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

Título del proyecto

"DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO ORGÁNICO VOLÁTIL EN EL BARRIO LA ESPERANZA, CIUDAD DE RIOBAMBA, POR INCIDENCIA DE ASERRADEROS"

Autor:

CRISTIAN ARTURO LARA BASANTES

Tutor:

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLÁN LIMA

Riobamba – Ecuador

Año 2018

REVISIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **"DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO ORGÁNICO VOLÁTIL EN EL BARRIO LA ESPERANZA, CIUDAD DE RIOBAMBA, POR INCIDENCIA DE ASERRADEROS",** presentado por: Cristian Arturo Lara Basantes.

Dirigido por: Ing. Patricio Santillán.

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

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Patricio Santillán
Tutor del Proyecto

Ing. Marcel Paredes
Miembro del Tribunal

Ing. Mauro Jiménez
Miembro del Tribunal

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **"DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO ORGÁNICO VOLÁTIL EN EL BARRIO LA ESPERANZA, CIUDAD DE RIOBAMBA, POR INCIDENCIA DE ASERRADEROS"**, ha sido elaborado por CRISTIAN ARTURO LARA BASANTES, el mismo que ha sido revisado y analizado en un cien por ciento con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor, por lo que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva. Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Ing. Patricio Santillán

C.I: 060278077-7

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **CRISTIAN ARTURO LARA BASANTES**, con cédula de identidad No. 060409672-7; hago constar que soy el autor del presente trabajo de investigación, titulada: **"DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO ORGÁNICO VOLÁTIL EN EL BARRIO LA ESPERANZA, CIUDAD DE RIOBAMBA, POR INCIDENCIA DE ASERRADEROS"**, el cual constituye una elaboración, dirigida por el Tutor del Proyecto, Ing. Patricio Santillán.

En tal sentido, manifiesto la originalidad de la Conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de las conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado debidamente en el texto del documento.

Cristian Arturo Lara Basantes

C.I: 060409672-7

AGRADECIMIENTO

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 haberme transmitido sus conocimientos académicos y experiencias personales, sin duda las aplicaré en mi vida profesional.

A los Ingenieros: Patricio Santillán y Franklin Cargua, por guiarme y haberme dado la oportunidad de desarrollar esta investigación con la ayuda de sus conocimientos.

A la Ingeniera Kaorli Aldaz, amiga de años, por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de investigación.

A todos mis compañeros de estudio y amigos que hice en la universidad, gracias por todos los momentos y recuerdos, fueron de gran apoyo en este extenso camino.

Cristian Arturo Lara Basantes

DEDICATORIA

A la vida, por haberme dado la oportunidad de ser el hijo de Mirian y Arturo, dos seres únicos y extraordinarios, que con su sencillez, comprensión, honestidad, responsabilidad, paciencia y cariño, me motivan siempre a cumplir mis sueños y a ser una mejor persona cada día.

A mi hermana Andrea, Primos, Tíos y Abuelos, por su apoyo incondicional, su presencia y cariño me ha permitido salir adelante, en especial para mis abuelos Ana y Fausto, y a mi tía Tania por ser como una hermana mayor.

A mis mejores amigos, Jordan, Paúl, David, Pablo, Joel, Israel, Vanessa C, Sofía, Viviana, Vanessa M, Yesenia, Lenin y Nicolás, 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.

A María José, que aunque ya no forme parte de mi vida, le agradezco por haber sido alguien muy importante en el cumplimiento de este sueño.

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

PM: Material Particulado

PMV: Material Particulado Volátil

PMS: Material Particulado Sedimentable

PST: Partículas Suspendidas Totales

PM_{10}: Material particulado de 10 micras

PM_{4}: Material particulado de 4 micras

$PM_{2,5}$: Material particulado de 2,5 micras

OMS: Organización Mundial de la Salud

MO: Microscopio Óptico

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

LMP: Límite Máximo Permisible

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

µm: micrómetro o micra

$\mu g/m^3$: microgramos/metro cúbico

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

ÍNDICE GENERAL

REVISIÓN DEL TRIBUNAL i
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN iii
AGRADECIMIENTO iv
DEDICATORIA v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS vi
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
1. INTRODUCCIÓN 3
1.1. PROBLEMA 3
1.2. JUSTIFICACIÓN 4
2. OBJETIVOS 6
2.1. General: 6
2.2. Específicos: 6
3. MARCO TEÓRICO 7
3.1. Generalidades de la Contaminación Atmosférica 7
3.2. Material Particulado (PM) 7
3.2.1. Clasificación de las partículas en base a su diámetro 8
3.2.2. Clasificación de las partículas según su fuente 8
3.2.3. Material Particulado Sedimentable (PMS) 8
3.2.4. Material Particulado Volátil PM_{10} 9
3.2.5. Material Particulado Volátil $PM_{2,5}$ 9
3.2.6. Comportamiento de las partículas 10
3.3. Material Particulado de Polvo de Madera 10
3.3.1. Maderas Blandas y Maderas Duras 10
3.4. Caracterización de Contaminantes Producido por la Industria Maderera 11

3.4.1. Emisiones de polvo 11
3.5. Contaminantes atmosféricos y la salud: Partículas en suspensión 12
3.5.1. Efectos sobre la salud 12
3.6. Estándares Nacionales de calidad del aire para Material Particulado 15
3.7. Estándares de la Organización Mundial de la Salud para Material Particulado 15
3.8. Estándares para PM_4 15
4. METODOLOGÍA 16
4.1. Área de estudio 16
4.2. Visita de campo y encuestas a los moradores del sector 17
4.3. Toma de puntos GPS 17
4.4. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS 17
4.4.1. Monitoreo PMS 18
4.5. Monitoreo de Material Particulado Volátil (PMV) 19
4.6. Análisis cualitativo con el Microscopio Óptico (MO) 19
4.7. Análisis geoestadístico 19
5. RESULTADOS 20
5.1. Encuestas 20
5.2. Material Particulado Volátil (PMV) 23
5.3. Concentración de PMV en el Barrio “La Esperanza” 28
5.4. Análisis estadístico descriptivo 30
5.4.2. Material Particulado Volátil 4 µm (PM_4) 31
5.4.3. Material Particulado Volátil 10 µm (PM_{10}) 32
5.5. Material Particulado Sedimentable (PMS) 33
5.6. Análisis cualitativo PMS 34
5.6.1. Caracterización morfológica 34
5.7. Análisis geoestadístico 39
6. CONCLUSIONES 41

7. RECOMENDACIONES 42
8. BIBLIOGRAFÍA 43
9. ANEXOS 47
9.1. Análisis estadístico – Barrio “La Esperanza” – $PM_{2,5}$ 47
9.2. Análisis estadístico – Barrio “La Esperanza” – PM_4 47
9.3. Análisis estadístico – Barrio “La Esperanza” – PM_{10} 47
9.4. Encuestas 48
9.5. Trabajo en Laboratorio (Secado y Pesado) 49
9.6. Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS en cada zona 50
9.7. Monitoreo con el equipo DustTrak™ II 52
9.8. Trabajo en Laboratorio de Microscopia 53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de partículas en suspensión, según su tamaño y deposición en el sistema respiratorio 14
Figura 2: Área de estudio delimitada, barrio "La Esperanza"..... 16
Figura 3: Factores para la presencia de material particulado (polvo) en el sector..... 20
Figura 4: Calidad del aire en el barrio "La Esperanza" debido al polvo de madera generado por los aserraderos, según moradores..... 20
Figura 5: Afectación a la salud de los moradores por la presencia de polvo de madera 21
Figura 6: Enfermedades producidas por la exposición al polvo de madera, según moradores 21
Figura 7: Síntomas padecidos en los moradores por la presencia de polvo de madera en el sector 22
Figura 8: Zonificación del área de estudio..... 23
Figura 9: Puntos de monitoreo de PMV 24
Figura 10: Comparación de valores de $PM_{2,5}$ con los LMP de la OMS y TULSMA..... 28
Figura 11: Comparación de valores de $PM_{4,}$ con los LMP de la OMS y TULSMA 29
Figura 12: Comparación de valores de $PM_{10,}$ con los LMP de la OMS y TULSMA 30
Figura 13: Distribución de material particulado 2,5 µm, barrio "La Esperanza" 31
Figura 14: Distribución de material particulado 4 µm, barrio "La Esperanza" 32
Figura 15: Distribución de material particulado 10 µm, barrio "La Esperanza" 32
Figura 16: Filtro 1, PM observado a 4X **Figura 17:** Filtro 1, PM observado a 10X..... 34
Figura 18: Filtro 1, PM observado a 40X **Figura 19:** Filtro 1, PM observado a 100X..... 34
Figura 20: Filtro 2, PM observado a 4X **Figura 21:** Filtro 2, PM observado a 10X..... 35
Figura 22: Filtro 2, PM observado a 40X **Figura 23:** Filtro 2, PM observado a 100X..... 35
Figura 24: Filtro 3, PM observado a 4X **Figura 25**: Filtro 3, PM observado a 10X..... 35
Figura 26: Filtro 3, PM observado a 40X **Figura 27:** Filtro 3, PM observado a 100X..... 36
Figura 28: Filtro 4, PM observado a 4X **Figura 29:** Filtro 4, PM observado a 10X..... 36
Figura 30: Filtro 4, PM observado a 40X **Figura 31:** Filtro 4, PM observado a 100X..... 36
Figura 32: Filtro 5, PM observado a 4X **Figura 33:** Filtro 5, PM observado a 10X..... 37
Figura 34: Filtro 5, PM observado a 40X **Figura 35:** Filtro 5, PM observado a 100X..... 37
Figura 36: Filtro 6, PM observado a 4X **Figura 37:** Filtro 6, PM observado a 10X..... 37
Figura 38: Filtro 6, PM observado a 40X **Figura 39:** Filtro 6, PM observado a 100X..... 38
Figura 40: Modelo de dispersión de $PM_{2,5}$, en el barrio "La Esperanza" 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana (TULSMA)..... 15
Tabla 2: Estándares establecidos por la OMS..... 15
Tabla 3: Estándar permisible para PM_4, a partir de la relación entre $PM_{2,5}$ y PM_{10}..... 15
Tabla 4: Datos de PM 2,5 µm, en cada zona a diferente horario..... 25
Tabla 5: Datos de PM 4 µm, en cada zona a diferente horario..... 26
Tabla 6: Datos de PM 10 µm, en cada zona a diferente horario..... 27
Tabla 7: Concentraciones de $PM_{2,5}$ (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA..... 28
Tabla 8: Concentraciones de PM_4 (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA..... 29
Tabla 9: Concentraciones de PM_{10} (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA..... 30
Tabla 10: Resultados de las concentraciones de material particulado sedimentable..... 33
Tabla 11: Comparación de valores de PMS, con límites establecidos por la OMS y TULSMA..... 33

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Polvo Atmosférico Sedimentable……18

RESUMEN

La excesiva presencia en áreas urbanas de aserraderos que no poseen la infraestructura ni los equipos de trabajo adecuados, genera al ambiente circundante polvos orgánicos menores a 10 µm (PM_{10}); este tipo de material particulado está relacionado con diversos daños al sistema respiratorio. La presente investigación se realizó en el sector del barrio "La Esperanza" de la ciudad de Riobamba, con el propósito de evaluar el grado de contaminación por PMV y PMS, motivo que ha causado problemas de salud en sus moradores, como garganta y vista irritada.

Los análisis para PMV se realizaron con el uso del equipo DustTrak™ II y el PMS se recolectó en cajas Petri mediante el método pasivo. Las mediciones se ejecutaron en el periodo octubre-noviembre de 2017, registrándose valores máximos de 42,67 µg/m³, 35,5 µg/m³, 29,83 µg/m³, y valores mínimos de 7,33 µg/m³, 8,67 µg/m³ y 4,67 µg/m³ para PM_{10}, PM_4 y $PM_{2,5}$, respectivamente; para PMS se analizaron 6 muestras, de las cuales la mayor concentración se encuentra en el redondel principal del sector con 1,36 mg/cm²/mes; superando los LMP establecidos por la legislación ecuatoriana y la OMS. Se analizó la morfología de las partículas sedimentadas en el MO, las cuales presentan formas irregulares, identificando fibras largas, cortas, planas, compactas y con desgarros. Finalmente se generó un mapa de dirección y velocidad del viento con los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI, mostrando la variación espacial del comportamiento del PMV de 2,5 µm, con una velocidad promedio de 1,3 m/s y una dirección NO.

Palabras clave: Aserraderos, contaminación, PMV, PMS, DustTrak™ II, MO, estaciones meteorológicas, INAMHI

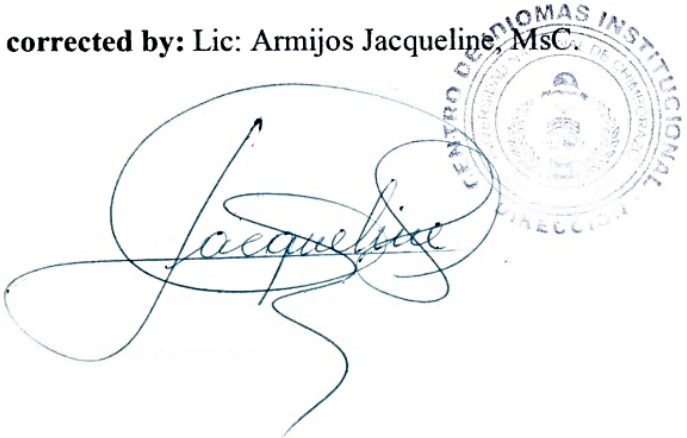
ABSTRACT

The excessive presence of sawmills in urban areas that do not have neither an infrastructure nor and adequate work equipment. They generate organic dust less than 10 µm (PM_{10}) to the surrounding environment. This type of particulate material is related to some damages to respiratory system. The present investigation was done in the neighborhood of "La Esperanza" in the city of Riobamba with the purpose of evaluating the degree of contamination by PMV and PMS. Those have caused health problems in its residents, such as throat and irritated sight.

An analysis on PMV was made with the use of the DustTrak ™ II equipment. The PMS was collected in Petri boxes by the passive method. The measurements were made in the October-November 2017 period, registering maximum values of 42.67 µg/m³, 35.5 µg/m³, 29.83 µg/m³, and minimum values of 7.33 µg/m³, 8.67 µg/m³ and 4.67 µg/m³ for PM_{10}, PM_4 and $PM_{2,5}$, respectively; for PMS, 6 samples were analyzed, of which the highest concentration is found in the main rondure of the sector with 1.36 mg/cm²/month. They exceeds the LMP established by Ecuadorian legislation and the OMS. The morphology of the sediment particles in the MO were analyzed, which have irregular shapes, identifying long, short, flat, compact and torn fibers. Finally, a wind direction and wind speed map were generated with the data of the INAMHI meteorological stations, showing the spatial variation of the PMV behavior of 2.5 µm, with an average velocity of 1.3 m/s and a no direction.

Keywords: Sawmills, pollution, PMV, PMS, DustTrak ™ II, MO, weather stations, INAMHI

Reviewed and corrected by: Lic: Armijos Jacqueline, MsC.



1. INTRODUCCIÓN

El Material Particulado (PM), según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es considerado uno de los contaminantes atmosféricos más peligrosos en el mundo y la industria de la madera origina grandes transformaciones en el ambiente, al ser una de las actividades antrópicas que más emite este tipo de material hacia sus alrededores, es así que el deterioro de la calidad del aire en las ciudades, es un problema mundial que se incrementa con el crecimiento demográfico desordenado y sin la aplicación de un Plan de Ordenamiento Territorial adecuado para este tipo de actividad. El Material Particulado Volátil (PMV), produce efectos sobre la salud de las personas, generada principalmente por vía respiratoria, esta peligrosidad está relacionada con su capacidad de ingresar en los pulmones, alojándose allí, dañando los tejidos e incrementando el riesgo de muerte por causas cardiopulmonares.

El barrio "La Esperanza", es un sector que como muchos otros barrios de la ciudad de Riobamba, han aumentado su población considerablemente, extendiéndose cada año, aún más, su zona urbana, como también la presencia de varios aserraderos en el sector; aserraderos que en su gran mayoría no poseen la infraestructura adecuada para su funcionamiento, ya que son a cielo abierto, ni tampoco la maquinaria adecuada, generando PM en varios procesos de transformación de la madera, a esto sumado el flujo vehicular, la dirección y velocidad del viento en el sector, provocan un verdadero problema para las personas.

Por tal motivo, en este estudio se determinó las concentraciones de PMV de 10, 4 y 2,5 micrómetros, como también de Material Particulado Sedimentable (PMS), generado por la industria de la madera, y sus principales afectaciones a la salud de las personas que viven aledañas a esta actividad. La determinación del PMV, se lo realizó con el equipo DustTrak II, y a su vez se analizó de forma cualitativa las partículas sedimentables de madera en el Microscopio Óptico (MO). La información se recopiló de las estaciones de monitoreo establecidas dentro del barrio en mención, en el periodo octubre-noviembre de 2017. Estudio que permite dar una idea más clara de la contaminación atmosférica que provoca la presencia de PMV y PMS, por actividades antrópicas en zonas urbanas de la ciudad, siendo un punto de partida para próximas investigaciones a realizarse.

1.1. PROBLEMA

En el barrio "La Esperanza", las actividades sobre aserrío de madera, son catalogadas como talleres artesanales, debido a que poseen una precaria e insegura infraestructura, dentro y fuera

de sus instalaciones, es así como el material particulado generado dentro de cada aserradero, se difunde en todo el sector, sin ningún control alguno.

El material particulado del polvo de madera, es una mezcla compleja de celulosa, fundamentalmente poliosas y lignina. (Gómez & Cremades, 2010). Dependiendo de esta composición, las enfermedades susceptibles de poder producirse por la exposición a polvo de madera, son muy diversas: asma, bronquitis crónica, enfisema pulmonar, cáncer nasal, etc. (CTMP, 2010).

