



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS

CARRERA DE INGENIERIA BIOQUIMICA

Tema: Validación del método para la determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en aire ambiente.

Trabajo de Titulación, modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, previo a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Este trabajo de titulación forma parte del proyecto de investigación “Diagnostico de la contaminación del aire por material particulado en la Universidad Técnica de Ambato”.

Autor: Carlos Andrés Tituaña Quillupangui

Tutor: Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

Ambato – Ecuador

Enero - 2019

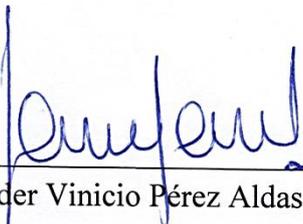
APROBACION DEL TUTOR

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 10 de diciembre del 2018



Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

CI:1802706596

Tutor

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo, Carlos Andrés Tituaña Quillupangui, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero Bioquímico son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas.



Carlos Andrés Tituaña Quillupangui

C.I. 1719702241

Autor

APROBACION DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente trabajo de Titulación modalidad Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad a las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente del Tribunal



Mg. Fernando Cayetano Álvarez Calvache

C.I. 1801045010



Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez

C.I. 1801045020

Ambato, 7 de enero del 2019.

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo de titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Carlos Andrés Tituaña Quillupangui

C.I. 1719702241

Autor

DEDICATORIA

A mi madre por ser la persona más valiosa que tengo en esta vida, la que me ayuda a seguir adelante, la que me inspira confianza y me brinda su fortaleza para seguir obteniendo logros en mi vida, te amo mucho mami, a mi padre que, aunque no estás en nuestro alrededor te quiero mucho, a mis hermanas, sobrinos y familiares los quiero mucho por el apoyo brindado en toda mi vida.

A todos los quiero

Carlos Andrés

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Elena por brindarme su ayuda tanto moral como económicamente para poder conseguir un logro más en la vida, brindado sus valores, al igual que mi padre cuando se encontraba con nosotros, me enseñaron a ser la persona que soy.

A toda mi familia Hermanas Jessica, Joselyn, a mi cuñado Edwin mis sobrinos Anthony, Joel y Juan Andrés, a mi tía Olga, Blanca, Don José, Panino, primos Pilar, Chino, Fer, Pato, Marco, José que me apoya en todas las circunstancias de la vida, que me permiten contarles mis logros y caídas y me apoyan con un consejo fiel.

A mis abuelitos Rosa y Lucas, que siempre me enseñaron sus valores para el reto de la vida, que en la vida hay que ser humilde para ser exitoso.

A mi mejor y único amigo, al que desde que lo conocí a estado presente en las buenas y malas con apoyo incondicional sin esperar nada a cambio, el cual ha hecho lo posible cuando he necesitado algún tipo de favor, mi amigo Alex Núñez “Bolo” (José).

A mi tutor Químico Lander Pérez por ser una persona buena, generosa y que ha confiado plenamente en mí, sabiendo brindarme sus conocimientos y los más importante su amistad y valores, por ser una persona sincera y pasiva.

Al ingeniero Andrés Sánchez por ser un excelente docente, que me ayudo en momentos críticos al brindarme su confianza.

Al laboratorio Environovalab Cía. Ltda. Por la ayuda brindada al utilizar sus equipos e instalación en general, por abrirme sus puertas en ayuda a su mejora.

A la Radio Mera de la ciudad de Ambato, por la invitación a su programa y permitir la exposición de mi proyecto de tesis.

A la Universidad Central del Ecuador por su apertura para la participación como Ponente Plenario en el V Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Química y III Congreso Ecuatoriano de Ciencias Químicas, Realizado en Quito los días 21, 22, 23 de noviembre del 2018,

MIL GRACIAS A TODOS...

INDICE GENERAL DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
EL PROBLEMA	3
1.1 Tema de investigación	3
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPITULO II	5
MARCO TEORICO	5
2.1 Antecedentes Investigativos	5
2.1.1 Selección y verificación de métodos	5
2.1.2 Validación de métodos	5
2.1.3 Condiciones ambientales requeridas para el monitoreo de calidad de aire 6	6
2.2 Hipótesis	6
2.2.1 Hipótesis nula	6
2.2.2 Hipótesis alternativa	6
2.2.3 Variable independiente	7
2.2.4 Variable dependiente	7
CAPITULO III	8
MATERIAL Y METODOS	8
3.1 Equipos y materiales para análisis de la calidad del aire	8
3.1.1 Muestreador de aire Partisol ® modelo 2000	8
3.1.2 Medidor de flujo Marca Defender 510	8
3.1.3 Estación meteorológica Oregon SCIENTIFIC	8
3.1.4 Balanza analítica	8
3.1.5 Filtros de cuarzo para PM-10	9
3.1.6 Filtros de teflón para PM2,5	9
3.2 Apéndice J y L de la Parte 50 - Método de referencia para la determinación de material particulado como PM-10 y PM-2,5 en la atmósfera respectivamente.	9
3.3 Criterio de aceptación y rechazo	9
3.3.1 Criterio de aceptación y rechazo para PM-10 y PM-2,5	9

3.4	Plan de validación de la precisión (repetibilidad y precisión) para el método de determinación gravimétrico de fracción PM-10 y PM-2,5.....	10
3.4.1	Muestras a analizar	10
3.4.2	Flujo a analizar	10
3.4.3	Calculo de la repetibilidad	11
3.4.4	Calculo de la precisión	11
CAPITULO IV		13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		13
4.1	Parámetros de validación	13
4.1.1	Rango de validación	14
4.1.2	Fuentes de error	14
4.1.3	Validación de métodos	15
4.1.4	Procedimiento de validación del método de material particulado PM-10 y PM-2,5.....	16
4.1.5	Diseño experimental.....	16
4.1.6	Tratamiento estadístico.....	17
4.1.7	Procedimiento experimental en determinar la calidad de aire ambiente PM-10 y PM-2.5 en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.	17
4.1.8	Determinación de parámetros de análisis.....	19
4.1.9	Datos experimentales obtenidos después del análisis de aire	22
4.1.10	Aplicación de datos y diseño experimental.....	24
4.1.11	Tratamiento estadístico.....	28
4.1.12	Análisis de incertidumbre para validación de material particulado en aire ambiente.....	28
4.1.13	Determinación de la incertidumbre expandida.....	31
4.1.14	Calculo de material particulado PM-2,5 y PM-10	34
4.2	Verificación de hipótesis	39
CAPITULO V		40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		40
5.1	Conclusiones	40
5.2	Recomendaciones	41
BIBLIOGRAFIA.....		42
ANEXOS.....		45
ANEXO A: Glosario de términos.....		45
	Aire.....	45
	Contaminante del aire.....	45
	Material particulado	45

Material particulado fino (PM-2,5)	46
Material particulado PM-10	46
Medición	46
Muestreo	46
Métodos de mediciones de la calidad de aire	46
Método automático	47
Métodos gravimétricos	47
Verificación y validación de los datos	47
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)	47
ANEXO B: Equipo e implementos necesarios para muestreo de aire ambiente	48
ANEXO C: Promedios de condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado.	50
ANEXO D: Resultado de concentración de material particulado PM-2,5 según la US-EPA y el ministerio del ambiente.	52
ANEXO E: Informe de Monitoreo de calidad de aire PM-2,5	53
ANEXO F: Informe de Monitoreo de calidad de aire PM-10	56

RESUMEN

La contaminación atmosférica por material particulado (PM) en la actualidad es provocado por procesos industriales; así como también, por el aumento desmedido del parque automotriz, la cual aumentado el problema en la salud de las personas y la calidad del aire ambiente. Estudios realizados han encontrado que el material particulado con mayor índice de influencia en afecciones de la salud son PM-2.5 y PM-10. Para la aplicación de la metodología de medición se garantiza por la aplicación de métodos de referencia validados internacionalmente por instituciones reconocidas como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y verificados por laboratorios acreditados según normas como la 17025. Los criterios de validación determinaron valores de incertidumbre requeridos para la verificación obteniendo valores para PM-2,5 de 17,01% y para PM-10 de 8,55%, siendo estos aceptables en los rangos planteados para la validación del método, de igual forma la determinación de la calidad de aire en los campus de la Universidad Técnica de Ambato para PM-2,5 fue de 16,78 ug/m³ y para PM-10 fue de 63,35 ug/m³, siendo estos resultados aceptados según los lineamientos establecidos en el Texto Unificado de Legislación del Medio Ambiente, Anexo 4 del Libro VI, Registro Oficial N°387 del 2015. Los resultados establecen que, en la Universidad Técnica de Ambato, su calidad del aire es de buena calidad y las concentraciones de estos parámetros no afectan en la salud de las personas por incidencia de material particulado en aire.

PALABRAS CLAVE: Contaminación ambiental, Material Particulado PM-2,5 y PM-10, Normas ISO, Medio ambiente, Agencia de Protección Ambiental, Partisol FRM 2000.

ABSTRACT

At present, particulate matter (PM) air pollution is caused by industrial processes; as well as, by the excessive increase of the automotive park, which increased the problem in the health of the people and the quality of the ambient air. Studies have found that the particulate material with the highest index of influence in health conditions are PM-2.5 and PM-10. For the application of measurement methodology is guaranteed by the application of reference methods internationally validated by recognized institutions such as the Environmental Protection Agency of the United States and verified by accredited laboratories according to standards such as 17025. The validation criteria determined values uncertainty required for verification obtaining values for PM-2.5 of 17.01% and PM-10 8.55%, these being acceptable ranges proposed for the validation of the method, similarly determining the quality air on the campus of the Technical University of Ambato for PM-2.5 was 16.78 ug / m³ and for PM-10 was 63.35 ug / m³, these being accepted as the guidelines established in the Text results Unified Environmental Legislation, Annex 4 of Book VI, Official Register No. 387 of 2015. The results establish that, at the Technical University of Ambato, its air quality is Good quality and the concentrations of these parameters do not affect the health of people due to the incidence of particulate matter in air.

KEY WORDS: Environmental contamination, particulate material PM-2,5 and PM-10, ISO standards, environment, environmental protection agency, Partisol FRM 2000.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y desde el año 2016 la contaminación de aire ambiente se ha ido incrementando; por ende, también se han generado noticias y problemáticas a nivel de salud urbana la cual es ocasionada por contaminantes antropogénicos. El aumento de la contaminación en aire ambiente tiene como resultado el aumento de enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y también la generación de diferentes afecciones de cáncer. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), la contaminación producida por vehículos motorizados es uno de los principales problemas de mortalidad en el mundo (AIRE LIMPIO, 2016)

La contaminación antropogénica del aire respirable y la atmósfera ha acompañado al ser humano desde hace aproximadamente 500 años, así por ejemplo según reportes sobre los efectos severos de contaminación detallan lo ocurrido en Londres en el año 1952, en donde altos niveles de contaminación están asociados a la muerte de al menos 4000 personas. En el último año en la ciudad de Lima-Perú, aproximadamente 6000 personas mueren por estar expuestas a material particulado. La principal causa de estas muertes y que más estudios se encuentran realizando son el PM-2,5 y PM-10, por su persistencia en el aire por mucho tiempo, también se ha evidenciado que el PM-2,5 es un principal transporte para bacterias, virus y componentes tóxicos, pudiendo ser inhalados a través del sistema respiratorio, generando enfermedades respiratorias y cardiovasculares graves (Pacsi Valdivia & LLanos Puga, 2017)

La contaminación en aire ambiente en zonas urbanas ha generado problemáticas en la salud de las personas tanto regionales como a nivel mundial, estas problemáticas de salud son diversas siendo agudas como crónicas afectando a las personas más vulnerables como son adultos mayores y niños. (Palacios Espinoza, 2014).

Según Ecologistas en acción (2018), en el transcurso del año 2017 se ha generado un incremento de la contaminación por los principales contaminantes como son material particulado en la ciudad de Madrid, que se encuentran influenciados por las condiciones meteorológicas y por el incremento en el tráfico vehicular, ya que este último es el factor más importante por las emisiones de los automóviles, no solo en Madrid en todas las ciudades del mundo y en el Ecuador el mayor índice de

contaminación por material particulado PM-2,5 y PM-10 es la ciudad de Quito y Cuenca por su alto número de vehículos afectando.

Para comprender como se comporta los contaminantes en la atmosfera, se debe estar al tanto cuál es su principal fuente de emisión y como reacción en esta fuente. De igual forma los parámetros meteorológicos desarrollan un rol importante en el comportamiento y dispersión de los contaminantes en la atmosfera, siendo estos parámetros precisos para el respectivo análisis de los resultados obtenidos en el monitoreo de la calidad del aire (IDEAM, 2011).

La validación de métodos es un requisito de gran importancia en el desarrollo de los análisis químicos. Se considera que para una validación de método se debe realizar en conjunto con otros laboratorios, pero no se los lleva a cabo. Los requisitos que describe la norma ISO/IEC 17025, es de gran ayuda para explicar los parámetros necesarios para una validación. La validación de un método es un proceso el cual define un requisito analítico, y la ratificación de las capacidades sólidas para las aplicaciones requeridas. Para lo cual lo esencial es la evaluación del desempeño del método, la valoración de la capacidad del método. También se entiende como verificación a la “confirmación, mediante el aporte de evidencias objetivas que van a cumplir los requisitos planteados, con la aportación de evidencia objetiva de un elemento que satisface los requisitos planteados”. Y la validación es “la verificación, en que los requisitos especificados son convenientes para un uso planteado” (EUROCHEM, 2016)

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema de investigación

VALIDACIÓN DEL MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM-10 Y PM-2,5 EN AIRE AMBIENTE.

1.2 Justificación

La contaminación de la atmosfera en la última década ha sido estudiada y analizada, ya que es un factor clave en problemas ambientales y por lo tanto sobrelleva una producción de afecciones a la salud de los habitantes principalmente a personas que habitan en las zonas urbanas que son zonas desarrolladas y con un alto índice industrial. Todos los factores (antropogénicos y emisiones gaseosas), por los cuales el medio ambiente se encuentra contaminado ha incitado a promover el análisis, el monitoreo de contaminantes mediante la utilización de equipos automáticos in situ, generados por la industria y el tráfico vehicular u otras acciones tróficas. A través de los estudios y resultados que arrojan los equipos se pueden determinar las causas, dispersión de contaminantes y medidas para evitar problemas ambientales (Abad , 2016).

Las partículas atmosféricas se encuentran conformadas por la acumulación de gas-partícula que se formaron por distintos mecanismos de conversión de la mezcla de emisiones directas de fuentes variadas de contaminación. Se requiere el conocimiento de cómo se encuentra conformado la muestra de PM-2,5 los cuales permite comprender los impactos que este podría generar en el ambiente y a las personas, no solo en el transporte de virus sino también el contenido de metales y potenciales efectos cancerígenos (Pacsi Valdivia & LLanos Puga, 2017).

Un laboratorio para la adopción de un procedimiento validado debe seleccionar información confidencial y de calidad, en este caso con relación a los niveles de contaminación del aire. Lo que hace referencia a la utilización de instrumentos con tecnología adecuada y moderna para la realización de monitoreo, representando la compatibilidad y la valides de la información recolectada. Los análisis de calidad de aire ambiente se intensifican por su importancia en la incidencia directa en la salud de

las personas, lo cual se debe identificar las fuentes de emisión o de incidencia del material particulado, y proporcionar la información necesaria del tipo de material particulado que se analiza en cada región, dependiendo del tipo de trabajo que se realice, desarrollar estrategias que sean preventivas y de control de la calidad del aire aplicando normas, estatutos y políticas ambientales. Las cuales son obligatorias, en relación a su concentración de contaminantes en la atmosfera (Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, 2012).

