacionarse con la cercanía de las industrias al punto de monitoreo.

Tabla 6. Valores de PMV_{2.5} (µg/m³) de Calpi, comparados con TULSMA y OMS

| Puntos | PMV _{2.5} (µg/m ³) CALPI | LMP OMS (µg/m ³) | LMP | | |
|--------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| | | | PERMISIBLE | TULSMA (µg/m ³) | PERMISIBLE |
| 1C | 15.41 | 25 | SI | 50 | SI |
| 2C | 155.86 | 25 | NO | 50 | NO |
| 3C | 10.27 | 25 | SI | 50 | SI |
| 4C | 7.44 | 25 | SI | 50 | SI |
| 5C | 8.97 | 25 | SI | 50 | SI |
| 6C | 6.79 | 25 | SI | 50 | SI |
| 7C | 7.11 | 25 | SI | 50 | SI |

Elaboración. Autores (2020)

A continuación, tenemos los valores de PMV₁₀ (µg/m³) presentados en la **Tabla 7**, donde se comparan con los LMP de la normativa ambiental internacional vigente y a su vez con la normativa ambiental nacional vigente y se puede apreciar un cumplimiento de ambas normativas a excepción del punto de monitoreo 2C, el cual supera ambos LMP y esto podría explicarse a la presencia de industrias en las cercanías del punto de monitoreo, ya que se las considera como fuentes generadoras de PMV₁₀.

Tabla 7. Valores de PMV₁₀ (µg/m³) de Calpi, comparados con TULSMA y OMS

| Puntos | PMV ₁₀ (µg/m ³) CALPI | LMP OMS (µg/m ³) | LMP | | |
|--------|-------------------------------------------------|------------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| | | | PERMISIBLE | TULSMA (µg/m ³) | PERMISIBLE |
| 1C | 11.90 | 50 | SI | 100 | SI |
| 2C | 167.76 | 50 | NO | 100 | NO |
| 3C | 8.32 | 50 | SI | 100 | SI |
| 4C | 9.6 | 50 | SI | 100 | SI |
| 5C | 8.4 | 50 | SI | 100 | SI |
| 6C | 8.17 | 50 | SI | 100 | SI |
| 7C | 8.97 | 50 | SI | 100 | SI |

Elaboración. Autores (2020)

LOS PINOS

En la **Tabla 8**, se puede apreciar los valores de PMV_{2.5} (µg/m³) en cada uno de los puntos de monitoreo del barrio Los Pinos, mismos que son comparados con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente nacional e internacional, en donde podemos verificar que no cumple con ninguna de las dos normativas, ya que supera los

LMP que cada una rige, esto asociando a las actividades productivas que se llevan a cabo en el sector.

Tabla 8. Valores de $PMV_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) del barrio Los Pinos, comparados con LMP de TULSMA y OMS

| Puntos | PMV _{2.5} ($\mu g/m^3$) LOS PINOS | LMP OMS ($\mu g/m^3$) | PERMISIBLE | TULSMA | PERMISIBLE |
|--------|-------------------------------------------------|-------------------------------|------------|--------|------------|
| 1P | 54.71 | 25 | NO | 50 | NO |
| 2P | 55.92 | 25 | NO | 50 | NO |
| 3P | 56.45 | 25 | NO | 50 | NO |
| 4P | 55.65 | 25 | NO | 50 | NO |
| 5P | 55.85 | 25 | NO | 50 | NO |
| 6P | 56.27 | 25 | NO | 50 | NO |
| 7P | 58.15 | 25 | NO | 50 | NO |

Elaboración. Autores (2020)

En la **Tabla 9**, podemos evidenciar los valores de PMV_{10} ($\mu g/m^3$) de cada punto de muestro del área de estudio mismos que son comparados con la normativa ambiental internacional vigente de la OMS, se puede verificar que no cumple con los LMP por otro lado al ser comparados con la normativa ambiental nacional vigente es decir el TULSMA si cumple con los límites que la misma rige, esto se debe a que existen distintas actividades productivas que ayudan a superar los LMP en el área de estudio mismas que se consideran fuentes generadoras de PMV_{10} .

Tabla 9. Valores de PMV_{10} ($\mu g/m^3$) del barrio Los Pinos, comparados con LMP de TULSMA y OMS

| Puntos | PMV ₁₀ ($\mu g/m^3$) LOS PINOS | LMP OMS ($\mu g/m^3$) | PERMISIBLE | LMP TULSMA ($\mu g/m^3$) | PERMISIBLE |
|--------|---------------------------------------------------|----------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 1P | 55.97 | 50 | NO | 100 | SI |
| 2P | 58.3 | 50 | NO | 100 | SI |
| 3P | 59.39 | 50 | NO | 100 | SI |
| 4P | 56.77 | 50 | NO | 100 | SI |
| 5P | 58.41 | 50 | NO | 100 | SI |
| 6P | 57.2 | 50 | NO | 100 | SI |
| 7P | 60.82 | 50 | NO | 100 | SI |

Elaboración. Autores (2020)

Como han demostrado los resultados en la **Figura 12**, de cada punto de muestro respecto a $PMV_{2.5}$ de los sectores de estudio como es el barrio Los Pinos y Calpi, es posible determinar que solamente en el sector de Calpi se cumplen ambas normativas en casi todos los puntos de muestro, en el punto 2 que no se cumple para ningún caso esto podría deberse al alto nivel industrial dentro del lugar donde se ubica el punto de monitoreo, por otro lado en los puntos de monitoreo del barrio Los Pinos no se cumple ninguna normativa, finalmente es importante destacar las diferencias de cumplimiento de normativas entre cada uno de los sectores de estudio, ya que al presentar distintas actividades productivas, usos de suelo, demografía, ubicación geográfica, parque automotor, etc., van a presentar mayores o menores valores en los niveles de concentración de $PMV_{2.5}$, ya que cada lugar tiene distintos tipos de fuentes generadoras de contaminante.

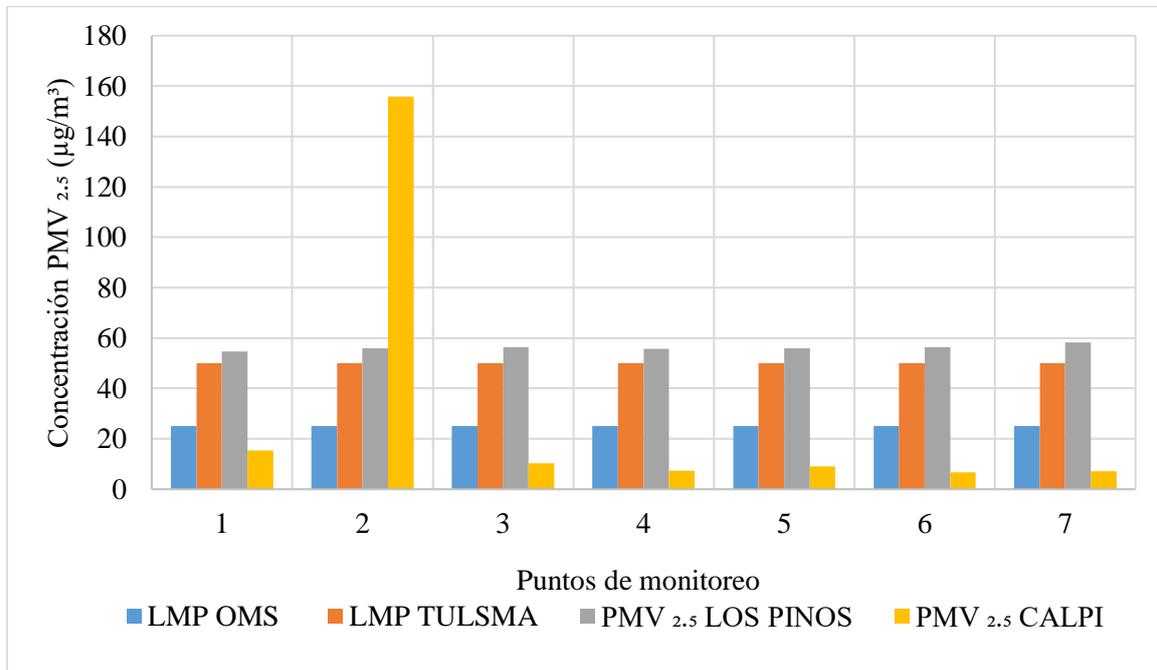


Figura 12. Comparación de valores de de $PMV_{2.5}$ de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA
Elaboración. Autores (2020)