La exposición prolongada al polvo de madera, ha sido asociada con varios tipos de cáncer, incluyendo el de cavidad nasal, pulmón, tracto gastrointestinal y la enfermedad de Hodgkin. La evidencia epidemiológica más grave, es el cáncer de cavidad nasal. Dentro de las lesiones que se pueden presentar son: Lesiones oculares, que se presentan cuando trozas de madera o residuos son expulsados por la maquinaria; además, existen riesgos para el sistema respiratorio causados por el polvo de madera, los componentes volátiles de la madera, los mohos y bacterias en suspensión (Gómez & Cremades, 2010).

Ante todo esto, muchos de los moradores del sector, se sienten afectados por la gran cantidad de aserraderos existentes (14 en total), en tan solo un tramo de la avenida principal (500 metros aproximadamente, Avda. Edelberto Bonilla Oleas), generando malestar y descontento, por tal motivo se planteó determinar las concentraciones de PM, proveniente de esta industria, para identificar si los valores se encuentran dentro de los Límites Máximos Permitidos (LMP).

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las partículas que genera la industria de la madera en el barrio “La Esperanza”, más conocido como el sector de “La Vasija” de la ciudad de Riobamba, según sus moradores por ser una zona netamente urbana, provoca una contaminación atmosférica muy grave, no solo ocasiona molestias respiratorias, sino también visuales y auditivas, considerándose para la OMS como un agente que a mediano y largo plazo genera enfermedades mortales en los seres humanos.

Riobamba por sus características geomorfológicas, como altitud y latitud, así como también velocidad y dirección del viento, se torna un lugar propicio para este tipo de contaminación, teniendo en cuenta que el PM, tiende a movilizarse por grandes extensiones de terreno, con la ayuda de estos factores, siendo lo ideal, que dicha actividad se encuentre alejada de los núcleos poblados.

El barrio “La Esperanza”, presenta un constante flujo de transeúntes durante todo el día, por ser un sector muy comercial, todas las personas que viven y transitan por estas calles, están expuestas a este tipo de material particulado, día a día; en este estudio se conoce las concentraciones del PM en el sector, además de analizar cualitativamente las muestras recolectadas, con el fin de identificar su morfología, investigación que permite conocer más a fondo, la calidad de aire respirable en la zona.

2. OBJETIVOS

2.1. General:

Determinar las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio "La Esperanza" de la ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos existentes en el sector.

2.2. Específicos:

- Cuantificar la concentración de material particulado volátil y sedimentable (PMV y PMS) existente en el Barrio "La Esperanza", de la ciudad de Riobamba, por la incidencia de aserraderos presentes en el sector.

- Analizar cualitativamente el material particulado determinado, con la ayuda del Microscopio Óptico.

- Realizar un análisis geoestadístico en el área de estudio del material particulado.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Generalidades de la Contaminación Atmosférica

Tanto los fenómenos naturales como las actividades humanas, provocan la emisión de contaminantes atmosféricos que modifican la calidad del aire. La transformación de la materia y las necesidades energéticas del hombre, producen la ruptura del equilibrio del aire, una mezcla de gases (nitrógeno, oxígeno, gases inertes, dióxido de carbono, metano e hidrógeno), constituyen la atmósfera terrestre y es esencial para la existencia de la vida en el planeta. Los efectos adversos de la deficiente calidad del aire sobre la salud humana son conocidos desde hace tiempo y se investigan cada vez más por ser una de las cuestiones clave en salud pública (Kampa & Castanas, 2008).

La Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia, en Europa se define a un "contaminante", como toda sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto (EU Directive, 2008).

3.2. Material Particulado (PM)

El material particulado aerotransportado, está compuesto de partículas sólidas y líquidas, suspendidas y dispersas en el aire. Se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico, porque presentan diferente tamaño y forma, por ello, se agrupan en finas y gruesas. Las partículas finas, son aquellas que tienen un diámetro menor o igual a 2,5 µm, $PM_{2,5}$ y las partículas cuyo diámetro se centra alrededor de las 10 µm, PM_{10}, se las denomina gruesas (Sánchez, 2016).

El PM varía en número, tamaño, forma, superficie, composición química, solubilidad y origen. La distribución total de partículas suspendidas, según su tamaño en el ambiente aéreo, son de dimensión trimodal, incluyendo partículas gruesas, finas y ultra finas. La selección del tamaño del PM, se determina de acuerdo al diámetro, según el rango aerodinámico específico, ya que cada uno de estos tiene una especial relevancia en la inhalación y depósito, fuentes o toxicidad (Salinas, 2012).

En un artículo publicado por Arciniégas, menciona que el diámetro aerodinámico, se define como el diámetro de una esfera de unidad de densidad uniforme, que lograría la misma velocidad terminal que las partículas de interés (Arciniégas, 2012).

3.2.1. Clasificación de las partículas en base a su diámetro

- Partículas suspendidas totales (PST), diámetro hasta 100 µm.
- Inhalables o respirables (PM_{10}), cuyo diámetro es menor a 10 µm.
- Finas, con diámetro menor a 2,5 µm ($PM_{2,5}$).
- Ultra fina, cuyo diámetro es menor a 1 µm. (Pérez, Lunagómez, & Acosta, 2010)

3.2.2. Clasificación de las partículas según su fuente

El PM, según su fuente, varía en composición, toxicidad y tamaño, pudiendo clasificarse en:

a) Partículas gruesas, principalmente derivadas de la suspensión de polvo, suelo, u otros materiales provenientes de caminos, de la agricultura, de minería, de tempestades, de volcanes, entre otros.

b) Partículas finas, que se derivan de la emisión de procesos como la quema de maderas, de combustión de vehículos (gasolina o diésel), la quema de carbón y procesos industriales.

c) Partículas ultrafinas, que son definidas por tener un diámetro aerodinámico menor a 0,1 µm, proceden de la combustión, como reacciones fotoquímicas atmosféricas. Forman un agregado de $PM_{2,5}$, porque su vida es muy corta. (Salinas, 2012)

3.2.3. Material Particulado Sedimentable (PMS)

El PMS, es creado básicamente por el rompimiento de grandes partículas en procesos tales como: Trituración, pulverización, perforaciones, explosiones; en la mezcla de materiales y operaciones como: Transporte, tamizado, barreduras. Entre los contaminantes atmosféricos particulados, se puede diferenciar entre la fracción sedimentable y la fracción de partículas en suspensión. La primera está formada por partículas más grandes, que permanecen en el aire por cortos períodos de tiempo, depositándose en el suelo por su tamaño y grosor. La segunda corresponde a las partículas que se dispersan en la atmósfera, de una forma casi estable y homogénea y, por lo tanto, permanecen en suspensión durante un cierto tiempo, hasta que son eliminadas por precipitación. Las partículas suspendidas son todas las partículas de aerosoles que se encuentran en el aire ambiente (algunas veces, incluso mayores a tamaños de 100 µm), el PM_1 son las partículas con diámetro aerodinámico menor a 1 µm y las partículas ultra finas, son partículas con diámetro aerodinámico inferior a 0.1 µm. (Corleto & Cortéz, 2012).

Las partículas pueden tener una composición físico-química homogénea o estar constituidas por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los componentes orgánicos se encuentran: Fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas). Entre los compuestos inorgánicos, se encuentran nitratos, sulfatos, polímeros, silicatos, metales pesados (hierro, plomo, manganeso, zinc o vanadio) y elementos derivados de pesticidas y plaguicidas (Ayala & Ochoa, 2011).

Las propiedades de estas partículas varían en términos de su composición química, morfología (tamaño/forma), parámetros ópticos (color/ dispersión de la luz) y características eléctricas (carga, resistencia). Debido a que son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación en cuanto a su tamaño y forma, se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico, que se define como el diámetro de una esfera con densidad de 1 g/cm³ (densidad unitaria), con la misma velocidad terminal, debida a la fuerza gravitacional en aire en calma, que la partícula en cuestión, bajo las mismas condiciones de presión, temperatura y humedad relativa. (Corleto & Cortéz, 2012)

3.2.4. Material Particulado Volátil PM_{10}

El $PM_{10,}$ está compuesto principalmente de elementos y compuestos procedentes de la corteza terrestre (materia crustal) y del mar (aerosol marino), iones secundarios, carbono elemental y orgánico y elementos traza. Es importante discriminar entre fuentes antrópicas de PM_{10} y de origen natural. Destacan de entre las primeras, las emisiones debidas al tráfico rodado y a los procesos industriales y energéticos; y entre las segundas, el polvo resuspendido del suelo, las emisiones volcánicas y el aerosol marino. Tanto su composición química como sus principales fuentes emisoras, varían en función del ambiente que se monitorice. De esta forma, en un entorno urbano con fuentes antrópicas, serán predominantes y elementos relacionados con estas, contribuirán en mayor medida al valor de $PM_{10,}$ de lo que lo harían si monitorizáramos otro tipo de ambiente (Santos, 2015).

3.2.5. Material Particulado Volátil $PM_{2,5}$

Las partículas inferiores a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), consideradas finas, son muy pequeñas, casi 100 veces más delgadas que un cabello humano, integran partículas sólidas o líquidas, generalmente ácidas, que contienen hollín y otros derivados de las emisiones de fábricas y vehículos (Marcos & Valderrama, 2012).

3.2.6. Comportamiento de las partículas

Las partículas y gases descargadas a la atmósfera, pueden tener diferente comportamiento:

- Desplazamiento en el sentido de la dirección del viento, con difusión progresiva lateral y vertical.
- Transformación física y química de los contaminantes primarios, dando origen a otros más tóxicos (contaminantes secundarios), por la acción fotoquímica de la fracción ultravioleta de la luz.
- Eliminación de la atmósfera por diversos procesos naturales. (Marcos & Valderrama, 2012)

3.3. Material Particulado de Polvo de Madera

Es una mezcla compleja de celulosa, fundamentalmente poliosas y lignina. Las maderas utilizadas en la fabricación del mueble, pueden ser duras (no-coníferas) y blandas (coníferas).

Durante el proceso y manejo de la madera, paneles contrachapados y aglomerados, se genera polvo de serrín, que contiene partículas minúsculas, conocidas también con el nombre de virutas (la viruta es un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral, que es extraída mediante cepillo, lijadora u otras herramientas, al realizar trabajos sobre madera o metales en forma de dispersión) (Gómez & Cremades, 2010).

Según Harper, Akbar, y Andrew, en una investigación realizada a principios del siglo XXI, indican que las máquinas emiten partículas, cuyos tamaños varían, de acuerdo a la herramienta utilizada desde partículas mayores de 100 µm hasta partículas > 5 mm y partículas por debajo de 10 µm, con una velocidad de decenas de metros por segundo. Las partículas de madera muestreadas con diámetros aerodinámicos entre 10-100 µm, ha sido la mayor preocupación en el estudio de enfermedades de tracto respiratorio superior, causante del cáncer nasal o enfermedades asociadas a la exposición del polvo de madera dura.

3.3.1. Maderas Blandas y Maderas Duras

Las maderas blandas, son una denominación genérica, que sirve para englobar a la madera de los árboles pertenecientes a la orden de las coníferas. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, es su ligereza y su precio, mucho menor. Este tipo de madera no tiene una vida

tan larga como las duras, su manipulación es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas (Paz, 2008)

Mientras las maderas duras, pertenecen a los árboles con un crecimiento lento, por lo que son más densas y soportan mejor las inclemencias del tiempo, si se encuentran a la intemperie, que las blandas. Estas maderas proceden de árboles de hoja caduca, que tardan décadas, e incluso siglos, en alcanzar el grado de madurez suficiente para ser cortadas y poder ser empleadas en la elaboración de muebles o vigas de los caseríos o viviendas unifamiliares. Son mucho más caras que las blandas, debido a que su lento crecimiento provoca su escasez, pero son mucho más atractivas para construir muebles con ellas. También son muy empleadas para realizar tallas de madera (Paz, 2008).

3.4. Caracterización de Contaminantes Producido por la Industria Maderera

En el proceso del aserrado de madera, se generan residuos en casi todas las etapas del proceso mismo de transformación de la materia prima, como son las emisiones de particulado a la atmósfera (Yunga, 2012).

Se puede hablar que existe una contaminación del aire que respiramos, cuando una sustancia es emitida a la atmósfera por una fuente fija o móvil o por actividades antrópicas o naturales, y provoca una variación en la composición natural de la atmósfera, provocando una afectación al hombre o al ambiente (Bayas, 2017). La normativa ecuatoriana considera como contaminantes comunes: Partículas sedimentables; material particulado comprendido entre $PM_{2,5}$ a PM_{10} (Ministerio del Ambiente, 2015).

3.4.1. Emisiones de polvo

En el mecanizado de la madera se producen, además de ruidos, emisiones de polvo, en el caso de que las virutas de aserrado se almacenen al aire libre, deberán adoptarse medidas de precaución frente a las fracciones de material que quedan a disposición del viento. La formación de polvo tiene gran relevancia en el mecanizado de la madera, ante todo, es importante la finura del polvo, expresada mediante el tamaño del granulado y su distribución. Los polvos finos son, obviamente, más difíciles de eliminar que los gruesos y representan una carga mayor para la salud de las personas, en especial en el caso de las partículas que pueden penetrar en los pulmones. La producción de polvo fino, es superior en los procesos de lijado, que en los de mecanizado con arranque de virutas. Mediante la inhalación de polvo de madera, en especial el

polvo de madera dura, se pueden absorber sustancias perjudiciales para la salud y ocasionar graves enfermedades (Yunga, 2012).

3.5. Contaminantes atmosféricos y la salud: Partículas en suspensión

Al respirar, inhalamos las partículas que hay en el aire. La constitución de las partículas en suspensión, puede ser una mezcla muy variada. Por ello se clasifican según su medida y cómo se comportan al respirar, más que su contenido. Hay partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 μm (PM_{10}), que suelen llegar más allá de la garganta. Las que tienen un diámetro igual o inferior a 2,5 μm ($PM_{2,5}$), pueden llegar hasta los pulmones. En último lugar las partículas ultrafinas, con un diámetro igual o inferior a 0,1 μm, que pueden pasar del alveolo pulmonar a la sangre (Agencia de Salud Pública, 2012).

Las partículas más pequeñas son las más peligrosas, permanecen más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta los lugares más profundos de los bronquios. El mayor riesgo está, pues, en el polvo que no es visible fácilmente. El polvo respirable es la fracción de polvo que puede penetrar hasta los alveolos pulmonares (Solaz, 2013). Las partículas finas de menos de 3 micrones de diámetro, penetran por la nariz y la garganta, llegan a los pulmones y provocan problemas de respiración e irritación de los capilares pulmonares (Nairobi, 2009).

3.5.1. Efectos sobre la salud

La exposición a largo plazo a las PM, ha sido asociada con efectos en salud similares a los encontrados en los estudios de corto plazo, concretamente con la morbi-mortalidad relacionada con patologías de los sistemas respiratorio y cardiovascular. Recientemente se han publicado varias revisiones de los estudios que han analizado la relación entre la exposición a largo plazo, a la contaminación atmosférica y los efectos en la salud (Chen, Goldberg, & Villeneuve, 2008) (Pelucchi, y otros, 2009) (EPA, 2009). Chen y colaboradores realizaron una revisión sistemática de los estudios publicados con este enfoque, entre 1950 y 2007. Después de evaluar la heterogeneidad, estimaron efectos conjuntos para contaminantes específicos y realizaron un análisis de sensibilidad. En relación con las PM, concluyeron que por cada 10 $\mu g/m^3$ de incremento de la exposición media a largo plazo a las $PM_{2,5,}$ se aumenta el riesgo de morir por causas no accidentales en un 6%, con independencia de la edad, el género y la región geográfica. La misma exposición se asoció a un incremento en el riesgo de morir por cáncer de pulmón, en un 21% y por causas cardiovasculares, en un 14%. Además, los mismos autores concluyeron

que vivir cerca de zonas con intenso tráfico, parece estar asociado con elevados riesgos de los tres efectos comentados.

El PM, puede producir efectos nocivos como la reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros, (Ministerio Del Medio Ambiente de Chile, 2011). Además la exposición de mujeres embarazadas a altos niveles de PM, se relaciona con reducciones en el periodo de gestación, así como en el peso de los recién nacidos (Cárdenas, 2010).

Las partículas en suspensión presentes en el aire, producen efectos perjudiciales sobre la salud. Esto se ha demostrado tanto con partículas finas como con las gruesas. Afectan esencialmente al aparato respiratorio y al sistema cardiovascular. Se ha verificado que la exposición a largo plazo a partículas en concentraciones relativamente bajas, habituales en el medio urbano, puede perturbar a los pulmones de niños y adultos. Las partículas más finas son más peligrosas. Otras características físicas, químicas y biológicas, tiempo de exposición, pueden influir en la aparición de efectos negativos para la salud. Hay colectivos más propensos a tener problemas de salud, como consecuencia de las partículas presentes en el aire, especialmente la gente mayor, los niños, las personas con enfermedades cardíacas y pulmonares, y los asmáticos (Agencia de Salud Pública, 2012).

Numerosos estudios epidemiológicos, han demostrado el efecto negativo de los aerosoles en la salud, los cuales ingresan al organismo, principalmente a través del aparato respiratorio; las deposiciones de las partículas en diferentes partes del cuerpo humano, dependen de su tamaño, forma y densidad; sus efectos dependen de la granulometría, la morfología, composición química y tiempo de exposición (Aldabe, 2011).

El $PM_{2,5,}$ puede alcanzar la cavidad alveolar, siendo éstas las principales causas de los incrementos en la mortalidad (Aldabe, 2011), debido a que son respirables al 100% y pueden alojarse en los bronquios, bronquiolos y alveolos pulmonares (Marcos & Valderrama, 2012).

En cuanto al $PM_{10,}$ son 20 veces más pequeñas que un cabello, pero también pueden ingresar al sistema respiratorio (Marcos & Valderrama, 2012), alcanzando la región traquebronquial (Aldabe, 2011). Los efectos sobre el tracto respiratorio, son irritación de nariz, garganta y bronquios, con posibilidad de provocar cambios en la reactividad bronquial, o la aparición de rinitis, asma o neumonitis hipersensitivas. El $PM_{10,}$ se produce principalmente por la desintegración de partículas, a través de procesos mecánicos, el polvo, el polen, las esporas, el

moho, el hollín, partículas metálicas, cemento, los fragmentos de plantas e insectos, polvo tóxico de las fábricas y agricultura y de materiales de construcción (Marcos & Valderrama, 2012).

