

**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**

“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL PARTICULADO, EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA UNACH DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”

**Autor:**

KARLA ANDREA BAYAS GUERRERO

**Tutor:**

MsC. GUIDO PATRICIO SANTILLÁN LIMA

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2017**

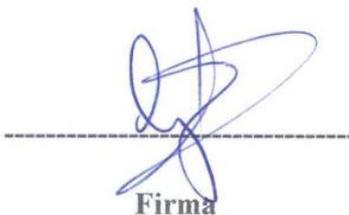
Los miembros del Tribunal de Graduación el proyecto de investigación de título:  
**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL PARTICULADO, EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA UNACH DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**. Presentado por: Karla Andrea Bayas Guerrero y dirigida por: Ing. Patricio Santillán.

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**

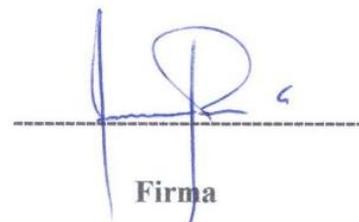
**Tutor del Proyecto**



Firma

**Ing. Iván Ríos**

**Miembro del Tribunal**



Firma

**Ing. Marcel Paredes**

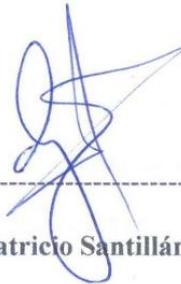
**Miembro del Tribunal**



Firma

## **DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA**

Certifico que el presente trabajo de investigación previo a la obtención del Grado de **INGENIERO AMBIENTAL**. Con el Tema: **“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL PARTICULADO, EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA UNACH DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, ha sido elaborado por **KARLA ANDREA BAYAS GUERRERO**, 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, **KARLA ANDREA BAYAS GUERRERO**, con cédula de identidad No. 0604557165; hago constar que soy el autor del presente trabajo de investigación, titulada: **“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL PARTICULADO, EN LOS CAMPUS UNIVERSITARIOS DE LA UNACH DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, 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.



**Karla Andrea Bayas Guerrero**

**C.I: 0604557165**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, porque me permitió seguir esta hermosa carrera y pude conocer personas grandiosas y grandes amigos, gracias por tantas experiencias.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental, por haber transmitido sus conocimientos académicos y experiencias personales durante estos 5 años de estudio.

A los Ingenieros: Patricio Santillán, Franklin Cargua y Marco Rodríguez y a los Doctores Victor García y Omaira Márquez, por haberme dado la oportunidad de desarrollar esta investigación y por todo el apoyo y las facilidades otorgadas.

A mi mejor amiga y colega Ámbar, por todas las vivencias que hemos tenido juntas, después de tanto sacrificio, malas noches, lágrimas y alegrías... ¡Ya somos Ingenieras!

A los amigos de siempre y a los nuevos amigos que hice en la universidad, fueron de gran apoyo en este largo camino, gracias por todas las alegrías y recuerdos. Nunca los olvidaré.

*Karla Andrea Bayas Guerrero*

## **DEDICATORIA**

A ti Señor, por la vida, la salud y las múltiples oportunidades que me has dado, hoy gracias a ti puedo cumplir mi sueño.

A mis padres Tannia y Carlos que son el pilar fundamental de mi vida, gracias por todos los sacrificios que hacen, por su apoyo incondicional y por haber extendido su mano para levantarme y poder continuar, porque pese a todo, hoy sé que nunca me dejarán sola.

A mi ñaño Carlos Javier, porque has sido mi compañía, mi guardián y mi mejor amigo, eres mi ejemplo de lucha constante.

A mi chino Damián, porque has estado conmigo en las buenas y malas, gracias por todo tu apoyo, tus ánimos, tu paciencia y amor incondicional. De tu mano siempre.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional, su cariño me ha permitido siempre salir adelante.

## **SIGLAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS**

PM: Material Particulado

PMV: Material Particulado Volátil

PMS: Material Particulado Sedimentable

PM<sub>10</sub>: Material particulado de 10 micras

PM<sub>2,5</sub>: 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 o micra

µg/m<sup>3</sup>: microgramos/metro cúbico

mg/cm<sup>2</sup>/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.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	4
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. General:.....	5
2.2. Específicos:.....	5
3. MARCO TEÓRICO .....	6
3.1. Contaminantes Ambientales .....	6
3.2. Definición de material particulado (PM) .....	6
3.3. Clases de material particulado .....	7
3.4. Fuentes de generación de material particulado .....	8
3.5. Calidad del aire en América Latina .....	9
3.6. Efectos adversos del material particulado en la salud .....	10

3.7.	Estándares de calidad del aire para Material Particulado .....	11
4.	METODOLOGÍA .....	13
4.1.	Área de estudio .....	13
4.2.	Zonificación y ubicación los puntos de monitoreo en los campus de la Universidad Nacional de Chimborazo.....	13
4.3.	Datos de Material Particulado (PM) .....	13
4.6.	Caracterización físico-química con microscopio electrónico de barrido.....	15
4.7.	Procesamiento de datos.....	15
4.8.	Kriging .....	16
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
5.1.	Material Particulado Volátil.....	17
5.2.	Material Particulado Volátil 2,5 $\mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{2,5}$ ) .....	20
5.3.	Material Particulado Volátil 10 $\mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{10}$ ) .....	21
5.5.	Material Particulado Sedimentable (PMS) .....	25
5.6.	Análisis molecular .....	26
5.6.1.	Caracterización química .....	26
5.6.2.	Caracterización morfológica .....	29
5.7.	Modelo Geo estadístico .....	30
6.	CONCLUSIONES .....	34
7.	RECOMENDACIONES .....	35
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	36
9.	ANEXOS.....	39

9.1.	Análisis Estadístico - Campus Norte “Edison Riera” – PM <sub>2,5</sub> .....	39
9.2.	Análisis Estadístico - Campus “La Dolorosa” – PM <sub>2,5</sub> .....	39
9.3.	Análisis Estadístico - Campus Centro – PM <sub>2,5</sub> .....	39
9.5.	Análisis Estadístico - Campus “La Dolorosa” – PM <sub>10</sub> .....	40
9.6.	Análisis Estadístico - Campus Centro – PM <sub>10</sub> .....	40
9.7.	Trabajo en Laboratorio .....	41
9.8.	Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS .....	42
9.9.	Monitoreo con el equipo DustTrak™ II .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fuentes de generación de Material Particulado .....	9
Figura 2: Concentraciones promedio anuales para PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> µm.....	10
Figura 3: Modelo de interpolación Kriging .....	16
Figura 4: Puntos de monitoreo de material particulado volátil .....	19
Figura 5: Distribución de material particulado 2,5 µm, Campus “Edison Riera” .....	20
Figura 6: Distribución de material particulado 2,5 µm, Campus “La Dolorosa” .....	20
Figura 7: Distribución de material particulado 2,5 µm, Campus “Centro” .....	21
Figura 8: Distribución de material particulado 10 µm, Campus “Edison Riera” .....	22
Figura 9: Distribución de material particulado 10 µm, Campus “La Dolorosa” .....	22
Figura 10: Distribución de material particulado 10 µm, Campus “Centro” .....	23
Figura 11: Concentración de PMV en los campus a las 08h00 .....	23
Figura 12: Concentración de PMV en los campus a las 13h00 .....	24
Figura 13: Concentración de PMV en los campus a las 17h00 .....	24
Figura 14: Comparación de valores de PMS con límites establecidos por la OMS .....	25
Figura 15: Caracterización físico química del papel filtro .....	26
Figura 16: Caracterización física química UNACH “Edison Riera” .....	27
Figura 17: Caracterización física química UNACH “La Dolorosa” .....	27
Figura 18: Caracterización física química UNACH “Centro” .....	28
Figura 19: PM observado a 100X.....	29
Figura 20: PM observado a 50X.....	29

Figura 21: Diámetro de las partículas, observadas a 20X .....	29
Figura 22: Diámetros de las partículas mayores a 2,5 $\mu\text{m}$ , observadas a 10X .....	29
Figura 23: Diámetro de las partículas mayores y menores a 10 $\mu\text{m}$ .....	30
Figura 24: Modelo de dispersión de PMV 2,5 $\mu\text{m}$ , campus Norte “Edison Riera” .....	31
Figura 25: Modelo de dispersión de PMV 2,5 $\mu\text{m}$ , campus “La Dolorosa” .....	32
Figura 26: Modelo de dispersión de PMV 2,5 $\mu\text{m}$ , campus “Centro” .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana. ....	12
Tabla 2: Información general SIG .....	15
Tabla 3: Datos de PM 2,5 $\mu\text{m}$ .....	17
Tabla 4: Datos de PM 10 $\mu\text{m}$ .....	18
Tabla 5: Coordenadas de los puntos de monitoreo de los campus universitarios .....	19
Tabla 6: Resultados de las concentraciones de material particulado sedimentable .....	25

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Polvo Atmosférico Sedimentable .....	14
--	----

## RESUMEN

En la actualidad el incremento de material particulado en el mundo, provocado por actividades naturales y antrópicas, ha generado gran preocupación, especialmente en áreas de confinamiento y de amplio tránsito vehicular, que emiten compuestos nocivos para la salud, las partículas más comunes son las de  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ), la falta de estudios de la calidad del aire en estos lugares agrava la situación.

La presente investigación planteó realizar el monitoreo de PMV y PMS en las áreas destinadas a estacionamientos en los campus de la UNACH; el primer análisis se realizó con el uso del equipo DustTrak™ II y el PMS se recolectó en cajas Petri mediante el método pasivo.

Se tomaron las mediciones del periodo mayo-junio de 2016 en los estacionamientos de los campus de la Universidad Nacional de Chimborazo, se registró un valor máximo de  $0,03\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un valor mínimo de  $0,001\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PMV; para el PMS se analizaron 9 muestras, de las cuales la mayor concentración se encuentra en el estacionamiento de la facultad Ingeniería-Salud con  $0,43\ \text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ ; los límites establecidos por la OMS de  $0,5\ \text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  para PMS y para PMV los valores límites según la legislación ecuatoriana de  $65\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$  respectivamente, no superaron el límite. Se analizó las muestras de PMS en el microscopio electrónico de barrido, las cuales están compuestas por: Si, Al, Na, Ca, K, Fe, Ti y Mg, además las partículas presentan formas irregulares. Finalmente se presentó espacialmente el comportamiento del material particulado volátil de  $2,5\ \mu\text{m}$ ; se generó un mapa de dirección del viento, a través de los datos de las estaciones meteorológicas del INAMHI; el PMV tuvo una dirección SE en los tres campus.

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

## SUMMARY

Currently, there is a particulate matter increment on the Earth which comes from natural and anthropic activities. They have generated great concern especially among confinement areas and broad vehicular traffic which emanate harmful compounds against human health. The most common particles are  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ). A lack of air quality study makes the problem worse in some places.

This research monitored PMV and PMS in some parking areas around UNACH's campuses. The first analysis was carried out by using DustTrak™ II equipment and PMS was used for gathering samples on Petri boxes under passive method.

Samples were gathered in parking stations at National University of Chimborazo campuses during May and June in 2016.  $0.03\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  was registered as a maximum value and  $0.001\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  as a minimum value for PMV. 9 samples were registered for PMS. The highest concentration level was identified in Health and Engineering college parking station among all other campuses which reached  $0.43\ \text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ . OMS establishes  $0.5\ \text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  as limits for PMS. The Ecuadorian legislation states  $65\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  as limited values for PMV and  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_{10}$  respectively. Results did not overpass the established limits. PMS samples were analyzed in a Scanning electron microscope; there were Si, Al, Na, Ca, K, Fe, Ti and Mg particles. Additionally, the particle shapes were irregular. Finally, the volatile particulate matter behavior especially represented  $2.5\ \mu\text{m}$ . A wind direction map was generated thanks to INAMHI weather station data. PMV got a SE direction in each one of the three campuses.

**Key words:** particulate matter, emissions, DustTrak™ II, Scanning electron microscope, INAMHI, weather station.

Reviewed, interpreted and translated by: Lic: Armijos, Jacqueline, MSc



## **1. INTRODUCCIÓN**

La contaminación atmosférica por material particulado, es uno de los mayores problemas de contaminación, la cual se debe a varias causas; en los países desarrollados se presenta por la alta densificación geográfica, diversificación de la producción industrial y un flujo intenso de vehículos; y para aquellos países en vías de desarrollo, los principales factores son la falta de planificación de las industrias, el uso de tecnologías obsoletas, los servicios, el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el ordenamiento territorial no planificado.

Hace varios años la situación podría verse controlada, sin embargo, el incremento del parque automotor, el desarrollo industrial, la presencia de fenómenos naturales como las erupciones volcánicas son el resultado de las múltiples actividades que el ser humano desarrolla sin tomar en cuenta las medidas correctivas; lo que trae como consecuencia el deterioro de la calidad de aire que respiramos.

Por tal razón se realizó el estudio de la dispersión de material particulado volátil de 2,5 y 10 micrómetros y la caracterización de material particulado sedimentable, la información se recopiló de las estaciones de monitoreo establecidas en los parqueaderos de los campus de la Universidad Nacional de Chimborazo en el periodo mayo-junio de 2016.

La información que se generó de este estudio, permite tener una idea sobre la calidad del aire de la zona de estudio, estableciendo un punto de partida para próximas investigaciones a realizarse.

### **1.1. PROBLEMA**

El aire es una mezcla gaseosa que está compuesta aproximadamente de un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de gases como: dióxido de carbono, ozono, argón, xenón, radón, etc. La contaminación atmosférica es una alteración de las propiedades físicas y químicas, provocada por cualquier sustancia (Arciniegas, 2012).

En los últimos años, se ha presentado una elevada emisión de contaminantes a la atmósfera como consecuencia del aumento en la densidad de población y el progreso de la industria, este último muy ligado a la combustión de procesos industriales en general y de vehículos automotores (Ruiz, 2007). Las actividades antropogénicas y los sucesos naturales, presentan la producción de material particulado (PM) en su desarrollo.

