UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN LA COMUNIDAD SAN JOSÉ DE CHANCAHUAN POR INCIDENCIA INDUSTRIAL

Autor(es): Guevara Yanzapanta Erick Wilmer

Logroño Naranjo Byron Paul

Tutor:

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLAN LIMA

Riobamba - Ecuador

Año 2020

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **"Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad San José de Chancahuan por Incidencia Industrial"**, presentado por: Wilmer Erick Guevara Yanzapanta y Byron Paul Logroño Naranjo, dirigido por: MsC. Guido Patricio Santillán Lima

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

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Marcel Paredes.

Firmado electrónicamente por:
MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA

……

Presidente del tribunal — Firma

MsC. Patricio Santillán

……

Tutor del Proyecto — Firma

Ing. María Fernanda Rivera Castillo

……

Miembro del Tribunal — Firma

Ing. María Fernanda Garcés Moncayo

……

Miembro del Tribunal — Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de INGENIERO AMBIENTAL, elaborado por los señores Wilmer Erick Guevara Yanzapanta y Byron Paul Logroño Naranjo, con el tema: **"Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad San José de Chancahuan por Incidencia Industrial"**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.

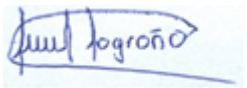
……..……

MsC. Patricio Santillán

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, Wilmer Erick Guevara Yanzapanta, con cédula de identidad No. 1804688230 y Byron Paul Logroño Naranjo, con cédula de identidad No. 0604941633; hacemos referencia como autores del presente trabajo de investigación, titulado: **"Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad San José de Chancahuan por Incidencia Industrial"**, dirigida por el tutor del proyecto, MsC. Patricio Santillán

Manifiesto mi responsabilidad y la originalidad en la conceptualización de ideas, interpretación de resultados, y sustento de autores que han sido debidamente referenciados en la presente investigación.



---------- ----------

Wilmer Erick Guevara Yanzapanta

C.I: 1804688230

Byron Paul Logroño Naranjo

C.I: 0604941633

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y sabiduría para lograr una de mis metas, para no rendirme día a día, agradezco a mis padres Edison Guevara y Clelia Yanzapanta por el esfuerzo, dedicación, consejos, valores impartidos, las enseñanzas y fortaleza que me han dado por ser mi guía y mi motor en todo momento, a mi hermana Paola Guevara por ser mi acompañante y amiga por guiarme en el camino.

A mi alma máter la Universidad Nacional de Chimborazo que me abrió las puertas para ser un gran profesional y comprometido con el Ambiente, a mi tutor MsC. Patricio Santillán por la dedicación y sabiduría impartida para mejorar nuestros conocimientos.

A mis amigos que poco a poco se convirtieron en familia que compartimos conocimientos, momentos agradables, por estar ahí en los momentos más difíciles por acogerme con los brazos abiertos a mis amigos locales y provinciales.

WILMER GUEVARA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios que siempre me ha acompañado en todos los momentos buenos y malos de mi vida, brindándome la fuerza y salud necesaria para superar todas las adversidades presentadas y lograr las metas que me he planteado.

A mi familia de manera especial a mis padres Manuel y Esperanza, por siempre brindarme su apoyo en todas las decisiones que tomo, enseñándome valores y consejos que día a día me ayudaron a ser una mejor persona. A mi abuelita Lastenia mi segunda madre a quien le estoy infinitamente agradecido por el cariño y amor que nunca me hizo faltar y fue primordial para lograr mis objetivos. A mis amigos y compañeros con los que pude compartir muchas alegrías y fueron un gran apoyo.

A mí querida Universidad Nacional de Chimborazo, carrera de Ingeniería Ambiental que me acogió y me abrió sus puertas para formarme como profesional, con el apoyo de todos los docentes que compartieron sus conocimientos a lo largo de mi etapa de estudio. Finalmente, agradezco el apoyo del MsC. Patricio Santillán, Ing. María Fernanda Rivera y la Ing. María Fernanda Garcés, quienes fueron participes de la investigación, guiándonos y compartiendo sus conocimientos para lograr nuestro objetivo.

PAUL LOGROÑO

DEDICATORIA

A mi padre celestial y a mis padres terrenales Edison y Clelia por el arduo trabajo que me han ido formando desde pequeño por la dedicación, los consejos de mi padre la sabiduría de mi madre forjándome para ser una mejor persona y un profesional que con humildad y trabajo fuerte se puede lograr muchas cosas en la vida, a mi hermana Pao que nunca me ha dejado solo en los momentos buenos y como no en los malos por aconsejarme, por el cariño, por el respeto y dedicación que me han brindado les dedico este logro por ser mi orgullo y pilar fundamental de mi vida.

WILMER GUEVARA

DEDICATORIA

La presente investigación quiero dedicar a mi Familia, que es el motor que guía mi vida, es por la que cada día quiero mejorar y cumplir mis sueños, son mi orgullo y fueron los que me apoyaron durante toda mi carrera universitaria

Mi padre Manuel por todo su apoyo, por haberme brindado con el ejemplo sabiduría, humildad, respeto y sobre todo esfuerzo para salir adelante, le dedico este logro. Mi madre Esperanza quien ha estado siempre ahí por la que cada vez me propongo nuevos objetivos y lograr verla feliz, te amo madre. A mis hermanos mayores Santiago y Cristian con los que siempre puedo contar y me respaldan todo el tiempo. Como no dedicarle a mi abuelita Lastenia quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional, este logro es también de ella.

PAUL LOGROÑO

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

PM: Material Particulado

MPS: Material Particulado Sedimentable

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable

MPV: Material Particulado Volátil

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

PM_4: Material Particulado de 4 µm

PM_{10}: Material Particulado de 10 µm

OMS: Organización Mundial de la Salud

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

SIG: Sistemas de Información Geográfica

LMP: Límite Máximo Permisible

PST: Partículas Suspendidas totales

µm: micrómetro o micra

$\mu g/m^3$: microgramos/ metro cúbico

mg/cm^2/mes: miligramos/ centímetro cuadrado/ 1 mes

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL ii
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA iii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vii
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS ix
RESUMEN xiv
ABSTRACT xv
INTRODUCCIÓN 1
CAPITULO I 2
1.1. Planteamiento del Problema 2
1.2. Justificación 3
1.3. Objetivos 4
1.3.1. Objetivo General 4
1.3.2. Objetivos Específicos 4
CAPITULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1. Contaminación Atmosférica (Aire) 5
2.2. Partículas 5
2.3. Material Particulado (MP) 6
2.3.1. Clases de Material Particulado 7
2.3.2. Fuentes de generación de Material Particulado 7
2.3.3. Efectos Negativos del Material Particulado 8
2.3.4. Composición 9
2.3.5. Material Particulado Sedimentable 9
2.3.6. Material Particulado Volátil 10
2.3.7. Composición mineralógica y química del PM 10
2.4. Caracterización de Contaminantes Producido por Industrias Cementeras 11
2.5. Factores Meteorológicos 11
2.5.1. Transporte convectivo horizontal. 12
2.5.2. Transporte convectivo vertical. 12
2.6. Estándares de calidad del aire para PM 13

2.6.1. Normativa de calidad del aire según la OMS 13
2.6.2. Normativa de calidad de aire según el TULSMA 13
CAPITULO III 14
METODOLOGÍA 14
3.1. Área de estudio 14
3.2. Visita de campo 15
3.3. Ubicación e implantación de los equipos de medición para MPS 15
3.4. Monitoreo Material Particulado Sedimentable (MPS) 16
3.5. Monitoreo de Material Particulado Volátil (MPV) 16
3.6. Análisis Geo estadístico 17
CAPITULO IV 18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 18
4.1. Concentración y Análisis descriptivo del Material Particulado Sedimentable 18
4.2. Concentración y análisis descriptivo del Material Particulado Volátil 21
4.2.1. Análisis diario de la concentración de Material Particulado Volátil $_{2.5}$ en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA 21
4.2.2. Análisis diario de la concentración de MPV_4 en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA 23
4.2.3. Análisis diario de la concentración de Material MPV_{10} en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA 25
4.3. Simulación de la dispersión de Material Particulado 27
4.3.1. Simulación de la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable 27
4.3.2. Simulación de dispersión de Material Particulado Volátil $_{2,5}$ μm 29
4.3.3. Simulación de dispersión de Material Particulado 4 μm 31
4.3.4. Simulación de la distribución de Material Particulado 10 μm 33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 35
Conclusiones 35
Recomendaciones 36
BIBLIOGRAFÍA 37
ANEXOS 39
Anexo 1. Limites Máximo Permisible establecidos por la OMS 39
Anexo 2. Limites Máximo Permisible establecidos por la TULSMA 39
Anexo 3. Registro Fotográfico del trabajo en laboratorio, ubicación de equipos de muestreo pasivo de PMS y monitoreo de PMV. 39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS. 18

Tabla 2. Concentración de MPS en cada estación de monitoreo 19

Tabla 3. Comparación de los valores de PAS con el LMP establecidos por la OMS y el TULSMA 20

Tabla 4. Concentración de MPV2.5 y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA.....22

Tabla 5. Concentración de MPV_4 y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA.....24

Tabla 6. Concentración de PM_{10} y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA.....25

Tabla 7. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_{2,5}$ μm.....29

Tabla 8. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_4$ μm 31

Tabla 9. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_{10}$ μm.....33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuente de Generación de Material Particulado 8

Figura 2. Área de estudio delimitada, comunidad de San José de Chancahuan. 14

Figura 3. Ubicación de los puntos para el monitoreo de MPS Y MPV 18

Figura 4. Comparación de valores de MPS con los LMP establecidos por la OMS y el TULSMA 21

Figura 5. Comparación de la Concentración de MPV2.5 con los LMP de la OMS y el TULSMA 23

Figura 6. Comparación de la Concentración de MPV_4 con los LMP de la OMS y el TULSMA. 25

Figura 7. Comparación de la Concentración de MPV_{10} con los LMP de la OMS y el TULSMA. 26

Figura 8. Dispersión de la concentración de polvo atmosférico sedimentable. 28

Figura 9. Dispersión de material particulado de 2,5 μm 30

Figura 10. Dispersión de Material Particulado de 4 μm 32

Figura 11. Dispersión de Material Particulado de 10 μm 34

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la concentración del material particulado sedimentable y volátil en la comunidad San José de Chancahuan por incidencia industrial, para lo cual se estableció catorce puntos de muestreo estratégicos, de manera que se utilizó el equipo de Dust Trak^{TM} II para medir la concentración de material particulado volátil tanto $PMV_{2,5}$, PMV_4 y PMV_{10}, en dos horarios establecidos y para el material particulado sedimentable se utilizó las catorce estaciones con el método pasivo que consiste en colocar cajas Petri en los equipos de muestreo en el periodo de 17 de Febrero a 13 de Marzo del 2020.

Los resultados obtenidos muestran concentraciones de PMS y PMV, en la cual se fraccionó el área de estudio en 14 puntos de muestreo. Una vez que se realizó el monitoreo durante un mes del PMS, se consiguió verificar que en los puntos correspondientes a las estaciones 1 y 7 con 8,45 y 7,69 mg/cm^2/mes respectivamente sobrepasan los límites máximos permisibles por la OMS y el TULSMA a excepción de la estación catorce que se encuentre dentro de los límites permisibles de la legislación ecuatoriana, desde luego podemos justificar que el material particulado volátil 2,5 μm y 4 μm cumple con la normativa ecuatoriana TULSMA e incumple con la OMS, mientras que el material particulado volátil 10 μm refleja valores dentro de los límites máximos permisibles tanto de la OMS como el TULSMA desde este hecho hemos realizado mapas de concentración para una mejor representación del contaminante.

Palabras Claves: Material particulado volátil, material particulado sedimentable, muestreo, contaminante.

ABSTRACT

The objective of this research work is to determine the concentration of the sedimentary and volatile particulate material in the San José de Chancahuan community by industrial incidence, for which fourteen strategic sampling points were established, therefore the Dust Trak TM II equipment was used to measure the concentration of volatile particulate material both PMV2.5, PMV4 and PMV10, in two established schedules and for the sedimentable particulate material, the fourteen stations were used with the passive method that consists of placing Petri dishes in the sampling equipment in the period from February 17 to March 13, 2020.