Como han demostrado los resultados en la **Figura 13**, de cada uno de los puntos de muestro respecto al PMV_{10} de los sectores de estudio como es el barrio Los Pinos y Calpi, es posible determinar que solamente en el sector de Calpi se cumplen ambas normativas en casi todos los puntos de muestro, ya que en el punto 2 no se cumple para ningún tipo de normativa esto debido a la incidencia industrial dentro del lugar donde se encuentra el punto de monitoreo, por otro lado en los puntos de monitoreo del barrio Los Pinos no se

cumple con la normativa de la OMS pero si con la del TULSMA, esto podría explicarse a que el rango de concentración con respecto al LMP del TULSMA es bajo; finalmente es importante destacar las diferencias de cumplimiento de normativas entre cada uno de los sectores de estudio, ya que al presentar distintas actividades productivas, usos de suelo, demo geografía, ubicación geográfica etc., van a presentar valores mayores o menores de concentración de PMV_{10} , ya que cada lugar tienen distintos tipos de fuentes generadoras de este contaminante.

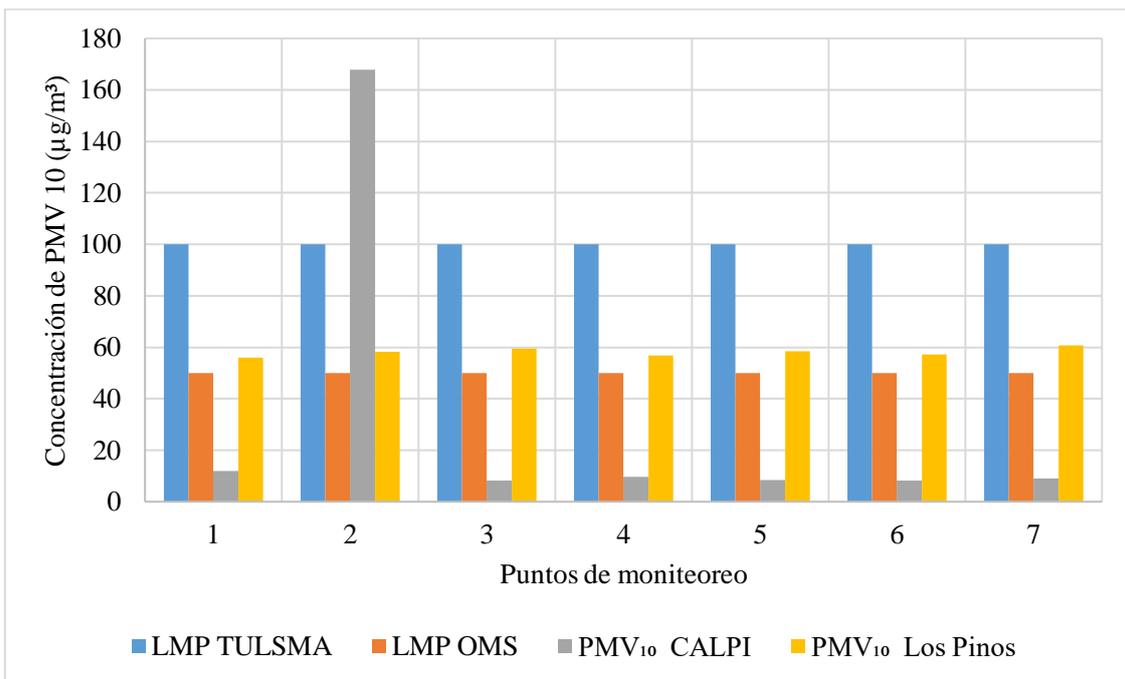


Figura 13. Comparación de valores de de PMV_{10} de Calpi y del barrio Los Pinos con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA

Elaboración. Autores (2020)

4.6. Análisis estadístico comparativo de PMV

Los valores de PMV para el análisis realizado por medio de un software estadístico aplicando la prueba Tukey con un 5% de error, se obtuvieron para el sector de Los Pinos y para el sector de Calpi (**Anexos 8.13, 8.14, 8.15, y 8.16**).

Análisis Comparativo de $PMV_{2.5}$

En la **Tabla 10** se evidencia que no existen diferencias significantes entre los grupos de datos de cada uno de los sectores de estudio, también se puede apreciar que la desviación estándar en el sector de Calpi es mayor con respecto a la desviación estándar (Rojano, Angulo, & Restrepo, 2015) que se presenta en el barrio Los Pinos, esto puede explicarse

con los niveles de concentración en cada punto de monitoreo y las diferencias entre cada uno de los sectores, tanto demográficas, geográficas, económicas, políticas, etc.

Tabla 10. Prueba de Tukey Análisis estadístico comparativo de $PMV_{2.5}$

| SECTOR | N | Media | Significancia | Desviación Estándar |
|-----------|---|-------|---------------|---------------------|
| Calpi | 7 | 30.3 | A | 55.5 |
| Los Pinos | 7 | 56.14 | A | 1.05 |

Elaboración. Autores (2020)

En la **Figura 14**, es posible evidenciar que entre cada uno de los sectores no existen diferencias significativas entre la dispersión de datos por lo que puede decirse que existe homogeneidad (Salini Calderón & Medina Mitma, 2017), más bien es posible constatar que en el sector de Los Pinos existe una menor dispersión de los valores de concentración en cuanto a los puntos de monitoreo mientras por otro lado en el Calpi existe gran dispersión únicamente en 1 punto de monitoreo, esto podría ser evidencia de la influencia del parque automotor en cada uno de los sectores, ya que en el barrio Los Pinos al ser una zona urbana se puede encontrar mayor actividad automovilística (Centro Europeo de Postgrado, 2020) con respecto a Calpi que es una zona urbana; lo cual se puede reconocer como una fuente móvil generadora de $PMV_{2.5}$ (Jorquera, 2014) y a esto también hay que añadir las distintas actividades productivas que se llevan a cabo en cada sector.

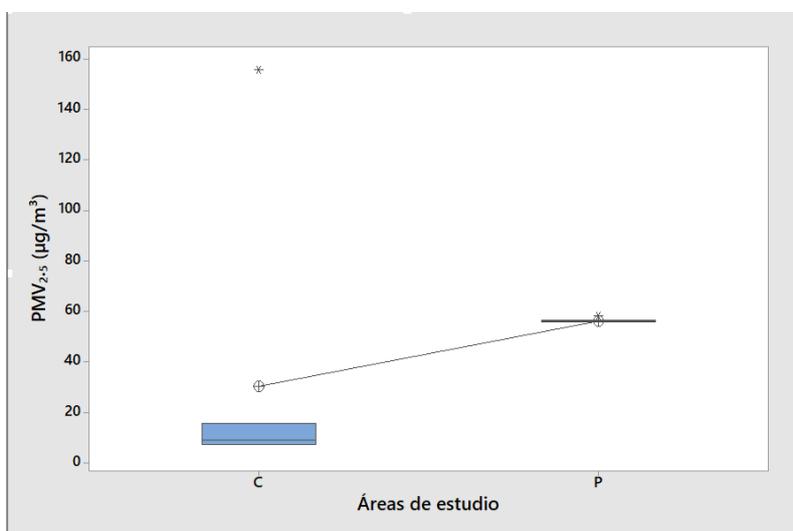


Figura 14. $PMV_{2.5}$ de Calpi y Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

Análisis Comparativo de PMV₁₀

En la **Tabla 11**, se muestra que no existen diferencias significativas entre los grupos de datos de cada uno de los sectores de estudio por lo que podrían decirse homogéneos (Salini Calderón & Medina Mitma, 2017), también es posible evidenciar que la desviación estándar en el sector de Calpi es mayor con respecto a la desviación estándar que se presenta en el barrio Los Pinos, esto puede explicarse con los niveles de concentración en cada punto de monitoreo y las diferencias entre cada uno de los sectores, tanto estructurales, demográficas, geográficas, económicas, políticas, agronómicas, etc (Centro Europeo de Postgrado, 2020).

