



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FRACCIÓN RESPIRABLE PM 2,5 DEL
CAMPUS SUR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieras Ambientales

AUTORES: CINTHYA JANETH ORTIZ GARCIA

LESLIE DAYANNA PASPUEL REASCOS

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito - Ecuador

2022

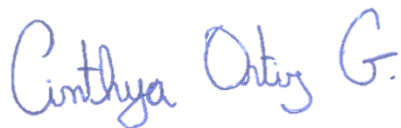
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotras, Cinthya Janeth Ortiz Garcia con documento de identificación N° 1721139176 y Leslie Dayanna Paspuel Reascos con documento de identificación N° 1724868052; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Cinthya Janeth Ortiz Garcia

1721139176



Leslie Dayanna Paspuel Reascos

1724868052

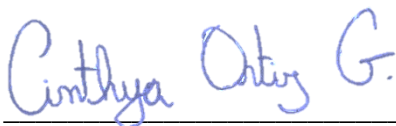
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, Cinthya Janeth Ortiz Garcia con documento de identificación No. 1721139176 y Leslie Dayanna Paspuel Reascos con documento de identificación No. 1724868052, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo Experimental: “Caracterización química de la fracción respirable pm 2,5 del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Cinthya Janeth Ortiz Garcia

1721139176



Leslie Dayanna Paspuel Reascos

1724868052

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Ulloa Vaca con documento de identificación N° 1716457971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FRACCIÓN RESPIRABLE PM 2,5 DEL CAMPUS SUR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, realizado por Cinthya Janeth Ortiz Garcia con documento de identificación N° 1721139176 y por Leslie Dayanna Paspuel Reascos con documento de identificación N° 1724868052, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Bioq. Carlos Andrés Ulloa Vaca M.Sc

1716457971

DEDICATORIA

En especial a mi madre, Sonia Garcia, que, con su amor, apoyo incondicional, sacrificio me dio la oportunidad para forjarme como persona y profesional, siendo el pilar fundamental e inspiración para seguir adelante en cada proceso de mi vida confiando en mí sin abandonarme en ningún momento.

A mis hermanos David y Willy los cuales más que hermanos han sido mis padres dándome su apoyo, cuidado y consejos a lo largo de toda mi vida, sin dejarme decaer en cada momento bueno o malo que se ha presentado. Madre y hermanos este logro va dedicado principalmente a ustedes, me siento feliz de poder tenerlos a mi lado para seguir adelante y que con cada una de mis acciones ustedes se sientan orgullosos.

A mis grandes amigos y ahora colegas Nathaly, Leslie y Alejandro que con su ayuda tanto académica como personal nos convertimos un apoyo mutuo para poder lograr esta y varias metas.

Cinthya Janeth Ortiz Garcia.

Quiero dedicar esta trabajo a mis padres, Lucía Reascos y Alberto Paspuel, que, con sus palabras acertadas, sus consejos, su infinita forma de amar, su gran corazón, quienes con su trabajo, sacrificio y apoyo me han encaminado por una vida llena de valores y me han ayudado a superarme tanto en el ámbito profesional como personal.

A mi hermano, Luis Paspuel, quién con su increíble simpatía, alegría, amor y apoyo me ayudó a llenarme de valor para seguir adelante, siempre llevando una sonrisa en todo momento y que con paciencia todo se logra.

A mi abuelita Lucrecia, que con sus oraciones y consejos sabios me enseñó a no rendirme a pesar de las adversidades y que todo es posible si se lo quiere.

Finalmente, a mis grandes amigos, Cinthya, Nathaly y Alejandro que con sus ocurrencias hicieron de la etapa universitaria la más maravillosa en la cual compartimos momentos gratos, siempre estarán en mi corazón.

Leslie Dayanna Paspuel Reascos.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a nuestro tutor de tesis, Bioquímico Carlos Ulloa, por brindarnos sus conocimientos y apoyarnos en cada etapa durante la elaboración de nuestro trabajo de titulación para lograr culminarlo con éxito.

Al Ing. Víctor Rueda que con su paciencia nos ayudó en todo este proceso sin dudar de nuestras capacidades para lograr finalizar esta etapa tan importante de nuestras vidas

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de los docentes que nos aportaron conocimientos esenciales a lo largo de nuestra etapa universitaria con la finalidad de forjarnos como profesionales.

De manera especial, agradecemos a nuestras familias y amigos por el apoyo incondicional y por brindarnos palabras de motivación para seguir adelante, tanto en nuestra vida diaria como académica.

Cinthy Ortiz y Leslie Paspuel

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Problema.....	1
1.2.	Delimitación.....	2
1.3.	Pregunta de investigación.....	2
1.4.	Objetivos.....	2
1.4.1.	Objetivo General.....	2
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	2
1.5.	Hipótesis.....	3
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.	Atmósfera.....	4
2.2.	Aire.....	4
2.3.	Fuentes de Contaminación.....	5
2.3.1.	Según su Agrupación:.....	5
2.3.1.1.	Fuentes Puntuales.....	5
2.3.1.2.	Fuentes Móviles.....	5
2.3.1.3.	Fuentes de Área.....	5
2.3.1.4.	Fuentes Naturales o Biogénicas.....	5
2.3.2.	Según su Origen:.....	5
2.3.2.1.	Contaminantes Primarios.....	5
2.3.2.2.	Contaminantes Secundarios.....	5
2.4.	Material Particulado (MP).....	5
2.5.	Fracción Respirable.....	6
2.5.1.1.	Partículas PM 10.....	6
2.5.1.2.	Partículas PM 2.5.....	6

2.6. Normativa Para Calidad de Aire en Ecuador	7
2.6.1. Normas Generales Para Concentraciones de Contaminantes Criterio en el Aire Ambiente.....	7
2.6.1.1. Partículas Sedimentables	7
2.6.1.2. Material Particulado Menor a 10 Micrones (PM10).	7
2.6.1.3. Material Particulado Menor a 2,5 Micrones (PM2, 5).	7
2.7. Normativa Nacional e Internacional de Calidad de Aire	8
2.8. Calidad de Aire en Quito	9
2.9. Contaminantes en el Aire	10
2.9.1. Metales Pesados.....	10
2.9.1.1. Cadmio.	10
2.9.1.2. Cobre.	11
2.9.1.3. Cromo.....	11
2.9.1.4. Cobalto.	11
2.9.1.5. Plomo.....	12
2.9.2. Iones.....	12
2.9.2.1. Sulfatos.....	12
2.10. Red Climatológica.....	13
2.11. Parámetros Meteorológicos.....	13
2.11.1. Temperatura	13
2.11.2. Radiación Solar	13
2.11.3. Velocidad del Viento	13
2.11.4. Dirección del Viento	13
2.11.5. Precipitación	14
2.12. Efectos del Material Particulado Sobre el Medio Ambiente.....	14
2.12.1. Deterioro en la Visibilidad.....	14
2.12.2. Daño Ambiental	14
2.12.3. Daño Sobre Materiales.....	15

2.13.	Efectos del Material Particulado Sobre la Salud	15
2.14.	Índice de Calidad de Aire (ICA)	16
2.15.	Muestreador de Alto Volumen (Hi-Vol) PM 2,5	17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	Equipos y Materiales.....	18
3.1.1.	Monitoreo y Pesaje	18
3.1.2.	Digestión de Muestra.....	19
3.1.3.	Filtración y Preparación de Muestra.....	20
3.1.4.	Espectrofotometría de Absorción Atómica	21
3.1.5.	Fotometría para Sulfatos.....	23
3.2.	Fase de Campo	24
3.2.1.	Puntos de Muestreo	24
3.3.	Fase de Laboratorio.....	25
3.3.1.	Metodología de Monitoreo y Pesaje	25
3.3.2.	Metodología Digestión de Muestra	26
3.3.3.	Metodología para Filtración y Preparación de Muestra	27
3.3.4.	Medición de Metales con EEA	28
3.3.4.1.	Secado.	28
3.3.4.2.	Calcinación.....	28
3.3.4.3.	Atomización.	28
3.3.4.4.	Barrido o Limpieza.....	28
3.3.4.5.	Concentraciones de Soluciones Madre.....	29
3.3.4.6.	Curvas de Calibración para el Análisis de Metales en el Equipo de EEA.....	31
3.3.5.	Medición de Sulfatos con Fotometría.....	35
3.4.	Fase Estadística.....	35
3.4.1.	Diseño Experimental	35
3.4.2.	Diseño Estadístico	36
3.4.2.1.	Análisis estadístico descriptivo.	36

3.4.2.2. Análisis estadístico correlacionar.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Primer Punto de Monitoreo (Bloque A)	38
4.1.1. Análisis Estadístico Primer Punto de Monitoreo (Bloque A).....	43
4.2. Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Segundo Punto de Monitoreo (Bloque G)	47
4.2.1. Análisis Estadístico Segundo Punto de Monitoreo (Bloque G)	51
4.3. Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Tercer Punto de Monitoreo (Bloque H)	56
4.3.1. Análisis Estadístico Tercer Punto de Monitoreo (Bloque H)	61
4.4. Resultado de Concentración de Iones Sulfato y Análisis Estadísticos en los Tres Puntos de Monitoreo (Bloque A, G y H)	64
4.5. Relaciones Entre Condiciones Meteorológicas con las Concentraciones de Iones y Metales de las 3 Zonas Monitoreadas	67
4.5.1. Concentración de Metales vs. Condiciones Meteorológicas	67
4.5.2. Concentración de Iones Sulfato vs. Condiciones Meteorológicas.....	69
4.6. Prueba de Hipótesis.....	70
4.7. Discusión.....	71
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. Conclusiones.....	75
5.2. Recomendaciones.....	75
6. BIBLIOGRAFIA	77
7. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles.....	8
Tabla 2. Equipos utilizados en la etapa de monitoreo y pesaje.	18
Tabla 3. Materiales utilizados en la etapa de monitoreo y pesaje.	18
Tabla 4. Equipos utilizados en la etapa de digestión de muestra.	19
Tabla 5. Reactivos utilizados en la etapa de digestión de muestra.....	19
Tabla 6. Materiales utilizados en la etapa de digestión de muestra.....	20
Tabla 7. Equipos utilizados en la etapa de filtración y preparación de muestra.	20
Tabla 8. Reactivo utilizado en la etapa de filtración y preparación de muestra.	21
Tabla 9. Materiales utilizados en la etapa de filtración y preparación de muestra.	21
Tabla 10. Equipo utilizado en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.	21
Tabla 11. Reactivo utilizado para análisis de metales en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.	22
Tabla 12. Estándares de metales utilizados para análisis en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.	22
Tabla 13. Materiales utilizados en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica	23
Tabla 14. Equipos utilizados para análisis de sulfatos por fotometría.	23
Tabla 15. Reactivo utilizado para análisis de sulfatos por fotometría.....	23
Tabla 16. Especificación de puntos de muestreo.....	24
Tabla 17. Relación del peso del filtro vs ácido nítrico.	27
Tabla 18. Métodos de medición de metales por EAA.....	28
Tabla 19. Concentraciones de estándar madre (ppb).....	31
Tabla 20. Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A).....	38
Tabla 21. Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A).....	41
Tabla 22. Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A).....	43

Tabla 23. Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G).....	47
Tabla 24. Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G).....	49
Tabla 25. Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G).....	51
Tabla 26. Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (tercer punto de monitoreo bloque H).....	56
Tabla 27. Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (Tercer punto de monitoreo Bloque H)	59
Tabla 28. Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (tercer punto de monitoreo bloque H).....	61
Tabla 29. Resultado de análisis de iones sulfato en PM 2.5 (tres puntos de muestreo bloque A, G y H)	64
Tabla 30. Variables estadísticas de concentración de iones sulfato en PM 2.5 (tres puntos de muestreo bloque A, G y H)	66
Tabla 31. Coeficientes de determinación R^2 (Pearson) en el primer punto de monitoreo bloque A.....	68
Tabla 32. Coeficientes de determinación R^2 (Pearson) en el segundo punto de monitoreo bloque G.....	68
Tabla 33. Coeficientes de determinación R^2 (Pearson) en el tercer punto de monitoreo bloque H.	69
Tabla 34. Coeficientes de determinación R^2 (Pearson) para iones sulfato en los tres puntos de muestreo.....	69
Tabla 35. Límites máximos permisibles con relación a las concentraciones calculadas de metales pesados y sulfatos.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diámetro de partículas PM2.5 y PM10.	6
Figura 2. Generadores y afectaciones de material particulado.....	16
Figura 3. Índice de Calidad de Aire PM 2.5.....	17
Figura 4. Mapa de ubicación de puntos de muestreo UPS.....	25
Figura 5. Peso de filtro en balanza analítica (antes del muestreo)	26
Figura 6. Aclimatación de filtro en el desecador	26
Figura 7. Peso de filtro en la balanza analítica (después del muestreo).....	26
Figura 8. Curva de calibración para cobre.	31
Figura 9. Curva de calibración para cromo.	32
Figura 10. Curva de calibración para cadmio.	33
Figura 11. Curva de calibración para cobalto.	34
Figura 12. Curva de calibración para plomo.	34
Figura 13. Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque A)	40
Figura 14. Diagrama de caja para cobre (primer punto de monitoreo bloque A)	43
Figura 15. Diagrama de caja para cromo (primer punto de monitoreo bloque A).....	44
Figura 16. Diagrama de caja para cadmio (primer punto de monitoreo bloque A) ...	44
Figura 17. Diagrama de caja para cobalto (primer punto de monitoreo bloque A) ...	45
Figura 18. Diagrama de caja para plomo (primer punto de monitoreo bloque A).....	45
Figura 19. Diagrama de pastel para metales (primer punto de monitoreo bloque A)	46
Figura 20. Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque G)	49
Figura 21. Diagrama de caja para cobre (segundo punto de monitoreo bloque G)....	52
Figura 22. Diagrama de caja para cromo (segundo punto de monitoreo bloque G) ..	53
Figura 23. Diagrama de caja para cadmio (segundo punto de monitoreo bloque G).	53
Figura 24. Diagrama de caja para cobalto (segundo punto de monitoreo bloque G).	54
Figura 25. Diagrama de caja para Plomo (Segundo punto de monitoreo Bloque G).	54
Figura 26. Diagrama de pastel para metales (segundo punto de monitoreo bloque G).....	55
Figura 27. Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque H)	58