El cuerpo humano cuenta con mecanismos de defensa, los cuales tienen la capacidad de remover las partículas con diámetros superiores a 10 µm, sin embargo, las partículas con diámetros menores (conocidas como inhalables), pueden ingresar y depositarse en el sistema respiratorio humano (Vivar, 2014).

Para PM, existen un sinnúmero de estudios epidemiológicos que muestran incremento de mortalidad y morbilidad (admisiones hospitalarias, síntomas respiratorios, disminución de la función pulmonar, etc.). Desde este punto de vista, las partículas que mayor interés tienen, son las partículas con diámetros menores a 10 µm, ya que son fácilmente respirables y penetran en los pulmones, incluyendo las nano partículas, son capaces de llegar al interior de los alveolos pulmonares, donde las más hidrosolubles se disuelven y las menos hidrosolubles se depositan (Corleto & Cortéz, 2012).

En general todas estas partículas pueden acumularse en el sistema respiratorio y producir diversos efectos negativos en la salud, que se expresan en el aumento de enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares. La fracción de partículas aerotransportadas que son inhaladas por el cuerpo humano, depende de las propiedades de las partículas, del movimiento del aire alrededor del cuerpo, velocidad y dirección, patrón de respiración y si ésta se lleva a cabo por la nariz o por la boca. Estas partículas inhaladas pueden depositarse en el tracto respiratorio o exhalarse; la probabilidad depende de una gran cantidad de factores y varía de una persona a otra (Corleto & Cortéz, 2012).

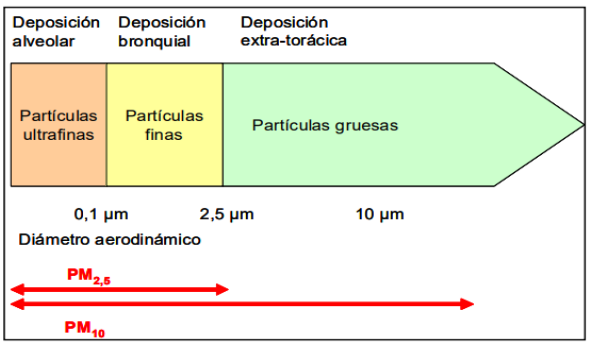


Figura 1: Tipos de partículas en suspensión, según su tamaño y deposición en el sistema respiratorio
Fuente: (Boldo, 2012)

3.6. Estándares Nacionales de calidad del aire para Material Particulado

Tabla 1: Estándares establecidos por la Legislación Ecuatoriana (TULSMA)

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	1mg/cm²/mes
PM_{10}	1 año	50 µg/m³
	24 horas	150 µg/m³
$PM_{2,5}$	1 año	15 µg/m³
	24 horas	65 µg/m³

Fuente: (MAE, 2012). Valores tomados del anexo 4 del Libro VI del TULSMA.

3.7. Estándares de la Organización Mundial de la Salud para Material Particulado

Tabla 2: Estándares establecidos por la OMS

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	0,5mg/cm²/mes
PM_{10}	1 año	20 µg/m³
	24 horas	50 µg/m³
$PM_{2,5}$	1 año	10 µg/m³
	24 horas	25 µg/m³

Fuente: Organización Mundial de la Salud

3.8. Estándares para PM_4

Para establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) para PM_4, se realizó una relación entre el LMP de $PM_{2,5}$ y PM_{10}, de la legislación ecuatoriana y la OMS, expresados en la siguiente tabla:

Tabla 3: Estándar permisible para PM_4, a partir de la relación entre $PM_{2,5}$ y PM_{10}

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM_4 (TULSMA)	1 año	22 µg/m³
	24 horas	82 µg/m³
PM_4 (OMS)	1 año	12 µg/m³
	24 horas	30 µg/m³

Autor: Cristian Lara B.

4. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde al cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, ubicada en la región sierra centro del Ecuador, a 2850 msnm (Figura 2); cuenta con un clima frío característico de las ciudades de esta zona.

Las características del área son las siguientes:

- La 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.
- Precipitación atmosférica de 564.5 mm.
- Presión atmosférica de 548.3 mmHg.
- Geográficamente se encuentra en las coordenadas: (Latitud: 1°38′51″ S, Longitud: 78°40′59″ W) (INAMHI, 2014).

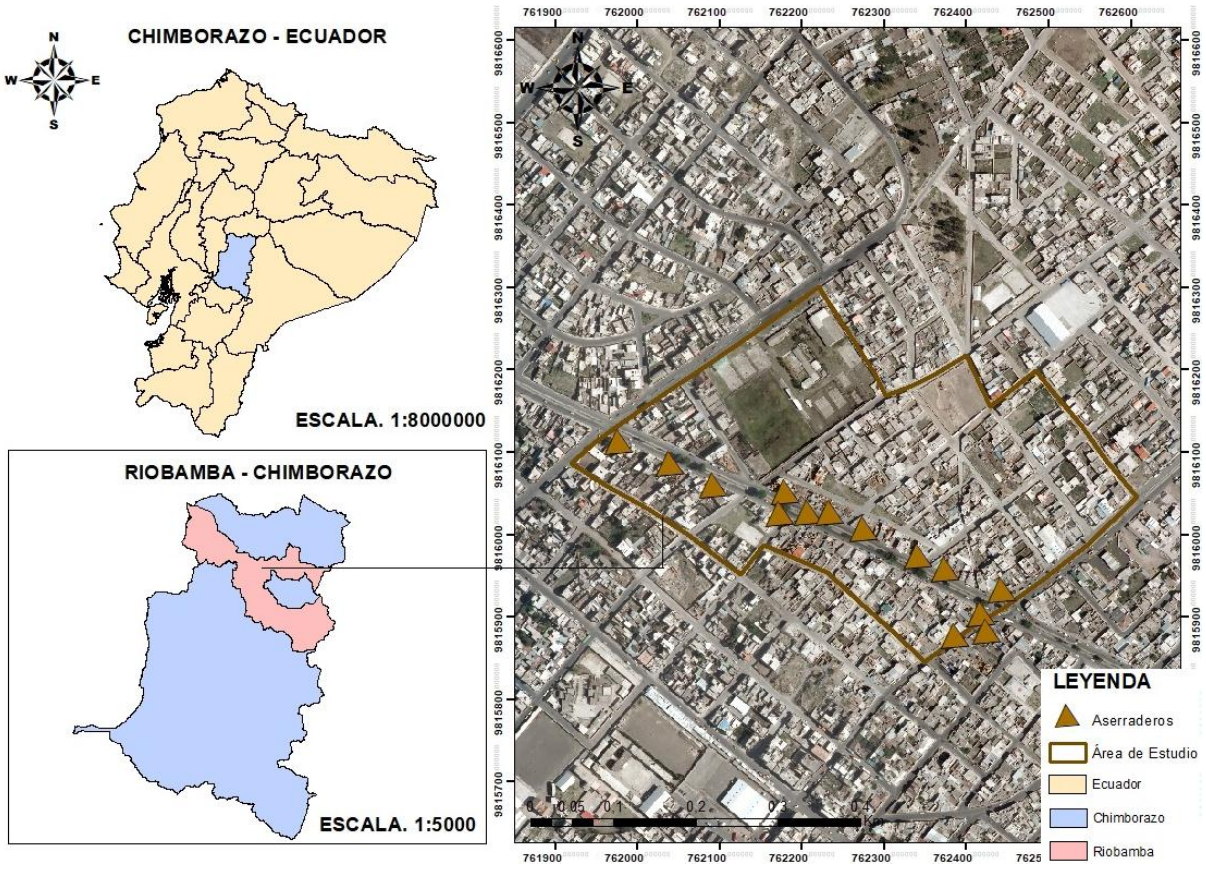


Figura 2: Área de estudio delimitada, barrio "La Esperanza"
Autor: Cristian Lara B.

4.2. Visita de campo y encuestas a los moradores del sector

Se realizó una visita al barrio “La Esperanza”, ubicado en el sector más conocido como “La Vasija”, lugar seleccionado por la excesiva presencia de aserraderos, un total de 14, ubicados en un tramo de tan solo 500 metros de la Avda. Edelberto Bonilla Oleas, el reconocimiento del área de estudio se realizó con la finalidad de tomar puntos de control con el GPS 60 csx de alta precisión, marca GARMIN, en cada uno de los 14 aserraderos, para obtener sus coordenadas y su posterior análisis geoestadístico, con el objetivo de determinar la dispersión de material particulado, con el método de interpolación KRIGING.

Posteriormente se procedió a realizar un total de 18 encuestas en todo el barrio “La Esperanza”, tres en cada zona (Figura 8), con la finalidad de recopilar información sobre los tipos de molestias y problemas en la salud de las personas del sector. Los moradores supieron responder las siguientes preguntas:

1. ¿A qué se debe la presencia de Material Particulado (polvo) en el sector?
2. ¿Cómo calificaría la calidad del aire en el barrio "La Esperanza", debido a la presencia de polvo de madera generado por los aserraderos?
3. ¿Cree usted que la calidad del aire por la presencia del polvo de madera puede afectar su salud?
4. De acuerdo a su criterio: ¿Cuáles de las siguientes enfermedades pueden ser producidas por la exposición al polvo de madera?
5. ¿Ha padecido alguno de los siguientes síntomas, por la presencia de polvo de madera en el sector?

4.3. Toma de puntos GPS

Para este procedimiento, es muy importante tener en cuenta que el cielo debe estar lo más despejado posible, debido a que mientras más nublado se encuentre encima de nuestra área de estudio, más grande será el error emitido en metros por el GPS. Una vez caracterizados los puntos más conocidos como focos de contaminación (aserraderos), determinamos un perímetro donde estén enmarcados todos los puntos contaminantes.

4.4. Ubicación e implantación de los equipos de medición para PMS

Tomando las consideraciones que aplican Marcos & Valderrama como: El lugar de emplazamiento de cada estación debe de estar libre de obstáculos (edificaciones en el entorno

inmediato, de áreas con árboles, de tendederos), u otras fuentes de contaminación que puedan ocasionar perturbaciones serias de los valores obtenidos, para lo cual se dividió toda el área de estudio en 6 zonas (Figura 3), colocando un total de 6 equipos; 1 equipo por cada zona, con la finalidad de realizar un monitoreo lo más ordenado posible y poder obtener mejores resultados que reflejen la realidad que vive el barrio "La Esperanza". Luego procedemos a aplicar el método pasivo empleado por (Almirón, Dalmasso, & Llera, 2008), que consiste en colocar una caja petri con papel filtro previamente pesado y determinada su área, en cada equipo de medición (puntos de monitoreo) de PMS, establecidos dentro del área de estudio donde permanecieron durante un mes. De acuerdo a (Santillán Lima, Damián Carrión, Rodríguez Llerena, Cargua Catagña, & Torres Barahona, 2016), los equipos fueron ubicados en lugares con mayor probabilidad de receptar PMS.

4.4.1. Monitoreo PMS

Para PMS, el monitoreo fue de un mes completo (23 de octubre al 22 de noviembre del 2017), de acuerdo al TULSMA LIBRO VI, ANEXO 4, la cual nos menciona que para obtener una muestra, debe ser colectada durante 30 días de forma continua, la muestra máxima permitida será de un miligramo por centímetro cuadrado, por treinta días (1 mg/cm² x 30 d). Una vez finiquitado el muestreo, los papeles filtro fueron llevados a la estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente, donde se sometió a una temperatura de 50ºC durante al menos 24h (Santillán et al., 2016), posteriormente se pesó nuevamente cada papel filtro en la balanza analítica SARTORIUS, modelo BP221S, de precisión 0,0001 g. Finalmente se emplea la fórmula utilizada por (Marcos & Valderrama, 2012) para determinar el PMS, se calcula realizando la diferencia entre los pesos final e inicial y dividiendo para el área donde se recolectó la muestra, obteniendo en unidades de mg/cm²/mes.

$$PAS = \frac{P_f - P_i}{Área} * 1mes \qquad [1]$$

Donde:

PAS: Polvo Atmosférico Sedimentable.

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

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

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

r: 4.3 cm

4.5. Monitoreo de Material Particulado Volátil (PMV)

La mediciones se llevaron a cabo aleatoriamente en diferentes puntos de cada zona del área de estudio, durante 3 semanas, todos los días (23 de octubre al 10 de noviembre del 2017), exceptuando los fines de semana y feriado, en horas pico de 07h00, 12h00 y 15h00; el monitoreo y la cuantificación de PMV se lo realizó con el equipo DustTrak™ II, el cual puede medir simultáneamente fracciones de masa y tamaño, este equipo posee un fotómetro láser de dispersión de luz con registro de datos alimentados por baterías capaces de ofrecer lecturas de masa de PMV, en tiempo real, el mismo que utiliza un sistema de aire de vaina que aísla el PMV, en la cámara óptica, para mantenerla limpia, asegurar una mayor fiabilidad y garantizar un mantenimiento mínimo (TSI, 2013). El procedimiento fue el siguiente:

1. Se procede a corroborar, encender y ejecutar la calibración del equipo (ZERO CAL), con el filtro 0 µm, esto se debe realizar antes de cada una de las lecturas con los diferentes filtros
2. Terminada su calibración se coloca el filtro de 10 µm, luego el de 4 µm y 2,5 µm
3. Se inicia la recolección de PM, el mismo que dura 2 minutos por muestra
4. Arrojándonos datos en (mg/m^3), los cuales se transforman a µm
5. La toma de lecturas con el equipo DustTrak™ II, inicia al instante de que el material particulado empieza a disgregarse por el aire (Santillán et al., 2016).

4.6. Análisis cualitativo con el Microscopio Óptico (MO)

Llevamos al laboratorio de microscopia el PM, recogido en cada uno de los papeles filtros y con la ayuda de un pincel, es levantado y colocado sobre un portaobjetos limpio (asegurándose que la muestra a observar es representativa del material) sobre el cual se deposita una gota de azul de metileno y finalmente un cubreobjetos, esto se lo realiza para los 6 papeles filtro. Las muestras están preparadas y listas para su análisis en el MO, a una resolución de 4x, 10x, 40x y 100x, siendo necesario en el último lente objetivo, el uso del aceite de inmersión.

4.7. Análisis geoestadístico

Para el análisis geoestadístico, se recogerán datos (velocidad y dirección del viento**)** de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio (ESPOCH, Matus, Químiag, San Juan y Tunshi), de los meses comprendidos de octubre-noviembre, de este modo se podrá determinar la dispersión de PM, con el método de interpolación KRIGING.

5. RESULTADOS

5.1. Encuestas

Pregunta 1: ¿A qué se debe la presencia de Material Particulado (polvo) en el sector?

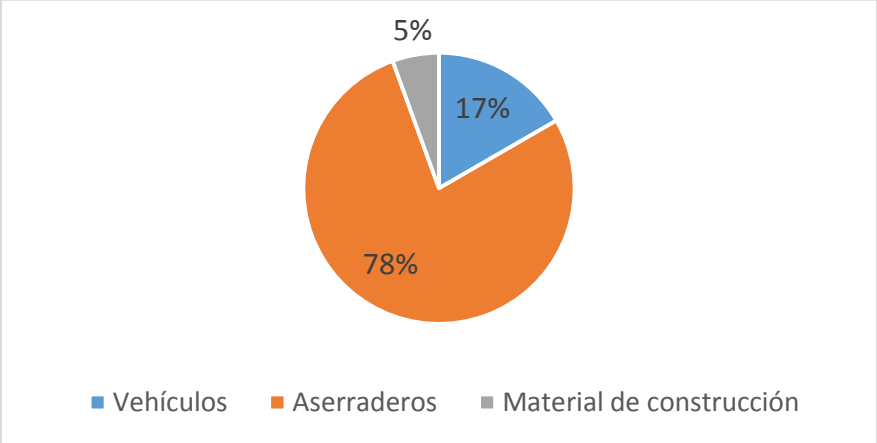


Figura 3: Factores para la presencia de material particulado (polvo) en el sector
Autor: Cristian Lara B.

De las 18 personas encuestadas, el 78%, afirma que la presencia de material particulado (polvo), proviene de los aserraderos existentes en el sector, un 17%, menciona que procede de los vehículos que transitan en la avenida principal y un 5%, de un centro de acopio de material de construcción.

Pregunta 2: ¿Cómo calificaría la calidad del aire en el barrio "La Esperanza", debido a la presencia de polvo de madera generado por los aserraderos?

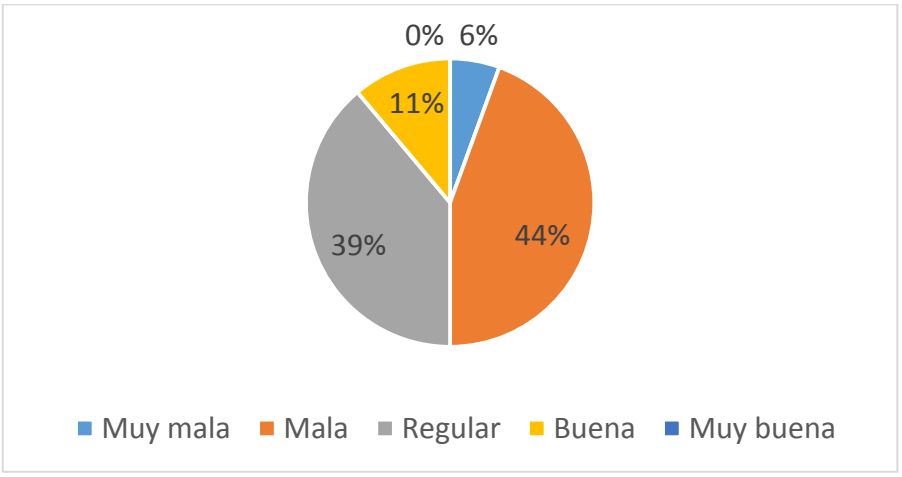


Figura 4: Calidad del aire en el barrio "La Esperanza" debido al polvo de madera generado por los aserraderos, según moradores
Autor: Cristian Lara B.