Según (Arciniegas, 2012) en un estudio realizado en Hong Kong por el Departamento de Protección Ambiental, la principal causa del alto nivel de PM en las zonas urbanas son las emisiones de los vehículos de combustión interna. (Pérez, 2010) menciona que las partículas que causan mayor efecto nocivo en la salud son las de tamaño  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) y  $2.5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ), las mismas que penetran directamente hasta la zona torácica, y poseen propiedades que las hacen tóxicas, cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas.

De acuerdo a los datos publicados en el Anuario de Transportes, por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2016) en el año 2015, el parque automotor creció un 57% en cinco años, con un número de 1'925.368 vehículos matriculados a diferencia del año 2010 que la cifra llegó a 1'226.349. Los centros de educación superior presentes en la ciudad de Riobamba, alojan gran cantidad de estudiantes del país; y para dar una mejor atención han procurado mejorar la infraestructura, dentro de ello el acopio para automotores en las instituciones, por tal motivo, se planteó realizar el monitoreo de PMV y PMS, para identificar la calidad del aire en la universidad y determinar si los valores se encuentran dentro de los estándares permitidos.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El aire de la ciudad de Riobamba en los últimos años se ha visto afectado por dos factores principales, de manera natural, es la erupción del volcán Tungurahua y la segunda, de origen antropogénico, el incremento del parque automotor.

La situación se agrava con el crecimiento del parque automotor, ya que las emisiones de los gases de combustión de automotores también han aumentado; muchos de ellos no están en condiciones adecuadas de funcionamiento por lo que se aumenta el grado de contaminación.

Los estacionamientos de los campus presentan ingreso y salida constante de vehículos, además de ello, los estudiantes, docentes y personas en general transitan por estos lugares a diario; en el estudio se planteó monitorear PMV y PMS, conociendo las concentraciones del material particulado en la zona y además se caracterizaron las muestras recolectadas, para identificar los elementos químicos que componen las partículas, es un estudio importante porque nos permite saber cuál es la calidad del aire que se respira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General:**

Implementar un modelo de la distribución espacial y multitemporal del material particulado en los campus universitarios de la UNACH.

### **2.2. Específicos:**

- Analizar los valores que arrojan las estaciones de recolección de datos de material particulado sedimentable y volátil en los campus universitarios en el periodo mayo-junio del 2016.
- Caracterizar el material particulado en su morfología con el uso de un microscopio electrónico de barrido y la composición química con espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX).
- Simular el patrón del material particulado usando el interpolador Kriging.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Contaminantes Ambientales**

Según estimaciones de 2012, la Organización Mundial de la Salud indica que la contaminación atmosférica de todo el mundo provoca cada año 3 millones de defunciones prematuras; a causa de la exposición a partículas de 10 micras de diámetro ( $PM_{10}$ ) o menores, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer (Peña, 2016).

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, podemos hablar que existe una contaminación en el aire, provocando una afectación al hombre o al ambiente. La normativa ecuatoriana considera como contaminantes comunes: partículas sedimentables; material particulado  $PM_{10}$ ; material particulado  $PM_{2,5}$ ; dióxido de nitrógeno; dióxido de azufre; monóxido de carbono; ozono. En cambio, se establecen como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos: el benceno, cadmio, mercurio inorgánico (Ministerio del Ambiente, 2015).

#### **3.2. Definición de 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  $2,5 \mu m$ ,  $PM_{2,5}$  y las partículas cuyo diámetro se centra alrededor de las  $10 \mu m$ ,  $PM_{10}$ , se las denomina gruesas. (Sánchez, 2016).

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 (Arciniegas, 2012). La composición de las partículas finas es más tóxica, por su origen antropogénico, especialmente las emisiones de los vehículos a diésel, formadas por partículas secundarias: nitratos y sulfatos, aerosoles e hidrocarburos policíclicos. Las partículas gruesas, se generan por procesos mecánicos o de evaporación: minerales locales o transportados, aerosol marino, partículas biológicas y partículas primarias derivadas de procesos industriales o del tráfico (asfalto erosionado y restos de neumáticos

y frenos generados por abrasión); los nitratos es uno de los contaminantes secundarios (Fundacion Biodiversidad, 2013).

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).

Las fuentes antropogénicas primarias del PM son: la combustión de fósiles para la producción de energía, la calefacción doméstica, la industria metálica, los gases emitidos por los combustibles de los vehículos, el desgaste de los neumáticos, el polvo emitido por los frenos, y la re-suspensión de partículas sedimentadas (Heinrich, 2007).

Las fuentes antropogénicas secundarias del PM son: gases reactivos como SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO<sub>X</sub>, NH<sub>3</sub>, gases orgánicos emitidos en la atmósfera y partículas que se forman por la coagulación, la condensación nuclear y las reacciones químicas (Heinrich, 2007)

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 de combustión de vehículos (gasolina o diésel), la quema de maderas, 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<sub>2,5</sub> porque su vida es muy corta (Salinas, 2012).

### **3.3. Clases de material particulado**

Como se mencionó anteriormente el PM se clasifica en partículas PM<sub>10</sub> (diámetro inferior a 10 µm) y PM<sub>2,5</sub> (diámetro inferior a 2,5 µm). Estas últimas suponen mayor peligro pues

al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases (Vivar, 2014).

Las partículas se clasifican en base a su diámetro, en:

- Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100  $\mu\text{m}$ .
- Inhalables o respirables ( $\text{PM}_{10}$ ), cuyo diámetro es menor a 10  $\mu\text{m}$ .
- Finas, con diámetro menor a 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ).
- Ultra fina, cuyo diámetro es menor a 1  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_1$ ) (Pérez, 2010).

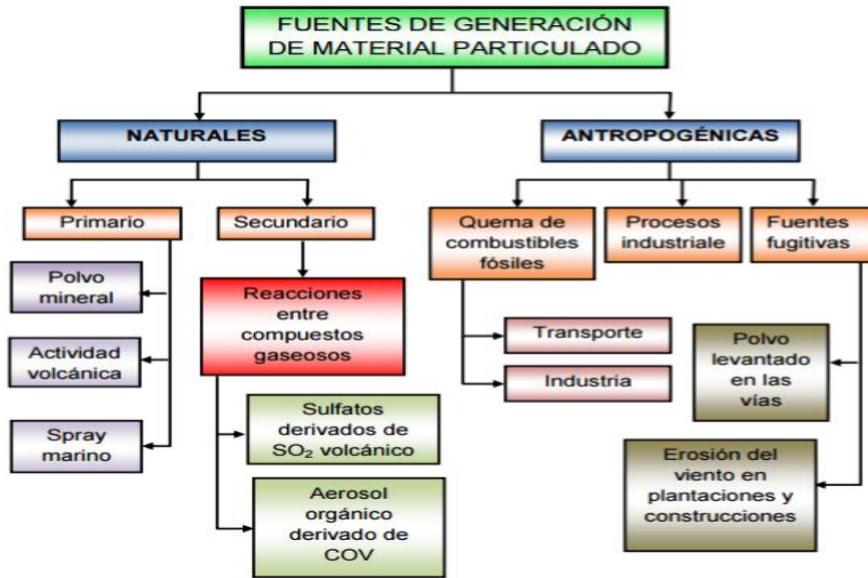
3.3.1. Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) o Polvo Sedimentable PS.- son partículas sólidas de un diámetro equivalente mayor o igual a 10 micras; por acción de la fuerza gravitatoria terrestre (gravedad), las partículas tienden a sedimentarse y depositarse en forma de polvo en las diferentes superficies (objetos exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde son reincorporados al aire por flujos turbulentos de las zonas urbanas; de este grupo de partículas, las más finas son las más peligrosas ya que tienen una mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio (Marcos, 2007)

#### **3.4. Fuentes de generación de material particulado**

El PM puede emitirse directamente a la atmósfera a partir de distintas fuentes antropogénicas o naturales (partículas primarias), por reacciones químicas de ciertos gases en la atmósfera, o procesos de condensación (partículas secundarias). Los contaminantes naturales ocurren frecuentemente en mayor porcentaje que las antropogénicas, sin embargo, estos últimos representan la amenaza más significativa (Miranda, 2008).

En la Figura 1 se esquematiza las principales fuentes de PM y algunos ejemplos de los tipos de partículas según la fuente generadora. Esta diversidad de fuentes da como resultado un PM que presenta variaciones en tamaño, geometría, composición química y concentración másica (López, 2016).

**Figura 1:** Fuentes de generación de Material Particulado



Fuente. (López, 2016)

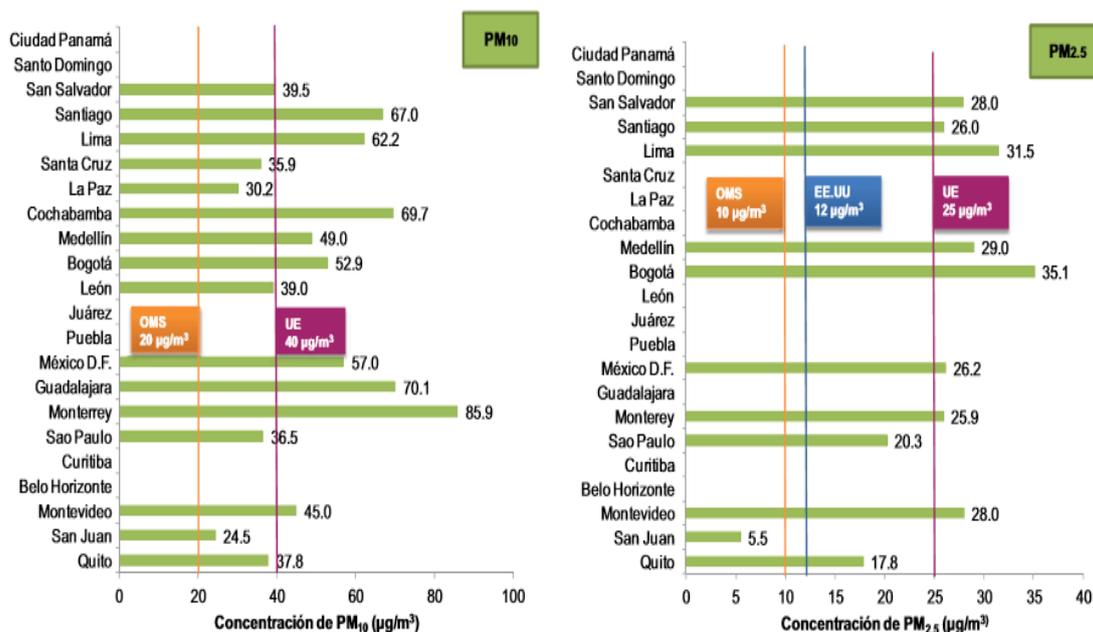
### 3.5. Calidad del aire en América Latina

En América Latina y el Caribe (LAC por sus siglas en inglés), por lo menos 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire que sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Tanto la OMS como el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) han resaltado que la contaminación atmosférica es un área estratégica para combatir causas fundamentales de mortalidad y morbilidad a nivel mundial. La OMS afirma, en un comunicado de 2011, que “para 2008, la mortalidad estimada, atribuible a la contaminación del aire ambiental en ciudades, asciende a 1.34 millones de muertes prematuras” (Green, 2013).

De igual modo, un reporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se adelanta al año 2050 y si el mundo no adopta políticas ambientales, asevera: “Se prevé que la contaminación del aire se convertirá en la causa ambiental principal de mortalidad prematura, por encima de aguas insalubres y falta de saneamiento” con “una proyección de que se duplique en el mundo el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a material particulado, pasando de más de 1 millón hoy en día, a aproximadamente 3.6 millones al año en 2050” (Green, 2013).

En América Latina, se utilizaron varias técnicas para reunir la información de las ciudades, incluyendo búsquedas en internet, correos electrónicos y contacto telefónico. Un proceso exhaustivo de recolección de datos resultó en la recepción de información proveniente de 24 ciudades, que representa el 24.3% de la población total regional, e incluye seis de las diez ciudades más pobladas de América Latina (Green, 2013).

**Figura 2:** Concentraciones promedio anuales para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> µm



Fuente: (Green, 2013)

### 3.6. Efectos adversos del material particulado en la salud

Según la OMS, el aire limpio es un requisito básico para la salud y el bienestar humano, su contaminación en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados producen más de dos millones de muertes prematuras cada año, especialmente en las poblaciones de los países en desarrollo (OMS, 2007).

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. El PM<sub>10</sub> pueden alcanzar la

región traquebronquial, mientras que el  $PM_{2,5}$  pueden alcanzar la cavidad alveolar, siendo éstas las principales causas de los incrementos en la mortalidad (Aldabe, 2011).

Las partículas inferiores a 2,5 micras ( $PM_{2,5}$ ) 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 vehículos y fábricas. Éstas son respirables al 100% y pueden alojarse en los bronquios, bronquiolos y alveolos pulmonares (Marcos, 2012).

Las partículas de 10 micras ( $PM_{10}$ ) son 20 veces más pequeñas que un cabello, pero también pueden ingresar al sistema respiratorio. 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, 2012).

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

### **3.7. Estándares de calidad del aire para Material Particulado**

En el Ecuador existe una normativa ambiental que determina los niveles máximos permisibles en la atmósfera para diversos contaminantes durante un tiempo determinado, cabe recalcar que el contaminante tratado en este estudio es el material particulado; la normativa ambiental vigente en el Ecuador es el TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE, emitida a través del Registro Oficial Suplemento 2 de 31 de marzo de 2003, última modificación 14 de agosto de 2012; en este texto encontraremos que la normativa ambiental se encuentra dividida en varios libros, pero el Libro VI anexo 4 está destinado a la normativa para la calidad del aire ambiente; los valores máximos permisibles de concentración de material particulado presentes en la atmósfera se muestran en la tabla siguiente: (MAE, 2012).