Figura 28. Diagrama de caja para cobre (tercer punto de monitoreo bloque H).....	61
Figura 29. Diagrama de caja para cromo (tercer punto de monitoreo bloque H)	62
Figura 30. Diagrama de caja para cadmio (tercer punto de monitoreo bloque H)	62
Figura 31. Diagrama de caja para cobalto (tercer punto de monitoreo bloque H)	63
Figura 32. Diagrama de caja para plomo (tercer punto de monitoreo bloque H)	63
Figura 33. Diagrama de pastel para metales (tercer punto de monitoreo bloque H)..	64
Figura 34. Concentraciones de iones sulfato vs días de la semana	66
Figura 35. Diagrama de barras de cálculo medianas en iones sulfato.....	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación general de diluciones.	30
Ecuación 2. Cálculo de concentración de PM 2.5.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Disco giratorio portador de muestras del equipo EAA.	82
Anexo 2. Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica.	82
Anexo 3. Equipo muestreador de aire de Alto Volumen (Hi-Vol).	83
Anexo 4. Estufa.....	83
Anexo 5. Desecador con esferas de sílica gel.	84
Anexo 6. Balanza analítica.....	84
Anexo 7. Sorbona.....	85
Anexo 8. Microondas digestor.	85
Anexo 9. Recipientes de digestión.	86
Anexo 10. Equipo de filtración y bomba de vacío.....	86
Anexo 11. Almacenamiento de muestras en frascos ámbar.....	87
Anexo 12. Destilador de agua tipo 1.....	87
Anexo 13. Destilador de ácido.....	88
Anexo 14. Fotómetro multiparámetros.	88
Anexo 15. Ácido nítrico destilado.	89
Anexo 16. Ácido nítrico al 69%.....	89
Anexo 17. Reactivo sulfato.	90
Anexo 18. Estándar para Cobre.	90
Anexo 19. Estándar para Cromo.	91
Anexo 20. Estándar para Cobalto.....	91
Anexo 21. Estándar para Plomo.....	92
Anexo 22. Estándar para Cadmio.....	92
Anexo 23. Pipetas.....	93
Anexo 24. Vasos de precipitación.....	93
Anexo 25. Filtros de celulosa para PM 2.5.	94
Anexo 26. Lámparas para análisis de metales del equipo de EAA.....	94
Anexo 27. Metodología para la digestión de papel.....	95

RESUMEN

En la presente investigación, se realizó la caracterización química del material particulado PM 2.5 presente en tres puntos estratégicos de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, estos puntos fueron seleccionados debido a que son lugares con mayor afluencia vehicular y peatonal, ya que dos de ellos están ubicados en las principales avenidas, como lo son la Av. Morán Valverde y Av. Rumichaca Ñan, mientras que el tercer punto se ubica en el parqueadero al interior de la universidad, por lo cual se consideran que tienen mayor concentración de contaminantes en el aire, siendo una de las principales causas de afectaciones a la salud.

El muestreo se desarrolló con el equipo de Alto Volumen (Hi-Vol) para PM 2.5 en un periodo de seis semanas en cada punto designado cumpliéndose así un total de 80 muestras recolectadas. Tras obtener los datos de las diferencias entre los pesos de los filtros de fibra de vidrio antes y después del muestreo, junto a los datos de volumen de aire que proporciona el equipo se determina la concentración de material particulado PM 2.5.

Se obtuvo datos de concentraciones de metales pesados e iones sulfato mediante los análisis de estos. Los análisis fueron realizados tras la digestión de la muestra presente en el filtro de fibra de vidrio con ayuda del microondas digestor, para posteriormente cumplan con el proceso de determinación de concentraciones de cada uno de los metales (Cu, Cr, Cd, Co y Pb) mediante el método de horno de grafito en el espectrofotómetro de absorción atómica y la determinación de concentraciones de iones sulfatos en el equipo de fotometría multiparámetros.

Palabras clave: material particulado PM 2.5, metales pesados, iones sulfato, digestión de la muestra, espectrofotómetro de absorción atómica, fotometría multiparámetros.

ABSTRACT

In the present investigation, the chemical characterization of the particulate material PM 2.5 present in three strategic points of the South Campus Salesian Polytechnic University was carried out, these points were selected because they are places with greater vehicular and pedestrian influx, since two of them are located on the main avenues, such as Av. Morán Valverde and Av. Rumichaca Ñan , while the third point is located in the parking lot inside the university, for which they are considered to have a higher concentration of pollutants in the air being one of the main causes of health effects.

Sampling was carried out with the High Volume (Hi- Vol) equipment for PM 2.5 over a period of six weeks at each designated point, thus completing a total of 80 samples collected. After obtaining the data on the differences between the weight of the fiberglass filters before and after sampling, together with the air volume data provided by the equipment, the concentration of PM 2.5 particulate matter is determined.

Data on concentrations of heavy metals and sulfate ions were obtained by analyzing them. The analyzes were carried out after the digestion of the sample present in the fiberglass filter with the help of the microwave digester, to later comply with the process of determining the concentrations of each of the metals (Cu, Cr, Cd, Co and Pb) using the graphite furnace method in the atomic absorption spectrophotometer and the determination of sulfate ion concentrations in the multiparameter photometry equipment.

Keywords: PM 2.5 particulate matter, heavy metals, sulfate ions, sample digestion, atomic absorption spectrophotometer, multiparameter photometry.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

°C: Grados Celsius	GEI: Gases efecto invernadero
ACF: Pies cúbicos actuales	GPS: Sistema de posicionamiento global
Av: Avenida	H₂O: Agua destilada
bar: Báros	Hi-Vol: High Volume (Alto Volumen)
Cd: Cadmio	HNO₃C: Ácido nítrico concentrado
CFM: Caudal cubico por minuto	ICA: Índice de calidad de aire
CH₄: Metano	IDEAM: Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales
cm: Centímetros	m³: Metros cúbicos
Co: Cobalto	mg: Miligramo
CO: Monóxido de carbono	ml: Mililitro
CO₂: Dióxido de carbono	MSNM: Metros sobre el Nivel del Mar
Cr: Cromo	N₂: Nitrógeno
Cu: Cobre	No: Número de observaciones
EAA: Espectrofotometría de absorción atómica	NO_x: Óxidos de nitrógeno
EPA: Agencia de protección ambiental de Estados Unidos	O₂: Oxígeno

O₃: Ozono

SO₂: Dióxidos de azufre

ONU: Organización de Naciones Unidas

µg: Micrómetros

OMS: Organización mundial de la salud

µl: Microlitro

Pb: Plomo

UNICEF: Fondo de naciones unidas

PM: Material Particulado

para la infancia

ppb: Partes por billón

UTM: Universal transverse mercator

ppm: Partes por millón

CFC: Clorofluorocarbonos

REMMAQ: Red metropolitana de
monitoreo atmosférico

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

El sector de Chillogallo es considerado una de las zonas con el índice más alto de material particulado ya que a sus alrededores existe una gran afluencia de vehículos que emiten gases afectando a la atmosfera. Además, se suma la construcción de una de las paradas del Metro de Quito, lo cual también pudo aportar a la presencia de PM2.5 alterando tanto la calidad de aire como la salud humana.

Basándonos en los datos emitidos por la red metropolitana de monitoreo atmosférico (REMMAQ) se evidencia que la concentración y dispersión de gases nocivos son muy perjudiciales para la salud, es por eso por lo que el Municipio de Quito implementó la restricción de tránsito vehicular y plan de gestión ambiental dirigido a las actividades industriales.

Debido a la Pandemia se ha evidenciado que un alto porcentaje de contaminantes especialmente el PM 2.5 proviene de la combustión de los derivados de petróleo tales como diésel y gasolina.

Según estadísticas de la ONU, millones de personas mueren a causa de la emisión de gases nocivos y la concentración de material particulado, estas enfermedades son causantes de problemas cardiacos, respiratorios e incluso pueden llegar a enfermedades cancerígenas. (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2021)

1.2.Delimitación

El presente trabajo de investigación se lo realizó en la entrada principal de bloque A (Av. Rumichacañan) a una altitud de 2901 MSNM, la entrada del Bloque G (Av. Moran Valverde) a una altitud de 2895 MSNM y el parqueadero ubicado en el bloque H a una altitud de 2926 MSNM en la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, durante el mes de diciembre 2021 al mes de abril 2022, cumpliéndose un total de 80 filtros recolectados.

1.3.Pregunta de investigación

¿Existe presencia de metales pesados e iones sulfatos en el aire de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur?

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Caracterizar mediante técnicas analíticas la fracción respirable de PM 2,5 obtenidos en monitoreo ambiental con equipo de alto volumen.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de Co, Cr, Cu, Cd y Pb en la fracción respirable de PM 2,5
- Determinar la concentración de iones sulfato en la fracción respirable de PM 2,5
- Establecer posibles relaciones entre condiciones meteorológicas (temperatura, nivel de radiación solar, velocidad y dirección del viento) de las 3 zonas monitoreadas, con las concentraciones de iones y metales investigadas.

1.5.Hipótesis

Ho: Las concentraciones de metales Cu, Cr, Cd, Co, Pb y sulfatos en los filtros de PM2,5 obtenidos durante el periodo de diciembre 2021 a abril 2022 no superan los valores de la norma de calidad de aire ambiente.

Ha: Las concentraciones de metales Cu, Cr, Cd, Co, Pb y sulfatos en los filtros de PM2,5 obtenidos durante el periodo de diciembre 2021 a abril 2022 superan los valores de la norma de calidad de aire ambiente.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Atmósfera

Se define como atmósfera a la capa gaseosa que rodea al planeta Tierra y cualquier alteración en dicha capa tiene repercusión directa en los seres vivos. Está conformada por el 78% de nitrógeno (N_2) y el 21% de oxígeno (O_2) aproximadamente. El 1% restante se compone principalmente por gases de efecto invernadero (GEI), vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3), además de partículas volcánicas, polvos y humos.

Posee una estrecha relación con el control de temperatura terrestre, ya que en ausencia de ella se alcanzaría más de $75^{\circ}C$ durante el día y más de $130^{\circ}C$ bajo cero en la noche. (Contreras et al., 2013)

2.2. Aire

Desempeña funciones de protección ante la radiación solar y otros elementos foráneos como los meteoritos. Proporciona elementos de suma importancia, tal es el caso del oxígeno indispensable para poder respirar. Permite que se genere el ciclo hidrológico, ya que tiene vapor de agua, el cual es causante de precipitaciones a través de la condensación y la creación de nubes.

Los componentes principales del aire están constituidos por 20,94 % de oxígeno, 78,08 % de nitrógeno, 0,93% de argón, 0,035% de dióxido de carbono y 0,40 % de vapor de agua. (Ondarse Álvarez, 2021)

2.3.Fuentes de Contaminación

2.3.1. Según su Agrupación:

2.3.1.1. Fuentes Puntuales. Se consideran estacionarias o de punto fijo (plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas).

2.3.1.2. Fuentes Móviles. Corresponde al transporte y los vehículos automotores.

2.3.1.3. Fuentes de Área. Acciones que conjuntamente tienen significativas consecuencias en cuanto a la calidad del aire, (industrias madereras, industria textil y curtiembre, actividades de agricultura).

2.3.1.4. Fuentes Naturales o Biogénicas. Son generadas a partir de necesidades biológicas tanto de reino animal como vegetal. Además de emisiones volcánicas y erosión del suelo.

2.3.2. Según su Origen:

2.3.2.1. Contaminantes Primarios. Proviene de puntos de origen de emisión como el plomo (Pb), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (C_nH_{2n+2}) y material particulado (PM).

2.3.2.2. Contaminantes Secundarios. Tienen origen ya sea por interacción entre dos o más contaminantes primarios en el aire o por reaccionar con otros componentes presentes en la atmósfera (sulfatos). (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

2.4.Material Particulado (MP)

Son partículas en estado sólido o líquido que se concentran en el aire, (hollín de diésel, polvo procedente del ámbito agrícola y partículas provenientes de industria. Según la normatividad

colombiana, el MP no sedimenta en períodos cortos, sino que permanece suspendido en el aire debido a su tamaño y densidad. (Arciniéguas Suárez, 2011)

2.5.Fracción Respirable

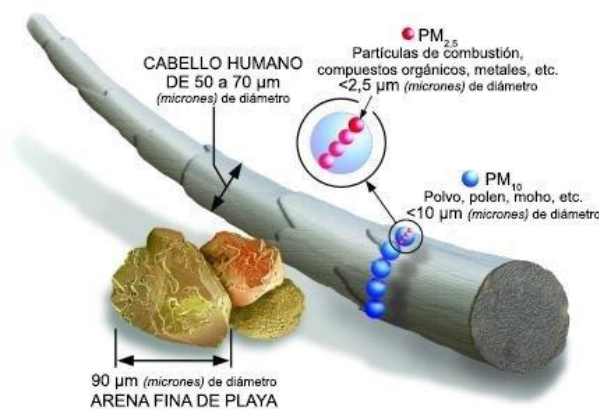
2.5.1. Según su Diámetro:

2.5.1.1. Partículas PM 10. (Diámetro aerodinámico $<10 \mu\text{m}$) partículas en estado sólido o líquido presentes en la atmósfera.

2.5.1.2. Partículas PM 2.5. Catalogadas como partículas finas debido a su diámetro aerodinámico $<2.5 \mu\text{m}$, se consolidan en un conjunto de partículas ácidas, portadoras de hollín y derivados de las emisiones vehiculares e industriales, debido a que son respirables son el principal causante de afectaciones a la salud. (Quijano et al., 2015)

Figura 1.

Diámetro de partículas PM2.5 y PM10.



Nota. La figura compara el diámetro de las partículas con el grosor del cabello y un grano de arena. Fuente: (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2021)

2.6. Normativa Para Calidad de Aire en Ecuador

2.6.1. Normas Generales Para Concentraciones de Contaminantes Criterio en el Aire

Ambiente

2.6.1.1. Partículas Sedimentables. La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm² x 30 d).

2.6.1.2. Material Particulado Menor a 10 Micrones (PM10). El promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/m³). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM10 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a (100 µg/m³).

2.6.1.3. Material Particulado Menor a 2,5 Micrones (PM2,5). El promedio aritmético de la concentración de PM2,5 de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 µg/m³). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³). Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM2.5 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a (50 µg/m³). (Secretaria del Ambiente, 2011)

2.7. Normativa Nacional e Internacional de Calidad de Aire

2.7.1. Límites Máximos Permisibles

Tabla 1.