Por lo expuesto en relación al proyecto realizado se pretende validar el método para determinar material particulado en aire ambiente específicamente en Material Particulado 10 (PM-10) aquel que mantiene un diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros y Material Particulado 2,5 (PM-2,5) aquel que mantiene un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrómetros, en la Universidad Técnica de Ambato, analizando los resultados obtenidos para determinar los efectos de estos contaminantes sobre la salud de la población universitaria, siendo un total de 16.610 estudiantes y 1.410 servidores universitarios los cuales serán los principales beneficiarios al aplicar el programa de determinación de la calidad del aire en la universidad, bajo parámetros de la normativa de los estados unidos EPA y condiciones atmosféricas controladas para evidenciar las condiciones de mayor fluctuación de los mencionados PM-10 y PM-2,5. Se debe definir también las garantías que brindan los parámetros que son acreditados y la fiabilidad de los datos que siguen un sistema de gestión según 17025.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Verificar la aplicabilidad del método de determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en aire ambiente según la norma US-EPA.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar el método para la determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en aire ambiente, según la norma de la US-EPA apéndice L y apéndice J respectivamente, de la Parte 50 del Método de referencia.
- Determinar la calidad de aire ambiente en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato por la presencia de PM-10 y PM2,5.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes Investigativos

2.1.1 Selección y verificación de métodos

Según la norma ISO/IEC 17025:2017, sección 7.2.1.1 menciona que los laboratorios deben usar métodos apropiados, para evaluaciones de incertidumbre de medición, y también las técnicas estadísticas para el análisis de datos. También menciona que todos los métodos, procedimientos y documentación de soporte, tales como instrucciones, normas, manuales y datos de referencia pertinentes a las actividades del laboratorio deben mantenerlas actualizadas y disponibles para el personal, asegurándose que se encuentren vigente su última versión. También la ratificación, mediante el examen y aportación de evidencias objetivas, del cumplimiento de los requisitos específicos para su uso determinado.

2.1.2 Validación de métodos

Los métodos que se utilizan en un laboratorio de ensayos se deben evaluar y someter a pruebas los cuales permitirán demostrar que los resultados que se generen sean coherentes y validos los cuales cumplirán con objetivos de validación. Para laboratorios que requieran implementar métodos de ensayos sistematizados primero deben ser validados lo cual demostrara que sus procesos son confiables y que se los realiza en condiciones de laboratorio sin que haya interferencia.

Para que un método sea normalizado se procederá a su validación que se realizara mediante pruebas experimentales obteniendo datos que demuestre sus características analíticas como son la exactitud, la veracidad, la precisión, etc. (Domínguez, 2014).

Según la norma ISO/IEC 17025:2017 sección 7.2.2.1 menciona que el laboratorio debe validar los métodos no normalizados, métodos desarrollados por el laboratorio y los métodos normalizados. La validación debe ser amplia como sea necesaria para satisfacer las necesidades de la aplicación o del campo de aplicación dados. La validación se pueden incluir procedimientos para muestreo, manipulación y transporte de los ítems de ensayo o calibración. Las técnicas utilizadas para la validación de

métodos pueden ser las siguientes individualmente o la combinación de ellas: la calibración o evaluación del sesgo y precisión utilizando patrones de referencia o material de referencia, evaluación sistemática de factores que influyen en los resultados, robustez del método de ensayos a través de la variación de parámetros controlados, como temperatura, presión, incubadora, volumen suministrado, comparación de resultados obtenidos con otros métodos validados, comparaciones interlaboratorio, evaluación de incertidumbre de medición de los resultados basados en la comprensión de principios teóricos de los métodos y en las experiencias prácticas del desempeño del método de muestreo o ensayo.

2.1.3 Condiciones ambientales requeridas para el monitoreo de calidad de aire

Para el análisis de calidad del aire se deben considerar parámetros ambientales necesarios para la determinación del material particulado, tales como: Temperatura, presión, coordenadas UTM, humedad, altura, dirección del viento, velocidad del viento, precipitación y nubosidades. Ya que estos parámetros permiten el entendimiento de cómo es el flujo, la dispersión, y su comportamiento en el aire, ya que al ser un análisis de 24 horas el material particulado a ser analizado se comportará de distinta forma en el día que en la noche.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis nula

La determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en la Universidad Técnica de Ambato en base a volumen o caudal de succión y análisis gravimétrico de los filtros no cumplen con los criterios de aceptación establecidos en la normativa ambiental vigente.

2.2.2 Hipótesis alternativa

La determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en la Universidad Técnica de Ambato en base a volumen o caudal de succión y análisis gravimétrico de los filtros cumplen con los criterios de aceptación establecidos en la normativa ambiental vigente.

Señalamiento de variables

2.2.3 Variable independiente

Concentración en microgramos por metro cúbico de material particulado de PM-10 y PM-2,5.

2.2.4 Variable dependiente

Análisis gravimétrico y caudal de PM obtenido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

CAPITULO III

MATERIAL Y METODOS

3.1 Equipos y materiales para análisis de la calidad del aire

3.1.1 Muestreador de aire Partisol ® modelo 2000

El muestreador de aire Partisol-FRM Modelo 2000 PM-2.5, está diseñado para cumplir con el Método Federal de Referencia de la EPA de EE. UU. para muestreo de partículas finas. Consta de un hardware conformado para desempeñar los requisitos de CFR 40 Parte 50 Apéndice L y CFR 40 Parte 50 Apéndice J. la cual desempeña con la designación de referencia de la EPA de EE. UU, para el muestreo de PM-2,5 y PM-10 respectivamente. Cumpliendo con características como son: un caudal de 1 m³ / h a través de un solo filtro, un control de microprocesadores y manejo de datos y control de flujo volumétrico activo (Thermo Fisher SCIENTIFIC, 2007).

3.1.2 Medidor de flujo Marca Defender 510.

Según CASELLA(2018) afirma que el Defender 510 es un equipo que proporciona una medida de caudal volumétrico inmediatamente que se realice una medida, con una exactitud del $\pm 1\%$ de lectura. Manteniendo una precisión y rapidez para dar excelentes medidas de caudal de aspiración de bombas de muestreo de aire ambiente, ya sea de succión o de presión. La utilización de este equipo es muy importante ya que proporciona valores de flujo de succión reales, permitiendo la corrección del equipo que se está calibrando y que no exista valores que afecten en el monitoreo de la calidad de aire por su alta precisión

3.1.3 Estación meteorológica Oregón SCIENTIFIC

La estación meteorológica permite obtener información meteorológica real mediante sensores con alta precisión. Permite la recolección de datos de tiempo específico o global y bajárselos a una computadora para su respectivo análisis (Oregón SCIENTIFIC, 2018). Estos datos servirán para considerar el comportamiento que mantuvo el material particulado en el periodo de 24 horas, por acción directa de las condiciones ambientales.

3.1.4 Balanza analítica

La balanza analítica según el Code of Federal Regulations (CFR) (2004) describe que debe ser apta para pesar un tipo y tamaño de filtro requerido para el análisis de aire ambiente. Siendo una balanza con sensibilidad de al menos 0.1mg para muestreadores de alto volumen (caudales > 0.5 m³ / min). La sensibilidad de la balanza es requerida ya que son muestras de material particulado muy pequeñas como son los micrones y se requiere de una alta sensibilidad para obtener datos fiables.

3.1.5 Filtros de cuarzo para PM-10

Los filtros para muestreo de aire de 47 mm QR-100, para muestreador de aire FRM 2000, es un filtro de fibra de cuarzo de 100% de sílice. Utilizado para el análisis de material particulado PM-10. y contener metales traza muy bajas. (ADVANTEC MFS inc., s.f.)

3.1.6 Filtros de teflón para PM_{2,5}

El filtro de teflón para análisis de aire ambiente PM-2,5, se encuentra fabricado de Politetrafluoro de etileno se encuentra incorporado en un anillo de polipropileno químicamente resistente. Este filtro de 46,2mm tiene un bajo peso en vacío permitiendo la determinación gravimétrica más precisas seleccionada por la EPA (MELDIC, 2015).

3.2 Apéndice J y L de la Parte 50 - Método de referencia para la determinación de material particulado como PM-10 y PM-2,5 en la atmósfera respectivamente.

El Code of Federal Regulations (CFR) (2004) describe que este método prevé la medición de la concentración de material particulado con un diámetro aerodinámico ≤10 micrómetros (PM-10) y la medición de la concentración de material particulado fino con un diámetro aerodinámico ≤ 2,5 micrómetros (PM-2.5), en el aire ambiente durante un período de 24 horas a los fines de determinar la calidad del aire ambiente para partículas. El proceso de medición no es destructivo y la muestra puede someterse a análisis físicos o químicos posteriores si lo requiera el analista.

3.3 Criterio de aceptación y rechazo

3.3.1 Criterio de aceptación y rechazo para PM-10 y PM-2,5

Para PM-10 el promedio aritmético al realizar el monitoreo continuo durante 24 horas ± 1 hora, no deberá sobrepasar de cien microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Y para PM-2,5 el promedio aritmético al realizar el monitoreo continuo durante 24 horas ± 1 hora, no deberá sobrepasar de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos parámetros se encuentran vigentes según el Ministerio del Ambiente del Ecuador.

3.4 Plan de validación de la precisión (repetibilidad y precisión) para el método de determinación gravimétrico de fracción PM-10 y PM-2,5.

3.4.1 Muestras a analizar

Para cada filtro que se vaya a analizar escogeremos un filtro con carga o contaminación repartidos en todo el rango de acreditación. Los filtros deberán ser lo más cercano posible a los límites de rango solicitados en la acreditación, se escogerá si algún filtro se adecue a las cargas contaminantes que necesitemos.

Precisión por repetibilidad

Cada uno de los analistas pesará 10 veces cada uno de los filtros, considerando las mismas condiciones de ensayo (día y balanza), pero en distintos días entre analistas. Además, cada analista deberá pesar 10 veces el mismo filtro blanco (sin carga contaminante).

Máxima variabilidad posible dentro del mismo día, la pesada del filtro se debe realizar con la misma secuencia: blanco - carga

Máxima variabilidad entre pesadas de distintos días, y analistas distintos, una vez que el filtro complete las pesadas del día 1, se dejará dos días fuera de la sala de acondicionamiento y se volverá a acondicionar las 48 horas necesarias antes de las pesadas del día 2, y las pesadas posteriores.

3.4.2 Flujo a analizar

Flujo a analizar

Para cada tipo de flujo que se vaya a analizar se escogerá 5 mediciones de flujo como son: flujo 16,7; 17,5; 15,8; 18,3; 15 L/min,

Para escoger los 5 flujos, se comprobará si alguno de los flujos se adecua a los flujos que se necesiten.

Precisión por repetibilidad

Cada uno de los analistas medirá el flujo 5 veces del flujo objetivo de análisis (16,7 L/min), 2 veces del flujo de calibración (17,5; 15,8; 18,3; 15 L/min) en las mismas condiciones de ensayo (día y medidor de flujo) pero en días distintos entre ellos. Además, cada analista, el día que le toque realizar la medición de flujo, medirá 5 veces el flujo objetivo como blanco

Máxima variabilidad posible dentro del mismo día, la medición del flujo se realizará con la siguiente secuencia: blanco - flujos (objetivos y calibración).

Máxima variabilidad entre flujos de distintos días y distintos analistas, una vez completadas las mediciones del día 1, se dejará el equipo hasta cambiar las condiciones y ubicación de calibración y análisis.

3.4.3 Calculo de la repetibilidad

Se realizará una propagación de errores (combinación) de las desviaciones típicas de las pesadas del filtro cargado y del filtro sin cargar. Para cada analista calcularemos su repetibilidad a través de la siguiente ecuación:

$$S_{repetibilidad\ del\ método}^2 = S_{repetibilidad\ filtro\ cargado}^2 - S_{repetibilidad\ filtro\ blanco}^2 \text{ Ec.1}$$

Siendo:

$S_{repetibilidad\ filtro\ blanco}$ = desviación típica de las 10 medidas realizadas del filtro blanco.

$S_{repetibilidad\ filtro\ cargado}$ = desviación típica de las 10 medidas realizadas del filtro cargado.

3.4.4 Calculo de la precisión

Con los datos globales calcularemos la precisión del método (distintos días, distintos analistas, pero misma balanza).

$$S_{precisión\ del\ método}^2 = S_{precisión\ filtro\ cargado}^2 - S_{precisión\ filtro\ blanco}^2 \text{ Ec.2}$$

Siendo:

$S_{precisión\ filtro\ blanco}$ = desviación típica del total de las medidas realizadas del filtro blanco.

$S_{precisión\ filtro\ cargado}$ = desviación típica del total de las medidas realizadas del filtro cargado.

Es este caso, al tomar de forma conjunta el global de las mediciones de los analistas, no se tendrá una falta de precisión.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Parámetros de validación

La determinación de parámetros y objetivos de validación y acreditación del laboratorio en base a la matriz de material particulado PM-10 y PM-2,5 tomando como referencia a la norma ISO/IEC 17025, se considera el análisis de incertidumbre y la precisión ya que son parámetros de uso necesario para la validación. Y para el caso de análisis de características cuantitativas y cualitativas dependiendo que sea el asunto se toma como referencia a la normativa de los estados unidos la Agencia de Protección Ambiental por sus siglas en ingles EPA del 40 CFR Apéndice L y J de la parte 50 y del Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE en su Registro Oficial N°387 del 2015, mediante estas referencias se detallan los respectivos requisitos y alcances que deben verificar para la validación de métodos.

Tabla N°1 Parámetros y objetivos de validación

Parámetro	Objetivo	
	PM-2,5	PM-10
Selectividad/Especificidad	Conocimiento (y corrección en su caso) de las interferencias. Corrección del efecto matriz, si existe.	Conocimiento (y corrección en su caso) de las interferencias. Corrección del efecto matriz, si existe.
Linealidad/Función respuesta	(No aplica)	(No aplica)
Límite de Detección (LD)	≤ 2,0 µg/m ³ según el Apéndice L del 40 CFR parte 50 de la EPA.	≤ 2,0 µg/m ³ según el Apéndice J del 40 CFR parte 50 de la EPA.
Límite de Cuantificación (LC)	≤ 6,0 µg/m ³ (%U≤20%, p=95,45%)	≤ 6,0 µg/m ³ (%U≤20%, p=95,45%)
Precisión del método (Repetibilidad y/o Reproducibilidad)	10 %CV según Apéndice A de 40 CFR 58	15 %CV según (QA Handbook, volumen II, sección 2.011)
Precisión Caudal o flujo del muestreador de aire.	Estar dentro del ± 4% del valor reportado por el mecanismo de calibración/verificación del flujo del muestreador con caudal de diseño de 16.67 L/min (40 CFR Parte 50, Apéndice L).	Estar dentro del ± 4% del valor reportado por el mecanismo de calibración/verificación del flujo del muestreador con caudal de diseño de 16.67 L/min (40 CFR Parte 50, Apéndice L).
Exactitud de la Tasa de flujo	4% de la comparación del flujo el muestreador con respecto a un estándar o patrón de flujo certificado para un flujo de 16,7 litros por minuto (l/min). 40 CFR Parte 50, Apéndice L	4% de la comparación del flujo el muestreador con respecto a un estándar o patrón de flujo certificado para un flujo de 16,7 litros por minuto (l/min). 40 CFR Parte 50, Apéndice L
U Incertidumbre	%U (p=95,45%) ≤ 20%, en todos los niveles	%U (p=95,45%) ≤ 20%, en todos los niveles

Intervalo de trabajo	6,0 µg/m ³ a 200 µg/m ³ para un periodo de muestreo comprendido entre 1380 y 1500 minutos (23 a 25 horas)	6,0 µg/m ³ a 300 µg/m ³ para un periodo de muestreo comprendido entre 1380 y 1500 minutos (23 a 25 horas)
-----------------------------	---	---

La tabla N°1 muestra los parámetros y objetivos de validación tanto para la matriz de PM-2,5 y PM-10 de los cuales según la norma ISO/IEC 17025, específica para los procedimientos de validación, pero en este procedimiento de material particulado en aire ambiente solo se llevarán a cabo los parámetros y objetivos planteado en la norma según el 40 CFR parte 50 de la EPA-US de los apéndices L y J. En caso de que los objetivos no se cumplan se procederá el tratamiento como un trabajo no conforme a fin de identificar las causas del no cumplimiento y se generara un complemento al plan de validación.