Tabla 11. Prueba de Tukey, Análisis estadístico comparativo de PMV₁₀

| SECTOR | N | Media | Significancia | Desviación Estándar |
|------------------|----------|--------------|----------------------|----------------------------|
| Calpi | 7 | 31.9 | A | 59.9 |
| Los Pinos | 7 | 58.12 | A | 1.65 |

Elaboración. Autores (2020)

Se puede apreciar que entre el sector de Los Pinos y el sector de Calpi existe homogeneidad (Salini Calderón & Medina Mitma, 2017), entre los valores de la concentración de los puntos de monitoreo de PMV₁₀ como se muestra en la **Figura 15**, mientras que en el sector de Calpi existe gran variación del valor de la concentración únicamente en 1 punto de monitoreo, así mismo es posible evidenciar que no existe variación notable en los otros puntos de muestro de Calpi, esto se lo podría explicar con la diferencia de actividades productivas que se llevan a cabo dentro de cada uno de los lugares de estudio como así también hay que tomar en cuenta las edificaciones de cada sector, ya que esto también influye en la dispersión de contaminante (Venegas & Mazzeo, 2012).

Hay que destacar que el sector de Los Pinos como está ubicado dentro de la ciudad se pueden encontrar comercios, calles sin pavimentar, vehículos, industrias, etc. mismos que pueden ser fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos (Jorquera, 2014), por otro lado en el sector de Calpi se encuentra gran cantidad de vegetación lo cual dificulta la dispersión del contaminante (Centro Europeo de Postgrado, 2020), lo que podría explicar que no existe gran variación en los rangos de valores de contaminante.

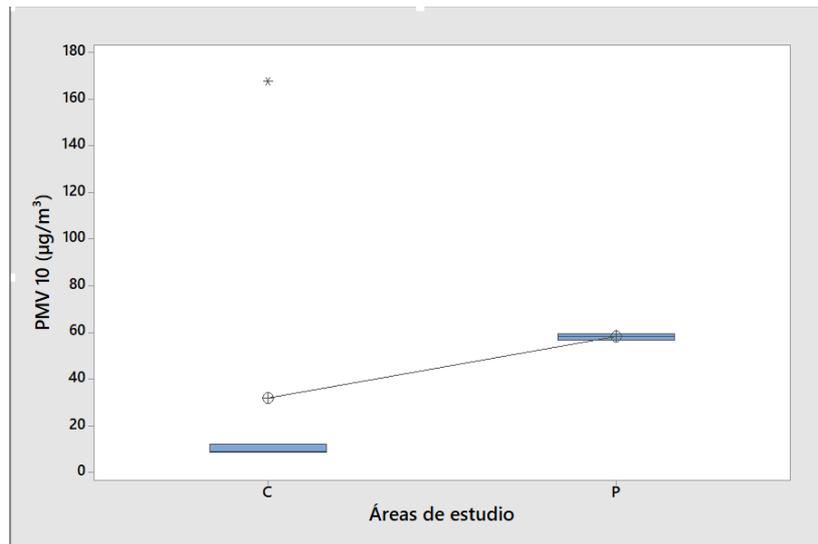


Figura 15. PMV₁₀ de Calpi y Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

4.7. Simulación de dispersión de PMV

CALPI

En la **Figura 16**, es posible evidenciar la dirección del viento la cual es sureste y con un valor de velocidad favorable para la dispersión, mínimo de 1.653 m/s y máximo de 1.688 m/s, también se puede decir que en el punto 2C es el punto con mayor presencia de PMV_{2.5}, lo cual podría deberse a la cercanía con industrias del lugar y también bajo la influencia de la velocidad y dirección del viento mismas que ayudan a la dispersión de contaminante según (Venegas & Mazzeo, 2012).

Se puede verificar que los valores de concentración son relativamente bajos lo cual se podría explicar por lo que es una zona rural y el parque automotor del lugar es baja con respecto a una zona rural (Centro Europeo de Postgrado, 2020). También hay que añadir y tener en cuenta la presencia de vegetación en el lugar la cual es predominante a lo largo de la zona.

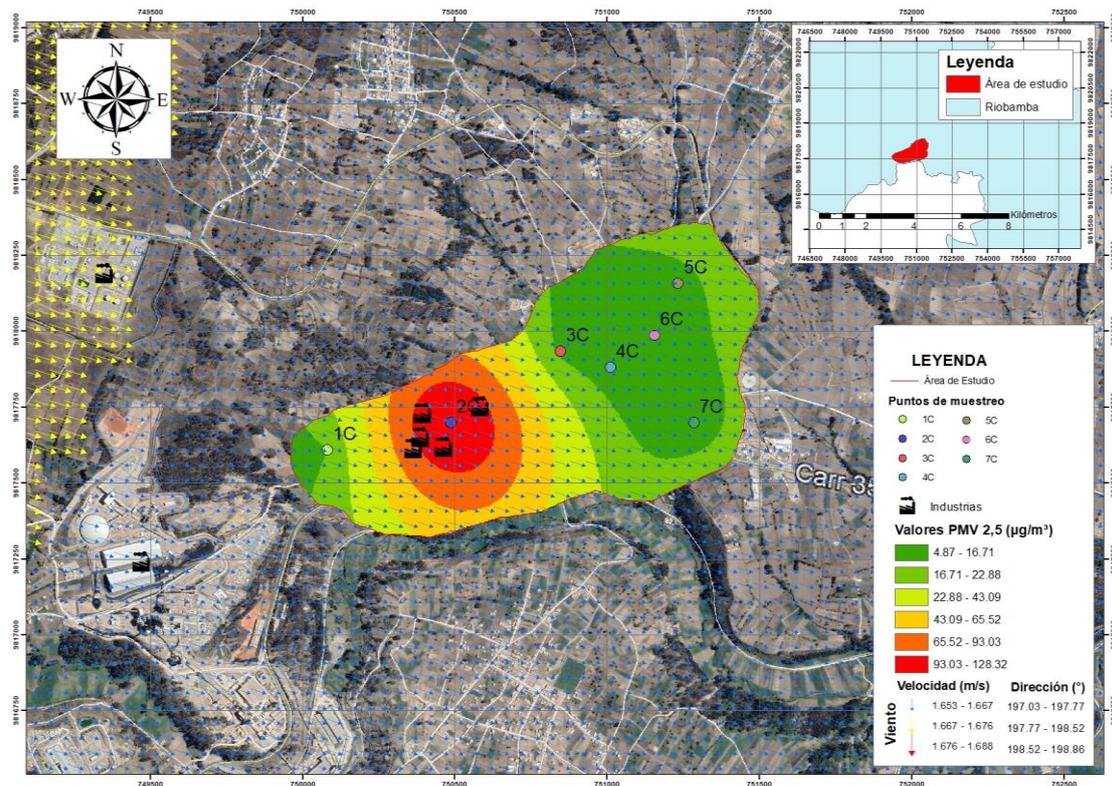


Figura 16. Modelo de dispersión PM_{2.5} en la cabecera parroquial Calpi
Elaboración. Autores (2020)

Para el PMV₁₀ se muestra en la **Figura 17** los distintos rangos de concentración en los puntos de monitoreo de la zona de estudio, donde se puede destacar que el punto 2C es el que muestra mayor valor de concentración esto se puede explicar ya que tiene cerca varias industrias también se le puede añadir a la dirección y velocidad del viento, factores que pueden facilitar la dispersión del contaminante (Venegas & Mazzeo, 2012).

Es importante destacar que al ser una zona rural cuenta con una gran cantidad de cobertura vegetal lo que podría dificultar la dispersión de PMV₁₀ (Centro Europeo de Postgrado, 2020), lo que podría explicar la baja presencia de contaminante en los otros puntos de muestro.