Límites máximos permisibles

Contaminante	Límite máximo permisible $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Límite máximo permisible ppm	Tiempo de exposición	Fuente
Cu	10	0.0038	Diario	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo-España. (Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo, 2019)
Cr	Está catalogado como contaminante peligroso	---	No disponible	Agencia de protección ambiental. (Agency for toxic substances and disease registry, 2008)
Cd	2	0.0004	Diario	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo-España. (Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo, 2019)

Contaminante	Límite máximo permisible $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Límite máximo permisible ppm	Tiempo de exposición	Fuente
Co	20	0.008	Diario	Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo -España. (Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo, 2019)
Pb	1.5	0.0002	Diario	USEPA. (Machado et al., 2008)
Sulfatos	187.5	---	Diario	Norma Ecuatoriana de calidad del aire. (Ministerio del ambiente, 2011)

Nota. La presente tabla especifica los límites máximos permisibles nacionales e internacionales de los contaminantes presentes en el aire. Elaborado por: Autoras.

2.8. Calidad de Aire en Quito

Se considera al tráfico vehicular y a las emisiones de industrias como la fuente primordial de contaminación en la ciudad de Quito. Los buses y otros automotores que funcionan a base de combustibles en especial de diésel a menudo son los que más contribuyen a la contaminación del aire, debido a que este combustible es considerado de baja calidad por lo cual genera mayor cantidad de metales pesados. (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia – UNICEF Ecuador, 2019)

El material particulado en su gran mayoría proviene del polvo natural y la resuspensión del suelo, además las acciones antrópicas que incluyen canteras, construcción, generación de energía, incendios forestales, juegan un papel importante en la contaminación del aire.

El Índice de la Calidad del Aire de Quito en el año 2019, dio a conocer niveles aceptables de calidad del aire, pero no niveles que se considerarían óptimos. Durante 11 semanas, se evidenció que los niveles de calidad del aire llegarían a afectar la salud de personas con enfermedades previas. (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia – UNICEF Ecuador, 2019)

Los niveles de material particulado en la ciudad de Quito tienden a ir en aumento a causa de incendios y festividades de Año Nuevo. (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia – UNICEF Ecuador, 2019)

2.9. Contaminantes en el Aire

2.9.1. Metales Pesados

La contaminación ambiental por metales existe de forma natural la cual es producida debido a actividades volcánicas, erosión del suelo, emisiones de depósitos profundos y superficiales, mientras que la quema de combustibles, emisiones de industrias, producción agrícola y creación de canteras corresponde a la contaminación antrópica.

2.9.1.1. Cadmio. Se encuentra mezclado con otros componentes como el oxígeno. Son materia prima para la elaboración de baterías y plásticos, asimismo existe presencia de dicho metal en el humo de cigarro. Este metal en grandes concentraciones afecta directamente al sistema respiratorio, especialmente dañando órganos como los pulmones. Este puede llegar a acumularse

en los riñones al tener exposición constante en bajas concentraciones, incluso puede llegar a producir enfermedades graves como cáncer. (Secretaría de Ambiente, 2015)

2.9.1.2. Cobre. Existen dos fuentes contaminantes por cobre, como son actividades humanas y procesos naturales.

Las fuentes naturales que pueden emitir cobre al ambiente son:

- Tormentas de polvo.
- Descomposición de la vegetación.
- Incendios forestales

Los principales sectores de contaminación a nivel industrial son:

- Industria minera y metalúrgica.
- Fabricación de productos a base de madera.
- Fertilizantes en la industria agrícola.

El cobre está presente en fungicidas e insecticidas, así como en pigmentos de pinturas y colorantes. (Ministerio para la Transición Ecológica, 2007)

2.9.1.3. Cromo. Se relaciona en su mayoría a las emisiones con altas temperaturas en actividades antrópicas y biogénica. El cromo puede ser común en las emisiones de vehículos debido a la combustión. Se registra que los aceites presentes en el motor son generadores de cromo. (Machado et al., 2008)

2.9.1.4. Cobalto. Se localiza en rocas, suelo, agua, plantas y animales. Este metal se usa para producir fusiones en la fabricación de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar

y cortar y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera. Los compuestos de cobalto se usan también pintar vidrio, cerámicas y pinturas y como secador de esmaltes y pinturas para porcelana. El Cobalto es usado para la esterilización de equipos médicos e instrumentos de consumo, en pacientes con cáncer usando radioterapia, fabricación de plásticos. El cobalto compone el ambiente desde fuentes naturales y al ser quemado el carbón o petróleo. El cobalto en el aire se encuentra asociado con partículas que son depositadas en el suelo. Estos pueden cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas. (Servicio de salud pública agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 2004)

2.9.1.5. Plomo. Está presente en la atmósfera, aguas naturales y suelos, descarga de agua residual de origen industrial, residuos de minería, pinturas, partículas emitidas por automóviles, uso de carbón mineral y cigarrillos.

Reacciona con ácido nítrico y a temperatura ambiente con ácido sulfúrico y clorhídrico. (Campos, 2020)

Los automóviles cuyo funcionamiento es a base de combustible, la gasolina con plomo son los mayores generadores de este metal al ambiente. Para aumentar el octanaje del combustible se agrega tetraetilo de plomo a la gasolina, lo cual aumenta las propiedades de este en los motores.

2.9.2. Iones

2.9.2.1. Sulfatos. Los sulfatos son derivados del combustible diésel y en menor cantidad de aceites lubricantes. Los sulfatos se forman debido a que se produce una oxidación del dióxido de azufre (SO₂) emitido por los procesos de combustión. (Quijano et al., 2010)

2.10. Red Climatológica

Está compuesta por estaciones climatológicas en las cuales se mide, la precipitación, variables meteorológicas como la temperatura, humedad del aire, el brillo solar, el viento (dirección, recorrido y velocidad y la evaporación, las cuales ayudan para realizar el seguimiento y estudio del clima. En las estaciones climatológicas se toman datos tres veces al día o se registran de manera continua (IDEAM). (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales –IDEAM, 2019)

2.11. Parámetros Meteorológicos

2.11.1. Temperatura

Magnitud física que determina el movimiento aleatorio media de las moléculas en un cuerpo físico.(Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales –IDEAM, 2019)

2.11.2. Radiación Solar

Energía emitida por el Sol, propagándose en todas las direcciones en el espacio por ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. (IDEAM - Instituto de Hidrología, n.d.)

2.11.3. Velocidad del Viento

Depende de la distancia que recorre por medio del aire y el tiempo que demora en ser recorrido. La "velocidad instantánea" o "velocidad", es un intervalo de tiempo muy pequeño. La "velocidad media" es un intervalo de tiempo que tiene fin.

2.11.4. Dirección del Viento

Dirección en la cual el viento sopla.

2.11.5. Precipitación

La precipitación es la caída de partículas de agua líquida o sólida procedentes de una nube, estas cruzan la atmosfera y llegan al suelo. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un determinado tiempo. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo diamante, granizo y gránulos de hielo. (Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales –IDEAM, 2019)

2.12. Efectos del Material Particulado Sobre el Medio Ambiente

2.12.1. Deterioro en la Visibilidad

El material particulado 2.5 afecta a la visibilidad creando bruma en la mayoría del ambiente, entre ellos los parques nacionales y áreas silvestres.

2.12.2. Daño Ambiental

El viento transporta las partículas en largas distancias y luego, para después ser depositadas en el suelo o agua. La sedimentación de estas partículas afecta el medio ambiente de las siguientes formas:

- Lagos y arroyos se vuelven ácidos
- Se reducen de los nutrientes del suelo
- Daño de bosques y cultivos agrícolas
- Perjudica a la diversidad de ecosistemas
- Provoca lluvia ácida.

2.12.3. Daño Sobre Materiales

El material particulado mancha y deteriora la piedra y otros materiales, estatuas y monumentos. Algunos de estos efectos son generados debido a la caída de lluvia ácida. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2004)

2.13. Efectos del Material Particulado Sobre la Salud

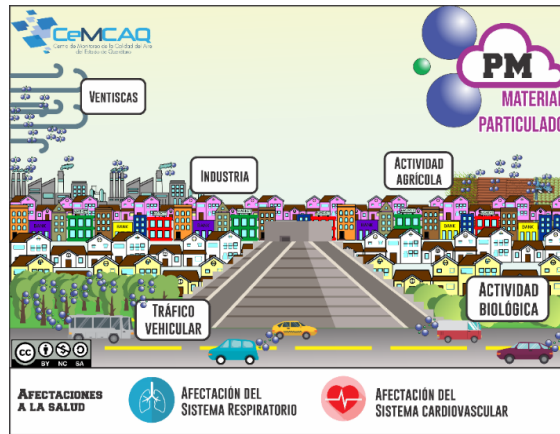
El tamaño de las partículas está vinculados directamente a causar problemas a la salud. Las partículas menores a 10 micrómetros de diámetro generan mayores problemas, debido a que pueden llegar los pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el sistema circulatorio. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2004)

Al exponerse a estas partículas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón. Varios estudios científicos vincularon la exposición a la contaminación por partículas deriva a varios problemas como:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- Asma agravada
- Reducción de función pulmonar
- Irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar. (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2004)

Figura 2.

Generadores y afectaciones de material particulado



Nota. La figura representa los generadores naturales y antrópicos de material particulado al ambiente y afectaciones a la salud. Fuente:(CeMCAQ, n.d.)

2.14. Índice de Calidad de Aire (ICA)

Destacando la relación entre la cantidad de contaminantes que se producen en Ecuador y los focos de origen donde son generados, el Índice de Calidad de Aire se calcula específicamente para el tipo de contaminante a evaluar, mismos que pueden ser PM10, PM2,5, SO2, NO2, O3 y CO.

Cada dato del Índice de Calidad de Aire es clasificado según el riesgo que puede representar en la salud, se divide en 6 rangos de distinto color dependiendo de su peligro de acuerdo con una escala de 0 a 500. (Instituto de Hidrología, 2012).

Figura 3.

Índice de Calidad de Aire PM 2.5

U.S. EPA PM_{2.5} AQI

AQI Category	AQI Value	24-hr Average PM _{2.5} Concentration (µg/m ³)
Good	0 - 50	0 - 15.4
Moderate	51 - 100	15.5 - 40.4
USG	101 - 150	40.5 - 65.4
Unhealthy	151 - 200	65.5 - 150.4
Very Unhealthy	201 - 300	150.5 - 250.4
Hazardous	301 - 500	250.5 - 500.4

Nota. La figura indica los seis rangos según su color representando el riesgo de afectación para la salud humana.

Fuente: (Agencia de protección ambiental (EPA), 2012)

2.15. Muestreador de Alto Volumen (Hi-Vol) PM 2,5

Recolecta partículas con diámetro de 2.5 µm o menos. Cumple la función de recoger partículas a un caudal entre 36-60 CFM (caudal cúbico por minuto) por medio de boquillas selectivas. Conforme las partículas atraviesan la entrada selectiva, las partículas de mayor diámetro son retenidas en una malla al interior de la entrada, mientras que las partículas de diámetro 2.5 µm o menos continúan con su trayecto por la entrada PM2.5 y se depositan en el papel de filtro de fibra de vidrio. (TISCH Enviromental, 2019)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Equipos y Materiales

En la presente investigación se utilizó el equipo muestreador de alto volumen (Hi-Vol) para PM 2.5, el cual se encarga de recolectar en un filtro material particulado que mide 2.5 micras o menos.

3.1.1. Monitoreo y Pesaje

Tabla 2.

Equipos utilizados en la etapa de monitoreo y pesaje.

Equipos	Marca	Modelo
Muestreador para $PM_{2.5}$	HI-Q	$PM_{2.5} - 5300 AFC$
Balanza	METTLER TOLEDO	NewClassic ML
GPS	MAGELLAN	<i>TritonTM500</i>
Desecador	PYREX	-
Estufa	Memmert	Unb 400

Nota. Descripción de los equipos utilizados para el monitoreo de PM 2.5 y pesaje de filtros. Elaborado por: Autoras.

Tabla 3.

Materiales utilizados en la etapa de monitoreo y pesaje.

Materiales	Cantidad	Medida	Unidad
Filtros PM 2.5	80	24.8 x 22	<i>cm</i>
Vaso de precipitación	1	100	<i>ml</i>
Silica gel	-	-	-

Nota. Se detalla la cantidad, medida y unidad en la cual fueron utilizados los materiales para realizar el monitoreo y pesaje. Elaborado por: Autoras.

3.1.2. Digestión de Muestra

Tabla 4.

Equipos utilizados en la etapa de digestión de muestra.

Equipos	Marca	Modelo
Microondas digestor	BERGHOF	Speedwave two
Sorbona	ESCO	EFB-4A4
Balanza	METTLER TOLEDO	NewClassic ML
Destilador de ácidos	BERGHOF	BSB-939-IR

Nota. La tabla 4 presenta los equipos manipulados para la digestión de filtros con PM 2.5. Elaborado por: Autoras.

Tabla 5.

Reactivos utilizados en la etapa de digestión de muestra.

Reactivo	Fórmula
Ácido nítrico concentrado (destilado)	HNO_3
Agua destilada tipo 1	H_2O

Nota. Descripción de los reactivos empleados para lograr la digestión de los filtros. Elaborado por: Autoras.

Tabla 6.*Materiales utilizados en la etapa de digestión de muestra.*

Materiales	Cantidad	Medida	Unidad
Filtros PM 2.5	82	24.8 x 22	<i>cm</i>
Recipiente de digestión	10	40	<i>bar</i>
Pipetas	2	10	<i>ml</i>
Barras de agitación	2	30	<i>cm</i>

Nota. Se enlista los materiales utilizados en la digestión de los filtros de PM 2.5. Elaborado por: Autoras.

3.1.3. Filtración y Preparación de Muestra

Tabla 7.*Equipos utilizados en la etapa de filtración y preparación de muestra.*

Equipos	Marca	Modelo
Bomba de vacío	BOECO	R-300
Equipo de filtración	JINTENG	-
Destilador de agua tipo 1	MILLIPORE	Direct-Q3
Sorbona	ESCO	EFB-4A4

Nota. Se muestran la marca y modelos de los equipos utilizados para filtrar y preparar la muestra. Elaborado por: Autoras

Tabla 8.*Reactivo utilizado en la etapa de filtración y preparación de muestra.*

Reactivo	Fórmula
Agua destilada tipo 1	H_2O

Nota. Descripción de los reactivos empleados para efectuar el proceso de filtración y preparación de los filtros PM 2.5. Elaborado por: Autoras.