El 39%, 44% y 6% de los moradores encuestados han presenciado que la calidad del aire que respiran, es regular, mala y muy mala, respectivamente, de acuerdo al tiempo de residencia en el sector, y tan solo el 11%, manifiesta que es buena.

Pregunta 3: ¿Cree usted que la calidad del aire por la presencia del polvo de madera puede afectar su salud?

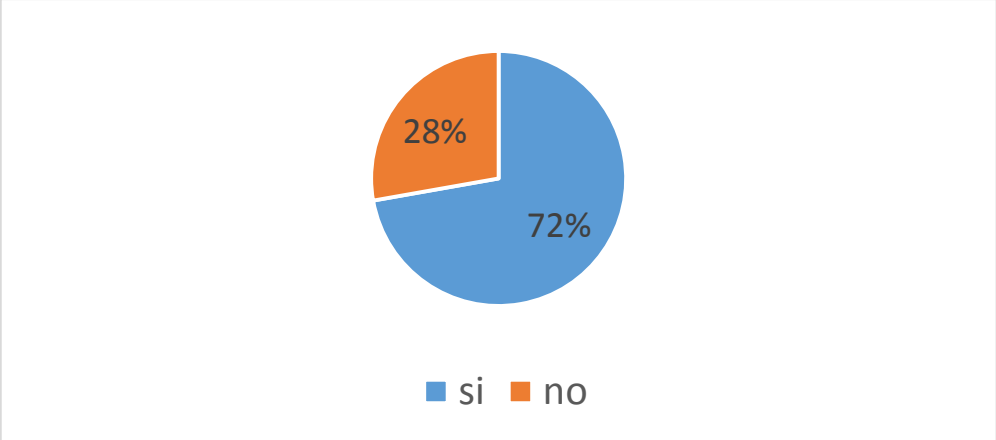


Figura 5: Afectación a la salud de los moradores por la presencia de polvo de madera
Autor: Cristian Lara B.

Los moradores del Barrio "La Esperanza", en su gran mayoría están conscientes que el inhalar polvo de madera es perjudicial para su salud, a este grupo pertenece el 72%, sin embargo, existe un pequeño grupo correspondiente al 28%, que desconoce sobre los efectos que produce este tipo de material particulado.

Pregunta 4: De acuerdo a su criterio: ¿Cuáles de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición al polvo de madera?

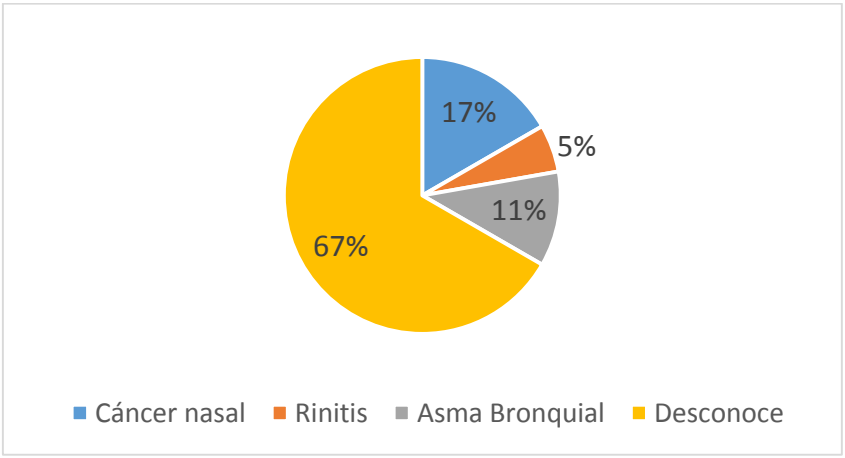


Figura 6: Enfermedades producidas por la exposición al polvo de madera, según moradores
Autor: Cristian Lara B.

A pesar de que la gran mayoría de moradores están conscientes del daño que produce el polvo de madera, así mismo, las personas que desconocen los tipos de enfermedades que produce la exposición a dicho material es elevada, correspondiente al 67%, y tan solo el 17%, 11% y 5%, mencionaron enfermedades como el cáncer nasal, el asma bronquial y la rinitis, respectivamente.

Pregunta 5: ¿Ha padecido alguno de los siguientes síntomas, por la presencia de polvo de madera en el sector?

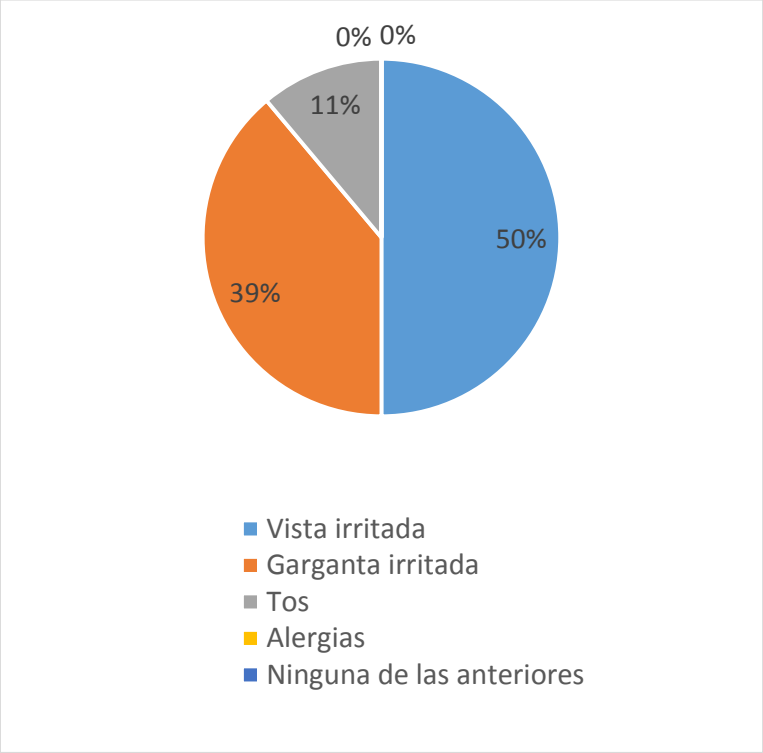


Figura 7: Síntomas padecidos en los moradores por la presencia de polvo de madera en el sector
Autor: Cristian Lara B.

Del total de personas encuestadas, todas han padecido algún tipo de síntoma por la presencia de polvo de madera durante el tiempo de residencia en el sector, sin embargo, el 50% de los moradores tuvieron problemas de vista irritada, así como un 39% de garganta irritada y un 11%, ha presentado algún tipo de tos, al inhalar casualmente el particulado.

5.2. Material Particulado Volátil (PMV)

Los valores de concentración fueron obtenidos por el equipo DustTrak™ II del PMV de 2,5 µm, 4 µm y 10 µm, en el periodo octubre-noviembre de 2017 (23 de octubre al 10 de noviembre), para lo cual se dividió el área de estudio en 6 Zonas (Figura 8), cada zona cuenta con 13 puntos de monitoreo, dándonos un total de 78 (Figura 9), con el objetivo de que el monitoreo sea lo más ordenado posible y poder obtener mejores resultados que reflejen la realidad que vive el sector, los resultados se presentan en las tablas 4,5 y 6, respectivamente.

Figura 8: Zonificación del área de estudio
Autor: Cristian Lara B.

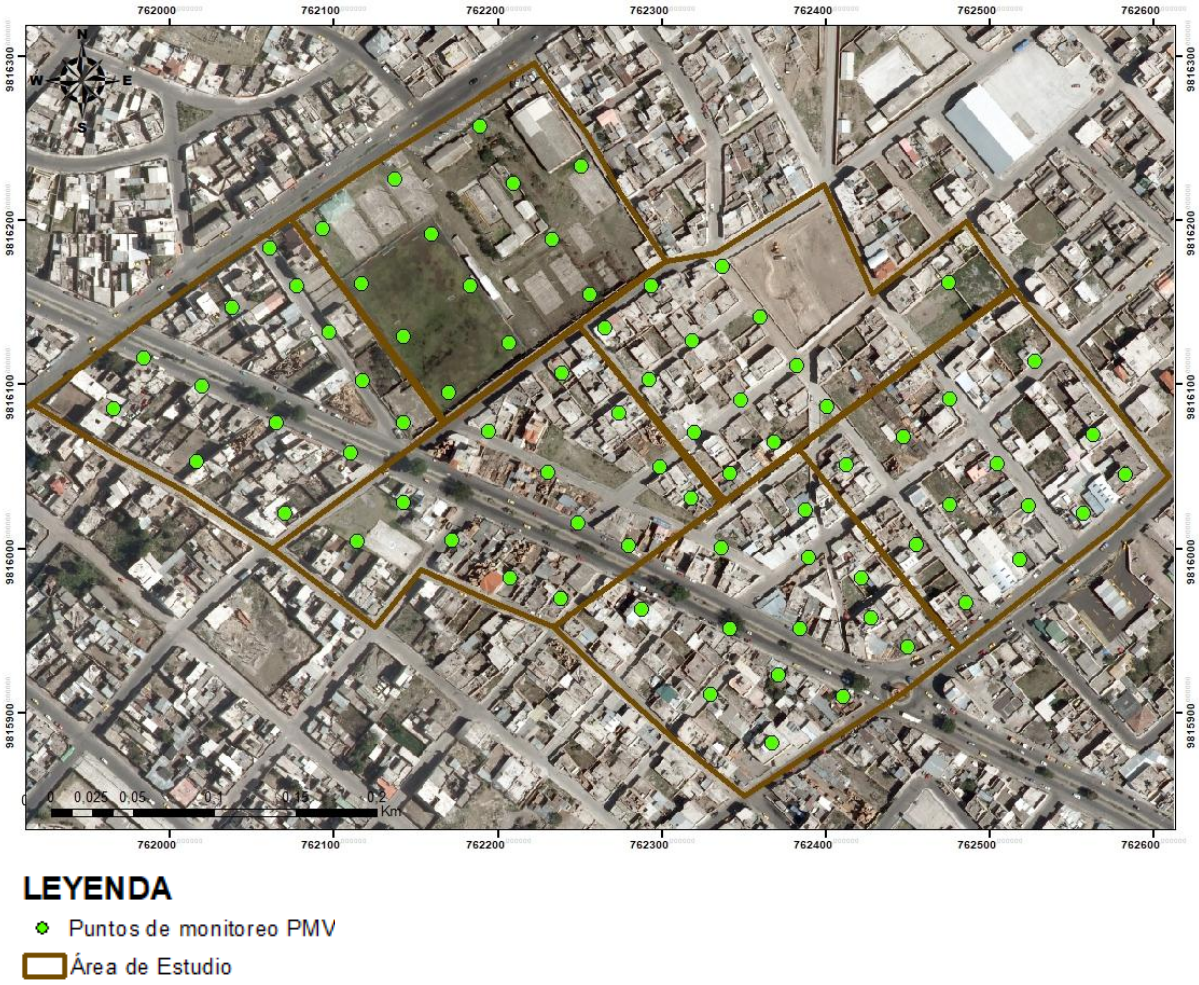


Figura 9: Puntos de monitoreo de PMV
Autor: Cristian Lara B.

Tabla 4: Datos de PM 2,5 µm, en cada zona a diferente horario

PM 2,5 µm (µg/m³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	29	50	4	4	3	3	9	14	2	28	10	7	23	20	2	27	23	12
2	19	28	27	4	4	5	6	16	8	12	8	6	2	21	2	8	11	8
3	5	16	12	3	5	12	2	49	18	3	13	9	8	23	10	7	2	6
4	7	17	21	3	8	4	10	13	4	2	9	7	5	24	6	9	5	8
5	12	50	18	9	7	9	10	17	5	10	48	14	5	50	12	11	7	6
6	28	42	9	13	19	16	5	19	4	10	32	11	12	22	13	22	8	8
7	5	32	27	12	20	3	6	20	2	2	12	8	9	23	14	9	22	4
8	5	41	12	6	11	7	5	13	10	2	9	9	5	24	5	8	13	4
9	21	50	14	24	14	4	8	16	9	10	20	11	15	20	12	11	11	14
10	20	49	6	10	3	2	4	49	5	8	5	5	13	21	6	7	8	8
11	10	38	17	10	12	12	9	14	2	12	11	5	9	24	5	10	5	4
12	20	50	15	5	26	16	3	12	5	5	6	8	9	19	10	9	5	5
13	9	48	15	8	9	8	8	18	8	6	29	12	5	22	9	10	10	5

Autor: Cristian Lara B.

Tabla 5: Datos de PM 4 µm, en cada zona a diferente horario

PM 4 µm (µg/m³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	35	67	13	5	14	14	5	19	12	12	22	8	13	25	7	14	15	18
2	14	34	18	6	5	4	11	18	8	7	15	7	8	13	8	35	16	7
3	7	41	10	4	36	9	5	55	9	34	11	10	30	60	24	12	10	9
4	9	65	22	4	14	20	15	11	28	8	5	8	9	25	8	11	11	7
5	9	23	9	13	16	12	9	12	10	34	10	9	10	16	19	13	29	14
6	37	67	17	3	14	20	10	65	5	9	12	19	9	12	12	17	19	18
7	9	45	22	7	5	5	10	19	28	9	49	9	30	10	15	12	15	6
8	15	11	11	5	36	10	7	14	8	15	22	10	8	60	6	10	16	15
9	23	19	35	9	25	3	7	24	11	11	19	9	10	20	13	12	13	10
10	37	30	10	9	17	25	15	12	12	11	9	19	10	25	24	12	12	10
11	18	21	15	13	10	5	9	65	9	10	10	9	15	15	5	35	17	15
12	13	27	12	3	7	25	7	10	12	9	11	7	11	17	19	17	29	13
13	12	66	35	9	9	11	6	12	9	10	49	10	7	13	16	12	11	8

Autor: Cristian Lara B.

Tabla 6: Datos de PM 10 µm, en cada zona a diferente horario

PM 10 µm (µg/m³)																		
	Zona 1			Zona 2			Zona 3			Zona 4			Zona 5			Zona 6		
Día	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00	07H00	12H00	15H00
1	15	79	7	5	12	15	3	2	4	12	7	8	2	8	9	7	17	6
2	11	62	43	19	3	10	5	22	7	7	6	5	36	7	8	9	12	2
3	12	15	15	5	12	32	19	72	17	10	15	25	4	30	29	4	16	22
4	20	16	28	6	42	6	3	8	35	40	16	9	12	21	7	15	9	5
5	13	82	20	14	34	7	8	13	8	2	55	10	12	64	19	6	8	8
6	45	55	5	12	32	30	19	42	2	12	12	10	19	9	8	40	35	22
7	10	29	12	8	5	11	7	16	35	12	45	14	3	8	29	9	17	8
8	11	42	15	7	10	9	11	72	11	4	10	25	12	7	5	18	15	7
9	43	39	12	19	17	8	12	20	10	14	55	14	19	18	14	14	35	16
10	45	50	5	7	5	32	6	55	9	30	17	2	36	57	11	8	7	2
11	13	47	43	5	42	12	5	9	17	40	39	10	5	6	12	40	10	7
12	11	82	8	6	15	9	5	17	29	7	14	7	18	64	5	10	5	7
13	10	79	18	11	22	11	10	13	10	3	12	11	12	18	12	12	12	8

Autor: Cristian Lara B.

5.3. Concentración de PMV en el Barrio “La Esperanza”

Con los datos anteriores, se obtiene un promedio diario de las 6 zonas, de todos los días, de cada hora de monitoreo del periodo octubre-noviembre, para $PM_{2,5}$, PM_4 y PM_{10}, dándonos los siguientes resultados y comparándolos con los LMP de la OMS y la legislación ecuatoriana, para los 2 minutos de muestreo que se realizó.

Tabla 7: Concentraciones de $PM_{2,5}$ (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m³)	12H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m³)	15H00	Permisible para la OMS (0,03 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,09 µg/m³)
1	20,00	NO	NO	20,00	NO	NO	5,00	NO	NO
2	8,50	NO	NO	14,67	NO	NO	9,33	NO	NO
3	4,67	NO	NO	18,00	NO	NO	11,17	NO	NO
4	6,00	NO	NO	12,67	NO	NO	8,33	NO	NO
5	9,50	NO	NO	29,83	NO	NO	10,67	NO	NO
6	15,00	NO	NO	23,67	NO	NO	10,17	NO	NO
7	7,17	NO	NO	21,50	NO	NO	9,67	NO	NO
8	5,17	NO	NO	18,50	NO	NO	7,83	NO	NO
9	14,83	NO	NO	21,83	NO	NO	10,67	NO	NO
10	10,33	NO	NO	22,50	NO	NO	5,33	NO	NO
11	10,00	NO	NO	17,33	NO	NO	7,50	NO	NO
12	8,50	NO	NO	19,67	NO	NO	9,83	NO	NO
13	7,67	NO	NO	22,67	NO	NO	9,50	NO	NO

Autor: Cristian Lara B.

