

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE AMBIENTAL

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

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

“CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PARA
DETERMINAR EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE AIRE EN LA CIUDAD DE
AMBATO”

Autor:

JENNYFER CRISTINA CEVALLOS BONILLLA

Tutor:

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLÁN LIMA

Riobamba – Ecuador

Año 2018

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

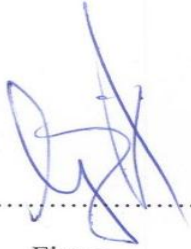
“CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PARA DETERMINAR EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”. Presentado por: Jennyfer Cristina Cevallos Bonilla y dirigida por: Ing. Patricio Santillán.

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



Firma

Ing. Álvaro Delli

Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Fernanda Rivera

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PARA DETERMINAR EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, ha sido elaborado por JENNYFER CRISTINA CEVALLOS BONILLA, 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: 0602780777

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **JENNYFER CRISTINA CEVALLOS BONILLA**, con cédula de identidad No. 1803045648; hago constar que soy el autor del presente trabajo de investigación, titulada: **“CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE PARA DETERMINAR EL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, 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.



Jennyfer Cristina Cevallos Bonilla

C.I: 1803045648

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a mi Virgencita de Guadalupe y mi Señor del Terremoto por permitirme llegar a donde estoy, por llenarme de fortaleza en los momentos más difíciles y colmarme de bendiciones en todo momento.

A mis padres, por siempre tener su apoyo incondicional y estar conmigo en todo momento.

A los Ingenieros: Patricio Santillán, Franklin Cargua y David Jaramillo, quienes contribuyeron con sus valiosos conocimientos para la ejecución de la presente investigación y por todo el apoyo y las facilidades otorgadas.

A la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental del Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, especialmente a la Ing. María Alexandra Salazar directora de la dirección, el cual contribuyeron con su apoyo técnico para la realización de mi proyecto.

Jennyfer Cristina Cevallos Bonilla

DEDICATORIA

A mis padres Maritza y Wilson, por mostrarme el camino hacia la superación, gracias por sus cuidados, enseñanzas y la motivación que me dan día a día, para lograr todo lo que me propongo.

A mis sobrinos Sophia y Mateo, quienes siempre me mantuvieron con una sonrisa alegrando mi vida desde el momento en que vinieron a este mundo.

A mi compañero de vida y dulce amor Dennis quien me acompañado en los momentos más difíciles y me ha brindado su apoyo.

SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

PM: Material Particulado

PMV: Material Particulado Volátil

PMS: Material Particulado Sedimentable

PM₁₀: Material particulado de 10 micras

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

OMS: Organización Mundial de la Salud

MEB: Microscopio Electrónico de Barrido

EDX: Espectroscopia de fotones rayos X dispersados

SIG: Sistemas de Información Geográfica

µm: micrómetro

µg/m³: microgramos/metro cúbico

mg/cm²/mes: miligramos/centímetro cuadrado/mes

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.....	vi
RESUMEN	1
SUMMARY	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Problema	4
1.2. Justificación	4
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. General:.....	5
2.2. Específicos:	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Contaminación del aire	6
3.2. Material particulado	6
3.3. Clases de material particulado	7
3.4. Emisiones de material particulado	8
3.5. Efectos del material particulado sobre la salud.....	10
3.6. Calidad de aire en el Ecuador	10

3.7.	Parámetros de calidad de aire	11
4.	METODOLOGÍA	14
4.1.	Tipo de estudio.....	14
4.2.	Población y muestra.....	14
4.3.	Área de estudio	14
4.4.	Ubicación de los puntos de monitoreo de material particulado sedimentable..	14
4.5.	Metodología de monitoreo de material particulado sedimentable.....	15
4.6.	Metodología de monitoreo de material particulado atmosférico.....	15
4.7.	Análisis de material particulado volátil con el equipo DustTrak II.....	16
4.8.	Determinación de la tasa de sedimentación del material particulado sedimentable	16
4.9.	Análisis de la composición química y morfológica de PMS usando el microscopio electrónico de barrido y la espectroscopia de energía de fotones dispersadas	17
4.10.	Procedimiento para el análisis estadístico e interpretación de resultados	17
4.11.	Modelación del material particulado con el software SIG.....	17
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
5.1.	Resultados del análisis de MPV con el equipo DustTrak™ II	18
5.2.	Material Particulado Volátil 2,5 µm (PM _{2,5})	19
5.3.	Material Particulado Volátil 10 µm (PM ₁₀)	20
5.4.	Análisis de material particulado sedimentable con el método gravimétrico.	21
5.5.	Análisis molecular	22
5.5.1.	Caracterización química	22
5.5.2.	Caracterización morfológica.....	30

5.6.	Simulación de la dispersión de contaminantes de material particulado.....	33
6.	CONCLUSIONES	37
7.	RECOMENDACIONES	38
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	39
9.	ANEXOS.....	42
9.1.	Análisis Estadístico – “Zona Urbana de la ciudad de Ambato” – PM _{2,5}	42
9.2.	Análisis Estadístico - “Zona Urbana de la ciudad de Ambato” – PM ₁₀	43
9.3.	Promedios de la composición química de PMS.....	61
9.4.	Trabajo en Laboratorio	62
9.5.	Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS.....	62
9.6.	Monitoreo con el equipo DustTrak™ II.....	62
9.7.	Análisis de MPS con el Microscopio Electrónico de Barrido	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Calidad del Aire de las ciudades de América Latina.....	11
Figura 2: Distribución de material particulado 2,5 μm , Ciudad Urbana “Ambato”.....	19
Figura 3: Distribución de material particulado 10 μm , Ciudad Urbana “Ambato”.....	20
Figura 4: Comparación de valores de PMS con límites establecidos por la OMS.....	21
Figura 5: Caracterización física química AMBATO “Redondel de Huachi Chico”.....	22
Figura 6: Caracterización física química AMBATO “Redondel de Huachi Chico”.....	23
Figura 7: Caracterización física química AMBATO “Mercado Modelo”.....	23
Figura 8: Caracterización física química AMBATO “Mercado Modelo”.....	24
Figura 9: Caracterización física química AMBATO “Pinllo”.....	24
Figura 10: Caracterización física química AMBATO “Pinllo”.....	25
Figura 11: Caracterización física química AMBATO “Pishilata”.....	25
Figura 12: Caracterización física química AMBATO “Pishilata”	26
Figura 13: Caracterización física química AMBATO “Izamba”.....	26
Figura 14: Caracterización física química AMBATO “Izamba”.....	27
Figura 15: Caracterización física química AMBATO “Parque Industrial”.....	27
Figura 16: Caracterización física química AMBATO “Parque Industrial”.....	28
Figura 17: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X.....	30
Figura 18: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X.....	30
Figura 19: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X”.....	31
Figura 20: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X.....	31
Figura 21: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X.....	32

Figura 22: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X.....	32
Figura 23: Modelo de dispersión de PMS, en la zona urbana de la ciudad de Ambato...	34
Figura 24: Modelo de dispersión de PMV 2,5 μm , en la zona urbana de la ciudad de Ambato.....	35
Figura 25: Modelo de dispersión de PMV 10 μm , en la zona urbana de la ciudad de Ambato.....	36
Figura 26: Puntos de Monitoreo de PM en la zona urbana de la ciudad de Ambato.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de fuentes emisoras.....	9
Tabla 2: Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana	12
Tabla 3: Parámetros establecidos por la OMS.....	13
Tabla 4: Localización de los sitios de monitoreo	15
Tabla 5: Datos de PM 2,5 μm en la ciudad de Ambato.....	18
Tabla 6: Datos de PM 10 μm en la ciudad de Ambato.....	18
Tabla 7: Resultados de las concentraciones de PMS.....	21
Tabla 8: Elementos Químicos.....	28
Tabla 9: Caracterización química Ambato “Huachi Chico”.....	43
Tabla 10: Caracterización química Ambato “Av. Cevallos”.....	45
Tabla 11: Caracterización química Ambato “Pinllo”.....	46
Tabla 12: Caracterización química Ambato “Pishilata”.....	47
Tabla 13: Caracterización química Ambato “Izamba”.....	48
Tabla 14: Caracterización química Ambato “Parque Industrial”.....	50
Tabla 15: Caracterización física Ambato “Huachi Chico”.....	51
Tabla 16: Caracterización física Ambato “Av. Cevallos”.....	53
Tabla 17: Caracterización física Ambato “Pinllo”.....	54
Tabla 18: Caracterización física Ambato “Pishilata”.....	56
Tabla 19: Caracterización física Ambato “Izamba”.....	57
Tabla 20: Caracterización física Ambato “Parque Industrial.....	59

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Polvo Atmosférico Sedimentable	17
--	----

RESUMEN

En la actualidad el aumento de material particulado en el mundo es considerado como uno de los mayores problemas de contaminación atmosférica causado por actividades naturales y antrópicas, existiendo a su vez otros problemas como es la falta de estudios de la calidad del aire, generando así preocupación en la salud de las personas que pueden ser vistos afectadas gravemente.

La presente investigación planteó realizar el monitoreo de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la zona urbana de la ciudad de Ambato determinando seis puntos de monitoreo estratégicos; el primer análisis se realizó mediante la recolección de PMS en cajas Petri mediante el monitoreo pasivo y el PMV se realizó con el uso del equipo DustTrak™ II.

Se tomaron las mediciones del periodo junio-julio de 2017 en los seis puntos de monitoreo de la zona urbana de la ciudad de Ambato, se registró un valor máximo de $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor mínimo de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PMV; para el PMS se analizaron 6 muestras, de las cuales la mayor concentración se encuentra en el sector del Redondel de Huachi Chico con $0,57 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$; los límites establecidos por la OMS es de $0,5 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ para PMS y para PMV los valores límites según la legislación ecuatoriana es de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para PM_{2,5} y PM₁₀ respectivamente, en dos sectores de la ciudad si superaron el límite con concentraciones altas. Se analizó las muestras de PMS en el microscopio electrónico de barrido, las cuales están compuestas por: O, C, Si, N, Rb, Al, Fe, In, Sb entre otros, además las partículas presentan formas esféricas, redondeadas, irregulares, placas angulares y porosas. Finalmente se presentó el comportamiento del material particulado sedimentable y material particulado volátil de 2,5 y 10 μm generado mediante mapas de dirección del viento, a través de los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI.

Palabras clave: material particulado, DustTrak™ II, microscopio electrónico de barrido, estaciones meteorológicas.

SUMMARY

The research entitled: The increase of particulate matter in the world is considered one of the biggest problems of air pollution caused by natural and anthropogenic activities, which generates concern for the health of people. The present investigation proposed to carry out the monitoring of the sedimentary and volatile particulate material in the urban area of the city of Ambato, determining six monitoring points. The first analysis was performed by collecting PMS in petri boxes through passive monitoring and PMV using the dust trak™ II equipment, The measurements for the period from June to July 2017 were taken at the six monitoring points, a maximum value of $109 \mu\text{g} / \text{m}^3$ was registered and a minimum value of $1 \mu\text{g} / \text{m}^3$ was recorded for PMV; for the PMS, 6 samples were analyzed, of which the highest concentration is found in Huachi Chico redondel with $0.57 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{month}$; the established limits were around $0.5 \text{ mg} / \text{cm}^2 / \text{month}$ for PMS and for PMV the limit values according to the ecuadorian legislation is $65 \mu\text{g} / \text{m}^3$ and $150 \mu\text{g} / \text{m}^3$, for PM 2.5 and PM 10 respectively, the limits are exceeded in two sectors of the city, the samples of PMS were analyzed in the scanning electron microscope, which is composed of: O, C, Si, N, among others, in addition the particles have spherical, rounded and irregular shapes. Finally, the PMS and PMV distribution of 2.5 and $10 \mu\text{m}$ was presented, which was carried out through wind direction maps, through the data of the INAMHI meteorological stations.

Key words: Particulate matter, Dust Trak™ II, Scanning electron microscope, INAHMI.

Reviewed by: Granizo, Sonia

Language Center Teacher.



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema a nivel global pues es un afección tanto para la salud humana y el ambiente, debido a que puede ocasionar enfermedades y en la cual está causado por fuentes naturales y antropogénicas, que debe siempre estar en constante monitoreo para prever consecuencias.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, se estima que el nivel de gravedad de los desórdenes en la salud está directamente relacionado con la concentración de partículas en el aire ambiente. (Venegas & Martin, 2014)

Existen diferentes tipos de contaminantes como es el caso de partículas en suspensión y sedimentables la cual esta última tiene por lo general un tamaño mayor a 10 μm siendo partículas gruesas de tierra y polvo tóxico, constituido por diferentes tipos de composiciones químicas, diseminadas en la atmosfera.

El material particulado atmosférico y sedimentable causa perjuicios al desarrollo normal de la vida y su peligrosidad depende de su composición, tamaño y permanencia en el aire. Pues su exposición incesante a elevadas concentraciones causa irritación de garganta y mucosas siendo retenidas en las cavidades nasales. Su naturaleza, en función de sus características físicas y químicas es compleja; estas características se las considera como factores críticos de toxicidad que intervienen en los diferentes niveles tróficos. (Díaz, 2015)

Este estudio se realiza con el objetivo de determinar cuál es la concentración de material particulado sedimentable en la ciudad de Ambato mediante un análisis tanto físico como químico de la partícula con el uso del microscopio electrónico de barrido y la espectroscopia de energía de fotones dispersadas. A su vez se realiza un análisis de la concentración de material particulado volátil con el equipo DustTrack II, la información se recopila mediante el establecimiento de estaciones de monitoreo instauradas en diferentes puntos de la zona urbana de la ciudad de Ambato.

La información que se genera en este estudio, va a permitir tener una idea de cuál es el grado de contaminación en la ciudad de Ambato, estableciendo un punto de partida para próximas investigaciones a realizarse.

1.1. PROBLEMA

Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa a la salud de los humanos, interviniendo en su calidad vida y actividades diarias como también se ve afectado la fauna y flora del planeta.

En Ambato, como en otras ciudades del país, la población sigue en aumento, originando el crecimiento de actividades productivas, teniendo como consecuencia la generación de emisiones de gases de combustión los mismos que se forman por procesos de quemado de materiales combustibles generando un deterioro de la calidad de la ciudad.

En la ciudad de Ambato existe un estudio de la calidad del aire realizado por la Universidad Central de la Carrera de Ingeniería Química para el Municipio de Ambato, con el financiamiento de Petroecuador, proyecto en el cual se establece la calidad del aire de la ciudad de manera sectorizada utilizando el índice Oraqui. Pero la falta de un estudio constante por parte de las instituciones involucradas sobre la contaminación de diferentes tipos de emisiones agudiza el problema de contaminación en la ciudad de Ambato.

Es por ello que, ante la ausencia de datos y análisis de la contaminación del aire en la ciudad de Ambato, indica la necesidad de estudiar y determinar el grado de contaminación del aire por material particulado sedimentable existente en la ciudad.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire resulta ser un problema no solo a nivel mundial sino también a nivel local perjudicando a todos los seres vivos, problema producido tanto por el crecimiento poblacional como por las actividades extractivas y productivas, pero con ello tampoco se puede impedir o paralizar estos procesos, pero lo que sí se puede es dar un estudio y control sobre el nivel de contaminación, tomando acciones de control y reducción, para luego poder aplicar una ordenanza municipal promovido por las autoridades del sector, mejorando la calidad de vida de la población.

La ciudad de Ambato al ser una ciudad creciente con un gran desarrollo industrial y comercial, muestra la necesidad de implementar un monitoreo y control de la calidad de aire. Pues el GAD Municipal de Ambato contaba con un estudio de la calidad del aire realizado por la Universidad Central, pero por descuido al seguimiento del mismo se dio la cancelación del estudio. Es por ello que se ha visto necesario realizar para el estudio el monitoreo de PMS y PMV, analizando su tasa de sedimentación como también caracterizando a las partículas de una manera física y química, teniendo como beneficiarios directos a la población ambateña.

2. OBJETIVOS

2.1. General:

- Analizar la concentración de material particulado sedimentable para determinar el grado de contaminación de aire en la ciudad de Ambato.

2.2. Específicos:

- Analizar los valores que se obtengan de las estaciones de recolección de datos de material particulado sedimentable en la ciudad urbana de Ambato.
- Encontrar la composición química del material particulado sedimentable con espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX) y determinar las características morfométricas usando el microscopio electrónico de barrido.
- Simular la dispersión de contaminantes del material particulado con el uso del software SIG.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Contaminación del aire

La NECA define a la contaminación como: la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente. (NECA, 2011)

3.2. Material particulado

Material particulado (PM) es un término utilizado para describir pequeños materiales sólidos o líquidos que pueden variar considerablemente de tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas. El tamaño varía desde 0,005 hasta 500 μm ; las partículas más pequeñas se comportan como gases, mientras que las mayores son más características de materiales sólidos. Debido a diferencias en estructura y composición elemental, la densidad de estos materiales varía considerablemente.

Las diferencias en su densidad son determinadas por procesos de aglomeración; las partículas producidas por aglomeración frecuentemente tienen menor densidad, debido a que un porcentaje alto de su volumen consiste en poros llenos de aire. (Adame, 2010)

Las partículas que se encuentran en el aire generalmente se dividen en rangos de tamaño que van desde el material sedimentable (partículas $> 30 \mu\text{g}$) y partículas suspendidas que generalmente se dividen en PM₁₀ y PM_{2,5}, que son partículas más pequeñas que 10 y 2,5 micrómetros de diámetro respectivamente (μm = milésima parte de un milímetro). (Díaz, 2015)

El PM con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) y $2,5 \mu\text{m}$ (PM_{2,5}) pueden ser emitidas por numerosas fuentes (plantas de energía, fábricas de cemento, fábricas de diverso tipo, volcanes, incendios forestales y pastizales, atomizadores o aerosoles), fuentes no puntuales (camiones, automóviles, actividades agrícolas, caminos de terracería, ranchos ganaderos) y sitios de construcción. (Flores, Sukla, Wang, & Hernández, 2011)

La configuración física incluye forma, estructura y densidad. Las formas reportadas en muestras de aerosol pueden ser esféricas, cúbicas, irregulares, en forma de escama, fibrosas y en forma de copos. La forma de las partículas primarias suele ser determinada por la fuente de producción. Su presencia en la atmósfera constituye a reducir la visibilidad y a generar serios problemas de salud pública. Tomando en cuenta su origen y métodos de formación, pueden ser tanto primarias como secundarias y son emitidas directamente a la atmósfera, donde generalmente no cambian de forma. Las partículas secundarias son

formadas en la atmosfera como un resultado de reacciones químicas y físicas que requieren la presencia de gases.

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

Las partículas secundarias pueden ser producidas por emisiones de gases como resultado de algunas actividades del hombre, Como ejemplo incluimos los sulfatos, nitratos y algunos hidrocarburos; los dos primero pueden ser de considerable importancia para los humanos por las molestias que ocasionan al reducir la visibilidad y, sobre todo, por su participación en la formación de a lluvia acida. La composición de las partículas depende de su fuente de origen y de su subsecuente comportamiento atmosférico. (Adame, 2010)

3.3. Clases material particulado

Los aerosoles que forman la mezcla del PM tienen diferentes tamaños asociados a su modo de formación o emisión. Se distinguen:

3.3.1. Partículas gruesas o modo grueso: Aquellas con diámetro aerodinámico superior a 1 micra (μm). La emisión de estas partículas se produce por acciones mecánicas (erosión, combustión incompleta, triturado de materiales, erosión, etc) por lo que son principalmente primarias. (Gobierno de Aragón, 2017)

3.3.2. Partículas finas: Aquellas con diámetro aerodinámico inferior a 1 μm .

Las partículas finas son principalmente de naturaleza secundaria, formadas por reacciones de gases precursores en la atmósfera.

Al margen de lo citado anteriormente, las partículas se clasificación en base a su diámetro, en:

- PTS: Partículas totales suspendidas diámetro hasta 100 μm .
- PM10: Partículas respirables con diámetro aerodinámico menor de 10 μm
- PM2,5: Partículas finas con diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm
- PM1: Partículas ultra fina con diámetro aerodinámico menor de 1 μm . (Gobierno de Aragón, 2017)

3.3.3. Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) o Polvo Sedimentable PS

El material particulado sedimentable está constituido por partículas que se encuentran en el aire y que se depositan por efecto de la acción gravitacional (deposición seca), y por contaminantes en estado gaseoso, y partículas no sedimentables que son arrastradas por la lluvia o nieve (deposición húmeda). (México, 2010)

Las partículas sedimentables se originan por la ruptura de partículas grandes en procesos como trituraciones, perforaciones, barreduras, tamizado y también en el transporte debido al polvo proveniente de la vía y al desgaste de neumáticos. (Zapata, Quijano, Molina, Rubiano, & Londoño, 2008), además de otros procesos como abrasión y combustión (cenizas y hollín) (Mićović, Alebić, Matković, & Crvelin, 2010)

Es importante recalcar que la composición química del material particulado sedimentable es muy diversa, muchos de los elementos constituyentes podrían considerarse como nutrientes para el suelo o trazadores en mecanismos de transferencia, pero otros elementos pueden ser contaminantes potencialmente tóxicos. (México, 2010)

3.4. Emisiones de material particulado

Las concentraciones de PM_{2,5} y PM₁₀, se producen principalmente por emisiones directas de estos contaminantes a la atmósfera, ya sea de origen antropogénico o natural. (MMA, Informe Ambiental Programa Aire Limpio, 2012)

El PM_{2,5} también puede formarse por reacciones químicas entre contaminantes gaseosos precursores de material particulado, tales como SO_x y NO_x y otros compuestos atmosféricos. A este tipo de PM_{2,5} se le conoce como material particulado secundario. El material particulado secundario se forma tanto por la condensación de gases enfriados después de su emisión, que se añaden a partículas ya existentes y se van combinando entre sí para formar conglomerados de mayor tamaño, como también mediante la formación de gotas de nubes o neblina, a las cuales los gases condensados sirven de núcleos.

Las principales fuentes emisoras de contaminantes, pueden ser clasificadas, según sus características en fuentes fijas, móviles y fugitivas. Las fuentes fijas consideran las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales, ya sea para la generación de energía, calor o vapor y otros procesos industriales, como por ejemplo la fundición del cobre. También incluyen las emisiones generadas por la quema de otros combustibles como la biomasa, asociada a la calefacción de viviendas. Las fuentes móviles corresponden a las emisiones provenientes de los gases

de escape, desgaste de frenos y neumáticos, de distintos tipos de transporte: automóviles, camiones, buses y motocicletas.

Las fuentes fugitivas, consisten en emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como emisiones provenientes de calles pavimentadas y sin pavimentar, así como de la construcción, demolición, entre otras. Las emisiones fugitivas también tienen un origen natural, debido a la suspensión de tierra o erosión de rocas por acción del viento. Sus tasas de emisión dependen fuertemente de parámetros meteorológicos como la velocidad del viento, humedad ambiental y precipitaciones. (Irrázabal , De La Maza, & Serrano, 2012)

El siguiente cuadro presenta una clasificación de fuentes:

Tabla 1: *Clasificación de fuentes emisoras*

TIPO	CONTAMINANTES	SUBTIPO	EJEMPLO DE ACTIVIDADES
Fuentes fijas	PM10, PM2,5, SOx y NOx	Areales	Calefacción residencial, quemas agrícolas e incendios forestales
		Puntuales (industria)	Generación eléctrica, procesos industriales como combustión en calderas generadoras de vapor y hornos industriales, y otros procesos industriales como la fundición de cobre
Fuentes fugitivas	PM10, PM2,5	Polvo resuspendido	Construcción de edificios, calles sin pavimentar, erosión eólica
Fuentes móviles	PM10, PM2,5, NOx, COV, SOx	En ruta	Buses, camiones, vehículos particulares. Vehículos comerciales, taxis y motocicletas
		Fuera de ruta	Maquinaria de construcción o agrícola, operación de puertos o aeropuertos

Fuente: (MMA, Informe Ambiental Programa Aire Limpio, 2012)

3.5. Efectos del material particulado sobre la salud

El hombre, al vivir en comunidades desarrolladas y en consecuencia contaminadas, por lo general expone sólo áreas limitadas de piel a la atmósfera; pero cada día inhala aproximadamente 7500 litros de aire, de tal manera que sus pulmones y sistema respiratorio general están en contacto con ella y tienen la potencialidad de retener cualquier sustancia nociva que incidentes de contaminantes del aire que la nariz, la garganta y el sistema bronquial son los que con más frecuencia se ven afectados. Esto también sucede con otros contaminantes; aun cuando el pulmón no sea el órgano blanco, sí provee la ruta a través de la cual el contaminante penetra en el sistema.

El aire se introduce en la nariz, donde el vello fino filtra la mayor parte de las partículas más grandes que miden alrededor de diez micrómetros de diámetro; el aire se calienta y humedece, y entonces se filtra, a través de la tráquea, hacia el interior de los conductos/bronquiales, los cuales subdividen la corriente de aire al introducirlo en los pulmones, donde hay una multiplicidad de sacos de aire (alveolos pulmonares); en esta sección del pulmón es donde el oxígeno (y los contaminantes del aire) se pueden absorber y transferir a la corriente sanguínea. (Strauss & Mainwaring, 2011)

3.6. Calidad de aire en el Ecuador

Más del 80% de las personas que viven en zonas urbanas respiran un aire que les podría causar infartos cerebrales o enfermedades respiratorias crónicas. Esta información destaca la Organización Mundial para la Salud (OMS) después de haber reunido datos de 3 000 ciudades. Aunque todas las regiones están afectadas, quienes más sufren este problema son los ciudadanos que viven en países en vías de desarrollo.

La organización analizó los niveles de partículas pequeñas y muy finas que perjudican a la salud. Las micropartículas llamadas PM_{2,5} se desprenden de la quema de combustibles fósiles tales como el diésel. Las más grandes mezcladas con el polvo se las conoce como PM₁₀.

En lo que atañe a Ecuador, Santo Domingo de los Tsáchilas registró los niveles más altos de contaminación de PM_{2,5} (33 µg/m³) según la organización. La urbe es el sitio de tránsito entre la Sierra y la Costa. Cientos de camiones, buses y tráilers circulan por la ciudad dejando un rastro de hollín negro que se impregna en las paredes de las casas y de los locales comerciales.