Tabla 9.*Materiales utilizados en la etapa de filtración y preparación de muestra.*

Materiales	Cantidad	Volumen	Unidad
Balón aforado	10	50	<i>ml</i>
Frascos ámbar	72	60	<i>ml</i>
Embudo	2	60	<i>grados</i>
Barras de agitación	2	30	<i>cm</i>
Pizeta	1	200	<i>ml</i>

Nota. Se detalla la cantidad, volumen y unidad en las cuales fueron utilizados los materiales para realizar el proceso de filtración y preparación de la muestra. Elaborado por: Autoras.

3.1.4. Espectrofotometría de Absorción Atómica

Tabla 10.*Equipo utilizado en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.*

Equipos	Marca	Modelo
Espectrofotómetro de absorción atómica	GBC	Enduro T2100

Nota. Se detalla la marca y modelo del equipo empleado en el análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Elaborado por: Autoras.

Tabla 11.

Reactivo utilizado para análisis de metales en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.

Reactivo	Fórmula
Agua destilada tipo 1	H_2O

Nota. Se enlista los reactivos empleados para efectuar el análisis de metales en el equipo de EAA. Elaborado por: Autoras.

Tabla 12.

Estándares de metales utilizados para análisis en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.

Estándar	Símbolo químico
Cadmio	Cd
Cobre	Cu
Cromo	Cr
Cobalto	Co
Plomo	Pb

Nota. Se da a conocer los metales junto a los símbolos químicos correspondientes a cada uno de ellos, mismos que se analizaron mediante el equipo de espectrofotometría de absorción atómica. Elaborado por: Autoras.

Tabla 13.

Materiales utilizados en la etapa de espectrofotometría de absorción atómica.

Materiales	Cantidad	Volumen	Unidad
Pipetas	6	5 y 10	ml
Propipetas	4	5 y 10	ml
Micropipetas	3	0 – 10 μ l y 0 – 5 ml	ml
Pizeta	1	200	ml

Nota. Se detalla la cantidad, volumen y unidad en las cuales fueron utilizados los materiales para el análisis de metales por el equipo de espectrofotometría de absorción por el método de horno de grafito. Elaborado por: Autoras.

3.1.5. Fotometría para Sulfatos

Tabla 14.

Equipos utilizados para análisis de sulfatos por fotometría.

Equipos	Marca	Modelo
Fotómetro multiparámetros	HANNA	HI83399
Destilador de agua	MILLIPORE	Direct-Q3

Nota. Descripción de los equipos utilizados para la determinación de iones sulfato presentes en los filtros de PM 2.5 por el método de fotometría. Elaborado por: Autoras.

Tabla 15.

Reactivo utilizado para análisis de sulfatos por fotometría.

Reactivo	Fórmula
Sulfato	HI937751 – 01

Nota. Se detalla el reactivo empleado para efectuar el análisis de iones sulfatos presentes en los filtros de PM 2.5.
Elaborado por: Autoras.

3.2.Fase de Campo

3.2.1. Puntos de Muestreo

Se realizaron muestreos entre el 07 de diciembre del 2021 hasta el 14 de abril del 2022. Se instalaron 3 puntos de monitoreo, 2 de ellos situados en ambientes con presencia de contaminación vehicular constante y 1 en un ambiente con poco tránsito vehicular.

Tabla 16.

Especificación de puntos de muestreo.

Puntos de monitoreo	Ubicación	Coordenadas (Geográficas)	Altimetría (m.s.n.m)
P1_PM2.5_Bloque_A	Av. Rumichaca	0° 16'56''S	2901
	Ñan	78°32'58''O	
P2_PM2.5_Bloque_G	Av. Morán	0° 16'51''S	2895
	Valverde	78°32'58''O	
	parqueadero situado entre el		
P3_PM2.5_Bloque_H	Bloque B y	0° 16'57''S	2926
	bloque de	78°33'04''O	
	automotriz		

Nota. Se detallan los puntos en donde se realizó el muestreo en la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, especificando la ubicación exacta, coordenadas geográficas en UTM y altimetría para cada uno de los bloques.
Elaborado por: Autoras.

Mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGis se procedió a ubicar los tres puntos descritos anteriormente dentro de la Universidad Politécnica Salesiana.

Figura 4.

Mapa de ubicación de puntos de muestreo UPS



Nota. En la figura se establece mediante el Sistema de Información Geográfica (ArcGis) los 3 puntos en los cuales se realizó el muestreo de PM 2.5. Elaborado por: Autoras.

3.3. Fase de Laboratorio

3.3.1. Metodología de Monitoreo y Pesaje

En referencia a la revista de Ciencias Ambientales “Tropical Journal of Environmental Sciences” se colocaron los filtros en un desecador a condiciones normales durante 24 horas para acondicionarlos, pesando los mismos antes del acondicionamiento. A continuación, se pesa el filtro de fibra de vidrio con anterioridad al muestreo y después del muestreo, para establecer la masa de partículas, por medio de la balanza analítica. (Herrera et al., 2014)

Figura 5.

Peso de filtro en balanza analítica (antes del desecador del muestreo)



Figura 6.

Aclimatación de filtro en



Figura 7.

Peso de filtro en la balanza analítica (después del muestreo)



Nota. las Figuras 7,8 y 9 representan el proceso de aclimatación y pesaje de los filtros antes y después de realizado el muestreo. Elaborado por: Autoras.

3.3.2. Metodología Digestión de Muestra

Para la digestión de las muestras recolectadas se procede a cortar las orillas y una cuarta parte del filtro de fibra de vidrio para ser pesados en la balanza analítica.

Tomando como referencia el “Informe de aplicación digestión por presión de microondas” se colocó la cuarta parte de papel recortado en pedazos pequeños dentro de los recipientes de digestión añadiendo ácido nítrico concentrado.

Tomando en cuenta las especificaciones del Informe de aplicación (Anexo 2): “Pese 500 mg de la muestra en el recipiente de digestión y agregue 10 ml de ácido nítrico y agite la mezcla con

cuidado o revuelva con una barra de vidrio o teflón limpia. Espere al menos 10 minutos antes de que se cierre el recipiente. Calentar en el horno microondas con el siguiente programa” (Berghof Products, n.d.)

Por cada mg de muestra en el recipiente de digestión se realizó una relación la cual nos proporciona la cantidad de ácido nítrico necesaria para las muestras a digerir.

Cálculo de volumen de ácido nítrico para digestión de la muestra, se realiza mediante la siguiente relación considerando que por cada 500mg de filtro se necesitarán 10 ml de ácido nítrico.

Tabla 17.

Relación del peso del filtro vs ácido nítrico.

Peso de filtro (mg)	Ácido nítrico (ml)
500	10
831.7	16.634
758	15.166

Nota. La tabla representa una relación de ¼ de cada filtro con 10 ml de ácido nítrico concentrado y 500 mg de filtro para obtener la cantidad real necesaria de ácido nítrico de acuerdo con el peso de cada filtro. Elaborado por: Autoras.

3.3.3. Metodología para Filtración y Preparación de Muestra

Una vez digestada y enfriada la muestra, se abre los recipientes de digestión para su posterior filtrado mediante la bomba de vacío y el equipo de filtración, para luego aforar la muestra con agua destilada tipo 1 en balones aforados de 50 ml y conservar en frascos ámbar de 60 ml. (Anexo 10 y 11).

3.3.4. *Medición de Metales con EEA*

La energía necesaria para atomizar se obtiene mediante una diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito donde se coloca la muestra. El tubo se encuentra alineado con la luz que proviene de la lámpara espectral. Al generarse vapor atómico de la muestra cuando el horno está encendido se realiza la absorción de luz derivada de la lámpara dependiendo del elemento que se quiera analizar. En este caso, la señal de absorción es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno.

El proceso de atomización tiene 4 etapas:

3.3.4.1. Secado. Elimina el disolvente o diluyente.

3.3.4.2. Calcinación. Descarta rastros de materia orgánica

3.3.4.3. Atomización. Lleva los átomos al estado fundamental

3.3.4.4. Barrido o Limpieza. Limpia los residuos que se alojan en el tubo. (Departamento de Medicina Legal, n.d.)

Tabla 18.

Métodos de medición de metales por EAA.

Mediciones	Método	Equipo
Co	Horno de grafito	Espectrofotómetro de absorción atómica
Cr	Horno de grafito	Espectrofotómetro de

Mediciones	Método	Equipo
		absorción atómica
Cu	Horno de grafito	Espectrofotómetro de absorción atómica
Cd	Horno de grafito	Espectrofotómetro de absorción atómica
Pb	Horno de grafito	Espectrofotómetro de absorción atómica

Nota. En la tabla presentada se muestran los metales analizados junto con el método de aplicado en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica. Elaborado por: Autoras.

Para método de horno de grafito en el espectrofotómetro de absorción atómica se utilizó “SavantAA Zeeman Methods Manual” y “System 2000/3000 Graphite Furnace Methods Manual” para realizar la programación del horno según los metales analizados.

3.3.4.5. Concentraciones de Soluciones Madre. Para obtener los análisis de concentraciones de metales es necesario realizar las curvas de calibración para el equipo de EAA, mismas que surgen a partir de la preparación de una solución madre.

Tomando en cuenta el valor de los estándares de Cu, Cr, Cd, Co y Pb que son de 1000 ppm, se realiza una dilución para obtener las concentraciones en unidades de ppb para lograr tener un margen de error mínimo al momento de realizar las curvas de calibración.

La siguiente ecuación fue utilizada para la determinación concentraciones madre para los metales analizados:

Ecuación 1.

Ecuación general de diluciones.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Nota. Donde: C1= concentración de la solución madre o concentrada, V1 = volumen de la solución madre o concentrada, V2 = volumen de la solución a preparar, C2= concentración de la solución a preparar. Fuente: (Salas et al., 2015)

Se ejemplifica la aplicación de la ecuación anteriormente detallada para el cálculo de concentración de dilución de metales, en este caso para cobre (Cu):

$$1000 \text{ ppm} * V1 = 1 \text{ ppm} * 50 \text{ ml}$$

$$V1 = 0.05 \text{ ml} \approx 50 \mu\text{l}$$

Se realiza la dilución de 1 ppm a 20 ppb que representa el rango de concentración lineal establecido en el manual.

$$1 \text{ ppm} \approx 1000 \text{ ppb}$$

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

$$1000 \text{ ppb} * V1 = 20 \text{ ppb} * 50 \text{ ml}$$

$$V1 = 1 \text{ ml} \approx 1000 \mu\text{l}$$

Cabe destacar que la estándar madre varía dependiendo el metal a analizar.

Tabla 19.

Concentraciones de estándar madre (ppb)

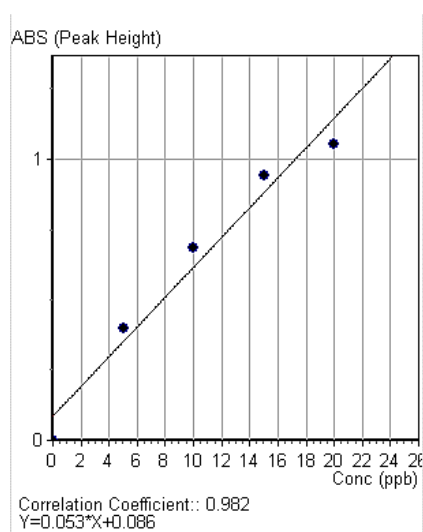
Metal	Estándar madre (ppb)
Cobre (Cu)	20
Cromo (Cr)	15
Cadmio (Cd)	2
Cobalto (Co)	20
Plomo (Pb)	50

Nota. Se establece la concentración definida en ppb para la estándar madre de cada uno de los metales y graficar la curva de calibración. Elaborado por: Autoras.

3.3.4.6. Curvas de Calibración para el Análisis de Metales en el Equipo de EAA

Figura 8.

Curva de calibración para cobre.

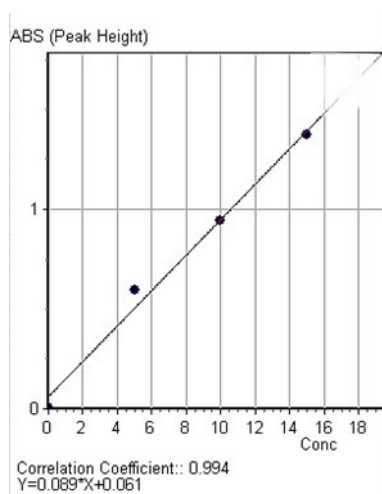


Nota. Curva de calibración establecida mediante los siguientes estándares 4.5, 10, 14.5 y 20 ppb. Elaborado por: Autoras.3

El coeficiente de correlación en la curva de calibración para cobre es de 0.982, según la (Ecuación 1) se establece el cálculo de las diluciones junto con su respectiva solución madre la cual es 20 ppb.

Figura 9.

Curva de calibración para cromo.

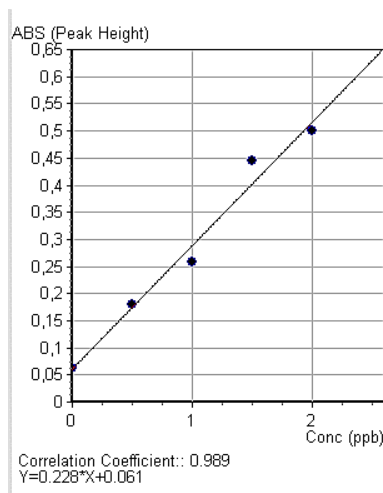


Nota. Curva de calibración establecida mediante los siguientes estándares 4.5, 10 y 14.5 ppb. Elaborado por: Autoras.

El coeficiente de correlación en la curva de calibración para cromo es de 0.994 lo cual significa que tiene un margen de error mínimo, según la (Ecuación 1) se establece el cálculo de las diluciones junto con su respectiva solución madre la cual es 15 ppb.

Figura 10.

Curva de calibración para cadmio.

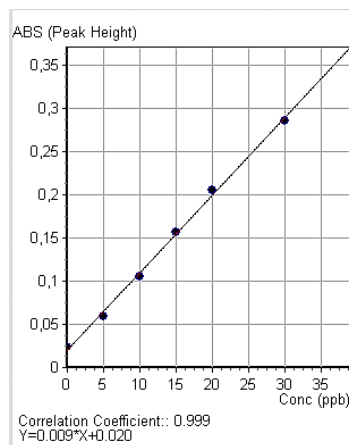


Nota. Curva de calibración establecida mediante los siguientes estándares 0,5, 1, 1,5 y 2 ppb. Elaborado por: Autoras.