**Tabla 1:** Parámetros establecidos por la legislación ecuatoriana.

Contaminante	Tiempo de exposición	Máxima concentración permitida
Partículas Sedimentables	30 días	0,5 mg/cm <sup>2</sup> /mes
PM <sub>10</sub>	1 año	50 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	150 µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>2,5</sub>	1 año	15 µg/m <sup>3</sup>
	24 horas	65 µg/m <sup>3</sup>

Fuente: (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.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Área de estudio**

La ciudad de Riobamba está ubicada en la región Sierra, centro del Ecuador a 2850 msnm; llega a registrar una temperatura media de 14 °C y cuenta con un clima frío característico de las ciudades de esta zona.

Las características del área son las siguientes:

1. La temperatura ambiente media registrada durante todo el año es de 13.4 °C.
2. La humedad relativa en la zona es de 63,1%.
3. La velocidad del viento es de 2.1 m/s.
4. Precipitación atmosférica de 564.5 mm.
5. Presión atmosférica de 548.3 mmHg.
6. Geográficamente se encuentra en las coordenadas: (Latitud: 1°38'51" S, Longitud: 78°40'59" W) (INAMHI, 2014)

### **4.2. Zonificación y ubicación los puntos de monitoreo en los campus de la Universidad Nacional de Chimborazo**

Mediante la cartografía base y utilizando los sistemas de información geográfica con la ayuda de la herramienta Arctoolbox/Analysis tools/Extract se delimitó el área de estudio (campus de la Universidad Nacional de Chimborazo) el cual comprende: Campus Norte "Edison Riera R." Avda. Antonio José de Sucre, Km 1.5 Vía a Guano, Campus "La Dolorosa" Avda. Eloy Alfaro y 10 de agosto, Campus Centro Duchicela 17-15 y Princesa Toa.

La ubicación de los equipos de monitoreo para la recolección de los datos de material particulado sedimentable se realizó en las zonas con mayor influencia de tráfico y transeúntes, en este caso se ubicaron en los parqueaderos de los diferentes campus universitarios.

### **4.3. Datos de Material Particulado (PM)**

Los datos de material particulado sedimentable se recolectaron de los pasivos ambientales, establecidos en los parqueaderos de los campus de la Universidad Nacional

de Chimborazo. Mientras que las mediciones de material particulado volátil, se realizaron en puntos diferentes de la universidad.

#### **4.4. Material Particulado Volátil (PMV)**

Se realizó las mediciones durante un mes, exceptuando los fines de semana, en diferentes lugares de la universidad en los tres campus, en horarios pico de 08h00, 13h00 y 17h00.

El PMV se cuantificó utilizando el equipo DustTrak™ II, para el cual se procedió a encender y ejecutar (ZERO CAL) con el filtro 0 µm, esto se hace para calibrar el equipo antes de realizar las lecturas con los diferentes filtros, terminada su calibración se coloca el filtro de 10 µm y posteriormente el de 2,5 µm y se inicia la medición de PM el mismo que dura 2 minutos por muestra, arrojándonos datos en (µg/m<sup>3</sup>) (Santillán, 2016)

#### **4.5. Material Particulado Sedimentable (PMS)**

Para la determinación de la cantidad de PMS se consideró el método pasivo empleado por (Almirón, 2008) adaptado a esta investigación. 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 los estacionamientos de los campus universitarios, donde permanecieron durante el mes de monitoreo. Luego de haber finalizado el muestreo, se pesó nuevamente el papel filtro en la balanza analítica SARTORIUS modelo BP221S, de precisión 0,0001 g, posteriormente fue llevado a una estufa para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente, donde se sometió a una temperatura de 50°C durante al menos 24h. La fórmula empleada, para determinar el MPS se obtuvo del estudio realizado por (Marcos, 2007), 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 miligramos por centímetro cuadrado en 1 mes (mg/cm<sup>2</sup>/mes).

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

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

#### 4.6. Caracterización físico-química con microscopio electrónico de barrido

Secciones del filtro de 1 cm<sup>2</sup> se montaron sobre portamuestras de aluminio y posteriormente se metalizaron con oro. La observación se realizó en un microscopio electrónico de barrido (MEB) VEGAS TESCAM. Se tomaron imágenes a 200x, 100x, 50x, 20x y 10x. El procesamiento y análisis de las imágenes se realizó con el software Analysis Pro.

En las imágenes se puede observar la morfología, composición química, tamaño y distribución de las partículas, en cada filtro con el que se tomó las muestras.

#### 4.7. Procesamiento de datos

Para realizar el modelo cartográfico se utilizaron herramientas SIG, con los datos obtenidos de PM volátil, en los tres campus universitarios a diferentes horas, durante el periodo mayo-junio del 2016; se construyó una geo data base con información correspondiente al PM en (mg/m<sup>3</sup>) que representará la unidad a ser modelada, distribuida espacialmente en coordenadas UTM; la cartografía generada se establecieron las siguientes escalas (1:1500 - 1:1000 - 1:400).

**Tabla 2:** Información general SIG

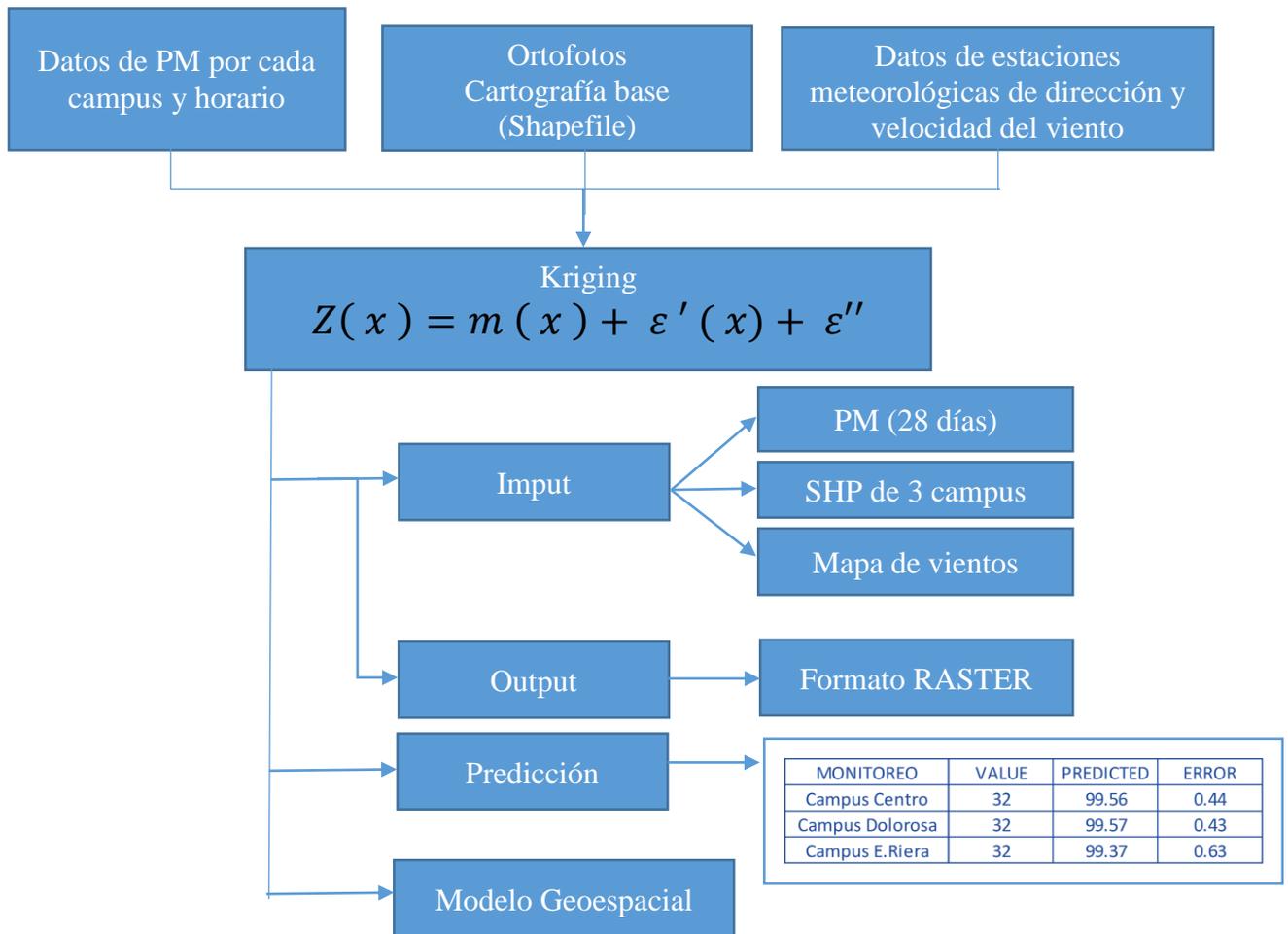
CAMPUS	ESCALA	DATUM	ZONA
Norte "Edison Riera"	1:1500		
La Dolorosa	1:1000	WGS84	17 SUR
Centro	1:400		

Autor: Karla Bayas G.

#### 4.8. Kriging

Para determinar la dispersión de material particulado con el método de interpolación, se realizó un análisis de variabilidad de los datos en cada uno de los campus con el fin de evitar errores de predicción del modelo espacial.

**Figura 3:** Modelo de interpolación Kriging



Autor: Karla Bayas G.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Material Particulado Volátil

Los valores de concentración del material particulado volátil de 2,5 y 10 micrómetros determinados por el equipo DustTrak™ II en el periodo mayo-junio de 2016 de los diferentes campus universitarios se presentan en las tablas 3 y 4, respectivamente.

**Tabla 3:** Datos de PM 2,5  $\mu\text{m}$

#	PM 2,5 $\mu\text{m}$								
	Campus Edison Riera			Campus La Dolorosa			Campus Centro		
	08H00	13H00	17H00	08H00	13H00	17H00	08H00	13H00	17H00
1	0,003	0,001	0,003	0,003	0,02	0,003	0,003	0,003	0,003
2	0,005	0,001	0,005	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003
3	0,004	0,02	0,004	0,022	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002
4	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002
5	0,0034	0,02	0,0034	0,004	0,004	0,004	0,002	0,004	0,003
6	0,003	0,001	0,003	0,02	0,02	0,003	0,002	0,003	0,004
7	0,004	0,02	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001
8	0,020	0,003	0,020	0,004	0,0035	0,004	0,003	0,004	0,004
9	0,003	0,004	0,003	0,003	0,03	0,004	0,02	0,02	0,003
10	0,002	0,004	0,002	0,004	0,002	0,002	0,003	0,004	0,001
11	0,004	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002
12	0,02	0,03	0,02	0,002	0,02	0,004	0,003	0,003	0,004
13	0,003	0,0035	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,004	0,003
14	0,005	0,003	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,002	0,003
15	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,002	0,001	0,003
16	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,006	0,004	0,003	0,002
17	0,002	0,005	0,002	0,004	0,02	0,005	0,001	0,004	0,003
18	0,02	0,002	0,02	0,003	0,003	0,004	0,02	0,02	0,004
19	0,003	0,02	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
20	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,005	0,004	0,003
21	0,002	0,002	0,002	0,02	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
22	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002
23	0,004	0,03	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004
24	0,003	0,003	0,003	0,004	0,02	0,003	0,02	0,02	0,02

Autor: Karla Bayas G.

**Tabla 4:** Datos de PM 10  $\mu\text{m}$ 

#	PM 10 $\mu\text{m}$								
	Campus Edison Riera			Campus La Dolorosa			Campus Centro		
	08H00	13H00	17H00	08H00	13H00	17H00	08H00	13H00	17H00
1	0,0058	0,005	0,004	0,005	0,004	0,002	0,002	0,003	0,004
2	0,005	0,004	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003
3	0,002	0,005	0,004	0,005	0,004	0,002	0,003	0,003	0,002
4	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004
5	0,002	0,003	0,002	0,005	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003
6	0,002	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004	0,002
7	0,005	0,004	0,002	0,003	0,005	0,003	0,002	0,004	0,004
8	0,02	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,004	0,004
9	0,002	0,0026	0,003	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003
10	0,005	0,005	0,003	0,001	0,005	0,002	0,004	0,004	0,002
11	0,005	0,003	0,002	0,002	0,004	0,004	0,003	0,005	0,004
12	0,024	0,02	0,004	0,002	0,005	0,003	0,004	0,004	0,002
13	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002	0,004	0,003
14	0,002	0,003	0,002	0,001	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002
15	0,005	0,005	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,004	0,002
16	0,005	0,003	0,002	0,001	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004
17	0,002	0,004	0,002	0,005	0,004	0,003	0,005	0,003	0,003
18	0,026	0,004	0,004	0,002	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004
19	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003
20	0,001	0,002	0,003	0,001	0,005	0,002	0,003	0,004	0,003
21	0,001	0,003	0,004	0,002	0,003	0,002	0,004	0,005	0,002
22	0,002	0,002	0,004	0,001	0,004	0,003	0,005	0,003	0,004
23	0,001	0,004	0,003	0,005	0,003	0,004	0,004	0,002	0,004
24	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003

Autor: Karla Bayas G.

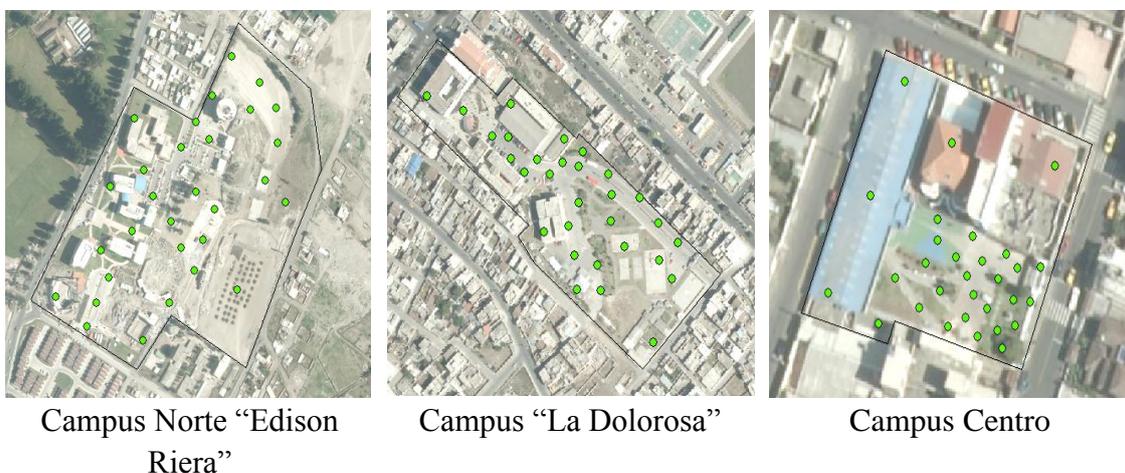
Dando cumplimiento al primer objetivo se establecieron 24 puntos de monitoreo distribuidos de manera aleatoria en cada uno de los campus universitarios (**Figura 4**), cada uno con sus respectivas coordenadas (**Tabla 5**); se evaluó el PM con filtros de 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , en el monitoreo se utilizó el equipo DustTrak™ II del laboratorio de Ingeniería Industrial, los tiempos de medición se estimaron en base a las horas picos, por la afluencia de tráfico al momento del ingreso y salida de los vehículos. El análisis se realizó durante el periodo mayo-junio de 2016, según (Mendez, 2017), establecen un tiempo promedio de medición de 1 mes para realizar una comparación del PMV con el PMS.