4.1.1 Rango de validación

Los rangos de validación según el Code of Federal Registers (CFR) (2004) menciona que la determinación por el método de repetibilidad de pesos de los filtros indican los límites inferiores de rango de concentración en intervalos de 24 horas a concentraciones de 300 ug/m³ std, este valor es manteniendo la velocidad de flujo constante durante el monitoreo en los muestreador de PM-10 y PM-2,5.

La precisión para muestreadores de PM-10 y PM-2,5 equivaldrán a un valor de 5 ug/m³ por debajo de 80 ug/m³ y un 7% por encima de 80 ug/m³. Cuando se realiza el monitoreo de PM-10 y PM-2,5 se estima un valor de 10% de coeficiente de variación (CV). Pero por ser de un tamaño y volatilidad de partículas en el ambiente variante, es difícil definir su precisión, lo cual se definirá a la precisión en sentido relativo.

4.1.2 Fuentes de error

La humedad es unos de los parámetros principales en considerar para la determinación de PM-10 y PM-2.5 ya que es un factor ambiental que influye directamente sobre el filtro que contendrá la muestra y en la muestra recolectada durante el monitoreo de calidad de aire ambiente. Por tal razón se requiere un acondicionamiento previo del filtro y acondicionamiento después del monitoreo, lo cual minimizara el error por efectos de la humedad en el medio filtrante.

Son importantes los procedimientos de manejo y manipulación del filtro entre los pesajes antes y después del muestreo para evitar errores por posibles daños en el filtro

o pérdida de material particulado que se recolectaron en los filtros. Para evitar un daño directo al medio filtrante se utiliza en casete para el transporte del filtro evitando y disminuyendo el grado de error.

La variación en el flujo de muestreo hace que exista una alteración en la exclusión del tamaño de partícula a la entrada del muestreador. Para tener un control adecuado en el caudal de succión del muestreador se utiliza un dispositivo calibrado que mide el flujo como es el calibrador de flujo Defender 510 con una variación y precisión de $\pm 2\%$ del valor del estándar NIST, en la medición, evitando así errores tanto en el flujo como en el volumen de aire succionado.

4.1.3 Validación de métodos

Para una validación de métodos según la norma ISO/IEC 17025, especifica en su numeral 7.2.2, que el laboratorio se encuentra en su obligación de validar métodos no normalizados que se encuentre realizando el laboratorio o alguna modificación de métodos ya existentes si fuese el caso. Incluyendo procedimientos para realizar el muestreo, la manipulación, y transporte de las muestras (cadenas de custodia).

Los procesos de validación deben abarcar información concisa, explícita y lo más amplia posible para su comprensión en el método a desarrollar, lo cual permitirá satisfacer novedades o inquietudes. Para la validación se debe tener registro de todos los datos que se hayan generado, los procedimientos que se hayan utilizado como referencia como es el CFR (Code of Federal Regulations) y la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos por sus siglas en inglés), las cuales serán declaradas mediante pruebas de aptitud.

Para tener en claro cuál será nuestro alcance en el proceso de validación se tomará en cuenta los cambios realizados y parámetros en los cuales el método se desarrolló.

Para la determinación de material particulado en aire ambiente PM-10 y PM-2.5 se debe seguir un procedimiento de validación como se detalla en el procedimiento interno del laboratorio environalab Cia. Ltda PE-10, como también el procedo de transporte e instalación de los filtros para el respectivo muestreo como son las cadenas de custodia interna del laboratorio con código R-5.8-02, de los documentos mencionados se diseñó en base a las normas establecidas por la US-EPA y CFR, y

contribución propia según los conocimientos del área y acoplados según lo que menciona en la norma ISO/IEC 17025.

Para que una validación sea confiables y cumpla con los requisitos solicitados por el organismo encargado de validar estos procedimientos y acreditar en si el laboratorio, que en este caso el organismo acreditador es el SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) ya que el SAE acredita con imparcialidad, competencia técnica, transparencia, compromiso, equidad, independencia y en conformidad con lineamientos internacionales y disposiciones legales nacionales, los servicios de evaluación de la conformidad, procurando alcanzar la excelencia a través de la innovación y la mejora continua de los procesos de acreditación para fortalecer la infraestructura de la calidad del país, asegurando la satisfacción de los usuarios y las partes interesadas, se debe cumplir con especificaciones como se detalla en la norma ISO/IEC 17025, testificando cada procedimiento para la medición del material particulado sean los adecuados en calibraciones y procedimiento antes del muestreo para que no exista interferencias disminuyendo el error al momento del monitoreo, de igual manera de trabajar con equipos de referencia para comparación en los principales parámetros que influyen directamente en la muestra recolectada y por ende afectara el cálculo correspondiente, como son (flujo de succión y pesada del filtro, etc.).

4.1.4 Procedimiento de validación del método de material particulado PM-10 y PM-2,5

El procedimiento que se llevó a cabo para la validación de métodos según lo que especifica la norma ISO/IEC 17025 en el numeral 7.2.2.4 menciona que los laboratorios se deben almacenar registros de validación como son: los procedimientos de validación de los métodos, especificaciones de los requisitos para realizar el método, establecer características de trabajo del método, los resultados obtenidos sean correctos y confiables, el reconocimiento de validez del método en los que detalla la aptitud para el uso propuesto, mediante el análisis por un tratamiento estadístico de los datos obtenidos.

4.1.5 Diseño experimental

Para la validación del método de material particulado en aire ambiente en la matriz de PM-10 y PM-2,5 se toma como propósito efectuar el estudio de precisión evaluando la repetibilidad del método (grado de concordancia entre los resultados de mediciones

sucesivas de la misma muestra realizadas en las mismas condiciones de medida como son: igual operador, igual instrumentos de medida y corto periodo de tiempo) como la precisión intra-laboratorio (grado de concordancia entre resultados de mediciones sucesivas de la misma muestra las que se efectúa en diferentes condiciones de medida dentro del mismo laboratorio como son: distinto operador, distinto instrumento de medida y largo periodo de tiempo).

La repetibilidad se realiza con el proceso de pesadas repetidas de los filtros con muestras reales y pesadas repetidas de filtros vacíos que son los blancos por el mismo analista, el mismo día, y con la misma balanza. La repetibilidad del método se obtiene como suma de las varianzas de la pesada del filtro blanco y del filtro con carga. Refiriéndose a la variabilidad que se genera en los resultados al realizar mediciones por un mismo analista con las mismas herramientas y equipos en el mismo lugar de trabajo y el mismo día (Chen, Del Valle, Valdebenito, & Zacconi, 2014).

4.1.6 Tratamiento estadístico

Se determina mediante la precisión del método de los datos obtenidos empleando un análisis de varianza de un factor del flujo de succión y de repetibilidad en la pesada de los filtros vacíos y con muestra, de igual forma la estimación de incertidumbre en bases al procedimiento de ensayo y validación P-5.4-01 indicando las contribuciones necesarias para el cálculo de la misma.

Eficiencia de recolección

La eficiencia de recolección establece que cada uno de los muestreadores de material particulado tanto para PM-10 y PM-2.5 deben mantener una eficiencia de recolección superior $\geq 99,7\%$ con partículas de 0,3 μm .

4.1.7 Procedimiento experimental en determinar la calidad de aire ambiente PM-10 y PM-2.5 en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.

Para la determinación de la calidad de aire en la Universidad Técnica de Ambato en matrices de material particulado en aire ambiente PM-2,5 y PM-10 se procede a seguir con el proceso específico descrito en el Procedimiento de ensayo de determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 de código PE-10, y la utilización de los equipos

necesarios para la determinación de material particulado como se especifica en la tabla N°3

Determinación de calidad de aire ambiente en material particulado según la US-EPA y CFR

Para el proceso de determinación de la concentración de material particulado en suspensión en la atmosfera se utiliza muestreadores Partisol FRM 2000 Air Sampler de bajo y constante caudal con código interno del laboratorio Environovalab Cia. Ltda., para la matriz de PM-2,5 equipo EI-06 con diámetro aerodinámico de partícula inferior o igual a 2,5 micras (2,5 μm) y para PM-10 equipo EI-07 con diámetro aerodinámico de partícula inferior o igual a 10 micras (10 μm), el muestreador Partisol tiene como principio básico de aspirar aire ambiente a caudal constante durante 24 horas, el cual absorbe el aire en donde la materia que entra al equipo se encuentra en suspensión y se separa en fracciones de tamaño de PM-2,5 o PM-10, según el dispositivo separador, el material recolectado ya sea de PM-2,5 y PM-10 se recolecta en filtros de PTFE o de cuarzo de 47mm respectivamente según la norma EPA 40 CFR Apéndice L y J de la parte 50. Antes del inicio de la determinación de calidad de aire, se debe equilibrar los filtros a utilizar durante el monitoreo, la verificación y calibración de flujo como también la prueba de fugas en la bomba de succión como se describe en la tabla 1 Frecuencia de verificación, calibración del sistema muestreador Partisol FRM 2000, la verificación de mantenimiento y armado del equipo como se describe en la tabla 2, en el procedimiento interno de ensayo de Determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 con código interno del laboratorio environovalab PE-10.

Materiales y equipos para la determinación de aire ambiente

Tabla N°2 Equipos requeridos para la determinación de calidad de aire ambiente PM-2,5 y PM-10.

EQUIPO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Calibrador de flujo Defender 510	EI-25	Requerido para calibrar caudal de Partisol según la EPA y CFR

Termo higrómetro	EI-24	Requerido para verificación de temperatura y humedad relativa según la EPA y CFR
Balanza analítica	EI-02	Requerido para pesar filtros vacíos y con carga de material particulado según la EPA y CFR
Desecador.	EA-01	Requerido para estabilizar filtros vacíos y con carga de material particulado según la EPA y CFR
Estación meteorológica	EA-13	Requerido la obtener datos meteorológicos de referencia según cadena de custodia R-5.8-02
sistema de posicionamiento global GPS	EA-13	Requerido la obtener datos posicionamiento global según cadena de custodia R-5.8-02
Filtros de cuarzo de 47mm	N/A	Filtro para la recolección de PM-10
Filtros de PTFE	N/A	Filtro para la recolección de PM-2,5

Los equipos y materiales descritos en la tabla N°2 son requeridos para la determinación de PM-2,5 y PM-10, ya que estos equipos y materiales ayudan a la calibración, mantenimiento y datos de referencia que influyen directa e indirectamente en la determinación, por la proporción de sus datos arrojados y certificados que garantizan que sea fiable en la medición y calibración.

4.1.8 Determinación de parámetros de análisis

La determinación de los parámetros ambientales que influirán en los análisis directa e indirectamente para determinar material particulado son, Directas: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, nubosidades y punto de rocío, e Indirectas: presión, todos estos parámetros se los realiza conjunto con los equipos muestreadores en el periodo de muestreo de 24 horas, como se describe en las siguientes figuras:

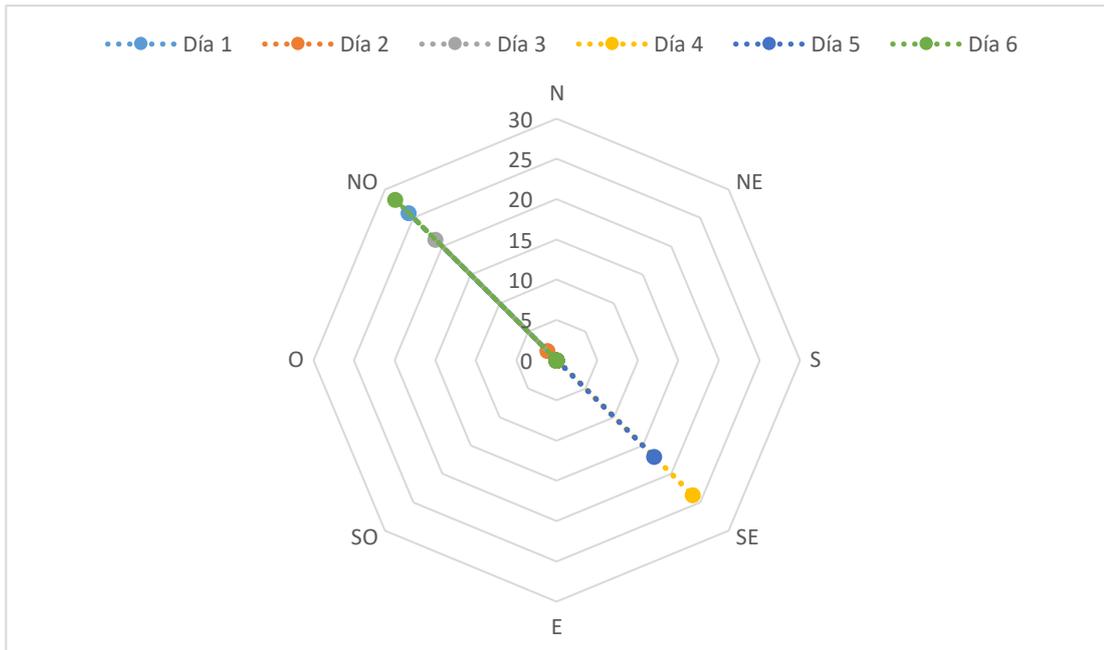


Figura 1. Velocidad y dirección del viento durante el muestreo de PM-10

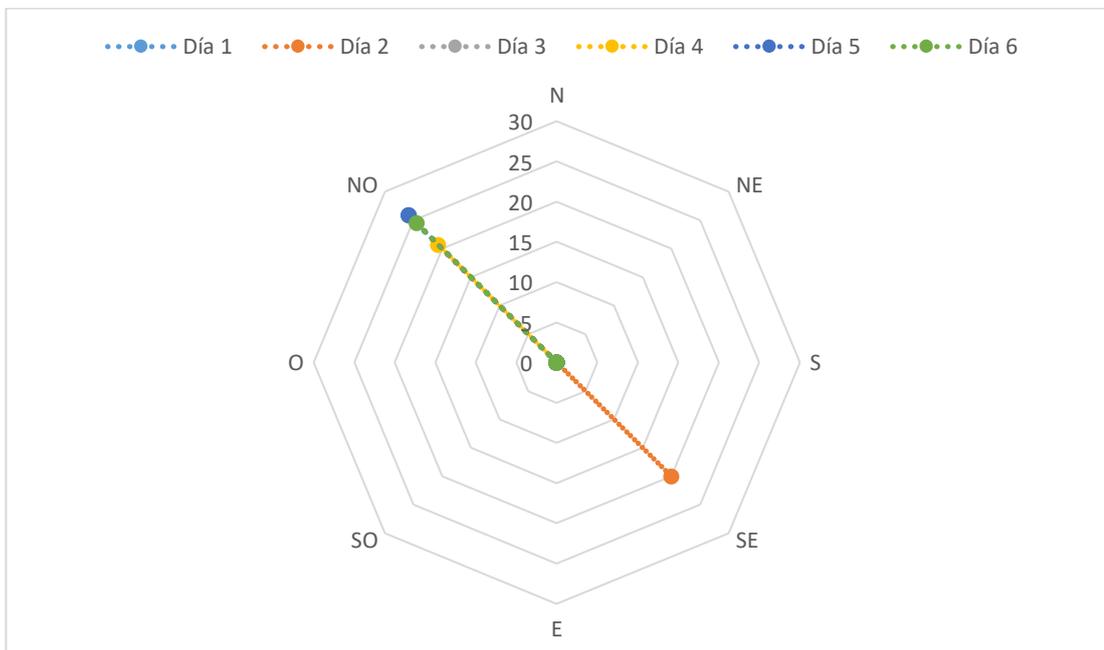


Figura 2. Velocidad y dirección del viento durante el muestreo de PM-2,5

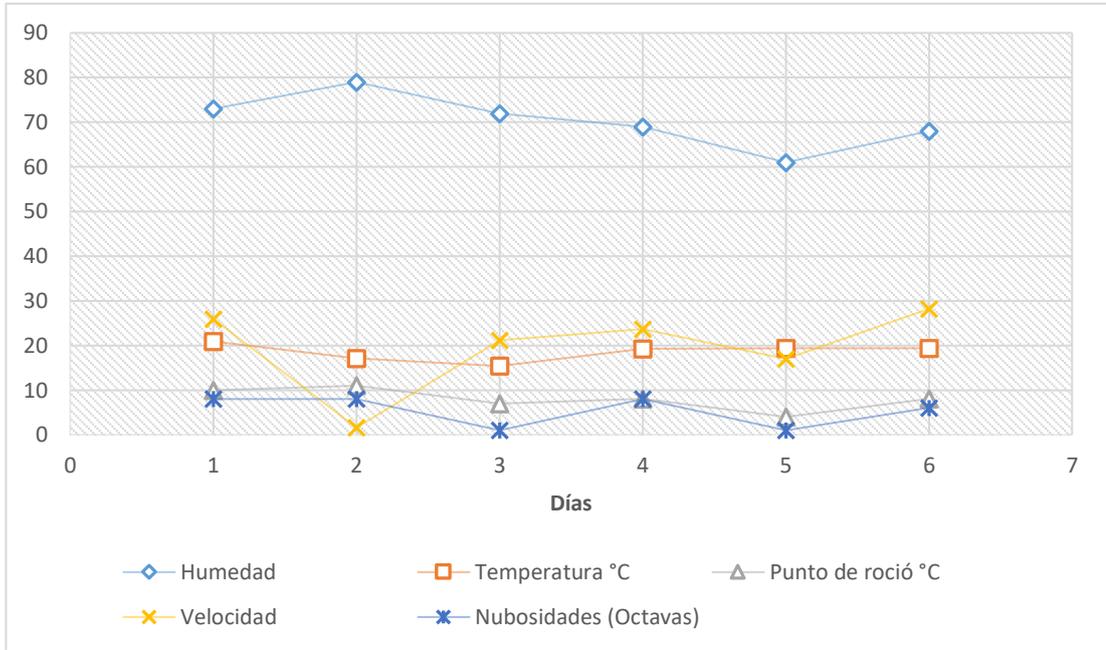


Figura 3. Datos meteorológicos que afectan directamente en el muestreo de PM-10

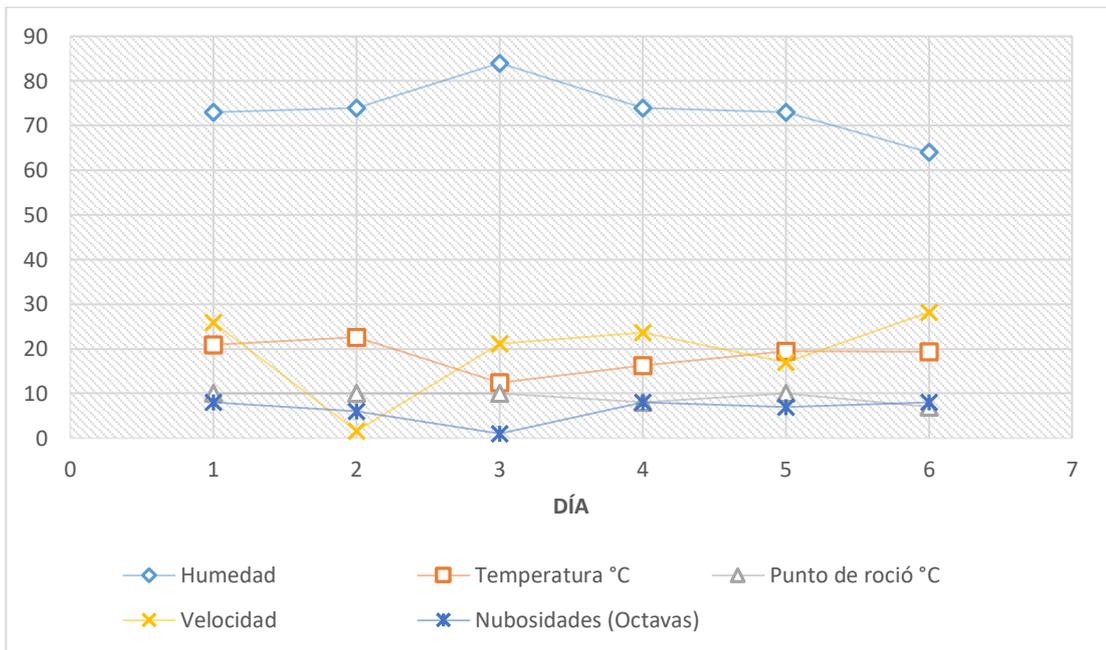


Figura 4. Datos meteorológicos que afectan directamente en el muestreo de PM-2,5

Para la determinación del material particulado PM-2,5 y PM-10, una vez obtenido los promedios de las condiciones ambientales durante 24 horas y llenado en la cadena de custodia R-5.8-02, se procede al respectivo análisis según lo especifica la norma EPA

40 CFR Apéndice L y J de la parte 50 para PM-2,5 y PM-10 respectivamente. Las condiciones ambientales son requeridas ya que el comportamiento del material particulado no es el mismo diurno que nocturno, estos factores meteorológicos influyen en la generación y en la dispersión del material particulado, y también influyen en el análisis después del monitoreo. Según Arciniegas C. A. (2011), estudios realizados en Santa Marta, las concentraciones elevadas de material particulado se dan en los periodos donde la lluvia ha cesado, entre enero y abril, evidenciando mayor concentración de material particulado alrededor de 100 ug/m³ en el centro de la ciudad. Estos análisis nos hacen dar cuenta que los parámetros meteorológicos son de gran importancia para el análisis de material particulado y sus principales factores son la humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento como se demuestra en las figuras 3 y 4 las cuales se estima un promedio diario de las condiciones meteorológicas que afectan directamente en el muestreo de PM-10 y PM-2,5; y las figuras 1 y 2 las cuales se elaboraron mediante un representación gráfica de Rosa de los vientos, indicando la dirección del viento en base a la velocidad que esta llevaba, pudiendo estimar la variabilidad de dispersión de material particulado en el tiempo de monitoreo conjunto con los otros factores, ya que sin la presencia de lluvias la concentración de material particulado aumenta y dependiendo de la zona donde se encuentre realizando el monitoreo y si la incidencia vehicular es alta, aumentando problemas de afecciones a la salud por las fracciones respirables de PM-2,5 y PM-10.

4.1.9 Datos experimentales obtenidos después del análisis de aire

Utilizando los equipos Partisol FRM 2000 de códigos EI-06 y EI-07 y la estación meteorológica, aplicando los procedimientos de ensayo para determinación de material particulado se obtuvo información necesaria para la cual es requerida para dicho ensayo como se muestran en el siguiente plan:

Plan de repeticiones para determinación gravimétrica (filtros).

Para la realización del plan de repeticiones para determinar gravimétricamente material particulado se designa a un analista que realice el ensayo, el cual pertenece a la planta de personal del laboratorio y participa en el proceso de validación.

Para obtener una eficiencia considerable en el análisis se debe acondicionar el filtro tanto para PM-10 y PM-2,5 en rango de temperatura: 15 a 30° con $\pm 3^{\circ}\text{C}$, rango de humedad: 20% a 45% HR con $\pm 5\% \text{HR}$.

Para el proceso de pesada antes y después del muestreo se requiere de una balanza analítica con un rango de sensibilidad de 0,1mg. Manteniendo las condiciones estables y la adecuada manipulación de los filtros con materiales e implementos para su manipulación.

Se pesa cinco veces cada filtro de Cuarzo de 47mm para PM-10 y PTFE para PM-2,5 (tablas N°3 y 4), en las mismas condiciones de ensayo (mismo día, misma balanza). La misma metodología se utiliza para los filtros a ser utilizados en el muestreo, de los cuales se realiza 6 días de mediciones diferentes.

El analista debe realizar el mismo procedimiento una vez que el filtro que contiene la muestra de material particulado PM-10 o PM-2,5 haya ingresado al laboratorio.

El ensayo se completará al realizar los lineamientos establecidos en el Procedimiento para la determinación de material particulado PM-2,5 y PM-10, de código PE-10 disponible en el laboratorio.

Tabla N°3 Pesos de filtros utilizados en análisis de PM-2.5

Puntos	N°. Filtro	Wi (g)	Promedio Wf (g)	Diferencia: Wf-Wi (g)
1. UTA	2,1	0,14002	0,14018	0,00016
1. UTA	2,2	0,14156	0,14181	0,00025
1. UTA	2,3	0,13972	0,13978	0,00006
1. UTA	2,4	0,14041	0,14073	0,00032
1. UTA	2,5	0,14165	0,14184	0,00019
1. UTA	2,6	0,14143	0,14179	0,00036

Tabla N°4 Pesos de filtros utilizados en análisis de PM-10

Puntos	N°. Filtro	Wi (g)	Promedio Wf (g)	Diferencia: Wf-Wi (g)
--------	------------	--------	-----------------	-----------------------

1. UTA	3	0,11661	0,11704	0,00043
1. UTA	4	0,12039	0,12162	0,00123
1. UTA	5	0,12042	0,12254	0,00212
1. UTA	7	0,1195	0,11972	0,00022
1. UTA	8	0,11716	0,11744	0,00028
1. UTA	9	0,11624	0,11667	0,00043

Las tablas N°3 y 4 muestran los pesos de filtros de PTFE y cuarzo para PM-2,5 y PM-10 respectivamente, vacíos y con carga, pero se muestra que los pesos con carga (Wf) se replican ya que, según el proceso de validación, requerido para verificar la variación y la incidencia de afectación de la temperatura y la humedad relativa en el área de pesaje. Para evitar esta incidencia se debe dejar los filtros que se estabilicen por un periodo de 24 horas evitando así que exista gran variabilidad en el proceso de pesado.

4.1.10 Aplicación de datos y diseño experimental.

Una vez obtenido los pesos de los filtros vacíos y con carga descritos anteriormente de un total de 6 mediciones de material particulado en aire ambiente en matrices de PM-10 y PM-2,5 en diferentes fechas para garantizar el máximo grado de variación en el estudio de repetibilidad y de precisión intra-laboratorio.

Para lo cual en la tabla N°6 describe la determinación de material particulado en aire ambiente PM-2,5 y PM-10 y su desviación estándar máxima requerida para la validación, mediante la variación de pesos (análisis gravimétrico) utilizando como ecuación general la siguiente:

$$\Delta P = (P_2 - P_1) \text{ Ec. 3}$$

$$PM_{10/2,5} = (W_f - W_i) * \frac{10^6}{V_{std}} \text{Ec.4}$$

$$PM \left(\frac{10}{2,5} \right)_c = PM_{10 \text{ ó } 2,5} * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P_{atm}} * \frac{(273+T_{amb})^{\circ K}}{298^{\circ K}} \text{Ec.5}$$

Ecuación 3, sirve para el cálculo de diferencia de pesos de los filtros la cual es necesaria para el cálculo de material particulado (tablas N° 3 y 4), esta diferencia de pesos es la que nos permitirá obtener datos descritos como tipo A(g); (Tabla N°5), que es la variación de pesos de filtro con muestra y filtro vacío, la cual se obtiene al calcular la desviación estándar de todos los datos de la diferencia de pesos con filtros con muestra y pesos de filtro vacío, este dato es necesario para el cálculo de la incertidumbre del uso de la balanza.

La Ecuación 4 describe el modelo matemático para el cálculo de material particulado en aire ambiente recolectado en 24 horas de muestreo, en caso que sea necesario o el organismo que solicito el análisis se presentara una concentración calculada y corregida a estándares de 760mm de Hg y a 273°K según describe la ecuación 5. La concentración obtenida y que se muestra en las tablas 9, son en unidades requeridas y especificadas en la US-EPA y CFR, siendo microgramos por metros cubico (ug/m3).

TablaN°5 Máxima contribución Tipo A, de pesos de filtros para PM-2,5 y PM-10

		Muestreo	Promedio ΔP (g)	Tipo A (g)	%CV Tipo A	Máxima Contribución Tipo A (g)	
Matriz	PM-2,5	Día 1	0,00016	0,0000055	3,42	0,0000045	
		Día 2	0,00025	0,0000050	2,07		
		Día 3	0,00007	0,0000045	6,39		
		Día 4	0,00031	0,0000040	1,20		
		Día 5	0,00017	0,0000040	2,18		
		Día 6	0,00036	0,0000040	1,24		
			Muestreo	Promedio ΔP (g)	Tipo A (g)	%CV Tipo A	Máxima Contribución Tipo A (g)
	PM-10	Día 1	0,00043	0,0000024	0,57	0,0000100	
		Día 2	0,00122	0,0000040	0,31		
		Día 3	0,00212	0,0000040	0,19		
		Día 4	0,00063	0,0000050	0,81		
		Día 5	0,00028	0,0000100	2,53		
Día 6		0,00041	0,0000020	0,60			

Tabla N°6 Concentración de PM-2,5 y PM-10, Desviación estándar máxima.