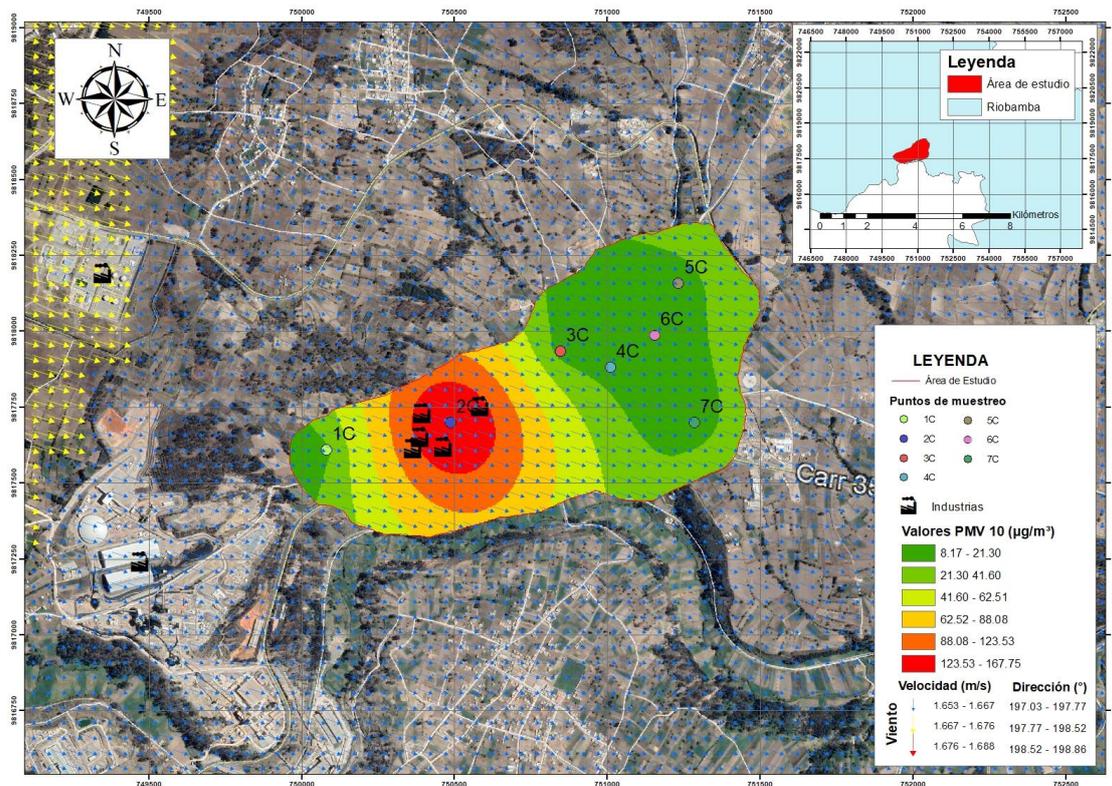


Figura 17. Modelo de dispersión PM₁₀ en la cabecera parroquial Calpi

Elaboración. Autores (2020)

LOS PINOS

En la **Figura 18** se puede apreciar que la dirección del viento se encuentra en sentido suroeste con un valor de velocidad mínimo de 1.20 m/s y máximo de 2.49 m/s es importante tomar en cuenta estos datos meteorológicos ya que intervienen de manera favorable (Venegas & Mazzeo, 2012) en la dispersión de los contaminantes, así mismo es importante destacar que los valores más altos de contaminante se encuentran en los puntos 3P y 7P de monitoreo; donde influye la dirección de viento y también es posible tomar en cuenta la influencia de los centros educativos cercanos al área ya que esto implica la presencia de parque automotor (Centro Europeo de Postgrado, 2020) lo cual podría influir en el los valores de la concentración de PM_{2.5}.

Hay que también hacer una observación de la influencia de una construcción cerca del punto de monitoreo 7P por lo cual se considera como una fuente fija productora de PM (Jorquera, 2014).

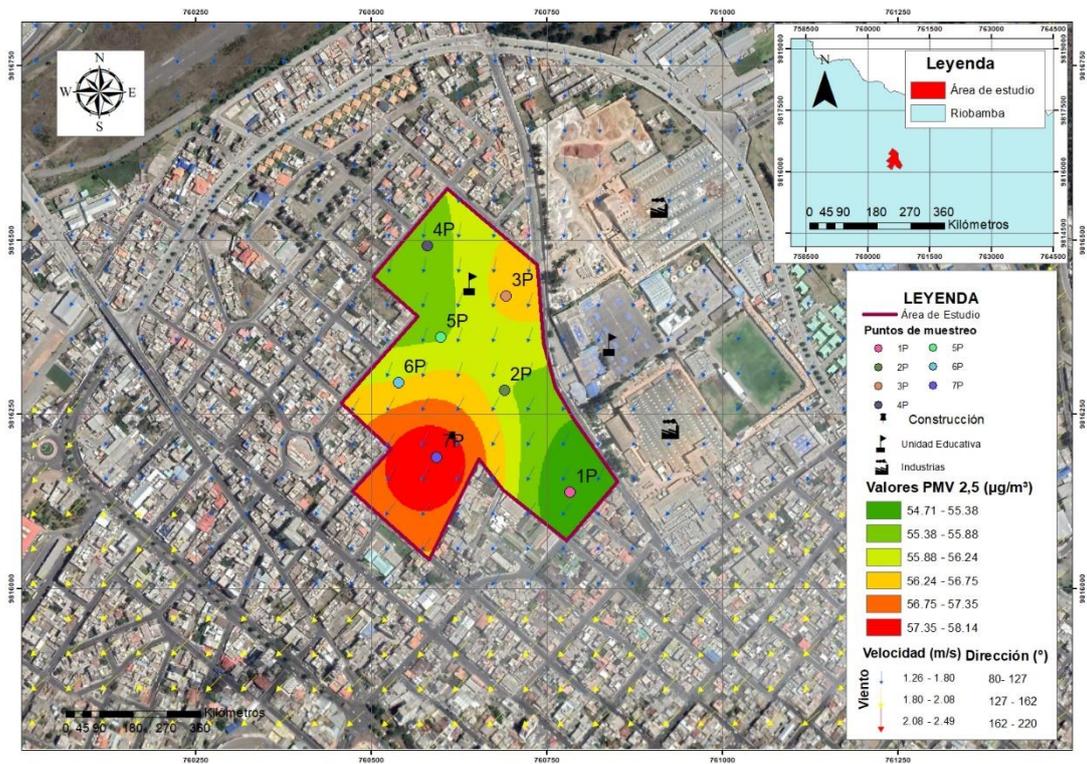


Figura 18. Modelo de dispersión PMV_{2.5} en el barrio Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

Se puede apreciar los distintos rangos de valores de PMV₁₀ en la **Figura 19**, donde se muestra que existe un inicio de gran dispersión en el punto “3P” lo cual incrementa hasta el punto 7P, hay que tener en cuenta la presencia de una construcción en el lugar de estudio y a esto se lo podría añadir a la dirección del viento la cual es suroeste, misma que puede ayudar a la dispersión del contaminante (Venegas & Mazzeo, 2012).

Por otro lado, también es bueno hacer énfasis en las actividades productivas del sector, al ser una zona urbana (Centro Europeo de Postgrado, 2020) existen varias fuentes fijas y móviles generadoras de PMV₁₀ (Jorquera, 2014) a las cuales se le podría atribuir las variaciones en las concentraciones de cada punto de monitoreo, teniendo en cuenta en el estudio de (Ortiz & Tigsí, 2020) donde se llevó a cabo una construcción en el área de estudio es notable que los niveles altos de PMV₁₀ en el punto 7P se podría atribuir a esta actividad, ya que está cerca del punto de monitoreo y este tipo de actividad se la considera como una fuente fugitiva generadora de PMV₁₀ (Jorquera, 2014).