El coeficiente de correlación en la curva de calibración para cadmio es de 0,989 lo cual significa que tiene un margen de error mínimo, según la (Ecuación 1) se establece el cálculo de las diluciones junto con su respectiva solución madre la cual es 2 ppb.

Figura 11.

Curva de calibración para cobalto.

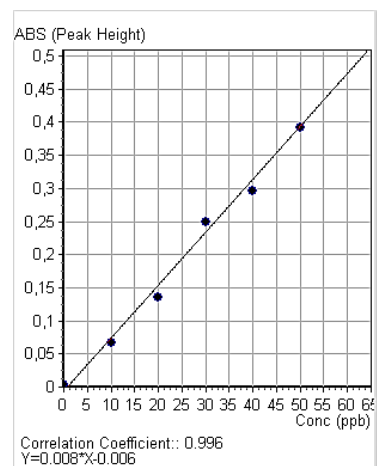


Nota. Curva de calibración establecida mediante los siguientes estándares 5, 10, 15, 20 y 30 ppb. Elaborado por: Autoras.

El coeficiente de correlación en la curva de calibración para cobalto es de 0.982 lo cual significa que tiene un margen de error mínimo, según la (Ecuación 1) se establece el cálculo de las diluciones junto con su respectiva solución madre la cual es 20 ppb.

Figura 12.

Curva de calibración para plomo.



Nota. Curva de calibración establecida mediante los siguientes estándares 10, 20, 30, 40 y 50 ppb. Elaborado por: Autoras.

El coeficiente de correlación en la curva de calibración para cobre es de 0.996 lo cual significa que tiene un margen de error mínimo, según la (Ecuación 1) se establece el cálculo de las diluciones junto con su respectiva solución madre la cual es 20 ppb

3.3.5. *Medición de Sulfatos con Fotometría*

El proceso de medición se realiza en dos fases: Durante la primera etapa se lee una parte de la muestra recolectada, comúnmente es la parte que no tiene reacción. Dicho valor servirá como referencia para medir la intensidad del color establecida por la reacción del reactivo. (HANNA instruments, n.d.)

El proceso de determinación de iones sulfato inicia colocando agua destilada (blanco) en una del vial y se encera el fotómetro (Anexo 14) para determinar la cantidad real de iones sulfato. En otro vial previamente aforada con la muestra se coloca el reactivo sulfato (HI937751 – 01) (Anexo 17) mismo que deberá ser agitado de arriba abajo por 30 veces para homogenizar el contenido de vial, se introduce en el equipo y se espera 5 minutos para la exteriorización del resultado de iones sulfato (SO_4^{2-}) en mg/L.

3.4. Fase Estadística

3.4.1. *Diseño Experimental*

Para determinar la concentración de PM 2.5 en cada punto de monitoreo, se realiza un pesaje de los filtros antes y después del monitoreo para así calcular la diferencia existente entre ellos, junto con las diferencias de los datos obtenidos del flujo total en el equipo de alto volumen.

La fórmula aplicada para la determinación de concentración de PM 2.5 en los respectivos puntos de monitoreo se detalla a continuación:

Ecuación 2.

Cálculo de concentración de PM 2.5.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Diferencia de pesos de filtro } (\mu\text{g})}{\text{Volumen total de aire } (\text{m}^3)}$$

Nota. Fuente: (Resolución Ambiental, 2001)

Se desarrolla análisis de variantes realizando en las 3 zonas de muestreo durante 5 días a la semana en un período de 8 horas diarias, por lo tanto, se obtiene un total de 80 muestras.

Para la determinación de metales pesados, tales como, Co, Cr, Cu, Cd y Pb se utiliza el método de espectrofotometría de absorción atómica mediante horno de grafito. Por otro lado, para determinar la concentración de sulfatos se utiliza el método de espectrofotometría UV-Vis con el equipo HANNA HI83399 (multiparámetros).

3.4.2. Diseño Estadístico

Los datos estadísticos mediante el diseño experimental fueron tabulados mediante el programa EXCEL y se generó el análisis estadístico y correlacional mediante el complemento XLSTAT.

Con los datos obtenidos se realizó:

3.4.2.1. Análisis estadístico descriptivo. Se determina el promedio y medianas del material particulado y los diferentes contaminantes.

3.4.2.2. Análisis estadístico correlacionar. Se realiza relaciones entre las condiciones meteorológicas: temperatura, nivel de radiación solar, velocidad y dirección del viento, obtenidas

mediante la estación meteorológica ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana con código M1274 con las concentraciones analizadas de los metales pesados e iones sulfatos.

Para este análisis se utilizó la prueba de coeficiente de correlación de Pearson la cual mide las posibles relaciones estadísticas entre las variables, se establece que los valores absolutos se encuentran entre 0 y 1, siendo que cuanto más cercanía a 1 exista mayor será la correlación y cuando se encuentre más cercana a cero su correlación será menor. (Jorge Dagnino, 2014)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Primer Punto de Monitoreo (Bloque A)

Tabla 20.

Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A)

Días	FILTROS DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicia (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia ACF	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg/m ³)
Lunes	---	---	---	---	---	---
Martes	---	---	---	---	---	---
Miércoles	4073.0	4092.2	19200	20323.7	569.1	33.74
Jueves	4073.2	4088.6	15400	25410.0	711.5	21.65
Viernes	4053.8	4068.2	14400	23173.1	648.8	22.19
Lunes	4068.9	4088.4	19500	24278.0	679.8	28.69
Martes	4088.6	4100.1	11500	22235.2	622.6	18.47
Miércoles	4107.2	4125.3	18100	22033.4	616.9	29.34
Jueves	4077.2	4096.6	19400	20929.1	586.0	33.10
Viernes	---	---	---	---	---	---
Lunes	4069.6	4090.8	21200	26013.2	728.4	29.11

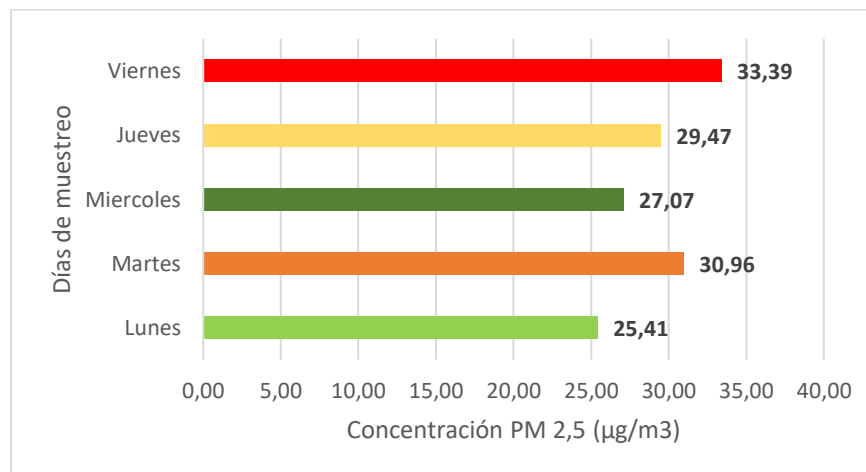
Días	FILTROS DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicia (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia ACF	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg/m ³)
Martes	4066	4085.1	19100	25881.6	724.7	26.36
Miércoles	4090	4108.7	18700	26512.1	742.3	25.19
Jueves	4076.2	4102.6	26400	26069.7	730.0	36.17
Viernes	4101.1	4122.3	21200	21963.3	615.0	34.47
Lunes	---	---	---	---	---	---
Martes	---	---	---	---	---	---
Miércoles	4066.1	4081.6	15500	26554.7	743.5	20.85
Jueves	4069	4077.9	8900	20394.9	571.1	15.59
Viernes	4094.4	4115.4	21000	20696.9	579.5	36.24
Lunes	4068	4087.8	19800	25569.4	715.9	27.66
Martes	4070	4111.2	41200	26669.4	746.7	55.17
Miércoles	4071.7	4092.7	21000	18240.5	510.7	41.12
Jueves	4089.7	4128.3	38600	23233.0	650.5	59.34
Viernes	4088.3	4116.3	28000	24599.7	688.8	40.65
Lunes	4074.2	4085.1	10900	24065.8	673.8	16.18
Martes	4072.5	4084.4	11900	17834.8	499.4	23.83
Miércoles	4066.4	4074.8	8400	24580.3	688.2	12.20
Jueves	4072.8	4081.3	8500	27600.6	772.8	11.00

Días	FILTROS DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicia (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia ACF	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg/m ³)
Viernes	---	---	---	---	---	---

Nota. En la tabla se evidencia los datos de diferencias obtenidos considerando los pesos iniciales y finales de los filtros para PM 2.5, además, los valores del volumen del aire considerando la diferencia de ACF para adquirir la concentración de material particulado 2.5. Elaborado por: Autoras.

Figura 13.

Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque A)



Nota. El grafico demuestra que los días con mayor concentración de PM 2.5 son los viernes en comparación con los demás días de la semana. Elaborado por: Autoras.

Tabla 21.*Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A)*

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
1	Lunes	---	---	---	---	---
	Martes	---	---	---	---	---
	Miércoles	0.1136	0.0000	0.0008	0.0866	0.5138
	Jueves	0.0702	0.0000	0.0008	0.0982	0.3071
	Viernes	0.0000	0.0000	0.0004	0.1086	0.3349
2	Lunes	0.0403	0.0000	0.0008	0.0380	0.2716
	Martes	0.0393	0.0035	0.0008	0.0605	0.2909
	Miércoles	0.0342	0.0012	0.0004	0.0758	0.2919
	Jueves	0.0000	0.0031	0.0000	0.0592	0.3294
	Viernes	---	---	---	---	---
3	Lunes	0.0348	0.0016	0.0008	0.0422	0.1424
	Martes	0.0016	0.0000	0.0004	0.0519	0.1092
	Miércoles	0.0299	0.0004	0.0008	0.0374	0.1693
	Jueves	0.0337	0.0029	0.0000	0.0428	0.1210
	Viernes	0.0222	0.0016	0.0008	0.1132	0.2847
4	Lunes	---	---	---	---	---
	Martes	---	---	---	---	---
	Miércoles	0.0000	0.0012	0.0004	0.0800	0.2880

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
5	Jueves	0.0209	0.0016	0.0004	0.0636	0.4081
	Viernes	0.0194	0.0032	0.0004	0.0468	0.6094
	Lunes	0.0553	0.0004	0.0008	0.0849	0.1999
	Martes	0.0216	0.0029	0.0008	0.0794	0.1234
	Miércoles	0.0177	0.0000	0.0004	0.0346	0.3436
	Jueves	0.0647	0.0020	0.0008	0.0378	0.5505
	Viernes	0.1113	0.0000	0.0004	0.0455	0.4806
	Lunes	0.0542	0.0000	0.0004	0.0624	0.3237
	Martes	0.0856	0.0016	0.0008	0.0556	0.3568
	Miércoles	0.0674	0.0027	0.0004	0.0768	0.6076
6	Jueves	0.0325	0.0028	0.0004	0.0896	0.0896
	Viernes	---	---	---	---	---
	Blanco 1	0.0037	0.0039	0.0008	0.0141	0.0242
	Blanco 2	0.0020	0.0041	0.0006	0.0082	0.0208

Nota. Las concentraciones que se reflejan en la presente tabla fueron obtenidas por medio de análisis en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con el método de horno de grafito. Elaborado por: Autoras.

Se establece según los cálculos realizados y comparados con los filtros en blanco no existe presencia de Cr y Cd en el material particulado, por otro lado, los metales como Cu, Co y Pb si se encuentran presentes en el material particulado de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur en el primer punto de monitoreo (bloque A).

4.1.1. Análisis Estadístico Primer Punto de Monitoreo (Bloque A)

Tabla 22.

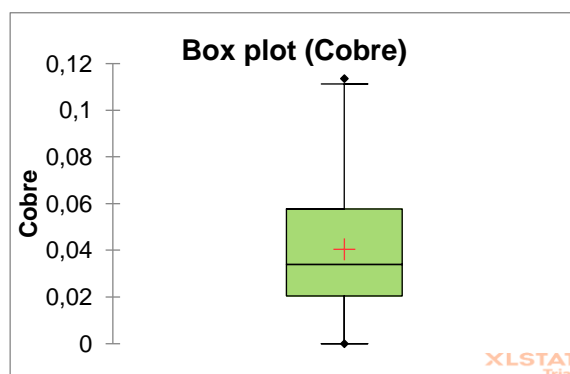
Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (primer punto de monitoreo bloque A)

Estadístico	No.	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma	Media	Varianza
Cobre	24	0.000	0.114	0.034	0.970	0.040	0.001
Cromo	24	0.000	0.004	0.001	0.033	0.001	0.000
Cadmio	24	0.000	0.001	0.000	0.013	0.001	0.000
Cobalto	24	0.035	0.113	0.061	1.571	0.065	0.001
Plomo	24	0.090	0.609	0.300	7.547	0.314	0.023

Nota. La presente tabla establece las variables estadísticas como lo son número de observaciones, valor mínimo y máximo, mediana, suma, media, varianza y error típico de la media presentes en los datos obtenidos de Cu, Cr, Cd, Co y Pb. Elaborado por: Autoras.

Figura 14.

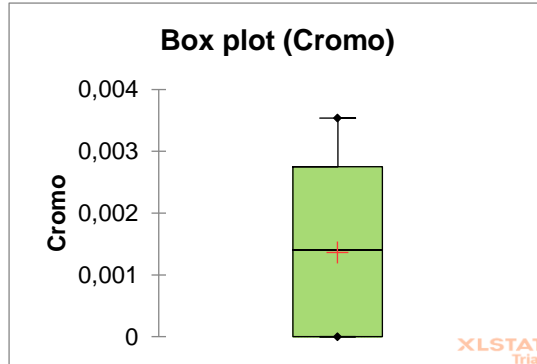
Diagrama de caja para cobre (primer punto de monitoreo bloque A)



Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobre es ligeramente superior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.020 hasta 0.057, como valor máximo en los bigotes se registra 0.113 y mínimo 0. Elaborado por: Autoras

Figura 15.

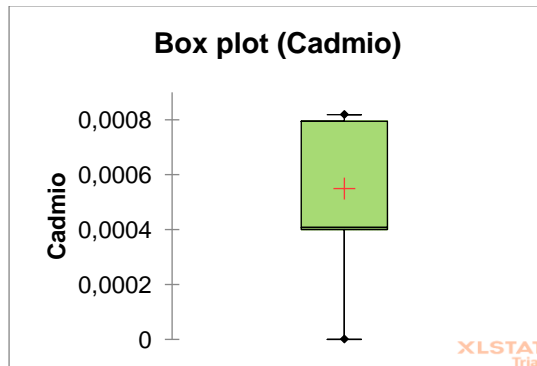
Diagrama de caja para cromo (primer punto de monitoreo bloque A)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran agrupados en su mayoría cerca de 0, esto sucede porque existen concentraciones demasiado bajas de cromo en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cromo que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no grafican el bigote inferior, careciendo de una distribución normal. Elaborado por: Autoras

Figura 16.