**Tabla 5:** Coordenadas de los puntos de monitoreo de los campus universitarios

Puntos	Campus “Edison Riera”		Campus “La Dolorosa”		Campus Centro	
	X	Y	X	Y	X	Y
0	762347	9817322	762491	9814046	760150	9815649
1	762406	9817303	762575	9814028	760174	9815662
2	762321	9817189	762610	9813990	760155	9815660
3	762279	9817033	762467	9814048	760171	9815655
4	762166	9817034	762518	9814051	760168	9815662
5	762184	9817069	762508	9814005	760167	9815655
6	762299	9817250	762513	9813981	760146	9815672
7	762221	9817134	762452	9814076	760154	9815652
8	762450	9817257	762521	9814065	760136	9815659
9	762332	9817122	762478	9814058	760167	9815650
10	762430	9817203	762409	9814099	760142	9815653
11	762343	9817262	762502	9814055	760165	9815665
12	762322	9817284	762454	9814059	760144	9815663
13	762240	9817217	762605	9813960	760156	9815656
14	762173	9817107	762538	9813951	760148	9815657
15	762297	9817108	762518	9814025	760156	9815669
16	762422	9817338	762535	9813972	760152	9815664
17	762255	9817183	762548	9814029	760163	9815659
18	762380	9817375	762547	9814008	760162	9815648
19	762319	9817078	762593	9813976	760164	9815645
20	762447	9817306	762437	9814077	760157	9815647
21	762351	9817164	762545	9814046	760147	9815668
22	762151	9817002	762592	9814005	760158	9815664
23	762282	9817146	762560	9813989	760160	9815654

Autor: Karla Bayas G.

**Figura 4:** Puntos de monitoreo de material particulado volátil

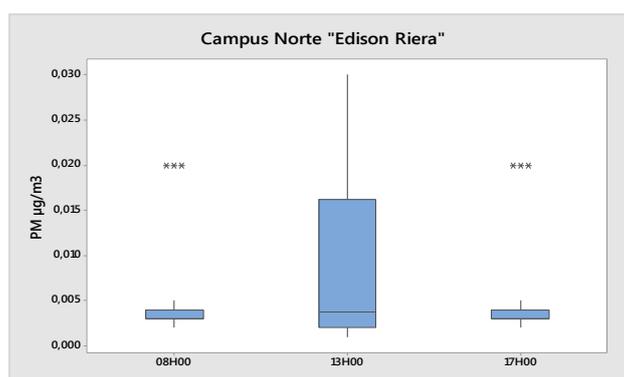


Autor: Karla Bayas G.

## 5.2. Material Particulado Volátil 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>)

De los 24 valores tomados en el campus Norte “Edison Riera”, se determinó un valor medio para las 08h00 y 17h00 de 0,005 µg/m<sup>3</sup> y para las 13h00 de 0,008 µg/m<sup>3</sup> de PM, el valor máximo obtenido fue de 0,03 µg/m<sup>3</sup> y el valor mínimo de 0,002 µg/m<sup>3</sup>, que nos muestra una escala que va en un rango de 0,018 µg/m<sup>3</sup> y de 0,029 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente (**Anexo 1**).

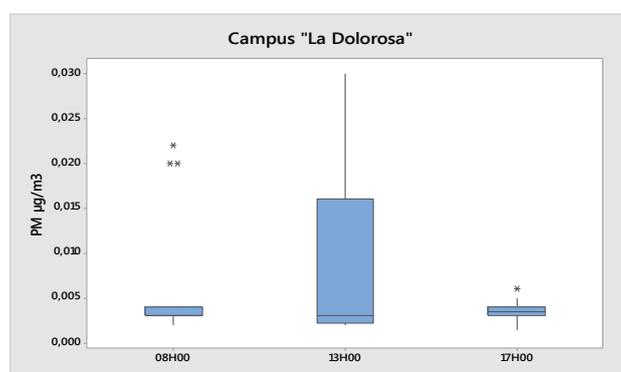
**Figura 5:** Distribución de material particulado 2,5 µm, Campus “Edison Riera”



Autor: Karla Bayas G.

Para el Campus “La Dolorosa”, se tuvo un valor medio de PM para las 08h00, 13h00 y 17h00 de 0,005 µg/m<sup>3</sup>, 0,0076 µg/m<sup>3</sup> y 0,0035 µg/m<sup>3</sup>; el valor máximo que se registra en el campus es de 0,03 µg/m<sup>3</sup> y un valor mínimo de 0,0015 µg/m<sup>3</sup>, el rango que estableció el análisis estadístico es de 0,02 µg/m<sup>3</sup>, 0,028 µg/m<sup>3</sup> y 0,0045 µg/m<sup>3</sup>, correspondiente a cada una de las horas (**Anexo 2**).

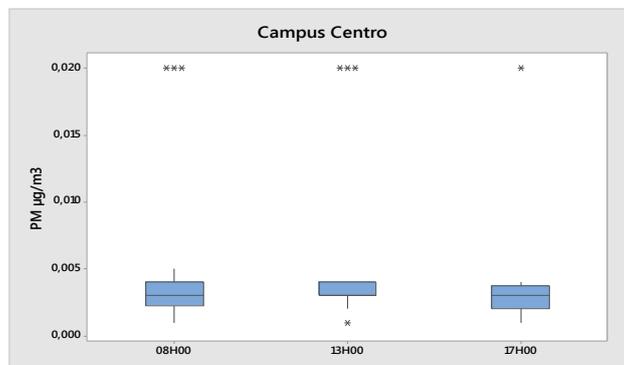
**Figura 6:** Distribución de material particulado 2,5 µm, Campus “La Dolorosa”



Autor: Karla Bayas G.

Para el Campus Centro, se tuvo un valor medio de PM para las 08h00 y las 13h00 de  $0,0052 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y para las 17h00 de  $0,0034 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; el valor máximo que se registra es de  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el valor mínimo de  $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un rango de  $0,019 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (**Anexo 3**).

**Figura 7:** Distribución de material particulado  $2,5 \mu\text{m}$ , Campus “Centro”



Autor: Karla Bayas G.

De acuerdo a lo que menciona (Santillán Lima et al., 2016) en su investigación, al comparar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles según la legislación ecuatoriana y la OMS, los resultados no exceden los límites permisibles, ya que se establece como media diaria  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el  $\text{PM}_{2.5}$ , respectivamente.

Para el filtro de  $2,5 \mu\text{m}$  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 Organización Mundial de la Salud; en ninguno de los campus se superó el límite, pero es importante mencionar que existen valores cercanos a los límites establecidos, sobre todo en relación a lo que estipula la OMS.

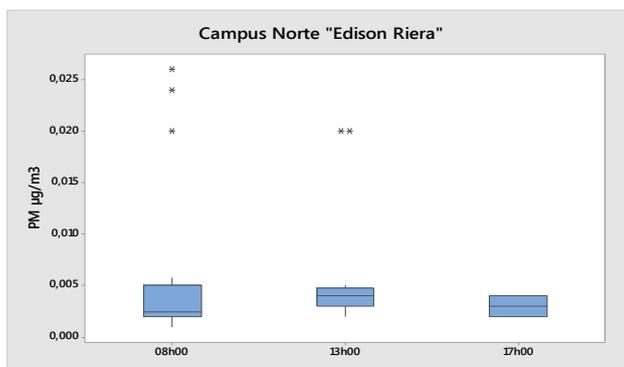
Se registran valores bajos en las mediciones, porque de acuerdo a lo que dice (Hernández Escamilla et al., 2013) los lugares en donde se tomaron los valores, presentan suelos pavimentados y escasos en polvaredas.

### 5.3. Material Particulado Volátil $10 \mu\text{m}$ ( $\text{PM}_{10}$ )

La distribución del  $\text{PM}_{10}$  se trabajó con el software Minitab 17 Statistical. De los 24 valores tomados en el campus Norte “Edison Riera”, de  $\text{PM}_{10}$ , se determinó un valor medio para las 08h00, 13h00 y 17h00 de  $0,0054 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0,0049 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0,0029 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el valor máximo obtenido fue de  $0,026 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el valor mínimo de  $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el rango

establecido es de  $0,025 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 08h00,  $0,018 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 13h00 y  $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 17h00 (**Anexo 4**).

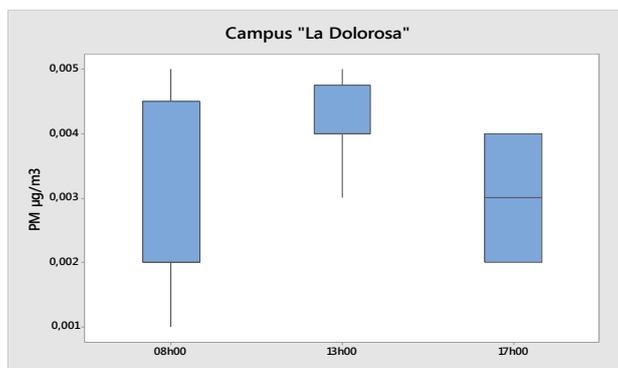
**Figura 8:** Distribución de material particulado  $10 \mu\text{m}$ , Campus “Edison Riera”



Autor: Karla Bayas G.

Para el Campus “La Dolorosa”, se tuvo un valor medio de PM para las 08h00, 13h00 y 17h00 de  $0,0027 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0,0040 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0,0030 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente; el valor máximo que se registra en el campus es de  $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y un valor mínimo de  $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el rango que estableció el análisis estadístico es de  $0,004 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para las 08h00 y de  $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las otras horas (**Anexo 5**).

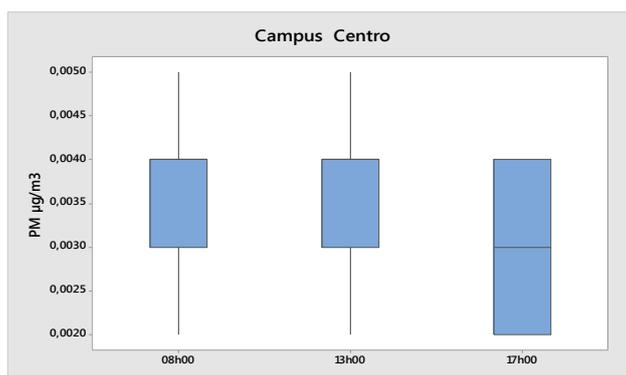
**Figura 9:** Distribución de material particulado  $10 \mu\text{m}$ , Campus “La Dolorosa”



Autor: Karla Bayas G.

Para el Campus Centro, se tuvo un valor medio de PM para las 08h00, 13h00 y 17h00 de  $0,0035 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0,0036 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $0,0030 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; el valor máximo que se registra es de  $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el valor mínimo de  $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un rango de  $0,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 08h00 y 13h00 y de  $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 17h00 (**Anexo 6**).

**Figura 10:** Distribución de material particulado 10  $\mu\text{m}$ , Campus "Centro"



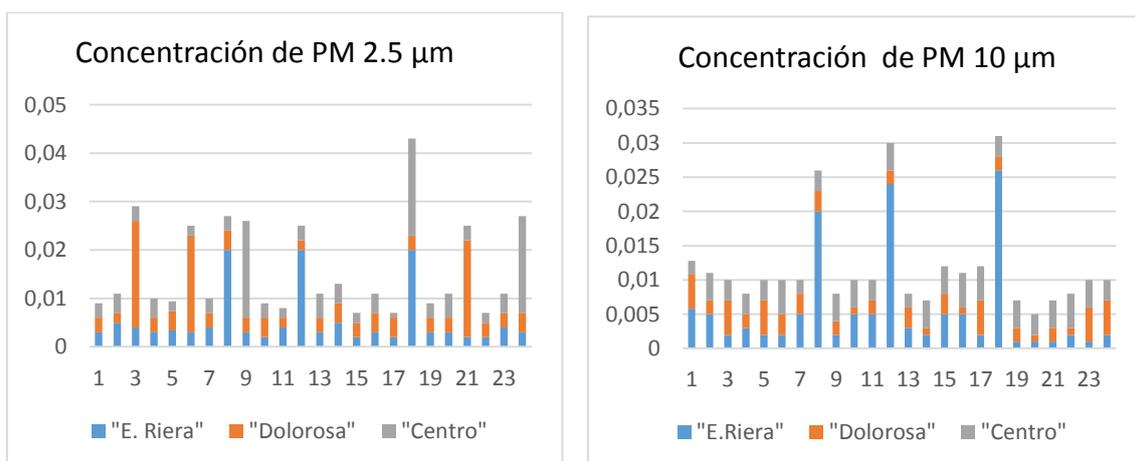
Autor: Karla Bayas G.

Se tiene un límite máximo permisible para el filtro de 10  $\mu\text{m}$  de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para las 24 h, de acuerdo a los 2 minutos de tiempo de muestreo se obtuvo como límite máximo permisible de 0.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para la legislación ecuatoriana y de 0.069  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para la Organización Mundial de la Salud, sin embargo, los valores encontrados no sobrepasan la norma, mencionando que el campus Edison Riera, vía a Guano, las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  son mayores que en los otros campus universitarios.