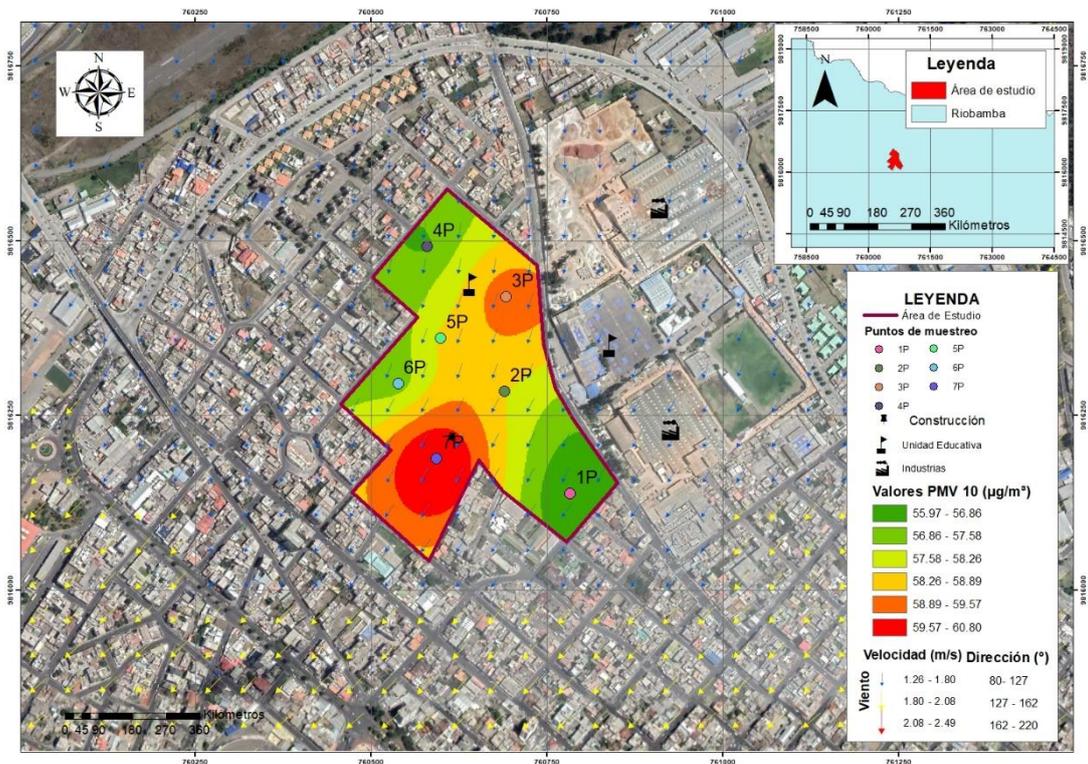


Figura 19. Modelo de dispersión PMV_{10} en el barrio Los Pinos
Elaboración. Autores (2020)

Se puede apreciar en las **Figuras 16 y 18**, la simulación de dispersión de $PMV_{2.5}$ de Los Pinos y Calpi respectivamente, donde se puede destacar la diferencia entre la dispersión de un lugar y otro, como se puede evidenciar que en el sector de Los Pinos el punto 7P con mayor concentración, es el más alejado de las industrias del lugar pero posee cerca una construcción la cual se le podría atribuir los niveles altos de contaminante (Ubilla & Yohannessen, 2017) mientras que por otro lado en Calpi el punto 2C de monitoreo con mayores valores de concentración es el que se encuentra ubicado más cerca de las industrias, por lo que podría decirse que las actividades de las mismas influyen en la generación de $PMV_{2.5}$, ya que son consideradas como fuentes móviles generadoras de PM (Jorquera, 2014).

Hay que incluir la dirección y velocidad de viento ya que facilita la dispersión del contaminante (Venegas & Mazzeo, 2012). Es importante destacar las diferencias existentes entre Los Pinos y Calpi al ser una zona Urbana y Rural (Centro Europeo de Postgrado, 2020) respectivamente, esto es un factor importante ya que es posible evidenciar la presencia de centros educativos en el área urbana lo cual genera presencia automotriz y este a su vez es una fuente generadora de $PMV_{2.5}$ lo cual se puede constatar

en la diferencia de niveles de concentración $PMV_{2.5}$, ya que en la zona de Los Pinos existen niveles más elevados de contaminante con respecto a Calpi. Se debe destacar las diferentes actividades productivas que se llevan a cabo en cada una de las zonas lo cual puede intervenir y favorecer a la generación y dispersión del contaminante.

En las **Figuras 17 y 19** se puede apreciar los distintos rangos de valores de concentración los cuales se presentan en los distintos puntos de monitoreo de cada una de las zonas de estudio como es Los Pinos y Calpi respectivamente, hay que destacar las diferencias notables de cada sector como es la ubicación geográfica, ya que el barrio Los Pinos se encuentra en la ciudad lo que lo convierte de una zona urbana (Centro Europeo de Postgrado, 2020) por otro lado el sector de Calpi es una zona urbana, esto es algo importante ya que las actividades productivas van a ser diferentes.

Como se muestra en la zona de Los Pinos existe una construcción dentro del área de estudio el cual podría ser considerado como una de las fuentes fugitivas generadoras de PMV_{10} (Jorquera, 2014), así mismo hay que destacar que en la zona de Calpi existen varias industrias dentro del área de estudio que de la misma manera se las puede considerar como una de las fuentes fijas generadoras de PMV_{10} (Jorquera, 2014).

De igual forma las diferencias de uso de suelo también podría tener influencia en la dispersión de contaminantes como se puede observar en los niveles de concentración mínimos y máximos de cada sector, en el barrio Los Pinos los niveles de contaminante PMV_{10} son mucho más elevados con respecto a la zona de Calpi, lo cual podría tener en cuenta también a la cobertura vegetal que funciona como barrera natural y dificulta la dispersión de contaminantes en el lugar (Centro Europeo de Postgrado, 2020).

5. CONCLUSIONES

- ✓ Respecto al análisis comparativo del PMS se constató que el barrio Los Pinos es el sector con mayor contaminación y afectación ya que el promedio de concentración de contaminante y la mayoría de los puntos de monitoreo no cumplen con los LMP establecidos por la OMS y TULSMA y en el caso de la cabecera parroquial Calpi la mayor parte de puntos de monitoreo y el promedio de concentración cumplen con la normativa nacional e internacional.
- ✓ En cuanto a la concentración química de PMS en Calpi encontramos elementos significativos como O, C, Sb y Rb los cuales nos indican que existe una quema de combustibles fósiles como son el carbón, gas y petróleo teniendo relación con las industrias cementeras y caleras de los alrededores y en el barrio Los Pinos tenemos elementos como A, Na, Ta y W que es producto de la presencia de arcillas, fedelpastos, cuarzo, calcita y piritita que provienen del material utilizado por la industria presente en el sector.
- ✓ La presencia de Si en ambas zonas nos indica que la contaminación que se está produciendo es perjudicial para la salud humana ya que al tener contacto con el mismo puede producir cáncer de pulmón.
- ✓ De acuerdo con el análisis estadístico verificamos que en el sector de Calpi existe una homogeneidad en los datos ya que no son dispersos a diferencia del barrio Los Pinos que rango es más amplio lo que indica que los valores de concentración son más dispersos y poco homogéneos, además los datos de cada zona son significativos es decir que la concentración de PMS es diferente en cada área de estudio.
- ✓ Conforme al análisis comparativo de material volátil, se pudo concluir que la ubicación geográfica y la cobertura vegetal son influyentes directa en la generación y dispersión de contaminante, ya que en Los Pinos que es una zona urbana existe mayores niveles de concentración de contaminante con respecto a Calpi que es una zona rural.
- ✓ Con los valores de la simulación de dispersión de cada uno de los sectores podemos determinar que la influencia de las industrias o fuentes generadoras fijas de PMS, PMV_{10} y $PMV_{2.5}$ es directa al punto de monitoreo más que a la zona de estudio en Calpi y el barrio Los Pinos, ya que en los puntos donde existía mayor cercanía a una industria o construcciones la concentración de contaminante es mayor; al igual que el uso del suelo en cada uno de los sectores influye en la concentración de PM.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario que en un futuro el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Riobamba tenga como consideración que la ubicación de las industrias sea en un sector alejado zonas residenciales, además de ambientes naturales propensos a contaminación.
- ✓ Se recomienda la implementación de puntos de monitoreo permanente en las zonas de influencia industrial para conocer las posibles afectaciones que se están dando y así considerar el porcentaje de concentración de PMS y PMV que ayudará a nuevos estudios de contaminación atmosférica y comportamiento de los contaminantes.
- ✓ Es importante que se realicen estudios sobre la contaminación específica en cuanto a fuentes fijas y móviles, por las características que presentan cada sector respecto a la ocupación del suelo y ubicación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- 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). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5639>
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Revista Luna Azul*, 195–213.
- Arrieta Fuentes, A. J. (2016). Dispersión De Material Particulado (Pm10), Con Interrelación De Factores Meteorológicos Y Topográficos. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 43–54.
<https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5445>
- Bazán, J. (2010). Texto De Estadística Computacional Con R , Excel , Minitab Y Spss. *Universidad Nacional Del Callao*, 1–12.
- Burgos, A., & Tejeiro, J. M. (2019). Influencia de las condiciones meteorológicas en La concentración ee PST Y PM10 en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda. *Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás*, 53(9).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Centro Europeo de Postgrado. (2020). La dispersión de los contaminantes. Retrieved July 28, 2020, from CEUPE website: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>
- de Vicente, M. Á., Díaz, C., Hervás, P., & Guisasola, A. (2014). Occupational exposure to silica and lung cancer: an evidence-based journey. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 17(3), 129–131. <https://doi.org/10.12961/apr.2014.17.3.01>
- Durán, J., & Moscoso, L. (2018). Análisis correlacional de datos de MP10 y partículas sedimentables , su composición fisicoquímica y mineralógica , en la zona norte de la ciudad de Bogotá. *Universidad de La Salle*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1755&context=ing_ambiental_sanitaria
- Fallas, J. (2012). Análisis de varianza. *Universidad Para La Cooperación*