Uno de los grandes problemas es que no existe un control adecuado de los automóviles que viajan por el país, dice Verónica Arias, secretaria del ambiente del Municipio de Quito. De

hecho, el control vehicular en el 95% del Ecuador consiste en una revisión manual, sin utilizar tecnología avanzada, según datos de la Agencia Nacional de Tránsito. De acuerdo a los análisis de la OMS (2012-2013), Santo Domingo, Milagro, Quito, Latacunga, Manta y Portoviejo sobrepasan los niveles internacionales de contaminación perjudiciales para la salud. Ibarra, Cuenca y Ambato son las ciudades menos polutas con $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$. Por otro lado, solo Quito, Santo Domingo y Milagro son las urbes que superan los límites de contaminación nacionales. (Sorgato, 2016)

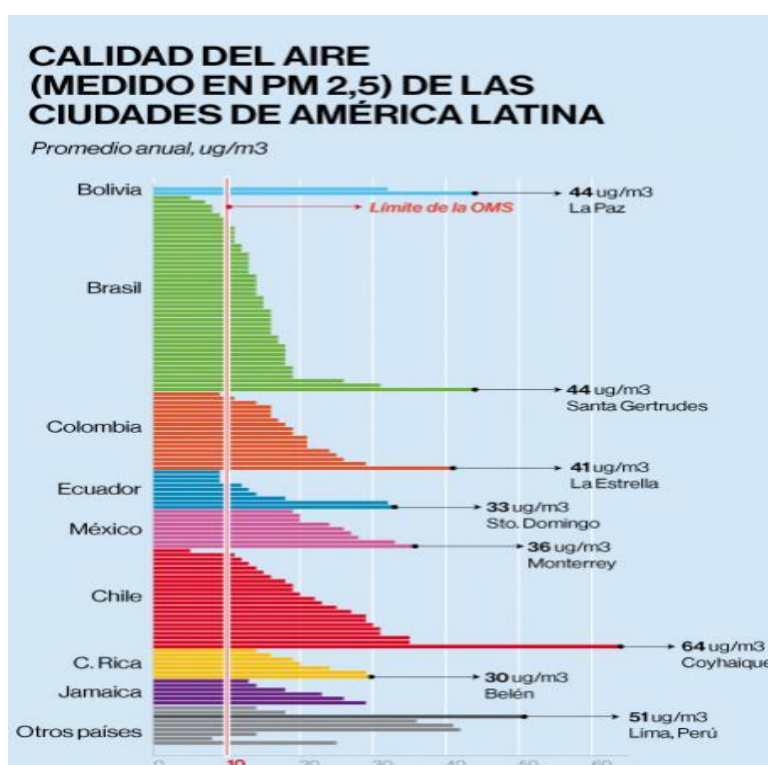


Figura 1: Calidad del Aire de las ciudades de América Latina
Fuente: (Sorgato, 2016)

3.7. Parámetros de Calidad del Aire

3.7.1. Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA)

La NECA es una norma técnica de aplicación obligatoria en el Ecuador para evaluar el estado de la contaminación atmosférica. Su objetivo principal es preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general, para lo cual ha determinado límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo, así como los métodos y procedimientos que permitan su determinación y cuantificación en aire ambiente.

En base al criterio anteriormente mencionado, la referencia nacional obligatoria para evaluar el estado de la contaminación atmosférica constituye la Norma de Calidad del Aire

Ambiente (NECA), publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Libro VI De la Calidad Ambiental, Anexo 4), emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2 de 31 de marzo de 2003, última modificación 14 de agosto de 2012.

La NECA establece los objetivos de calidad del aire ambiente, los límites permisibles de los contaminantes criterios y contaminantes no convencionales del aire ambiente y los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente. Los contaminantes considerados por la Norma como contaminantes comunes o criterio son: partículas sedimentables, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM₁₀) y menor a 2,5 micrones (PM_{2,5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃). La actual normativa también considera al benceno, cadmio y mercurio inorgánico como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o cancerígenos. (Díaz, 2015)

Los valores máximos permisibles de concentración de material particulado presentes en la atmósfera se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 2: *Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana.*

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM ₁₀	1 año	50 µg/m ³
	24 horas	150 µg/m ³
PM _{2,5}	1 año	15 µg/m ³
	24 horas	65 µg/m ³

Fuente: (MAE, 2012). Todos estos valores se encuentran a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg Valores tomados del anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria.

3.7.2. Norma de Calidad de aire por la OMS

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire ofrecen una evaluación de los efectos sanitarios derivados de la contaminación del aire, así como orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a: Partículas (PM), Ozono (O₃),

Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Dióxido de azufre (SO₂), en todas las regiones de la OMS. (OMS, 2016)

Los valores máximos permisibles de concentración de material particulado presentes en la atmósfera se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3: *Parámetros establecidos por la OMS.*

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
PM10	1 año	20 µg/m ³
	24 horas	50 µg/m ³
PM2,5	1 año	10 µg/m ³
	24 horas	25 µg/m ³
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm ² /mes

Fuente: (OMS, 2016)

4. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de estudio

- Experimental: debido a que es un proceso donde se aplica muestreos, monitoreo y análisis en el laboratorio de las muestras obtenidas.
- Transversal: ya que la investigación se ha llevado a cabo en un período de tiempo determinado.
- Exploratorio: porque la investigación permite conocer los niveles de concentración de material particulado sedimentable como también de material particulado volátil que existen en la ciudad urbana de Ambato.
- De Campo: debido a que se realiza recorridos a todos los puntos de monitoreo instalados en la ciudad urbana de Ambato, tomando muestras para realizar la investigación.

4.2. Población y Muestra

- Población: A todos los pobladores que habitan en la zona urbana de la ciudad de Ambato.
- Muestra: PMS y PMV de 2,5µm y 10µm en los diferentes puntos de monitoreo definidos, por el periodo junio-julio de 2017.

4.3. Área de estudio

La ciudad de Ambato, cabecera cantonal de la provincia de Tungurahua, se ubica en la sierra ecuatoriana a 2678 m.s.n.m, ubicada a 78°37'22.28"O; de longitud con relación al Meridiano de Greenwich y a 1°15'15.68"S de latitud sur con relación a la Línea Equinoccial, el clima de la ciudad de Ambato es un clima templado, debido a que se ubica en un estrecho valle andino; la temperatura oscila desde los 10 a los 25 °C.

4.4. Ubicación de los puntos de monitoreo de material particulado sedimentable

La selección de los sitios de monitoreo, se estableció en base al estudio de la calidad del aire realizado por la Universidad Central de la Carrera de Ingeniería Química para el Municipio de Ambato, con el financiamiento de Petroecuador, proyecto en el cual se establece la calidad del aire de la ciudad de manera sectorizada. Estos sitios fueron escogidos, considerando los puntos de mayor contaminación señalados en el Estudio de la

Calidad del Aire de la Ciudad de Ambato, durante el período junio 2007 a mayo 2008; además de criterios técnicos del personal del departamento de Gestión Ambiental del Municipio de Ambato y sugerencias del personal técnico de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

Los puntos en donde se colocaron las estaciones de monitoreo pasivo se detalla a continuación:

Tabla 4. *Localización de los sitios de monitoreo*

PUNTOS	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		LATITUD	LONGITUD
P1	Redondel Huachi Chico (Propiedad Sra. Lupe Cevallos)	763716,29	9858974,33
P2	Av. Cevallos (Mercado Modelo)	764523,00	9863046,00
P3	Pinllo (Propiedad del Sr. Fabian Sánchez)	760270,00	9862380,00
P4	Izamba (Propiedad del Sr. Jorge Infante)	767347,00	9864334,00
P5	Parque Industrial (Textilera "El Peral")	768092,96	9867553,68
P6	Pishilata (Propiedad Sra. Natalia Lascano)	768751,00	9858837,00

Realizado por: Universidad Central de la Carrera de Ingeniería Química

4.5. Metodología de monitoreo de material particulado sedimentable

Para la determinación de la cantidad de PMS se consideró el método pasivo empleado por (Almirón, Dalmaso, & Llera, 2008). El método consiste en colocar cajas Petri con papel filtro previamente pesado, secado y determinada su área, en los puntos de monitoreo de PM establecidos en la zona urbana de la ciudad de Ambato, donde permanecerán un mes para poder realizar la cuantificación de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS).

4.6. Metodología de monitoreo de material particulado atmosférico

La cuantificación del material particulado atmosférico se lo realizó con el uso del equipo DustTrack II en cada uno de los seis puntos de monitoreo de los muestreadores pasivos del PMS, el cual se lo realizó una vez al mes mediante la toma de datos de tres veces al día.

4.7. Análisis de material particulado volátil con el equipo Dust Trak II

- Encender el equipo DUST TRAK II
- Ejecutar (ZERO CAL) antes de empezar a realizar cada una de las lecturas con los diferentes filtros.
- Remover el filtro (0) después de que haya terminado su ejecución, el equipo se encuentra calibrado y listo para su uso.
- Colocar el filtro de 2,5 μm y presionar START, después de que haya terminado su ejecución tomar la lectura que aparece en la pantalla (mg/m^3).
- Retirar el filtro y ejecutar (ZERO CAL) encendido para continuar con las posteriores lecturas.
- Descargar la base de datos para su posterior interpretación mediante la tabulación e interpretación de datos. (Santillán, 2016)

4.8. Determinación de la tasa de sedimentación del material particulado sedimentable

Para determinar el PMS se realizó el siguiente procedimiento:

- En el interior de las cajas Petri, se colocó papel filtro previamente pesado y determinado el área.
- Una vez cubierto la caja Petri con su tapa, éste es sellado con cinta adhesiva. Posteriormente se anotan los siguientes datos: Fecha, Responsable, Sitio de monitoreo y Hora.
- Se ubicaron las seis cajas Petri dentro de los muestreadores pasivos de MPS en los lugares establecidos anteriormente, retirando la tapa, guardándola en una bolsa Ziploc a fin de evitar su alteración. Monitoreando el PMS durante el lapso de un mes.
- Luego de haber transcurrido el mes se pesa el papel filtro se espera un tiempo aproximado; entre 5 a 10 min en la balanza analítica, luego es llevado a una estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente. Después de haber permanecido 24 horas a ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$), se pesa nuevamente, y se obtiene los datos que serán empleados en una posterior formula.

4.8.1. Cálculo gravimétrico

Las partículas de Material Particulado Sedimentable (PMS) están en unidades de miligramos por centímetro cuadrado en un mes, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$PAS = PS = \frac{\left[\frac{mg}{cm^2}\right]}{mes} = \left(\frac{P.Final - P.inicial}{gArea}\right) 1mes$$

Los parámetros requeridos son:

- Peso inicial (P. inicial) del filtro: este es después de salir de laboratorio.
- Peso final (P. final): este es después de estar expuesta el filtro durante el periodo de muestreo.
- Área del papel filtro: $A = \pi \times r^2$ (Santillán, 2016)

4.9. Análisis de la composición química y morfológica de PMS usando el microscopio electrónico de barrido y la espectroscopia de energía de fotones dispersadas

Secciones del filtro de 1cm² se montaron sobre un portamuestras de aluminio y posteriormente se metalizaron con oro en un sputtrer coater (SPI). La observación se realiza en un SEM modelo LEO, EVO-40XVP, a un voltaje de aceleración de 5-10 kV. Se tomaron imágenes a 200x. El procesamiento y análisis de las imágenes se realizó con el software Analysis Pro.

4.10. Procedimiento para el análisis estadístico e interpretación de resultados

Con la información obtenida, se analizó estadísticamente la cuantificación de datos de Material Particulado Sedimentable como Material Particulado Atmosférico PM_{2,5} y PM₁₀, para obtener una clasificación y ordenamiento de los resultados, a través del software estadístico Minitab 18. A su vez se realizó un análisis comparativo con los Valores máximos Referenciales para la Salud para Polvos atmosféricos sedimentables (PAS), según la OMS y también los valores límites máximos permisible de la Legislación Ambiental Ecuatoriana.

4.11. Modelación de material particulado con el software SIG

Para determinar la dispersión del material particulado en cada uno de los puntos de monitoreo, se realizó el método de interpolación IDW del SIG.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados del análisis de material particulado volátil con el equipo Dust Track II

En este trabajo se realizaron los análisis de material particulado volátil con filtros de 2,5 y 10 μm del día 16 de julio de 2017 tres veces al día en un horario de 09:00 A.M, 12:00 P.M y 14:00 P.M.

TABLA 5. Datos de PM 2,5 μm en la ciudad de Ambato

HORARIO	PM 2,5 μm					Pishilata
	R.Huachi Chico	Mercado Modelo	Pinllo	Izamba	Parque Industrial	
09H00	101	85	1	1	1	1
12H00	109	90	2	12	6	2
14H00	105	82	1	1	2	1

Autor: Jennyfer Cevallos B.

El nivel de concentración más alto de PMV es en los sectores Huachi Chico y Mercado Modelo analizado en el equipo DustTrack II fue el que se encontraba dentro del horario de las 12:00 P.M. con el filtro de 2,5 μm fue 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, datos que fueron leídos el día 16 de julio de 2017.

TABLA 6. Datos de PM 10 μm en la ciudad de Ambato

HORARIO	PM 10 μm					Pishilata
	R.Huachi Chico	Mercado Modelo	Pinllo	Izamba	Parque Industrial	
09H00	98	50	1	1	1	3
12H00	101	75	1	1	7	13
14H00	95	46	1	1	3	7

Autor: Jennyfer Cevallos B.

El nivel de concentración más alto de PMV es en los sectores Huachi Chico y Mercado Modelo analizado en el equipo DustTrack II fue el que se encontraba dentro del horario de las 12:00 P.M. con el filtro de 10 μm fue 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, datos que fueron leídos el día 16 de julio de 2017.

5.2. Material Particulado Volátil 2,5 μm (PM2,5)

La distribución del PM2,5 se trabajó con el software Minitab 18. Se tomó los valores por un día de PMV 2,5 μm dentro del horario de 09:00, 12:00 y 14:00, en todos los seis puntos de monitoreo, se estratifico los seis valores en dos estratos teniendo el primero de alto tráfico vehicular en donde se integró el primer y segundo punto ya que constaba de altos valores de material particulado volátil y el segundo de bajo tráfico vehicular que consta de los cuatro puntos restantes con un bajo nivel de material particulado volátil.

El valor máximo obtenido en la zona de alto tráfico vehicular fue de 109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor mínimo de 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el valor máximo obtenido en la zona de bajo tráfico vehicular fue de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor mínimo de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

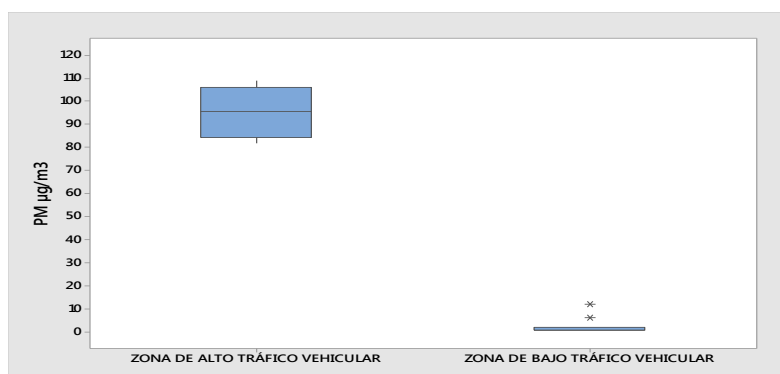


Figura 2: Distribución de material particulado 2,5 μm , Ciudad Urbana “Ambato”

Autor: Jennyfer Cevallos B.

Al comprar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles según la legislación ecuatoriana y la OMS, se establece como media diaria 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM2,5. El filtro de 2,5 μm en los 2 minutos de muestreo que se realizó, se obtuvo un límite máximo permisible de 0,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a la legislación ecuatoriana y un límite máximo permisible de 0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo a la OMS.

En cuanto a la legislación ecuatoriana y OMS, se obtuvo límites superiores a los establecido en todos los seis sectores monitoreados, pero se puede decir que los sectores que tuvieron una más alta concentración fue en la zona del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, debido a que estas zonas son de alto índice tráfico vehicular.

5.3. Material Particulado Volátil 10 μm (PM10)

La distribución del PM 10 se trabajó con el software Minitab 18. Se tomó los valores por un día de PMV 10 μm dentro del horario de 09:00, 12:00 y 14:00, en todos los seis puntos de monitoreo, se estratifico los seis valores en dos estratos teniendo el primero de alto tráfico vehicular en donde se integró el primer y segundo punto ya que constaba de altos valores de material particulado volátil y el segundo de bajo tráfico vehicular que consta de los cuatro puntos restantes con un bajo nivel de material particulado volátil.

El valor máximo obtenido en la zona de alto tráfico vehicular fue de 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor mínimo de 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el valor máximo obtenido en la zona de bajo tráfico vehicular fue de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor mínimo de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

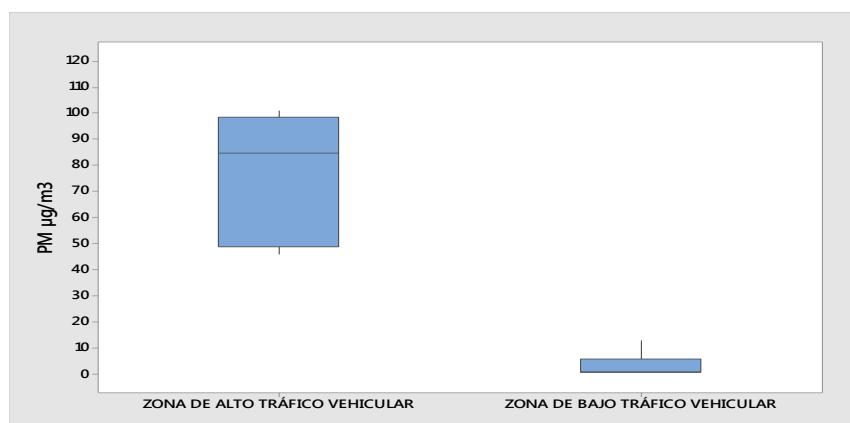


Figura 3: Distribución de material particulado 10 μm , Ciudad Urbana “Ambato”

Autor: Jennyfer Cevallos B.

Al comprar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles según la legislación ecuatoriana y la OMS, se establece como media diaria 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el PM10.

El filtro de 10 μm en los 2 minutos de muestreo que se realizó, se obtuvo un límite máximo permisible de 2,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a la legislación ecuatoriana y un límite máximo permisible de 0,069 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo a la OMS.

En cuanto a la legislación ecuatoriana, se obtuvo límites superiores a los establecidos en los sectores del Redondel de Huachi Chico, Mercado Modelo, Parque Industrial y Pishilata, pero se puede decir que los sectores que tuvieron una más alta concentración fue en la zona del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, pues según (MMA, Informe Ambiental Programa Aire Limpio, 2012) el PM10 se debe a que existen por esas zonas transición de

buses, camiones, vehículos particulares, vehículos comerciales, taxis y motociclistas, además de una zona industrial. Y con respecto a la OMS, si se obtuvo límites superiores en todos los seis sectores monitoreados.

5.4. Análisis de material particulado sedimentable con el método gravimétrico

TABLA 7. Resultados de las concentraciones de PMS

Ubicación	PMS (mg/cm ² /mes)
Redondel de Huachi Chico	0,57
Mercado Modelo	0,55
Pinllo	0,48
Izamba	0,41
Parque Industrial	0,31
Pishilata	0,45

Autor: Jennyfer Cevallos B.

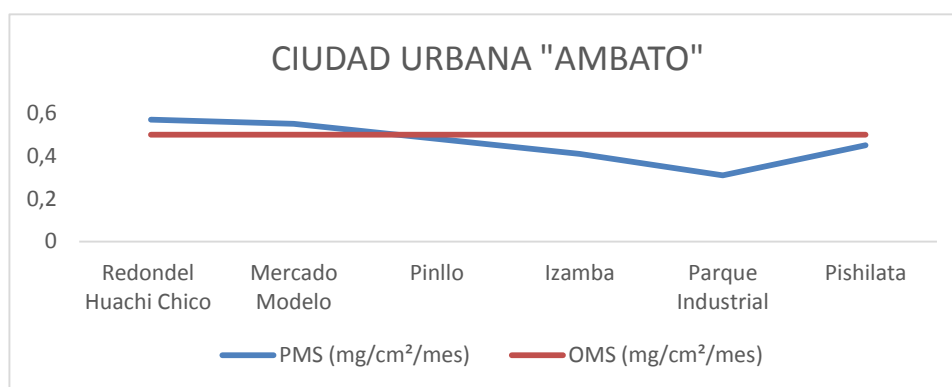


Figura 4: Comparación de valores de PMS con límites establecidos por la OMS
Autor: Jennyfer Cevallos B.

Los resultados están enmarcados dentro de los límites de la Organización Mundial de la Salud OMS (0,5 mg/cm²/mes) en cuatro sectores de la ciudad urbana de Ambato el primer sector es en Pinllo con un límite permisible para PMS de 0,48 mg/cm²/mes, zona donde transitan buses para Quisapincha, Parque de la Familia y automóviles particulares; el segundo sector es en Izamba con un límite permisible para PMS de 0,41 mg/cm²/mes, zona de uso residencial, institucional, comercial y de producción agrícola-pecuaria; el tercer sector es en el Parque Industrial con un límite permisible para PMS de 0,31 mg/cm²/mes, zona exclusivamente de uso industrial ya que están ubicadas diferentes empresas tales como: Plasticaucho, Quimicurtex, Caucho Sierra, Curtiduría Tungurahua, Siderúrgica Tungurahua, Textilerías, etc. Y el cuarto sector que es Pishilata con un límite permisible para PMS de 0,45 mg/cm²/mes, zona de uso agrícola, industrial y comercial.

Pero los sectores del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, se encuentran fuera de los límites máximos permisibles de la OMS (0,5 mg/cm²/mes). Teniendo al Redondel de Huachi Chico con un límite permisible para PMS de 0,57 mg/cm²/mes, zona que se caracteriza por ser uso residencial, comercial y con un alto índice de tráfico vehicular considerado este un mini terminal de buses interprovinciales, buses cantonales, buses urbanos, vehículos livianos con motores a gasolina, buses, camiones, tráileres con motores diésel. Por último, tenemos al Mercado Modelo con un límite máximo permisible de 0,55 mg/cm²/mes, siendo el centro de la ciudad, caracterizado por ser un sector de alto tráfico vehicular, con buses urbanos, automóviles particulares. Es de un uso comercial (mercados, plazas, centros y locales comerciales, etc), uso institucional y residencial.

La alta concentración de PMS es un problema ambiental y social debido a que provoca varias enfermedades respiratorias como la bronquitis y aumenta los efectos de otras enfermedades cardiovasculares. (Bermeo, 2016)

5.5. Análisis molecular

5.5.1. Caracterización química

La composición química del material particulado sedimentable se determinó por medio de espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX), se examinó 6 muestras con un total de 60 microfotografías y 75 puntos, cada muestra constaba para su análisis de cinco puntos uno en el centro y los cuatro restantes constaba de cada esquina de la muestra.

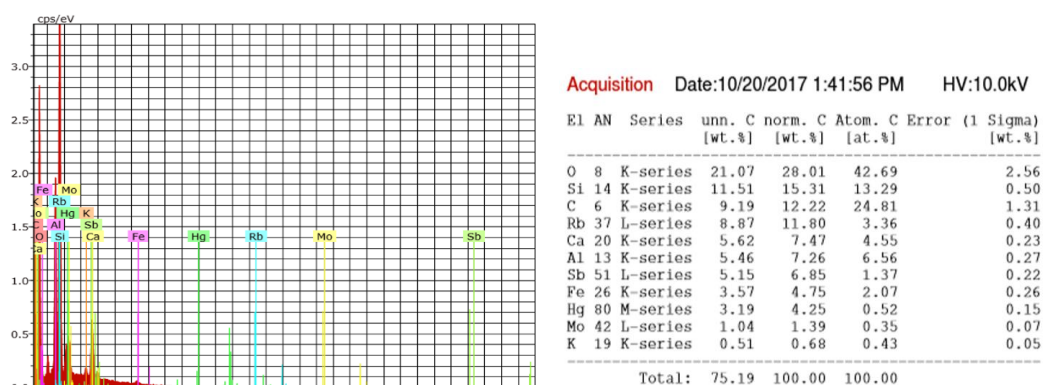


Figura 5: Caracterización física química AMBATO “Redondel de Huachi Chico”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Redondel de Huachi Chico, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 28,01% y Si con 15,31%, en menor concentración al C, Rb, y Ca, con 12,22%, 11,80% y 7,47%, respectivamente; y cantidades inferiores de Al, Sb, Fe, Hg, Mo y K.