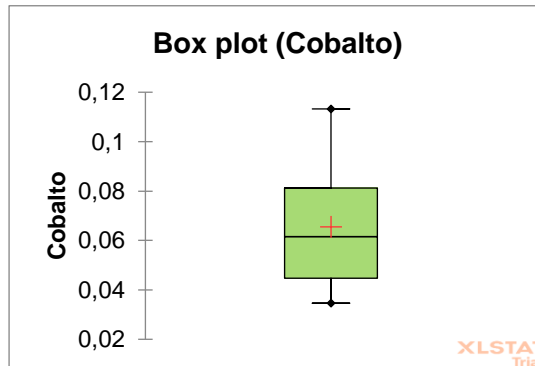
Diagrama de caja para cadmio (primer punto de monitoreo bloque A)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran alejados unos de otros, esto sucede porque no existen concentraciones de cadmio en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cadmio que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no tienen una distribución normal. Elaborado por: Autoras

Figura 17.

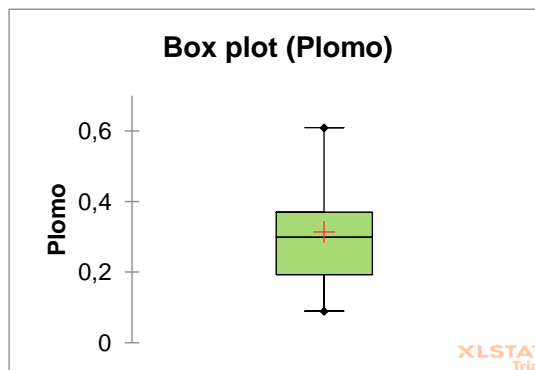
Diagrama de caja para cobalto (primer punto de monitoreo bloque A)



Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobalto es ligeramente superior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.044 hasta 0.081 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.113 y mínimo de 0.034. Elaborado por: Autoras

Figura 18.

Diagrama de caja para plomo (primer punto de monitoreo bloque A)



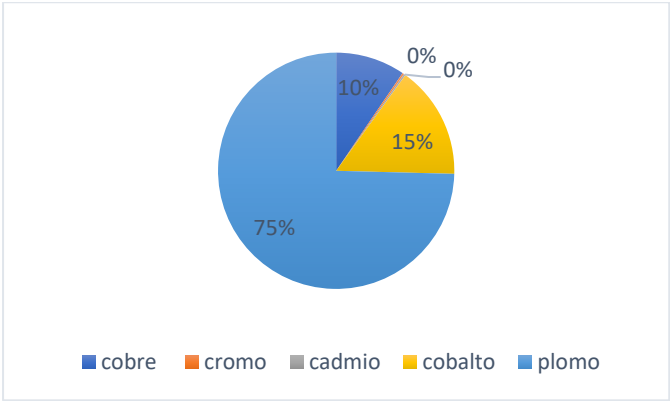
Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de plomo es ligeramente superior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.192 hasta 0.369 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.609 y mínimo de 0.089. Elaborado por: Autoras

Las muestras en cuestión presentan los porcentajes de medias con un valor elevado en cuanto a cobre 10%, cobalto 15% y plomo 75% diferenciándose de valores nulos en cromo 0% y cadmio

0%, esta afirmación se deduce debido al análisis de la composición de los filtros sin material (blancos), filtros en blanco con los cuales se evidencia que la composición de los filtros sin material particulado cuenta con presencia de los metales

Figura 19.

Diagrama de pastel para metales (primer punto de monitoreo bloque A)



Nota. La siguiente figura representa mediante un diagrama de pastel los porcentajes obtenidos de los metales pesados analizados por EAA. Elaborado por: Autoras

4.2.Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Segundo Punto de Monitoreo (Bloque G)

Tabla 23.

Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G)

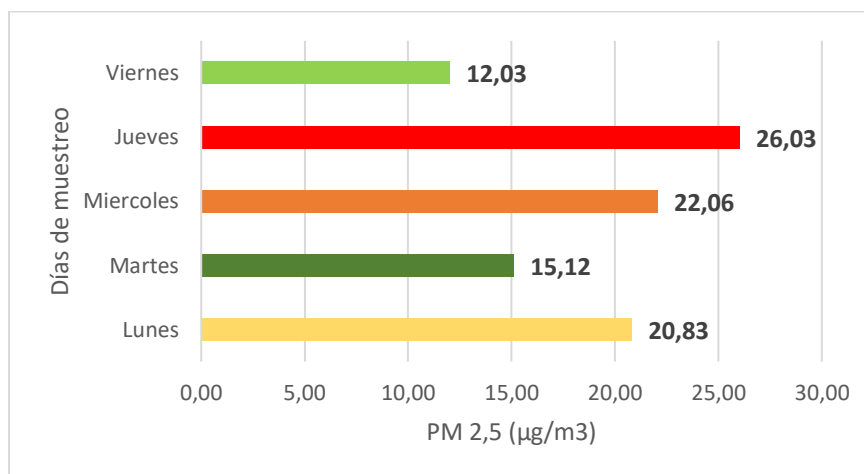
Días	FILTRO DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia ACF	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg/m ³)
Lunes	4060.7	4078.7	18000	24284.5	679.966	26.47
Martes	4063.4	4074.7	11300	23504.6	658.1288	17.17
Miércoles	4068.1	4084.0	15900	22246.1	622.8908	25.53
Jueves	4075.8	4084.5	8700	22423.7	627.8636	13.86
Viernes	---	---	---	---	---	---
Lunes	4085.9	4095.2	9300	20238.5	566.678	16.41
Martes	4072.1	4080.8	8700	25720.9	720.1852	12.08
Miércoles	4068.8	4089.2	20400	25306.2	708.5736	28.79
Jueves	4080.2	4089.4	9200	20238.5	566.678	16.23
Viernes	4082.8	4089.7	6900	24860.0	696.08	9.91
Lunes	4086.4	4100.4	14000	25780.2	721.8456	19.39
Martes	4102.4	4124.4	22000	26130.2	731.6456	30.07
Miércoles	4090.8	4107.5	16700	26920.6	753.7768	22.16

Días	FILTRO DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia ACF	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg/m ³)
Jueves	4098.0	4112.5	14500	27121.5	759.402	19.09
Viernes	4079.6	4094.2	14600	26554.7	743.5316	19.64
Lunes	4111.8	4121.0	9200	20394.9	571.0572	16.11
Martes	4089.2	4090.5	1300	23233.0	650.524	2.00
Miércoles	4060.5	4067.5	7000	21543.2	603.2096	11.60
Jueves	4037.5	4074.6	37100	25790.8	722.1424	51.37
Viernes	4046.2	4049.3	3100	25569.4	715.9432	4.33
Lunes	4090.7	4112.4	21700	24524.7	686.6916	31.60
Martes	4080.1	4097.0	16900	23323.0	653.044	25.88
Miércoles	4064.5	4081.1	16600	26669.4	746.7432	22.23
Jueves	4075.3	4095.8	20500	24727.7	692.3756	29.61
Viernes	4075.9	4085.4	9500	23796.7	666.3076	14.26
Lunes	4082.1	4093.4	11300	26969.3	755.1404	14.96
Martes	4095.0	4097.6	2600	26272.4	735.6272	3.53
Miércoles	---	---	---	---	---	---
Jueves	---	---	---	---	---	---
Viernes	---	---	---	---	---	---

Nota. En la tabla se evidencia los datos de diferencias obtenidos considerando los pesos iniciales y finales de los filtros para PM 2.5, además, los valores del volumen del aire considerando la diferencia de ACF para adquirir la concentración de material particulado 2.5. Elaborado por Autoras.

Figura 20.

Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque G)



Nota. El grafico demuestra que los días con mayor concentración de PM 2.5 son los Jueves en comparación con los demás días de la semana. Elaborado por: Autoras.

Tabla 24.

Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G)

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
1	Lunes	0.1081	0.0035	0.0004	0.0328	0.3234
	Martes	0.0461	0.0004	0.0008	0.0412	0.2942
	Miércoles	0.0511	0.0023	0.0008	0.0325	0.3354
	Jueves	0.0451	0.0004	0.0004	0.0396	0.3099

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
	Viernes	---	---	---	---	---
2	Lunes	0.0012	0.0028	0.0008	0.0385	0.2871
	Martes	0.1185	0.0016	0.0008	0.0994	0.3952
	Miércoles	0.0510	0.0031	0.0004	0.0750	0.3572
	Jueves	0.0660	0.0036	0.0004	0.0696	0.1826
	Viernes	0.0000	0.0032	0.0004	0.0647	0.1408
3	Lunes	0.0326	0.0020	0.0004	0.0366	0.2978
	Martes	0.0241	0.0016	0.0008	0.0747	0.2364
	Miércoles	0.0211	0.0008	0.0004	0.0951	0.2515
	Jueves	0.0290	0.0016	0.0008	0.1037	0.2661
	Viernes	0.0318	0.0004	0.0008	0.0825	0.4120
4	Lunes	0.0187	0.0004	0.0004	0.0389	0.1084
	Martes	0.0212	0.0000	0.0008	0.0425	0.1249
	Miércoles	0.0264	0.0020	0.0000	0.0547	0.6098
	Jueves	0.0150	0.0000	0.0000	0.1153	0.3702
	Viernes	0.0212	0.0024	0.0004	0.1242	0.2964
5	Lunes	0.0209	0.0016	0.0004	0.0602	0.6307
	Martes	0.0456	0.0000	0.0008	0.0896	0.1169
	Miércoles	0.0295	0.0000	0.0004	0.1011	0.1302
	Jueves	0.0200	0.0020	0.0008	0.1226	0.1988

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
	Viernes	0.0258	0.0016	0.0004	0.0998	0.3477
	Lunes	0.0248	0.0016	0.0004	0.1238	0.1654
	Martes	0.0477	0.0033	0.0004	0.1035	0.3723
6	Miércoles	---	---	---	---	---
	Jueves	---	---	---	---	---
	Viernes	---	---	---	---	---
	Blanco 1	0.0037	0.0039	0.0008	0.0141	0.0242
	Blanco 2	0.0020	0.0041	0.0006	0.0082	0.0208

Nota. Las concentraciones que se reflejan en la presente tabla fueron obtenidas por medio del equipo de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con el método de horno de grafito. Elaborado por: Autoras.

Se establece según los cálculos realizados y comparados con los filtros en blanco no existe presencia de Cr y Cd en el material particulado, por otro lado, los metales como Cu, Co y Pb si se encuentran presentes en el material particulado de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur en el segundo punto de monitoreo (bloque G).

4.2.1. Análisis Estadístico Segundo Punto de Monitoreo (Bloque G)

Tabla 25.

Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (segundo punto de monitoreo bloque G)

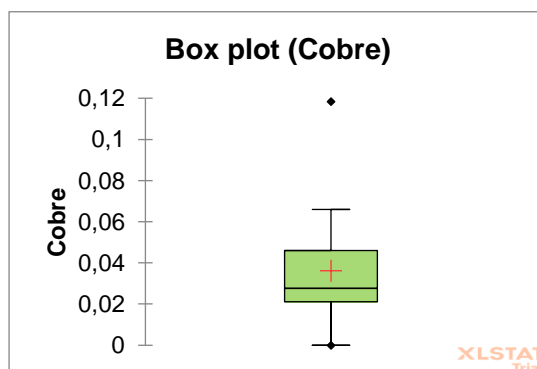
Estadístico	No.	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma	Media	Varianza
Cobre	26	0.000	0.118	0.028	0.942	0.036	0.001

Estadístico	No.	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma	Media	Varianza
Cromo	26	0.000	0.004	0.001	0.033	0.001	0.000
Cadmio	26	0.000	0.001	0.000	0.014	0.001	0.000
Cobalto	26	0.033	0.124	0.075	1.962	0.075	0.001
Plomo	26	0.108	0.631	0.295	7.561	0.291	0.017

Nota. La presente tabla establece las variables estadísticas como lo son número de observaciones, valor mínimo y máximo, mediana, suma, media, varianza y error típico de la media presentes en los datos obtenidos de Cu, Cr, Cd, Co y Pb. Elaborado por: Autoras.

Figura 21.

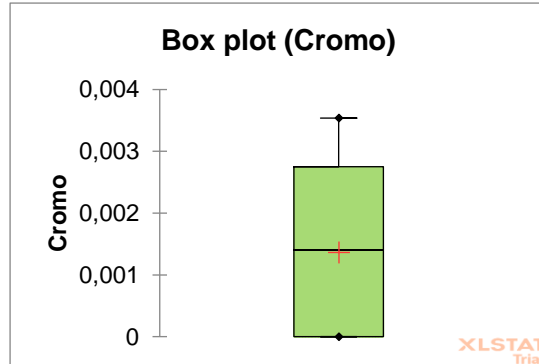
Diagrama de caja para cobre (segundo punto de monitoreo bloque G)



Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobre es superior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.021 hasta 0.045 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.065 y mínimo de 0, se registra como un punto anómalo al valor de 0.118. Elaborado por: Autoras.

Figura 22.

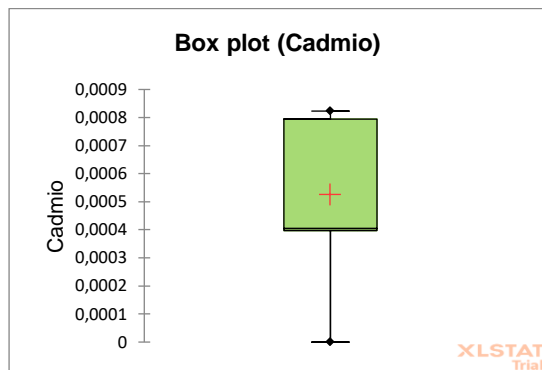
Diagrama de caja para cromo (segundo punto de monitoreo bloque G)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran agrupados en su mayoría cerca de 0, esto sucede porque existen concentraciones demasiado bajas de cromo en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cromo que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no grafican el bigote inferior, careciendo de una distribución normal. Elaborado por: Autoras

Figura 23.