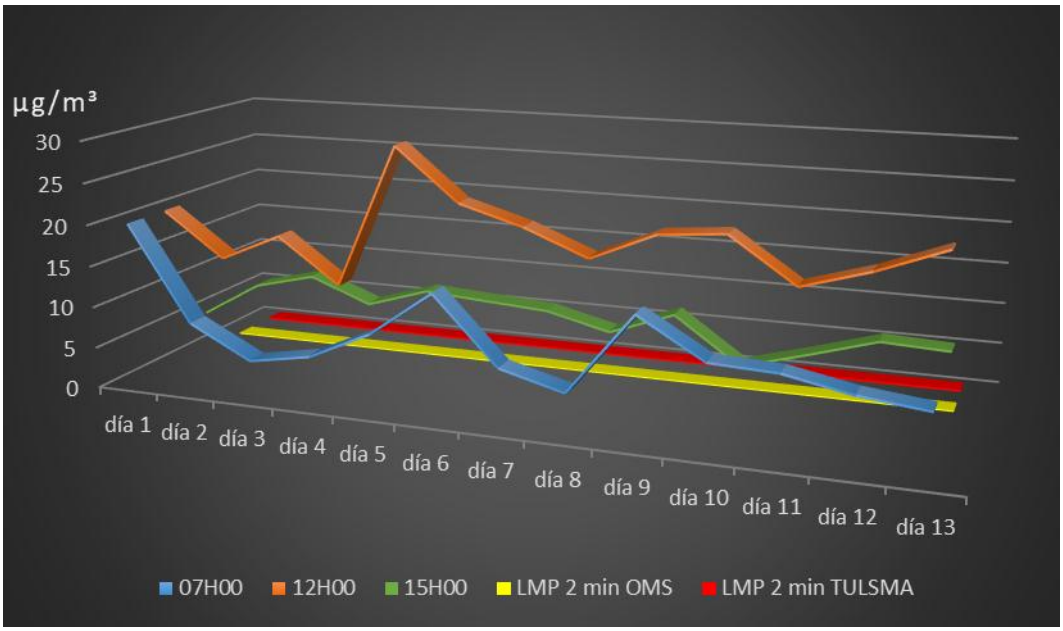


Figura 10: Comparación de valores de $PM_{2,5}$ con los LMP de la OMS y TULSMA
Autor: Cristian Lara B.

Tabla 8: Concentraciones de PM_4 (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)	12H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)	15H00	Permisible para la OMS (0,04 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,11 µg/m³)
1	14,00	NO	NO	27,00	NO	NO	12,00	NO	NO
2	13,50	NO	NO	16,83	NO	NO	8,67	NO	NO
3	15,33	NO	NO	35,50	NO	NO	11,83	NO	NO
4	9,33	NO	NO	21,83	NO	NO	15,50	NO	NO
5	14,67	NO	NO	17,67	NO	NO	12,17	NO	NO
6	14,17	NO	NO	31,50	NO	NO	15,17	NO	NO
7	12,83	NO	NO	23,83	NO	NO	14,17	NO	NO
8	10,00	NO	NO	26,50	NO	NO	10,00	NO	NO
9	12,00	NO	NO	20,00	NO	NO	13,50	NO	NO
10	15,67	NO	NO	17,50	NO	NO	16,67	NO	NO
11	16,67	NO	NO	23,00	NO	NO	9,67	NO	NO
12	10,00	NO	NO	16,83	NO	NO	14,67	NO	NO
13	9,33	NO	NO	26,67	NO	NO	14,83	NO	NO

Autor: Cristian Lara B.

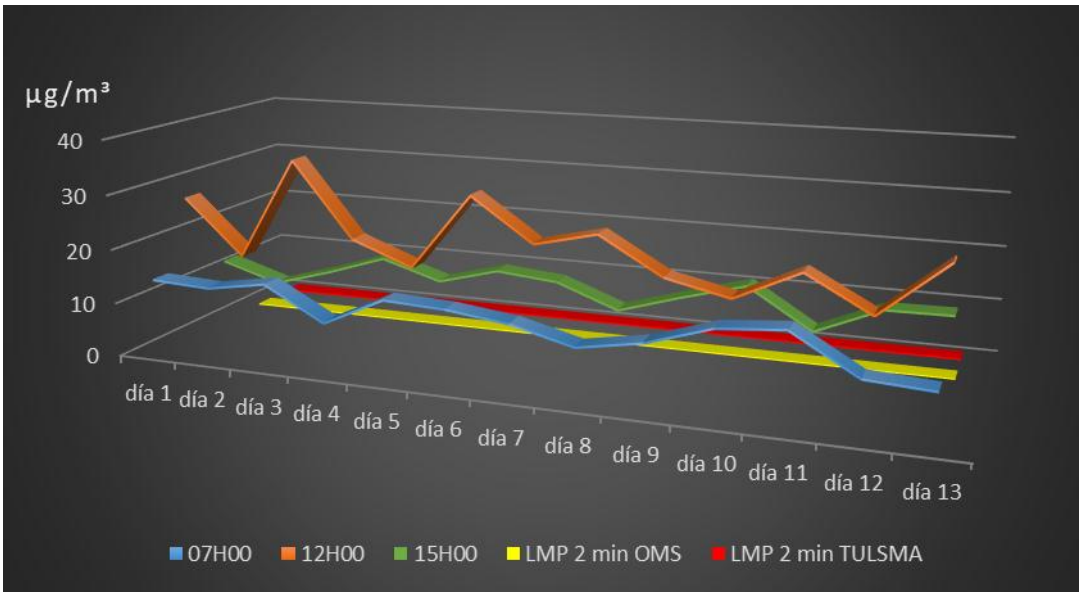


Figura 11: Comparación de valores de PM_4, con los LMP de la OMS y TULSMA
Autor: Cristian Lara B.

Tabla 9: Concentraciones de PM_{10} (µg/m³), en el barrio "La Esperanza" y su comparación con los LMP de la OMS y TULSMA

Día	07H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)	12H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)	15H00	Permisible para la OMS (0,07 µg/m³)	Permisible para el TULSMA (0,21 µg/m³)
1	7,33	NO	NO	20,83	NO	NO	8,17	NO	NO
2	14,50	NO	NO	18,67	NO	NO	12,50	NO	NO
3	9,00	NO	NO	26,67	NO	NO	23,33	NO	NO
4	16,00	NO	NO	18,67	NO	NO	15,00	NO	NO
5	9,17	NO	NO	42,67	NO	NO	12,00	NO	NO
6	24,50	NO	NO	30,83	NO	NO	12,83	NO	NO
7	8,17	NO	NO	20,00	NO	NO	18,17	NO	NO
8	10,50	NO	NO	26,00	NO	NO	12,00	NO	NO
9	20,17	NO	NO	30,67	NO	NO	12,33	NO	NO
10	22,00	NO	NO	31,83	NO	NO	10,17	NO	NO
11	18,00	NO	NO	25,50	NO	NO	16,83	NO	NO
12	9,50	NO	NO	32,83	NO	NO	10,83	NO	NO
13	9,67	NO	NO	26,00	NO	NO	11,67	NO	NO

Autor: Cristian Lara B.

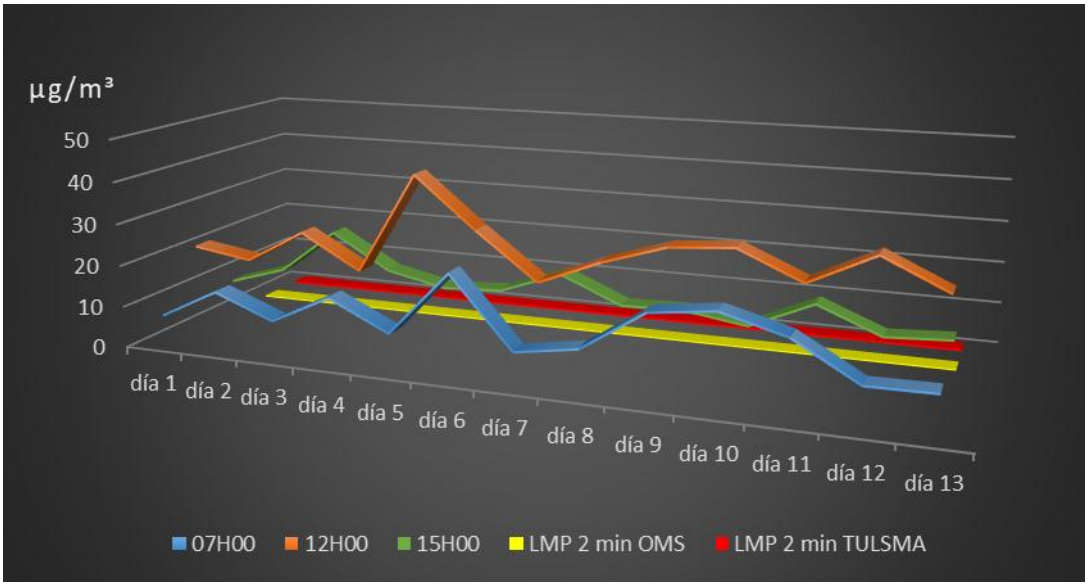


Figura 12: Comparación de valores de $PM_{10,}$ con los LMP de la OMS y TULSMA
Autor: Cristian Lara B.

5.4. Análisis estadístico descriptivo

Para el análisis estadístico descriptivo, se trabajó con el Software Minitab 18 Statistical, utilizando las herramientas de estadísticas básicas, como la media, el error estándar de la media, la desviación estándar, la varianza, el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil, el máximo y el rango, y para las gráficas se utilizaron las de caja.

5.4.1. Material Particulado Volátil 2,5 µm ($PM_{2,5}$)

Con los valores obtenidos para $PM_{2,5}$ µm, en el barrio "La Esperanza", se determinó un valor medio para las 07h00, 12h00 y 15h00, de 9,8 µg/m³, 20,22 µg/m³ y 8,85 µg/m³, respectivamente; el valor máximo que se registra en el sector es de 29,83 µg/m³ y un valor mínimo de 4,67 µg/m³, el rango que estableció el análisis estadístico es de 15,33 µg/m³, 17,16 µg/m³ y 6,17 µg/m³, correspondiente para cada una de las horas **(Anexo 1)**.

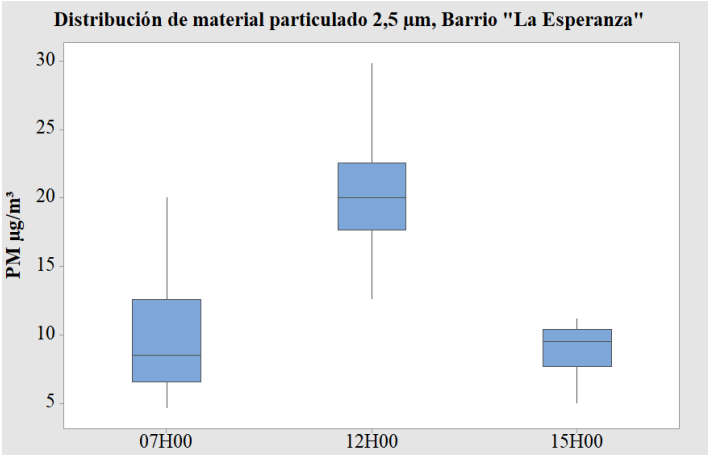


Figura 13: Distribución de material particulado 2,5 µm, barrio "La Esperanza"
Autor: Cristian Lara B.

De acuerdo a (Santillán et al., 2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos de PMV en el barrio "La Esperanza", con los LMP según la legislación ecuatoriana y la OMS, los resultados obtenidos no se encuentran dentro de los límites permisibles, ya que se establece como media diaria 65 µg/m³ y 25 µg/m³ para el $PM_{2,5}$, respectivamente.

Para el filtro 2,5 µm, en los 2 minutos de muestreo que se realizó, se obtuvo un LMP de 0,09 µg/m³ con respecto a la legislación ecuatoriana y un LMP de 0,03 µg/m³ para la OMS; de acuerdo a lo mencionado, los valores registrados exceden las normas permisibles.

5.4.2. Material Particulado Volátil 4 µm (PM_4)

Para PM_4, se tuvo un valor medio de 12,89 µg/m³, 23,44 µg/m³ y 12,99 µg/m³, para las 07h00, 12h00 y 15h00; el valor máximo registrado fue de 35,5 µg/m³ y el valor mínimo de 8,67 µg/m³, el rango establecido es de 7,34 µg/m³, 18,67 µg/m³ y 8 µg/m³, para cada una de las horas (**Anexo 2)**.

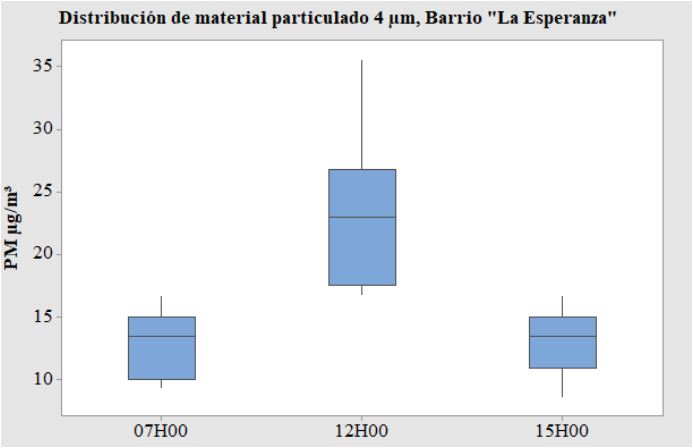


Figura 14: Distribución de material particulado 4 µm, barrio "La Esperanza"
Autor: Cristian Lara B.

Los resultados para PM_4, superan los límites máximos permisibles, ya que se establece una media diaria de 82 µg/m³ para la norma ecuatoriana y 30 µg/m³ para la OMS; el LMP, determinado para el filtro de 4 µm, en los 2 minutos de muestreo, es de 0,11 µg/m³, con respecto a la legislación del Ecuador y de 0,04 µg/m³ de acuerdo a la OMS, los valores encontrados sobrepasan los LMP.

5.4.3. Material Particulado Volátil 10 µm (PM_{10})

Para PM_{10}, se registró un valor medio de 13,73 µg/m³, 27,01 µg/m³ y 13,53 µg/m³ para las 07h00, 12h00 y 15h00, respectivamente; el valor máximo fue de 42,67 µg/m³ y un mínimo de 7,33 µg/m³, con un rango de 17,17 µg/m³, 24 µg/m³ y 15,16 µg/m³ correspondiente para cada hora **(Anexo 3)**.

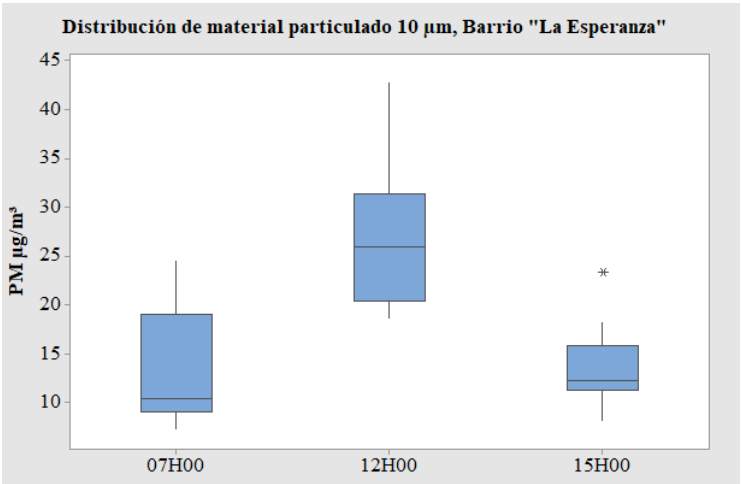


Figura 15: Distribución de material particulado 10 µm, barrio "La Esperanza"
Autor: Cristian Lara B.

En la legislación ecuatoriana y en la OMS, se establece una media diaria de 150 µg/m³ y 50 µg/m³ para PM_{10}, respectivamente; en los 2 minutos de monitoreo se obtuvo un LMP de 0,21 µg/m³ y 0,07 µg/m³ para cada norma, los valores registrados sobrepasan las concentraciones permitidas.

5.5. Material Particulado Sedimentable (PMS)

Tabla 10: Resultados de las concentraciones de material particulado sedimentable

Equipo	Ubicación geográfica	Peso Inicial Papel mg	Peso Final Papel mg	PMS (mg/cm²/mes)
1	762367,271 9815951,529	456	535,1	1,36
2	762495,950 9816045,758	455,5	503,7	0,83
3	762227,447 9816029,547	455,8	517,2	1,06
4	762361,192 9816126,816	458,4	501,9	0,75
5	762062,292 9816109,591	458,9	521,5	1,08
6	762196,037 9816195,715	453,5	499,1	0,79

Autor: Cristian Lara B.

Comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos por la OMS y la legislación ecuatoriana TULSMA

Tabla 11: Comparación de valores de PMS, con límites establecidos por la OMS y TULSMA

Muestra	PMS	Normativa OMS mes de muestreo	Permisible	Legislación ecuatoriana TULSMA	Permisible
Filtro 1	1,36	0,5 mg/cm²	NO	1 mg/cm²	NO
Filtro 2	0,83		NO		SI
Filtro 3	1,06		NO		NO
Filtro 4	0,75		NO		SI
Filtro 5	1,08		NO		NO
Filtro 6	0,79		NO		SI

Autor: Cristian Lara B.

Las concentraciones encontradas en cada papel filtro, exceden los LMP de la OMS, mientras que para la legislación ecuatoriana, solo el papel filtro 1, 3 y 5, sobrepasan los LMP, cada papel filtro representa una zona de muestreo, comprobando que las zonas donde se encuentran ubicados los aserraderos, es donde se genera mayor cantidad de PM hacia la atmósfera.

5.6. Análisis cualitativo PMS

5.6.1. Caracterización morfológica

Las partículas sedimentadas en el papel filtro, fueron analizadas morfológicamente con el uso del microscopio óptico; donde se tomaron imágenes a 100x, 40x, 10x y 4x, se pudo identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas de madera.