The results obtained show concentrations of PMS and PMV, in which the study area was divided into 14 sampling points. Once the PMS monitoring was carried out for a month, it was possible to verify that at the points corresponding to stations 1 and 7 with 8.45 and 7.69 mg / cm2 / month respectively exceed the maximum permissible limits by WHO and the TULSMA except for station fourteen which is within the permissible limits of Ecuadorian legislation, we can justify that the volatile particulate material 2.5 μm and 4 μm complies with the Ecuadorian TULSMA regulations and does not comply with the WHO, while the 10 μm volatile particulate material reflects values within the maximum permissible limits of both the WHO and the TULSMA, so we have made concentration maps for a better representation of the contaminant.

Keywords: Volatile particulate material, sedimentable particulate material, sampling, contaminant.

Reviewed by: Marcela González R. English
Professor

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación atmosférica se presenta como uno de los principales riesgos ambientales y por ende para la salud, se estima que una de cada nueve muertes en el mundo es a causa de esta contaminación atmosférica y el material particulado es referente en esta contaminación (OPS, 2016).

La contaminación Atmosférica se la conoce como la presencia de sustancias en el aire que resultan de actividades humanas o procesos naturales presentes en concentración y por tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con la salud de seres humanos y el ambiente (Aleman, 2015).

Para entender las consecuencias que tiene el material particulado y conocer cómo se mueve en la atmósfera es de vital importancia conocer el tamaño que posee, se clasifica en 2 grupos, las de fracción fina conocidas como $PM_{2.5}$ que tiene valores por debajo de los 2.5 micrómetros y las de fracción gruesa conocidas como PM_{10} y PM_4 que tiene un tamaño que va de los 2.5 a los 10 micrómetros, debido a su tamaño estas son inhaladas ingresando al aparato respiratorio causando efectos cada vez más graves en la salud, y esto incrementa en el tiempo que más permanezca a exposición del contaminante (Gavilanes, Gavilanes, & Yaulema, 2018).

Ecuador en tema de calidad de aire carece de información de relevancia, debido a falta de planificación, gestión y que los controles en este ámbito se han dado de manera reciente. Pocas son las ciudades que cuentan con información verídica y confiable sobre la contaminación del aire como el material particulado motivo de esta investigación, se han sumado ciudades a través del tiempo y se le ha dado más importancia a la calidad del aire-ambiente (Gía & Pérez, 2013).

No obstante, en el sector rural ha incrementado estos problemas por la presencia de industrias que por normativas se ven obligadas a salir de las ciudades y asentarse en sectores rurales, viéndose afectados en sus actividades como la ganadería y agricultura y a su vez en su salud por este tipo de contaminación especialmente el material particulado (PM) que es uno de los principales contaminantes del aire, este es el caso de la Comunidad de San José de Chancahuan que está rodeada de presencia industrial.

CAPITULO I

1.1. Planteamiento del Problema

Existen diversos factores que intervienen en el nivel de riesgo los mismos que deben ser necesariamente establecidos cuando hablamos de la contaminación del aire, dentro de los que se encuentran la cantidad de concentración de contaminantes que existen en el aire, la cantidad de aire que se respira en un momento dado y el estado de salud en el que se encuentren. Esta contaminación sobre el aire presenta sus efectos como la formación de neblina, causando reducción de la visibilidad, lluvia, alteración de la temperatura, por lo tanto, afecta la dirección o comportamiento del viento. Por lo mencionado afecta la salud y se ve reflejado en problemas respiratorios ya que se encuentran expuestos a este factor por lo que son vulnerables a esta contaminación (Gómez, 2017).

Las fuentes de origen antropogénico que generalmente incrementan la concentración de contaminantes en el aire están dadas por la quema de biomasa, la energía, el tráfico vehicular debido al incremento del parque automotor, la combustión, óxidos de azufre(SO_x), ozono (O_3) y material particulado (PM) (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

El PM según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) es uno de los indicadores que es común dentro de la contaminación ambiental dentro del aire, que de una u otra manera afectan la salud de las personas. Son partículas y sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire.

En la comunidad de San José de Chancahuan cuenta con la presencia industrial lo que le hace vulnerable y se ve afectada por el material particulado (PM), debido a la permanente actividad industrial y transporte, cada uno de ellos presentan niveles de contaminación por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de medición para identificar el nivel de material particulado sedimentable (MPS) y material particulado volátil (MPV), la comunidad será favorecida con este estudio ya que se les dará a conocer los resultados de la investigación para beneficio propio.

1.2. Justificación

La comunidad de San José de Chancahuan se ha visto afectada a nivel atmosférico durante años, debido a la actividad industrial que se da en la zona; presencia de empresas y actividad de transporte minero, que en los últimos años ha ido incrementando debido a la cercanía de minas utilizadas por las mismas empresas que afecta la salud de los pobladores, agricultura y ganadería del área de estudio, los mismos que manifiestan su inconformidad por la existencia de problemas tanto en sus cultivos como en su salud, este PM se presenta en diferentes diámetros lo que pasa desapercibido en ocasiones, pero las consecuencias son enfermedades respiratorias, auditivas, visuales de las que se pueden mencionar.

En el estudio se plantea realizar un muestreo, estudio sobre la calidad del aire donde se pueda expresar mediante la cuantificación de la concentración y un análisis del PM presente en la comunidad de San José de Chancahuan durante el periodo de un mes, tomando en consideración los factores o comportamientos climáticos (dirección y velocidad del viento) de la zona, denotando que tipo de calidad de aire se encuentran respirando a diario y el riesgo al que se exponen.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la concentración del material particulado sedimentable y volátil en la comunidad San José de Chancahuan por incidencia industrial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Efectuar un muestreo de material particulado sedimentable y material particulado volátil en la comunidad de San José de Chancahuan en el periodo de un mes.
- Analizar la concentración de material particulado sedimentable y material particulado volátil.
- Elaborar un mapa de concentración y dispersión del material particulado volátil y material particulado sedimentable mediante el uso de Sistemas de Información geográfica (SIG).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Estado del Arte

2.1. Contaminación Atmosférica (Aire)

La contaminación atmosférica se le conoce como una impurificación de la atmósfera, como materias gaseosas, liquidas o sólidas, sustancias que afectan de manera adversa a la salud de humanos, animales, plantas, por inyección y presencia de dichas sustancias ajenas a su composición natural, esta adición de cualquiera de dichas sustancias altera las propiedades físicas y químicas del aire(Pérez & Gía, 2013).

De diversas fuentes provienen los contaminantes que se encuentran presentes en el aire, con características distintas en su composición, fuente y las diferentes condiciones en la que se da, los gases más comunes que se encuentran en el aire son: óxidos de sulfuro (principalmente dióxido de sulfuro (SO_2), óxidos de nitrógeno cómo el dióxido de nitrógeno (NO_2), hidrocarburos reactivos (frecuentemente denominados compuestos orgánicos volátiles) y el monóxido de carbono (CO) (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.2. Partículas

Las partículas se forman de dos maneras: subdivisiones o roturas de fragmentos mayores de materia, y aglomeración o reunión de fragmentos pequeños incluyendo moléculas. El proceso de subdivisión está formado de aerosoles de la marina (la partícula atmosférica que se presenta en mayor cantidad). Otros procesos naturales que introducen material particulado directamente en la atmósfera son el arrastre o conducción de polvo por el viento, la actividad volcánica y los incendios forestales (Pérez & Gía, 2013).

La contaminación por partículas es la destrucción de la vegetación, que a su vez causa erosión en el suelo; los incendios; varios procesos industriales que generan gran cantidad de polvos; y actividades humanas que requieren la quema de combustibles como carbón, leña y derivados de hidrocarburos. Dependiendo de su tamaño, las partículas pueden flotar o sedimentar, las partículas que se mantienen flotando se conocen como partículas suspendidas totales (Pérez & Gía, 2013).

Las partículas cuyo diámetro es menor o igual a 10 micras se conocen como partículas de fracción inhalable o PM_{10}, las cuales pueden estar formadas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoarios, bacterias,

virus, hongos y polen las cuales pueden causar diferentes tipos de enfermedades. Cuando las partículas son inhaladas no siempre son expulsadas por los sistemas de defensa del organismo, causando problemas en el sistema respiratorio. La exposición a PM_{10} ha generado una preocupación en los últimos años, por ende, aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de la fracción respirable con la mortalidad y morbilidad de la población. En forma consistente a través de muchos estudios se ha encontrado un 3% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada 10 $\mu m/m^3$ en PM_{10} a partir del valor de la norma. Siendo la asociación más significativa con cáncer cardiopulmonares. Las asociaciones entre mortalidad y contaminación tienden a ser más fuertes cuando el parámetro a comparar son las partículas $PM_{2.5}$, también llamadas partículas finas o partículas de fracción respirable. Estas partículas tienen una mayor penetración en el sistema respiratorio y por lo tanto son más dañinas para la salud. Por su tamaño interfieren con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad. Un 40% de estas partículas son retenidas en los bronquios y en los alvéolos, causando síntomas respiratorios agudos. Las partículas de fracción fina $PM_{2.5}$ suelen ser emitidas directamente a la atmósfera como producto de reacciones fotoquímicas y procesos físicos (Pérez & Gía, 2013).

2.3. Material Particulado (MP)

Al material particulado se le conoce como una mezcla o un conjunto complejo de partículas liquidas y sólidas, que presentan características físicas y químicas que las encontramos suspendidas en la atmósfera, son emitidas por fuentes de origen natural o antropogénico (Arrieta, 2016).

Estas partículas en suspensión difieren en diferentes características: en tamaño, composición y origen, variando en el tamaño desde nanómetros a decenas de micrómetros, es por eso que la clasificación está dada por propiedades aerodinámicas importantes y decisivo para un buen transporte y eliminación de las partículas presentes en el aire (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.3.1. Clases de Material Particulado

El material particulado puede clasificarse de acuerdo a su diámetro aerodinámico de sus partículas: el PM_{10} y el $PM_{2.5}$ las mismas que presentan un gran peligro al inhalarlas.

De acuerdo a su diámetro las partículas se clasifican en:

1) Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 µm.

2) Inhalables o respirables (PM_{10}), cuyo diámetro es menor a 10 µm.

3) Finas, con diámetro menor a 2,5 µm ($PM_{2,5}$) y

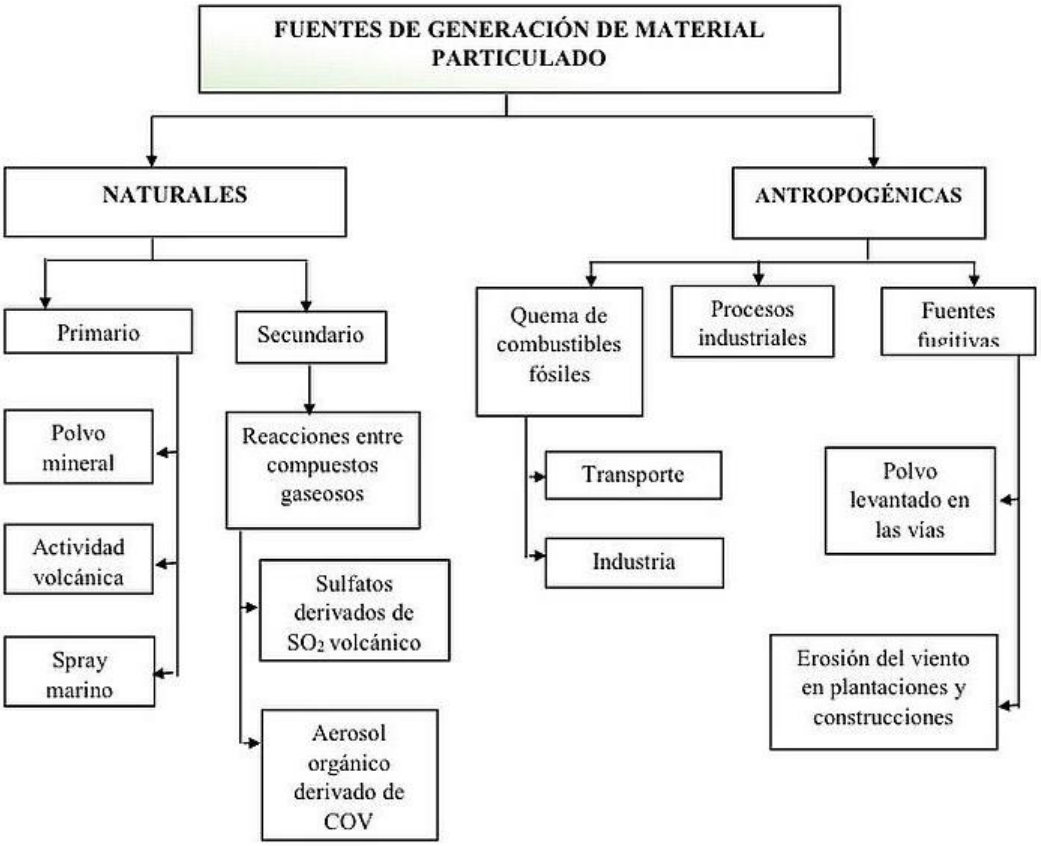
4) Gruesas, con diámetro menor a 10 µm (PM_{4} Y PM_{10}) (Lara & Santillan, 2018).