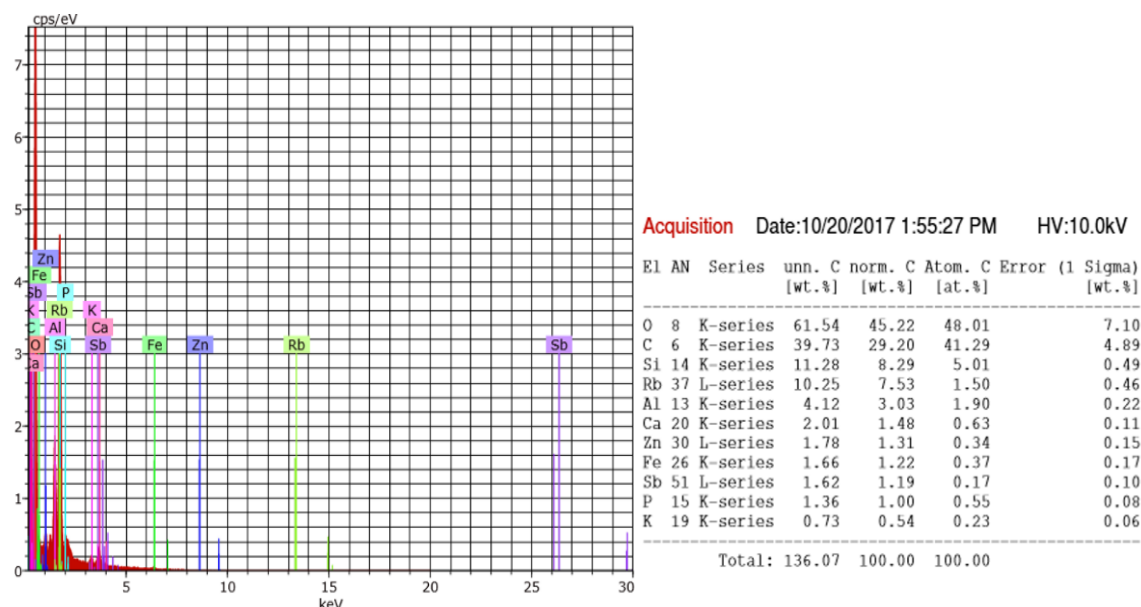


Figura 6: Caracterización física química AMBATO “Redondel de Huachi Chico”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Redondel de Huachi Chico, la muestra dos presenta altas concentraciones de O con 45,22% y C con 29,20%, en menor concentración al Si, Rb y Al, con 8,29%, 7,53% y 3,03%, respectivamente; y cantidades inferiores de Ca, Zn, Fe, Sb, P y K.

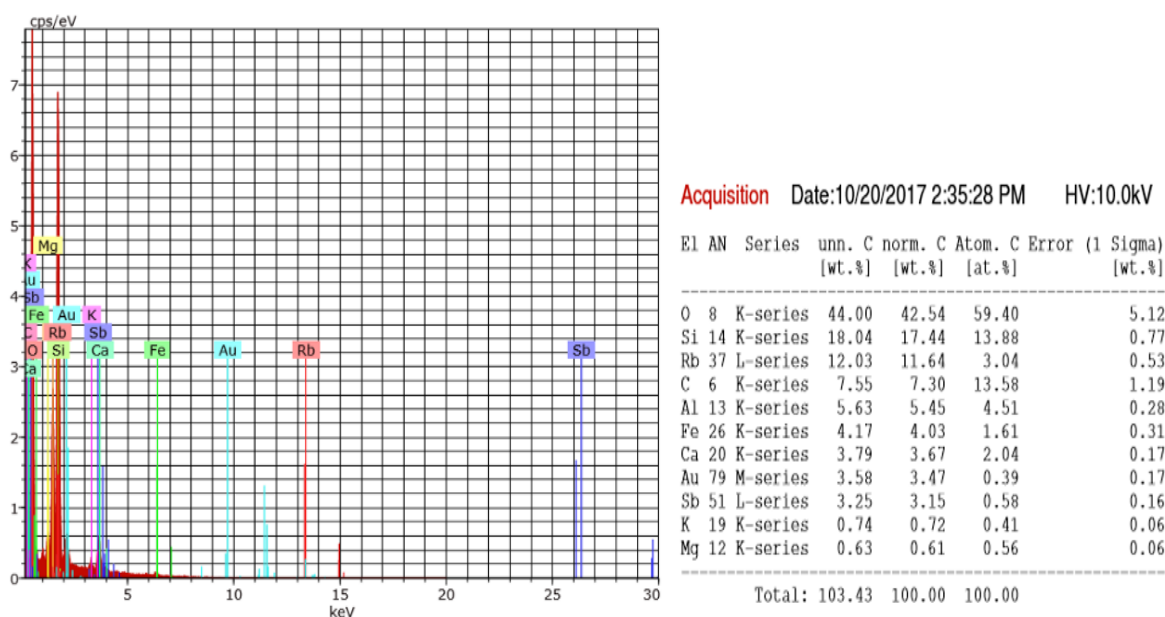
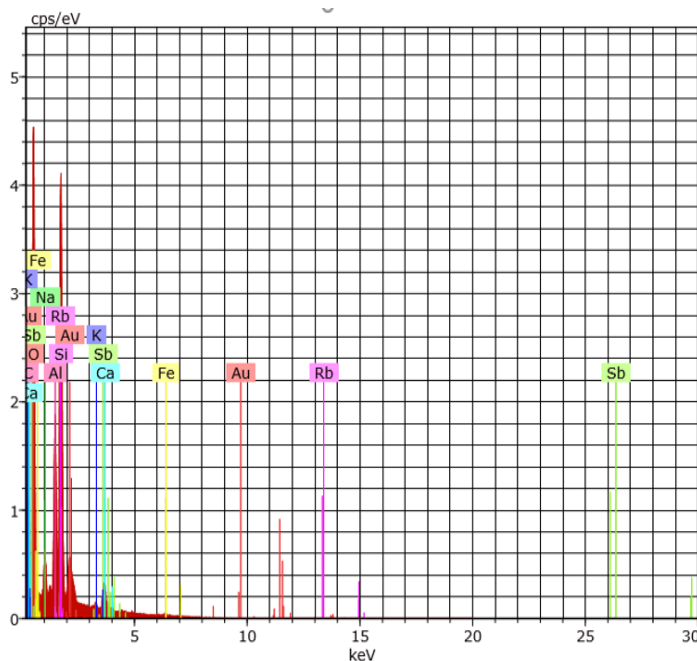


Figura 7: Caracterización física química AMBATO “Mercado Modelo”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Mercado Modelo, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 42,54% y Si con 17,44%, en menor concentración al Rb, C y Al, con 11,64%, 7,30% y 5,45%, respectivamente; y cantidades inferiores de Fe, Ca, Au, Sb, K y Mg.



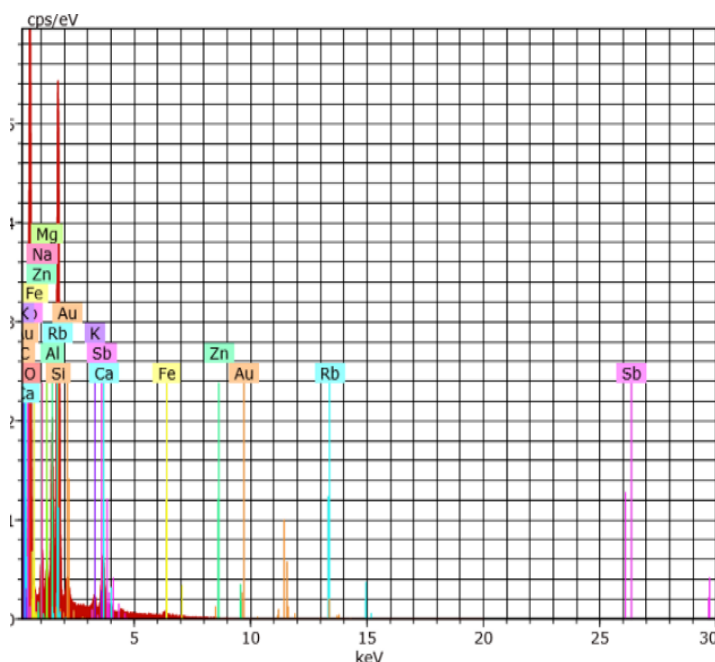
Acquisition Date:10/20/2017 2:47:32 PM HV:10.0kV

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	33.60	35.50	45.25	3.97
C	6	K-series	18.26	19.29	32.76	2.40
Si	14	K-series	13.81	14.59	10.59	0.59
Rb	37	L-series	8.63	9.12	2.18	0.39
Au	79	M-series	5.63	5.95	0.62	0.25
Al	13	K-series	5.31	5.61	4.24	0.27
Ca	20	K-series	2.92	3.09	1.57	0.14
Fe	26	K-series	2.58	2.72	0.99	0.22
Sb	51	L-series	2.26	2.39	0.40	0.12
Na	11	K-series	1.24	1.31	1.16	0.10
K	19	K-series	0.42	0.45	0.23	0.05
Total:			94.65	100.00	100.00	

Figura 8: Caracterización física química AMBATO “Mercado Modelo”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Mercado Modelo, la muestra dos presenta altas concentraciones de O con 35,50% y C con 19,29%, en menor concentración al Si, Rb y Al, con 14,59%, 9,12% y 5,61%, respectivamente; y cantidades inferiores de a, Fe, Sb, Na y K.



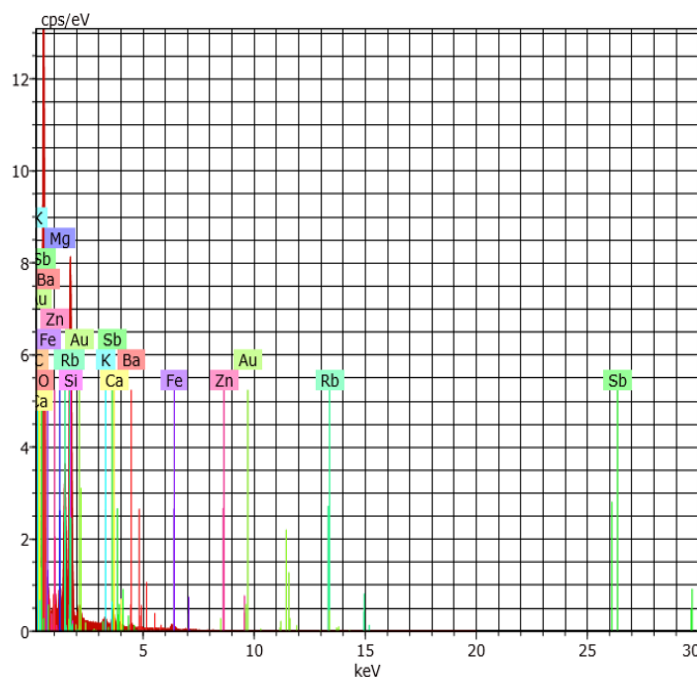
Acquisition Date:10/20/2017 3:18:29 PM HV:10.0kV

El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	44.05	42.50	56.63	5.12
Si	14	K-series	16.77	16.17	12.28	0.71
C	6	K-series	10.48	10.11	17.94	1.53
Rb	37	L-series	8.72	8.41	2.10	0.40
Ca	20	K-series	5.40	5.21	2.77	0.22
Al	13	K-series	4.85	4.68	3.70	0.25
Fe	26	K-series	4.20	4.05	1.55	0.30
Sb	51	L-series	3.86	3.72	0.65	0.18
Au	79	M-series	2.15	2.07	0.22	0.12
Na	11	K-series	1.10	1.06	0.98	0.10
K	19	K-series	0.96	0.93	0.51	0.07
Mg	12	K-series	0.60	0.58	0.51	0.06
Zn	30	L-series	0.52	0.50	0.16	0.07
Total:			103.66	100.00	100.00	

Figura 9: Caracterización física química AMBATO “Pinllo”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Pinllo, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 42,50% y Si con 16,17%, en menor concentración al C, Rb, y Ca, con 10,11%, 8,41% y 5,21%, respectivamente; y cantidades inferiores de Al, Fe, Sb, Na, K, Mg y Zn.



Acquisition Date:10/20/2017 3:35:43 PM HV:10.0kV

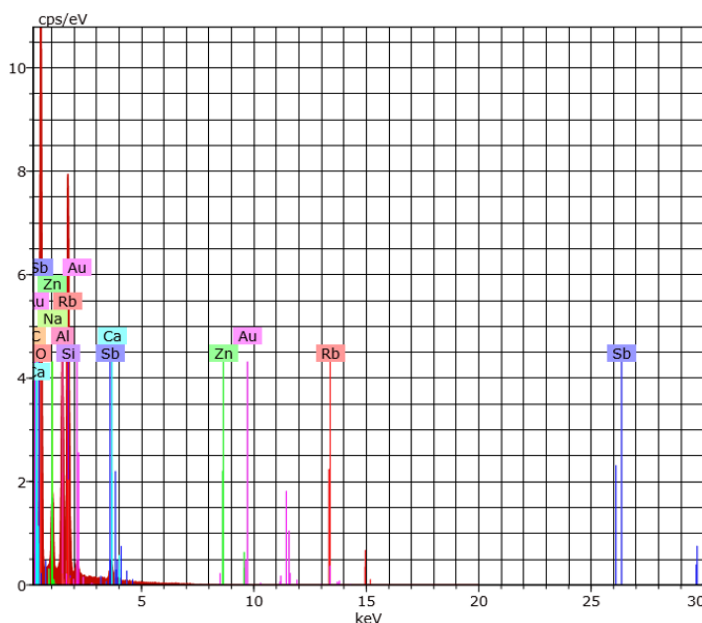
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	74.04	49.86	68.35	8.45
Si	14	K-series	20.88	14.06	10.98	0.89
Rb	37	L-series	14.15	9.53	2.44	0.62
Fe	26	K-series	9.51	6.41	2.52	0.59
Al	13	K-series	8.10	5.46	4.43	0.40
C	6	K-series	6.14	4.14	7.55	1.07
Zn	30	L-series	3.41	2.30	0.77	0.25
Au	79	M-series	2.97	2.00	0.22	0.16
Ba	56	L-series	2.58	1.74	0.28	0.16
Ca	20	K-series	2.25	1.51	0.83	0.12
Sb	51	L-series	1.70	1.15	0.21	0.11
Mg	12	K-series	1.66	1.12	1.01	0.12
K	19	K-series	1.10	0.74	0.41	0.08

Total: 148.48 100.00 100.00

Figura 10: Caracterización física química AMBATO “Pinllo”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Pinllo, la muestra dos presenta altas concentraciones de O con 49,86% y Si con 14,06%, en menor concentración al Rb, Fe y Al, con 9,53%, 6,41% y 5,46%, respectivamente; y cantidades inferiores de C, Zn, Ba, Ca, Sb, Mg y K.



Acquisition Date:10/20/2017 3:48:16 PM HV:10.0kV

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	80.17	48.52	64.83	9.18
Si	14	K-series	25.62	15.51	11.80	1.08
Rb	37	L-series	17.41	10.54	2.64	0.76
Al	13	K-series	14.00	8.48	6.72	0.66
C	6	K-series	8.48	5.13	9.14	1.43
Zn	30	L-series	5.02	3.04	0.99	0.35
Ca	20	K-series	3.75	2.27	1.21	0.18
Sb	51	L-series	3.73	2.26	0.40	0.19
Na	11	K-series	3.66	2.22	2.06	0.25
Au	79	M-series	3.39	2.05	0.22	0.17

Total: 165.24 100.00 100.00

Figura 11: Caracterización física química AMBATO “Pishilata”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Pishilata, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 48,52% y Si con 15,51%, en menor concentración al Rb, Al y C, con 10,54%, 8,48% y 5,13%, respectivamente; y cantidades inferiores de Zn, Ca, Sb y Na.

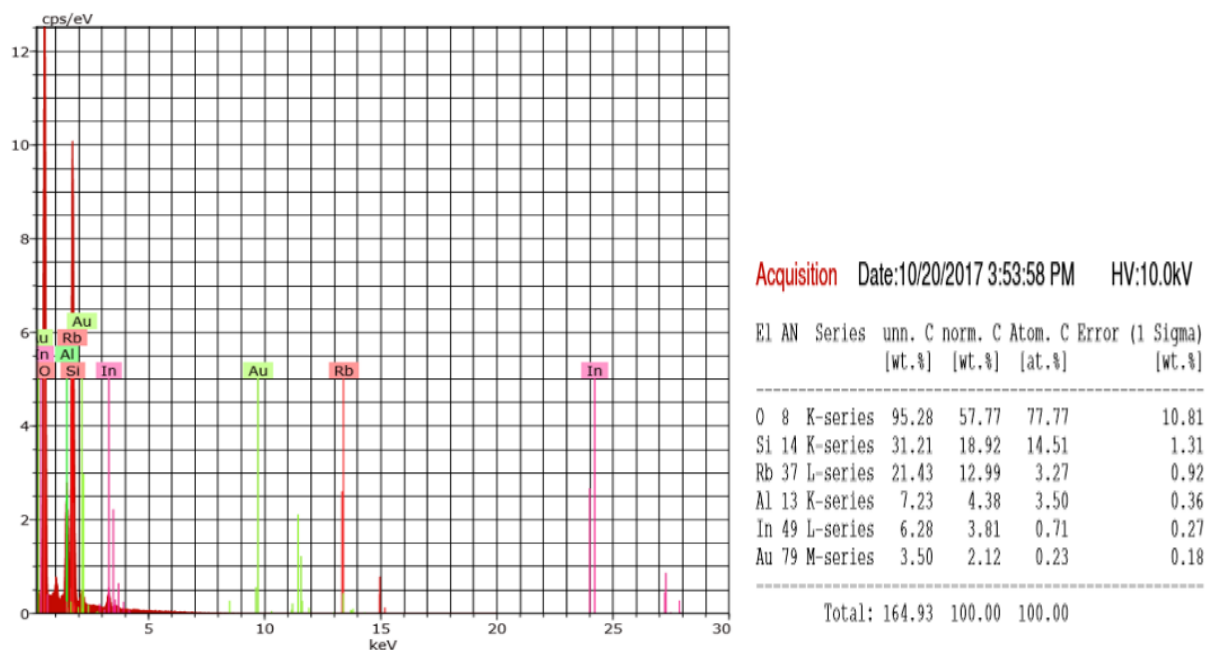


Figura 12: Caracterización física química AMBATO “Pishilata”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Pishilata, la muestra dos presenta altas concentraciones de O con 57,77% y Si con 18,92%, en menor concentración al Rb, y Al, con 12,99% y 4,38%, respectivamente; y cantidades inferiores de In con 3,815%.

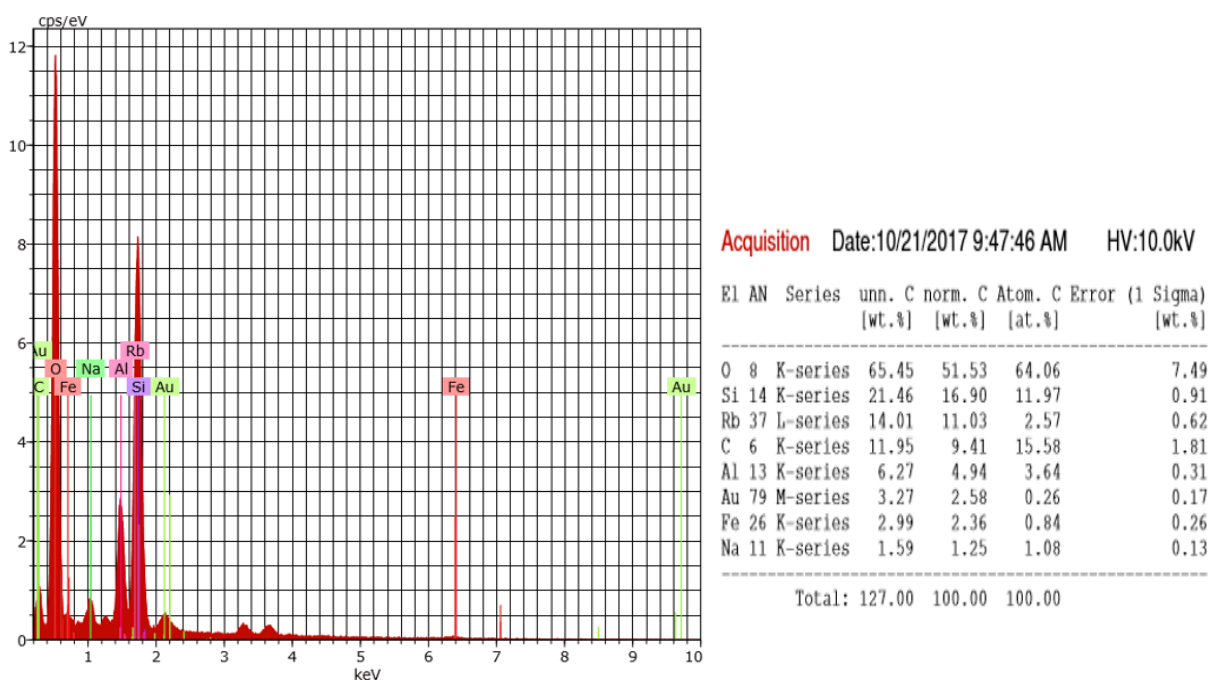


Figura 13: Caracterización física química AMBATO “Izamba”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Izamba, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 51,53% y Si con 16,90%, en menor concentración al Rb, Ca y Al con 11,03%, 9,41% y 4,94%, respectivamente; y cantidades inferiores de Fe y Na.

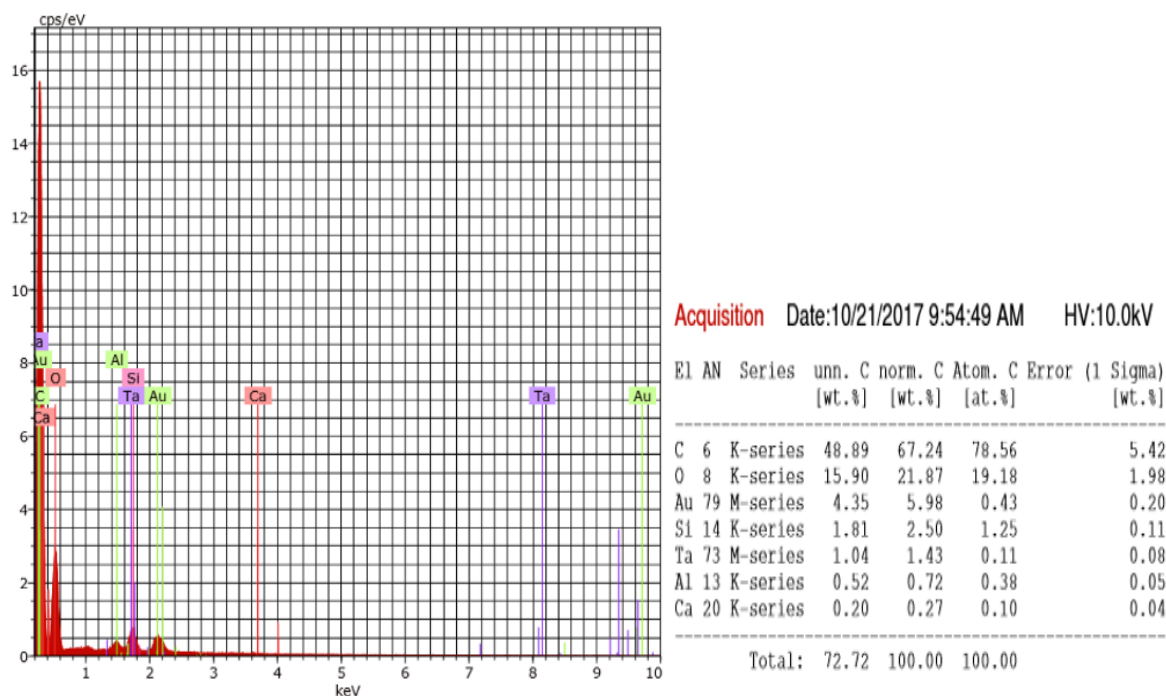


Figura 14: Caracterización física química AMBATO “Izamba”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En Izamba, la muestra dos presenta altas concentraciones de C con 67,241% y O con 21,87%, en menor concentración al Si y Ta, con 2,50% y 1,43%, respectivamente; y cantidades inferiores de Al y Ca.

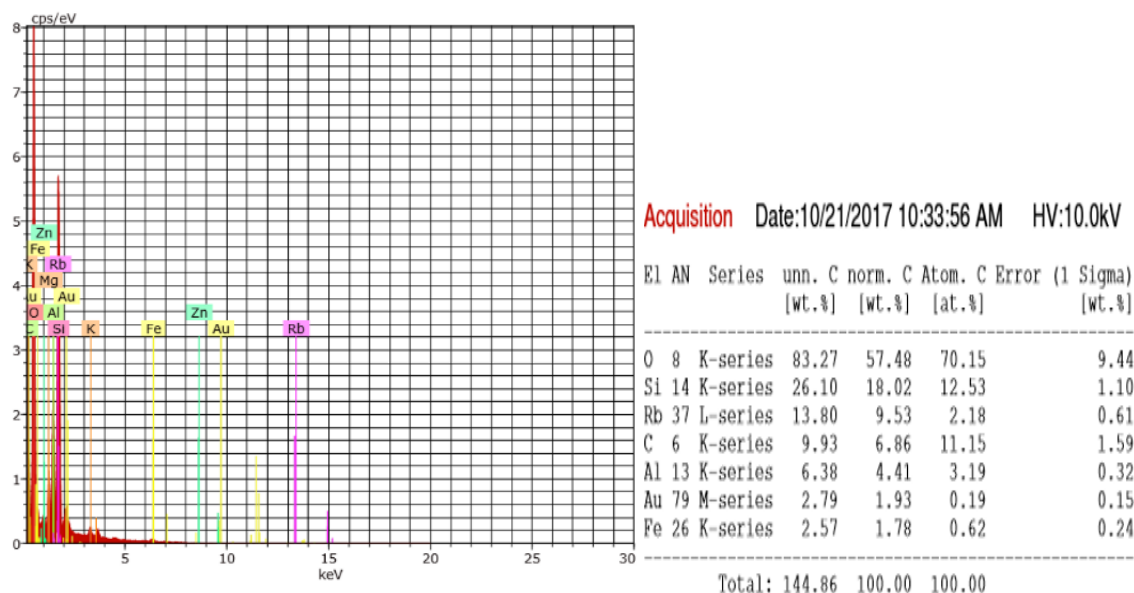


Figura 15: Caracterización física química AMBATO “Parque Industrial”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Parque Industrial, la muestra uno presenta altas concentraciones de O con 57,48% y Si con 18,02%, en menor concentración al Rb, C y Al, con 9,53%, 6,86% y 4,41%, respectivamente; y cantidades inferiores de Fe con 1,78%.