	Muestreo	Promedio Material Particulado (ug/m3)	Desv Estándar (ug/m3)	Sr máxima %	Sr máx %	
Matriz	PM-2,5	Día 1	6,67	0,51	3,42	6,39
		Día 2	10,25	0,48	2,07	
		Día 3	2,92	0,42	6,39	
		Día 4	17,25	0,40	1,03	
		Día 5	7,18	0,35	2,15	
		Día 6	15,08	0,35	1,03	
	PM-10	Muestreo	Promedio Material Particulado (ug/m3)	Desv Estándar (ug/m3)	Sr máxima %	Sr máx %
		Día 1	17,75	0,23	0,57	1,80
		Día 2	50,92	0,35	0,31	
		Día 3	88,50	0,37	0,19	
		Día 4	34,75	0,62	0,80	
		Día 5	11,83	0,48	1,80	
Día 6	16,88	0,21	0,55			

La tabla N°6, describe el cálculo de promedio de concentración de material particulado en las mismas condiciones de pesado en la misma balanza y mismo analista, como es requerido para la validación del método.

Para este proceso de validación y determinación de material particulado se aplica el diseño de análisis de varianza ANOVA de un factor. El ANOVA es un conjunto de procedimientos los cuales se concuerdan con las características del diseño experimental utilizado para la obtención de los datos para la validación y para la comparación de dos o más tratamientos (Díaz, 2000). Los resultados obtenidos por distintos flujos y procedimientos de pesada, de los que se consideró un número superior o igual a cinco mediciones. De los datos a obtener se considera de cada grupo un total de cinco mediciones tomando en consideración la repetibilidad (mismo ajuste, misma verificación, mismo analista y mismo equipo); obteniendo un total de 25 datos por cada matriz (PM-10 y PM-2,5).

Plan de repeticiones para la determinación del volumen total de muestra.

El sistema de muestreo a ser valorado el cual es utilizado para muestrear aire, de lo que consiste en un ajuste y medición de caudal antes de la toma de muestra y una nueva medición de este tras haber realizado el muestreo.

La variación en la tasa de flujo se realiza con un estándar de flujo certificado como es el sistema de medición de caudal Defender 510 de código interno EI-25, el cual mide el caudal del muestreador incorporando en el mismo elemento de retención o filtro, como se muestra en la tabla N°7, considerando que estos valores son significativos para la realización del cálculo de repetibilidad del volumen total de las muestras requerido para la validación.

Tabla N°7 Volumen de caudal medido con sistema de medición Defender 510 para PM-2,5 y PM-10, con datos requerido para la validación

	Medición	Promedio de flujo (L/min)	u calibración	u resolución	% u deriva	% Corrección		
			máx. Muestreador %	máx. Muestreador %	máx. defender	máxima		
Matriz	Día 1	16,22	0,62	0,1799	0,58	3,90		
	PM-2,5	Día 2					16,17	
	Día 3	16,12						
	Día 4	16,07						
	Día 5	16,05						
		Medición	Promedio de flujo (L/min)	u calibración	u resolución	% u deriva	% Corrección	
				máx. Muestreador %	máx. Muestreador %	máx. defender	máxima	
		Día 1	16,05	0,66	0,1799	0,58	3,91	
		PM-10	Día 2					16,05
		Día 3	16,26					
	Día 4	16,19						
	Día 5	16,24						

En la tabla N°7, se muestra el promedio de las 10 determinaciones o réplicas del caudal de volumen que se obtiene del muestreador antes de realizar el muestreo comparando como medida de verificación y si no cumple el valor nominal del 4% del criterio de aceptación se procederá la respectiva calibración de flujo del equipo Partisol, con el estándar de flujo certificado EI-25. Las determinaciones se realizan por un total de cinco días tomando en consideración los criterios establecidos en el documento PE-10 Procedimiento para la determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5.

El número total de datos será de 50 determinaciones con lo cual se determinará la variabilidad máxima debida a factores como la pérdida de carga, autonomía de funcionamiento, interrupción de flujo de aire, etc. de la bomba del muestreador EI-06

para PM-2,5 y EI-07 para PM-10. Ya que este factor de volumen de succión es esencial para que, a las 24 horas de muestreo verificar la existencia o inexistencia de errores mínimos en el monitoreo de aire ambiente, ya que si existiese un coeficiente de variación superior al 2% sería perjudicial al momento de realizar los respectivos cálculos de determinación de material particulado y no se tendría una incertidumbre confiable, o dentro del rango de aceptación para la validación del método.

4.1.11 Tratamiento estadístico

Para el proceso de validación se realiza también un Análisis de varianza simple de los resultados obtenidos (ANOVA). La estimación de la incertidumbre, se realiza aplicando el instructivo de estimación de incertidumbre general para material particulado PM-2,5 Y PM-10 con código IE-5.4-05 en donde se señalan las contribuciones de la incertidumbre y las expresiones empleadas para estimar la misma, en forma específica para este análisis se utiliza el instructivo IE-5.4-05.

4.1.12 Análisis de incertidumbre para validación de material particulado en aire ambiente.

Para el cálculo de la incertidumbre que sea valedero para la validación se establece el modelo matemático que permite calcular la concentración de material particulado en aire ambiente.

La concentración de material particulado PM-2,5 y PM-10 en la tabla N°6, se considera en su modelo matemático la cantidad de material particulado retenido en el filtro y el volumen de aire muestreado según la siguiente expresión:

$$PM \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) = \frac{(P_2 - P_1)}{V} \times 10^6 \text{ (Ec. 7)}$$

Por lo tanto:

$$u_{PM} = \frac{\delta_{\Delta P}}{\delta_V} \text{ (Ec. 8)}$$

En donde:

PM: Es la concentración del material particulado PM-2,5 o PM-10 expresado en microgramos por metro cúbico de aire muestreado.

ΔP : Es el peso de material particulado PM-2,5 o PM-10 recogido en un elemento de retención, expresado en gramos, se obtiene por la diferencia entre la pesada posterior (P2) y la previa (P1) a la toma de muestra.

V: Es el volumen de aire total muestreado en metros cúbicos.

10^6 : Conversión de gramos a microgramos.

Variables que contribuyen a la incertidumbre

Por peso del filtro y por volumen de aire muestreado.

$$u_{PM} = \sqrt{u_{\Delta P}^2 + u_V^2 + Sr^2} \text{ (Ec. 9)}$$

Por peso del filtro.

Se establecen las variables que influyen en la incertidumbre asociada a la determinación gravimétrica de material particulado PM-2,5 y PM-10 en la tabla N°8.

ΔP : equivale a la variación de peso de los elementos de retención o filtros entre las pesadas finales (P2) e iniciales (P1).

$$\Delta P = (P_2 - P_1) \text{ (Ec. 10)}$$

En donde la incertidumbre asociada es:

$$u_{\Delta P} = \sqrt{u_{P_2}^2 - u_{P_1}^2} \text{ (Ec. 11)}$$

En el mismo sentido, la incertidumbre de pesada tiene relación directa con la incertidumbre de uso de la balanza, la misma se calcula con la siguiente ecuación:

ubalanza

$$= \sqrt{(ucal.balanza)^2 + (uresol.balanza)^2 + (uderivaa)^2 + (TipoA)^2} \text{ (Ec. 12)}$$

En donde:

$u_{cal. balanza}$: Incertidumbre de calibración de la balanza

$u_{cal. balanza}$: Incertidumbre de resolución balanza

u_{deriva} : Incertidumbre de la deriva de la balanza

Contribución tipo A: Incertidumbre del proceso de pesada

Finalmente, se incorporan todas las variables que contribuyen a la incertidumbre:

Por lo tanto, la incertidumbre es 2 veces por la pesada realizada antes del muestreo en campo y después del mismo.

También: $u_{pesada} = 2 \times u_{balanza}$

$$u_{\Delta P} = 2 * \sqrt{(u_{cal. balanza})^2 + (u_{resol. bal})^2 + (u_{derivabal.})^2 + (TipoA)^2} \quad (\text{Ec.13})$$

Volumen de muestreo:

Para el proceso de validación se especifica parámetros que en este caso es el volumen de caudal succionado con el sistema de calibración Defender 510 EI-25, los parámetros siguientes se requerirá para la validación como son:

V (volumen total muestreado en metros cúbicos) está en función del muestreador y sus componentes de verificación y calibración.

$$uV = \sqrt{u(TipoA)^2 + (u_{muestreador})^2} \quad \text{Ec.14}$$

$u_{muestreador} =$

$$\sqrt{(u_{cal. muestreador})^2 + (u_{resol. muestreador})^2 + (u_{derivamuestreador})^2} \quad \text{Ec. 15}$$

$u(TipoA)$: es la variación de la tasa de flujo o caudal durante el procedimiento de calibración de la bomba del muestreador.

$u_{cal. muestreador}$: Corresponde al patrón de flujo medidor de volumen EI-25 (Defender).

uresol.muestreador: Resolución del muestreador

uderivamuestreador: Corresponde a la desviación permisible del patrón de flujo EI-25 (Defender).

Incertidumbre por desviación estándar de repetibilidad en la determinación de material particulado en microgramos por metro cúbico de aire muestreado.

$$S_r = \frac{\text{desviación estándar de PM}}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec.16}$$

Conversión a porcentaje de todas las componentes de incertidumbres. Las incertidumbres estándar se convierten a unidades de porcentaje para poder combinar todas las variables que contribuyen a la incertidumbre del método.

Peso: La incertidumbre de ΔP equivale a la incertidumbre de uso de la balanza dividida para el peso que se emplea, se ha tomado el valor nominal de 0.1 g, eso multiplicado por 100, se obtiene la incertidumbre en %.

Volumen: La incertidumbre de V equivale al promedio de tasas de flujo volumétrico medido por el muestreador y relacionado con el flujo nominal que tiene un valor de 16,7 l/min.

La tabla N° 6 describe el valor máximo de la desviación estándar por repetibilidad en la determinación de PM-2,5 y PM-10, valores que son requeridos para ser utilizados en la ecuación 16, la cual indica la dispersión que tiene los datos al momento de realizar múltiples repeticiones de pesada hasta obtener una desviación estándar por repetibilidad máxima como se muestra en las tablas mencionadas para el respectivo cálculo de validación.

4.1.13 Determinación de la incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida (U) asociada a la determinación gravimétrica y al volumen de total de muestra de aire muestreado se obtiene según la siguiente expresión:

$$U = k \times \mu_{PM} + CNREc.17$$

En donde k es el factor de cobertura con un valor igual a 2 y proporciona un intervalo de confianza del 95% y CNR representa las correcciones no realizadas.

CNR balanza: Corresponde al error desconocido, el cual es tomado del certificado de calibración de la balanza y este dado por la relación de este error dividido para la masa más pequeña utilizada en el proceso de calibración en porcentaje.

CNR muestreador: Esta dada según la siguiente expresión:

$$\%CNR_{muestreador} = \frac{\text{valornominaltasadeflujo} - \text{valorpromediotasadeflujo}}{\text{valornominaltasadeflujo}} \times 100$$

Ec.18

Tabla N°8 Incertidumbre expandida para PM-2,5 y PM-10.

Matriz	u ΔP %	u Volumen, %	Sr validación %	u método%	k	CNR %	U material particulado
	PM-2,5	1,16	0,87	6,39	6,55	2,00	3,91
PM-10	1,16	0,89	1,80	2,31	2,00	3,92	8,55

La tabla N°8, muestra los parámetros necesarios para la utilización en la ecuación 17 la cual es la determinación de la incertidumbre expandida para PM-2,5 y PM-10, que demuestra los parámetros de variación de incertidumbre que afecta directamente al compuesto al momento de su estimación gravimétrica y de volumen muestreado, manteniendo para PM-2,5 una incertidumbre expandida de 17,01% y para PM-10 de 8,55%, siendo estos dos valores aceptables para la validación ya que el objetivo dispuesto para la validación de este método de material particulado es de $\leq 20\%$, valor que permite que el método de material particulado en aire ambiente sea validado y acreditado por el organismo acreditador SAE, los datos y valores correspondientes al tratamiento estadístico se establece en el procedimiento de código R-5.4-02 interno del laboratorio.

Cuando existan cambios en el comportamiento del equipo ya sea por los materiales de referencia utilizados (No aplica en este caso) o por procesos de deriva de los equipos, se actualizará esta información en las hojas: calibración de equipos e incertidumbre dentro de R-5.4-02 Tratamiento estadístico.

Tabla N°9 Verificación de cumplimiento de resultados para PM-2,5 y PM-10.

Matriz	Parámetro					
	Precisión repetibilidad del método	Sr Precisión Tasa de flujo volumétrico	Exactitud tasa de flujo	U, Incertidumbre %	Intervalo de trabajo	
	PM-2,5	Objetivo				
		10.00%	± 4%	± 4%	≤ 20%	6,0 µg/m ³ a 200 µg/m ³
		Resultado				
	7,65%	3,9	3,9	17,01	6,0 µg/m ³ a 200 µg/m ³	
	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
	Parámetro					
	Precisión repetibilidad del método	Sr Precisión Tasa de flujo volumétrico	Exactitud tasa de flujo	U, Incertidumbre %	Intervalo de trabajo	
	PM-10	Objetivo				
10.00%		± 4%	± 4%	≤ 20%	6,0 µg/m ³ a 200 µg/m ³	
Resultado						
7,65%	3,9	3,9	8,55	6,0 µg/m ³ a 200 µg/m ³		
Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple		

La tabla N° 9, describe la verificación y cumplimiento de parámetros y objetivos planteados para validar el ensayo de material particulado siendo en ambas matrices el cumplimiento total y dentro de los rangos establecidos como precisión de repetibilidad, desviación estándar en la tasa de flujo volumétrico, exactitud de la tasa de flujo, incertidumbre expandida con resultados para PM-2,5 de 17,01 y PM-10 de 8,55, valores que están dentro del límite planteado en los objetivos de validación, y el intervalo de trabajo, siendo un método validado para el laboratorio Environovalab.

Ejecución

Los datos se registrarán en el Registro Datos de validación R-5.4-01 y posteriormente trasladados al Registro de Tratamiento estadístico R-5.4-02.

En el proceso de validación se encontraron errores aleatorios y sistemáticos los cuales afectaron los resultados obtenidos, pudiendo reducirlos no es su totalidad, pero si en su gran mayoría realizando las respectivas calibraciones antes de realizar cualquier análisis.

4.1.14 Cálculo de material particulado PM-2,5 y PM-10

Una vez cumplido con los parámetros y objetivos de validación se procede al cálculo respectivo para material particulado iniciando con lo siguiente:

El cálculo para la tasa de flujo promedio durante las 24 horas de muestreo se corrige a las condiciones de referencia de EPA como Q_{std} . Cuando el indicador de flujo de la muestra se calibra en unidades volumétricas reales (Q_a), Q_{std} se calcula como:

$$Q_{std} = Q_a * \frac{P_{av}}{T_{av}} * \frac{T_{std}}{P_{std}} \quad \text{Ec.19}$$

Dónde:

Q_{std} = Tasa media de flujo en condiciones de referencia de la EPA, m³/min;

Q_a = Caudal medio en condiciones ambientales, m³/min;

P_{av} = Presión barométrica promedio durante el período de muestreo, mm Hg;

T_{av} = temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo, °K;

T_{std} = temperatura estándar, 298 °K;

P_{std} = presión estándar, 760 mm Hg.

Cálculo del volumen total de aire muestreado como:

$$V_{std} = Q_{std} * t \quad \text{Ec.20}$$

Dónde:

V_{std} = Total de aire muestreado en unidades de volumen, m³;

t = tiempo de muestreo, min.