2.3.2. Fuentes de generación de Material Particulado

El PM se produce de dos fuentes, de origen natural y origen antropogénico, el material particulado producido de fuentes naturales proviene de partículas de erupciones volcánicas, polvo arrastrado por el viento, áreas de vegetación, procesos geotérmicos, estas partículas suelen ser gruesas por lo que la permanencia en la atmósfera es de corto tiempo. En cambio, las partículas provenientes de origen antropogénico es decir a causa de las actividades del hombre son generalmente producidos por los procesos industriales, quema de biomasa almacenamiento y traslado de material, generación industrial, etc. (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

A continuación, en la **Figura 1** se hace referencia a las fuentes generadoras del PM según su tipo de partículas con ejemplos según su fuente generadora.

Figura 1. Fuente de Generación de Material Particulado



Fuente. (Vivar & Wilches, 2014).

El material particulado sedimentable se produce cuando las partículas se desintegran a consecuencia de los procesos de forma mecánica, tales como las partículas metálicas, cemento, el polvo, el polen, el hollín, los fragmentos de plantas e insectos, materiales de construcción, polvo tóxico de las fábricas y agricultura, todos estos que son suspendidos en la atmósfera durante un corto límite periodo de tiempo (Huatuco, 2018).

2.3.3. Efectos Negativos del Material Particulado

Mediante investigaciones epidemiológicas mencionan que el nivel de concentración de material particulado en sus partículas más finas en el aire son causantes de provocar impactos graves sobre la salud humana, ya que al ingresar las partículas al cuerpo humano son más profundas y terminan alojándose en los alveolos pulmonares involucrando en el

intercambio de gases, generando enfermedades graves en el ser humano (Saldarriaga, 2019).

Las partículas sedimentables dependiendo de su composición y del proceso de trasformación son potencialmente dañinos para la vegetación, los suelos, la fauna y la vida humana. El ambiente sufre efectos por parte del MPS como se pueden mencionar el empobrecimiento en el paisaje, contaminan de manera considerable la vegetación, suelo, deterioran los bienes materiales en los que se depositan estas partículas (Huatuco, 2018).

2.3.4. Composición

El material particulado está formado por una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan una composición tanto física y química variable. Las características físicas de las partículas ejercen influencia en su transporte, tiempo de persistencia y posibilidad de su deposición, tanto en el ambiente como en el sistema respiratorio, y su composición química interviene directamente sobre los efectos en la salud humana. La composición química del material abarca un rango amplio de especies tales como compuestos orgánicos, óxidos de silicio, sulfatos, nitratos y amonio. De tal forma que las partículas interactúan con diferentes sustancias en el aire formando compuestos químicos e inorgánicos. La composición más común de las partículas finas son los sulfatos. Las partículas más pequeñas contienen aerosoles, partículas de combustión y vapores re condensados de carácter orgánico y metálico. El carbono presenta partículas finas, producto de una combustión incompleta, contiene tanto carbón elemental (grafito y hollín) como compuestos orgánicos no volátiles, siendo una de las más abundantes. Por consiguiente, las reacciones atmosféricas de los óxidos de nitrógeno producen vapores de ácido nítrico que puede acumularse como partículas de nitrato tanto en partículas finas como gruesas. La combinación más común de las partículas gruesas ocurre con óxidos de silicio, aluminio calcio y hierro (Pérez & Gía, 2013).

2.3.5. Material Particulado Sedimentable

También conocido como polvo sedimentable, está compuesta por partículas que se depositan en el aire a consecuencia de la gravedad, por contaminantes gaseosos, partículas arrastradas por la lluvia o conocida como deposición húmeda, presentan velocidades de sedimentación muy apreciables. Estos permanecen en la atmósfera por cortos periodos de tiempo (Bravo & Moscoso, 2017).

2.3.6. Material Particulado Volátil

El fragmento de partículas en suspensión también llamado material particulado volátil (MPV) son aquellas partículas suspendidas totales (PST) en el aire ambiente la cual se dispersan de una manera constante y homogénea, por lo que permanecen suspendidos durante un intervalo de tiempo mayor hasta que son destruidos por precipitación. Para dicho estudio a realizar se toma en cuenta dos tipos de tamaño de diferentes diámetros, de diámetros 2,5 µm y 10 µm, la cual es la clasificación que se usa frecuentemente para la investigación sobre contaminación del aire para determinar niveles de concentración de PM y de riesgo a la salud (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.3.6.1. Material Particulado Volátil $PM_{2.5}$

Para el material particulado volátil se caracteriza por tener un diámetro menor a 2,5 µm, cercano a la longitud de onda de luz, pues estas partículas resultan de procesos de combustión de carbón, petróleo, gasolina, diésel, madera o a través de procesos industriales de alta temperatura como fundiciones de acero, teniendo una vida útil desde días hasta semanas por lo que pueden transportarse a una distancia de miles de kilómetros, siendo pues, una fracción significativa de $PM_{2.5}$ se deposita en todo el tracto respiratorio humano, causando enfermedades pulmonares, enfermedades cardíacas y muertes prematuras (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.3.6.2. Material Particulado Volátil PM_{10}

El material particulado 10 cuyos diámetros comprendidos entre 2,5 µm y 10 µm, son denominadas aerosoles oxigenados, que a través del origen de fuentes naturales puede estar relacionado con el polvo del suelo y la corteza terrestre, el rocío del mar, el cual se transforma en aerosol marino, así como partículas presentes en cenizas de volcanes, incendios forestales y elementos traza principalmente de metales. Mediante las actividades antropogénicas las emanaciones de material particulado se genera a través de las emisiones de tráfico vehicular, actividad industrial y energéticos (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.3.7. Composición mineralógica y química del PM

El PM atmosférico es una complicada mezcla de partículas sólidas y liquidas que se encuentran presentes en el aire, pero aún mayor es su compleja composición química. Es común la medición de las fracciones del PM las cuales varias ampliamente con respecto

a su concentración y composición química según el tiempo y lugar (Suárez-Salas, Álvarez, Bendezú, & Pomalaya, 2017).

El entendimiento de la composición química del PM, es primordial para comprender completamente los impactos que estos generan a diversos factores como el clima, la calidad del aire y la salud humana, es así que los metales contenidos en el PM se asocian a efectos negativos en la salud humana como efectos cancerígenos o alergias respiratorias entre otras (Pacsi & LLanos, 2017).

La mineralogía y química global de las partículas se le puede considerar como un sistema complejo y muy variado esto dependiendo de las zonas de muestreo, tomando en cuenta otras condiciones (dispersión, distancia de las fuentes, topografía, etc.), que juegan un papel importante en la formación de las partículas. Dentro de las actividades industriales existe la presencia de compuestos complejos debido a sus actividades, que aportan a la atmósfera concentraciones anómalas desde un punto de vista geoquímico (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

2.4. Caracterización de Contaminantes Producido por Industrias Cementeras

La fabricación de cemento procede desde el transporte de materia prima con distintos materiales como agregados calcáreos y piedra caliza, los cuales son triturados, pesados, recopilados, homogenizados, calcinados (método que se conoce como clinkerizado) en un horno rotatorio y posteriormente almacenado. En dichos procesos se genera problemas por la emisión de material particulado la cual se puede disminuir el impacto con diversas técnicas de minimización del material particulado especialmente en el área de clinkeralización. Al ser materiales tales como piedra caliza; arcilla componentes del Clinker son minerales compuestos de la siguiente forma según su análisis químico: Óxido de calcio (44%), Óxido de silicio (14,5%), Óxido de aluminio (3,5%), Óxido de hierro (3%), Óxido de manganeso (1,6%) (Segundo, Diaz, & Velasquez, 2019).

2.5. Factores Meteorológicos

Los factores meteorológicos son de gran importancia en la contaminación atmosférica, esto se identifica mediante la observación dentro de una área precisa o determinada en un periodo de varios días donde se da la variación de la calidad del aire aun cuando las emisiones son constantes. La concentración del contaminante dependerá de la relación de fuerzas entre las fuentes de contaminantes y las condiciones de autodepuración atmosférica (Pérez & Gía, 2013)

Los factores meteorológicos ayudan a determinar la dispersión, concentración, transformación y la eliminación del PM que depende de las condiciones meteorológicas del área de estudio y el tiempo que se le da al muestreo, condiciones como la velocidad y dirección del viento indican la distancia que recorre el PM y a su vez la formación que éste va tomando. Obteniendo mediante estos factores una correcta predicción y análisis exhaustivo del contaminante (Andi, Vega, & Santillán, 2019).

Las principales variables meteorológicas a considerar por su influencia sobre la calidad del aire son:

1. El transporte convectivo horizontal, que depende de la velocidad y dirección del viento;

2. El transporte convectivo vertical, que depende de la estabilidad atmosférica y del fenómeno de la inversión térmica de las capas de la atmósfera (Pérez & Gía, 2013).

2.5.1. Transporte convectivo horizontal.

Al transportar los contaminantes, el viento, genera dispersión horizontal y determina la zona que va a estar expuesta a los mismos. Por lo tanto, a una mayor velocidad de viento menor será las concentraciones del contaminante a nivel del suelo, ya que se producirá una mayor dilución y mezcla. Sin embargo, pueden producirse circulaciones cerradas de viento, como en el caso de las brisas del mar, valles y montañas, en las que los contaminantes lanzados a la atmósfera se incorporan a la circulación del viento con lo que se genera una acumulación progresiva de contaminantes, que da lugar a un aumento de la concentración de los mismos en las zonas barridas por este tipo de vientos (Pérez & Gía, 2013).

2.5.2. Transporte convectivo vertical.

El grado de difusión vertical de contaminantes es la variación vertical de temperaturas en la atmósfera. Determinado la capacidad de difusión vertical del contaminante, comparando la variación vertical de temperaturas de un estrato de aire atmosférico con el gradiente vertical adiabático, que corresponde a una variación de -1° C por cada 100 metros de altura. De esta forma se obtienen tres clases de estabilidad atmosférica en el estrato, entonces la variación de la temperatura con la altura sea mayor, igual o inferior que la correspondiente al gradiente vertical adiabático. Por consiguiente, si en la capa de aire la temperatura desciende con la altura bastante menos de un grado cada 100 metros, los movimientos verticales del aire son limitados por lo que hay poca o nula dispersión vertical de contaminantes. En estas condiciones se dice que la clase de estabilidad

atmosférica es del tipo estable. Cuando la temperatura del estrato desciende con la altura más de un grado cada 100 metros de altura, la estabilidad atmosférica será del tipo inestable y los movimientos verticales del aire están muy favorecidos difundiéndose los contaminantes verticalmente hasta donde alcance la inestabilidad. Por último, tenemos el caso de la estratificación indiferente o nula, que se da cuando coincide la variación de temperatura del estrato con el gradiente vertical adiabático. En estas condiciones la dispersión vertical de contaminantes no está limitada (Pérez & Gía, 2013).

2.6. Estándares de calidad del aire para PM

Las entidades responsables de emitir los niveles de calidad del aire son la Organización Mundial de la Salud (OMS), y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), los cuales son organismos enfocados a la protección de la vida y la conservación del ambiente.

2.6.1. Normativa de calidad del aire según la OMS

La OMS ofrece las directrices para una evaluación de los efectos que se deriven a la contaminación del aire que rigen para todo el mundo que se basan en una evaluación realizada por expertos en PM, ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), realizada en todas las regiones de las OMS. Donde emiten umbrales y límites para contaminantes atmosféricos claves para riesgos sanitario (OMS, 2018)

Los valores de LMP de concentración de PM presentes en la atmósfera se muestran en el anexo 1.