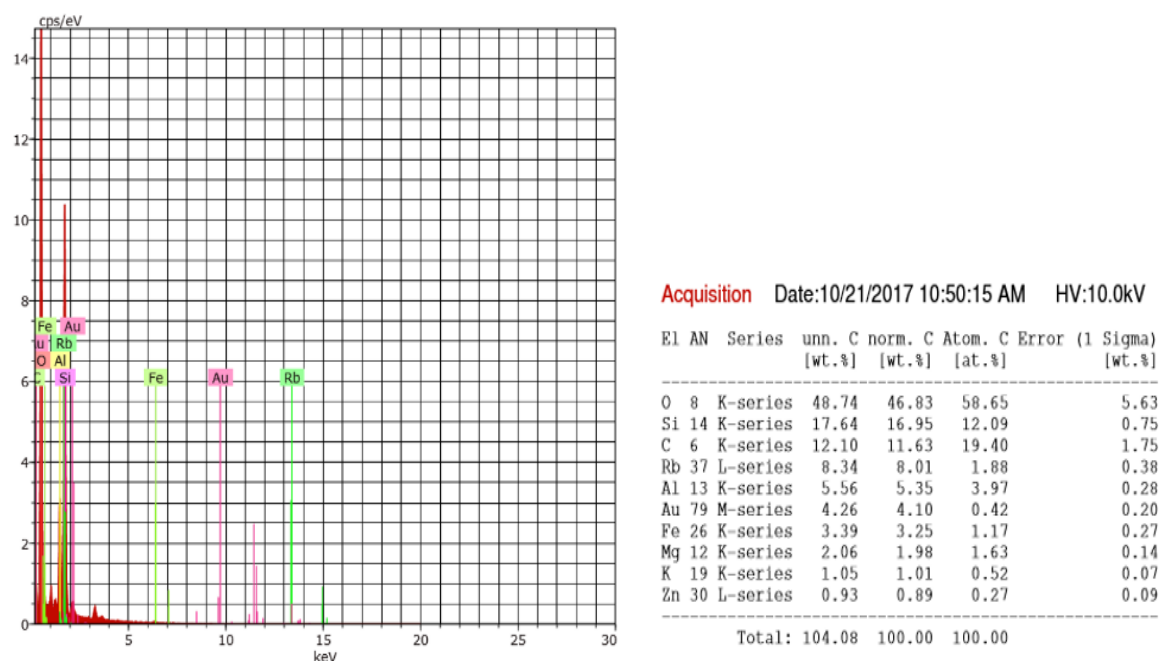


Figura 16: Caracterización física química AMBATO “Parque Industrial”

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el Parque Industrial, la muestra dos presenta altas concentraciones de O con 46,83% y Si con 16,95%, en menor concentración al C, Rb, y Al, con 11,63%, 8,01% y 5,35%, respectivamente; y cantidades inferiores de Fe, Mg, K y Zn.

ANÁLISIS

En las seis muestras analizadas se obtuvo un total de 25 elementos químicos, y realizando el promedio total de cada uno de ellos tenemos los porcentajes a continuación:

Tabla 8. Elementos Químicos

Elementos Químicos Mayoritarios (%)	Elementos Químicos Menor Concentración (%)	Elementos Químicos Cantidades Inferiores (%)
O = 38,50%	Al = 5,13%	K = 0,92%
C = 25,82%	Fe = 3,74%	Pt = 0,90%
Si = 14,12%	In = 2,60%	Hg = 0,71%
N = 12,13%	Sb = 2,02%	Ba = 0,55%
Rb = 9,83%	Ca = 1,97%	Ta = 0,45%
	Zn = 1,54	Nb = 0,43%
	Na = 1,20%	Mo = 0,23%
	Mg = 1,16%	Se = 0,22%
	Zr = 1,03%	Ti = 0,16%
		Cl = 0,16%

Autor: Jennyfer Cevallos B.

En las muestras analizadas tenemos que el C se produce a partir de la combustión incompleta de vehículos automotores con uso de diésel, pues se representa como un polvo negro o café y está formado por minúsculas partículas. Este puede permanecer en la atmósfera por varios días y semanas, después se posa en el suelo. (Bergman , 2011)

A su vez se encontró Si, Al, Ti y Ca, los cuales son materiales de la composición del suelo proveniente del polvo de los caminos y carreteras, de los procesos de construcción y del polvo arrastrado por el viento, que pueden permanecer suspendidas muchos días. (Quijano , Martinez, & Henao, 2010). Los elementos como el Rb, N y Mo, proviene de los catalizadores de los vehículos ligeros, pesados y otros medios de transporte y maquinaria, que utilizan básicamente como combustibles gasolina y diésel.

También se identifica elementos tales como Fe, K, Sb, Na, Zn, Cl, los cuales provienen de la re-suspensión del polvo, de la combustión de vehículos, desgaste de neumáticos y frenos. (Machado, y otros, 2008); Asimismo, está presente el elemento Nb, el cual es empleador en la fabricación de cámaras de combustión de vehículos (Belmonte, 2015), Se, en el desgaste de rocas, suelo y en las erupciones volcánicas (ATSDR, 2016); pues según el Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), ubicado en el cantón Pelileo, informan que no ha tenido actividad eruptiva desde fines de marzo de 2016, siendo su nivel categorizado como “bajo”. (IGEPN , 2017).

Los elementos de Ta, Pt, Mg y Ba, se encuentran presentes en el polvo re suspendido enriquecido por actividad vehicular, catalizadores y fuentes industriales como carrocerías. (Secretaría Distrital del Ambiente, 2009). Tenemos el elemento Hg que se encuentra presente de forma natural en la corteza terrestre, puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes sobre todo de la combustión de carbón en centrales eléctricas, calefacciones y cocinas, de procesos industriales, de la incineración de residuos y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales. (Salud, 2017). En bajas cantidades tenemos el Zr el cual es un elemento que en su mayoría se encuentra relacionado con la industria. Y por último el elemento In que es un constituyente de transistores de los motores de los automóviles.

Las partículas y compuestos emitidos al aire en ciertas concentraciones pueden producir efectos nocivos en la salud de las personas como, por ejemplo, reducción de la función pulmonar, aumento de la susceptibilidad de contraer infecciones respiratorias, muertes prematuras y cáncer, entre otros. (MMA, 2011)

5.5.2. Caracterización morfológica

Las partículas sedimentadas en el papel filtro fueron analizadas de manera morfológica con el uso del microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 200x, y se puede identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas.

PUNTO 1: REDONDEL DE HUACHI CHICO

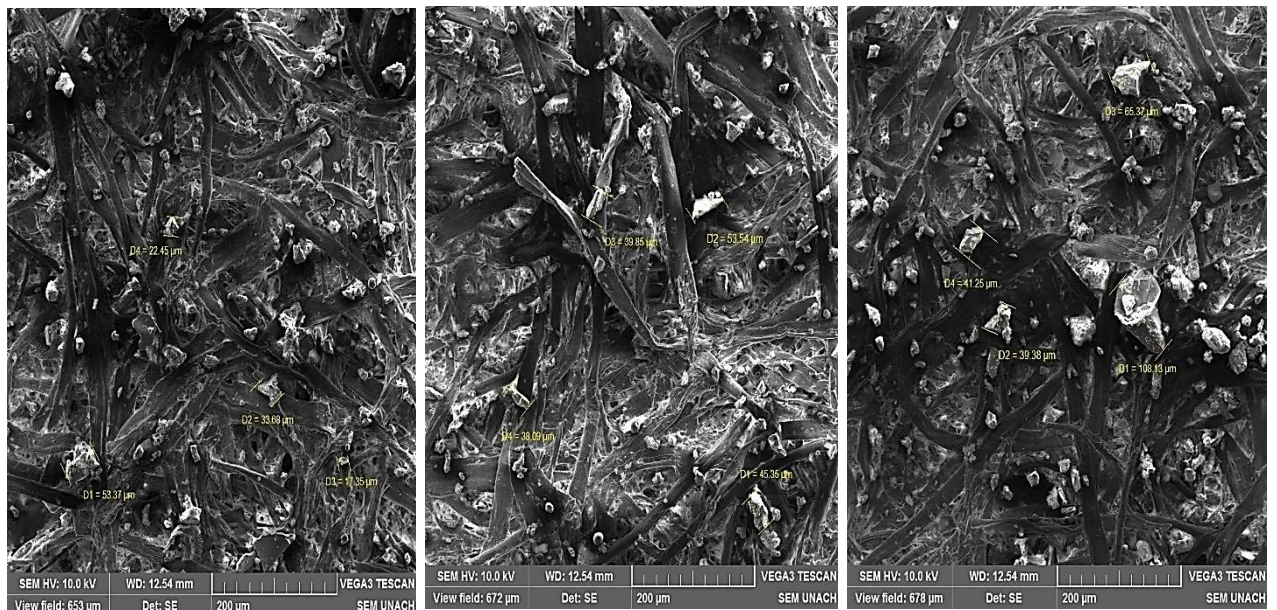


Figura 17: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

PUNTO 2: MERCADO MODELO (AV. CEVALLOS)

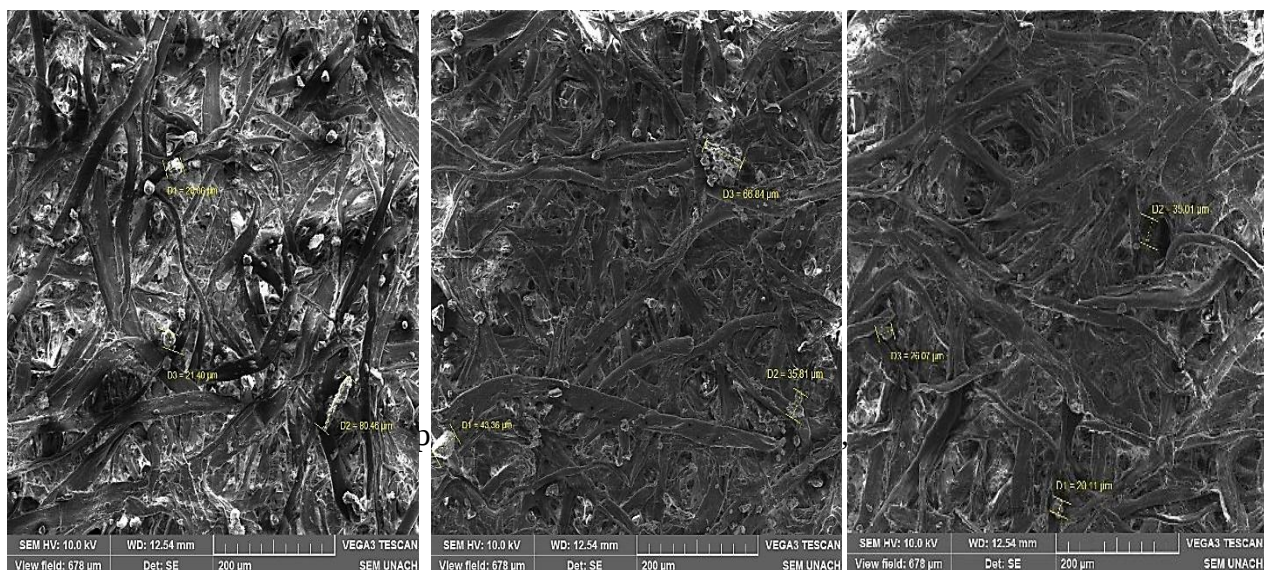


Figura 18: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

PUNTO 3: PINLLO

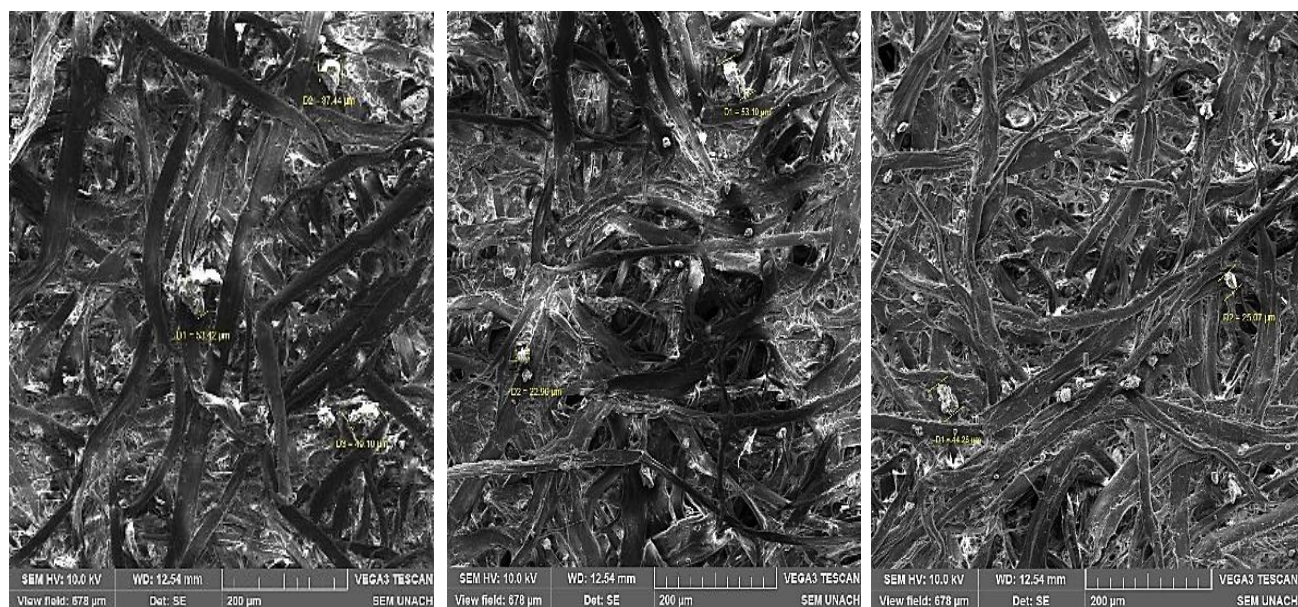


Figura 19: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 µm, observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

PUNTO 4: IZAMBA

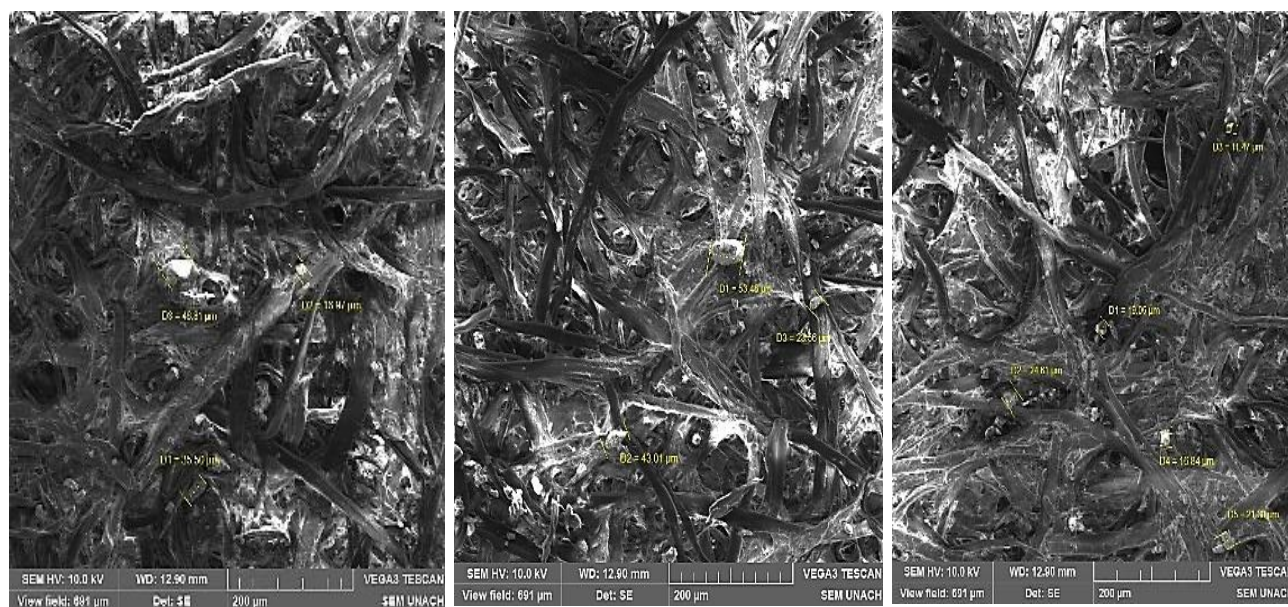


Figura 20: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 µm, observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

PUNTO 5: PARQUE INDUSTRIAL

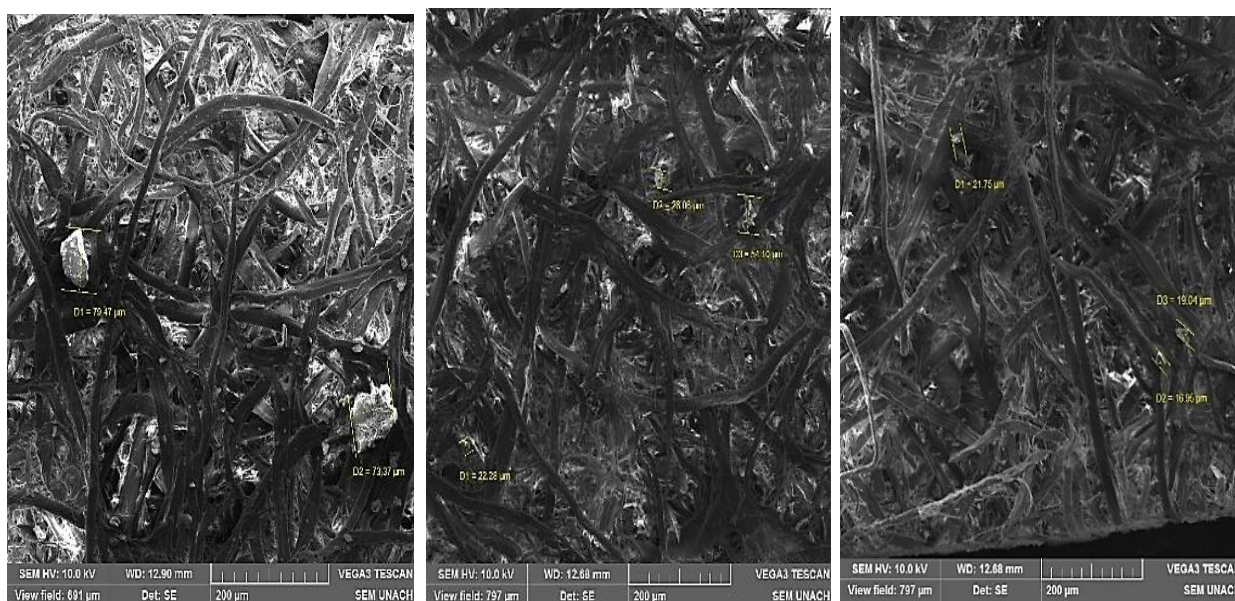


Figura 21: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

PUNTO 6: PISHILATA

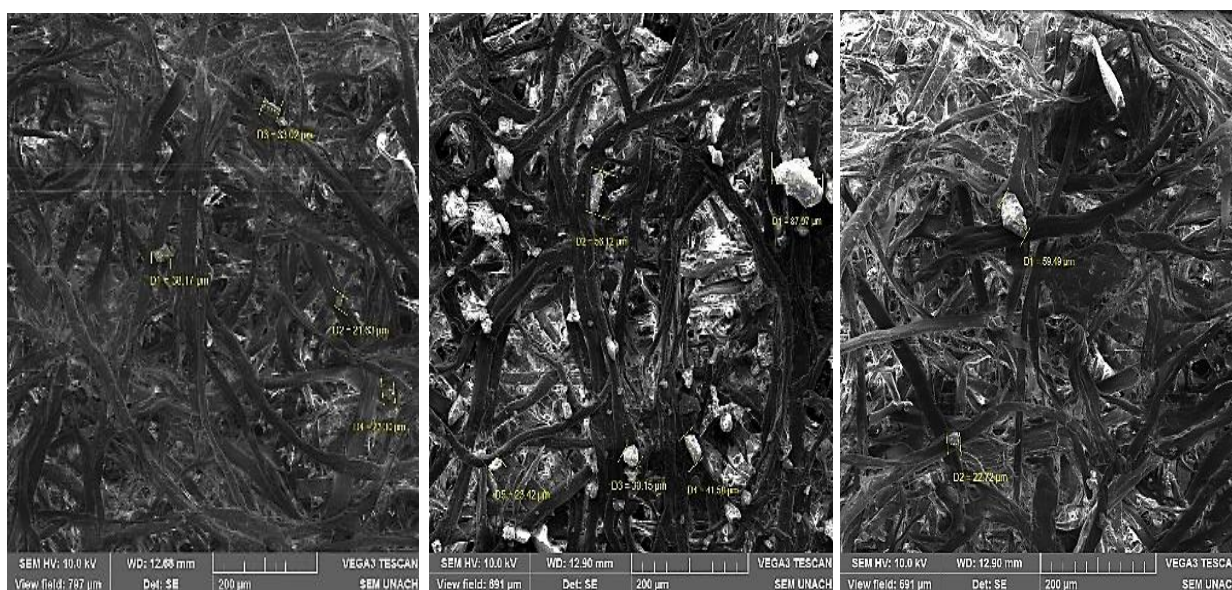


Figura 22: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 y 10 μm , observadas a 200X

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

ANÁLISIS

Se observó la morfología de 75 partículas en todas las seis muestras colectadas. Estas partículas presentaron de manera general contenido de elementos metálicos. La morfología de estas en su mayoría se lo considera como partículas de forma esféricas que indican combustión u otro proceso realizado a alta temperatura (Cuellar, Borja, Ordoñez, & Rodriguez, 2009), redondeadas, irregulares, placas angulares y porosas de tamaños mayor a 2,5 y 10 μm . Mostrando variación de componentes se pudo apreciar un alto contenido de Oxígeno, Carbono, Silicio, Nitrógeno y Rubidio, en menores cantidades, Aluminio, Hierro, Indio, Antimonio, Calcio, Zinc, Sodio, Magnesio y Zirconio y escaso contenido de Potasio, Platino, Mercurio, Bario, Talio, Niobio, Molibdeno, Selenio, Titanio y Calcio. Se ha demostrado que el tamaño de la partícula incide en el ser humano de manera respiratoria, cardiovascular, ataques de asma., etc. (Aragon, 2009)

5.6. Simulación de la dispersión de contaminantes de material particulado

Finalmente se elaboraron los mapas correspondientes para visualizar la dispersión de material particulado volátil PM 2,5 y 10 μm , y material particulado sedimentable en el periodo junio-julio de 2017. Dentro del análisis estadístico se obtuvieron una predicción de 99,96%, 99,79% y 99,70%, con un error de 0,04%, 0,21% y 0,30%.

Además, se generó un mapa de dirección de vientos, trabajando con dos variables, coordenadas en X y Y, y los datos de dirección de viento que se obtuvieron de las estaciones meteorológicas del Aeropuerto y Quisapincha; las unidades de la dirección están dadas en grados; la dirección es 280° y de 267°, indicando que el PM se mueve en esta dirección.

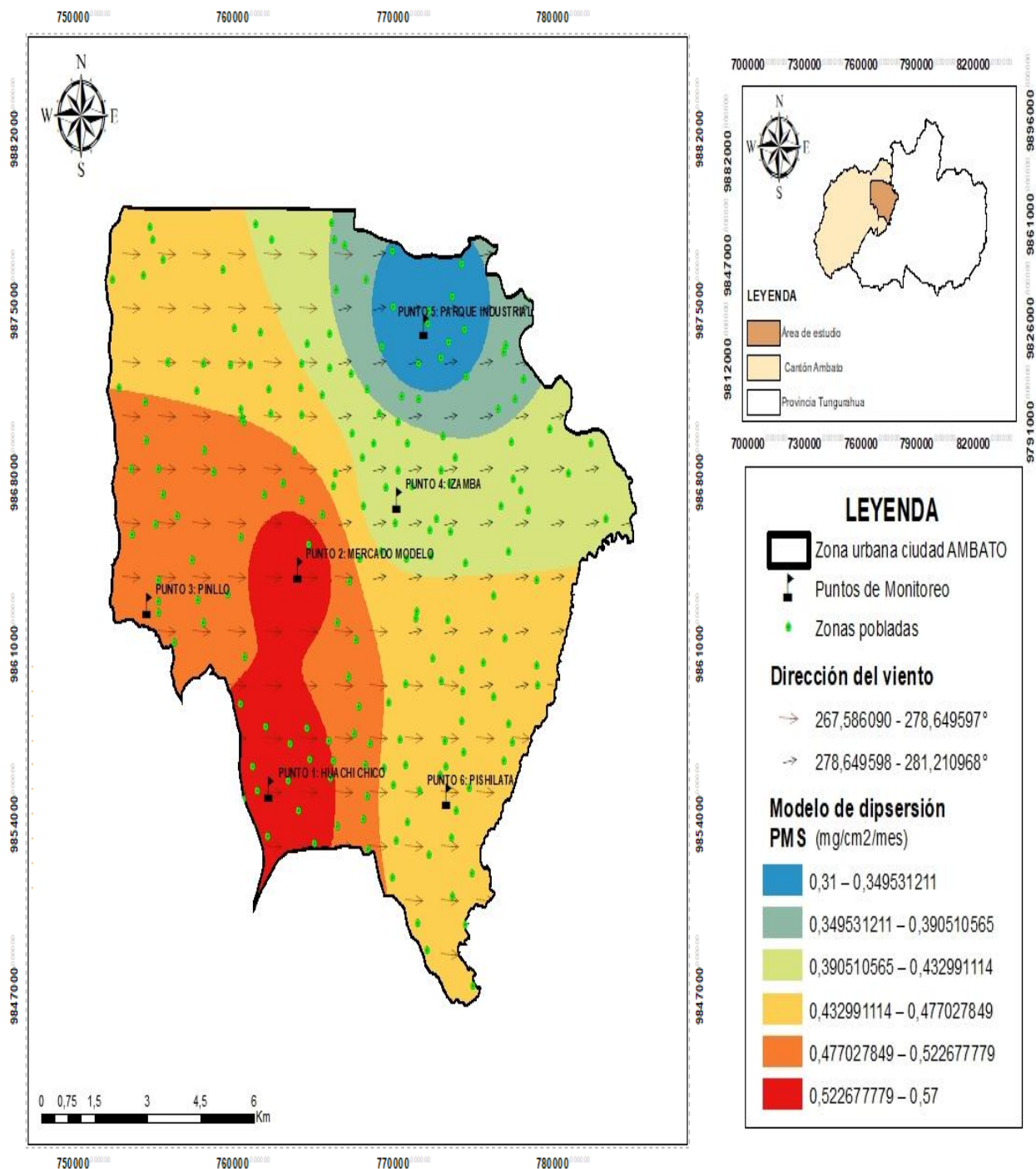


Figura 23: Modelo de dispersión de PMS, en la zona urbana de la ciudad de Ambato

Autor: Jennyfer Cevallos B.