Cálculo de la concentración de PM-10 y PM-2,5 como:

$$PM\ 10 = (W_f - W_i) * \frac{10^6}{V_{std}} \quad \text{Ec.21}$$

$$PM\ 2,5 = (W_f - W_i) * \frac{10^6}{V_{std}} \quad \text{Ec.22}$$

Dónde:

PM-10, PM-2,5 = concentración de masa de PM-10 y PM-2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

Wf,Wi = pesos finales e iniciales del filtro que recoge partículas de PM-10 y PM-2,5 en gramos;

10^6 = conversión de gramos (g) a microgramos (μg).

Cálculo de la concentración corregida para material particulado PM-10 y PM-2,5 como:

$$\text{PM } 10c = \text{PM } 10 * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P \text{ atm}} * \frac{(273+T \text{ amb})^\circ\text{K}}{298^\circ\text{K}} \text{ Ec.23}$$

$$\text{PM } 2,5c = \text{PM } 2,5 * \frac{760 \text{ mm Hg}}{P \text{ atm}} * \frac{(273+T \text{ amb})^\circ\text{K}}{298^\circ\text{K}} \text{ Ec.24}$$

Dónde:

PM-10c: concentración de masa de PM-10 corregida, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

PM-10: concentración observada, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

PM-2,5c: concentración de masa de PM 2,5 corregida, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

PM-2,5: concentración observada, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

P atm: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio, mmHg;

T amb: temperatura local, en grados centígrados, $^\circ\text{C}$.

Las ecuaciones 19, 20, 21, 22, describen los parámetros requeridos al igual que el procedimiento anterior para la determinación de material particulado, según el Ministerio del ambiente MAE (2015) en su registro oficial N° 387 menciona que las concentraciones de material particulado del aire calculado se tiene que ajustar a condiciones estándar de 760 mmHg y a 25 grados centígrados (25°C), siendo esta la concentración corregida de material particulado requerida en el país como se especifica en las ecuaciones 23 y 24.

Los resultados de concentración calculados mediante la norma de la US-EPA y la concentración corregida requerida por el país según el ministerio del ambiente se describen en las figuras siguientes:

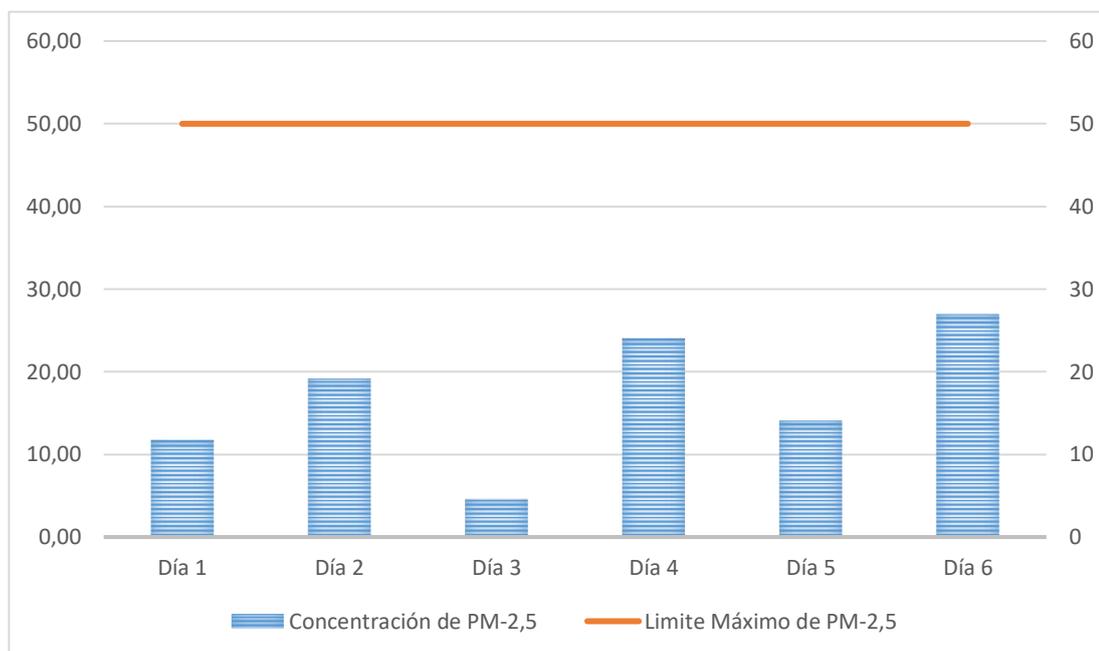


Figura 5. Variación de concentración de PM-2,5

La Figura 5, muestra la variación de concentración de PM-2,5 que, al obtener resultados de los 6 días de muestreo, el PM-2,5 no excede el límite planteado por el MAE que es de 50 ug/m³ durante las 24 horas, pero al realizar un análisis individual del PM, se observa que el día 6 de muestreo es el que mayor concentración de PM-2,5 existe, esto se debe a que los factores meteorológicos influyen directamente en el monitoreo de material particulado. Analizando la concentración de PM-2,5 con la figura 2 que interpreta la dirección del viento y la figura 4 la cual interpreta la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, que para que exista un aumento en PM-2,5 la humedad relativa disminuye, pero la temperatura y la velocidad del viento aumentan, permitiendo que las partículas de PM sean más ligeras permitiendo el fácil transporte en el aire, evidenciando así el aumento en la concentración de PM-2,5.

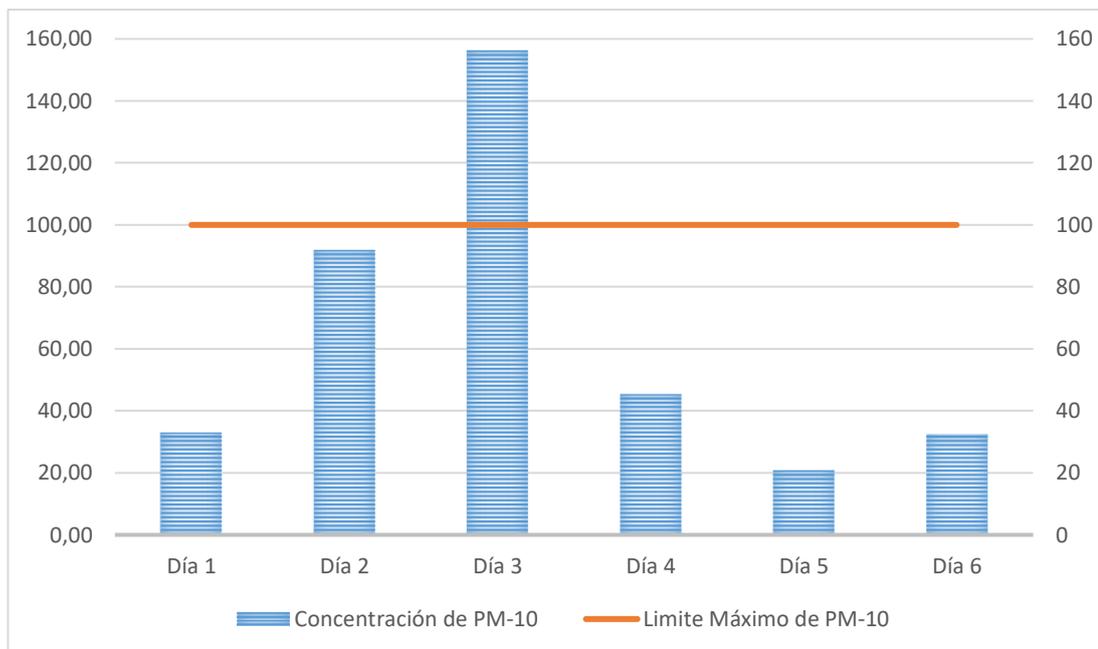


Figura 6. Variación de concentración de PM-10

La Figura 6, muestra la variación de concentración de PM-10 que, al obtener resultados de los 6 días de muestreo, el PM-10 no excede el limite planteado por el MAE que es de 100 ug/m³ durante las 24 horas, pero al realizar un análisis individual del PM, se observa que el día 3 de muestreo es el que mayor concentración de PM-10 existe, esto se debe a que los factores meteorológicos influyen directamente en el monitoreo de material particulado. Analizando la concentración de PM-10 con la figura 1 que interpreta la dirección del viento y la figura 3 la cual interpreta la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, que para que exista un aumento en PM-10 la humedad relativa disminuye, pero la temperatura y la velocidad del viento aumentan, permitiendo que las partículas de PM sean más ligeras permitiendo el fácil transporte en el aire, evidenciando así el aumento en la concentración de PM-10.

Tabla N° 10 Análisis comparativo según norma ecuatoriano del MAE (2015) con concentración de PM-2,5.

PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA		CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA (Ug/m ³)
	VALOR	UNIDAD	
Material particulado PM-2,5	12,46	Ug/m ³	12,46
	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (ug/m³)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ug/m³)	CRITERIOS DE RESULTADOS
	16,78	50 ug/m ³ /24H	Cumple con la normativa

La tabla N° 10 describe el análisis de material particulado PM-2,5, realizado en la Universidad Técnica de Ambato según el cálculo de concentración de PM-2,5 mediante el método gravimétrico. La concentración promedio de PM-2,5 y PM-2,5 corregida cumplen con la normativa vigente según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), no excediendo los límites máximos permisibles de 50 ug/m3 durante las 24 horas de muestreo.

Tabla N° 11 Análisis comparativo según norma ecuatoriana del MAE (2015) con concentración de PM-10.

PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA		CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA (Ug/m3)
	VALOR	UNIDAD	
Material	47,24	Ug/m3	47,24
particulado PM-10	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (ug/m3)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ug/m3)	CRITERIOS DE RESULTADOS
	63,35	100 ug/m3/24H	Cumple con la normativa

La tabla N° 11 describe el análisis de material particulado PM-10, realizado en la Universidad Técnica de Ambato según el cálculo de concentración de PM-2,5 mediante el método gravimétrico. La concentración promedio de PM-10 y PM-10 corregida cumplen con la normativa vigente según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), no excediendo los límites máximos permisibles de 100 ug/m3 durante las 24 horas de muestreo.

Según los datos de las tablas N°10 y 11, la calidad de aire en la ciudad de Ambato en la Universidad Técnica de Ambato, se la considera de buena calidad, sin ser necesario la implementación de sistemas o procedimientos para corrección de las fuentes que provoquen una mala calidad de aire en la Universidad afectando a la población universitaria tanto estudiantes como servidores de la universidad, o la implementación de alguna medida de prevención, procedimientos de alerta o emergencia en caso que existiese superación en los niveles permisibles de material particulado, como por ejemplo se implementaría medidas de prevención cuando se de actividad sísmica como es el caso del volcán Tungurahua, ya que en años anteriores este emitía su material piro plástico contaminando de forma natral al aire atmosférico.

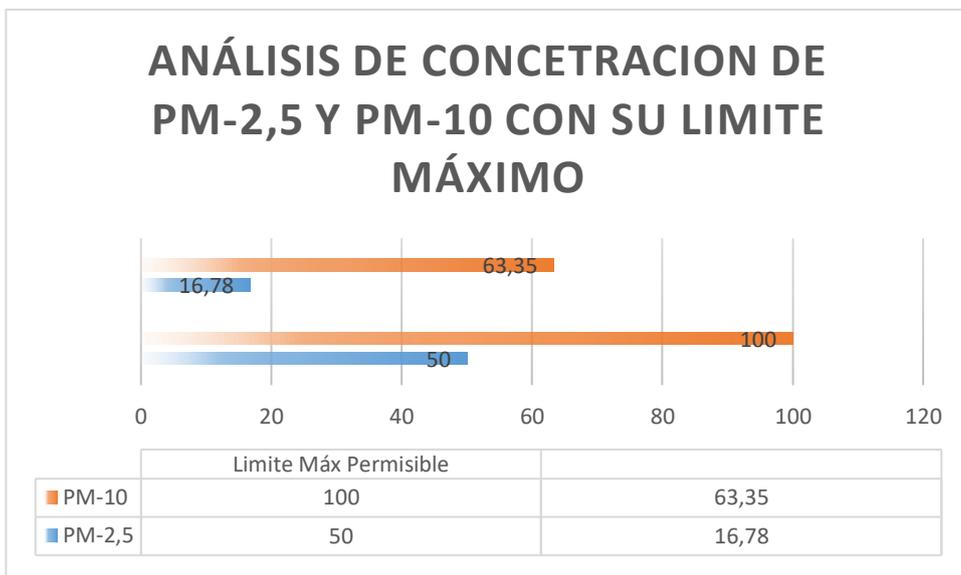


Figura 7 Representación de Límite Máximo permisible con la concentración de PM obtenida

En la Figura 7 se muestra la concentración de material particulado promedio de los 6 días de muestreo, en los campus de la Universidad Técnica de Ambato, demostrando que la calidad de aire es de buena calidad no superando los límites máximos permisibles durante las 24 horas.

4.2 Verificación de hipótesis

Con relación a los datos obtenidos en el análisis se acepta la hipótesis alternativa que la determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en la Universidad Técnica de Ambato en base a volumen o caudal de succión y análisis gravimétrico de los filtros cumplen con los criterios de aceptación establecidos en la normativa ambiental vigente.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La verificación de la aplicabilidad del método de determinación de material particulado PM-10 y PM-2,5 en aire ambiente según la norma ISO/IEC 17025 y la normativa de los Estados Unidos US-EPA y como documentos de referencia como el Registro Oficial N°387 del Ministerio del Ambiente del Ecuador, siendo el método de material particulado en aire ambiente matrices de PM-2,5 y PM-10 es un método competente ya que cuando se realizó su evaluación de validación como son repetibilidad e incertidumbre del ensayo en base a parámetros de volumen o caudal de succión y análisis gravimétrico por diferencia del peso del filtro vacío y con muestra recolectada, también realizando un análisis de varianza simple de los datos obtenidos en el muestreo, la estimación de incertidumbre calculada en base al instructivo de estimación de incertidumbre general para material particulado PM-2,5 y PM-10 con código IE-5.4-05, en el cual se indican las variables necesarias para el respectivo cálculo de incertidumbre como son: incertidumbre de la balanza descrita por su certificado de calibración, incertidumbre de flujo controlado por el sistema de calibración de flujo Defender 510 y contribuciones tipo A, tanto del flujo y la diferencia de pesos entre los filtros utilizados en el análisis, una vez que se obtuvo todos las incertidumbre necesarias, se procedió al cálculo de la incertidumbre expandida que para material particulado PM-2,5 se obtuvo una incertidumbre de 17,01% y para PM-10 de 8,57% siendo estas incertidumbre menores o igual a 20% que se requiere para que el proceso de validación del método sea aplicable a todos campos expuestos y reproducible en sus procedimientos tanto para muestreo, manejo y calibración de los ensayos ya descritos.

Se verificó el método para la determinación de material particulado PM-2,5 y PM-10 en aire ambiente, según la norma de la US-EPA apéndice L y apéndice J respectivamente de la parte 50 del Método de referencia, demuestran en sus apartados las pautas para el proceso de determinación de material particulado, los parámetros como son: temperatura, humedad relativa, entornos de acondicionamiento del filtro, eficiencia de recolección, precisión de muestreador fuentes potenciales de error,

variación en flujo de succión, determinación del volumen, resolución de la balanza y otros parámetros, que describe la EPA en sus apéndices los cuales serán de gran influencia en el momento de realizar la verificación del proceso de muestreo, mantenimiento y calibración del equipo, funcionamiento en el laboratorio y en el lugar que se va a realizar el análisis, el cálculo que se requirió una vez concluido el muestreo, una vez que se tuvo claro los parámetros se verificó que el método para determinación de material particulado PM-2,5 y PM-10 se encontró apto para el respectivo análisis, ya que consta con sus procedimientos, manuales de calibración y verificación y manuales de mantenimiento como especifica la EPA.