#### 5.4. Análisis de la temporalidad del PMV

Se realizó el análisis de la temporalidad de la concentración del PMV en los tres campus universitarios, para las diferentes horas que se monitoreo.

**Figura 11:** Concentración de PMV en los campus a las 08h00

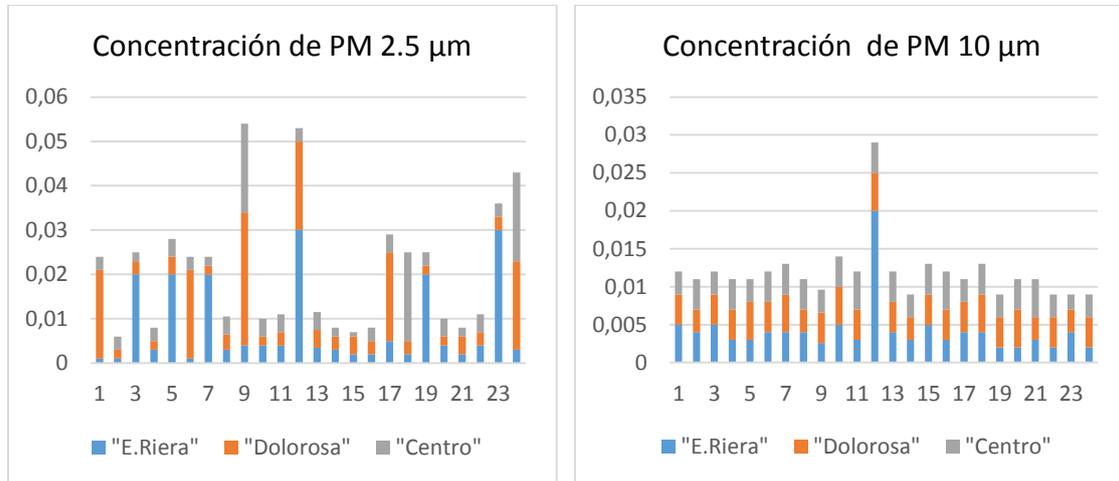


Autor: Karla Bayas G.

De los 24 puntos de monitoreo, a las 08h00, se puede observar que existen días en que la concentración de material particulado fue mayor; para el PMV 2,5  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , el día

que tiene la mayor concentración es el análisis número 18, que de acuerdo al calendario pertenece al jueves 26 de mayo de 2016; donde se registra una medida de  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $2,5 \mu\text{m}$  para el campus Edison Riera y Centro y de  $0,026 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $10 \mu\text{m}$  en el campus Edison Riera.

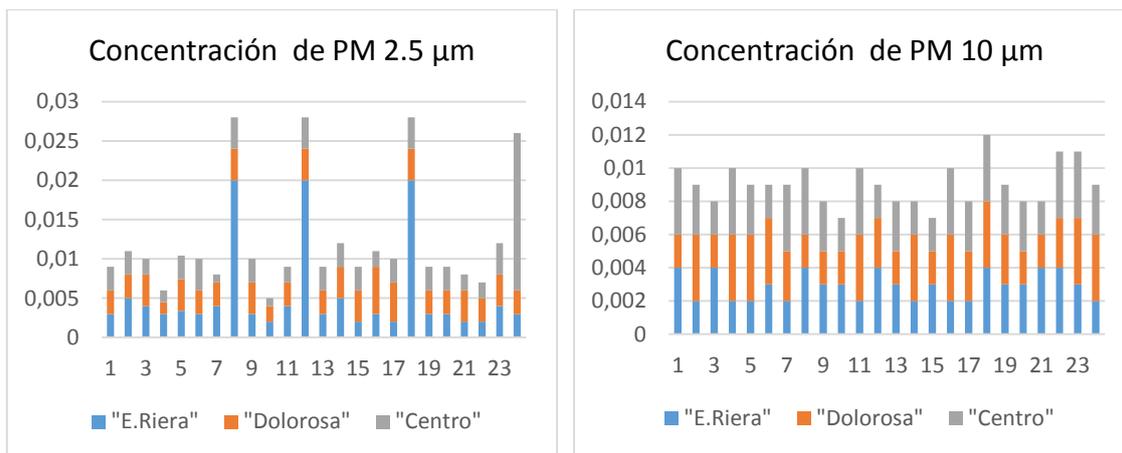
**Figura 12:** Concentración de PMV en los campus a las 13h00



Autor: Karla Bayas G.

En el monitoreo a las 13h00, se observa para PMV  $2,5 \mu\text{m}$ , la concentración mayor se asigna al día viernes 13 de mayo de 2016 con  $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el campus Dolorosa y  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el campus Centro; mientras que para el PMV de  $10 \mu\text{m}$ , el viernes 20 de mayo se registra un valor de  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el campus Edison Riera.

**Figura 13:** Concentración de PMV en los campus a las 17h00



Autor: Karla Bayas G.

Para las 17h00, se registraron valores de PM  $2,5 \mu\text{m}$  de  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los días 12, 18 y 26 de mayo y en el campus Edison Riera y el 3 de junio en el campus Centro; para el

PMV 10  $\mu\text{m}$  el día que tiene la mayor concentración es el 26 de mayo con 0,004  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , valor que se registra en los tres campus universitarios.

### 5.5. Material Particulado Sedimentable (PMS)

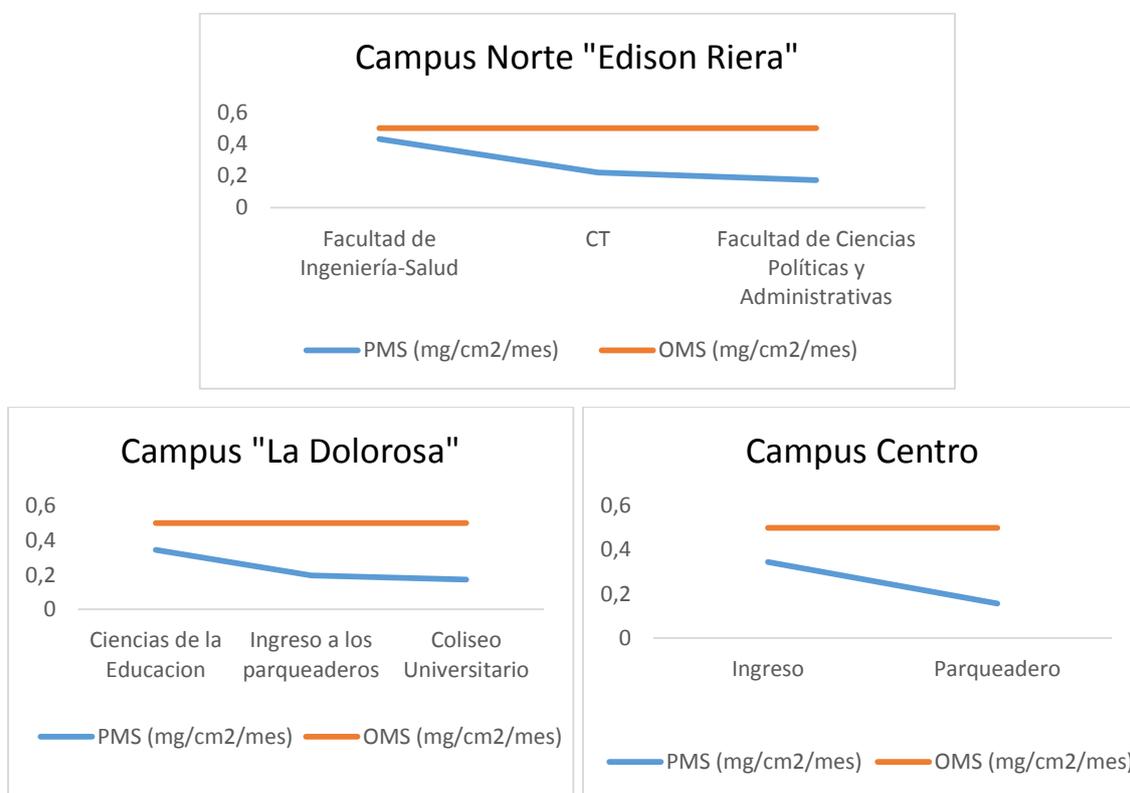
**Tabla 6:** Resultados de las concentraciones de material particulado sedimentable

Campus	Ubicación	PMS ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ )
Norte	Facultad de Ingeniería-Salud	0,43
“Edison Riera”	CT	0,22
“La Dolorosa”	Facultad de Ciencias Políticas y Administrativas	0,17
	Ciencias de la Educación	0,34
	Ingreso a los parqueaderos	0,20
	Coliseo Universitario	0,17
Centro	Ingreso	0,34
	Parqueadero	0,16

Autor: Karla Bayas G.

### Comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos por la OMS

**Figura 14:** Comparación de valores de PMS con límites establecidos por la OMS



Autor: Karla Bayas G.

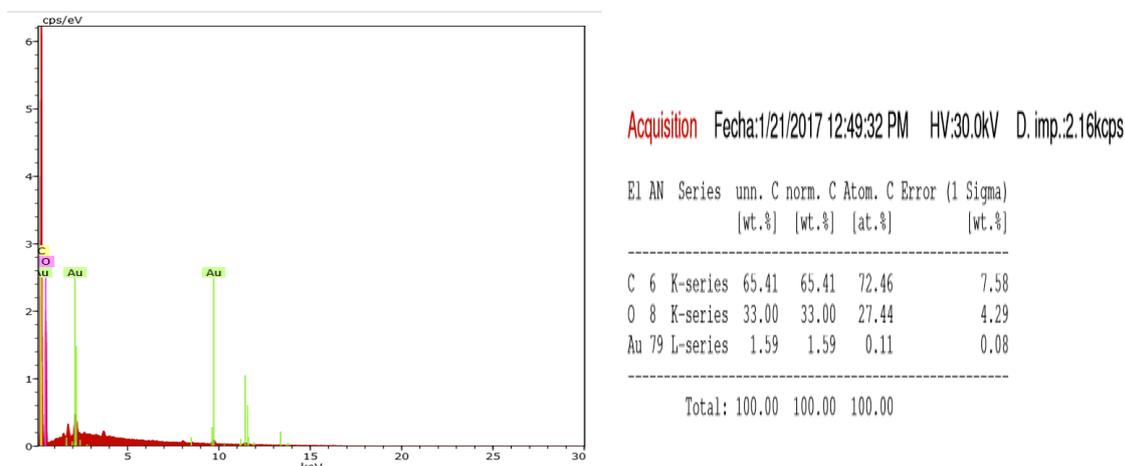
Para la OMS el límite máximo permisible de material particulado sedimentable es de 0,5 mg/cm<sup>2</sup>/mes, los valores que se reflejan en los tres campus no supera el límite establecido. Los sectores con mayor concentración en el papel filtro se encuentran en la UNACH Edison Riera, en el parqueadero de la Facultad de Ingeniería con 0,43 mg/cm<sup>2</sup>/mes, seguido de las estación de monitoreo en la Facultad de Ciencias de la Educación campus de La Dolorosa y al ingreso del campus Centro, con una concentración de 0,34 mg/cm<sup>2</sup>/mes; según lo que menciona (Marcos Huatuco y Valderrama Romero, 2012) en su investigación, podemos deducir que una de las causas por las cuales los campus presentan altas concentraciones de PMS, se debe al tráfico vehicular alrededor de las estaciones de monitoreo establecidas.

## 5.6. Análisis molecular

### 5.6.1. Caracterización química

La composición química del material particulado sedimentable se determinó por medio de espectroscopia de fotones rayos x dispersados (EDX), se examinó una muestra representativa de cada campus universitario.

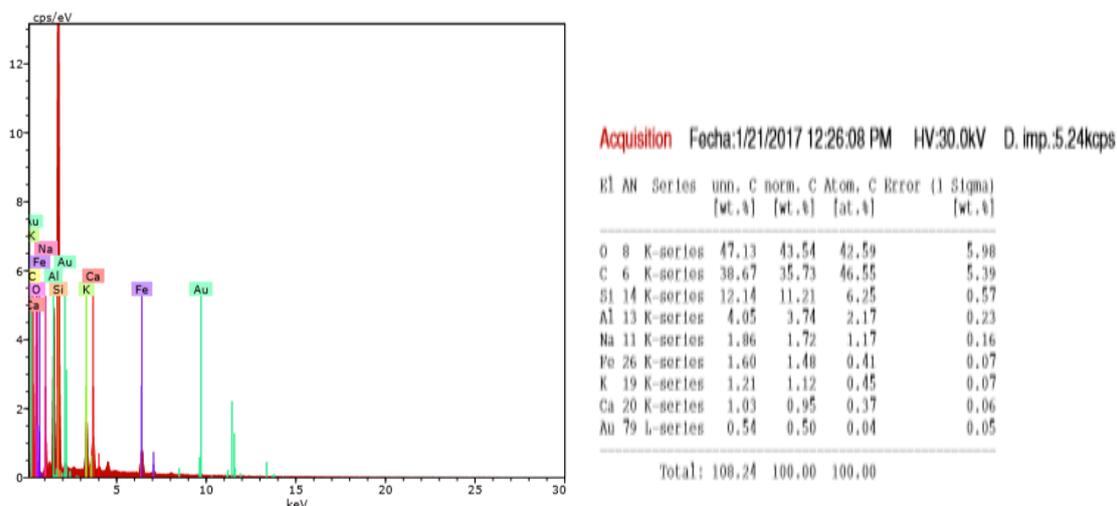
**Figura 15:** Caracterización físico química del papel filtro



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

El análisis físico-químico de la muestra del papel filtro que fue sometido a la estufa por 24 horas a 50 °C, sin presencia de material particulado, arrojó valores de Carbono y Oxígeno de 65,41 % y 33%, respectivamente, los cuales son los dos compuestos principales del papel filtro.