2.6.2. Normativa de calidad de aire según el TULSMA

El TULSMA fue emitido el 31 de marzo de 2003 a través del Registro Oficial Suplemento 2, con la última modificación del 29 de marzo de 2017, el cual es la normativa ambiental vigente en el Ecuador, que denota los niveles máximos permisibles (LMP) para los contaminantes presentes en la atmosfera en un intervalo de tiempo. Los valores de los LMP de concentración de PM presentes en la atmosfera se encuentran en el Libro VI, como se muestra en el anexo 2 (Ministerio del Ambiente, 2017).

CAPITULO III

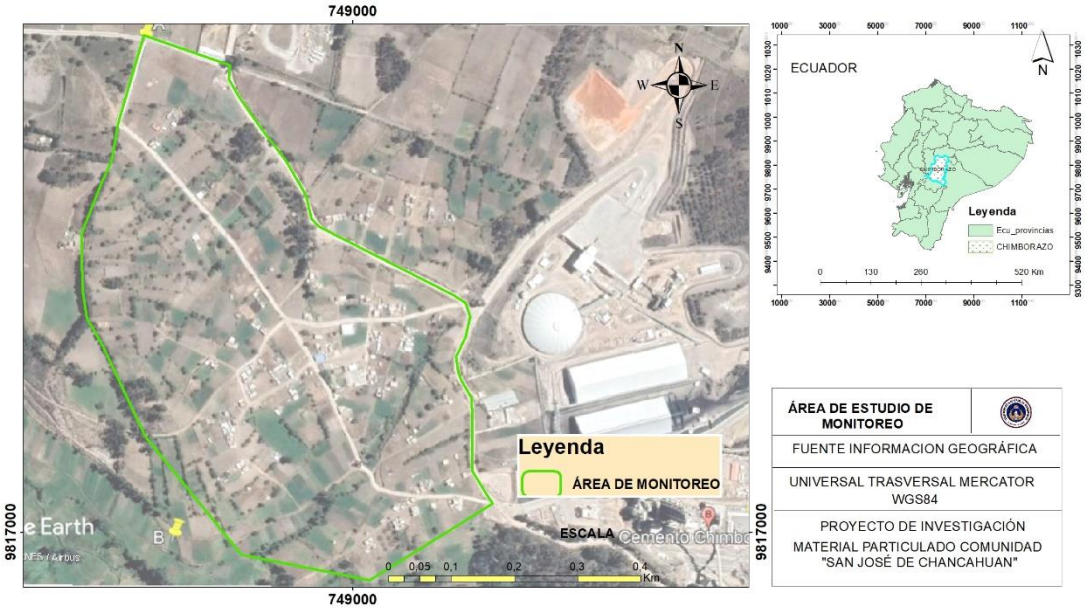
METODOLOGÍA

A continuación se detalla el progreso experimental del estudio en campo, el funcionamiento y uso del equipo adecuado para el monitoreo in-situ, tales como el equipo sedimentador para material particulado sedimentable (MPS) colocados en catorce puntos de muestreo, y el Dust Trak™ II para el muestreo de material particulado volátil, que posteriormente serán representados mediante un mapa de concentración y dispersión de MPS y MPV tomando en cuenta la dirección y velocidad del viento, posteriormente, se realizará el análisis cualitativo del PM, seguido de un análisis geo estadístico.

3.1. Área de estudio

La comunidad de San José de Chancahuan, se encuentra situada a 16 km de Riobamba, a 3100 msnm (Latitud: 1°40′15″ S, Longitud: 78°38′49″ O), ubicado al Norte con la parroquia de San Juan, al Sur con la cabecera parroquial de Villa la Unión, al Este la cabecera parroquial Calpi, al Oeste la provincia de Bolívar, registra una Temperatura de 13 a 16 °C, su Humedad Relativa es de 0.7 – 1.88 (GADM Santiago de Calpi, 2015).

Figura 2. Área de estudio delimitada, comunidad de San José de Chancahuan.



Fuente: *Los autores (2020)*

El área donde se realizará el estudio, está situada en catorce puntos cercanos a la influencia industrial y vehicular de la comunidad.

En la comunidad de San José de Chancahuan existen 3 tipos de clima:

Ecuatorial frío alta montaña.

Ecuatorial frío seco alta montaña.

Ecuatorial frío semi húmedo alta montaña (GADM Santiago de Calpi, 2015).

3.2. Visita de campo

Con la visita de campo se procede a la toma de puntos de control con el GPS 60 csx de alta precisión, marca GARMIN en los catorce puntos de muestreo, para finalmente determinar la dispersión del PM mediante el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Cabe recalcar que es necesario mantener buenas relaciones con las personas del sector ya que en sus distintas propiedades serán colocados los equipos de monitoreo.

3.3. Ubicación e implantación de los equipos de medición para MPS

Según (Marcos & Valderrama, 2012), menciona aplicar ciertas consideraciones tales como, el lugar donde se situé cada estación debe estar libre de obstáculos significativos (edificaciones en el entorno, de áreas con árboles, de tendederos), u otras fuentes de contaminación de manera que la muestra pueda ser recolectada por acción gravitacional, para la implantación de los equipos de muestreo se tomó en cuenta los puntos de mayor vulnerabilidad como es el caso de habitantes cercanos a la presencia de industrias del sector.

De acuerdo a (Santillán, y otros, 2016) los equipos fueron ubicados en lugares con mayor probabilidad de receptar MPS aplicando el método pasivo que consiste en colocar un caja Petri con papel filtro previamente pesado y determinada área, en cada punto de muestreo donde permanecerán durante el periodo de un mes .

3.4. Monitoreo Material Particulado Sedimentable (MPS)

El monitoreo MPS se da en un periodo de un mes, de acuerdo al TULSMA LIBRO VI, Anexo 4 del mismo, detallado en el Anexo 2, donde hace mención a que, para obtener una muestra, debe ser recolectada durante el periodo de un mes, la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por un mes (1 mg/cm² x mes) (Ministerio del Ambiente, 2017).

Ya finalizado el muestreo, el papel filtro de cada estación se pesa en la balanza analítica y de precisión GARMI. De allí pues se manipula la fórmula expuesta por (Marcos & Valderrama, 2012) para determinar el MPS, se calcula mediante la operación de la diferencia entre los pesos final e inicial y dividiendo para el área del papel filtro y multiplicando por 1 mes, obteniendo en unidades de mg/cm²/mes. La fórmula utilizada se la concibe a continuación:

$$PAS = \frac{\mathrm{Pf} - \mathrm{Pi}}{\text{Área}} * 1mes$$

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable.

Pi (P. inicial): Este es después de salir de laboratorio.

Pf (P. final): Este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.

Área del papel filtro: $A = \pi * r^2$

3.5. Monitoreo de Material Particulado Volátil (MPV)

Dentro del Monitoreo de MPV en el área de estudio se lo llevo a cabo durante el periodo de 1 mes (17 de febrero al 13 de marzo del 2020), en los puntos identificados como afectados en la zona, y en las horas identificadas de mayor influencia de actividades industriales.

Para el MPV el monitoreo se lo realizó con el equipo de Dust Trak™ II, el cual mide concentraciones de material particulado presentes en la atmósfera, ya que posee un fotómetro láser manual de dispersión de luz que funciona con registro de datos manuales y programables, los cuales funciona con baterías que ofrecen lecturas de masa de MPV en tiempo (Santillán, y otros, 2016). Inicialmente, se procedió a encender y ejecutar el equipo con el filtro 0 µm (ZERO CAL) para su respectiva calibración. Terminada su calibración, se colocaron los filtros de 10 µm, 4 µm y 2,5

µm para medir la concentración de MPV el cual tiene una duración de 2 minutos para cada filtro, obteniendo valores en mg/m^3, los cuales posteriormente se transforman a $\mu g/m^3$. (Santillán, y otros, 2016).

Según los límites máximos permisibles por la OMS y el TULSMA se hacen referencia a valores fijados en directrices para los filtros 2,5 µm y 10 µm, por lo consiguiente para el filtro de 4 µm no existe valores de referencia por lo cual se realizó una regla de tres compuesta para la determinación de los límites máximos permisibles y posteriormente poderlos comparar.

3.6. Análisis Geo estadístico

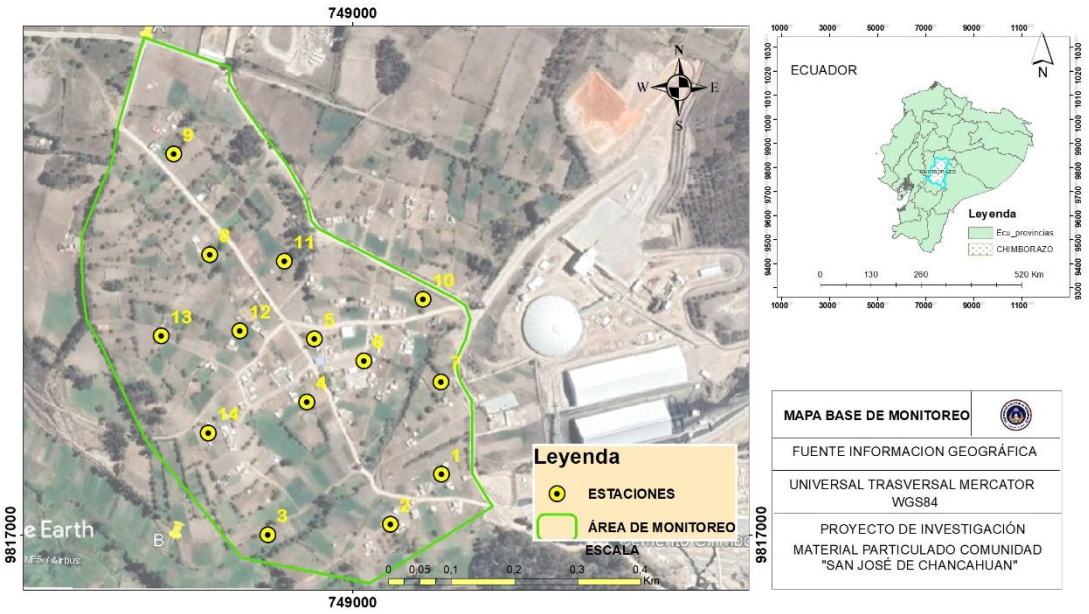
Mediante la recolección de datos los que conlleva la velocidad y dirección del viento de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio, durante el mes de muestreo del 17 de febrero al 13 de marzo con lo que se procede a determinar la dispersión que tiene el PM, tanto de material particulado sedimentable como el material particulado volátil se lo realiza mediante el método de interpolación KRIGING del sistema de información Geográfica (SIG).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el área de estudio dividida en 14 puntos en las que se ubicaron las estaciones fijas de monitoreo como se observa en la Figura N°3. Los resultados nos permiten observar la concentración del material particulado sedimentable y volátil, a su vez el mapeo de la concentración, dispersión del material particulado y la discusión de los mismos en relación a la presencia industrial.

Figura 3. Ubicación de los puntos para el monitoreo de MPS Y MPV



Fuente: *Los Autores (2020)*

4.1. Concentración y Análisis descriptivo del Material Particulado Sedimentable

En la **Tabla 1** tenemos valores utilizados para lograr obtener los datos de PAS.

Tabla 1. Valores utilizados para la obtención de datos de PAS.

Radio del Papel Filtro(cm)	Área del Papel Filtro (cm^2)
4,2	55,39

Fuente: *Los Autores, 2020*

Completado el monitoreo de MPS en el periodo de un mes en los catorce puntos (estaciones fijas), los datos obtenidos que corresponden al peso de cada estación en la **Tabla 2,** donde se tiene un promedio de 4,24 (mg/ cm^2 /mes) en todo el mes de monitoreo del "17 de febrero al 13 de marzo del 2020". Comparando los valores con los límites permisibles establecidos por la OMS y el TULSMA, este valor sobrepasa los mismos.