Se determinó la calidad de aire ambiente en las matrices PM-2,5 y PM-10 en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato, mediante la aplicabilidad de los procedimientos e instructivos basados en las normas de la EPA, de la CFR y de los criterios de aceptación y rechazo del Ministerio del Ambiente del Ecuador, demostrando que la calidad de aire en la ciudad de Ambato es de buena calidad obteniendo 16,78 ug/m³ de PM-2,5 y 63,35 ug/m³ de PM-10, siendo estos valores promedios de los 6 días de monitoreo, con la utilización de datos meteorológicos de referencia y datos propios del equipo requeridos para el cálculo de material particulado ya que estos parámetros influyen directamente en el material particulado como es la humedad y la temperatura, tanto en el momento de monitoreo como en la realización de la pesada para el respectivo análisis, no excediendo los rangos de PM descritos en el registro oficial N°387 del MAE

5.2 Recomendaciones

Revisar instructivos de uso de equipos muestreador de aire de igual o superior versión que ayuden a aumentar el conocimiento en el equipo y por ende en el área ambiental, complementando su conocimiento en mantenimiento de bombas, cañerías para evitar posibles fugas en el muestreo y realizar mantenimientos preventivos de los equipos muestreadores.

Integrar procedimientos, instructivos y manuales que permitan ampliar en análisis de material particulado en aire ambiente como análisis cromatógrafos, espectrofotométricos, infrarrojos, etc. del material recolectados.

BIBLIOGRAFIA

- Abad , L. C. (2016). *Estimación de la concentración de material particulado menor a 10 micras a través de sensores remotos en el área urbana de la ciudad de Cuenca*. Cuenca .
- ADVANTEC MFS inc. (s.f.). *Monitoreo de aire ambiental catalogo de productos*. Dublin.
- AIRE LIMPIO. (2016). *Calidad de aire, preocupación creciente*. Madrid: Velázquez 100.
- ANONIMO. (22 de 07 de 2017). *DOCENCIA*. Obtenido de http://docencia.unet.edu.ve/Coordinaciones/SComunitario/archivos/Manual_Marcologico.pdf
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. *Scielo*, 19.
- Arciniégas, C. A. (2011). *Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10*. Manizales : Luna Azul.
- Cárdenas , H. J. (2007). *Procedimiento para la determinación de la concentración de partículas suspendidas menores a 10 micras en el aire ambiente por el método PM10*. Valle de Aburra: Area Metropolitana del valle de Anurra.
- CASELLA. (2018). *Calibrador Defender Serie 500*. Madrid: Poligono Európolis.
- Certicalia. (04 de Junio de 2018). *Certicalia* . Obtenido de <https://www.certicalia.com/blog/que-son-las-coordenadas-utm>
- Chen, Y.-Y., Del Valle, M. A., Valdebenito, N., & Zacconi, F. (2014). *Mediciones y Métodos de Uso Común en el laboratorio de Química*. Santiago de Chile: Edicionesuc.
- Chesniuk, S. G. (2017). Validación y cálculo de la incertidumbre de métodos de ensayos microbiológicos., (pág. 25). Argentina. Obtenido de Metroquimica.NET.
- Code of Federal Regulations (CFR). (2004). *Code of Federal Registers Title 40 Appendix L. Part 50, Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere*. Estados Unidos. Obtenido de Legal Information Institute.
- Code of Federal Registers (CFR). (2004). *Code of Federal Registers Title 40 Appendix J. Part 50, Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere*. Estados Unidos .
- Connelly, M. (2016). *Seguridad Humana, medio ambiente y pretestas populares en Asia y África del norte*. México: ISBN.
- Cuesta, L. (Febrero de 2006). Facultad de ciencias químicas. *Universidad de Cuenca*, 4, 86-89.
- Decanini, A. (1997). *Manual ISO-9000*. Catillo.
- Definicion.de. (28 de Mayo de 2018). *Definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/aire/>

- Díaz, A. (2000). *Diseño estadístico de experimentos*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Distrito metropolitano de Quito. (2017). *Informe de la calidad de aire-2016*. Quito.
- Domínguez, A. (2014). *Validación del método de determinación de la fracción PM10 de la materia particulada en suspensión en aire ambiente*. Coruña.
- Ecologistas en acción. (2018). Calidad del aire en la ciudad de Madrid . *Aire limpio*, 25.
- EcuRed. (04 de Junio de 2018). *EcuRed Conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Velocidad_del_viento
- EPA. (04 de Junio de 2018). *United States Enviromental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/history>
- EUROCHEM. (2016). *Una guía de laboratorio para validación de métodos y temas relacionados*. España.
- Gallego, A., Garcinuño, R., & Morcillo, J. (2013). *Experimentación en Química Análítica*. Madrid: UNED.
- Harris, D. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. Barcelona: Reverté S.A.
- Herrera Murrillo , J., & Rodriguez Román , S. (2010). *Validación de un método de análisis para la determinacion de metales pesados en particulas PM10 colectadas en aire ambiente*. Costa Rica.
- IDEAM. (2011). *Guía práctica para la validación de datos en los sistemas de vigilancia de calidad del aire-SVCA exsistentes en Colombia-GPVD*. Colombia .
- Lopez, S. (2015). *Mantenimiento y reparación básica de los equipos de medida de contaminación atmosféricos*. España: ELEARNING S.L.
- Manzur, M., Benzal , G., & Gonzáles, S. (2012). MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES. *AUGM*, 19.
- MELDIC. (2015). *MEDLIC*. Obtenido de <http://www.meldic.cl/index.php/area-medio-ambiente/filtros/filtros/filtro-teflon-ptfe-para-pm-2-5-312-detail>
- Meteored. (04 de Junio de 2018). *tiempo.com*. Obtenido de <https://foro.tiempo.com/como-se-observan-las-nubes-la-nubosidad-t38696.0.html>
- Ministerio del Ambiente. (4 de Noviembre de 2015). Registro Oficial Organo del Gobierno del Ecuador . *Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas*. Quito, Pichincha, Ecuador .
- Nave, O. (04 de Junio de 2018). *HyperPhysics_Termodinamica*. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/relhum.html>
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito . (2010). *Directrices para la validación de métodos analíticos y la calibración del equipo utilizado para el análisis de drogas ilícitas en materiales incautados y especímenes biológicos*. Nueva York : UNODC.
- Oregon SCIENTIFIC. (2018). Manual de usuario Sistema metereológico. 1-2.

- ORTEGON, E. (2005). *METODOLOGIA DEL MARCO LOGICO PARA LA PLANIFICACION, EL SEGUIMIENTO Y LA EVALUACION DE PROYECTOS Y PROGRAMAS*. SANTIAGO DE CHILE: CEPAL.
- Palacios Espinoza, E. (2 de Septiembre de 2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca-Ecuador, 2009-2013 posibles efectos en la salud. *Revista de la Facultad de ciencias médicas Universidad de Cuenca*, 32(2), 17.
- PCE.Iberia. (04 de Junio de 2018). *PCE.Inst.* Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm>
- Pérez, G. (04 de Junio de 2018). *Ciclo Hidrológico.com*. Obtenido de <https://www.ciclohidrologico.com/precipitacion>
- Rojano, R. (2012). Niveles de partículas suspendidas totales (PST), PM10 y PM2.5 y su relación en lugares Públicos de la ciudad de Riohacham Caribe Colombiano. *Scielo*, 10.
- Rosales Castillo, J. A., Torres Meza, V. M., Olaiz Fernández, G., & Borja Abuto, V. (Noviembre-diciembre de 2001). Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud pública de México*, 43(6), 544-555.
- Rosales, J. A. (2001). Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Scielo*, 12.
- Sbarato, D., Sbarato, V., & Ortega, J. (s.f.). *Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera* (Segunda ed.). Córdoba: C.I.S.A.
- SCHILLER. (11 de Junio de 2018). *Filtros de microfibra de vidrio*. Obtenido de <http://schiller.com.ec/pdf/ge/productos/Fibra%20de%20Vidrio.pdf>
- Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad de aire*. México: Diario Oficial.
- Sellers, C. A. (2013). *MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES*. Cuenca.
- Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA. (s.f.). *Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- supot. (s.f.). *INFORMATICA*. Obtenido de <https://support.office.com/es-es/article/Especificar-costos-para-los-recursos-b97437e6-d05b-4aef-8d47-357e229a4e50?ui=es-ES&rs=es-ES&ad=ES&fromAR=1#bm1>
- Thermo Fisher SCIENTIFIC. (2007). *Partisol FMR Model 2000* (Segunda ed.). Estados Unidos.
- Uribe, Á. (Febrero de 2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire. *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Bogotá, Colombia.
- Zamudio, J. (2016). *Estrategias para mitigar la contaminación del aire en zonas aledañas a grandes avenidas de Bogotá*. Bogotá.

ANEXOS

ANEXO A: Glosario de términos

Aire

Es una mezcla gaseosa la cual conforma la atmosfera del planeta tierra, también es considerada un fluido. Aparte del vapor de agua que se encuentra en porciones distintas, el aire se encuentra formado por 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de argón y otros gases de los cuales una centésima se encuentra de CO₂ (dióxido de carbono). (Definicion.de, 2018).

Contaminante del aire

Se considera a las sustancias, materiales residuales los cuales son emitidos a la atmosfera, ya sea por procesos industriales ocasionados por el hombre o por procesos naturales, que afectan directamente a la salud de las personas y al medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2015).

Material particulado

Según Cuesta (2006) menciona que el material particulado puede ser de orígenes primarios o secundarios, encontrándose en dos estados como son húmedos o secos, y que pueden ser de origen natural como son las esporas de hongos, polen de las plantas y efectos de erosión de los suelos. Y también pueden ser ocasionados por acción del trabajo diario del hombre como son la fabricación de cemento, la minería, la producción de harinas, etc.

La importancia de como el material particulado empeora enfermedades como respiratoria y cardiaca que ya existan en la persona expuesta a este material particulado, causando daño a nivel pulmonar, asmática, cardiacas en estado crónico, en adultos mayores y niños. El material particulado que más afecta a la salud del hombre es aquella que componen la porción respirable las que se consideran a un diámetro menor de 10um (PM-10) y las que mayor afección tiene en el hombre son las que componen un diámetro menos de 2,5um (PM-2,5). (Sbarato, Sbarato, & Ortega, s.f.)

Material particulado fino (PM-2,5)

Es el material sólido o líquido, cuyas características presentan un diámetro menor a 2,5. Según Cuesta (2006) menciona que las partículas habitualmente ácidas, las que se encuentran constituidas por emisiones de vehículos, hollín y residuos industriales, corresponden a la porción de menor tamaño y que más daño ocasiona ya que el hombre respira en un 100% esta fracción, albergándose en bronquios, bronquiales y alveolos del sistema respiratorio.

Material particulado PM-10

Material líquido o sólido, conformado por partículas con un diámetro menor a 10 micras. Las porciones correspondientes a diámetros entre 2,5 y 10 micras. Según Cuesta (2006) menciona que constituyen a partículas de tamaño grueso y con un pH básico la cual es producida por la combustión.

Medición

La medición es cuantificar, comparar una unidad específica con otra, obteniendo una estimación numérica, estableciendo un valor objetivo. Al realizar la medición de las propiedades o cambios del aire ambiente se conoce como medición o cuantificación de la calidad del aire ambiente.

Muestreo

El muestreo es la elección de individuos de una determinada población. También se define como la cuantificación de la contaminación del aire ambiente por medio del muestreo. El muestreo de aire ambiente se realiza para la determinación principal de concentraciones de partículas que se encuentra suspendidas en fracciones como: totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM-10) y menores 2,5 como son (PM-2,5).

Métodos de mediciones de la calidad de aire

La medición de contaminantes atmosféricos se puede realizar mediante diversos métodos de acuerdo a su principio de medición.

Método automático

Es un método de alta resolución en cuanto a sus mediciones, admitiendo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. Los equipos de partículas son utilizados en la determinación de concentraciones de partículas suspendidas en aire ambiente como son PM-10 Y PM-2,5.

Métodos gravimétricos

El método gravimétrico es un método analítico en el que la determinación de las sustancias se realiza por una diferencia de pesos, obteniendo la masa pesando el filtro a temperatura y humedad controladas pre-muestreo y post-muestreo.

Verificación y validación de los datos

Para que los datos generados en una medición o una verificación, estos datos tienen que ser aprobados dentro de una base de datos, los datos deben ser comprobados para que sean filtrados y descartar datos erróneos. Esta etapa es importante ya que garantiza la fidelidad de los datos obtenidos. Unos factores que se consideran pueden ser: variación del cero y spam, resultados de calibración y ajustes a los parámetros de operación, historial de funcionamiento y mantenimiento de equipos, cambios en las condiciones ambientales y climáticas, niveles de contaminantes durante el mismo periodo de análisis.

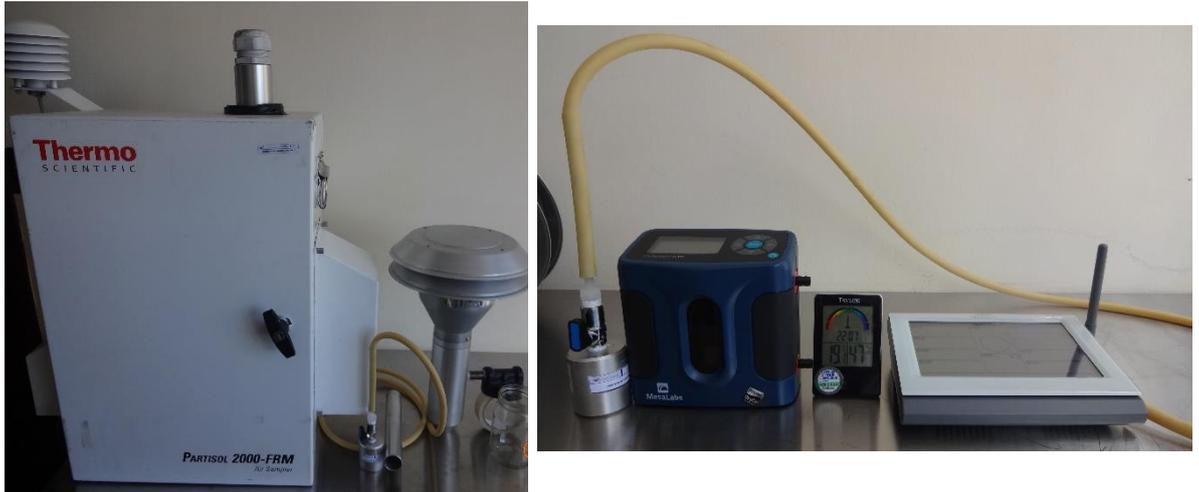
Una vez realizado la verificación de los datos, se realizará la validación de los mismo, con la aplicación de criterios de calidad de los datos obtenidos (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA, s.f.).