Internacional, 54. <https://doi.org/10.1080/10601320601041795>

- Fernández, N. (2017). Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Sigwas – Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*.
- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier van der Gon, H., Facchini, M. C., ... Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: Lessons learned and future needs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(14), 8217–8299. <https://doi.org/10.5194/acp-15-8217-2015>
- GADM Riobamba. (2014). *PDOT Canton Riobamba 2015-2030*. Retrieved from <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga>
- GADM Santiago de Calpi. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Santiago de Calpi. *Actualización Del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Santiago de Calpi*, pp. 1–164. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0660821800001_Calpi_ultimo_30-10-2015_21-08-14.pdf
- Gaviria, C., Benavides, P., & Tangarife, C. (2011). Contaminación por material particulado respiratorias en Medellín (2008-2009). *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 29(3), 241–250.
- Gaviria, C., Muñoz, J., & González, G. (2012). Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín. *Scielo*, 30(3), 315–327.
- GisBeers. (2016). Creación de mallas de cuadrículas. Retrieved July 16, 2020, from <http://www.gisandbeers.com/creacion-de-mallas-de-cuadriculas-con-fishnet/>
- INECC. (2010a). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares*. Retrieved from <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/vehiculos.pdf>
- INECC. (2010b). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares*.
- Jorquera. (2014). La calidad del aire en Chile. *GascoEduca*, (Edición Especial). Retrieved from <http://www.gascoeduca.cl/Contenido/Contenido.aspx?Cod=31>

- Kurt, O. K., Zhang, J., & Pinkerton, K. E. (2016, March 1). Pulmonary health effects of air pollution. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, Vol. 22, pp. 138–143. <https://doi.org/10.1097/MCP.0000000000000248>
- Lara Basantes, C. A. (2018). “*Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio La Esperanza, ciudad de Riobamba por incidencia de aserraderos*” (Universidad Nacional de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/browse?type=author&value=Lara+Basantes%2C+Cristian+Artuto>
- Lozano. (2018). *Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima*. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Lozano, M. J. (2020). Senna siamea (Kassod) COMO BARRERA PROTECTORA DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE , EN LA AVENIDA FRANCISCO DE ORELLANA, LAS ORQUIDEAS GUAYAQUIL. *Universidad Agraria Del Ecuador*, 97.
- MAE. (2017). Texto Unificado De Legislacion Secundaria De Medio Ambiente. *REGISTRO OFICIAL SUPLEMENTO 2 DE 31-MAR.-2003*, 1–407. Retrieved from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjPvKaC-NnqAhVnk-AKHtY1Bj0QFjAAegQIBxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ambiente.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2Fdownloads%2F2018%2F05%2FTULSMA.pdf&usg=AOvVaw0GZZIN6x-EsXHgdlrE3>
- Manzur, M., Benzal, M., & Gonzalez, S. (2012). Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. *VII Congreso de Medio Ambiente, La Plata Argentina*, 1–19.
- Mejía, D., Zegarra, R., Astudillo, A., & Moscoso, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de La Facultad de Ciencias Químicas*, 19, 55–64.
- Mejía Garcés, J. A. (2016). Evaluación de la contaminación del aire mediante la

- caracterización de metales pesados en sólidos sedimentables en la ciudad de Riobamba. *Facultad de Ciencias, Bachelor*, 131. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6226/1/236T0235.pdf>
- MINITAB. (2018). ¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples? -. *Soporte de Minitab*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>
- OMS. (2018). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. *Organización Mundial de La Salud*, pp. 1–8. Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud. (2012). Contaminación del Aire Ambiental. In *OPS/OMS, Ecuador*. Retrieved from https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es
- Ortiz, E., & Tigsi, V. (2020). “Determinación y caracterización de concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el barrio Los Pinos, cantón Riobamba por incidencia industrial” (Universidad Nacional de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6473>
- Pucha, F. (2012). Crear un mapa de vientos en ArcGIS. Retrieved July 14, 2020, from 12 de Enero website: <https://acolita.com/crear-un-mapa-de-viento-en-arcgis/>
- Rojano, R., Angulo, L., & Restrepo, G. (2015). Concentración y relación de PST, PM10 Y PM2.5 en poblaciones cercanas a minería a cielo abierto: Caso Cerrejón Colombia. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 30(3), 39–48.
- Salas, L., Álvarez, D., Bendezú, Y., & Pomalay, J. (2017). Caracterización Química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 187–199. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i2.197>
- Salini Calderón, G. A., & Medina Mitma, E. J. (2017). Estudio sobre la dinámica temporal de material particulado PM10 emitido en Cochabamba, Bolivia. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(3), 437–448. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.07>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas. In *INECC-SEMARNAT*. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/447320/Guia_Metodologica_Para_Estimacion_De_Emisiones.pdf

Tenorio, K. (2017). Incidencia del Parque Industrial del cantón Esmeraldas en la ciudadela “La Florida” mediante el análisis de material particulado sedimentable. *Universidad Nacional de Chimborazo*, 112. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica Efectos En La Salud Respiratoria En El Niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>

Venegas, L., & Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. *II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Del Viento*, 11. Retrieved from http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas_congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf

8. ANEXOS

8.1. Límites máximos permisibles por la legislación nacional vigente TULSMA

| Contaminante | Tiempo de exposición | Máxima concentración permitida |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Partículas Sedimentables | 30 días | 1 mg/cm ² /mes |
| PM₁₀ | 1 año | 50 µg/m ³ |
| | 24 horas | 100 µg/m ³ |
| PM_{2.5} | 1 año | 15 µg/m ³ |
| | 24 horas | 50 µg/m ³ |

Fuente. MAE (2017)

8.2. Límites máximos permisibles por la legislación internacional vigente OMS.

| Contaminante | Tiempo de exposición | Máxima concentración permitida |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Partículas Sedimentables | 30 días | 0,5 mg/cm ² /mes |
| PM₁₀ | 1 año | 20 µg/m ³ |
| | 24 horas | 50 µg/m ³ |
| PM_{2.5} | 1 año | 10 µg/m ³ |
| | 24 horas | 25 µg/m ³ |

Fuente. OMS (2018)

8.3. Estaciones meteorológicas consideradas para Los Pinos

| | X | Y | Dirección (°) | Velocidad (m/s) |
|--------|--------|---------|---------------|-----------------|
| DAC | 760695 | 9816905 | 74 | 1.2 |
| ESPOCH | 758398 | 9816965 | 141.09 | 2.26 |
| UNACH | 762261 | 9817265 | 222 | 2.5 |

Elaboración. Autores (2020)

8.4. Estaciones meteorológicas consideradas para Calpi

| | X | Y | Dirección (°) | Velocidad (m/s) |
|----------|--------|---------|---------------|-----------------|
| ESPOCH | 758398 | 9816965 | 143.41 | 1.48 |
| SAN JUAN | 746596 | 9818849 | 183.17 | 1.71 |
| UNACH | 762261 | 9817265 | 270 | 1.8 |

Elaboración. Autores (2020)

8.5. Puntos de monitoreo del sector de Calpi.

| Puntos | x | y |
|--------|--------|---------|
| 1C | 750080 | 9817608 |
| 2C | 750488 | 9817698 |
| 3C | 750848 | 9817934 |
| 4C | 751012 | 9817880 |
| 5C | 751234 | 9818157 |
| 6C | 751157 | 9817987 |
| 7C | 751286 | 9817699 |