Imágenes obtenidas del Microscopio Óptico (MO)

Papel filtro 1

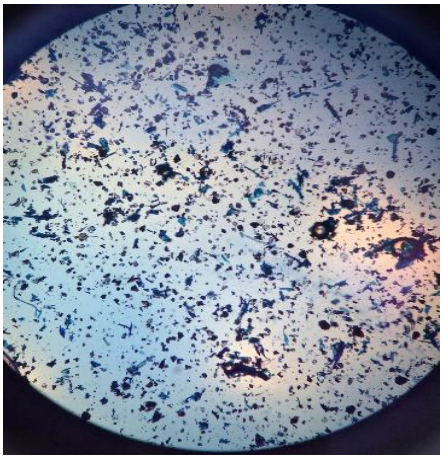


Figura 16: Filtro 1, PM observado a 4X

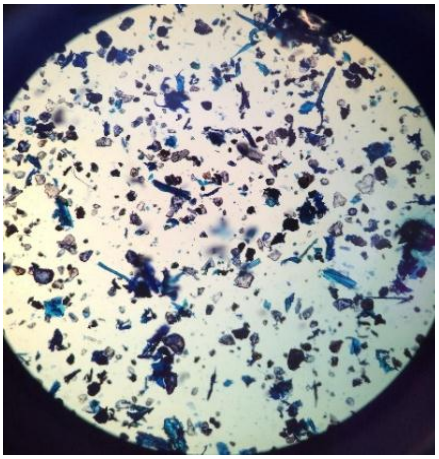


Figura 17: Filtro 1, PM observado a 10X

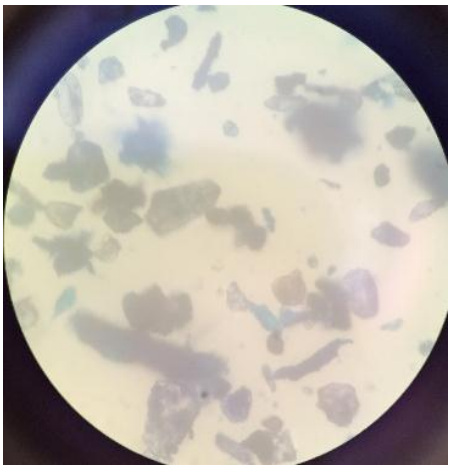


Figura 18: Filtro 1, PM observado a 40X

Figura 19: Filtro 1, PM observado a 100X

Papel filtro 2

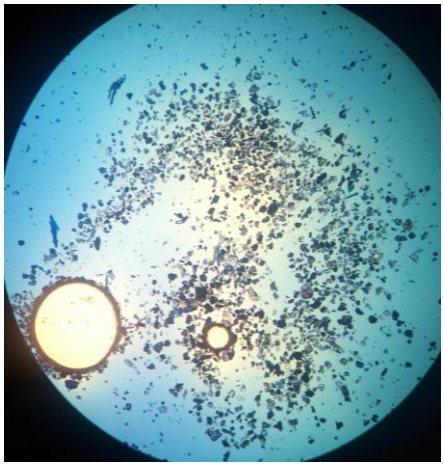


Figura 20: Filtro 2, PM observado a 4X

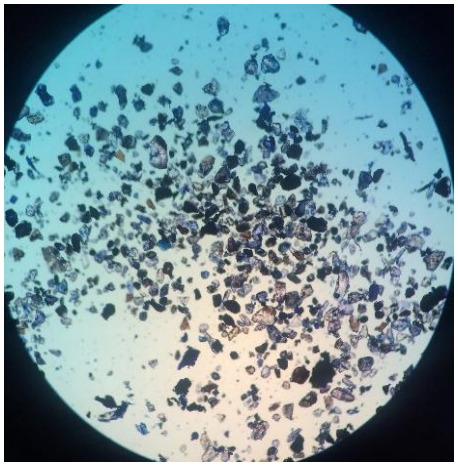


Figura 21: Filtro 2, PM observado a 10X

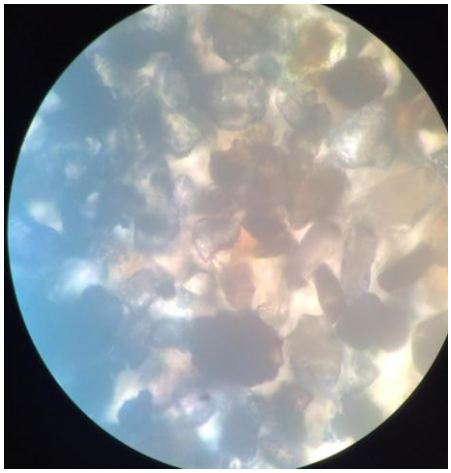


Figura 22: Filtro 2, PM observado a 40X

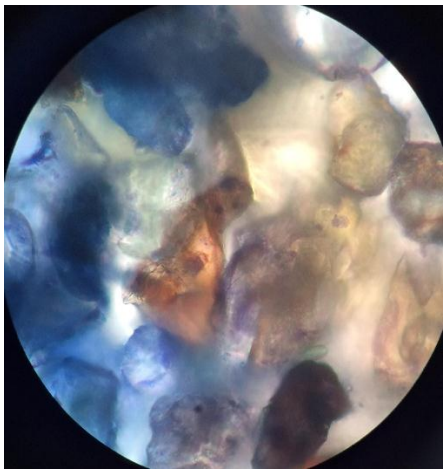


Figura 23: Filtro 2, PM observado a 100X

Papel filtro 3

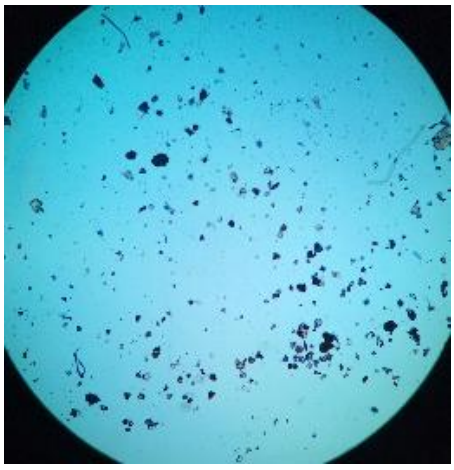


Figura 24: Filtro 3, PM observado a 4X

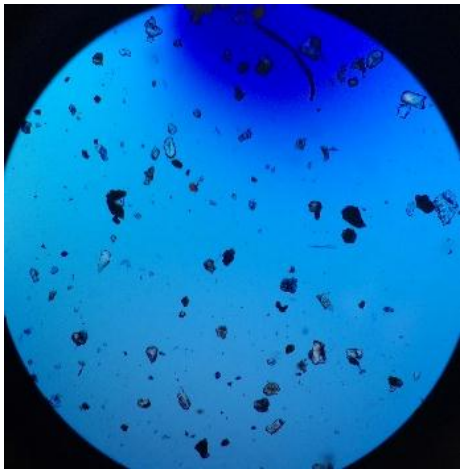


Figura 25: Filtro 3, PM observado a 10X

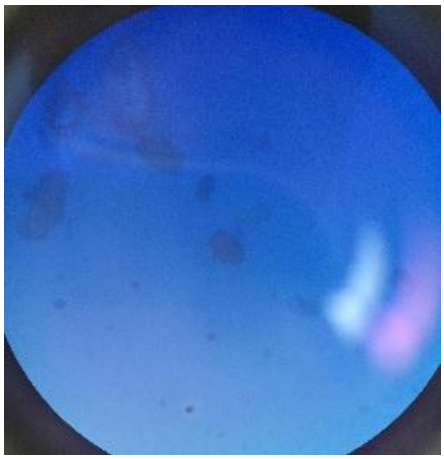


Figura 26: Filtro 3, PM observado a 40X

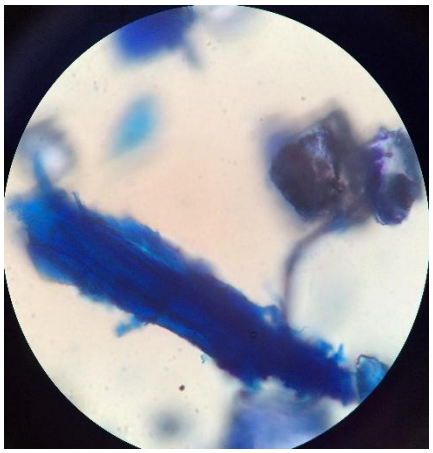


Figura 27: Filtro 3, PM observado a 100X

Papel filtro 4

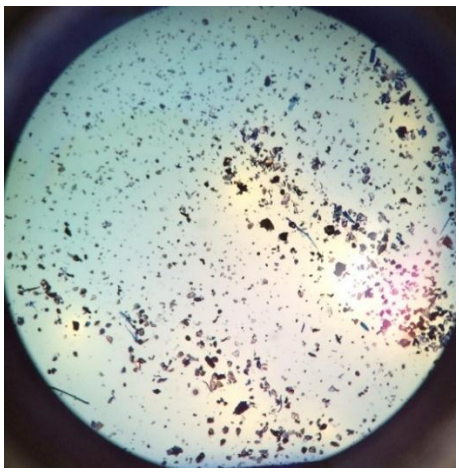


Figura 28: Filtro 4, PM observado a 4X

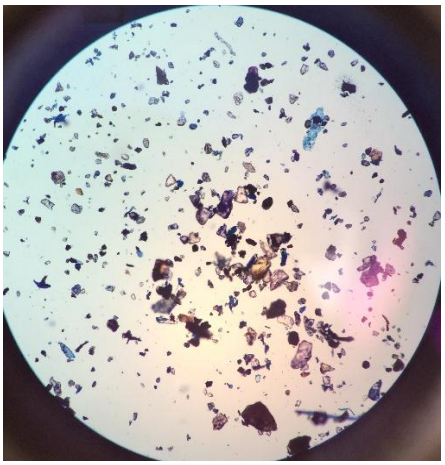


Figura 29: Filtro 4, PM observado a 10X

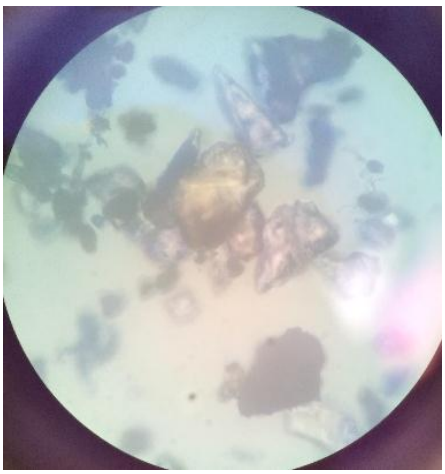


Figura 30: Filtro 4, PM observado a 40X

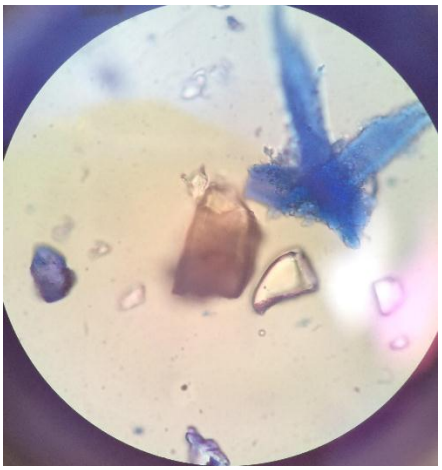


Figura 31: Filtro 4, PM observado a 100X

Papel filtro 5

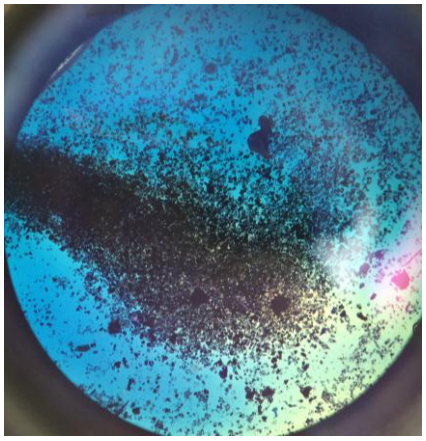


Figura 32: Filtro 5, PM observado a 4X

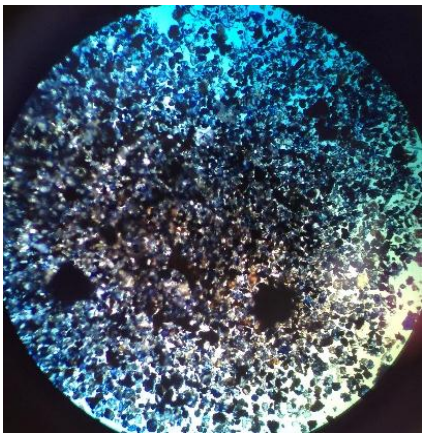


Figura 33: Filtro 5, PM observado a 10X

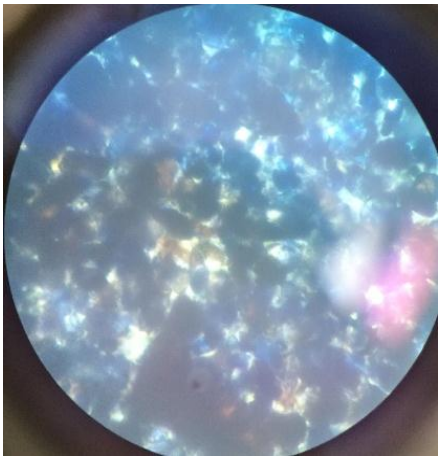


Figura 34: Filtro 5, PM observado a 40X

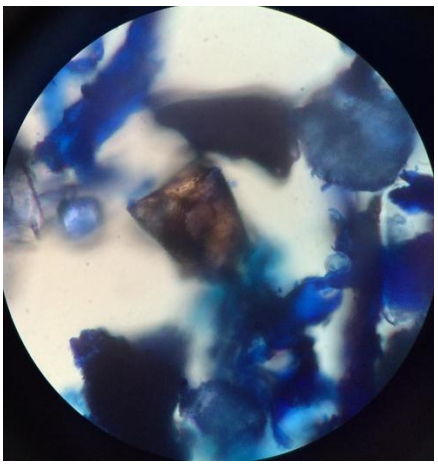


Figura 35: Filtro 5, PM observado a 100X

Papel filtro 6

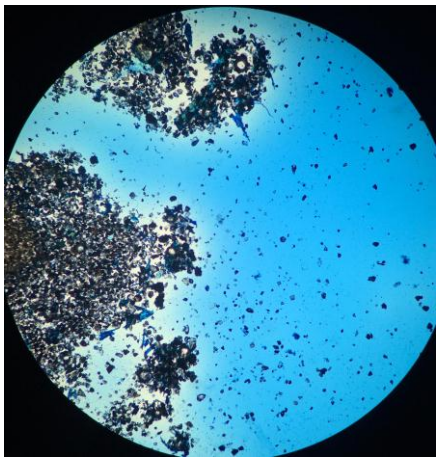


Figura 36: Filtro 6, PM observado a 4X

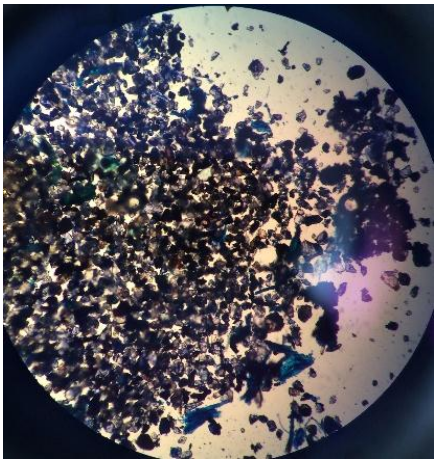


Figura 37: Filtro 6, PM observado a 10X

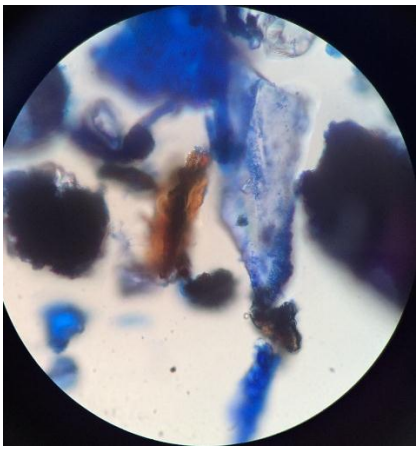


Figura 38: Filtro 6, PM observado a 40X **Figura 39:** Filtro 6, PM observado a 100X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En cada imagen obtenida del MO, podemos observar claramente tres grupos de partículas en los que se puede clasificar el PM, estos grupos son: Partículas orgánicas (madera), partículas de residuos de combustión y partículas minerales; las partículas de madera se identifican con más claridad en las imágenes de 100x, donde nos permite apreciar una gran variedad de partículas irregulares en la muestra: Fibras cortas, fibras con desgarros en gajos o individuales, fibras largas e irregulares, encintadas y con desgarro, lo que es característico de las coníferas (maderas blandas); además, en menor proporción, se observan fibras cortas, planas y compactas, lo que es característico de las fibras latifoliadas (maderas duras).

Los propietarios de cada aserradero ubicado dentro del área de estudio, manifestaron que las especies de madera más utilizadas en sus actividades, son el Pino (*Pinus Radiata D.Don*) y el Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*), y en muy pocas veces el Nogal (*Juglans neotropica Diels*), las dos primeras especies se consideran maderas blandas, mientras que la última pertenece al grupo de las maderas duras.

La composición química orgánica del *Pinus Radiata D.Don* según lo que menciona (Ariete, 2010) en su tema de investigación, se compone en su gran mayoría de un 53,7% de Celulosa, 27,1% de Lignina, 16,4% de Hemicelulosa y un 1,3% de componentes extraíbles; en cuanto al *Eucalyptus Grandis* (Urrelo, Leal, & Bozo, 2016), indican que su composición varía entre 49,59% - 53,76% de Celulosa, 27,42% - 28,56% de Lignina, 18,82% - 21,75% de Hemicelulosa, 0,41% - 0,48% de Ceniza y un 0,95% - 1,23% de extractos, y finalmente el Nogal (*Juglans neotropica Diels*), por ser un tipo de madera dura, se establecen contenidos de celulosa que varían entre 38% – 49%, de lignina 22% - 34%, hemicelulosa de 23% – 31% y un bajo

porcentaje de componentes extraíbles de entre 1% - 2% (González, Rey, Caballero, & Chadae, 2016), valores que varían según la edad del árbol, la localización geográfica, las condiciones de crecimiento, de clima y del sitio de crecimiento de cada especie (Urrelo et al, 2016).

5.7. Análisis geoestadístico

Finalmente se elaboró un mapa correspondiente para visualizar la variación espacial del $PM_{2,5}$, (particulado con mayor exposición a las diferentes variaciones de las masas de aire, por ser más pequeño, ligero y dañino para la salud) en el periodo octubre-noviembre de 2017; para una mejor predicción del modelo de dispersión se lo realizó con los 78 puntos de monitoreo en toda el área de estudio (Figura 9). Dentro del análisis estadístico, se obtuvo una predicción de 94,83% y un error de 5,17%; además, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con tres variables, coordenadas en X y Y, y los datos de dirección de viento, que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de la ESPOCH, Matus, Químiag, San Juan y Tunshi; las unidades de la dirección están dadas en grados, la dirección para el área de estudio es 207°, indicando que el PM se mueve en esta dirección; los resultados obtenidos son directamente proporcionales en función a los lugares de emisión de PM (aserraderos).