Tabla 2. Concentración de MPS en cada estación de monitoreo

Estaciones	**Ubicación Geográfica**		**PESO INICIAL**	**PESO FINAL**	**PAS**
	Latitud	Longitud	Miligramos		mg/cm^2/mes
1	749140	9817096	448,2	463,8	8,45
2	749059	9817017	448,7	461	6,66
3	748865	9817000	457,6	462	2,38
4	748927	9817211	459,4	464	2,49
5	748939	9817311	452,8	463,1	5,58
6	749017	9817276	452,8	460,2	4,01
7	749139	9817243	447,5	461,7	7,69
8	748773	9817444	456,6	460,2	1,95
9	748716	9817603	459,1	462,6	1,9
10	749111	9817374	446,6	459,2	6,82
11	748891	9817433	448,2	458,1	5,36
12	748821	9817323	449,3	456,1	3,68
13	748696	9817316	451,4	454,2	1,52
14	748770	9817162	455,7	457,3	0,87

Fuente: *Los Autores, 2020*

Los datos obtenidos en la **Tabla 2** de las diferentes estaciones fijas de monitoreo de la concentración de MPS, se compara con los límites permisibles (LMP) por las OMS y el TULSMA, como se muestra en la **Tabla 3,** donde todas las muestras presentan valores que sobrepasan los LMP establecidos por la OMS que es de 0,5 mg/cm^2/mes, algo afín de lo que sucede para el LMP establecido por el TULSMA de 1 mg/cm^2/mes, en donde solo en la muestra de la estación 14 no sobre pasa estos valores y cumple con lo establecido, así comprobamos que debido a la cercanía a la industria de la mayoría de los puntos de monitoreo, tienen mayor concentración de PM, tomando en cuenta la influencia de la velocidad y dirección del viento.

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

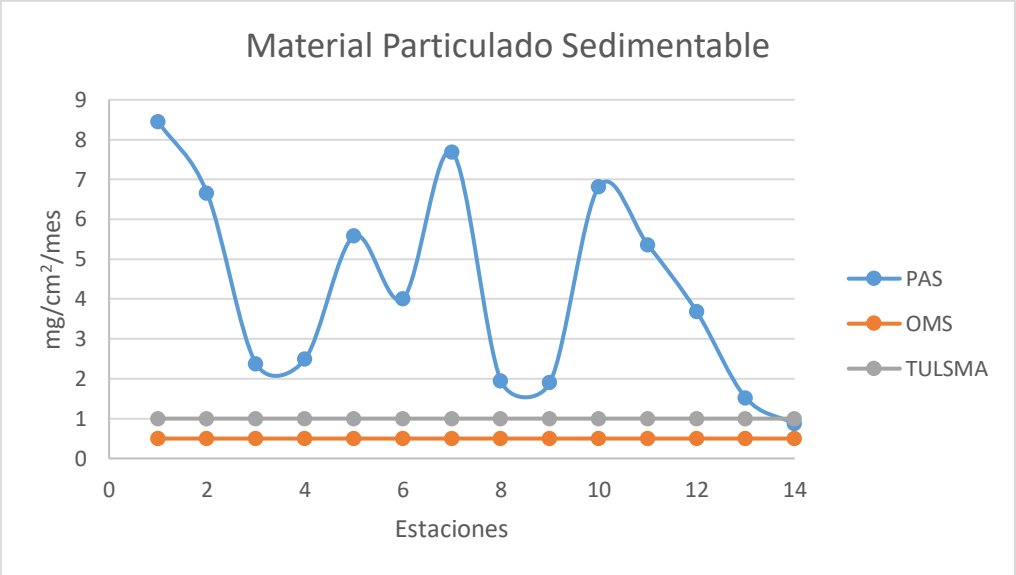
Estaciones	PAS mg/cm^2/mes	OMS 0,5 mg/cm^2/mes	TULSMA 1 mg/cm^2/mes
1	8,45	NO	NO
2	6,66	NO	NO
3	2,38	NO	NO
4	2,49	NO	NO
5	5,58	NO	NO
6	4,01	NO	NO
7	7,69	NO	NO
8	1,95	NO	NO
9	1,9	NO	NO
10	6,82	NO	NO
11	5,36	NO	NO
12	3,68	NO	NO
13	1,52	NO	NO
14	0,87	NO	SI

NO	No Cumple
SI	Si Cumple

Fuente: *Los Autores, 2020*

En la **Figura 4**, mediante una gráfica lineal se puede verificar los valores del MPS en comparación con los LMP que se encuentran establecidas por la OMS y el TULSMA, donde se comprueba que en la estación de monitoreo 14 presenta un valor de 0,87 (mg/cm^2/mes), el cual para la OMS sobre pasa su límite establecido ya que su LMP es de 0,5 (mg/cm^2/mes), a diferencia del valor establecido por la normativa del TULSMA que su LMP es de 1 (mg/cm^2/mes), indicando que se encuentra dentro de su rango. Para las demás muestras los valores sobrepasan los límites permisibles tanto para la OMS como para el TULSMA, las muestras que presentan mayor concentración MPS son en los puntos 1, 2, 5, 10, que tienen valores de 8.45, 6.66, 5.58, 6.82 (mg/cm^2/mes) respectivamente, estos valores elevados son debido a diferentes circunstancias como por ejemplo la cercanía a la industria que emite gran cantidad de MPS, también que se encuentran cercana a las vías de transporte pesado que provocan que estas partículas se levanten y se depositen en los mismos. Las demás muestras también presentan gran cantidad de MPS debido a que es una zona dedicada a la agricultura y ganadería del área de estudio.

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



Fuente: *Los Autores, 2020*

4.2. Concentración y análisis descriptivo del Material Particulado Volátil

En el periodo del 17 de febrero al 13 de marzo del 2020, se obtuvieron los valores de la concentración del Material Particulado Volátil para los filtros de 2,5 µm, 4 µm y 10 µm, con el uso del equipo Dust Trak™ II en catorce puntos de muestreo en la comunidad de San José de Chancahuan.

4.2.1. Análisis diario de la concentración de Material Particulado Volátil $_{2.5}$ en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

Para la concentración de $MPV_{2.5}$ se realizó un análisis para los diferentes días de monitoreo establecidos en 2 horarios como se visualiza en la **Tabla 4,** para lo cual se realizó el promedio de cada uno de los días de monitoreo con el fin de comparar los valores con respecto a lo que establece la OMS y el TULSMA, en donde los valores obtenidos para el $MPV_{2.5}$ en todos los días se encuentran por encima de los límites permisibles que establece la norma de la OMS, ya que dicho valor se encuentra en 25 $\mu g/m^3$, esto se debe a que en los dos horarios y durante todo el día existe alta concentración de material particulado ya sea emitida por la industria o a su vez por la constante presencia de transportes de carga pesada que provocan el levantamiento de partículas, sin embargo estos valores si cumplen y se encuentran dentro de los límites

establecidos por el TULSMA donde su valor se encuentra en 50 μg/m^3, cumpliendo así con esta normativa, dichos valores se encuentran en un rango de 33 a 40 μg/m^3.

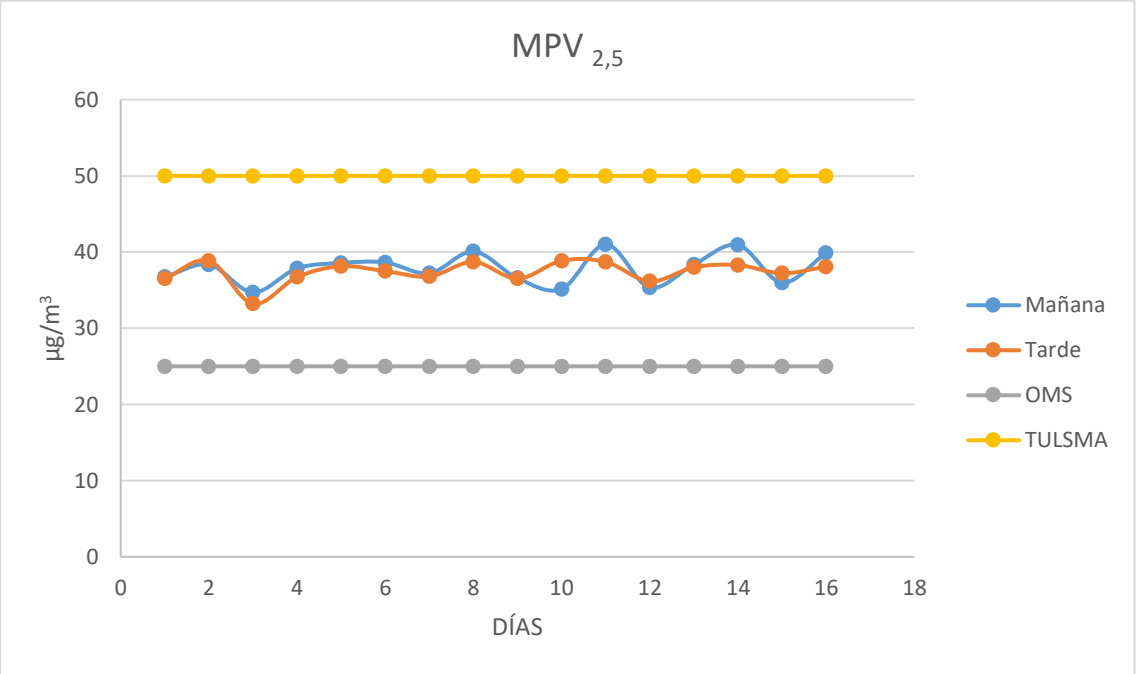
Tabla 4. Concentración de MPV2.5 y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

Días	8:30-10:30	12:00-14:00	Promedio (μg/m^3)	LMP OMS (25μg/m^3)	LMP TULSMA (50μg/m^3)
1	36,71	36,50	36,61	NO	SI
2	38,36	38,86	38,61	NO	SI
3	34,71	33,21	33,96	NO	SI
4	37,86	36,71	37,29	NO	SI
5	38,57	38,14	38,36	NO	SI
6	38,64	37,50	38,07	NO	SI
7	37,21	36,79	37,00	NO	SI
8	40,07	38,71	39,39	NO	SI
9	36,57	36,50	36,54	NO	SI
10	35,14	38,86	37,00	NO	SI
11	41,00	38,71	39,86	|NO	SI
12	35,36	36,14	35,75	NO	SI
13	38,36	38,00	38,18	NO	SI
14	40,93	38,29	39,61	NO	SI
15	36,00	37,21	36,61	NO	SI
16	39,86	38,07	38,96	NO	SI

Fuente: *Los Autores, 2020*

Mediante una gráfica lineal en la **Figura 5** se puede observar la concentracion del $MPV_{2.5}$ con los valores obtenidos en los monitoreos donde evidentemente sobrepasan los limites permisibles establecidos por la OMS, donde los valores más altos se evidencian en la mañana esto es debido a que en horarios de la mañana existe mayor actividad industrial, sin embargo si cumplen con la norma establecida por el TULSMA.

Figura 5. Comparación de la Concentración de MPV2.5 con los LMP de la OMS y el TULSMA.



Fuente: *Los Autores, 2020*

4.2.2. Análisis diario de la concentración de MPV_4 en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

Para la concentración de MPV_4 se realizó un muestreo para los diferentes días de monitoreo establecidos en 2 horarios como se visualiza en la **Tabla 5,** para lo cual se realizó el promedio de cada uno de los días de monitoreo con el fin de comparar los valores con respecto a lo que establece la OMS y el TULSMA, en donde los valores obtenidos para el MPV_4 en todos los días se encuentran por encima de los límites permisibles que establece la norma de la OMS, ya que dicho valor se encuentra en 30 $\mu g/m^3$, esto se debe a que en los dos horarios y durante el día existe alta concentración de material particulado ya sea emitida por la industria, por la constante presencia de transportes de carga pesada o incluso la ganadería y agricultura que posee el área de estudio que ocasiona el levantamiento de partículas finas y gruesas, sin embargo estos valores si cumplen y se encuentran dentro de los límites establecidos por el TULSMA donde su valor se encuentra en 70 $\mu g/m^3$, cumpliendo así con esta normativa, dichos valores se encuentran en un rango de 35,29 $\mu g/m^3$ a 40,54 $\mu g/m^3$.