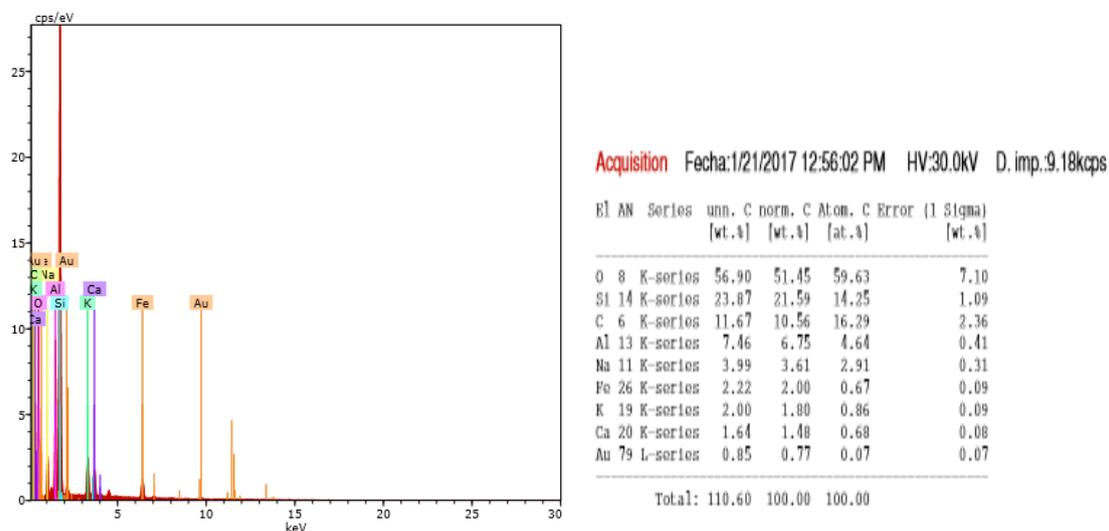
**Figura 16:** Caracterización física química UNACH “Edison Riera”



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el campus Edison Riera, via a Guano, la muestra presenta una composición química de O y C, con valores de 47,13% y 38,67%, respectivamente; seguido de Si y Al con 12,14% y 4,05%, para cada uno de ellos; y cantidades inferiores de Na, Fe, K y Ca.

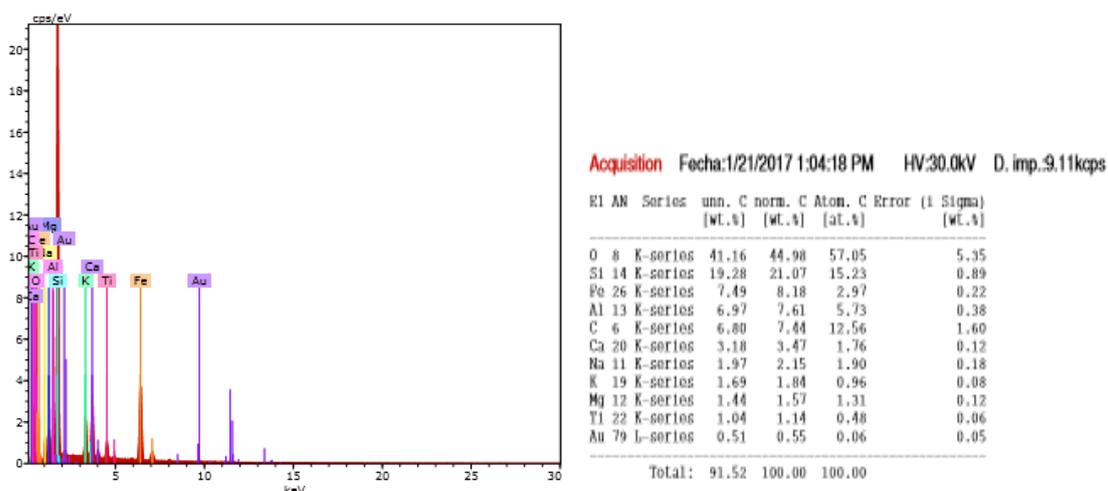
**Figura 17:** Caracterización física química UNACH “La Dolorosa”



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

En el campus de La Dolorosa, la muestra presenta altas concentraciones de O con 56,90% y Si con 23,87%, en menor concentración al C, Al y Na, con 11,67%, 7,46% y 3,99%, respectivamente; y cantidades inferiores de Fe, K y Ca.

**Figura 18:** Caracterización física química UNACH “Centro”



Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

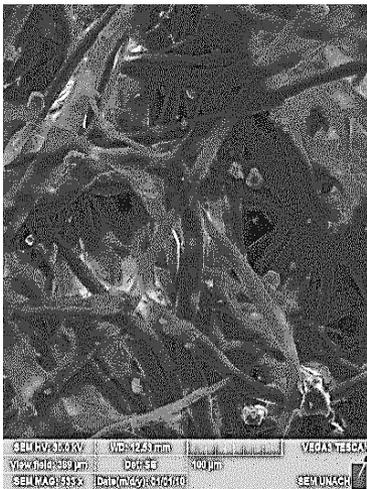
En el campus situado en el centro de la ciudad la composición química del material particulado presenta cantidades de O y Si, con valores de 41,16% y 19,28%, para cada uno de ellos; a su vez, siendo éstos los porcentajes mas altos en la concentración, el Fe con 7,49%, Al con 6,97% y C con 6,80%; y cantidades inferiores de Ca, Na, K, Mg y Ti; en un estudio de (Ramirez, 2009), en la ciudad de Mexico, encontraron Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Na, S, Si y Ti. De acuerdo a (Machado et al., 2008) (Suárez y Pérez, 2006), la composición del PM lo conforman metales livianos y pesados, de los cuales el As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb, conforman el grupo que causa el mayor impacto en la salud humana.

Las partículas que contienen Ca, son las dominantes en el material particulado proveniente de vehículos con motores de combustión interna; éste compuesto se encuentra en todas las muestras y se debe a la cercanía de las muestras a vías donde transitan vehículos; los metales como el Al, Si, Ti y Ca son materiales de la composición del suelo, el Fe está relacionado con las emisiones vehiculares, mientras que el K es originado por procesos industriales; el Fe es un elemento mayoritario, que puede provenir de la re-suspensión del polvo y de la combustión de vehículos a diésel, (Parra, 2010) menciona que este metal es abundante en el aire en donde se encuentran vías de transporte.

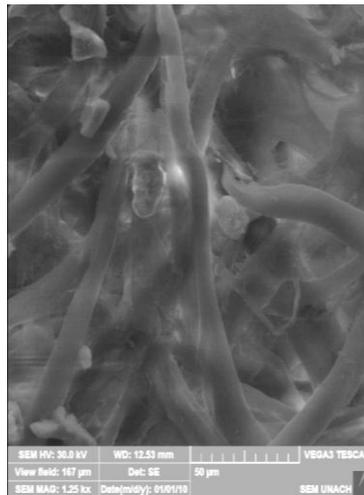
### 5.6.2. Caracterización morfológica

Las partículas sedimentadas en el papel filtro fueron analizadas morfológicamente con el uso del microscopio electrónico de barrido; se realizaron cortes en el papel filtro de  $1\text{cm}^2$ , que fueron metalizados con oro, la observación se realizó en el microscopio electrónico de barrido, donde se tomaron imágenes a 200x, 100x, 50x, 20x y 10x, en donde se pueden identificar la forma y el tamaño de las partículas sedimentadas.

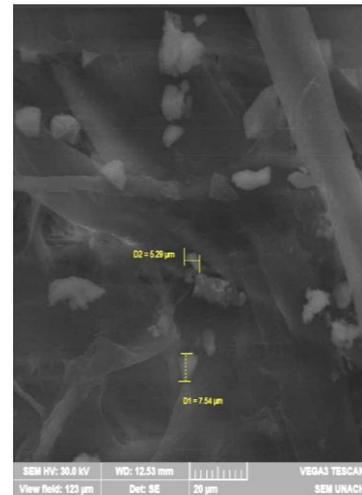
#### Imágenes obtenidas del microscopio electrónico de barrido



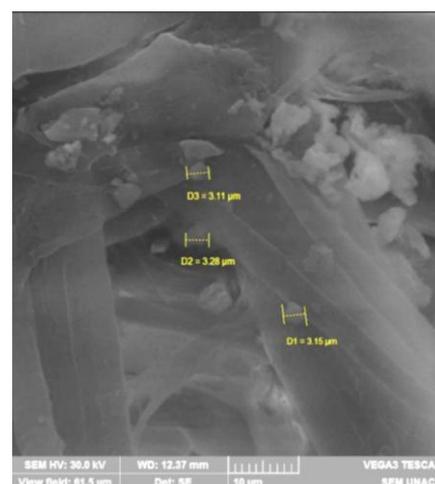
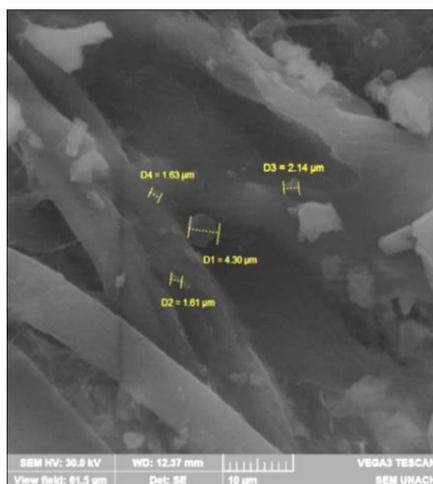
**Figura 19:** PM observado a 100X



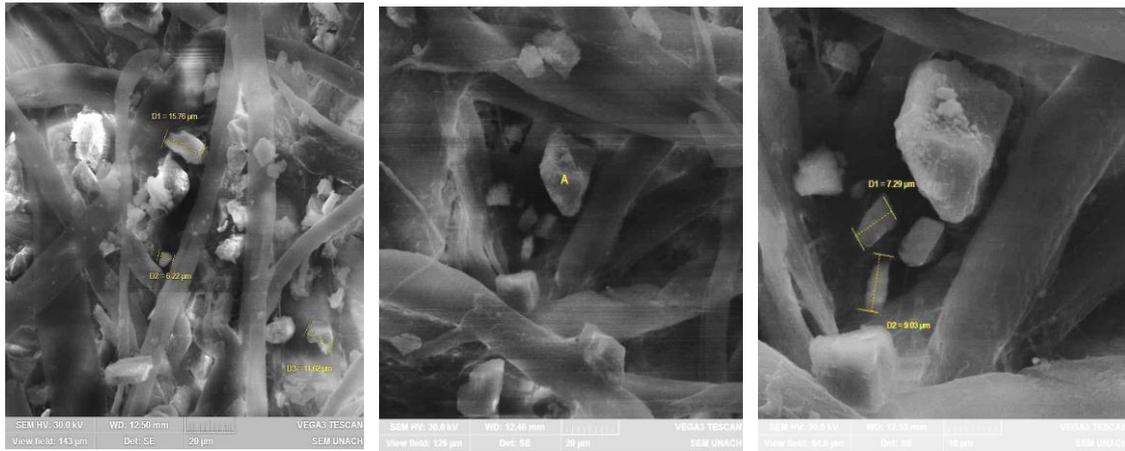
**Figura 20:** PM observado a 50X



**Figura 21:** Diámetro de las partículas, observadas a 20X



**Figura 22:** Diámetros de las partículas mayores a  $2,5\ \mu\text{m}$ , observadas a 10X



**Figura 23:** Diámetro de las partículas mayores y menores a 10 μm

Fuente: UNACH. Laboratorio de microscopia

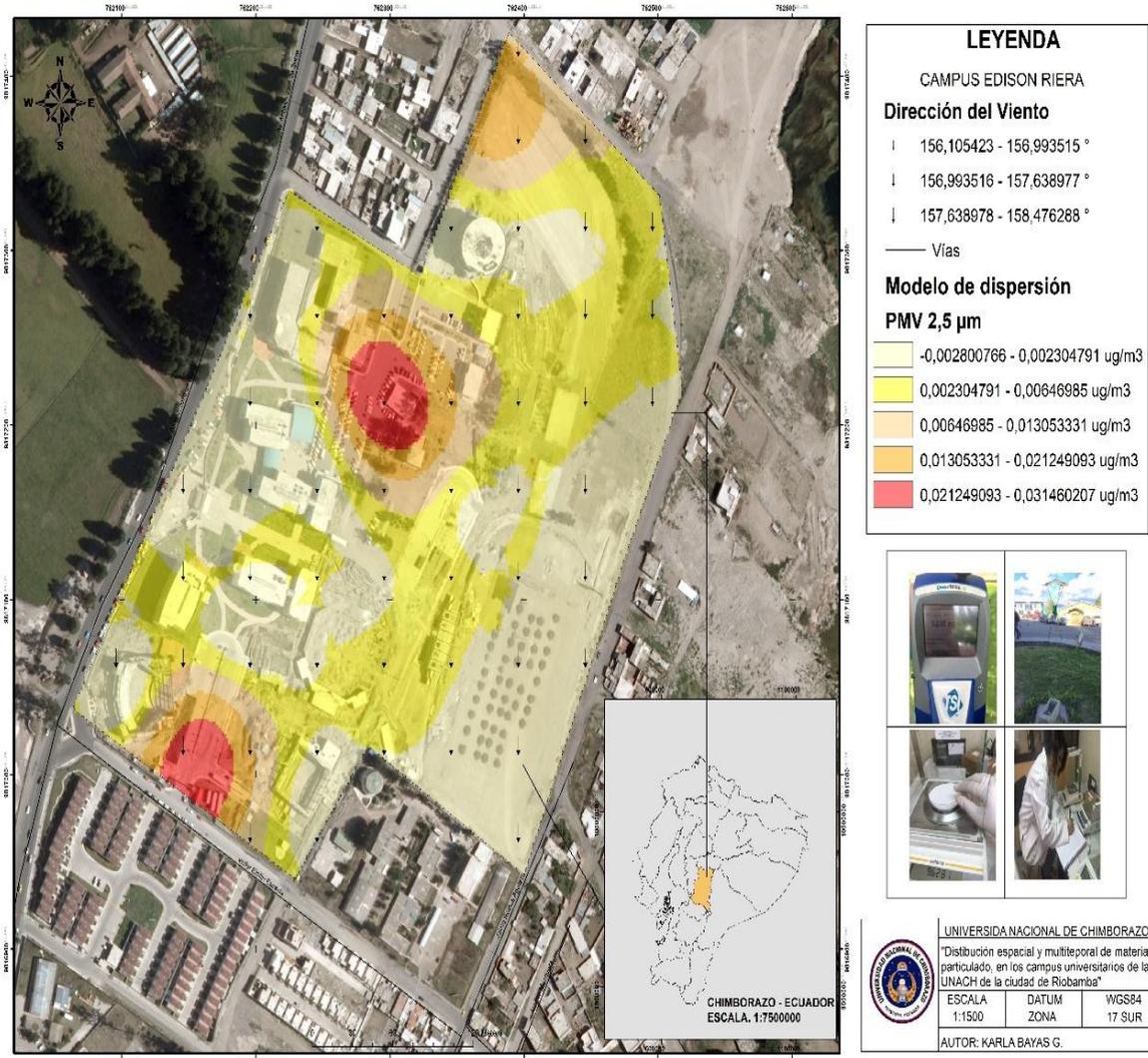
### 5.7. Modelo Geo estadístico

Finalmente se elaboraron los mapas correspondientes para visualizar la variación espacial del PMV 2,5 μm en el periodo mayo-junio de 2016, esto se realizó con 30 interacciones, 24 puntos ciertos y 6 puntos fuera para una mejor predicción del modelo de dispersión. Dentro del análisis estadístico se obtuvieron una predicción de 99,56%, 99,57% y 99,37%, para el campus Centro, Dolorosa y Edison Riera, respectivamente; y un error de 0,44%, 0,43% y 0,63%.