En un estudio realizado por (Sánchez, Orozco, Pacheco, & Valdez, 2015) indican que los contaminantes se dispersan por acción de los vientos, el material particulado es arrastrado en función de los movimientos de las masas de aire.

Según lo que menciona (Opazo, 2011), en su investigación, la distribución de la contaminación por PM, está relacionada con la temperatura, los lugares que presentan altas temperaturas, tienen a su vez los niveles de contaminación por PM mayores, además a medida que la temperatura aumenta los gases, se vuelven volátiles, permitiendo fácilmente su dispersión por el ambiente.

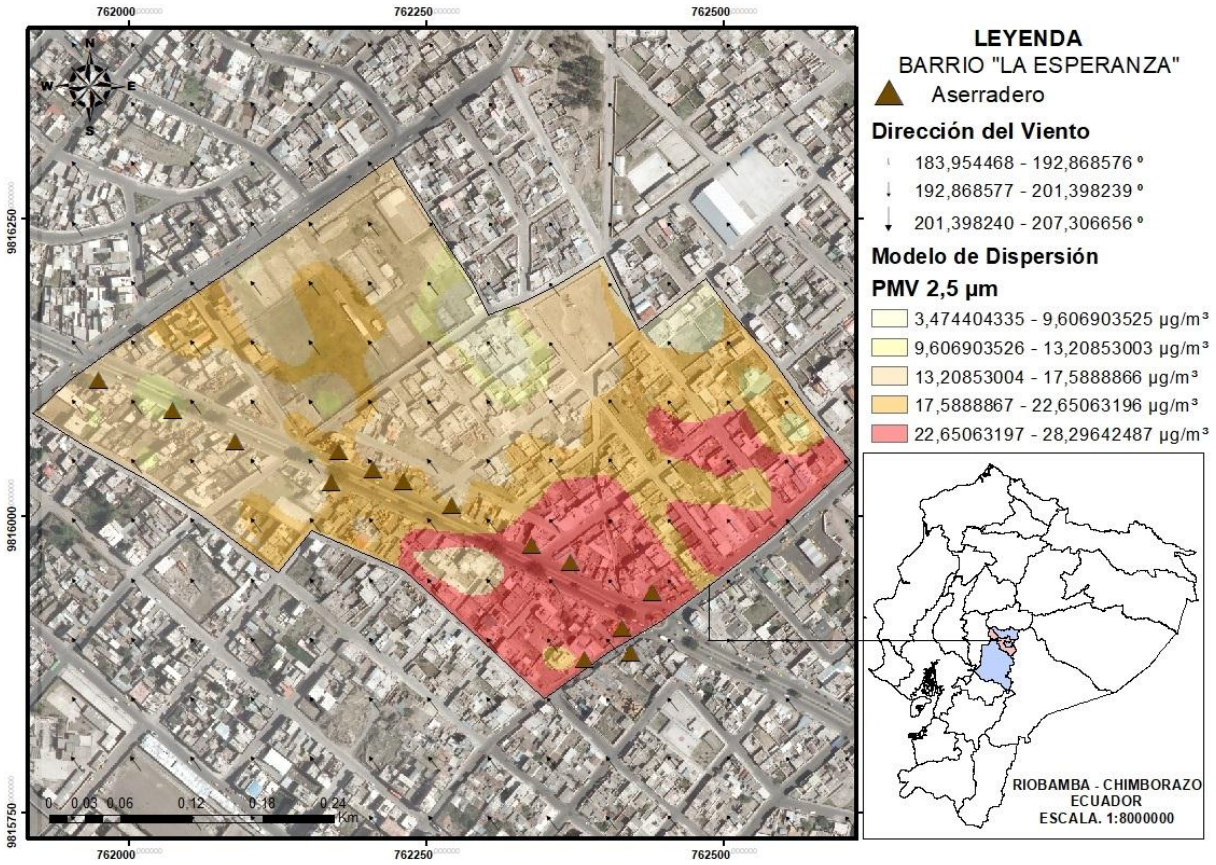


Figura 40: Modelo de dispersión de $PM_{2,5}$, en el barrio "La Esperanza"
Autor: Cristian Lara B.

Dentro del área de estudio, se realizó el modelo de dispersión para el $PM_{2,5}$; este análisis se llevó a cabo con el promedio diario obtenido del periodo de estudio, de cada punto, incluyendo las horas de monitoreo, los puntos mayores de concentración se encuentran en la zona 1, alcanzando valores que van desde los 3,47 µg/m³, hasta los 28,33 µg/m³; el particulado tiende a dirigirse en dirección NO, de acuerdo al mapa de dirección del viento, y con una velocidad promedio de 1,3 m/s, una máxima de 1,9 m/s, y una mínima de 0,05 m/s, en el periodo de estudio (INAMHI, 2017).

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el barrio "La Esperanza", nos revelan que las concentraciones de PMV durante los 2 minutos de muestreo, superan los LMP, tanto de la legislación ecuatoriana, como de la OMS, llegando a alcanzar valores máximos de hasta 29,83 µg/m³, 35,5 µg/m³ y 42,67 µg/m³ para $PM_{2,5}$, PM_4 y PM_{10}, respectivamente, siendo las 12h00, la hora pico para dichos niveles.

  Para el análisis de PMS, los datos obtenidos excedieron en su totalidad los LMP de la OMS, llegando alcanzar una concentración máxima de 1,36 mg/cm²/mes en la muestra 1, no siendo el mismo caso para la legislación ecuatoriana, donde solo la muestra 1,3 y 5, superaron la norma nacional.

  Con respecto a las elevadas concentraciones alcanzadas de PMV y PMS, durante el periodo de monitoreo, podemos señalar varios motivos, como el escaso control a la industria maderera en el sector; todos los aserraderos carecen de una infraestructura apropiada para su funcionamiento, la mayoría son a cielo abierto, sumado a esto, la inexistencia de equipos de trabajo adecuados, hacen que este sector de la ciudad de Riobamba, realmente posea una contaminación atmosférica preocupante, presentándose varios problemas de salud en los moradores, como vista y garganta irritada.

- El MO, nos proporcionó imágenes de la forma irregular de las partículas, identificando fibras largas, cortas y con desgarros, característico de las maderas blandas (coníferas); además, en menor proporción, se observaron, fibras planas y compactas, lo que es característico de las maderas duras (latifoliadas), resultados relevantes, debido a que estas partículas se alojan en varias partes del aparato respiratorio, causando daños en la salud de los moradores del sector.

- Mediante el análisis geoestadístico, se pudo determinar el comportamiento del PMV dentro del barrio "La Esperanza", durante el periodo de monitoreo de 2,5 micrómetros; los resultados obtenidos son directamente proporcionales en función a los lugares de emisión de PM (aserraderos), mostrándonos que la zona 1 del área de estudio, se presentó una mayor concentración de PMV, esto debido a la presencia de 6 aserraderos cercanos, que aportan con material particulado a la atmósfera; el PMV tuvo una dirección NO, con una velocidad del viento promedio de 1,3 m/s; además, es muy importante mencionar que el constante flujo vehicular y la existencia en el lugar de un

centro de acopio para material de construcción, son factores que también contribuyen con gran cantidad de particulado al sector.

7. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar periódicamente, una regulación y control por parte de la dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene del GAD Municipal del cantón Riobamba, así como también del departamento de Riesgos del Trabajo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS), en cada uno de los aserraderos, con la finalidad de que se garantice una actividad profesional de la industria maderera en el sector, para ello es preciso que cada aserradero diseñe e implemente un sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional.

- Realizar mediciones continuas a los largo de los años, tanto para PMV como para PMS, con el objetivo de reportar futuros incrementos o disminuciones en sus concentraciones, y compartirlo con la ciudadanía residente.

- Es importante la creación de programas de información, seguridad y salud, en base a conferencias y charlas, destinadas a mantener la formación preventiva en cada morador del sector, ante los riesgos y las enfermedades que produce este tipo de contaminantes en la atmósfera.

8. BIBLIOGRAFÍA

Agencia de Salud Pública. (2012). *Los contaminantes atmosféricos y la salud: las partículas en suspensión (PM).* Consorci Sanitario de salud pública, Barcelona. Obtenido de https://www.terra.org/categorias/articulos/los-contaminantes-atmosfericos-las-particulas-en-suspension-pm

Aldabe, S. J. (2011). *"Caracterización Físico Química Del Material Particulado En La Comunidad Foral De Navarra"*. Pamplona.

Almirón, M., Dalmasso, A., & Llera, J. (2008). "Uso de Larrea Cuneifolia Cav. y Zuccagnia Punctata Cav. en la evaluación del material particulado sedimentable en una calera de los Berros-San Juan-Argentina". *SciELO, 1*(17), 29-38.

Arciniégas, S. C. (2012). DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS. *Luna Azul*, 195-213.

Ariete, N. (2010). *Caracterización de madera de Pinus radiata D. Don sometido a un proceso de modificación térmica usando un ambiente de inmersión.* Valdivia.

Ayala, B. B., & Ochoa, D. E. (2011). *"DETERMINACION DE LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE, OCASIONADA POR POLVO SEDIMENTABLE, INDICE DE CORROSIVIDAD Y LLUVIA ACIDA EN CINCO FACULTADES DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA"*. San Salvador.

Bayas, K. A. (2017). *"DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL PARTICULADO, EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA UNACH DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA".* Riobamba.

Boldo, P. E. (2012). *Tesis Doctoral, Efecto de la exposición a PM2,5 sobre la mortalidad: Evaluación del impacto de las políticas públicas en la salud.* Madrid.

Calderón, P. Q. (2014). *Propuesta de un Programa de Protección Respiratoria para el control de la exposición laboral a polvo de madera en el Aserradero El Buen Precio S. A.* Cartago, Costa Rica.

Cárdenas, H. (2010). "Consideraciones del material particulado en Bogotá. Alternativas tecnológicas de medición de la calidad del aire". *Red de Revista Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*.

Corleto, E. A., & Cortéz, A. D. (2012). *"COMPARACION DE LOS METODOS DE BERGERHOFF Y PLACAS RECEPTORAS PARA LA CUANTIFICACION DE POLVO ATMOSFERICO SEDIMENTABLE"*. San Salvador.

Chen, H., Goldberg, M. S., & Villeneuve, P. J. (2008). "A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases". *Environ. Health, 23*, 243-297.

EPA. (2009). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/139F. *Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final Report)*. Obtenido de http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=216546#Download

EU Directive. (2008). *"Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe"*.

Gómez, M., & Cremades, L. (2010). *Análisis de la Incidencia de Patologías Respiratorias por Exposición al Polvo de Madera en los Carpinteros del Quindío (Colombia) Ciencia y Trabajo.* Quindío, Colombia.

González, K., Rey, D., Caballero, P., & Chadae, M. (2016). EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A EMPLEARSE EN LA ELABORACIÓN DE PAPEL. *Luna Azul*.

Harper, M., Akbar, M., & Andrew, M. (2004). "Comparison of wood dust aerosol size distributions collected by air samplers". *J Environ Monit, 6*, 18-22.

INAMHI. (2014). *ANUARIO CLIMATOLOGICO.* Riobamba. Obtenido de https://www.espoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/650.html

Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environ Pollut, 2*(151), 362-367.

MAE. (2012). *Texto Unificado Legislacion Secundaria, Medio Ambiente*. (Lexis) Obtenido de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/TEXTOUNIFICADO-LEGISLACION-SECUNDARIA-MEDIO-AMBIENTE.pdf

Marcos, R., & Valderrama, R. (2012). CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA-UNMSM. *Centro de Desarrollo E Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF)*, 14.

Milena E. Gómez-Yepes, L. V. (2010). *Análisis de la Incidencia de Patologías Respiratorias por Exposición al Polvo de Madera en los Carpinteros de Quindío (Colombia).* Quindío.

Ministerio del Ambiente. (2015). *NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE.* Ecuador.

Ministerio Del Medio Ambiente de Chile. (2011). Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de revisión de la norma de emisión de NO, HC y CO para el

control del NOx en vehículos en uso, de encendido por chispa (AGIES). Santiago, Chile. Recuperado el 02 de Enero de 2018, de http://portal.mma.gob.cl

Nairobi, K. (2009). "Contaminantes: Partículas (PM)". *Manual del PNUMA y la TNT sobre el desarrollo de una estrategia para una flota limpia*.

Opazo, D. (2011). *Distribución espacial de la contaminación por material particualdo y su relación con las temperaturas del aire y los cientos en Santiago para el año 2009.* UNIVERSIDAD DE CHILE.

Paz, F. (2008). *DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA OBTENIDA DEL PRIMER CLAREO EN ÁRBOLES DE MELINA (Gmelina arborea Roxb.), DE UNA PLANTACIÓN PROVENIENTE DEL DEPARTAMENTO DE IZABAL*. Guatemala.

Pelucchi, C., Negri, E., Gallus, S., Boffetta, P., Tramacere, I., & La Vecchia, C. (2009). "Long-term particulate matter exposure and mortality: a review of European epidemiological studies". *BMC Public Health*(9), 453.

Pérez, V. H., Lunagómez, R. M., & Acosta, P. L. (2010). "Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco". *Universidad Y Ciencia, 26*(2), 151-162.

Salinas, P. A. (2012). *"Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencia por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010"*. Valdivia.

Sánchez, M. H., Orozco, H. M., Pacheco, V., & Valdez, P. M. (2015). *Comportamiento espacial de las partículas suspendidas pm 10 y estrategias de gestión ambiental del aire en la zona metropolitana de Toluca, México.* Universidad Aútonoma del Estado de México.

Sánchez, R. C. (2016). *"MATERIAL PARTICULADO Y SU INCIDENCIA EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES EN LA EMPRESA DE CALZADO CM ORIGINAL"*. Ambato.

Santillán Lima, G. P., Damián Carrión, D. A., Rodríguez Llerena, M. V., Cargua Catagña, F. E., & Torres Barahona, S. M. (2016). Estimación del grado de contaminación de material particulado atmosférico y sedimentable en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH. *Perfiles, 2*(16), 8.

Santos, S. F. (2015). *"Análisis de los niveles de PM10 en las estaciones de fondo regional de la Comunidad Valenciana; aplicación metodológica para la obtención de la carga neta del polvo sahariano"*. Elche.

Solaz, A. (2013). *"La prevención de riesgos en los lugares de trabajo"*.

TSI. (2013). I. Monitor de aerosoles dusttrak™. [Internet]. Obtenido de www.tsi.com

Urrelo, D., Leal, L., & Bozo, C. (2016). Chemical content of the wood of tabebuia impetiginosa (mart. ex dc) standley from rural community ocho hermanos, municipality el Carmen Rivero Torrez, department of Santa Cruz. *Revista Boliviana de Química, 33*(3).

Vivar, M. E. (2014). *"CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y SU EFECTO TOXICOLÓGICO-AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE AZOGUES"*. Cuenca.

Yunga, J. C. (2012). *"ESTUDIO DE CONTAMINACION QUE PRODUCEN LOS ASERRADEROS Y CARPINTERIAS Y OTRAS FABRICAS QUE USAN LA MADERA COMO SU MATERIA PRIMA PRINCIPAL EN LA CIUDAD DE CUENCA"*. Cuenca.

9. ANEXOS

9.1. Análisis estadístico – Barrio "La Esperanza" – $PM_{2,5}$

Variable	N	Media	EE Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
07H00	13	9,80	1,22	4,41	19,48	4,67	6,59	8,50
12H00	13	20,22	1,20	4,32	18,67	12,67	17,66	20,00
15H00	13	8,846	0,545	1,966	3,865	5,000	7,665	9,500

Variable	Q3	Máximo	Rango
07H00	12,58	20,00	15,33
12H00	22,59	29,83	17,16
15H00	10,420	11,170	6,170

9.2. Análisis estadístico – Barrio "La Esperanza" – PM_4

Variable	N	Media	EE Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
07H00	13	12,885	0,704	2,537	6,436	9,330	10,000	13,500
12H00	13	23,44	1,63	5,87	34,47	16,83	17,59	23,00
15H00	13	12,988	0,689	2,485	6,173	8,670	10,915	13,500

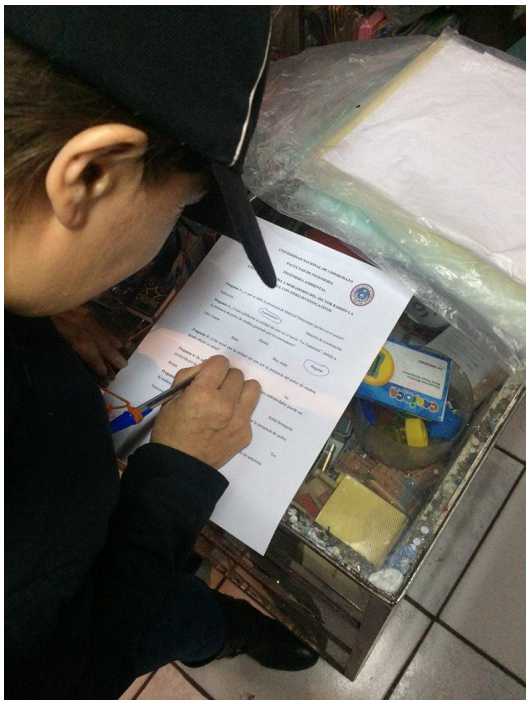
Variable	Q3	Máximo	Rango
07H00	15,000	16,670	7,340
12H00	26,84	35,50	18,67
15H00	15,000	16,670	8,000

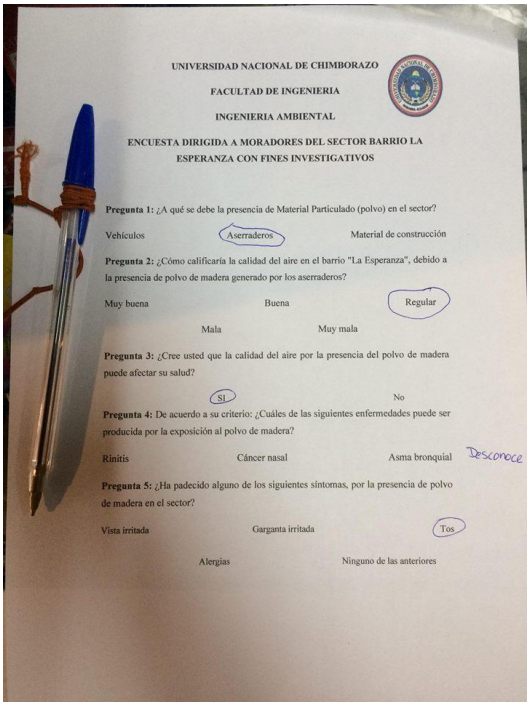
9.3. Análisis estadístico – Barrio "La Esperanza" – PM_{10}

Variable	N	Media	EE Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana
07H00	13	13,73	1,62	5,84	34,14	7,33	9,09	10,50
12H00	13	27,01	1,90	6,84	46,77	18,67	20,41	26,00
15H00	13	13,53	1,10	3,97	15,76	8,17	11,25	12,33

Variable	Q3	Máximo	Rango
07H00	19,09	24,50	17,17
12H00	31,33	42,67	24,00
15H00	15,91	23,33	15,16

9.4. Encuestas





UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA AMBIENTAL

ENCUESTA DIRIGIDA A MORADORES DEL SECTOR BARRIO LA ESPERANZA CON FINES INVESTIGATIVOS

Pregunta 1: ¿A qué se debe la presencia de Material Particulado (polvo) en el sector?