Fuente. Andi & Vega (2019)

8.6. Puntos de monitoreo del sector del barrio Los Pinos.

| Puntos | x | y |
|--------|--------|---------|
| 1P | 760783 | 9816138 |
| 2P | 760690 | 9816285 |
| 3P | 760692 | 9816420 |
| 4P | 760580 | 9816492 |
| 5P | 760599 | 9816361 |
| 6P | 760539 | 9816296 |
| 7P | 760593 | 9816188 |

Fuente. Ortiz & Tigsí (2020)

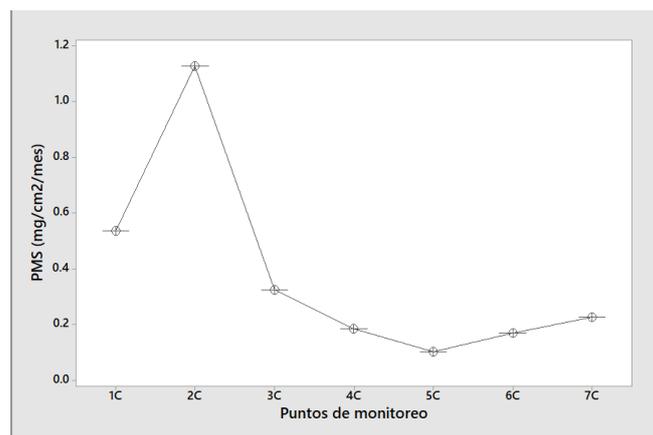
8.7. Base de datos y límites máximos permisibles OMS y TULSMA de PMS con respecto a los puntos de monitoreo de las zonas de estudio.

| Puntos | Ubicación geográfica (UTM) | | Peso inicial del papel (mg) | Peso final del papel (mg) | PMS (mg/cm ² /mes) | LMP OMS | LMP TULSMA |
|--------|----------------------------|---------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | | | | | 0.5 mg/cm ² /mes | 1 mg/cm ² /mes |
| 1C | 750080 | 9817608 | 475.6 | 506.7 | 0.535 | NO | SI |
| 1P | 760783 | 9816138 | 452.9 | 454 | 0.62 | NO | SI |
| 2C | 750488 | 9817698 | 469.9 | 535.4 | 1.13 | NO | NO |
| 2P | 752213 | 9595084 | 456.3 | 459.7 | 1.90 | NO | NO |
| 3C | 750848 | 9817934 | 473.5 | 492.3 | 0.32 | SI | SI |
| 3P | 760692 | 9816420 | 464.1 | 475 | 6.10 | NO | NO |

| | | | | | | | |
|-----------|--------|---------|-------|-------|------|----|----|
| 4C | 751012 | 9817880 | 477.1 | 487.8 | 0.18 | SI | SI |
| 4P | 760580 | 9816492 | 456.2 | 460.7 | 2.52 | NO | NO |
| 5C | 751234 | 9818157 | 467.5 | 473.4 | 0.10 | SI | SI |
| 5P | 760599 | 9816361 | 449.4 | 455.8 | 3.58 | NO | NO |
| 6C | 751157 | 9817987 | 479.7 | 489.4 | 0.17 | SI | SI |
| 6P | 760539 | 9816296 | 454.1 | 458.5 | 2.46 | NO | NO |
| 7C | 751286 | 9817699 | 471.2 | 484.2 | 0.22 | SI | SI |
| 7P | 760600 | 9616199 | 448.2 | 465 | 9.40 | NO | NO |

Elaboración. Autores (2020)

8.8. Análisis estadístico y prueba de Tukey al 5% PMS Calpi

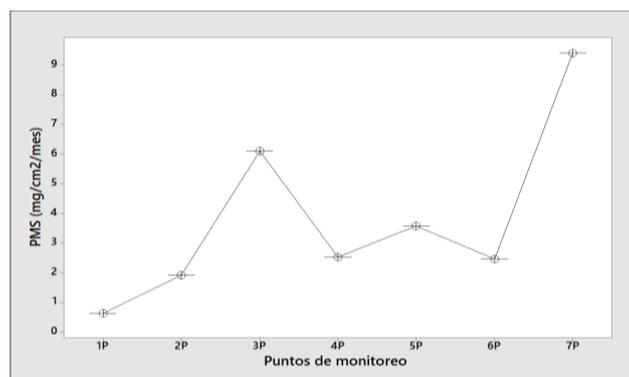


Elaboración. Autores (2020)

| VARIABLE | Media | Desviación Estándar | Mínimo | Mediana | Máximo |
|----------------------------------------------|-------|---------------------|--------|---------|--------|
| PMS (mg/cm²/mes) Calpi | 0.381 | 0.359 | 0.102 | 0.224 | 1.128 |

Elaboración. Autores (2020)

8.9. Análisis estadístico y prueba de Tukey al 5% PMS Los Pinos



Elaboración. Autores (2020)

| VARIABLE | Media | Desviación Estándar | Mínimo | Mediana | Máximo |
|--------------------------------------------------|-------|---------------------|--------|---------|--------|
| PMS (mg/cm²/mes) Los Pinos | 3.80 | 3.00 | 0.62 | 2.52 | 9.40 |

Elaboración. Autores (2020)

8.10. Composición química de PMS en el sector de Calpi

| | O | C | Sb | Ca | Rb | Si |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| 1C | 42.06 | 39.31 | 13.27 | 11.93 | 10.29 | 8.08 |
| 2C | 31.05 | 12.95 | 16.51 | 14.82 | 11.4 | 9.35 |
| 3C | 51.44 | 10.54 | 29.4 | 23.13 | 6.47 | 5.96 |
| 4C | 44.6 | 13.33 | 11 | 7.75 | 14.46 | 8.59 |
| 5C | 34.17 | 11.87 | 29.67 | 25.9 | 14.19 | 5.91 |
| 6C | 31.4 | 25.93 | 15.53 | 13.65 | 4.6 | 3.83 |
| 7C | 24.6 | 31.72 | 25.88 | 23.58 | 8.04 | 4.7 |
| PROMEDIO | 37.05 | 20.81 | 20.18 | 17.25 | 9.92 | 6.63 |

Elaboración. Autores (2020)

8.11. Composición química de PMS en el barrio Los Pinos

| | O | Si | Ta | Al | Na | W |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 1P | 59.09 | 22.6 | | 9.3 | 5.55 | |
| 2P | 51.44 | | 21.37 | 13.29 | 0.66 | 10.88 |
| 3P | 57.09 | 22.64 | | | | |
| 4P | 55.64 | 29.29 | | 6.24 | 2.06 | |
| 5P | 56.6 | 26.62 | | 7.64 | 2.42 | |
| 6P | 51.56 | 16.42 | | 10.67 | 4.72 | |
| 7P | 54.23 | 21.55 | | 10.97 | 5.1 | |
| PROMEDIO | 55.09 | 23.19 | 21.37 | 9.69 | 3.42 | 10.88 |

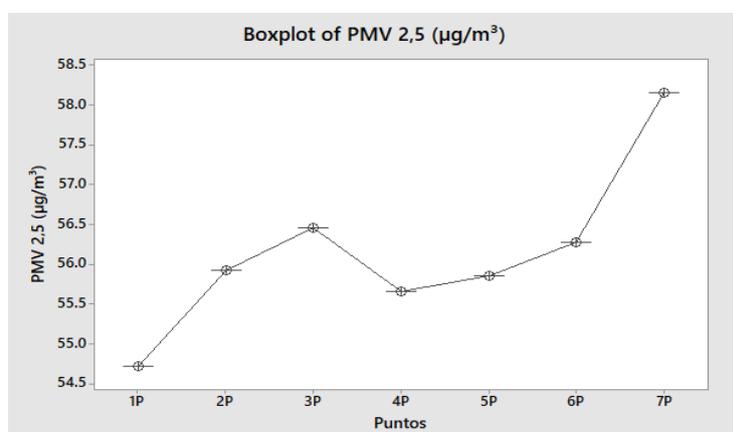
Elaboración. Autores (2020)

8.12. Base de datos y límites máximos permisibles OMS y TULSMA de $PMV_{2.5}$ y PMV_{10} con respecto a los puntos de monitoreo de las zonas de estudio.