En los sitios de monitoreo se realizó el modelo de dispersión para el material particulado sedimentable, los puntos de mayor concentración se encuentran en las zonas del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, siendo el primer sector el punto de mayor concentración con un 0,57 mg/cm²/mes; el particulado tiende a dirigirse en dirección SE, de acuerdo al mapa de dirección del viento de las estaciones meteorológicas de la zona.

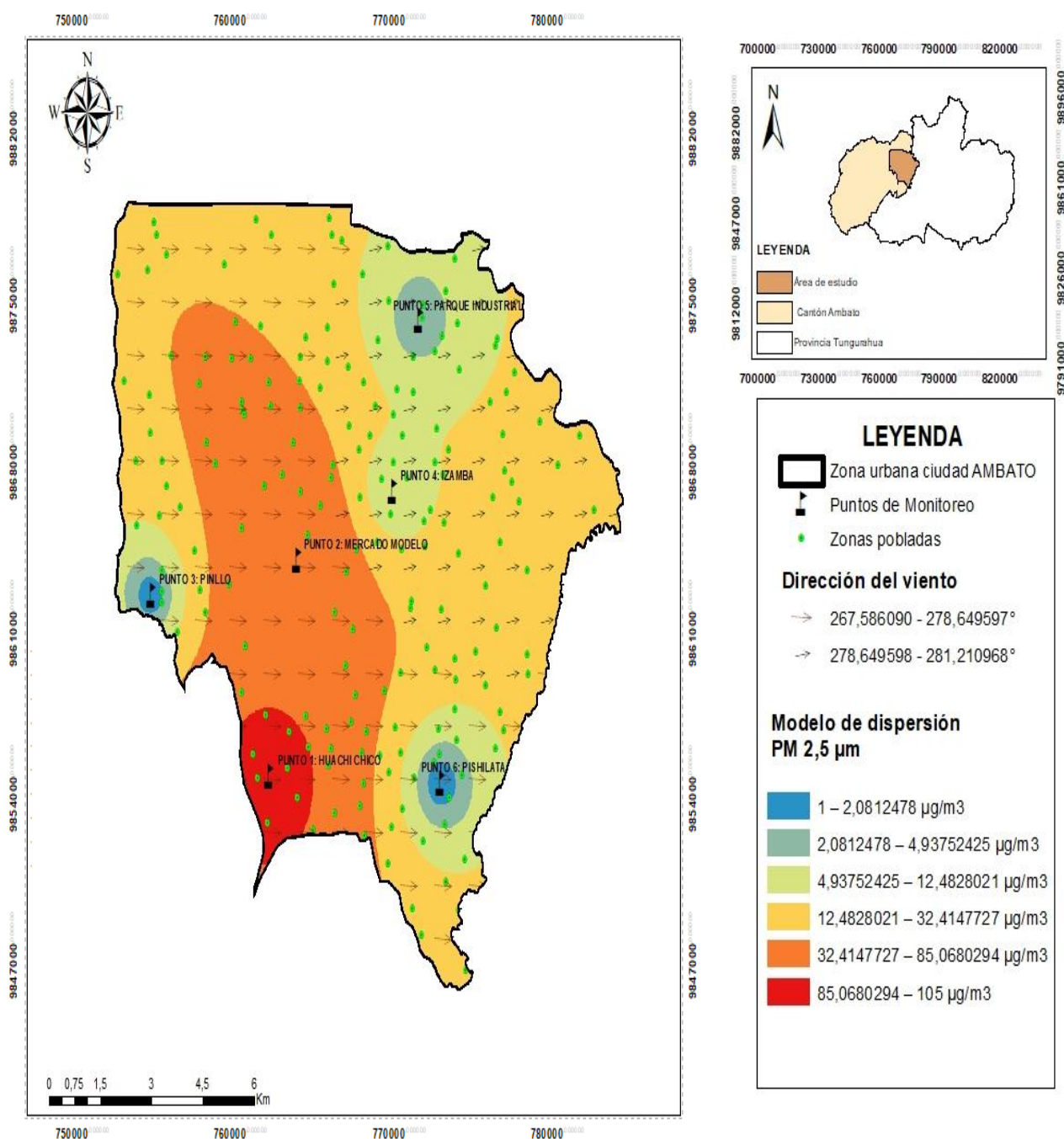


Figura 24: Modelo de dispersión de PMV 2,5 µm, en la zona urbana de la ciudad de Ambato

Autor: Jennyfer Cevallos B.

En los sitios de monitoreo se realizó el modelo de dispersión para el material particulado de 2,5 micras diario promedio en los tres horarios antes mencionados, los puntos de mayor concentración se encuentran en las zonas del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, siendo el primer sector el punto de mayor concentración con un 0,105 µg/m³; el particulado tiende a dirigirse en dirección NE, de acuerdo al mapa de dirección del viento que se obtuvo de las medias de las estaciones meteorológicas de la zona.

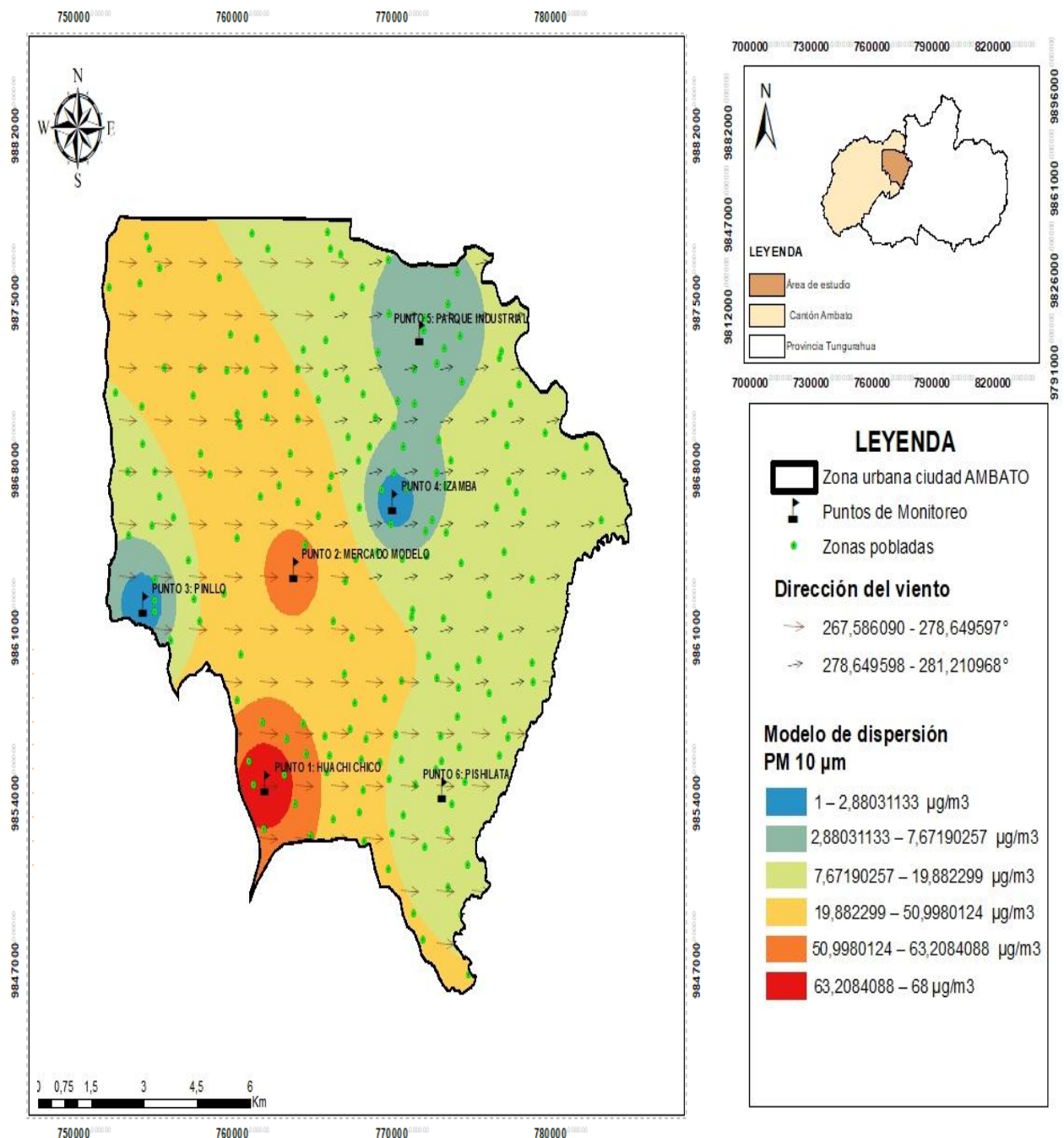


Figura 25: Modelo de dispersión de PMV 10 μm , en la zona urbana de la ciudad de Ambato

Autor: Jennyfer Cevallos B.

En los sitios de monitoreo se realizó el modelo de dispersión para el material particulado de 10 micras diario promedio en los tres horarios antes mencionados, el punto de mayor concentración se encuentra en la zona del Redondel de Huachi Chico con valor de 0,068 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; el particulado tiende a dirigirse en dirección NE, de acuerdo al mapa de dirección del viento que se obtuvo de las medias de las estaciones meteorológicas de la zona.

6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, existió mayor cantidad de material particulado sedimentable en el sector del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, ya que este sector aglomera el mayor índice de tráfico vehicular, pues están presentes buses interprovinciales, cantonales, urbanos, vehículos livianos, buses, camiones, tráileres, etc. A su vez es considerado como sectores de uso comercial, institucional y residencial. En los otros cuatro sectores de la zona urbana de la ciudad de Ambato, la cantidad es menor.
- Con respecto al material particulado volátil, todos los seis sectores presenta límites superiores a lo establecido en la normativa ecuatoriana y OMS pero se menciona que existe una mayor cantidad en el sector del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, además es importante mencionar que existieron datos donde se registraron valores altos de $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dentro del horario de las 12H00, evidenciándose un alto índice de tránsito vehicular; el PMV $2,5 \mu\text{m}$ está presente en mayor concentración en relación al PMV $10 \mu\text{m}$; debido a que las partículas menores a $2,5 \mu\text{m}$, son las más perjudiciales para el ser humano provocando efectos dañinos en la salud.
- Para el análisis del Material Particulado Sedimentable se realizó el monitoreo pasivo de las seis muestras durante el lapso de 30 días (1 mes), observando que en los sectores del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo los valores se encuentran fuera de la normativa de la OMS con valores de 0,57 y 0,55 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$, y en los sectores de monitoreo restantes, los valores son muy cercanos al límite establecido de 0,5 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$.
- Tanto para el material particulado volátil y material particulado sedimentable, los valores obtenidos del sector del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo son los más altos sobrepasando los límites permisibles establecidos por la legislación ecuatoriana y la Organización Mundial de la Salud, debido al alto índice de tráfico vehicular como también a la compleja e irregular topografía y construcciones de la ciudad; considerándose la contaminación del aire de la ciudad relativamente baja.
- Las técnicas de microscopía electrónica (SEM) conjuntamente con el microanálisis de rayos X (EDX), es confiable satisfaciendo el análisis de las muestras, ya que nos permite la caracterización morfológica y química elemental de cualquier tipo de material particulado, pues el conocimiento del mismo es importante desde una vista epidemiológico y técnico, permitiendo determinar los efectos en la salud humana por la presencia de compuestos tóxicos adheridas a las partículas presentes en el aire.

- Por primera vez en la ciudad de Ambato se caracterizó químicamente y morfológicamente el material particulado sedimentable, lográndose detectar en las muestras la presencia de 25 elementos químicos, siendo los de un alto contenido elementos como: O, C, Si, N y Rb los cuales son emitidas por diversas fuentes antropogénicas como la combustión de los combustibles que se utilizan en esta ciudad (gasolina, diésel), y de origen natural como materiales de la composición del suelo proveniente del polvo de los caminos y carreteras, de los procesos de construcción y del polvo arrastrado por el viento. (Quijano , Martinez, & Henao, 2010); y en escaso contenido se encontró K, Pt, Hg, Ba, Tl, Nb, Mb, Se, Ti y Ca.
- La caracterización morfológica resultó que las formas más predominantes en las muestras fueron de tipo esféricas, redondeadas, irregulares, placas angulares y porosas de tamaños mayores a 2,5 y 10 μm , que indican combustión u otro proceso realizado a alta temperatura (Cuellar, Borja, Ordoñez, & Rodriguez, 2009). El motivo por el cual no se detectó partículas de tamaño de 2,5 y 10 μm , es debido a que en el momento de realizar las microfotografías solo se lo realizó a una distancia de 200 μm debido a que si se lo realizaba a una menor escala la imagen se distorsionaba emitiendo resultados nulos.
- Se presentó la dispersión del material particulado, durante el mes de monitoreo producidos por el tráfico vehicular, mostrándose los sectores de mayor influencia en las zonas del Redondel de Huachi Chico y Mercado Modelo, el material particulado tuvo una dirección NE en todos los sectores monitoreados.

7. RECOMENDACIONES

- Es necesario incrementar este tipo de estudios ya que constituyen una primera posibilidad para conocer las características químicas y morfológicas del material particulado sedimentable en las regiones que fueron analizadas, contribuyendo así a una posible instalación de una red de monitoreo de la calidad de aire para el sector urbano de la ciudad de Ambato sugiriendo convenios con las instituciones competentes del mismo.
- Al ser los automotores una de las principales causas de emisión de PMS y PMV, es necesario implementar una solución técnica y económica, para reducir la contaminación, siendo posiblemente estas la modificación de sistemas reductores de emisiones en el escape de los motores y control en el aceite lubricante.

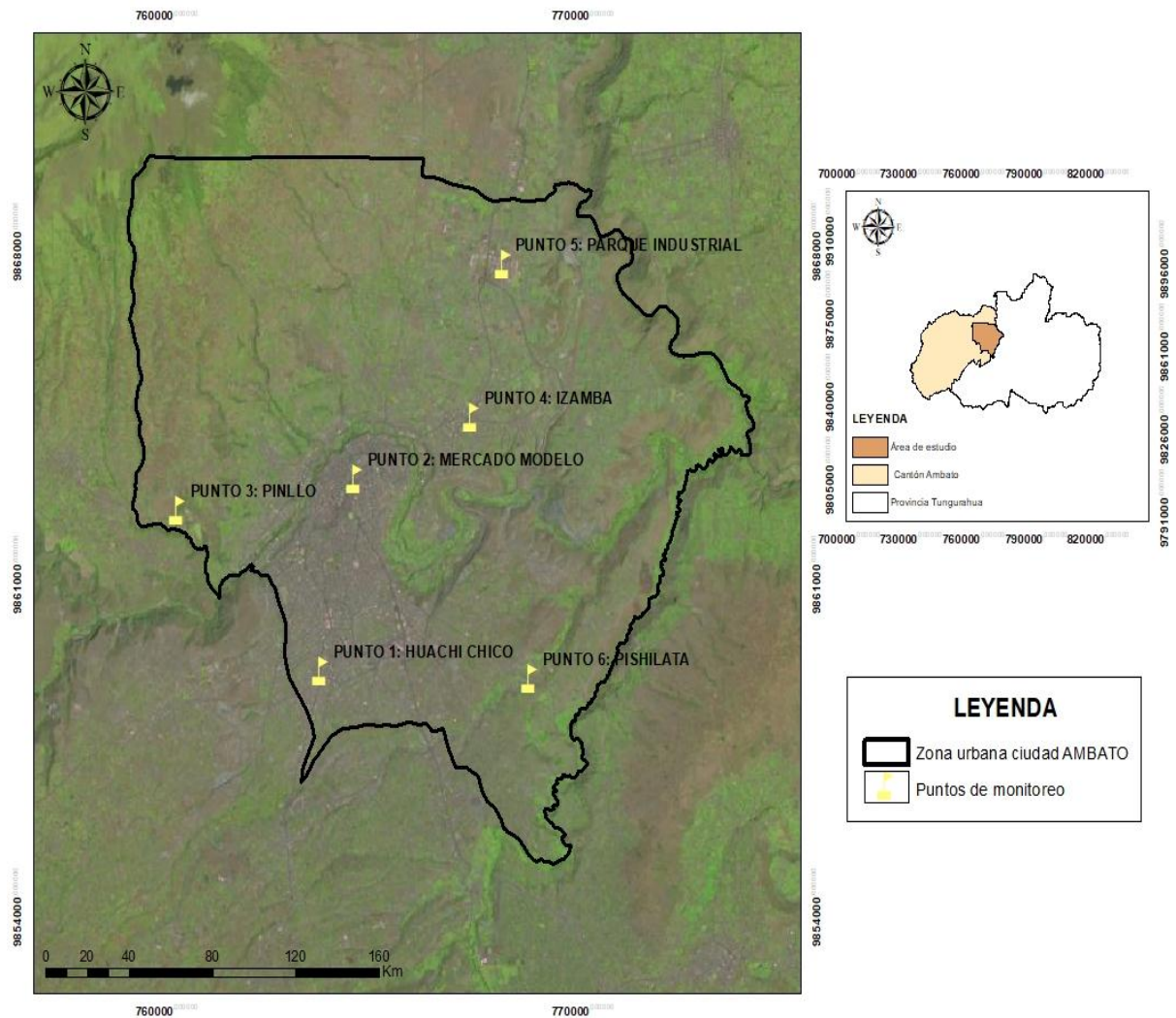
8. BIBLIOGRAFÍA

- IGEPN . (26 de Junio de 2017). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional* .
Obtenido de <http://igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1491-visitas-al-ovt-por-parte-de-estudiantes-universitarios>
- Adame, A. R. (2010). *Contaminación ambiental y calentamiento global*. México: Trillas.
- 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*, 29-38.
- Aragon, A. (Octubre de 2009). *Caracterizacion de Particulas Suspendidas con elementos Pesados por Microscopia Electronica de Barrido*. Obtenido de http://ambiental.uaslp.mx/docs/PM2.5_AntonioAragonPina.pdf
- ATSDR. (06 de Mayo de 2016). *Resúmenes de Salud Pública - Selenio (Selenium)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs92.html
- Belmonte, B. G. (2015). Cámaras de Combustión. En *Motores de Reacción y Turbinas de Gas* (pág. 314). Paraninfo.
- Bergman , J. (13 de Mayo de 2011). *Carbón Negro*. Obtenido de NESTA: https://www.windows2universe.org/earth/climate/black_carbon.html&lang=sp
- Bermeo, A. (Octubre de 2016). Análisis cuantitativo del material particulado sedimentable con variables meteorológicas en 13 estaciones de la ciudad de Ambato. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Cuellar, F., Borja, M., Ordoñez, E., & Rodriguez, I. (2009). Análisis temporal de las concentraciones y morfología de partículas suspendidas menores a 10 micrometros de la zona industrial del Valle de Toluca, Estado de México. *Afinidad IQS*, 1-5.
- Díaz, V. (Abril de 2015). *Informe de la Calidad del Aire en Quito*. Obtenido de www.quitoambiente.gob.ec
- Flores, J. P., Sukla, M., Wang, J., & Hernández, B. (2011). Material Particulado dispersado al aire por vehículos en caminos agrícolas no pavimentadas. *TERRA Latinoamericana*, 23-34.
- Garrido, A. P., & Camargo, Y. (2012). Partículas respirables en el aire: generalidades y monitoreo en Latinoamérica. *INGE CUC*, 1-20.

- Gobierno de Aragón. (2017). *La calidad de Airen en Aragón*. Obtenido de http://www.aragonaire.es/particulatematter.php?n_action=distribution
- Irrázabal, R., De La Maza, C., & Serrano, M. (2012). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Santiago de Chile: AMF.
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Lináres, M., . . . Velásquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *SciELO*, 1-12.
- MAE. (2012). *Texto Unificado Legislación Secundaria*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/TEXTO-UNIFICADO-LEGISLACION-SECUNDARIA-MEDIO-AMBIENTE.pdf>
- México, I. N. (2010). *Importancia de las partículas PM 2.5*. Obtenido de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/695/importancia.pdf>
- Mićović, V., Alebić, A., Matković, N., & Crvelin, G. (2010). Dustfall measurements in Primorsko-Goranska County, 1975-2008. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 37-43.
- MMA. (2011). *Contaminación del Aire Chile.pdf*. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/ciencias/2012/2/QA_812/1/material_docente/previsualizar?id_material=626798
- MMA. (2012). *Informe Ambiental Programa Aire Limpio*. Obtenido de http://www.forestal.uchile.cl/documentos/informe-ambiental-2012_83250_0_4312.pdf
- MMA. (2012). *Informe Ambiental Programa Aire Limpio*. Obtenido de http://www.forestal.uchile.cl/documentos/informe-ambiental-2012_83250_0_4312.pdf
- NECA. (07 de Junio de 2011). *Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire*. Obtenido de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
- OMS. (Septiembre de 2016). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediaentre/factsheets/fs313/es/>

- Quijano , A., Martinez, J., & Henao, J. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM_{2,5} en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua*, 1-20.
- Salud, O. M. (Marzo de 2017). *El mercurio y la salud*. Obtenido de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- Santillán, P. (2016). Estimación del grado de contaminación de Material Particulado Atmosférico y Sedimentable en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH. *Perfiles*, 8.
- Secretaría Distrital del Ambiente. (2009). *Elementos Técnicos del Plan Decenal de Descontaminación de Bogotá*. Bogotá : Universidad de los Andes.
- Sorgato, V. (10 de Junio de 2016). *El Comercio: Seis Urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>
- Strauss, W., & Mainwaring, S. (2011). *Contaminación del Aire, causas, efectos y soluciones*. México : Trillas.
- Venegas, L., & Martin, P. (Noviembre de 2014). *Concentración de Matrial Particulado en aire en la ciudad de Buenos Aires*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina14/venegas2.pdf>
- Zapata, C., Quijano, R., Molina, E., Rubiano, C., & Londoño, G. (2008). Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad de aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. *Gestión Y Ambiente*, 67-84.