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)

La EPA se estableció el 2 de diciembre de 1970 para el fortalecimiento en una agencia una variedad de actividades federales de investigación, monitoreo, establecimiento de normas y cumplimiento para garantizar la protección del medio ambiente. Desde su inicio, la EPA ha estado trabajando para garantizar un medio ambiente limpio y saludable (EPA, 2018).

ANEXO B: Equipo e implementos necesarios para muestreo de aire ambiente

Equipo medidor de aire Partisol 2000 FRM y sus implementos para análisis



Calibración de flujo y Prueba de fugas a Partisol 2000 FRM



fotografías del Análisis en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato.



Tratamiento de filtros después del analisis en UTA-Huachi



ANEXO C: Promedios de condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado.

Promedios de condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado PM-2,5.

Periodo de datos	Hora	Flujo de aire (L/min)	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Presión mmHg	Velocidad del viento m/s	Dirección del viento	Nubosidades (Octavas)	Punto de rocío °C	
28 de noviembre del 2017	12:05 a 12:05	16,7	20,9	73	551	25,9	° Coord	8/8	10	
							143	NO		
30 de Noviembre del 2017	12:13 a 12:13	16,7	22,6	74	551	20	185	se	6/8	10
04 de diciembre del 2017	10:30 a 10:30	16,7	12,4	84	553	25,8	101	NO	1/8	10
06 de diciembre del 2017	11:04 a 11:04	16,6	16,3	74	552	20,7	151	NO	8/8	8
08 de diciembre del 2017	11:05 a 11:05	16,6	19,5	73	553	25,9	143	NO	7/8	10
13 de diciembre del 2017	11:04 a 11:04	16,7	19,3	64	552	24,5	167	NO	8/8	7
Promedio										
	11:00 a 11:00	16,7	18,5	73,7	552,0	23,8	148	NO	6/8	9

Promedios de condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado PM-10

Periodo de datos	Hora	Flujo de aire (L/min)	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Presión mmHg	Velocidad del viento m/s	Dirección del viento	Nubosidades (Octavas)	Punto de rocío °C	
29 de noviembre del 2017	12:05 a 12:05	16,7	20,9	73	551	25,9	°	8/8	10	
	Coord									
							143	NO		
01 de diciembre del 2017	12:25 a 12:25	16,7	17,1	79	551	1,6	123	8/8	11	
	NO									
05 de diciembre del 2017	11:04 a 11:04	16,7	15,4	72	553	21,2	121	1/8	7	
	NO									
07 de diciembre del 2017	11:00 a 11:00	16,7	19,2	69	552	23,7	197	8/8	8	
	SE									
12 de diciembre del 2017	10:25 a 10:25	16,7	19,4	61	553	17	192	1/8	4	
	SE									
14 de diciembre del 2017	11:21 a 11:21	16,7	19,4	68	552	28,2	136	6/8	8	
	NO									
Promedio										
	11:00 a 11:00	16,7	18,6	70,3	552,0	19,6	152	NO	5/8	8

ANEXO D: Resultado de concentración de material particulado PM-2,5 según la US-EPA y el ministerio del ambiente.

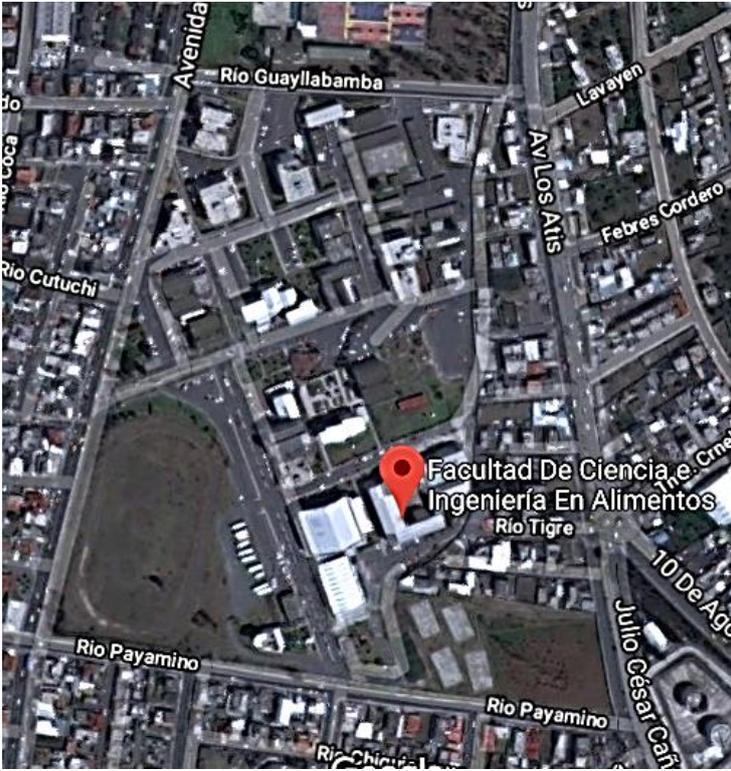
Periodo de datos	Matriz	Hora	Intervalo de medición (Horas)	Concentración de PM (Ug/m3)	Concentración de PM corregida (Ug/m3)
28 de noviembre del 2017	PM-2,5	12:00 a 12:00	24	8,86	11,79
30 de Noviembre del 2017	PM-2,5	12:13 a 12:13	24	14,00	19,15
04 de diciembre del 2017	PM-2,5	10:30 a 10:30	24	3,50	4,61
06 de diciembre del 2017	PM-2,5	11:04 a 11:04	24	18,01	24,07
08 de diciembre del 2017	PM-2,5	11:05 a 11:05	24	10,43	14,07
13 de diciembre del 2017	PM-2,5	11:04 a 11:04	24	19,99	27,00
PROMEDIOS DE ANÁLISIS					
				12,46	16,78

Resultado de concentración de material particulado PM-10 según la US-EPA y el ministerio del ambiente.

Periodo de datos	Matriz	Hora	Intervalo de medición (Horas)	Concentración de PM (Ug/m3)	Concentración de PM corregida (Ug/m3)
29 de noviembre del 2017	PM-10	12:05 a 12:05	24	24,32	33,09
01 de diciembre del 2017	PM-10	12:25 a 12:25	24	68,45	91,92
05 de diciembre del 2017	PM-10	11:04 a 11:04	24	117,47	156,25
07 de diciembre del 2017	PM-10	11:00 a 11:00	24	33,68	45,47

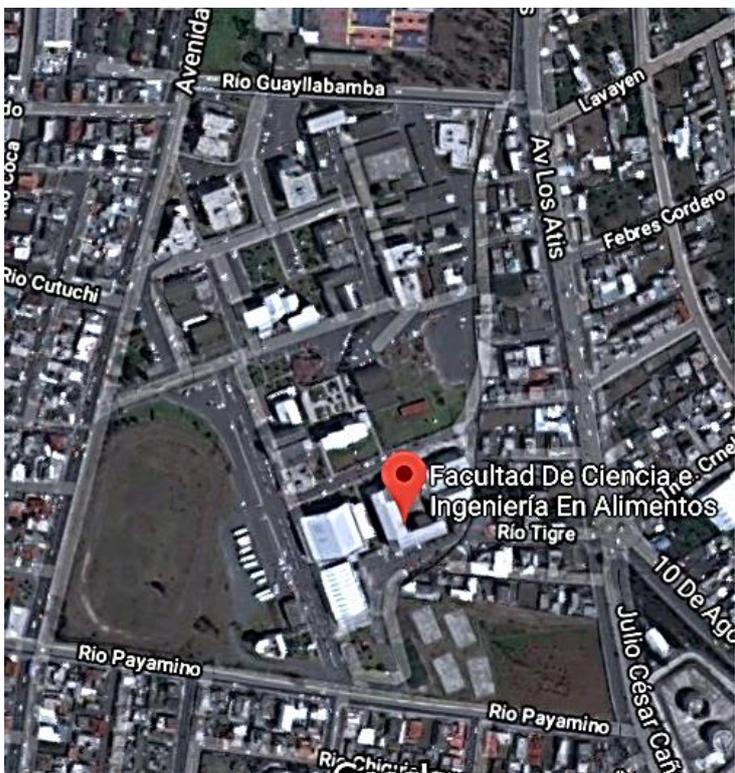
12 de diciembre del 2017	PM-10	10:25 a 10:25	24	15,48	20,87
14 de diciembre del 2017	PM-10	11:21 a 11:21	24	24,04	32,48
PROMEDIOS DE ANÁLISIS					
				47,24	63,35

ANEXO E: Informe de Monitoreo de calidad de aire PM-2,5

		INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE				Codigo:			
						Revisión		1	
						Página			
INFORME DE RESULTADOS DE CALIDAD DE AIRE ISO 17025									
Informe N°:		01		Orden de trabajo N°		01			
Nombre del cliente:		Universidad Técnica de Ambato							
Dirección:		Ambato							
Descripción:		Análisis de material particulado PM-10							
Fecha de realización del monitoreo:		28 y 30 de noviembre del 2017; 04, 06, 08 y 13 de diciembre del 2017							
Fecha de emisión:		05 de Marzo del 2018							
Tabla N°1 Identificación de fuentes de emisiones a la atmosfera									
Tipo de fuente		1: Fija	2: Móvil			Matriz	1: PM-10 2: PM-2,5		
Ubicación de la fuente		N: Norte	S: Sur	E: Este	O: Oeste				
Estado de la Fuente		1: Activa	2: Inactiva						
N°. De fuente	Tipo de fuente	Descripción de la fuente				Ubicación	Estado	Matriz	
1	2	Análisis de calidad de aire ambiente, matriz de material particulado				S	1	2	
Tabla N°2. Croquis de ubicación de puntos de monitoreo y fuentes									
									
SIMBOLOGÍA				Fuentes emisoras de material particulado					
				Puntos de monitoreo de calidad de aire ambiente					

Predios colindantes							
Norte	Rio Guayllabamba						
Sur	Rio Payamiño						
Este	Avenida los Atis						
Oeste	Avenida los Chasquis						
INFORME N°		01		ORDEN DE TRABAJO N°		01	
NOMBRE DEL CLIENTE		UTA			Fecha (s):		
Equipo utilizado		Partisol 2000 Air-sampler					
Fecha de calibración del equipo		27 de Noviembre del 2017					
Resultados obtenidos							
Condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado (PM)							
Puntos	Hora	Intervalo de medición	Flujo de aire (L/min)	Coordenadas	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Presión mmHg
1. FCIAL	11:00 a 11:00	1 de 24 Horas	16,7	Lat: -1.26 Lon: -78.62 Lat:S 1°16'10.474"	18,5	73,7	552,0
Condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado (PM)							
Puntos	Velocidad del viento m/s	Direccion del viento		Nubosidades (Octavas)	Punto de rocío °C	Observaciones	
1. FCIAL	23,8	°	Coord.	6/8	9	No aplica incertidumbre por condiciones ambientales.	
		148	NO				
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN PARA MATRIZ DE MATERIAL PARTICULADO (PM)							
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA		CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA (Ug/m3)				
	VALOR	UNIDAD					
Material particulado PM-2,5	12,46	Ug/m3	12,46				
COMPARACIÓN CON NORMATIVA O LEGISLACIÓN							
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (ug/m3)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ug/m3)	CRITERIOS DE RESULTADOS				
Material particulado PM-2,5	16,78	50 ug/m3/24H	Cumple con la normativa				
Análisis realizado por: Carlos Tituaña							
ENSAYO REALIZADO SEGÚN PROCEDIMIENTO 40 CFR APÉNDICE J DE LA PARTE 50, MÉTODO DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO COMO PM-2,5 EN LA ATMÓSFERA.							
Observaciones: El análisis de material particulado PM-2,5, realizado en la Universidad Técnica de Ambato según el cálculo de concentración de PM-2,5 mediante el método gravimetrico. La concentración promedio de PM-2,5 y PM-2,5 corregida cumplen con la normativa vigente según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).							

ANEXO F: Informe de Monitoreo de calidad de aire PM-10

		INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE				Codigo:		
						Revisión		1
						Página		
INFORME DE RESULTADOS DE CALIDAD DE AIRE ISO 17025								
Informe N°:		01	Orden de trabajo N°		01			
Nombre del cliente:		Universidad Técnica de Ambato						
Dirección:		Ambato						
Descripción:		Análisis de material particulado PM-10						
Fecha de realización del monitoreo:		29 de noviembre del 2017; 01, 05, 07, 12 y 14 de diciembre del 2017						
Fecha de emisión:		05 de Marzo del 2018						
Tabla N°1 Identificación de fuentes de emisiones a la atmosfera								
Tipo de fuente		1: Fija	2: Móvil			Matriz	1: PM-10 2: PM-2,5	
Ubicación de la fuente		N: Norte	S: Sur	E: Este	O: Oeste			
Estado de la Fuente		1: Activa	2: Inactiva					
N°. De fuente	Tipo de fuente	Descripción de la fuente				Ubicación	Estado	Matriz
1	2	Análisis de calidad de aire ambiente, matriz de material particulado				S	1	1
Tabla N°2. Croquis de ubicación de puntos de monitoreo y fuentes								
								
SIMBOLOGÍA			Fuentes emisoras de material particulado					
			Puntos de monitoreo de calidad de aire ambiente					

Predios colindantes							
Norte	Rio Guayllabamba						
Sur	Rio Payamiño						
Este	Avenida los Atis						
Oeste	Avenida los Chasquis						
INFORME N°		01		ORDEN DE TRABAJO N°		01	
NOMBRE DEL CLIENTE		UTA			Fecha (s):		
Equipo utilizado		Partisol 2000 Air-sampler					
Fecha de calibración del equipo		27 de Noviembre del 2017					
Resultados obtenidos							
Condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado (PM)							
Puntos	Hora	Intervalo de medición	Flujo de aire (L/min)	Coordenadas	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Presión mmHg
1. FCIAL	11:00 a 11:00	1 de 24 Horas	16,7	Lat: -1.26 Lon: -78.62 Lat:S 1°16'10.474"	18,6	70,3	552,0
Condiciones ambientales y parámetros de análisis para matriz de material particulado (PM)							
Puntos	Velocidad del viento m/s	Direccion del viento		Nubosidades (Octavas)	Punto de rocío °C	Observaciones	
1. FCIAL	19,6	°	Coord.	5/8	8	No aplica incertidumbre por condiciones ambientales.	
		152	NO				
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN PARA MATRIZ DE MATERIAL PARTICULADO (PM)							
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA		CONCENTRACIÓN NO CORREGIDA (Ug/m3)				
	VALOR	UNIDAD					
Material particulado PM-10	47,24	Ug/m3	47,24				
COMPARACIÓN CON NORMATIVA O LEGISLACIÓN							
PARÁMETROS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN CORREGIDA (ug/m3)	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ug/m3)	CRITERIOS DE RESULTADOS				
Material particulado PM-10	63,35	100 ug/m3/24H	Cumple con la normativa				
Análisis realizado por: Carlos Tituaña							
ENSAYO REALIZADO SEGÚN PROCEDIMIENTO 40 CFR APÉNDICE J DE LA PARTE 50, MÉTODO DE REFERENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO COMO PM10 EN LA ATMÓSFERA.							
Observaciones: El análisis de material particulado PM-10, realizado en la Universidad Técnica de Ambato según el cálculo de concentración de PM-10 mediante el método gravimétrico. La concentración promedio de PM-10 y PM-10 corregida cumplen con la normativa vigente según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).							