| Puntos | Ubicación geográfica (UTM) | | PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | LMP | LMP | PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | LMP | LMP |
|--------|----------------------------|---------|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | | | OMS | TULSMA | | OMS | TULSMA |
| | | | | 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 65 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 150 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| 1C | 750080 | 9817608 | 15.41 | SI | SI | 11.90 | SI | SI |
| 1P | 760783 | 9816138 | 54.71 | NO | SI | 55.97 | NO | SI |
| 2C | 750488 | 9817698 | 155.86 | NO | NO | 167.76 | NO | NO |
| 2P | 752213 | 9595084 | 55.92 | NO | SI | 58.3 | NO | SI |
| 3C | 750848 | 9817934 | 10.27 | SI | SI | 8.32 | SI | SI |
| 3P | 760692 | 9816420 | 56.45 | NO | SI | 59.39 | NO | SI |
| 4C | 751012 | 9817880 | 7.44 | SI | SI | 9.6 | SI | SI |
| 4P | 760580 | 9816492 | 55.65 | NO | SI | 56.77 | NO | SI |
| 5C | 751234 | 9818157 | 8.97 | SI | SI | 8.4 | SI | SI |
| 5P | 760599 | 9816361 | 55.85 | NO | SI | 58.41 | NO | SI |
| 6C | 751157 | 9817987 | 6.79 | SI | SI | 8.17 | SI | SI |
| 6P | 760539 | 9816296 | 56.27 | NO | SI | 57.2 | NO | SI |
| 7C | 751286 | 9817699 | 7.11 | SI | SI | 8.97 | SI | SI |
| 7P | 760600 | 9616199 | 58.15 | NO | SI | 60.82 | NO | SI |

Elaboración. Autores (2020)

8.13. Análisis estadístico prueba de Tukey al 5% $PMV_{2.5}$ Los Pinos

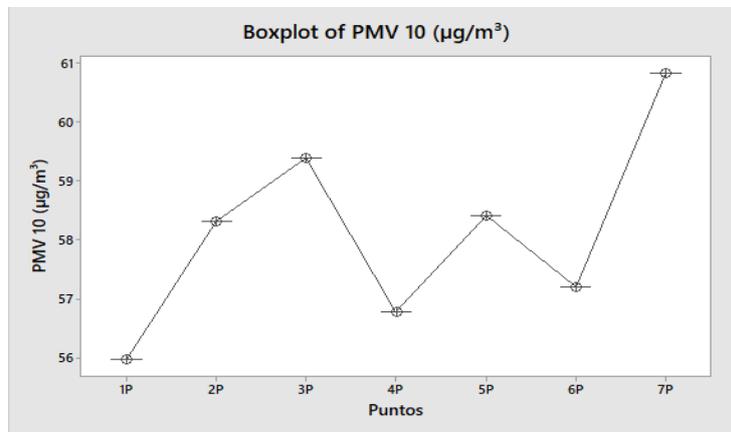


Elaboración. Autores (2020)

| Variable | N | Media | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
|-----------------------------------------|---|-------|---------------------|--------|--------|
| PMV _{2.5} (µg/m ³) | 7 | 54.14 | 1.05 | 54.71 | 58.15 |

Elaboración. Autores (2020)

8.14. Análisis estadístico y prueba de Tukey al 5% PMV₁₀ Los Pinos

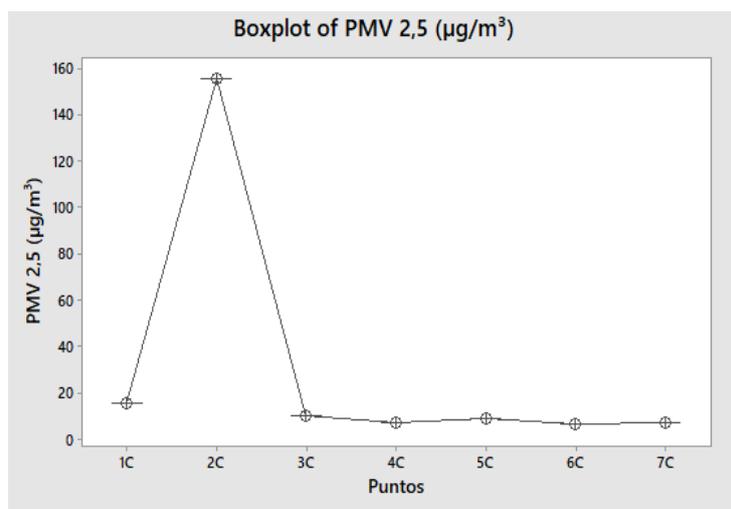


Elaboración. Autores (2020)

| Variable | N | Media | Desviación Estándar | Mínimo | Máximo |
|----------------------------------------|---|-------|---------------------|--------|--------|
| PMV ₁₀ (µg/m ³) | 7 | 58.12 | 1.65 | 55.97 | 60.82 |

Elaboración. Autores (2020)

8.15. Análisis estadístico y prueba de Tukey al 5% PMV_{2.5} Calpi

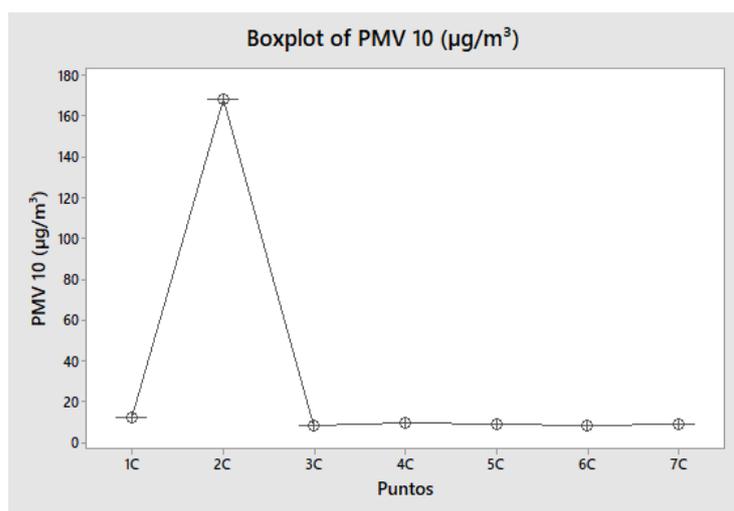


Elaboración. Autores (2020)

| Variable | N | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|-----------------------------------------|---|-------|---------------------|--------|--------|
| PMV _{2.5} (µg/m ³) | 7 | 30.3 | 55.5 | 6.8 | 155.9 |

Elaboración. Autores (2020)

8.16. Análisis estadístico y prueba de Tukey al 5% PMV₁₀ Calpi



Elaboración. Autores (2020)

| Variable | N | Media | Desviación estándar | Mínimo | Máximo |
|----------------------------------------|----------|--------------|----------------------------|---------------|---------------|
| PMV ₁₀ (µg/m ³) | 7 | 31.9 | 59.9 | 8.2 | 167.8 |

Elaboración. Autores (2020)

8.17. Oficio para información sobre datos meteorológicos de la DAC.

Riobamba, 7 de agosto de 2020

Sr. Mario Almache
ENCARGADO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA DIRECCION DE
AVIACIÓN CIVIL
Presente. –

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, le hacemos llegar un cordial saludo y éxitos en las funciones que desarrolla.

A su vez nos permitimos solicitarle de la manera más comedida, se nos ayude con la información de *velocidad y dirección del viento* de los periodos *Noviembre- Diciembre 2018 y Julio-Agosto 2019*, solicitamos dicha información ya que será de gran ayuda para desarrollar nuestro proyecto de investigación en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Chimborazo.

En la espera de que nuestro requerimiento, será favorablemente atendido, nos subscribimos de Usted, reiterándole nuestros sentimientos de alta consideración y estima.

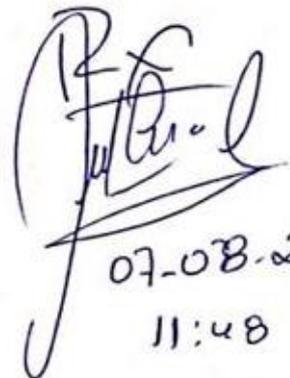
Atentamente.



.....
Renata Alvarado
0604030718



.....
David Puyol
0604173518



07-08-20
11:48