9. ANEXOS



9.1. Análisis Estadístico – “Zona Urbana de la ciudad de Ambato” – $PM_{2,5}$

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR	6	0	0,09533	0,00457	0,01118	0,08200	0,08425	0,09550
Variable	Maximum							
ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR	109,00							
Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ZONA DE BAJO TRÁFICO VEHICULAR	12	0	0,002583	0,000949	0,003288	0,001000	0,001000	0,001000
Variable	Maximum							
ZONA DE BAJO TRÁFICO VEHICULAR	12,000							

9.2. Análisis Estadístico - “Zona Urbana de la ciudad de Ambato” – PM₁₀

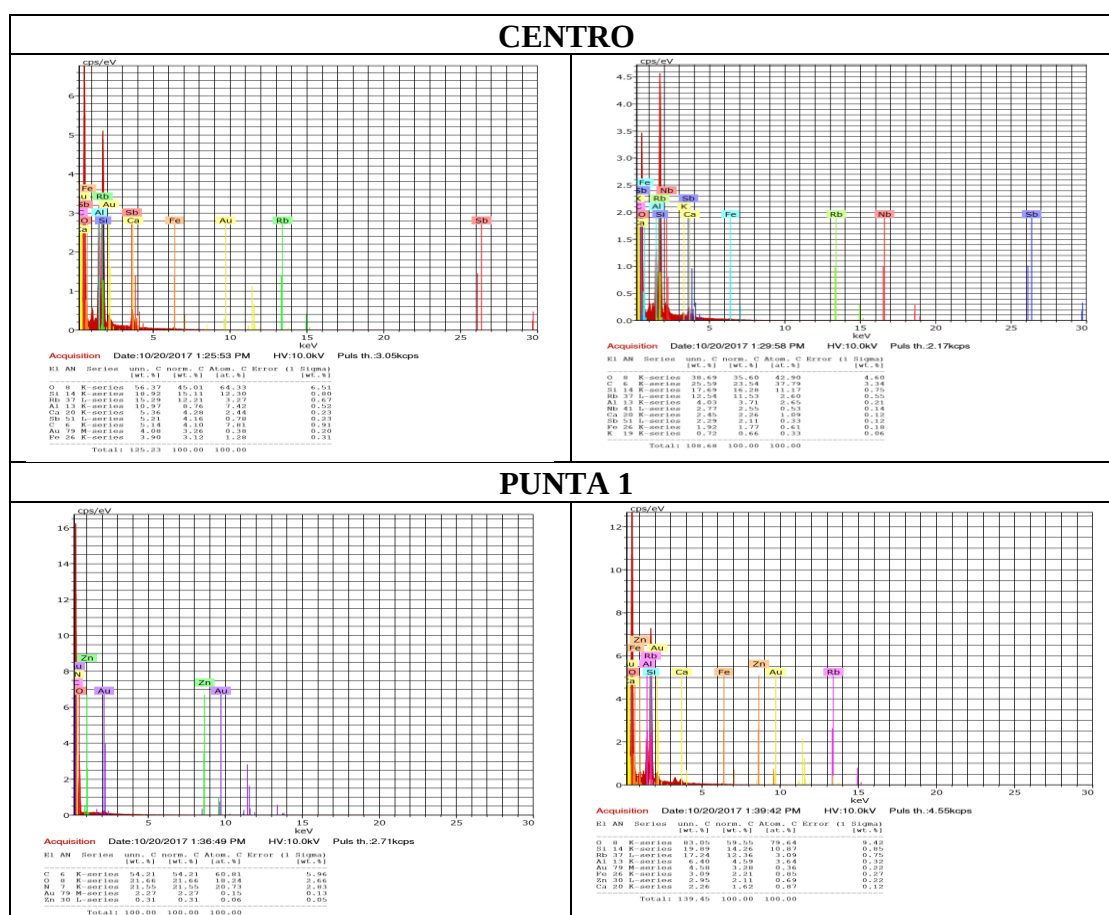
Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR	6	0	0,0775	0,0101	0,0246	0,0460	0,0490	0,0850	0,0988

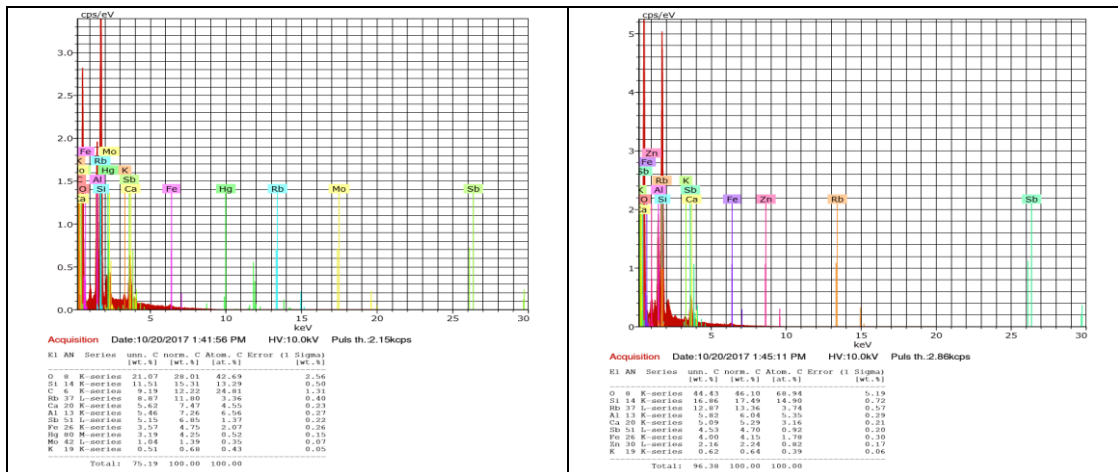
Variable	Maximum
ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR	101,0

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
ZONA DE BAJO TRÁFICO VEHICULAR	12	0	0,00333	0,00110	0,00380	0,00100	0,00100	0,00100

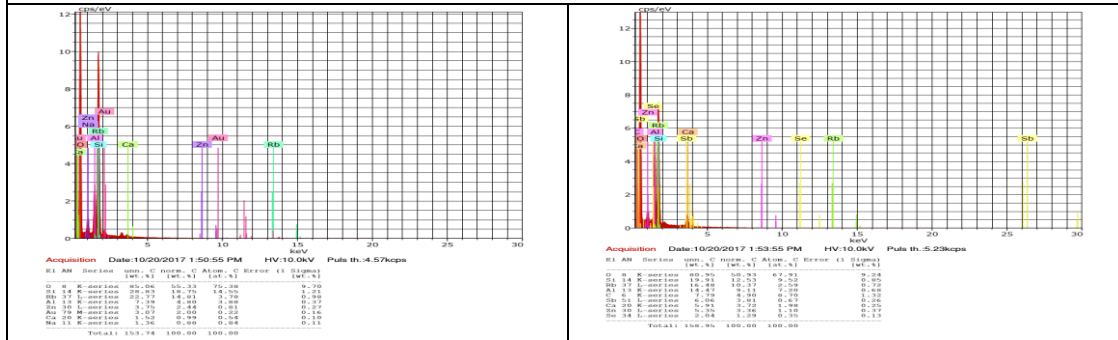
Variable	Q3	Maximum
ZONA DE BAJO TRÁFICO VEHICULAR	6,00	13,00

Tabla 9. Caracterización química AMBATO “Huachi Chico”

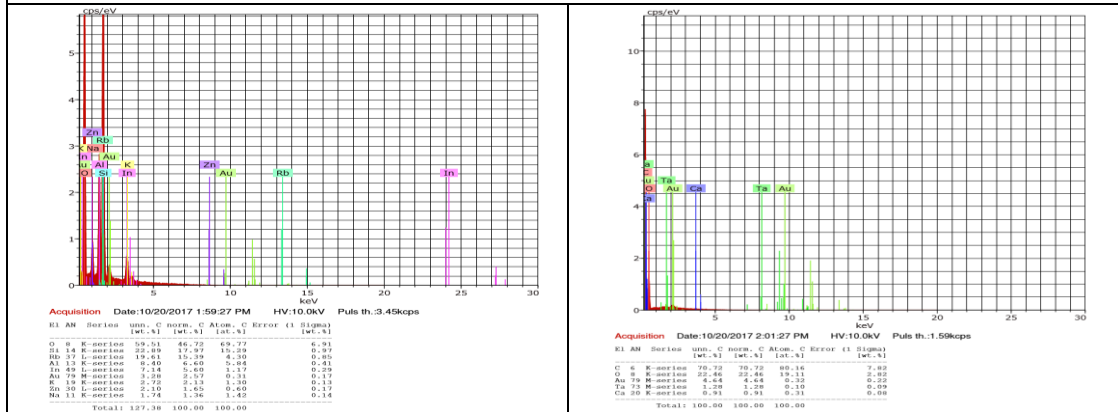




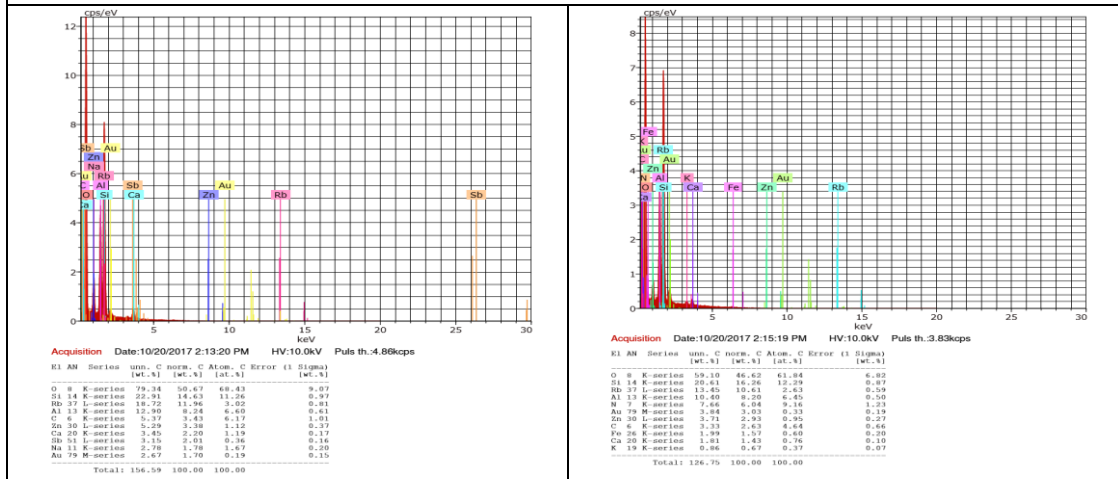
PUNTA 2

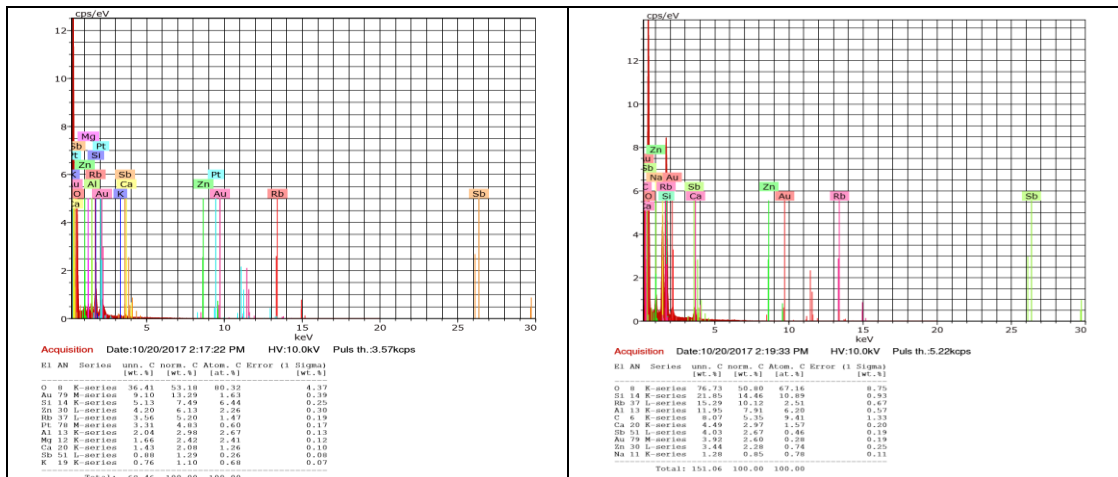


PUNTA 3



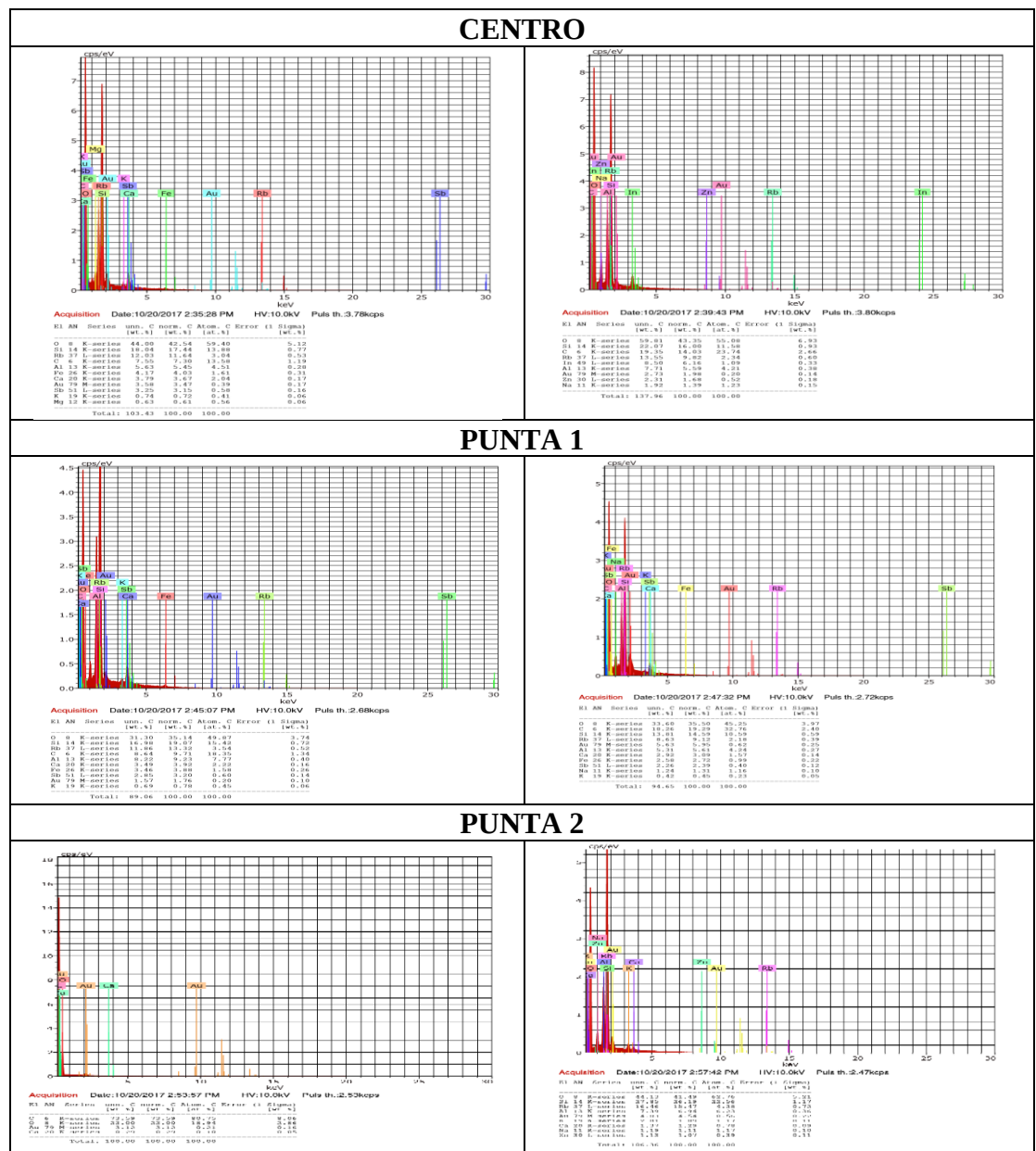
PUNTA 4



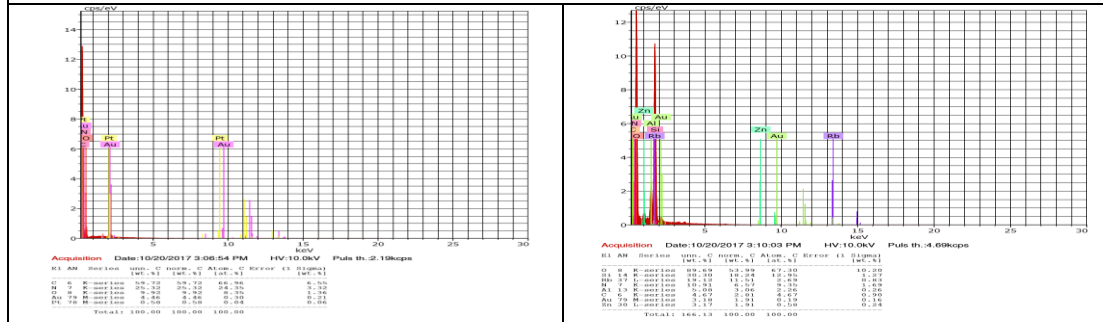


Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

Tabla 10. Caracterización química AMBATO “Av. Cevallos”



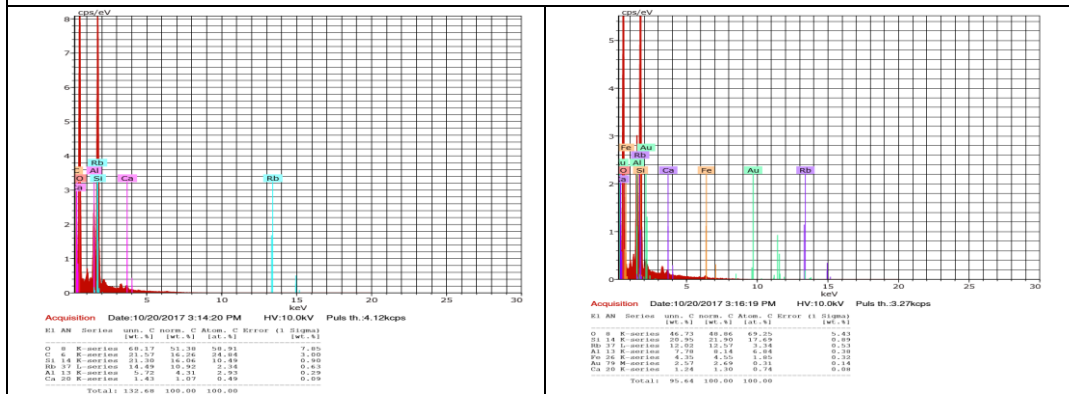
PUNTA 3



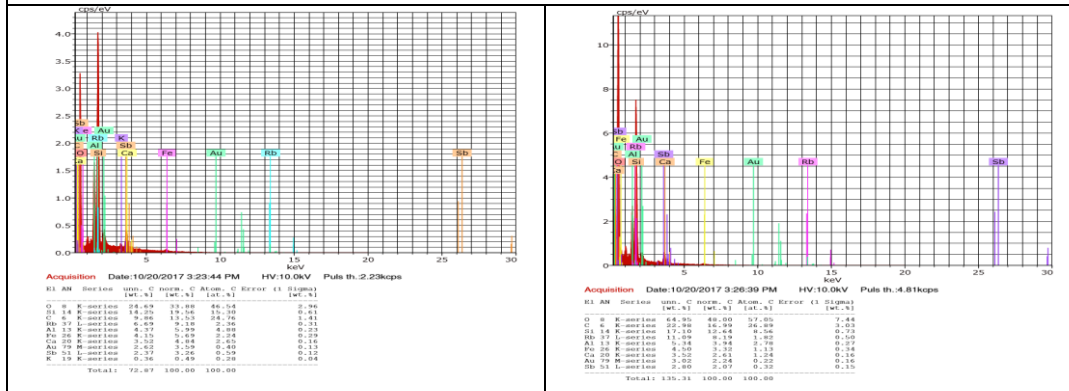
Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

Tabla 11. Caracterización química AMBATO “Pinllo”

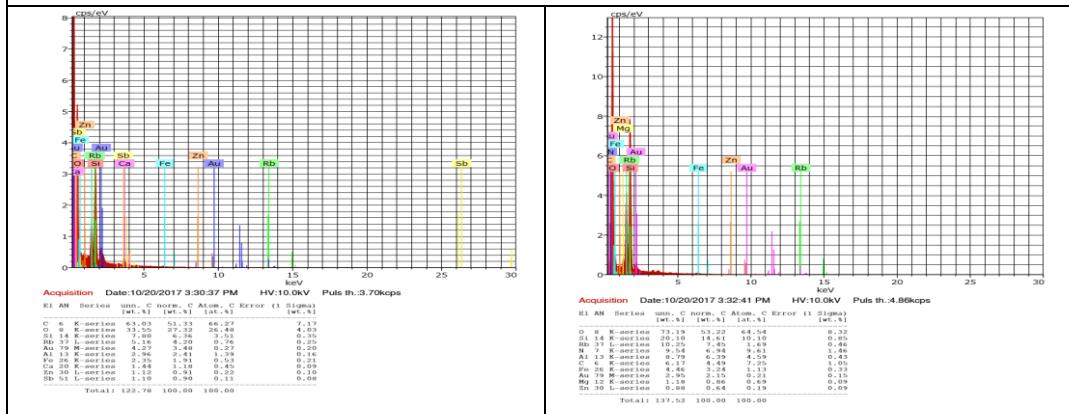
CENTRO



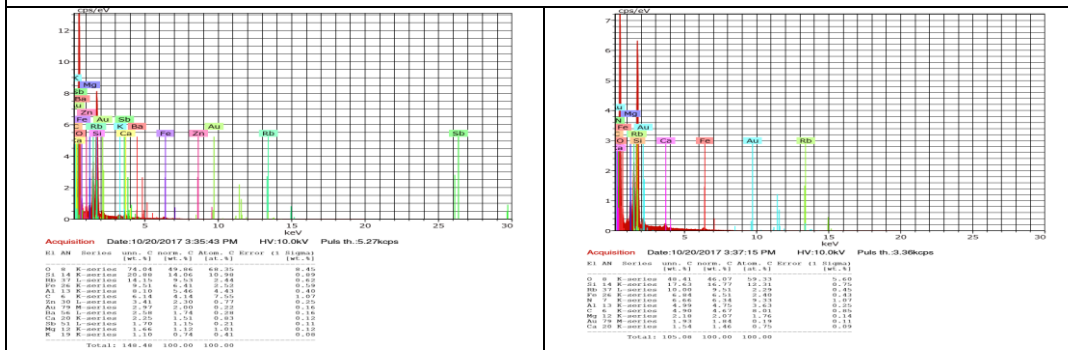
PUNTA 1



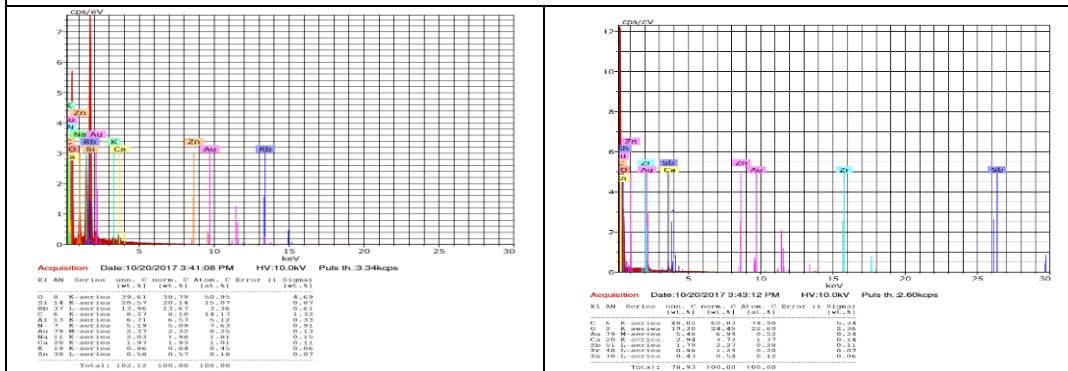
PUNTA 2



PUNTA 3



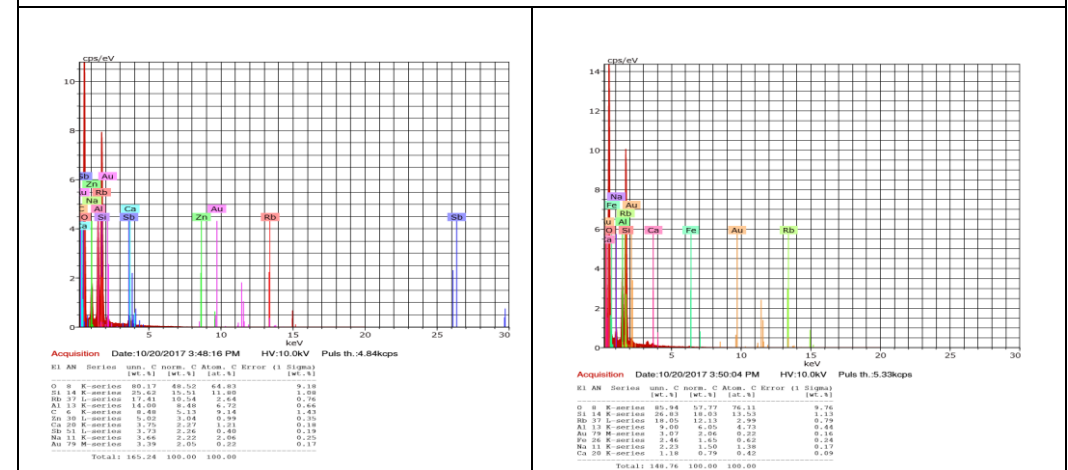
PUNTA 4



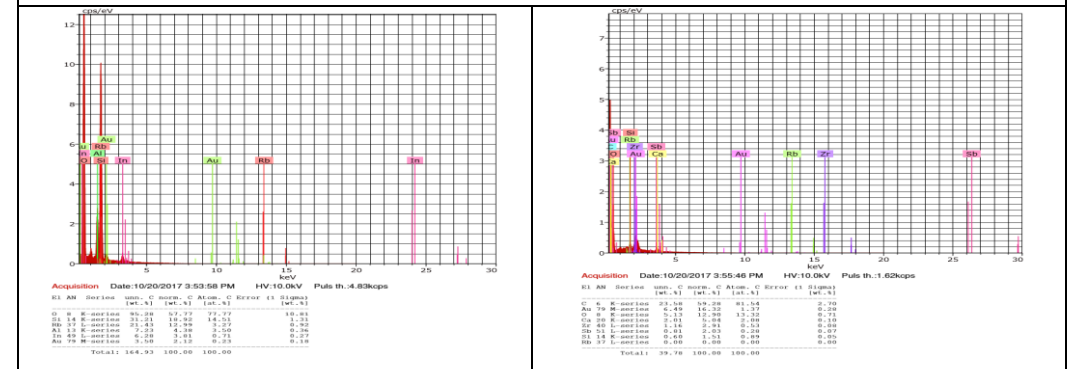
Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

Tabla 12. Caracterización química AMBATO "Pishilata"

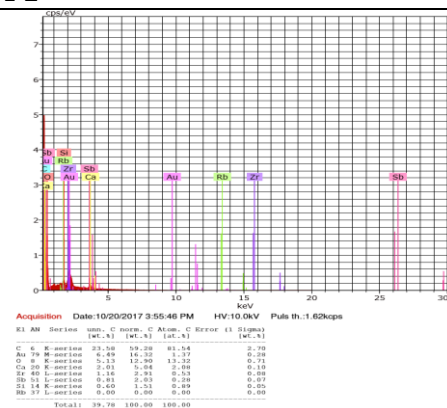
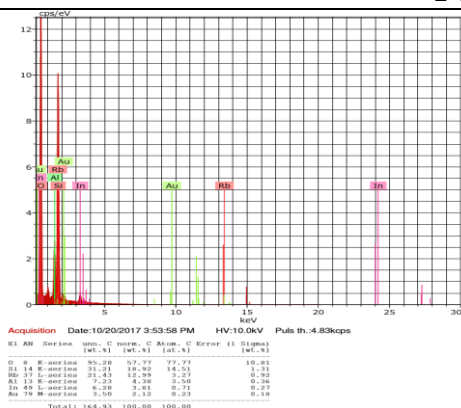
CENTRO



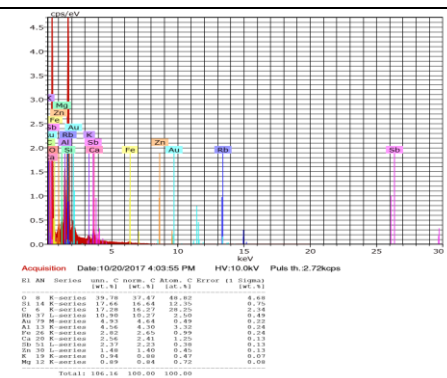
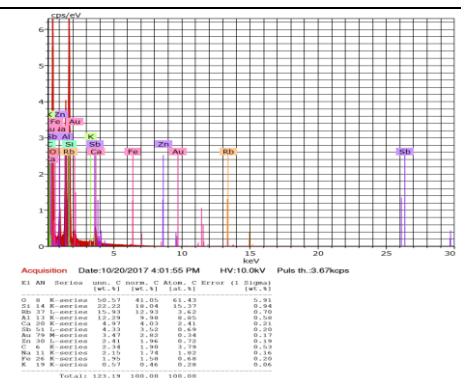
PUNTA 1