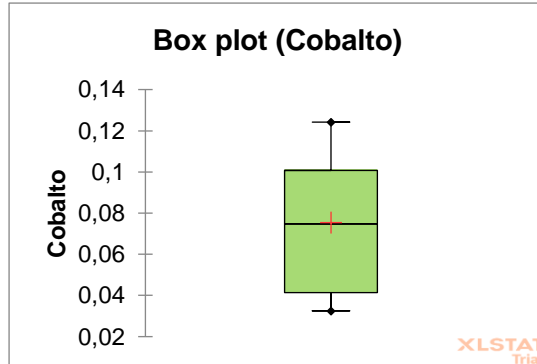
Diagrama de caja para cadmio (segundo punto de monitoreo bloque G)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran alejados unos de otros, esto sucede porque no existen concentraciones de cadmio en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cadmio que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no tienen una distribución normal. Elaborado por: Autoras.

Figura 24.

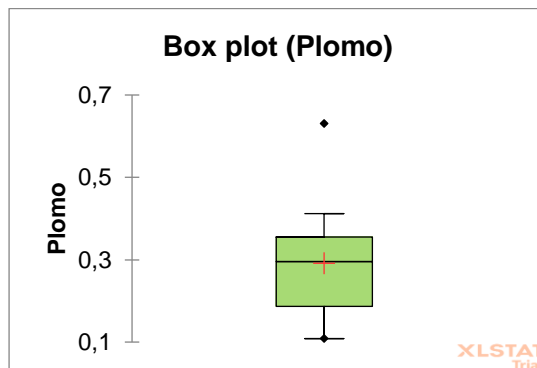
Diagrama de caja para cobalto (segundo punto de monitoreo bloque G)



Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobalto es semejante a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.041 hasta 0.101 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.124 y mínimo de 0.033. Elaborado por: Autoras.

Figura 25.

Diagrama de caja para Plomo (Segundo punto de monitoreo Bloque G)



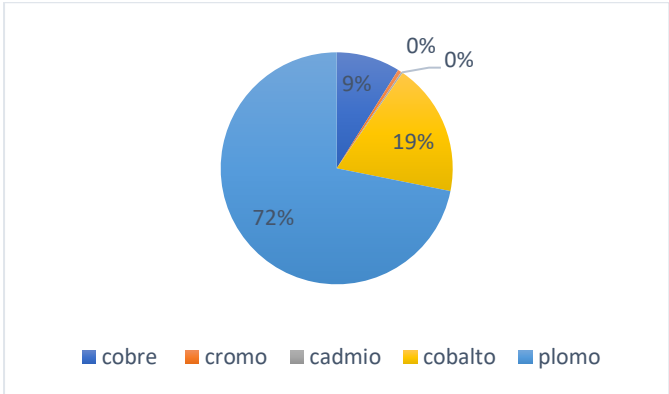
Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de plomo es ligeramente inferior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.187 hasta 0.355 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.412 y mínimo de 0.108, se registra como un punto anómalo al valor de 0.631. Elaborado por: Autoras.

Las muestras en cuestión presentan los porcentajes de medias con un valor elevado en cuanto a cobre 9%, cobalto 19% y plomo 72% diferenciándose de valores nulos en cromo 0% y cadmio

0%, esta afirmación se deduce debido al análisis de la composición de los filtros sin material (blancos) filtros en blanco con los cuales se evidencia que la composición de los filtros sin material particulado cuenta con presencia de los metales.

Figura 26.

Diagrama de pastel para metales (segundo punto de monitoreo bloque G)



Nota. La siguiente figura representa mediante un diagrama de pastel los porcentajes obtenidos de los metales pesados analizados por EAA. Elaborado por: Autoras.

4.3.Resultado de Concentración de PM 2.5 y Concentración de Metales en el Tercer Punto de Monitoreo (Bloque H)

Tabla 26.

Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5 (tercer punto de monitoreo bloque H)

Días	FILTRO DE AIRE PM 2.5		VOLUMEN DE AIRE			
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia (ACF)	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg /m ³)
Lunes	4037.5	4040.7	3200	17763.0	497.4	6.43
Martes	4047.4	4051.5	4100	13459.8	376.9	10.88
Miércoles	4070.3	4076.3	6000	19126.0	535.5	11.20
Jueves	4061.9	4067.1	5200	24393.7	683.0	7.61
Viernes	4067.7	4074.1	6400	23041.8	645.2	9.92
Lunes	4079.4	4085.1	5700	20102.1	562.9	10.13
Martes	4077.9	4086.3	8400	20952.7	586.7	14.32
Miércoles	4081.0	4086.8	5800	17375.7	486.5	11.92
Jueves	4096.0	4101.4	5400	25775.8	721.7	7.48
Viernes	4102.5	4105.8	3300	23608.4	661.0	4.99
Lunes	4085.7	4123.5	37800	25670.0	718.8	52.59
Martes	4103.0	4109.8	6800	23877.4	668.6	10.17

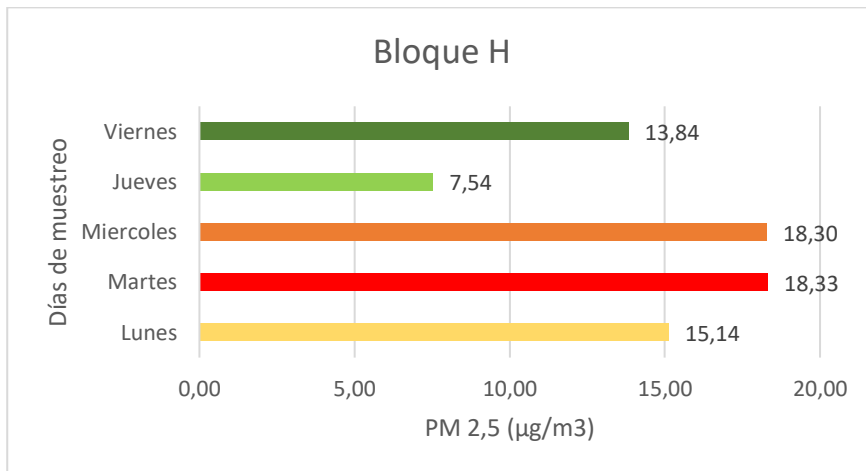
Días	FILTRO DE AIRE PM 2.5			VOLUMEN DE AIRE		
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia (ACF)	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg /m ³)
Miércoles	4082.3	4092.2	9900	11194.7	313.5	31.58
Jueves	4083.0	4087.9	4900	26612.3	745.1	6.58
Viernes	4090.1	4096.0	5900	23257.9	651.2	9.06
Lunes	4085.5	4095.0	9500	21963.3	615.0	15.45
Martes	4077.2	4108.0	30800	19600.2	548.8	56.12
Miércoles	4088.6	4102.1	13500	26599.3	744.8	18.13
Jueves	4083.6	4089.4	5800	25670.0	718.8	8.07
Viernes	4069.1	4095.8	26700	23257.9	651.2	41.00
Lunes	4041.8	4043.8	2000	24727.7	692.4	2.89
Martes	4044.7	4052.6	7900	23796.7	666.3	11.86
Miércoles	4065.0	4069.5	4500	21461.6	600.9	7.49
Jueves	4066.3	4072.8	6500	22723.0	636.2	10.22
Viernes	4068.9	4075.2	6300	24324.2	681.1	9.25
Lunes	4093.4	4095.7	2300	24524.7	686.7	3.35
Martes	4077.5	4081.5	4000	21523.2	602.6	6.64
Miércoles	4055.6	4076.1	20500	24848.8	695.8	29.46
Jueves	4055.6	4059.0	3400	23068.6	645.9	5.26

Días	FILTRO DE AIRE PM 2.5		VOLUMEN DE AIRE			
	Peso inicial (mg)	Peso final (mg)	Diferencia (µg)	Diferencia (ACF)	Volumen total del aire (m ³)	Concentración (µg /m ³)
Viernes	4071.3	4076.1	4800	19433.2	544.1	8.82

Nota. La tabla refleja los datos del proceso de pesaje realizado antes y después de cada monitoreo, resaltando que las unidades en las que fueron pesados están en mg, además los valores de diferencia de pesos se reflejan en unidades de µg. Se evidencia la recopilación de muestras durante seis semanas de lunes a viernes en el punto de monitoreo del bloque de H de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur. Elaborado por: autoras.

Figura 27.

Promedio de concentración de PM 2.5 vs. Días de muestreo (Bloque H)



Nota. El grafico demuestra que los días con mayor concentración de PM 2.5 son los martes en comparación con los demás días de la semana. Elaborado por: Autoras.

Tabla 27.*Resultado de análisis de metales en PM 2.5 (Tercer punto de monitoreo Bloque H)*

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
1	Lunes	0.0464	0.0012	0.0004	0.0321	0.6394
	Martes	0.0570	0.0032	0.0004	0.1172	0.4630
	Miércoles	0.0386	0.0035	0.0008	0.0929	0.4088
	Jueves	0.0921	0.0020	0.0008	0.0553	0.3321
	Viernes	0.0416	0.0025	0.0000	0.1310	0.3382
2	Lunes	0.0500	0.0012	0.0008	0.0442	0.3651
	Martes	0.0567	0.0029	0.0004	0.1097	0.3491
	Miércoles	0.0484	0.0008	0.0004	0.0461	0.3378
	Jueves	0.0541	0.0037	0.0004	0.0639	0.3747
	Viernes	0.0482	0.0027	0.0008	0.0399	0.3595
3	Lunes	0.0365	0.0016	0.0008	0.1218	0.2896
	Martes	0.1141	0.0036	0.0004	0.0959	0.4432
	Miércoles	0.0000	0.0020	0.0008	0.0669	0.2655
	Jueves	0.0750	0.0024	0.0008	0.0397	0.3160
	Viernes	0.0361	0.0008	0.0008	0.0657	0.0734
4	Lunes	0.0330	0.0033	0.0008	0.0789	0.2564
	Martes	0.0698	0.0017	0.0008	0.0690	0.1230
	Miércoles	0.0355	0.0016	0.0008	0.0571	0.1248

SEMANA	Días	Metales (ppm)				
		Cobre	Cromo	Cadmio	Cobalto	Plomo
	Jueves	0.0288	0.0000	0.0008	0.1241	0.1245
	Viernes	0.0849	0.0020	0.0004	0.0981	0.1390
	Lunes	0.0288	0.0004	0.0000	0.0900	0.1405
	Martes	0.0126	0.0000	0.0000	0.0730	0.1110
5	Miércoles	0.0263	0.0000	0.0008	0.0743	0.4295
	Jueves	0.1133	0.0021	0.0008	0.1216	0.3400
	Viernes	0.0433	0.0000	0.0008	0.1241	0.2076
	Lunes	0.0546	0.0000	0.0004	0.0671	0.2417
	Martes	0.0656	0.0000	0.0004	0.0483	0.3541
6	Miércoles	0.0225	0.0020	0.0000	0.0779	0.2512
	Jueves	0.0163	0.0000	0.0000	0.0330	0.1378
	Viernes	0.0117	0.0012	0.0004	0.0452	0.1581
	Blanco 1	0.0037	0.0039	0.0008	0.0141	0.0242
	Blanco 2	0.0020	0.0041	0.0006	0.0082	0.0208

Nota. Las concentraciones que se reflejan en la presente tabla fueron obtenidas por medio del equipo de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con el método de horno de grafito. Elaborado por: Autoras.

Se establece según los cálculos realizados y comparados con los filtros en blanco no existe presencia de Cr y Cd en el material particulado, por otro lado, los metales como Cu, Co y Pb si se encuentran presentes en el material particulado de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur en el segundo punto de monitoreo (bloque H).

4.3.1. Análisis Estadístico Tercer Punto de Monitoreo (Bloque H)

Tabla 28.

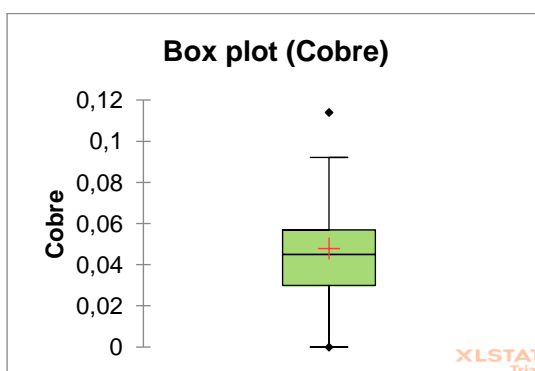
Variables estadísticas de concentración de metales en PM 2.5 (tercer punto de monitoreo bloque H)

Estadístico	No.	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma	Media	Varianza
Cobre	30	0.000	0.114	0.045	1.442	0.048	0.001
Cromo	30	0.000	0.004	0.001	0.033	0.001	0.000
Cadmio	30	0.000	0.001	0.001	0.016	0.001	0.000
Cobalto	30	0.032	0.131	0.071	2.304	0.077	0.001
Plomo	30	0.073	0.639	0.303	8.495	0.283	0.017

Nota. La presente tabla establece las variables estadísticas como lo son número de observaciones, valor mínimo y máximo, mediana, suma, media, varianza y error típico de la media presentes en los datos obtenidos de Cobre (Cu).
Elaborado por: Autoras.

Figura 28.

Diagrama de caja para cobre (tercer punto de monitoreo bloque H)

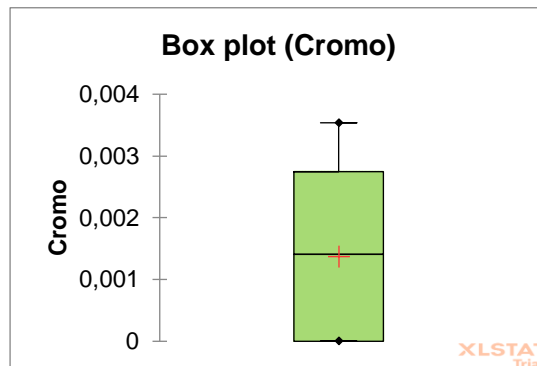


Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobre es ligeramente superior en comparación a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.030 hasta 0.057 y

como valor máximo en los bigotes se registra 0.092 y mínimo de 0, se registra como un punto anómalo al valor de 0.114. Elaborado por: Autoras.

Figura 29.