Vehículos | Aserraderos | Material de construcción

Pregunta 2: ¿Cómo calificaría la calidad del aire en el barrio "La Esperanza", debido a la presencia de polvo de madera generado por los aserraderos?

Muy buena | Buena | Regular | Mala | Muy mala

Pregunta 3: ¿Cree usted que la calidad del aire por la presencia del polvo de madera puede afectar su salud?

SI | No

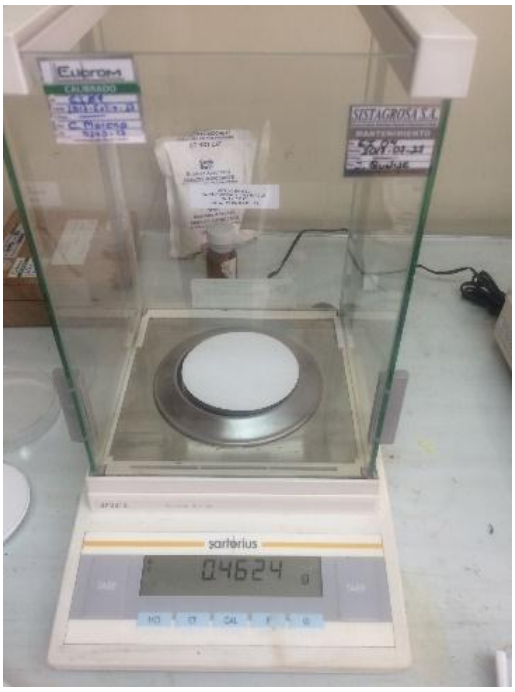
Pregunta 4: De acuerdo a su criterio: ¿Cuáles de las siguientes enfermedades puede ser producida por la exposición al polvo de madera?

Rinitis | Cáncer nasal | Asma bronquial | Desconoce

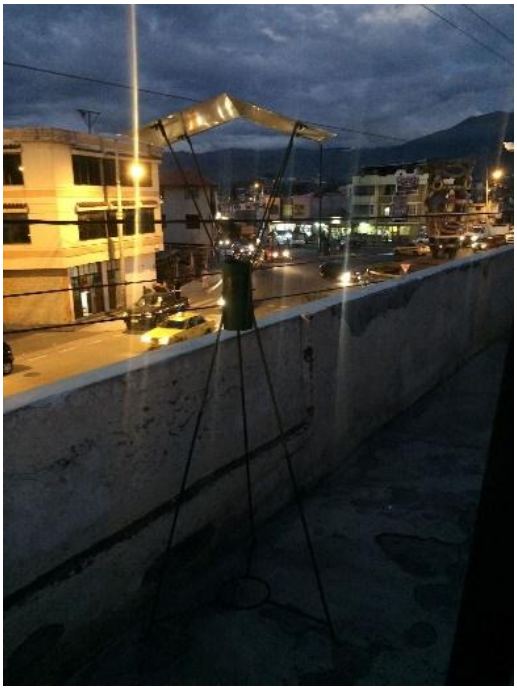
Pregunta 5: ¿Ha padecido alguno de los siguientes síntomas, por la presencia de polvo de madera en el sector?

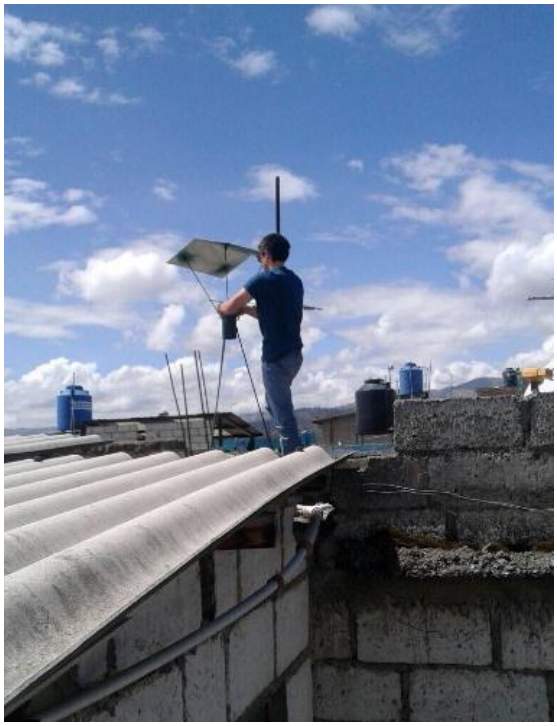
Vista irritada | Garganta irritada | Tos | Alergias | Ninguno de las anteriores

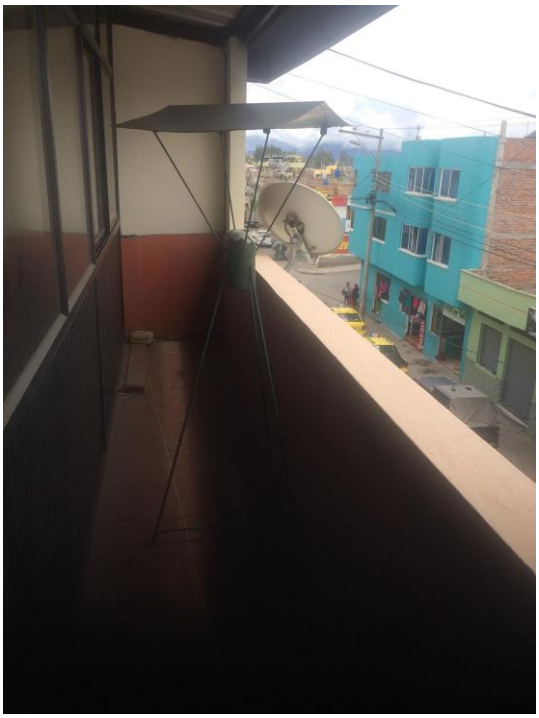
9.5. Trabajo en Laboratorio (Secado y Pesado)



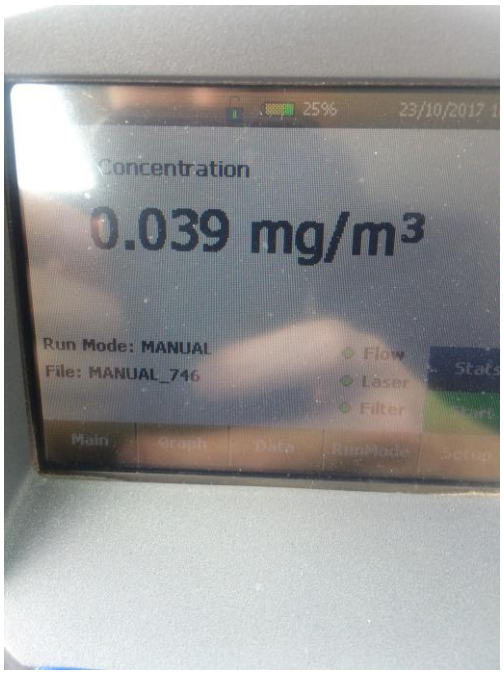
9.6. Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS en cada zona

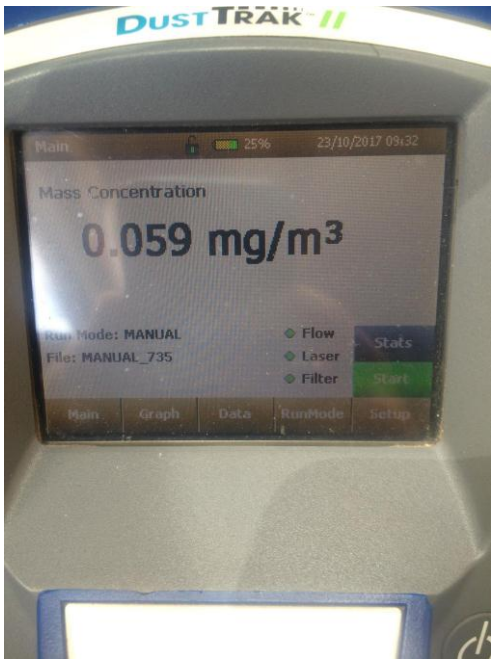


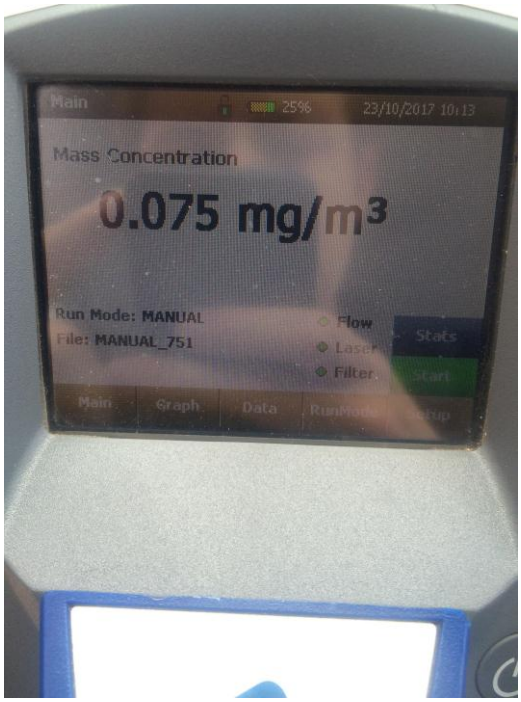




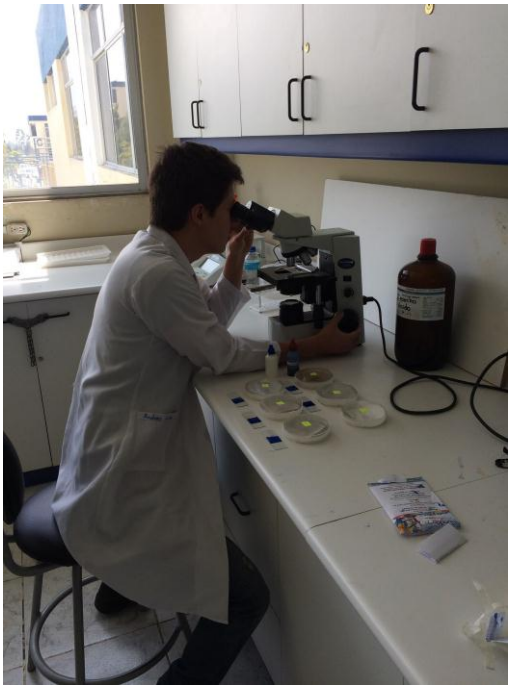
9.7. Monitoreo con el equipo DustTrak™ II

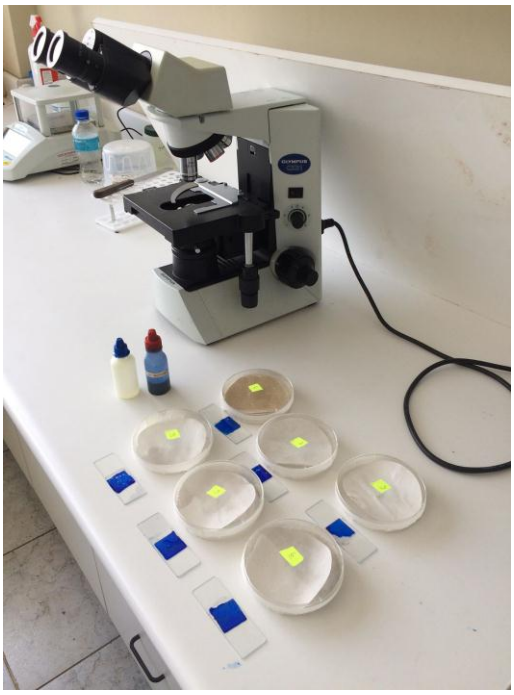


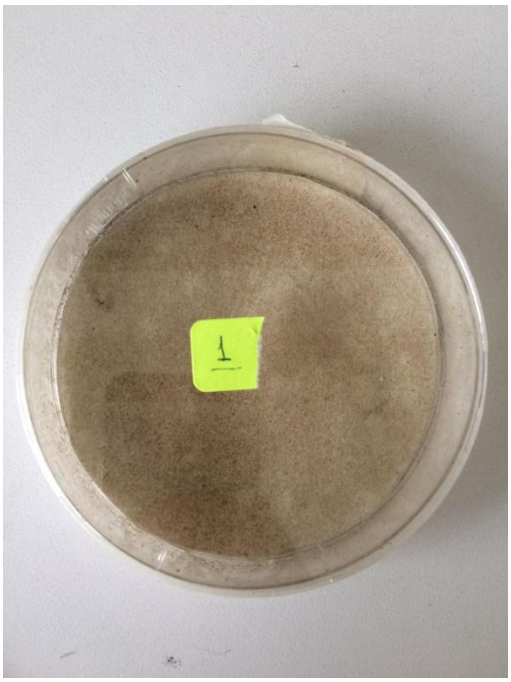


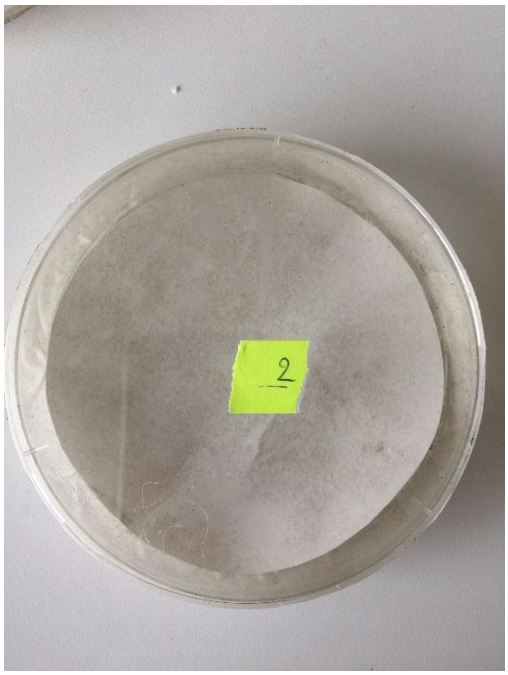


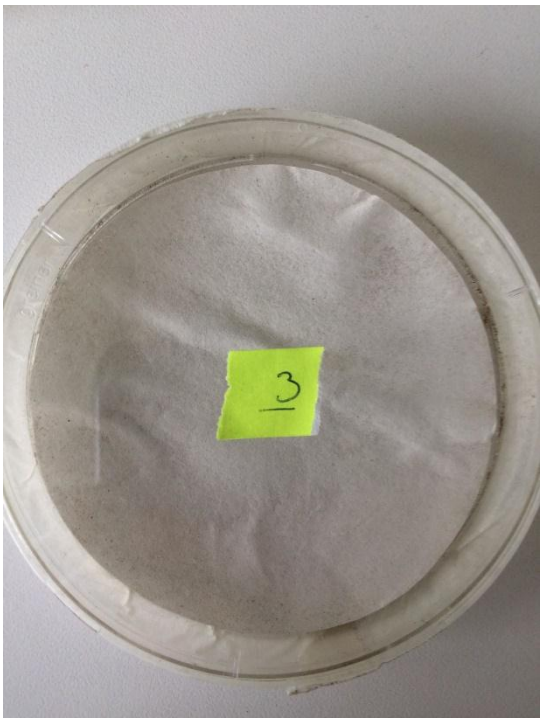
9.8. Trabajo en Laboratorio de Microscopia

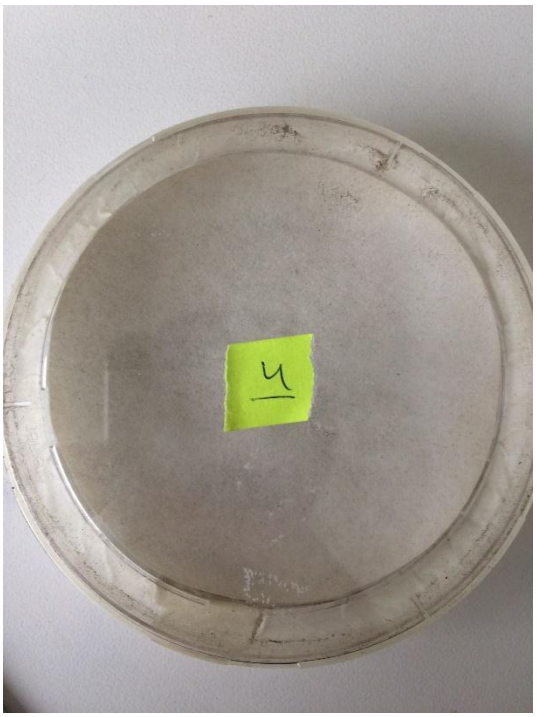









3


4

5

6