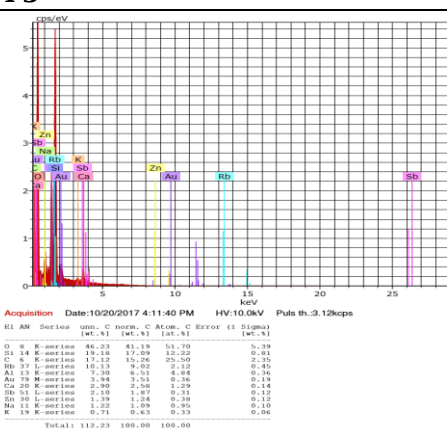
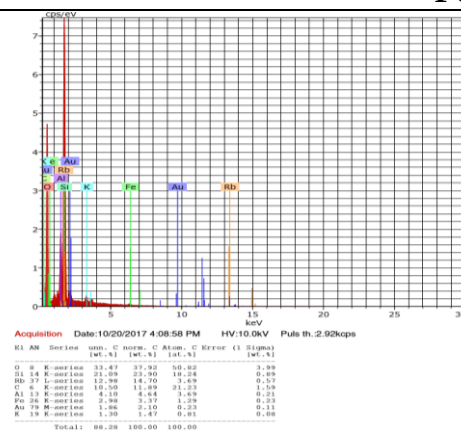
PUNTA 1



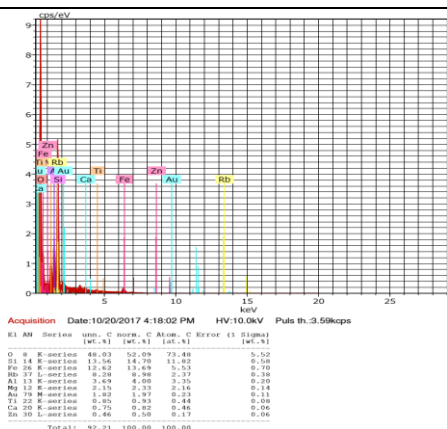
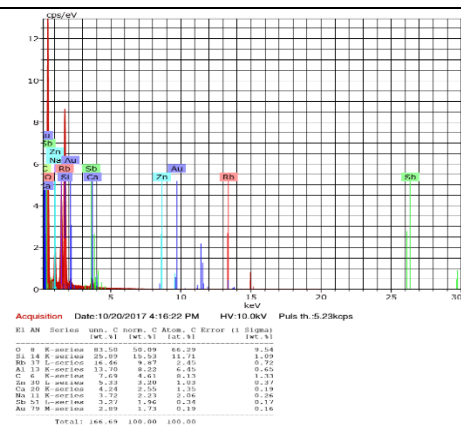
PUNTA 2



PUNTA 3

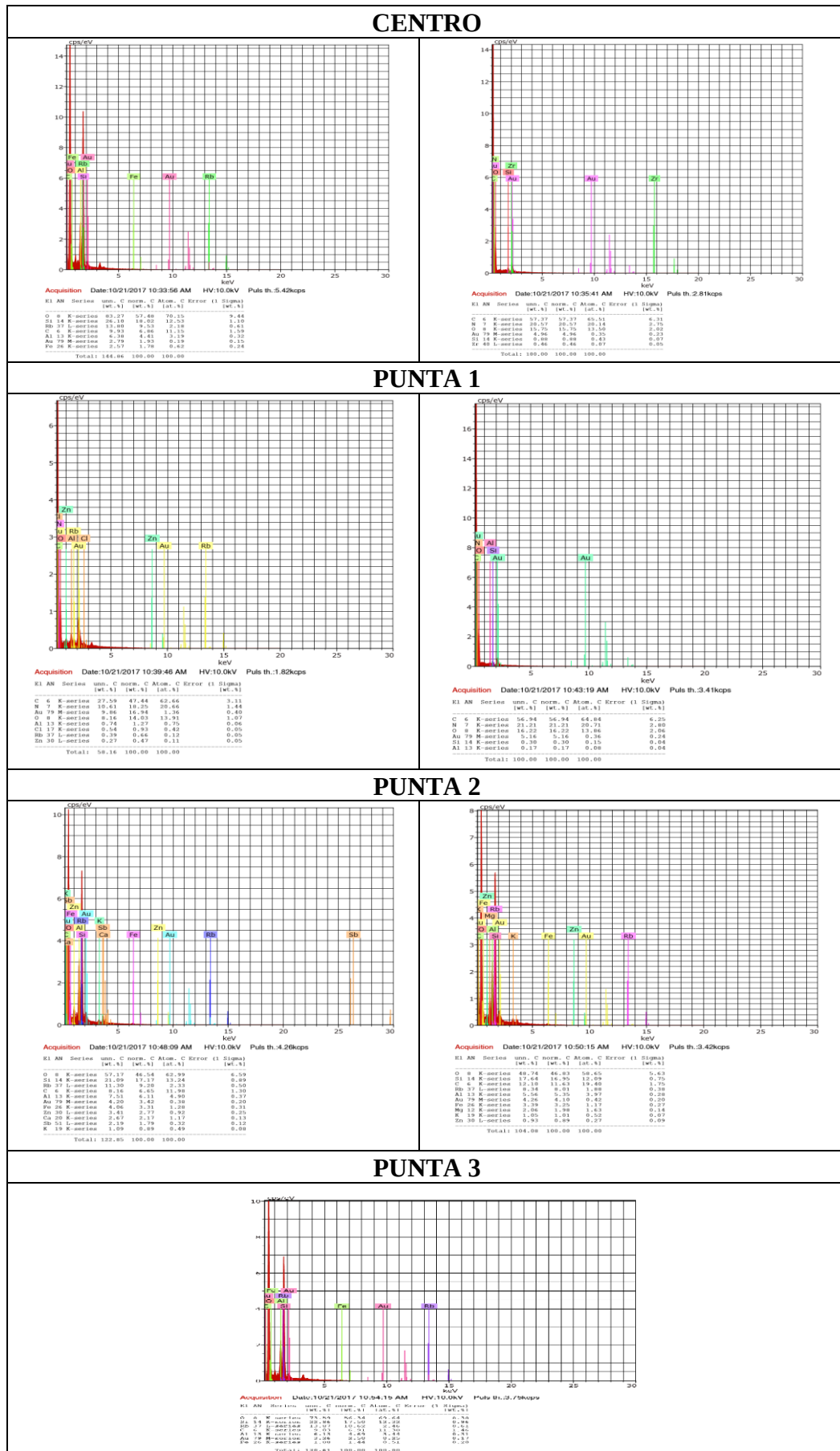


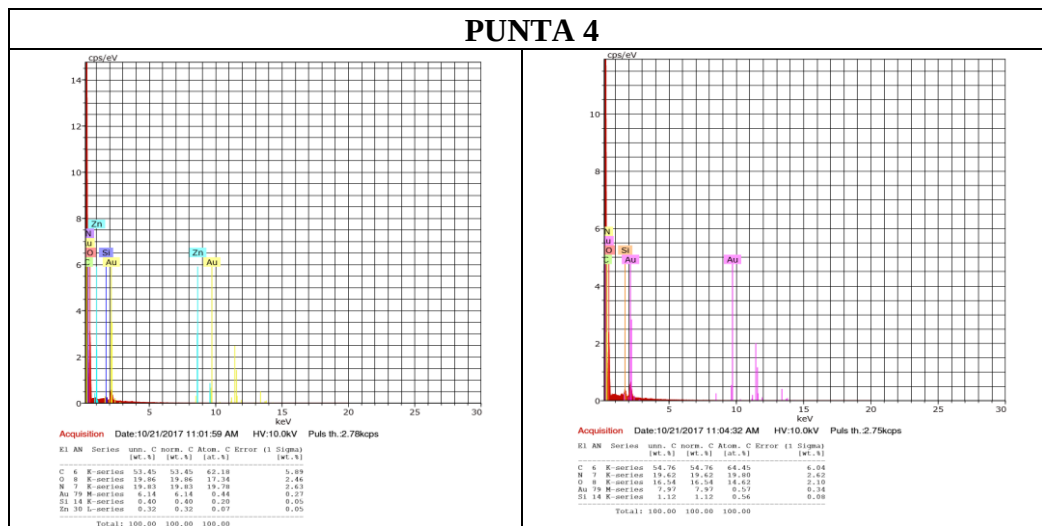
PUNTA 4



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

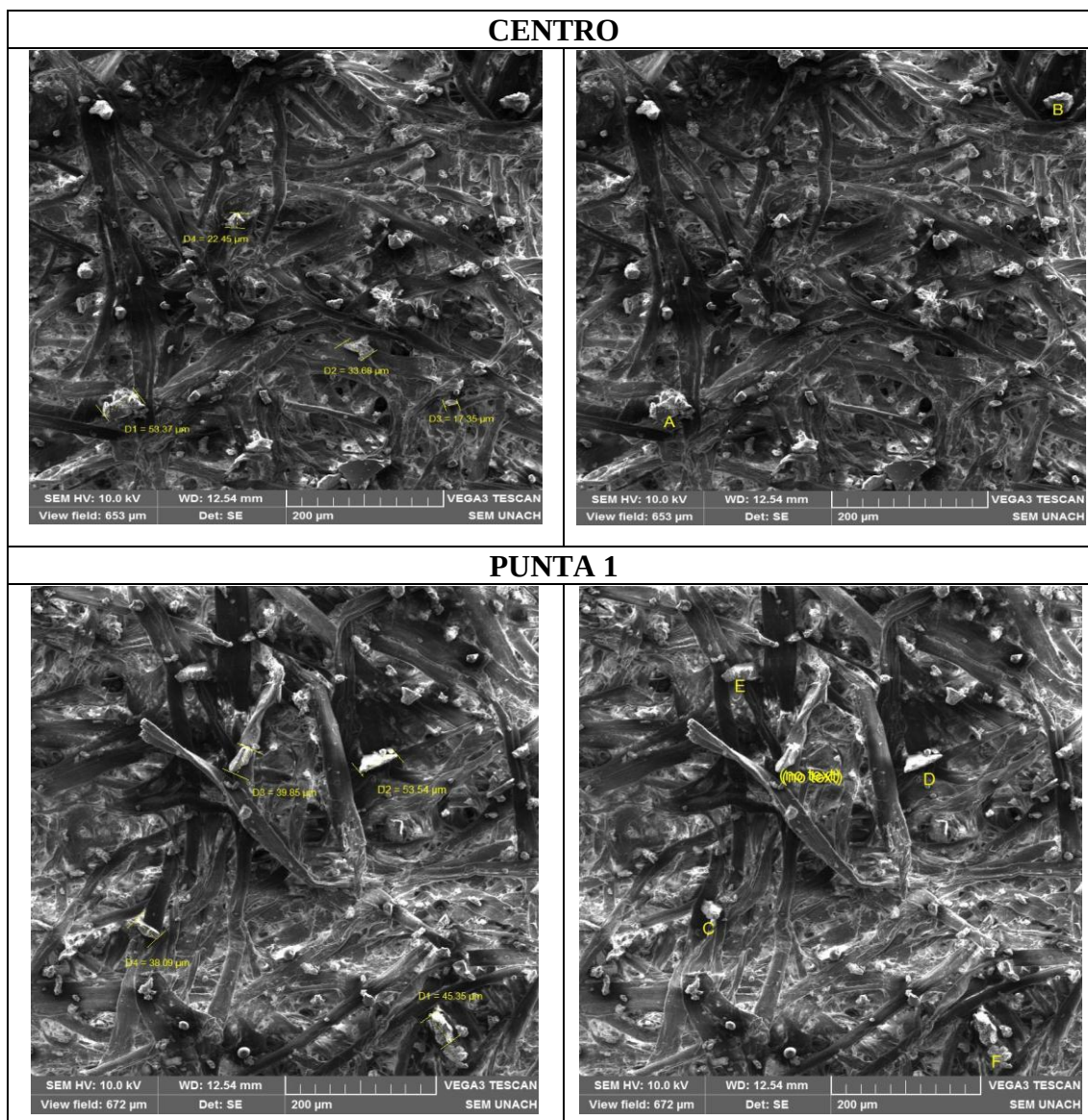
Tabla 14. Caracterización química AMBATO “Parque Industrial”

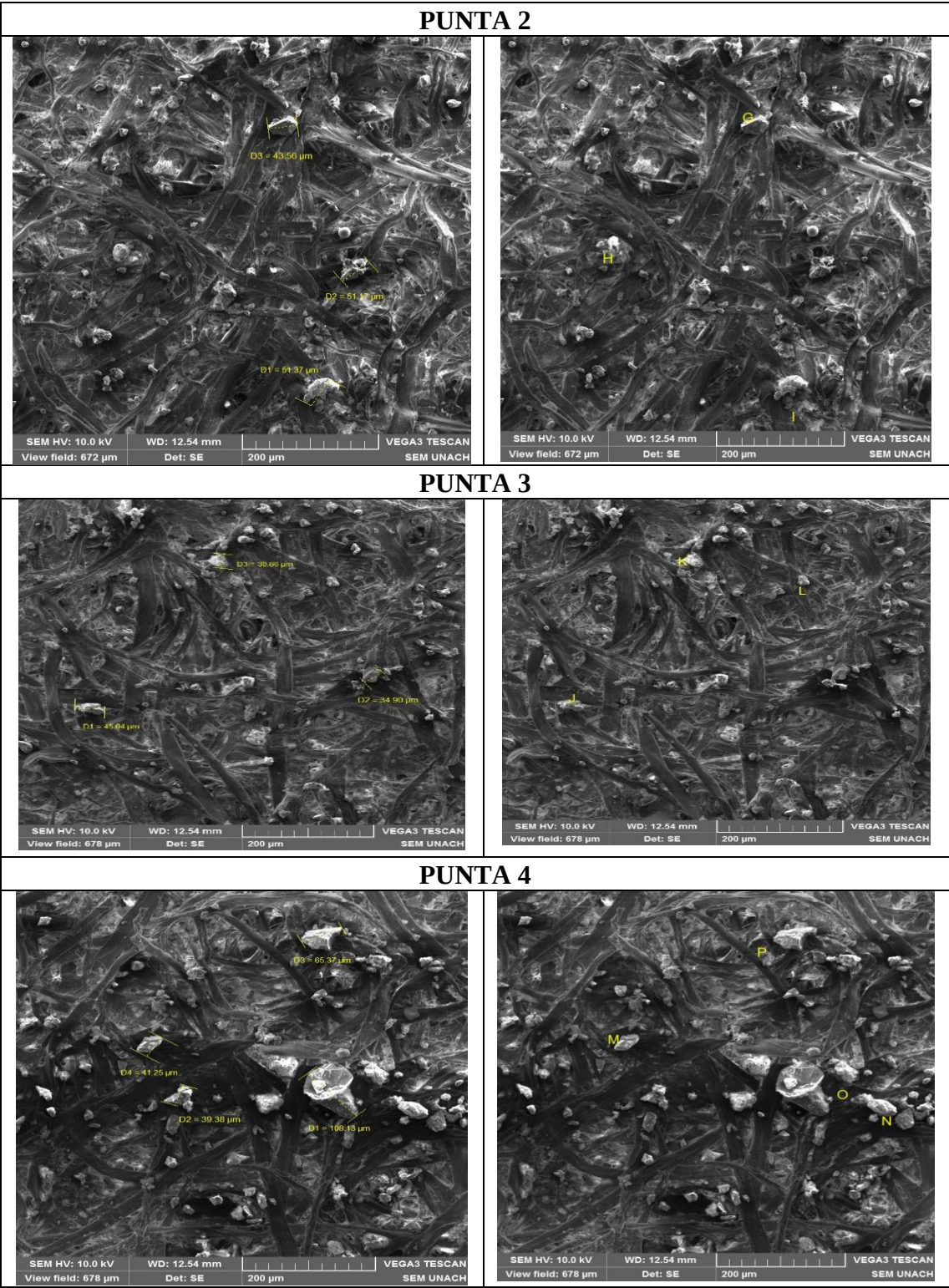




Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

Tabla 15. Caracterización física AMBATO “Huachi Chico”

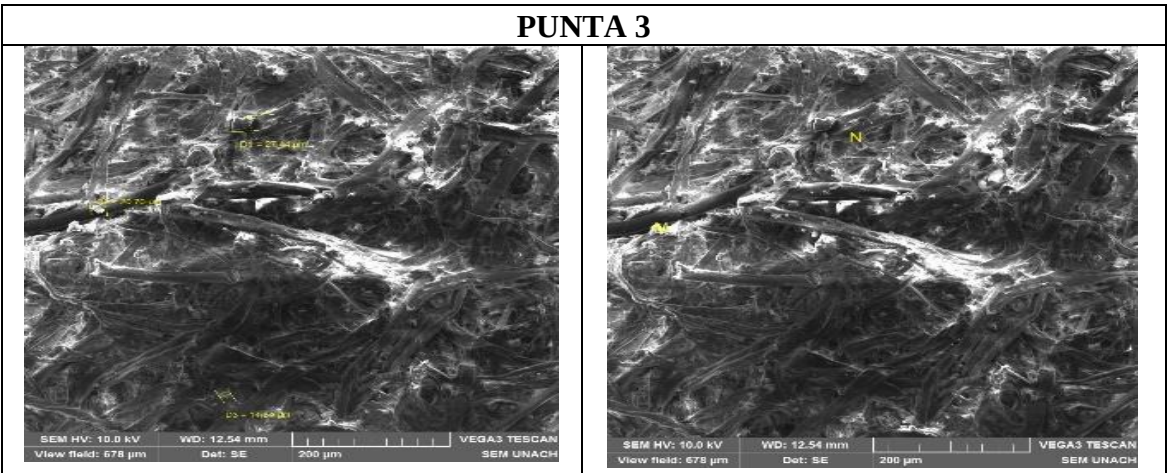




Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

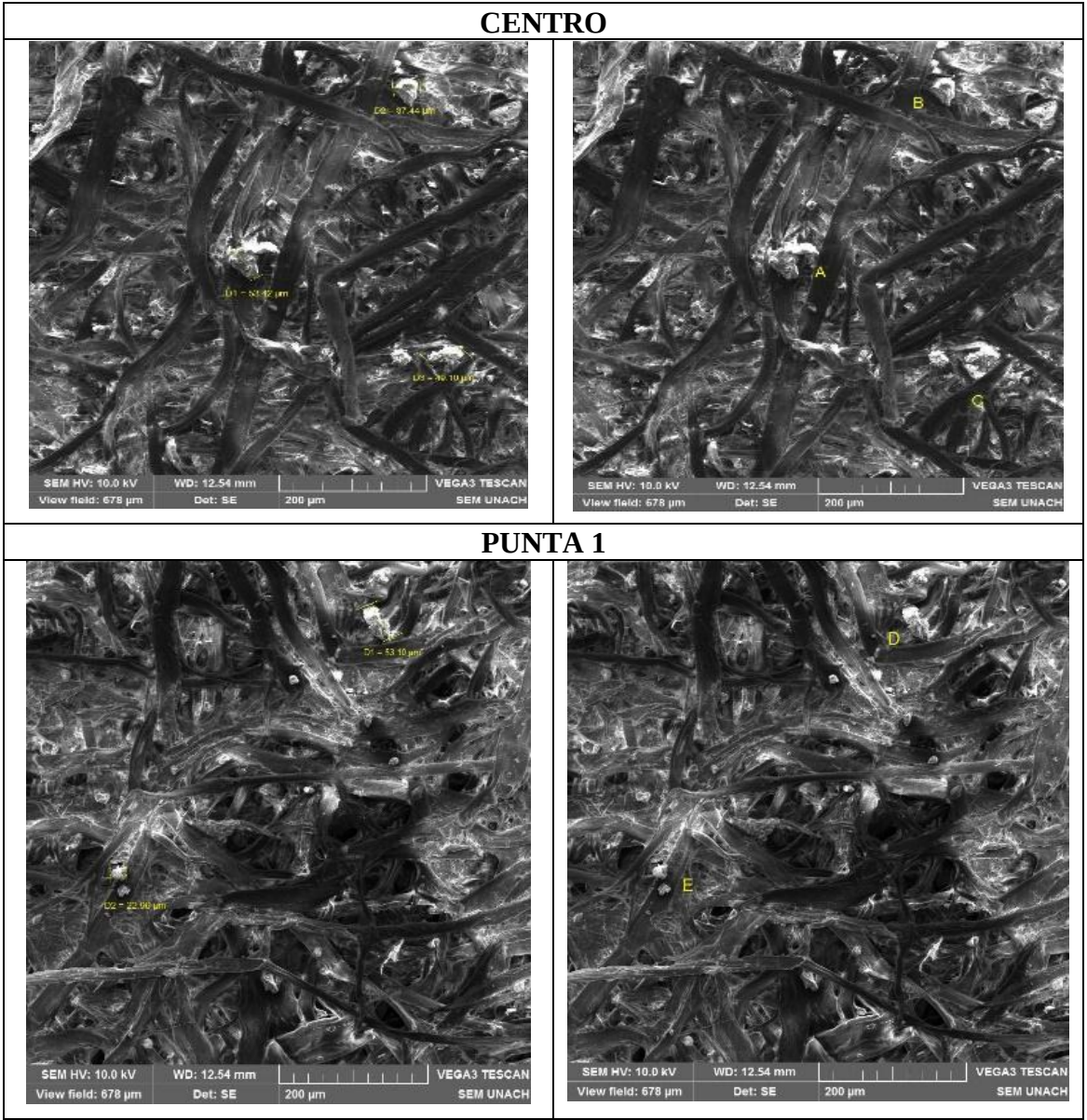
Tabla 16. Caracterización física AMBATO “Av. Cevallos”

CENTRO	
PUNTA 1	
PUNTA 2	

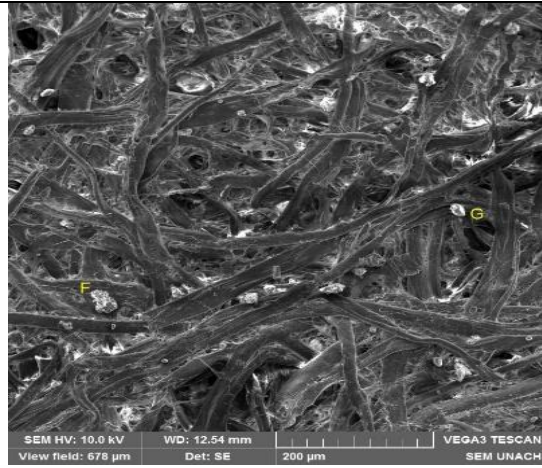
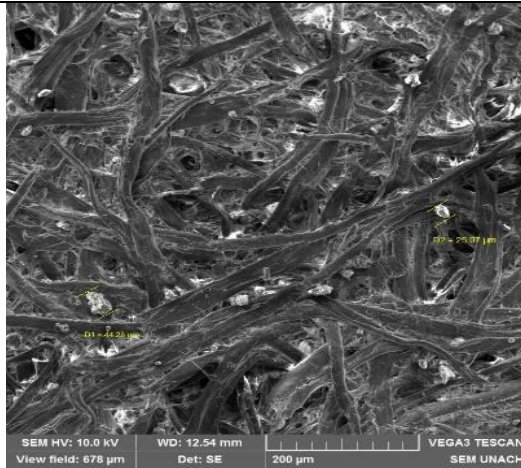


Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

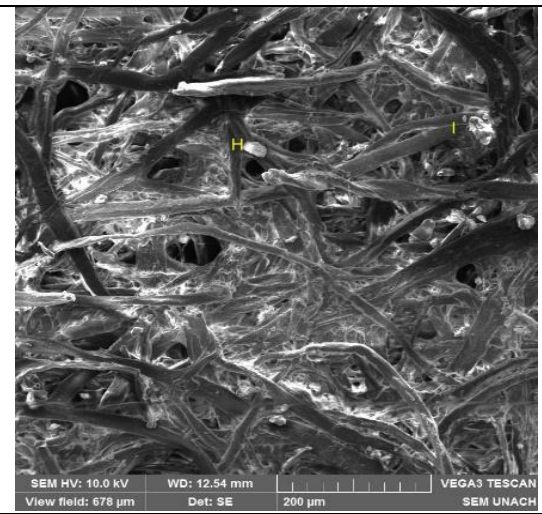
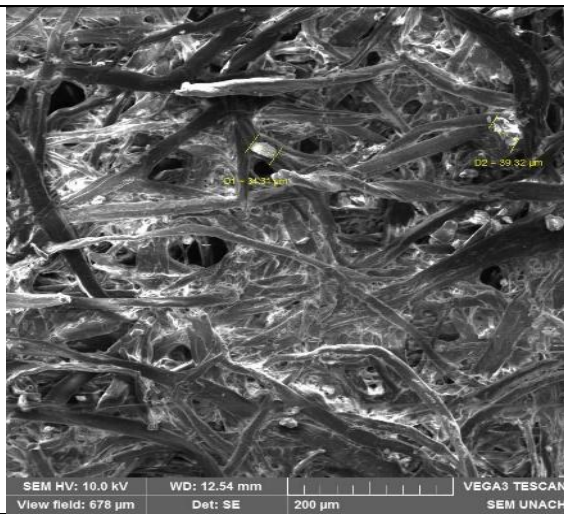
Tabla 17. Caracterización física AMBATO “Pinllo”



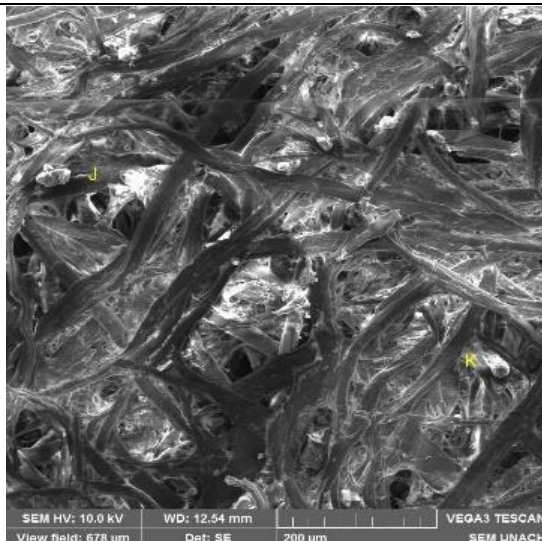
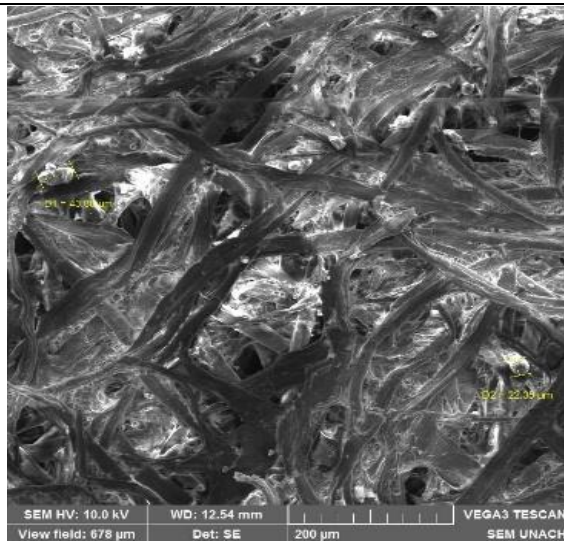
PUNTA 2