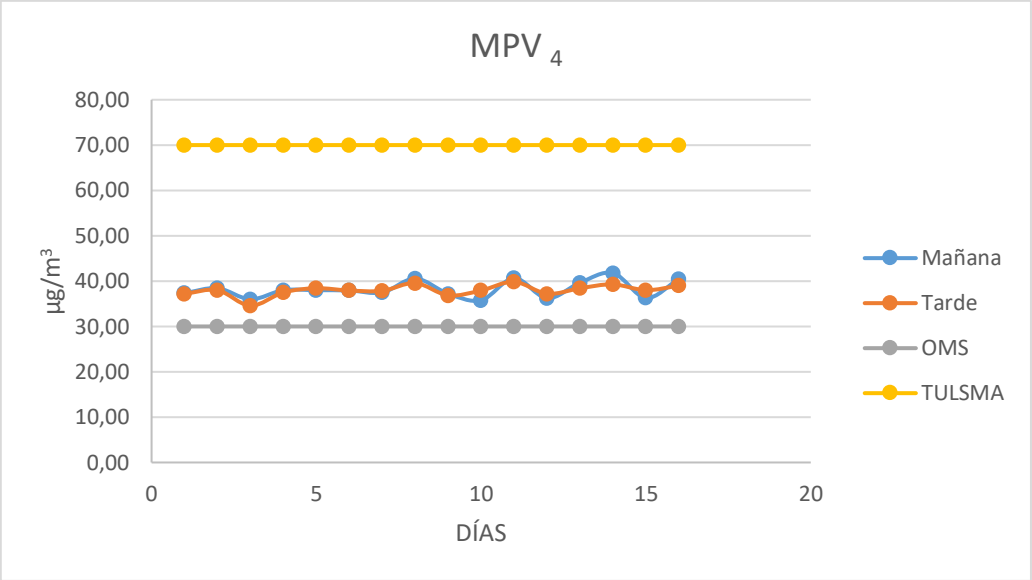
Tabla 5. Concentración de MPV_4 y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

Días	8:30-10:30 ($\mu g/m^3$)	12:00-14:00 ($\mu g/m^3$)	Promedio ($\mu g/m^3$)	LMP OMS ($30\mu g/m^3$)	LMP TULSMA ($70\ \mu g/m^3$)
1	37,36	37,21	37,29	NO	SI
2	38,43	38,00	38,21	NO	SI
3	36,00	34,57	35,29	NO	SI
4	38,00	37,50	37,75	NO	SI
5	38,00	38,43	38,21	NO	SI
6	37,93	37,93	37,93	NO	SI
7	37,50	37,86	37,68	NO	SI
8	40,57	39,57	40,07	NO	SI
9	37,21	36,86	37,04	NO	SI
10	35,79	37,93	36,86	NO	SI
11	40,64	39,86	40,25	NO	SI
12	36,21	37,21	36,71	NO	SI
13	39,64	38,43	39,04	NO	SI
14	41,79	39,29	40,54	NO	SI
15	36,29	38,00	37,14	NO	SI
16	40,50	39,00	39,75	NO	SI

Fuente: *Los Autores, 2020*

Mediante una gráfica lineal en la **Figura 6** se puede observar la concentracion del MPV_4 con los valores obtenidos en el monitoreo, donde sobrepasan los limites permisibles establecidos por la OMS, donde los valores mas altos se evidencian en la mañana esto es debido a que en horarios de la mañana existe mayor actividad en la zona de influencia al area de estudio, sin embargo cumplen con la norma establecida por el TULSMA.

Figura 6. Comparación de la Concentración de MPV_4 con los LMP de la OMS y el TULSMA.



Fuente: *Los Autores, 2020*

4.2.3. Análisis diario de la concentración de Material MPV_{10} en la comunidad de San José de Chancahuan en comparación con los LMP de la OMS y el TULSMA

El análisis de la concentración de MPV_{10} como se muestra en la **Tabla 6**, donde se visualiza la comparación con respecto a los LMP que se establece por la OMS (50 ug/m^3) y el TULSMA (100 ug/m^3), en donde los valores registrados en el monitoreo en un periodo de 16 días no sobrepasan los LMP por las normativas en mención. Sin embargo, la mayor parte de los días presenta un promedio cercano a los LMP por la OMS.

Tabla 6. Concentración de PM_{10} y su comparación con los valores de los LMP de la OMS y el TULSMA

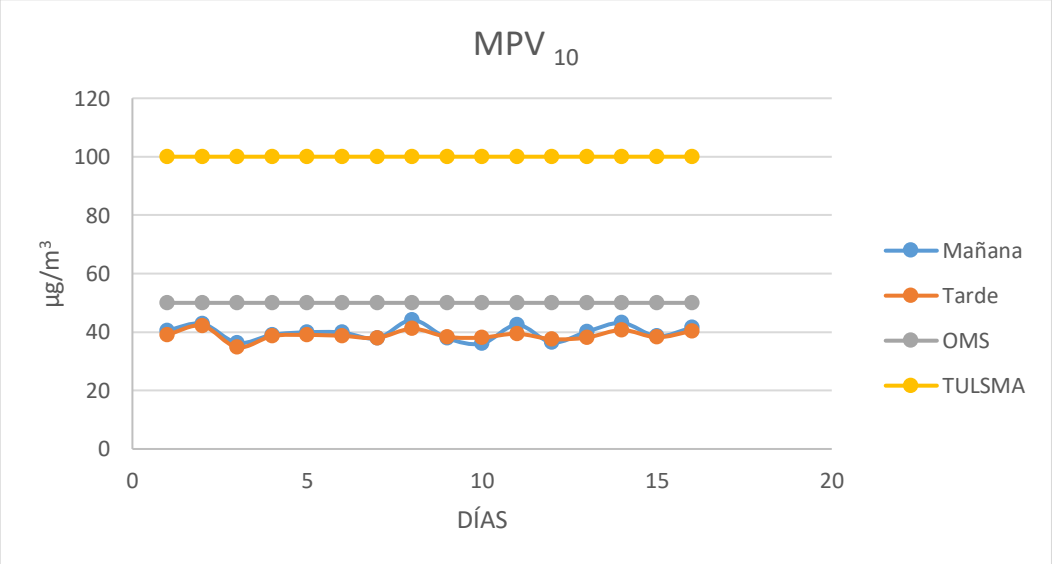
DIA	**HORA**		**PROMEDIO**	**LMP OMS**	**LMP TULSMA**
Nº	8:30-10:30 (ug/m^3)	12:00-14:00 (ug/m^3)	(ug/m^3)	50 ug/m^3	100 ug/m^3
1	40,57	39,07	39,82	SI	SI
2	42,86	42,14	42,50	SI	SI
3	36,29	34,79	35,54	SI	SI
4	39,07	38,64	38,86	SI	SI
5	39,93	39,00	39,46	SI	SI
6	39,86	38,71	39,29	SI	SI
7	37,86	38,00	37,93	SI	SI

8	44,14	41,14	42,64	SI	SI
9	37,93	38,36	38,14	SI	SI
10	36,07	38,14	37,11	SI	SI
11	42,50	39,43	40,96	SI	SI
12	40,14	37,57	38,86	SI	SI
13	40,14	38,14	39,14	SI	SI
14	43,14	40,71	41,93	SI	SI
15	38,57	38,21	38,39	SI	SI
16	41,50	40,36	40,93	SI	SI

Fuente: *Los Autores, 2020*

Mediante una gráfica lineal conseguimos observar de mejor manera la comparación de las concentraciones dentro de las horas y días establecidos como lo muestra la **Figura 7**, donde los LMP (gris, amarillo) se encuentran dentro del rango establecido tanto para la OMS y el TULSMA, visualizamos también dentro de los horarios establecidos de manera diaria tanto en la mañana como en la tarde (azul, naranja), que la mayor cantidad de concentración de MPV_{10} se encuentran en horarios de la mañana y cercanos a los LMP establecidos por la OMS, esto debido a que existe mayor actividad en el sector tanto de la industria como del tráfico vehicular que en su mayoría son de transporte pesado.

Figura 7. Comparación de la Concentración de MPV_{10} con los LMP de la OMS y el TULSMA.



Fuente: *Los Autores, 2020*

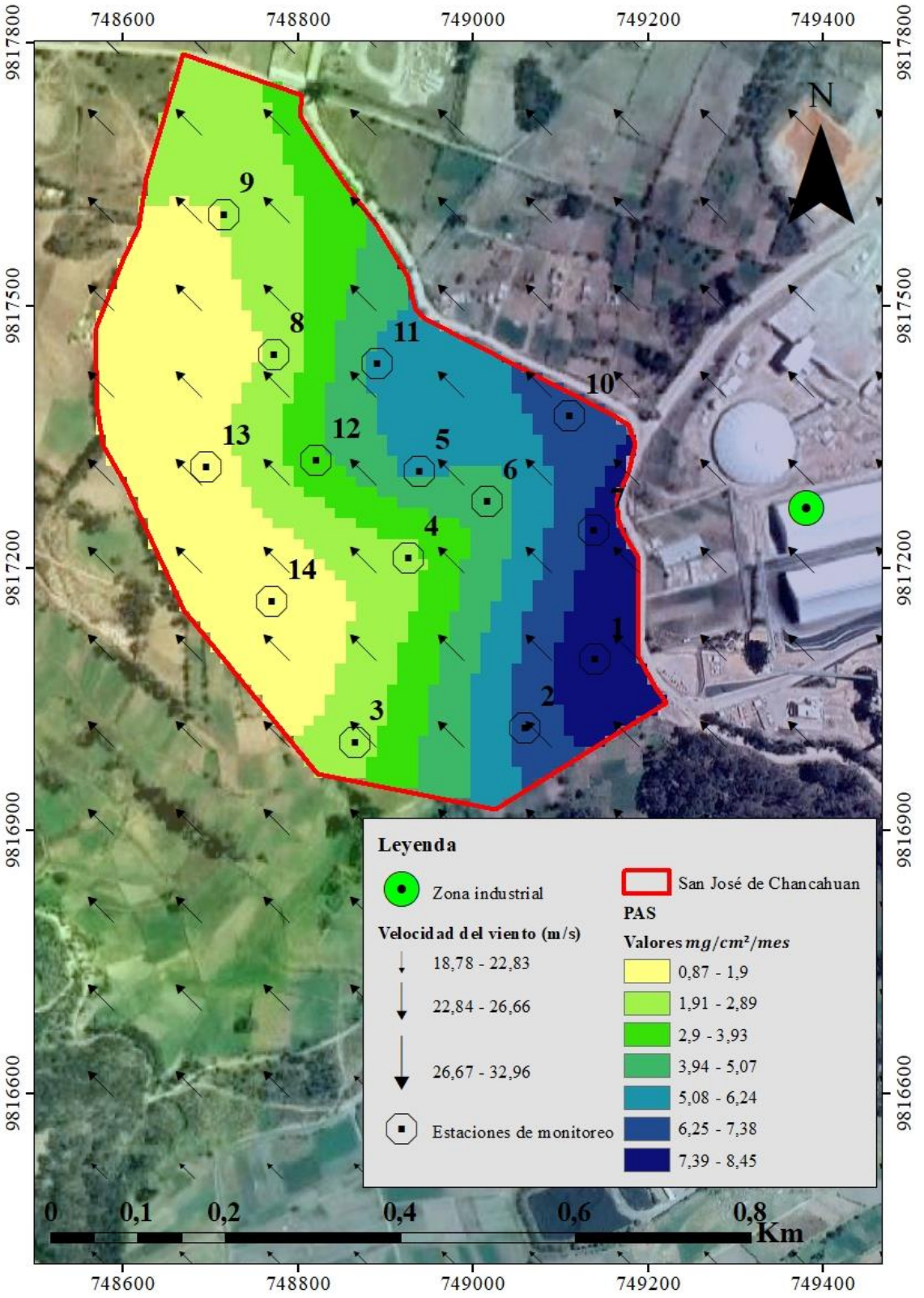
4.3. Simulación de la dispersión de Material Particulado

Para la representación se realizaron cuatro mapas para la dispersión de material particulado sedimentable y material particulado volátil, con los valores promedio mensual de cada estación incluyendo los dos horarios de muestreo con los datos de las diferentes estaciones meteorológicas cercanas de la zona de estudio (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, Dirección de Aviación Civil DAC, Universidad Nacional de Chimborazo, Estación Meteorológica de Cajabamba) con datos de dirección y velocidad del viento.

4.3.1. Simulación de la concentración de Polvo Atmosférico Sedimentable

En la **figura 8** se observa la dispersión del material particulado sedimentable de acuerdo a los valores reflejados en la **tabla 3**, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones fijas en la comunidad de San José de Chancahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 7 y 10 con un valor de 8,45; 7,69; 6,82 mg/cm^2/mes respectivamente debido a la cercanía que existe entre la estación y la zona industrial y los valores con menor concentración las estaciones: 14,13 y 9 con un valor de 0,87; 1,52; 1,9 mg/cm^2/mes respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS y el TULSMA en casi todos los valores a excepción de la estación 14 cumpliendo con la normativa del TULSMA únicamente.