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, Urbina, San Juan y Tunshi; las unidades de la dirección están dadas en grados; la dirección para los campus es 149° en el campus Centro, 158° para el campus Edison Riera y de 169° para el campus La Dolorosa, indicando que el PM se mueve en esta dirección.

La distribución de la contaminación por PM está relacionada con la temperatura, según lo que menciona (Opazo, 2011) en su investigación, 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.

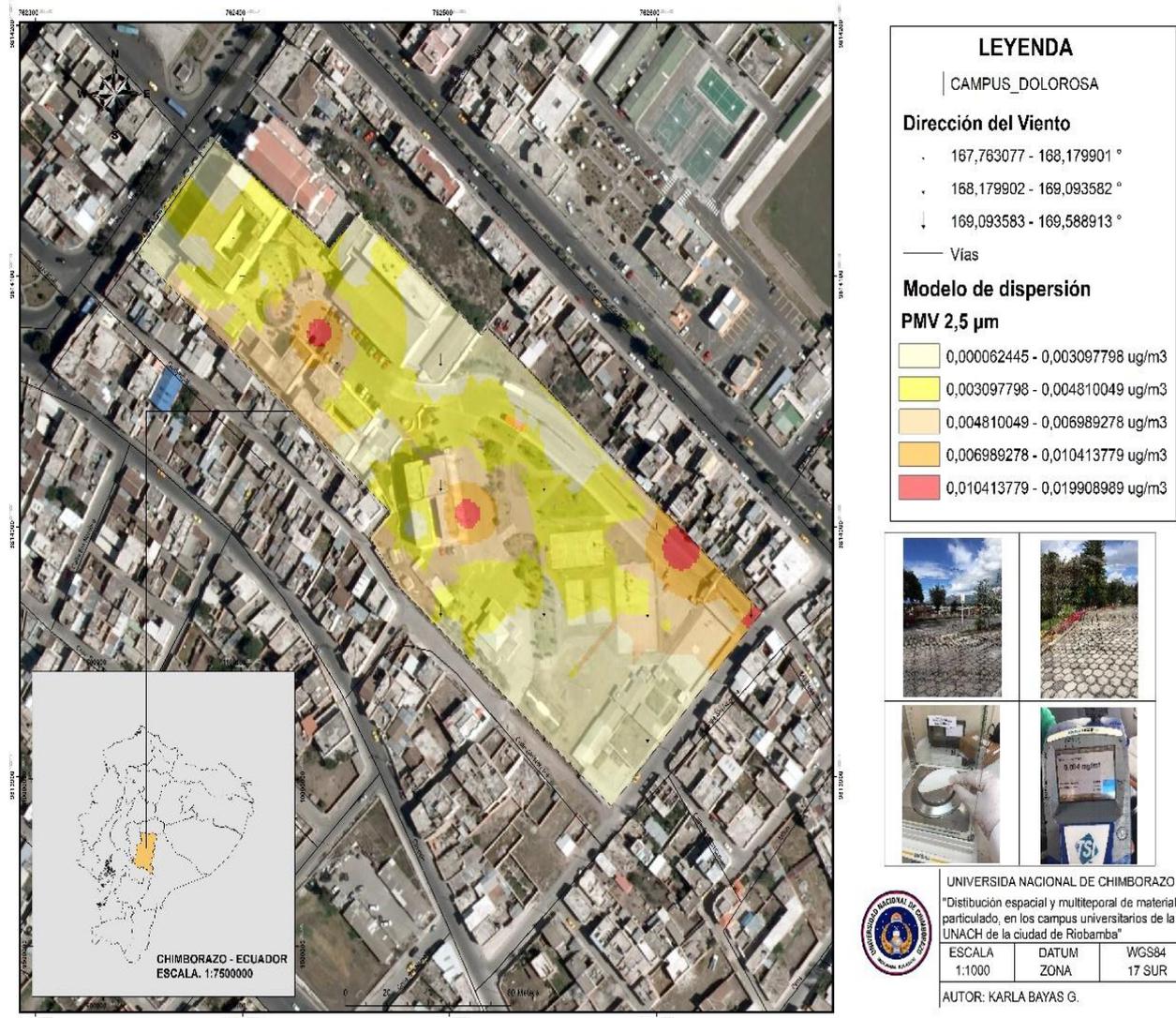
**Figura 24:** Modelo de dispersión de PMV 2,5 µm, campus Norte “Edison Riera”



Autor: Karla Bayas G.

En el campus Norte se realizó el modelo de dispersión para el material particulado de 2,5 micras para las 13h00, debido a la afluencia de vehículos, los puntos mayores de concentración se encuentran en los ingresos a los parqueaderos, siendo en el parqueadero de la facultad de ingeniería, el punto de mayor concentración es de 0,03 µg/m<sup>3</sup>; el particulado tiende a dirigirse en dirección SE, de acuerdo al mapa de dirección del viento que se obtuvo de las medias de las estaciones meteorológicas del INAMHI en la zona. En el estudio que se realizó en México por (Sánchez Muñoz, 2015) la dispersión de los contaminantes atmosféricos depende del movimiento del viento.

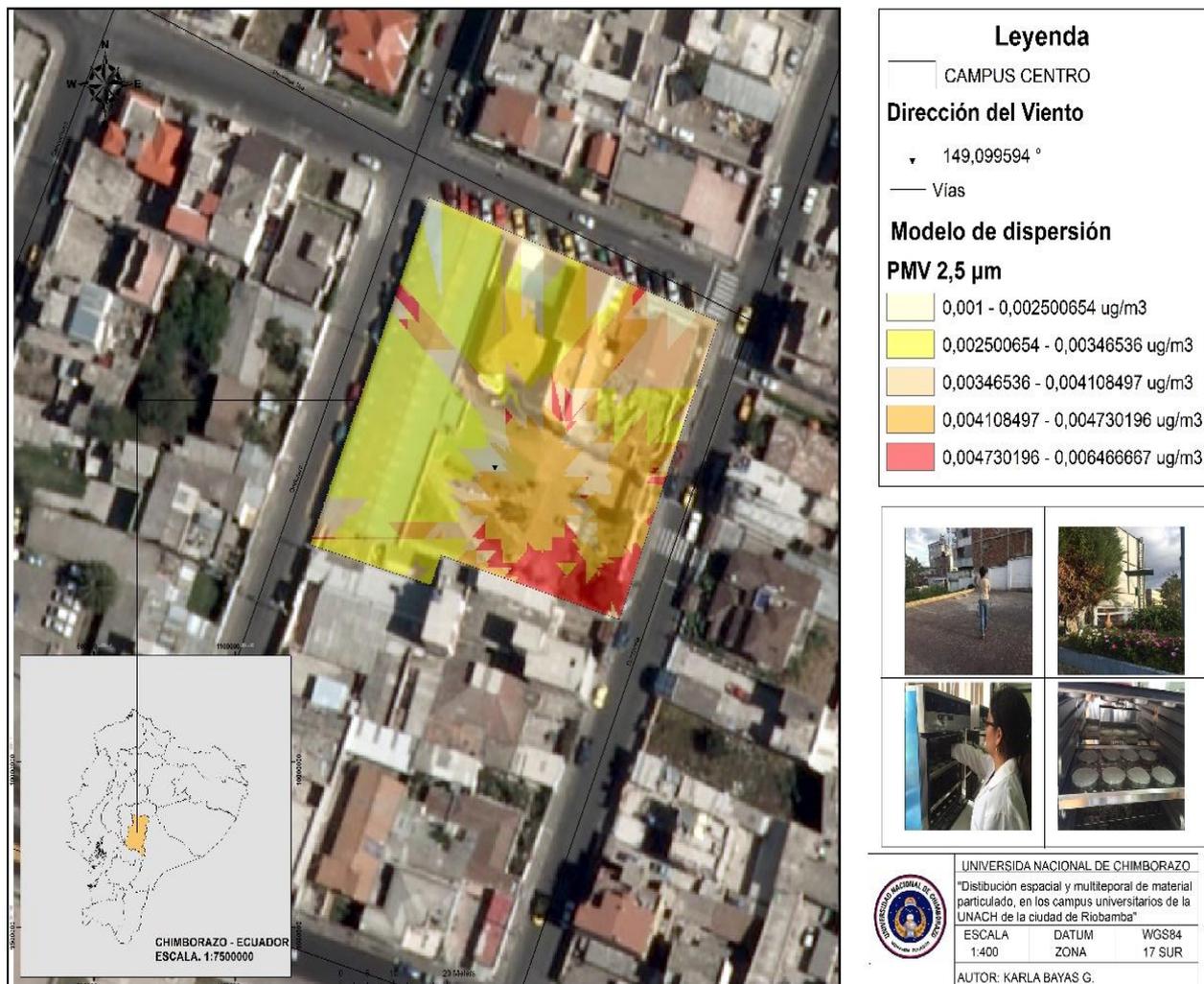
**Figura 25:** Modelo de dispersión de PMV 2,5 µm, campus “La Dolorosa”



Autor: Karla Bayas G.

En el campus de “La Dolorosa” se realizó el modelo de dispersión para el material particulado de 2,5 micras para las 13h00, ya que en esta hora se registra la mayor cantidad de movimiento vehicular, los puntos mayores de concentración se encuentran al ingreso del estacionamiento y en la Facultad de ciencias Educativas con un valor de 0,02 µg/m<sup>3</sup>, el mapa de dirección del viento se obtuvo de las medias de las estaciones meteorológicas del INAMHI que permite establecer la dirección en sentido SE del material particulado. Según (Sánchez Muñoz, 2015) los contaminantes se dispersan por acción de los vientos, el material particulado es arrastrado en función de los movimientos de las masas de aire.

**Figura 26:** Modelo de dispersión de PMV 2,5 µm, campus “Centro”



Autor: Karla Bayas G.

En el campus Centro se realizó el modelo de dispersión para el material particulado de 2,5 micras para las 13h00, el parqueadero tiene capacidad máxima de 10 vehículos; sin embargo, existe una cercanía del estacionamiento a una vía pública principal de la ciudad que conecta a varios lugares de la ciudad, el punto mayor de concentración es al ingreso del estacionamiento, el valor mayor de concentración para este campus es de  $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pero en el modelo refleja el valor máximo de  $0,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a la clasificación que se realizó con el programa, el PM se moviliza hacia afuera del campus ya que posee una dirección de SE, según el mapa de dirección de vientos que se realizó a partir de las medias del mes de mayo obtenidos de las estaciones metrológicas del INAMHI.

## 6. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, existió mayor cantidad de material particulado sedimentable en el campus Edison Riera, ya que este campus aglomera la mayor cantidad de estudiantes y vehículos, en un horario que inicia desde las siete de la mañana hasta las nueve de la noche. En los otros dos campus de la universidad, la cantidad es menor.

Con respecto al material particulado volátil, de igual manera existe una mayor cantidad en el campus Edison Riera a diferencia de los otros campus, además es importante mencionar que existieron días donde se registraron valores altos de  $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en los campus, en donde se evidencio un gran número de automóviles que ingresaron a los establecimientos educativos; el PM  $2,5 \mu\text{m}$  con respecto al PM  $10 \mu\text{m}$ , en el campus Edison Riera, existen valores similares en los días 20 y 26 de mayo, sin embargo el PMV  $2,5 \mu\text{m}$  está presente en mayor concentración en relación al PMV  $10 \mu\text{m}$ ; es importante analizar las partículas menores a 2,5 micras, porque éstas son más respirables por el ser humano y tienen un efecto mayor sobre la salud.

Para el análisis del Material Particulado Sedimentable se recogieron muestras durante un tiempo (1 mes), donde pudimos obtener datos dentro de la normativa ecuatoriana, sin embargo, los valores son muy cercanos al límite establecido de  $0,5 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ , se tiene un valor de  $0,43 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  en el campus “Edison Riera”, seguido de la estación de monitoreo en la Facultad de Ciencias de la Educación campus de “La Dolorosa” y al ingreso del campus Centro, con una concentración de  $0,34 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$ .

Tanto para el material particulado volátil y material particulado sedimentable, los valores obtenidos no sobrepasan los límites permisibles establecidos por la legislación ecuatoriana y la Organización Mundial de la Salud.

- Las técnicas de microscopía electrónica (SEM) acoplado a microanálisis de rayos X (EDX), satisfacen el análisis de estas muestras. La información que resulta de este análisis, proporcionó imágenes de la forma irregular de las partículas, es relevante debido a que estas partículas se incrustan en diferentes partes del aparato respiratorio, causando daño a la salud.