PUNTA 3

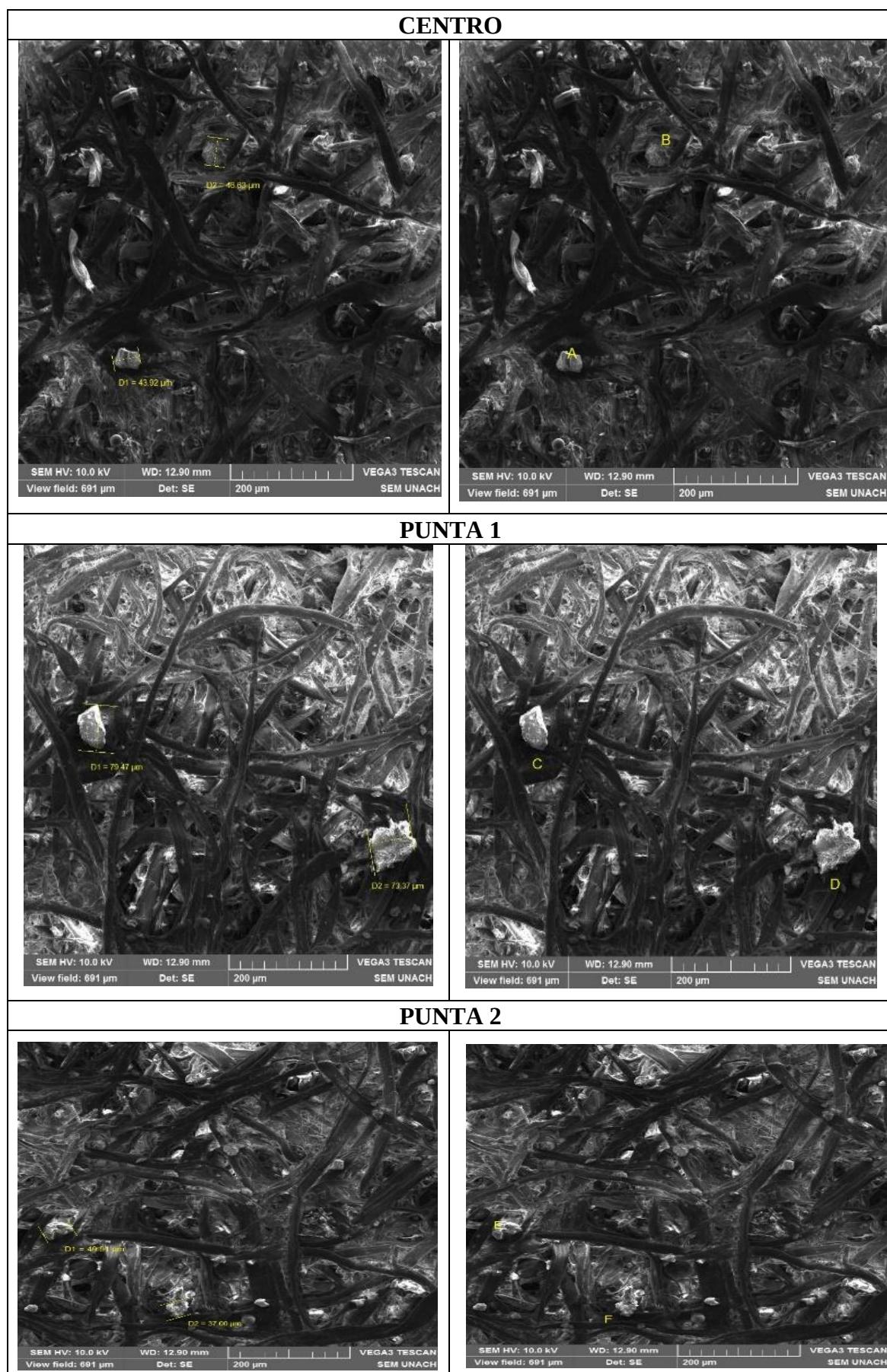


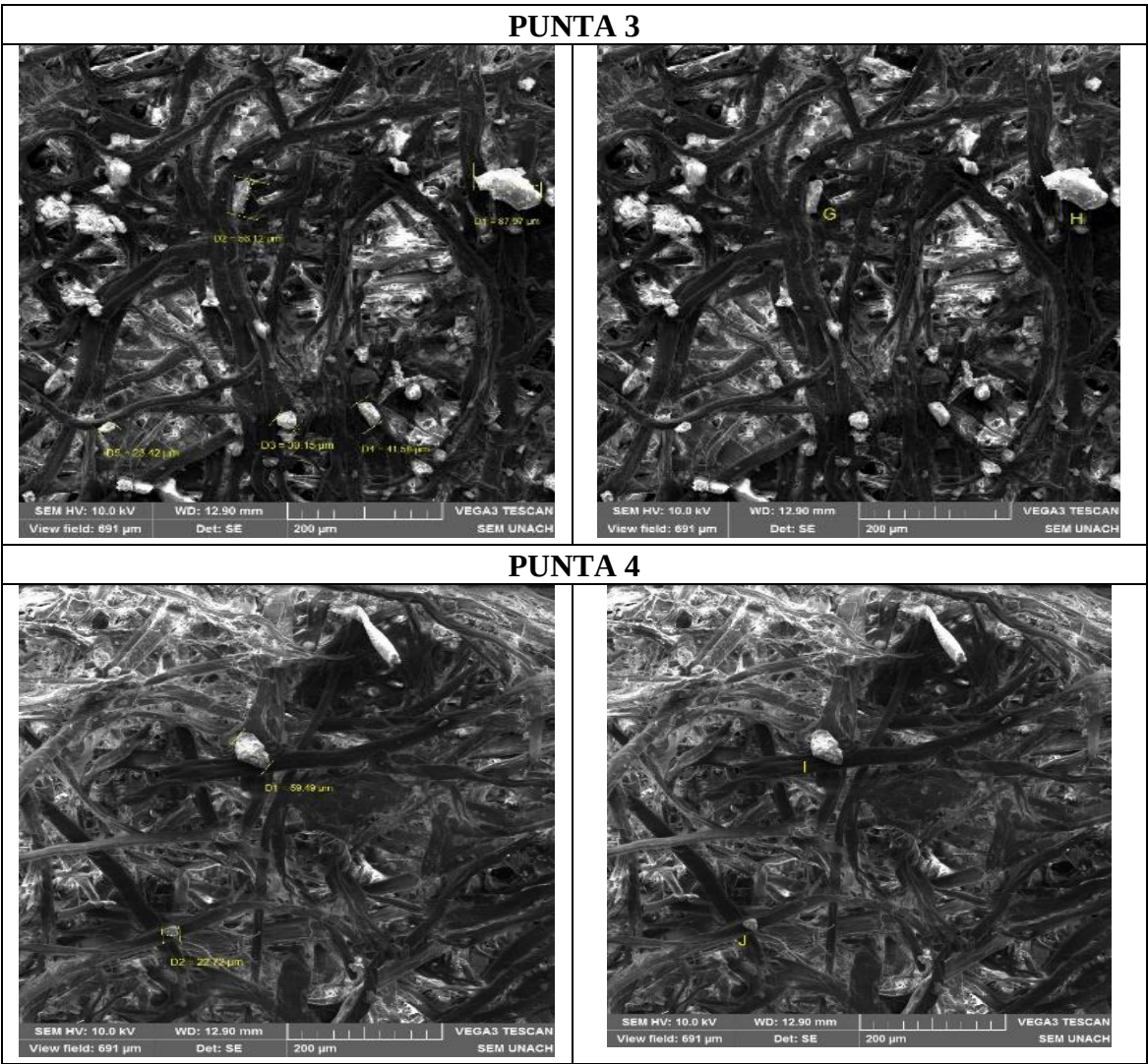
PUNTA 4



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

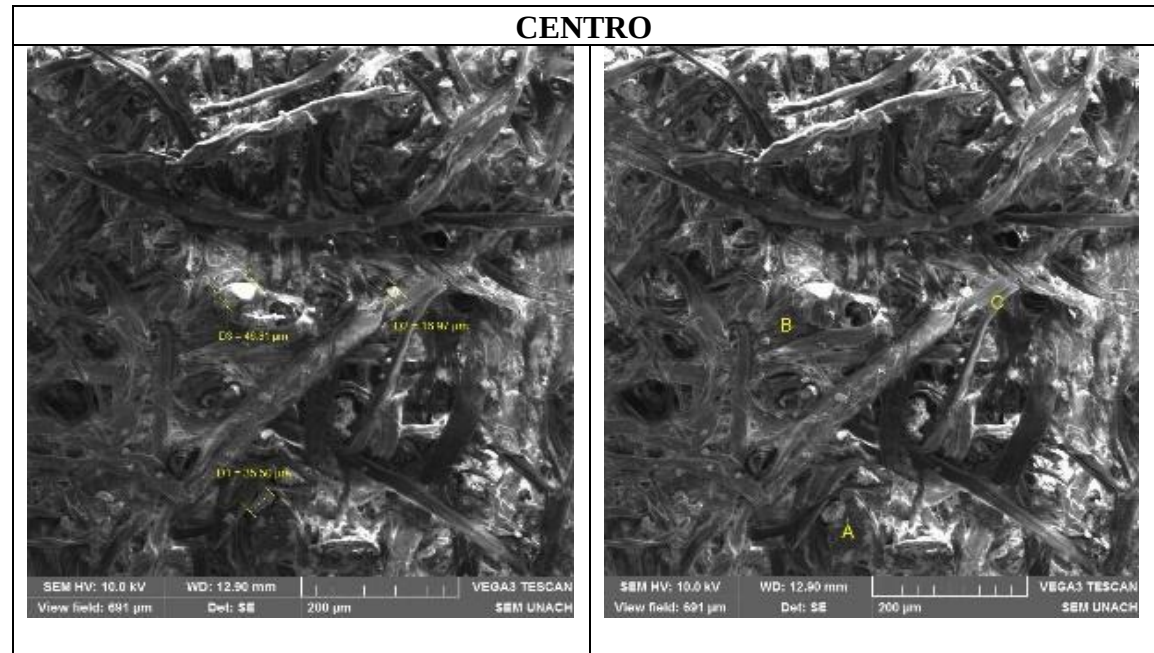
Tabla 18. Caracterización física AMBATO “Pishilata”

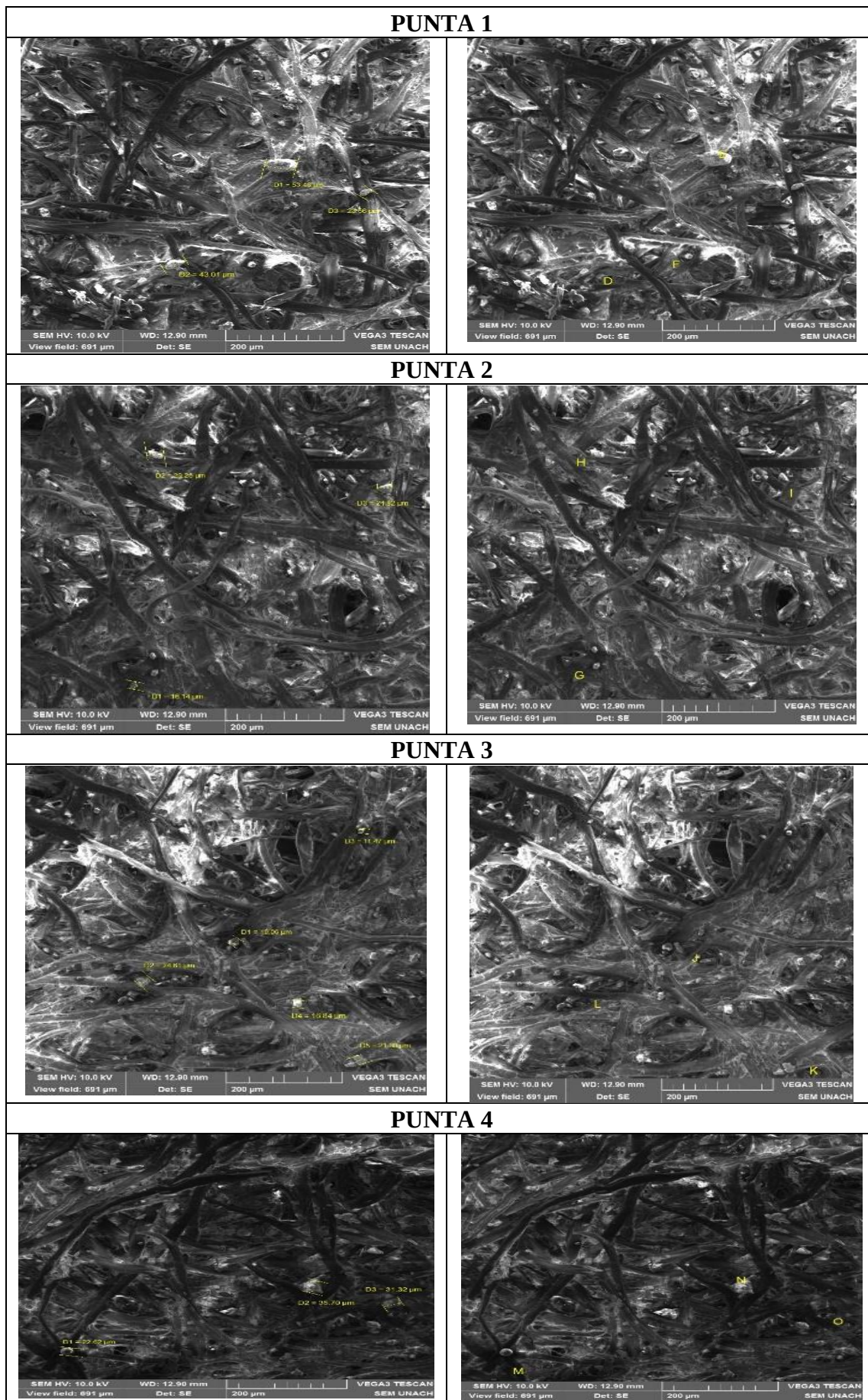




Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

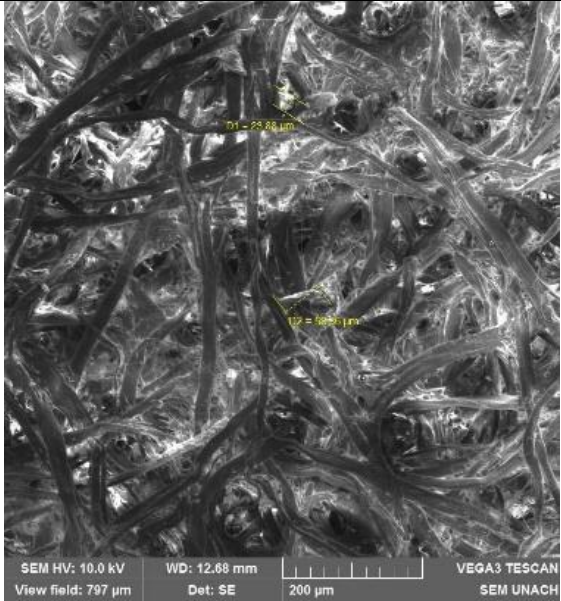
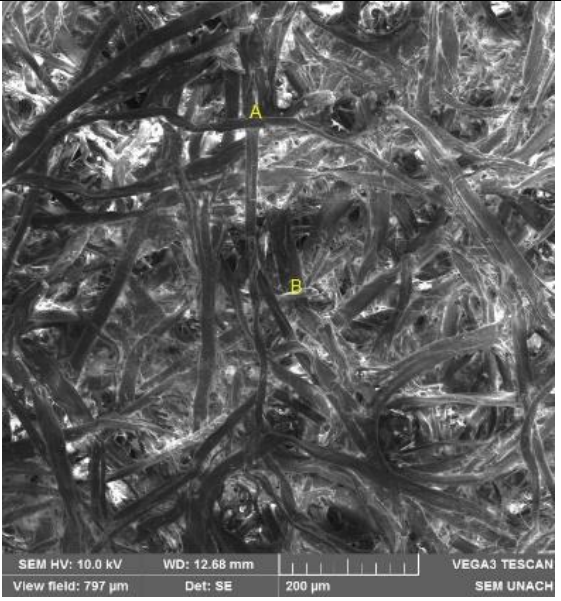
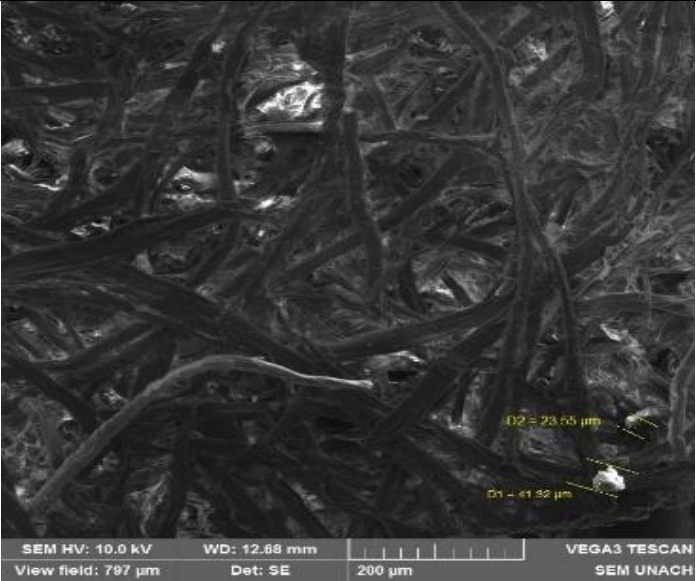
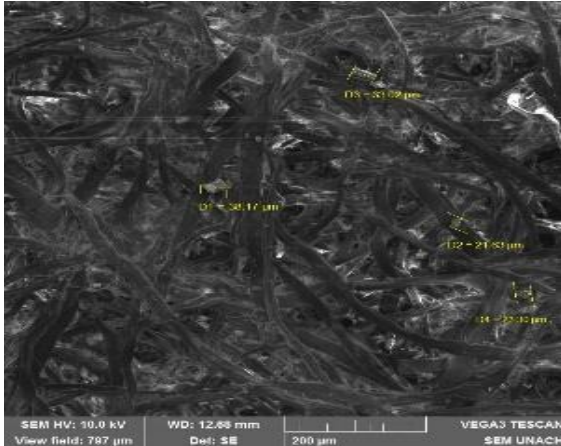
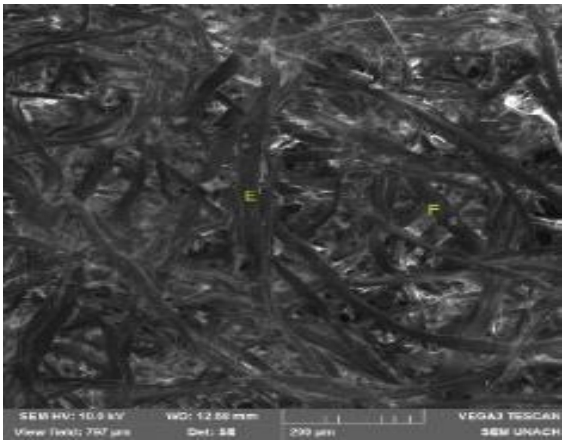
Tabla 19. *Caracterización física AMBATO “Izamba”*

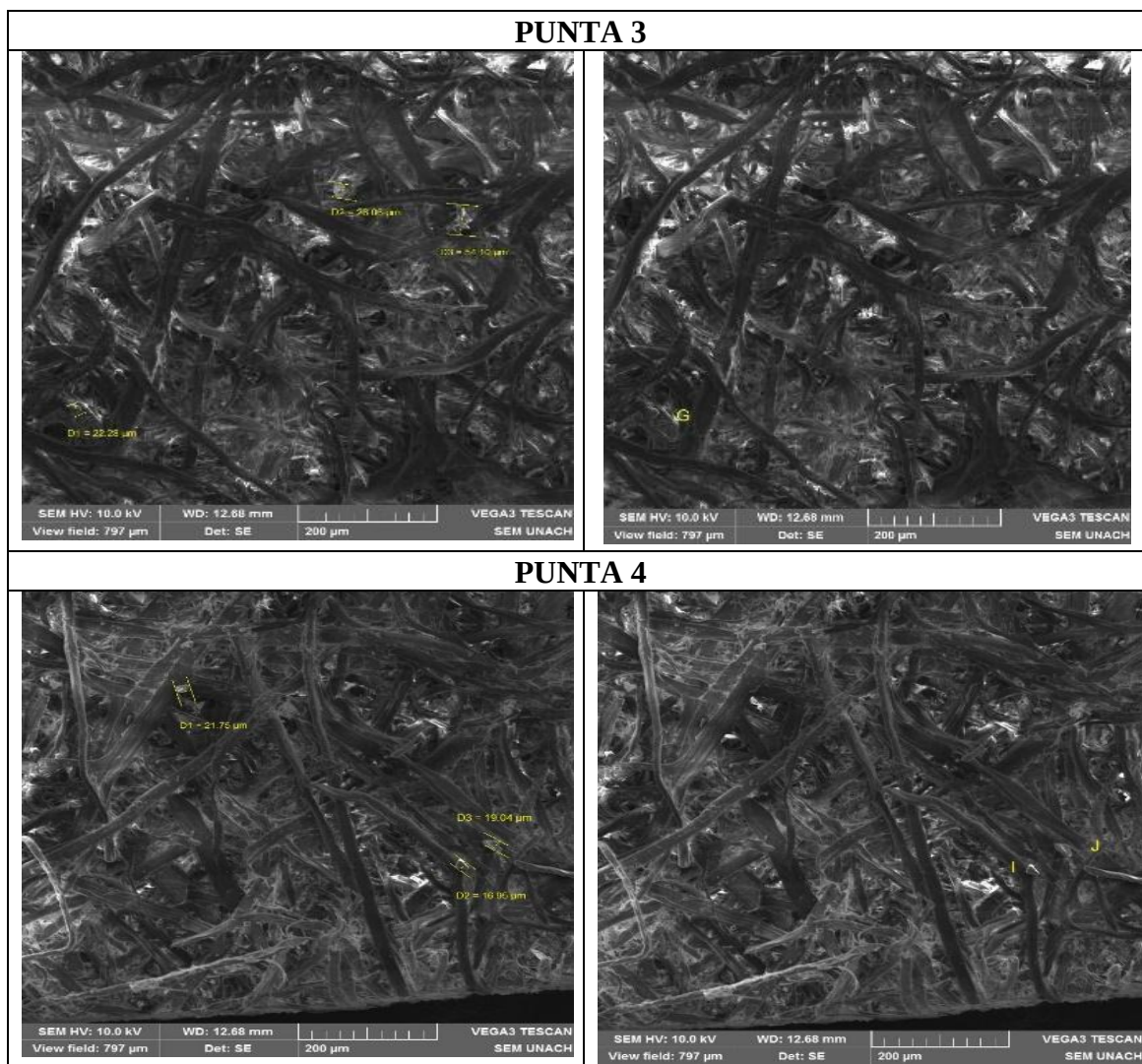




Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

Tabla 20. Caracterización física AMBATO “Parque Industrial”

CENTRO	
	
PUNTA 1	
	
PUNTA 2	
	



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

9.3. Promedios de la composición química de PMS

PUNTO	X	Y	O %	Si %	Rb %	Al %	Ca %	Sb %	C %	Fe %	Nb %	K %	N %	Zn %	Hg %	Mo %	Na %	Se %	P %	In %	Ta %	Pt %	Mg %	Ba %	Zr %	Ti %	Cl %
PUNTO 1	763716,29	9858974,33	43,50	15,01	11,73	6,21	2,78	3,20	19,75	2,94	2,55	0,92	13,80	2,56	4,25	1,39	1,22	1,29	1,00	5,60	1,28	4,83	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00
PUNTO 2	764523,00	9863046,00	36,33	17,82	11,44	6,22	2,55	2,86	26,07	3,54	0,00	0,87	17,14	1,82	0,00	0,00	1,19	0,00	0,00	6,16	0,00	0,58	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
PUNTO 3	760270,00	9862380,00	42,21	15,83	9,36	5,26	2,48	2,23	19,05	4,46	0,00	0,75	6,12	0,91	0,00	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	1,74	1,24	0,00	0,00
PUNTO 4	767347,00	9864334,00	37,27	13,73	8,24	4,18	1,45	1,53	33,22	5,28	0,00	2,14	15,82	1,67	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	1,43	0,00	1,04	1,58	1,59	0,00	0,00
PUNTO 5	768092,96	9867553,68	28,03	6,37	6,94	2,64	0,00	0,00	40,53	1,61	0,00	0,00	19,90	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	0,00	0,93
PUNTO 6	768751,00	9858837,00	43,68	15,99	11,27	6,28	2,56	2,31	16,33	4,59	0,00	0,86	0,00	1,89	0,00	0,00	1,76	0,00	0,00	3,81	0,00	0,00	1,59	0,00	2,91	0,93	0,00

Autor: Jennyfer Cevallos B.

9.4. Trabajo en Laboratorio



9.5. Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS



9.6. Monitoreo con el equipo DustTrak™ II



9.7. Análisis del MPS en el Microscopio electrónico de Barrido