Figura 8. Dispersión de la concentración de polvo atmosférico sedimentable.



Fuente: *Los Autores, 2020*

4.3.2. Simulación de dispersión de Material Particulado Volátil $_{2.5}$ µm

Para la representación de material particulado volátil $_{2.5}$ µm se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la **Tabla 7**.

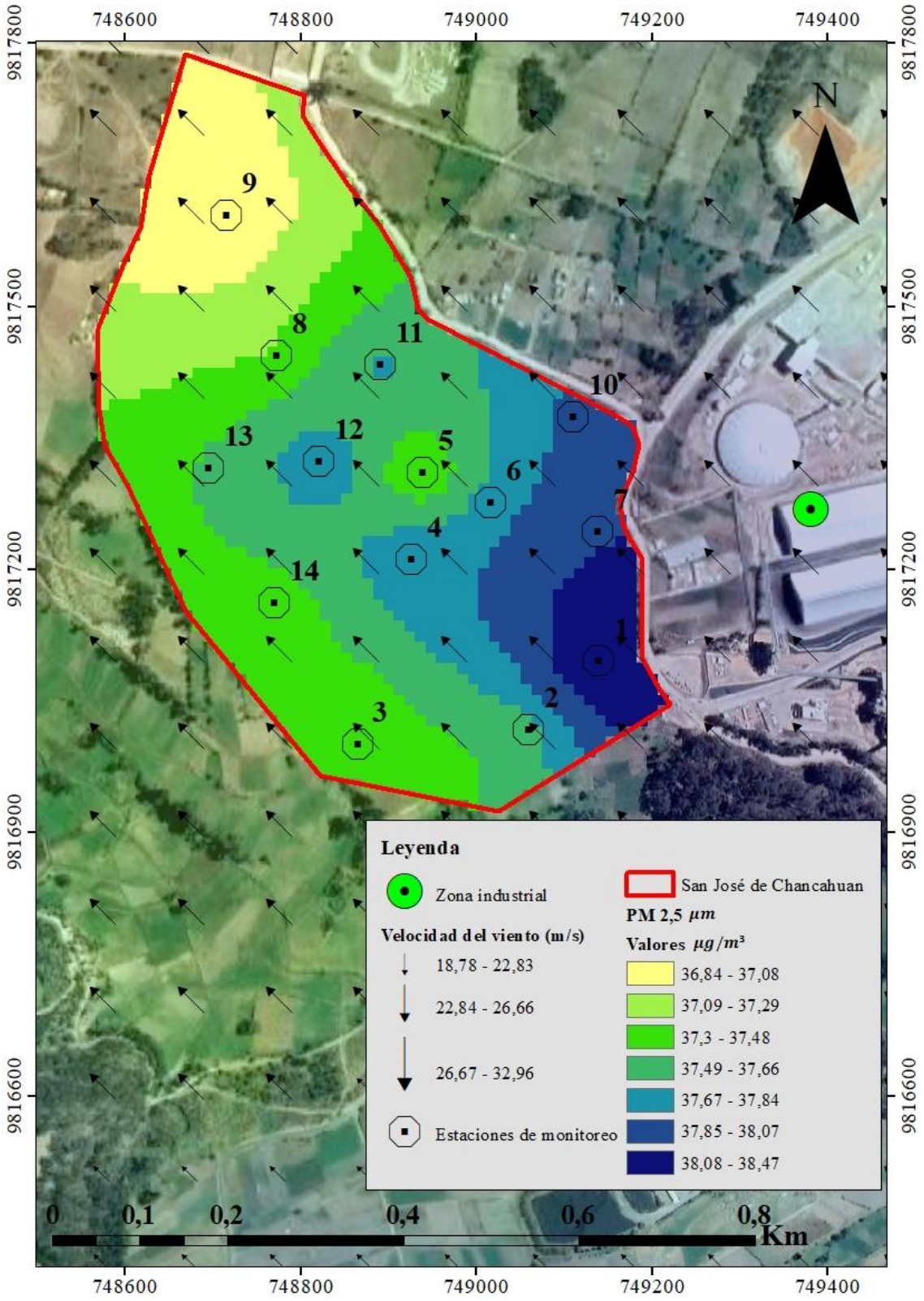
Tabla 7. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_{2.5}$ µm

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	FILTRO $_{2.5}$ µm (µg/m^3)
1	749140,1	9817096,09	38,47
2	749059,48	9817016,63	37,50
3	748865	9817000	37,31
4	748926,5	9817210,55	37,88
5	748939,1	9817310,81	37,16
6	749017,17	9817275,82	37,75
7	749139,19	9817242,59	38,00
8	748773,22	9817443,75	37,28
9	748715,7	9817603,35	36,84
10	749111,32	9817373,63	37,91
11	748890,94	9817433,41	37,75
12	748820,69	9817323,07	37,84
13	748695,84	9817315,79	37,53
14	748770,24	9817161,68	37,34

Fuente: *Los Autores, 2020*

En la **figura 9** se observa la dispersión del material particulado volátil $_{2.5}$ µm de acuerdo a los valores reflejados en la **tabla 7**, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad de San José de Chancahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 7 y 10 con un valor de 38,47; 38; 37,91 µg/m³ respectivamente debido a la cercanía que existe entre la estación y la zona industrial y los valores con menor concentración las estaciones: 9, 5 y 8 con un valor de 36,84; 37,16; 37,28 µg/m³ respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS que establece 25 µg/m³ como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 50 µg/m³ como límite máximo permisible.

Figura 9. Dispersión de material particulado de 2,5 µm



Fuente: *Los Autores, 2020*

4.3.3. Simulación de dispersión de Material Particulado $_4$ µm

Para la representación de material particulado volátil $_4$ µm se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la **tabla 8.**

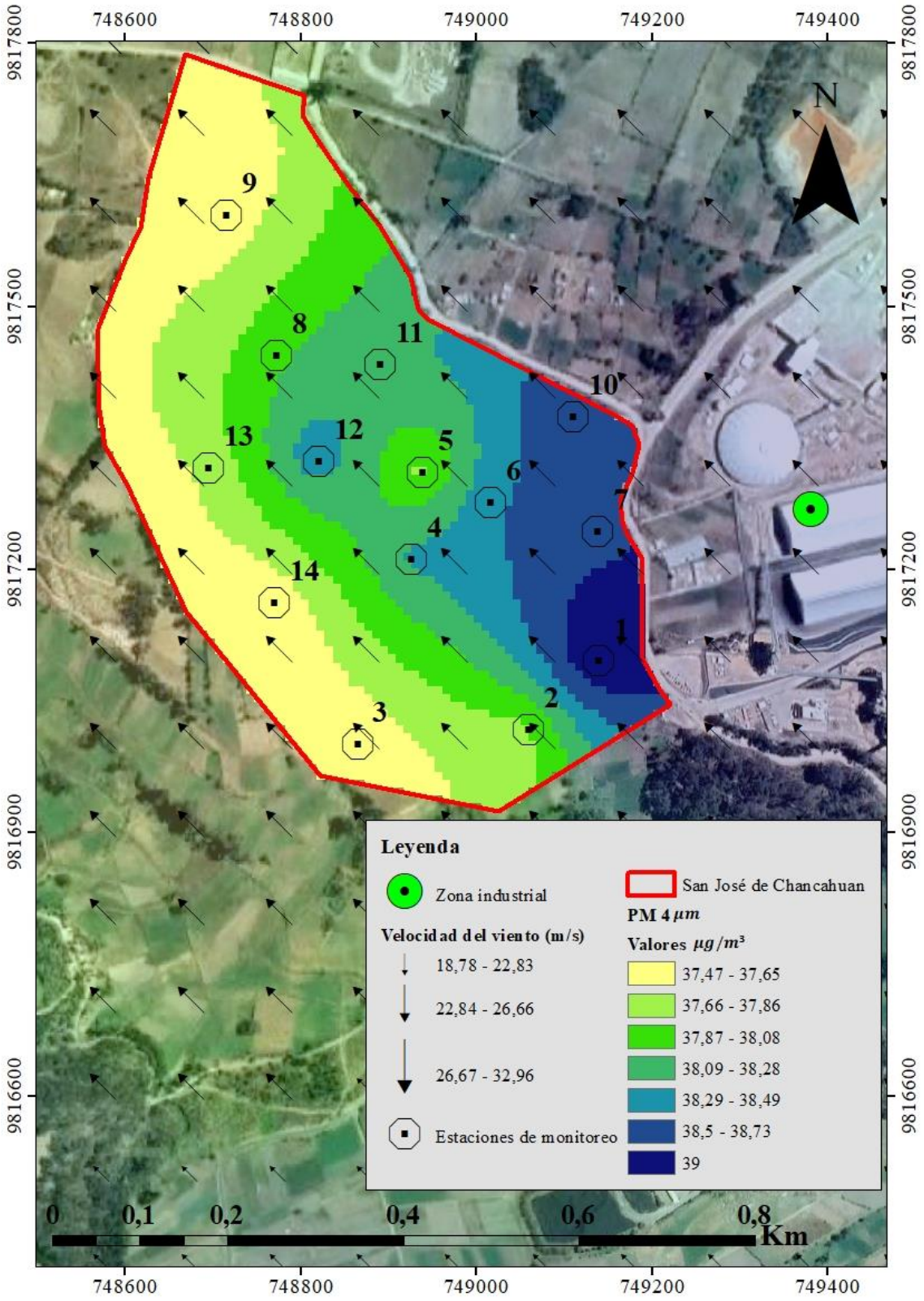
Tabla 8. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_4$ µm

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO $_4$ µm (µg/m^3)
1	749140,1	9817096,09	39,00
2	749059,48	9817016,63	37,81
3	748865	9817000	37,53
4	748926,5	9817210,55	38,31
5	748939,1	9817310,81	37,81
6	749017,17	9817275,82	38,44
7	749139,19	9817242,59	38,59
8	748773,22	9817443,75	38,00
9	748715,7	9817603,35	37,50
10	749111,32	9817373,63	38,69
11	748890,94	9817433,41	38,28
12	748820,69	9817323,07	38,41
13	748695,84	9817315,79	37,69
14	748770,24	9817161,68	37,47

Fuente: *Los Autores, 2020*

En la **figura 10** se observa la dispersión del material particulado volátil $_4$ µm de acuerdo a los valores reflejados en la **tabla 8**, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad de San José de Chancahuan viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 10 y 7 con un valor de 39; 38,69; 38,59 µg/m^3 respectivamente y los valores con menor concentración las estaciones: 14, 9 y 3 con un valor de 37,47; 37,5; 37,53 µg/m^3 respectivamente, incumpliendo con la normativa de la OMS que establece 30 µg/m^3 como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 70 µg/m^3 como límite máximo.

Figura 10. Dispersión de Material Particulado de 4 µm



Fuente: *Los Autores, 2020.*

4.3.4. Simulación de la distribución de Material Particulado $_{10}$ µm

Para la representación de material particulado volátil $_{10}$ µm se realizó un análisis geo estadístico con la ayuda de sistemas de información geográfica mediante un promedio mensual en cada estación como lo podemos observar en la **tabla 9**.