Los principales elementos que se encontraron en las muestras de los diferentes campus universitarios son: Si, Al, Na, Ca, K, Fe, Ti y Mg. De acuerdo a (López, 2007), el Ca, Na y K; son atribuibles a aceite lubricante del motor.

Dentro del estudio de (Gómez, 2013) podemos mencionar las principales enfermedades pulmonares que causan algunos de los elementos presentes en las muestras son: siderosis

(producida por el hierro), aluminosis (producida por el aluminio) y silicosis (producida por el sílice).

- Se presentó espacialmente el comportamiento del material particulado volátil, durante los 28 días de monitoreo de 2,5 micrómetros producidos por el tráfico vehicular, mostrándose los sectores de mayor influencia en los campus universitarios: Campus Norte “Edison Riera R.” Avda. Antonio José de Sucre, Km 1.5 Vía a Guano, Campus “La Dolorosa” Avda. Eloy Alfaro y 10 de agosto, Campus Centro Duchicela 17-15 y Princesa Toa, el PMV tuvo una dirección SE en los tres campus, los edificios presentes en las instituciones forman una barrera, de acuerdo a ello el PM es transportado fuera de los campus.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Es importante realizar las mediciones a lo largo del año, sobretodo en época en donde el volcán Tungurahua está activo, ya que este es la principal fuente natural de emisiones a la atmosfera, cercana al sitio de estudio; y de esta manera los resultados obtenidos variarían en concentración.

- La caracterización físico-química, varía de acuerdo a la actividad que se realiza cercana a la zona de influencia, sin embargo, la presencia de ceniza en la ciudad se agrava en diferentes épocas del año, de la misma manera la composición química, por ello es importante realizar la caracterización para tomar medidas de seguridad.

- Es necesario llevar a cabo un programa experimental de caracterización física y química de material particulado, utilizando una muestra bastante mayor que la utilizada en la presente investigación y con un mayor grado de representatividad de las fuentes generadoras, para conocer cuál es la composición del material particulado que ha sido recolectado, en los sectores de los campus universitarios.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aldabe Salinas, J. (2011). *Caracterización Físico Química Del Material Particulado En La Comunidad Foral De Navarra*. Universidad de Navarra.
- Almirón, M., Dalmaso, 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.
- Arciniegas Suárez, C. A. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10. *Luna Azul*, (34), 195–213.
- Fundacion Biodiversidad. (2013). Calidad del aire y salud. Retrieved from <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176118/Las-causas-de-la-contaminacion-atmosferica-y-los-contaminantes-atmosfericos-mas-importantes>
- Gómez Yepes, M. E., & Cremades Oliver, L. V. (2013). *XI Congreso Internacional de Prevención de Riesgos Laborales: 3, 4 Y 5 de Abril de 2013*. Retrieved from <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanoparticulas-su-incidencia-en-salud-trabajador>
- Green, J., & Sánchez, S. (2013). *La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica*. Clean Air Institute. Washington D.C. Retrieved from <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>
- Hernández Escamilla, J. A., Flores Margez, J. P., Flores Ramírez, M., Rodríguez Mendoza, N., Delgado Ríos, M., Shukla, M. K., & DuBois, D. (2013). *Material particulado dispersado al aire en áreas sin asfalto en Ciudad Juárez*. *Revista de ciencia y tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez* (Vol. 11).
- INAMHI. (2014). *ANUARIO CLIMATOLOGICO*. Riobamba. Retrieved from <https://www.esPOCH.edu.ec/index.php/component/k2/item/650.html>
- INEC. (2016). Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>
- López Santiago, L. F., & Becerra Pineda, Y. C. (2016). *Evaluacion de la contaminacion atmosferica respecto al material particulado menor a 10µm, en el casco urbano del Municipio de Ocaña, norte de Santander*. 200.93.148.28. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Retrieved from <http://200.93.148.28/drupal/files/D1dCBLxWr0Gnvid.pdf>
- López Vidal, G., & Estrada Flores, A. (2007). Partículas emitidas por los automotores a diesel en los grandes centros de población del país. *Repdisca*, (152).
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, 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. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 24(4), 171–182.
- MAE. (2012). *Texto Unificado Legislacion Secundaria , Medio Ambiente* (Lexis). Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/TEXTO-UNIFICADO-LEGISLACION-SECUNDARIA-MEDIO-AMBIENTE.pdf>
- Marcos, R., Cabrera, M., Laos, H., Dalma Mamani Y, & Valderrama, A. (2007). Metodologías De Tubo Pasivo Y De Placas Receptoras En La Ciudad Universitaria De San Marcos – Lima Comparative Study for the Determinacion of the Atmospheric Dust Sedimentable Employing the Methodologies of Passive Pipe and of Plates Receptoras in the Uni. *Centro de Desarrollo E Investigación En Termofluidos CEDIT*, 49–58. Retrieved from [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/rev\\_cedit/2008\\_V03/pdf/a06v3.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a06v3.pdf)
- Marcos Huatuco, R., & Valderrama Romero, A. (2012). Contaminación del aire por material particulado en la Ciudad Universitaria-UNMSM. *Centro de Desarrollo E Investigación En Termofluidos (CEDIT) Departamento de Ingeniería Mecánica de Fluidos (DAIMF)*, 14.
- Mendez Espinosa, J. F., Pinto Herrera, L. C., & Galvis Remolina, B. R. (2017). Estimation of resuspended dust emission factors before, during and after road paving process in Bogota. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 43–60. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1797> RESUMEN
- Ministerio del Ambiente. (2015). NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE.
- Miranda Romero, K. A., & Ortíz Flórez, L. A. (2008). *Evaluación de la Concentración de Material Particulado Suspendido PM10 y su Relación con la Morbilidad Asociados a ERA'S en Niños Menores a Catorce Años por Efermedad Respiratoria Aguda en el Municipio de Toluviejo (Sucre)*. *Journal of Chemical Information and Modeling*. Universidad de La Salle. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- OMS. (2007). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Retrieved from [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/outdoorair\\_aqg/es/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/es/)
- 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.
- Parra, Q., Vargas, Q., Juliana, M., Martínez, H., & Antonio, J. (2010). Caracterización

- fisicoquímica del material, (May 2015).
- Peña García, L., Maciel Flores, R., Rosas Elguera, J., & Rentería Tapia, V. (2016). Revista de Investigación y Desarrollo Distribución de polvo urbano en la zona metropolitana de Guadalajara , México Revista de Investigación y Desarrollo. *Revista de Investigación Y Desarrollo*, 3(4), 16–23.
- Pérez Vidal, H., Lunagómez Rocha, M., & Acosta Pérez, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM10), en Cunduacán, Tabasco. *Universidad Y Ciencia*, 26(2), 151–162.
- Ramirez, R., Esparza Ponce, H., Varela Sortillón, A., Astorga Reyes, A., & Roman B, A. (2009). Characterization of Inhalable Particulate Matter in Ambient Air by Scanning Electron Microscopy and Energy-Dispersive X-ray Analysis. *Microscopy and Microanalysis*, 15(S2), 1320–1321. <https://doi.org/10.1017/S1431927609097335>
- Ruiz Ramos, C. F. (2007). *Caracterización del Material Particulado en las Principales Vías del Transporte Público Colectivo y Masivo del Centro de Bogotá*. Universidad de los Andes.
- Salinas Vio, P. A. (2012). *Contaminación atmosférica por material particulado y consultas de urgencias por mornilidad respiratoria en menores de 5 años en la ciudad de Valdivia, período mayo-julio, año 2010*. Universidad Austral de Chile.
- Sánchez Muñoz, H. E., Orozco Hernández, M. E., Pacheco, V., & Valdez Pérez, M. E. (2015). *Comportamiento espacial de las partículas suspendidas pm 10 y estrategias de gestión ambiental del aire en la zona metropolitana de Toluca, México*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Sánchez Rosero, C. H. (2016). *Universidad técnica de 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.
- Suárez, V. D., & Pérez, C. P. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *ActaNova*, 3, 308–322.
- Vivar Martínez, E. F. (2014). *Cuantificación De Material Particulado Pm10 Y Su Efecto Toxicológico-Ambiental, En La Ciudad de Azogües*. Universidad de Cuenca.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Análisis Estadístico - Campus Norte “Edison Riera” – PM<sub>2,5</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median
08H00	24	0,00527	0,00117	0,00575	0,00003	0,00200	0,00300	0,00300
13H00	24	0,00798	0,00192	0,00943	0,00009	0,00100	0,00200	0,00375
17H00	24	0,00527	0,00117	0,00575	0,00003	0,00200	0,00300	0,00300

Variable	Q3	Maximum	Range
08H00	0,00400	0,02000	0,01800
13H00	0,01625	0,03000	0,02900
17H00	0,00400	0,02000	0,01800

### 9.2. Análisis Estadístico - Campus “La Dolorosa” – PM<sub>2,5</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
08H00	24	0,00538	0,00121	0,00595	0,00200	0,00300	0,00300	0,00400
13H00	24	0,00760	0,00174	0,00854	0,00200	0,00225	0,00300	0,01600
17H00	24	0,003521	0,000189	0,000926	0,001500	0,003000	0,003500	0,004000

Variable	Maximum	Range
08H00	0,02200	0,02000
13H00	0,03000	0,02800
17H00	0,006000	0,004500

### 9.3. Análisis Estadístico - Campus Centro – PM<sub>2,5</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	Minimum	Q1	Median
08H00	24	0,00521	0,00118	0,00579	0,00003	0,00100	0,00225	0,00300
13H00	24	0,00521	0,00118	0,00577	0,00003	0,00100	0,00300	0,00300
17H00	24	0,003479	0,000742	0,003634	0,000013	0,00100	0,00200	0,00300

Variable	Q3	Maximum	Range
08H00	0,00400	0,02000	0,01900
13H00	0,00400	0,02000	0,01900
17H00	0,003750	0,020000	0,019000

#### 9.4. Análisis Estadístico - Campus Norte “Edison Riera” – PM<sub>10</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
08h00	24	0,00549	0,00145	0,00712	0,00100	0,00200	0,00250	0,00500
13h00	24	0,004942	0,000966	0,004730	0,002000	0,003000	0,004000	0,004750
17h00	24	0,002917	0,000169	0,000830	0,002000	0,002000	0,003000	0,004000

Variable	Maximum	Range
08h00	0,02600	0,02500
13h00	0,020000	0,018000
17h00	0,004000	0,002000

#### 9.5. Análisis Estadístico - Campus “La Dolorosa” – PM<sub>10</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
08h00	24	0,002750	0,000302	0,001482	0,001000	0,002000	0,002000	0,004500
13h00	24	0,004042	0,000141	0,000690	0,003000	0,004000	0,004000	0,004750
17h00	24	0,003042	0,000185	0,000908	0,002000	0,002000	0,003000	0,004000

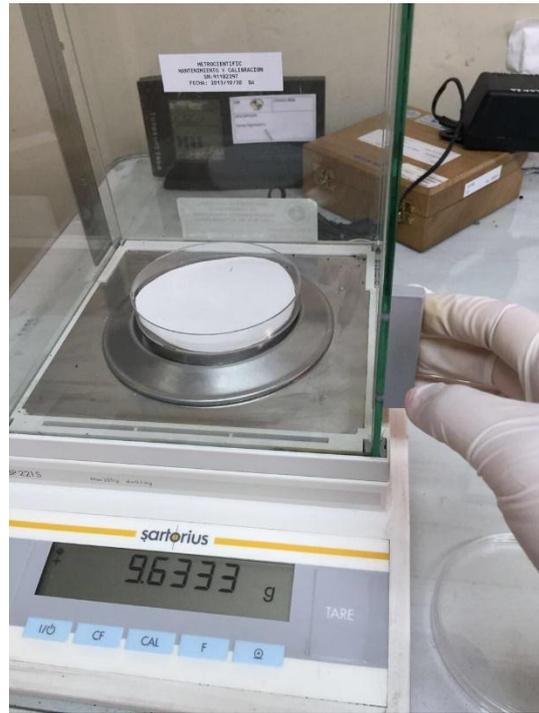
Variable	Maximum	Range
08h00	0,005000	0,004000
13h00	0,005000	0,002000
17h00	0,004000	0,002000

#### 9.6. Análisis Estadístico - Campus Centro – PM<sub>10</sub>

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
08h00	24	0,003583	0,000190	0,000929	0,002000	0,003000	0,004000	0,004000
13h00	24	0,003667	0,000155	0,000761	0,002000	0,003000	0,004000	0,004000
17h00	24	0,003083	0,000169	0,000830	0,002000	0,002000	0,003000	0,004000

Variable	Maximum	Range
08h00	0,005000	0,003000
13h00	0,005000	0,003000
17h00	0,004000	0,002000

## 9.7. Trabajo en Laboratorio



## 9.8. Ubicación de los equipos de monitoreo de PMS

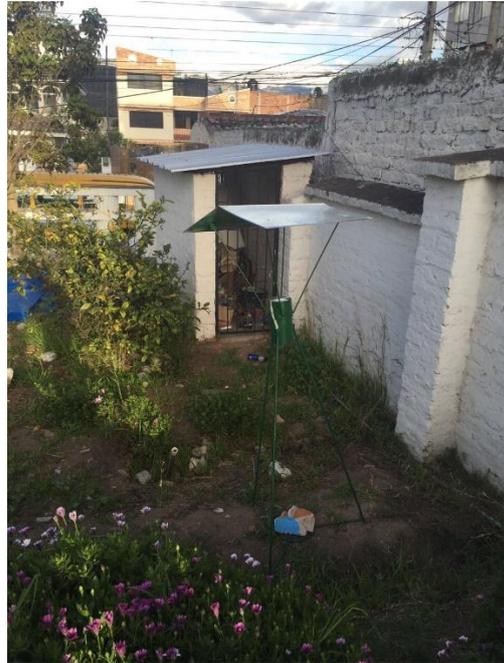
### Campus “La Dolorosa”



## Campus “Edison Riera”



## Campus Centro



### 9.9. Monitoreo con el equipo DustTrak™ II