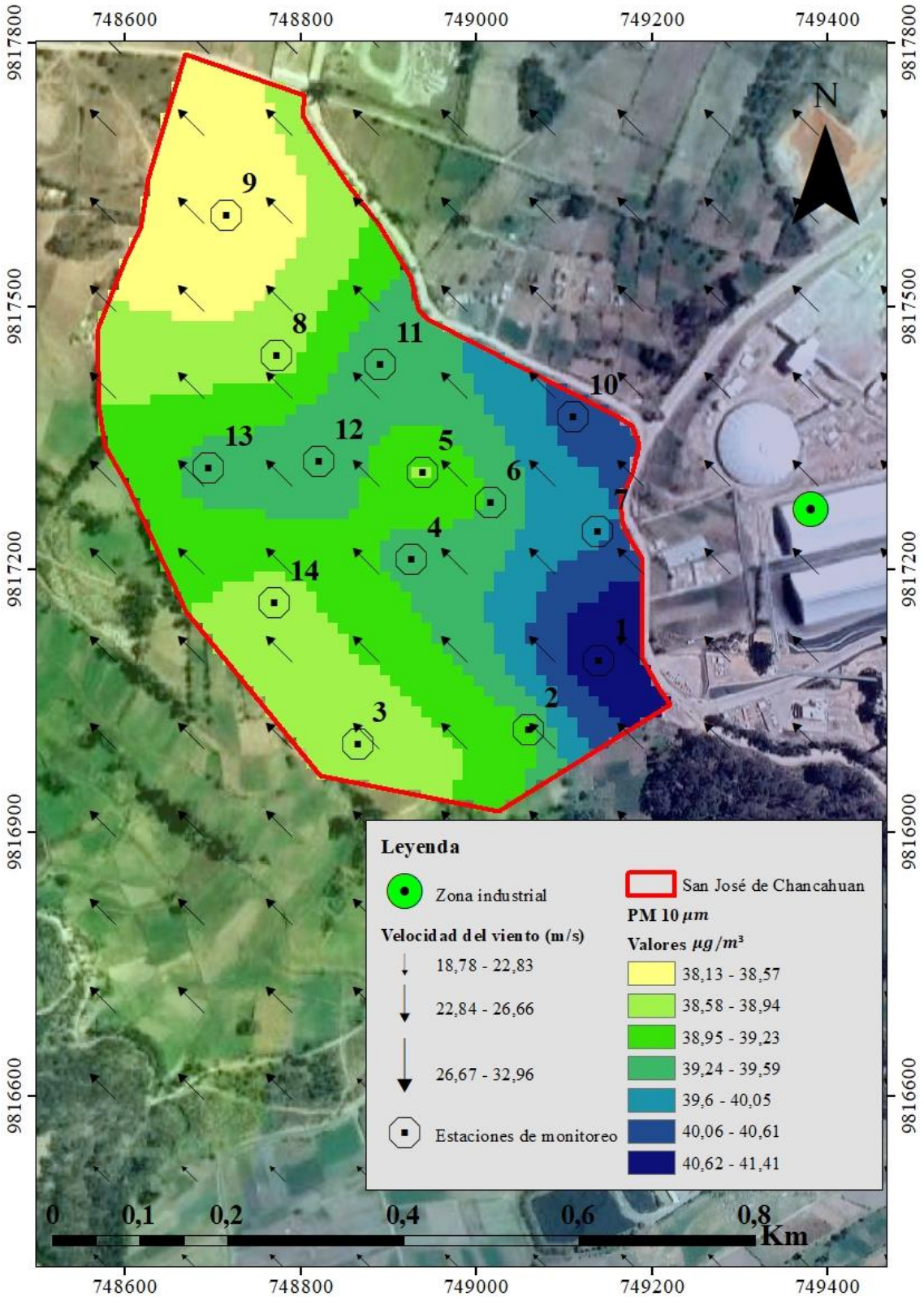
Tabla 9. Datos Mensuales de dispersión de Material Particulado volátil $_{10}$ µm

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	FILTRO $_{10}$ µm (µg/m^3)
1	749140,1	9817096,09	41,41
2	749059,48	9817016,63	39,09
3	748865	9817000	38,78
4	748926,5	9817210,55	39,34
5	748939,1	9817310,81	38,88
6	749017,17	9817275,82	39,25
7	749139,19	9817242,59	39,88
8	748773,22	9817443,75	38,72
9	748715,7	9817603,35	38,13
10	749111,32	9817373,63	40,31
11	748890,94	9817433,41	39,53
12	748820,69	9817323,07	39,47
13	748695,84	9817315,79	39,34
14	748770,24	9817161,68	38,81

Fuente: *Los Autores, 2020*

En la **figura 11** se observa la dispersión del material particulado volátil $_{10}$ µm de acuerdo a los valores reflejados en la **tabla 9**, donde se puede identificar los puntos más relevantes de cada una de las estaciones en la comunidad viéndose afectada por la dirección y velocidad del viento, siendo los puntos con mayor concentración en la estación 1, 10 y 7 con un valor de 41,41; 40,31; 39,88 µg/m³ respectivamente y los valores con menor concentración en las estaciones: 9, 8 y 3 con un valor de 38,13; 38,72; 38,78 µg/m³ respectivamente, cumpliendo con la normativa de la OMS que establece 50 µg/m³ como límite máximo permisible y cumpliendo con la normativa ecuatoriana del TULSMA que establece 100 µg/m³ como límite máximo.

Figura 11. Dispersión de Material Particulado de 10 µm



Fuente: *Los Autores, 2020*

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La presente investigación se ha dedicado a determinar la concentración del material particulado sedimentable y material particulado volátil para identificar la calidad del aire de la zona de estudio para beneficiar con los resultados a la comunidad de San José de Chancahuan.
- Mediante el análisis de material particulado sedimentable se verificó que en los puntos correspondientes a las estaciones 1 y 7 con 8,45 y 7,69 mg/cm^2/mes respectivamente sobrepasan los límites máximos permisibles por la OMS y el TULSMA a excepción de la estación 14 que se encuentre dentro de los límites permisibles de la legislación ecuatoriana la afectación se ve reflejada con mayor magnitud debido a la actividad industrial cercana.
- Como consecuencia de lo expuesto en el estudio, podemos evidenciar que el material particulado volátil 2,5 μm y 4 μm cumple con la normativa ecuatoriana TULSMA e incumple con la OMS, mientras que en el material particulado volátil 10 μm refleja valores dentro de los límites máximos permisibles tanto de la OMS como el TULSMA.
- De acuerdo a los niveles de concentración de material particulado volátil y material particulado sedimentable coincide que las estaciones 1, 7 y 10 como fuentes de mayor concentración siendo las más representativas del área de estudio debido a la cercanía de la zona industrial como también de calles transitadas por maquinaria de transporte pesado sin un control de dispersión de áridos. Dentro de la simulación expuesta se pudo evidenciar que la dispersión del material particulado tiene una dirección de viento Noreste 135° con una velocidad entre 18,78 m/s y 32,96 m/s, afectando directamente el área de estudio.

Recomendaciones

- Es necesario mantener buenas relaciones entre la comunidad y las industrias aledañas con la finalidad de llegar acuerdos que brinden beneficios mutuos.
- La población debería mantenerse informada sobre los riesgos que ocasiona el PM en la salud, agricultura y ganadería mediante sensibilizaciones comunitarias.
- Es recomendable realizar estudios posteriores de ruido y vibración en el área de estudio debido a la inconformidad que existe por parte de la comunidad hacia la zona industrial.
- Realizar mediciones continuas en la comunidad de San José de Chancahuan y zonas aledañas tanto para material particulado volátil como para material particulado sedimentable para aportar con datos futuros que permitan verificar sus incrementos o disminuciones en sus concentraciones para verificar la calidad del aire y calidad de vida de la población aledaña a zonas industriales.
- Se recomienda ubicar las estaciones fijas a nivel del suelo y libre de obstáculos que no interfieran en la deposición del MPS, de igual manera las cajas Petri deben ser correctamente colocadas con la finalidad que el papel filtro no sea movido por ningún factor meteorológico.

BIBLIOGRAFÍA

Aleman, M. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Depósito de Pesca Artesanal Petrocomercial San Mateo.* Quito: Entrix America.

Andi, J., Vega, R., & Santillán, G. (2019). DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE Y VOLÁTIL EN EL SECTOR CALPI CANTÓN RIOBAMBA POR INCIDENCIA INDUSTRIAL. *Trabajo de Titulación.* Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.

Arrieta, A. (2016). DISPERSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM10), CON INTERRELACIÓN DE FACTORES METEOROLÓGICOS Y TOPOGRÁFICOS. *Ingeniería Invvestigacion y Desarrollo, 16*, 44.

Bravo, L., & Moscoso, D. (2017). DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN EL CASCO URBANO DEL CANTÓN PORTOVELO. *Trabajo de Titulación.* Universidad de Cuenca, Cuenca.

Carina Cano, L. L. (2016). CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 MEDIANTE MICROSCOPIA.

Díaz, V. (2017). *INFORME DE LA CALIDAD DE AIRE DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.* Quito: Archivo REMMAQ.

Gavilanes, R., Gavilanes, J., & Yaulema, F. (2018). EVALUACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO DE LAS TERMINALES TERRESTRES INTERCANTONALES E INTERPROVINCIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. *Trabajo de Titulación.* Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba.

GADM Santiago de Calpi. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Santiago de Calpi. In *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia de Santiago de Calpi*. 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

Gómez, C. (2017). CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MEDELLÍN POR PM10 Y PM2.5 Y SUS EFECTOS EN LA SALUD. *Especialización Planeación Ambiental y Manejo Integral.* Universidad Militar Nueva Granada, Nueva Granada.

Huatuco, M. (2018). Influencia del material particulado sedimentable en el secuestro de carbono en la vegetación de Lima. *Para Optar el Grado de Maestria en Gestión Ambiental.* Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.

Lara, C., & Santillan, G. (2018). DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO ORGÁNICO VOLÁTIL EN EL BARRIO LA ESPERANZA, CIUDAD DE RIOBAMBA, POR INCIDENCIA DE

ASERRADEROS. *Trabajo de Titulación.* Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.

Marcos, R., & Valderrama, A. (2012). *CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA-UNMSM.* Lima: Guzlopeditores.

Ministerio del Ambiente. (2017). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, TULSMA. In *Registro Oficial Edición Especial*. Quito.

OMS. (2 de Mayo de 2018). *Calidad del Aire y Salud.* Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

OMS. (2 de Mayo de 2018). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Calidad del Aire y Salud: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

OPS. (2016). Contaminacion del Aire Ambiental. *OPS*, 1-2.

Pacsi, S., & LLanos, C. (2017). Evaluación de la composición química del material particulado PM2,5 en la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Consultor Independiente, 78(2)*, 1 doi:doi:10.21704/ac.v78i2.1058.

Pérez, V., & Gía, J. (2013). *Diagnostico y monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Central del Ecuador* (Universidad Central del Ecuador). Retrieved from file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS/T-UCE-0008-P004.pdf

Saldarriaga, J. (2019). NIVELES Y CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA CIUDAD DE LURIGANCHO – HUACHIPA 2015. *Titulo Profesional.* Escuela Académico profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente, Tumbes.

Santillán, G., Damian, D., Rodríguez, M., Torres, S., Cargua, F., & Torres, S. (2016). ESTIMACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO Y SEDIMENTABLE EN EL LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES DE LA UNACH. *Revista CientíficaRiobamba.* Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.

Segundo, E., Diaz, C., & Velasquez, S. S. (2019). *Minimización de material particulado generado en el proceso de clinkerización mediante el empleo de filtros de mangas*. *15*(3), 169–181.

Suárez-Salas, L., Álvarez, C., Bendezú, Y., & Pomalaya, J. (2017). Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 83(2)*.

Vivar, E., & Wilches, I. (2014). CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y SU EFECTO TOXICOLÓGICO-AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE AZOGUES. *TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE MAGÍSTER.* Universidad de Cuenca, Cuenca.

ANEXOS

Anexo 1. Limites Máximo Permisible establecidos por la OMS

Material Particulado	LMP
Partículas Sedimentables	0,5 mg/cm^2/mes
PM $_{2,5}$	25 um/m^3
PM $_4$	30 um/m^3
PM $_{10}$	50 um/m^3

Fuente: (OMS, 2018)

Anexo 2. Limites Máximo Permisible establecidos por la TULSMA

Material Particulado	LMP
Partículas Sedimentables	1 mg/cm^2/mes
PM $_{2,5}$	50 um/m^3
PM $_4$	70 um/m^3
PM $_{10}$	100 um/m^3

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

Anexo 3. Registro Fotográfico del trabajo en laboratorio, ubicación de equipos de muestreo pasivo de PMS y monitoreo de PMV.

Fotografía 1

Descripción: Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable

Autor: Autores (2020)

Fotografía 2

Descripción: Pesaje del papel filtro que se colocará en los equipos de material particulado sedimentable

Autor: Autores (2020)

Fotografía 3

Descripción: Instalación de estaciones de material particulado sedimentable en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 4

Descripción: Instalación de estaciones de material particulado sedimentable en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 5

Descripción: Instalación de estaciones de material particulado sedimentable en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 6

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 7

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 8

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 9

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 10

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Fotografía 11

Fotografía 12

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)

Descripción: Muestreo de Material Particulado Volátil en la Comunidad de San José de Chancahuan

Autor: Autores (2020)