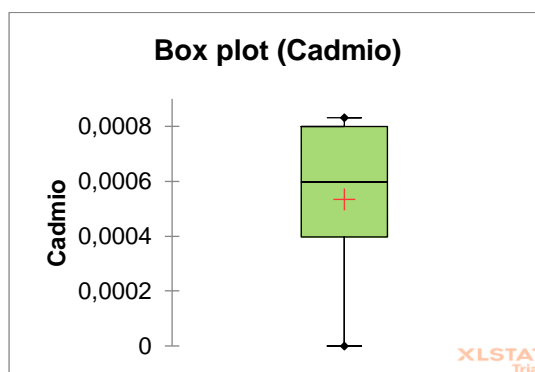
Diagrama de caja para cromo (tercer punto de monitoreo bloque H)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran agrupados en su mayoría cerca de 0, esto sucede porque existen concentraciones demasiado bajas de cromo en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cromo que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no grafican el bigote inferior, careciendo de una distribución normal. Elaborado por: Autoras.

Figura 30.

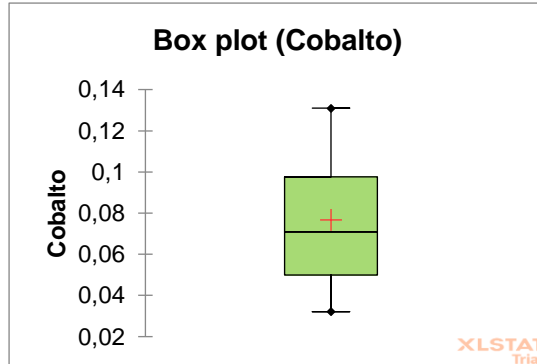
Diagrama de caja para cadmio (tercer punto de monitoreo bloque H)



Nota. El diagrama de caja representa que los valores son atípicos, ya que se encuentran alejados unos de otros, esto sucede porque no existen concentraciones de cadmio en el material particulado, por lo tanto, el equipo tomó datos del cadmio que existía en el filtro blanco, es por eso por lo que sus valores no tienen una distribución normal. Elaborado por: Autoras.

Figura 31.

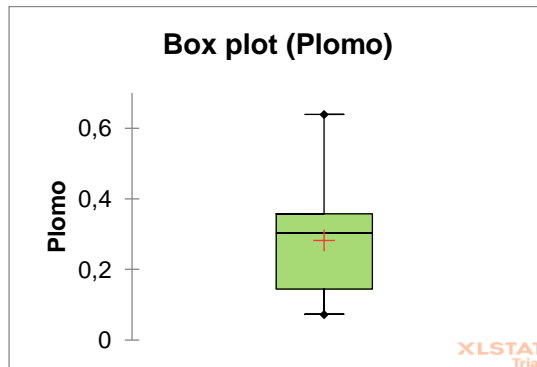
Diagrama de caja para cobalto (tercer punto de monitoreo bloque H)



Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de cobalto es ligeramente superior a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.050 hasta 0.098 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.131 y mínimo de 0.032. Elaborado por: Autoras.

Figura 32.

Diagrama de caja para plomo (tercer punto de monitoreo bloque H)



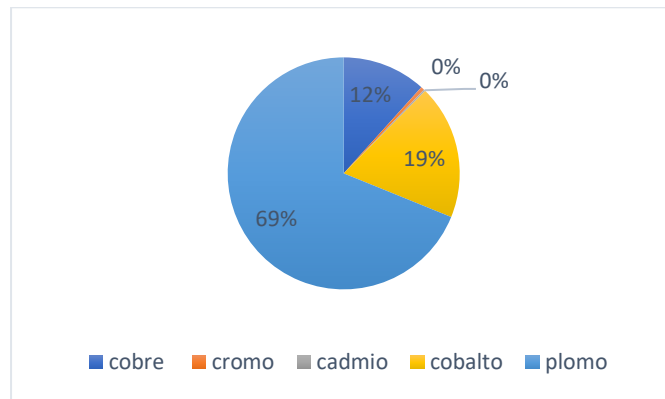
Nota. El diagrama de caja representa que la media (cruz roja) calculada de los valores de plomo es ligeramente inferior a la línea que representa la mediana, encontrándose los rangos de valores entre 0.358 hasta 0.415 y como valor máximo en los bigotes se registra 0.639 y mínimo de 0.073. Elaborado por: Autoras.

Las muestras en cuestión presentan los porcentajes de medias con valores en cuanto a Cobre 12%, Cobalto 19% y Plomo 69% diferenciándose de valores nulos en Cromo 0% y Cadmio 0%, esta afirmación se deduce debido al análisis de la composición de los filtros sin material (blancos)

filtros en blanco con los cuales se evidencia que la composición de los filtros sin material particulado cuenta con presencia de los metales.

Figura 33.

Diagrama de pastel para metales (tercer punto de monitoreo bloque H)



Nota. La siguiente figura representa mediante un diagrama de pastel los porcentajes obtenidos de los metales pesados analizados por EAA. Elaborado por: Autoras.

4.4. Resultado de Concentración de Iones Sulfato y Análisis Estadísticos en los Tres Puntos de Monitoreo (Bloque A, G y H)

Tabla 29.

Resultado de análisis de iones sulfato en PM 2.5 (tres puntos de muestreo bloque A, G y H)

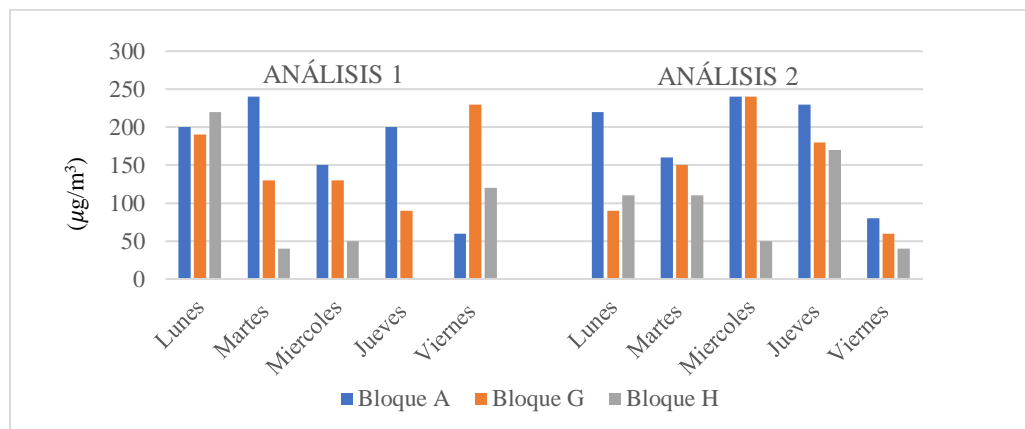
ANALISIS 1				ANALISIS 2			
Bloque	Día	N° filtro	Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bloque	Día	N° filtro	Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bloque	Lunes	13	200	Bloque	Lunes	27	220
A	Martes	28	240	A	Martes	61	160

ANALISIS 1				ANALISIS 2			
Bloque	Día	N° filtro	Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Bloque	Día	N° filtro	Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Bloque G	Miércoles	47	150	Bloque G	Miércoles	62	240
	Jueves	78	200		Jueves	2	230
	Viernes	3	60		Viernes	31	80
	Lunes	9	190		Lunes	22	90
	Martes	23	130		Martes	38	150
	Miércoles	39	130		Miércoles	52	240
	Jueves	53	90		Jueves	12	180
	Viernes	69	230		Viernes	54	60
	Lunes	4	220		Lunes	17	110
	Martes	18	40		Martes	33	110
Bloque H	Miércoles	34	50	Bloque H	Miércoles	57	50
	Jueves	58	0		Jueves	73	170
	Viernes	74	120		Viernes	8	40
BLANCO 1							20
BLANCO 2							26

Nota. La siguiente tabla establece los valores analizados de iones sulfatos tomando 2 semanas al azar de análisis por cada bloque. Los valores están dados por 500 mg de filtro del día al cual se le resta el promedio de los datos de filtros blancos, posteriormente, se multiplica por 4 que representa la totalidad del filtro y su resultado se divide para el volumen total de aire, finalmente se realiza la transformación de mg/l a $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elaborado por: Autoras.

Figura 34.

Concentraciones de iones sulfato vs días de la semana



Nota. El presente diagrama de barras representa las concentraciones de iones sulfato de acuerdo con los días de la semana por cada bloque en donde se realizó el muestreo. Elaborado por: Autoras.

Tabla 30.

Variables estadísticas de concentración de iones sulfato en PM 2.5 (tres puntos de muestreo bloque A, G y H)

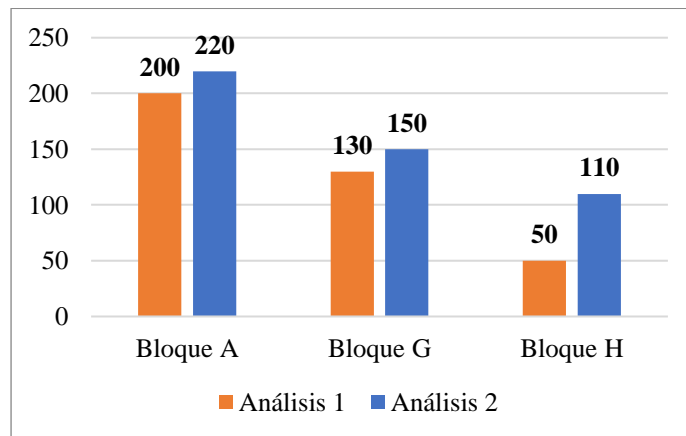
	Estadístico	No.	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma	Media
ANÁLISIS 1	Bloque A	5	60	240	200	850	170
	Bloque G	5	90	230	130	770	154
	Bloque H	5	0	220	50	430	86
ANÁLISIS 2	Bloque A	5	80	240	220	930	186
	Bloque G	5	60	240	150	720	144
	Bloque H	5	40	170	110	480	96

Nota. La presenta tabla establece las variables estadísticas como lo son número de observaciones, valor mínimo, máximo, mediana, suma y media de los datos obtenidos de iones sulfato en los 3 puntos de monitoreo. Elaborado por: Autoras.

En la figura 35 se representa mediante diagrama de barras las medianas de cada bloque en el que se realizó el muestreo, estableciendo así en el análisis 1 y 2 respectivamente valores de 200.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 130.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 50.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 220.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 150.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 110.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 35.

Diagrama de barras de cálculo medianas en iones sulfato.



Nota. El presente diagrama de barras representa las medianas de los valores de iones sulfato por cada bloque en donde se realizó el muestreo. Elaborado por: Autoras.

4.5. Relaciones entre Condiciones Meteorológicas con las Concentraciones de Iones y Metales de las 3 Zonas Monitoreadas

4.5.1. Concentración de Metales vs. Condiciones Meteorológicas

En la tabla 31, 32 y 33 siguiendo el método de correlación línea de Pearson se indica que los valores están alejados de 1, por lo tanto, la correlación entre los metales analizados en los 3 bloques de muestreo y las variables de condiciones meteorológicas es poco significativa.

Tabla 31.

Coefficientes de determinación R^2 (Pearson) en el primer punto de monitoreo bloque A

Variables	Temperatura	Radiación	Velocidad del viento
Cobre	0.000	0.020	0.117
Cromo	0.163	0.010	0.048
Cadmio	0.061	0.124	0.066
Cobalto	0.003	0.123	0.001
Plomo	0.015	0.029	0.000

Nota. La presente tabla establece las posibles relaciones que pueden existir entre los metales y las variables de condiciones meteorológicas. Elaborado por: Autoras.

Tabla 32.

Coefficientes de determinación R^2 (Pearson) en el segundo punto de monitoreo bloque G.

Variables	Temperatura	Radiación	Velocidad del viento
Cobre	0.056	0.036	0.000
Cromo	0.000	0.001	0.057
Cadmio	0.026	0.085	0.045
Cobalto	0.098	0.053	0.113
Plomo	0.084	0.134	0.009

Nota. La presente tabla establece las posibles relaciones que pueden existir entre los metales y las variables de condiciones meteorológicas. Elaborado por: Autoras.

Tabla 33.

Coefficientes de determinación R^2 (Pearson) en el tercer punto de monitoreo bloque H.

Variables	Temperatura	Radiación	Velocidad del viento
Cobre	0.041	0.112	0.002
Cromo	0.000	0.349	0.039
Cadmio	0.088	0.072	0.017
Cobalto	0.023	0.005	0.001
Plomo	0.063	0.262	0.029

Nota. La presente tabla establece las posibles relaciones que pueden existir entre los metales y las variables de condiciones meteorológicas. Elaborado por: Autoras.

4.5.2. Concentración de Iones Sulfato vs. Condiciones Meteorológicas

Haciendo referencia a las tabla 34 se visualiza que existe correlación débil a moderada entre las concentraciones iones sulfatos y las variables meteorológicas de los 3 bloques en los cuales se realizó muestreo, debido a que según Pearson los valores entre 0.10 a 0.50 se consideran como una correlación entre débil a moderada.

Tabla 34.

Coefficientes de determinación R^2 (Pearson) para iones sulfato en los tres puntos de muestreo.

		ANÁLISIS 1		ANÁLISIS 2	
Bloques	Variables	SULFATO	Variables	SULFATO	
	Temperatura	0.574	Temperatura	0.013	
Bloque A	Radiación	0.106	Radiación	0.425	

		ANÁLISIS 1		ANÁLISIS 2	
Bloques	Variables	SULFATO	Variables	SULFATO	
	Velocidad	0.567	Velocidad	0.100	
	Temperatura	0.761	Temperatura	0.184	
Bloque G	Radiación	0.449	Radiación	0.313	
	Velocidad	0.779	Velocidad	0.011	
	Temperatura	0.151	Temperatura	0.106	
Bloque H	Radiación	0.003	Radiación	0.376	
	Velocidad	0.075	Velocidad	0.002	

Nota. La siguiente tabla indica la posible relación entre la concentración de iones sulfatos y las variables meteorológicas. Elaborado por: Autoras.

4.6. Prueba de Hipótesis

Se evidencia el cumplimiento de la hipótesis nula (H_0), ya que las concentraciones de los metales y los sulfatos no superan los límites máximos permisibles descritos tanto en la normativa nacional como en la internacional.

Tabla 35.

Límites máximos permisibles con relación a las concentraciones calculadas de metales pesados y sulfatos.

Contaminantes	Límites máximos permisibles (ppm)	Concentraciones calculadas (ppm)
Cu	0.0038	0.002

Contaminantes	Límites máximos permisibles (ppm)	Concentraciones calculadas (ppm)
Cr	---	0.00004
Cd	0.0004	0.00004
Co	0.008	0.003
Pb	0.0002	0.00011

Contaminantes	Límites máximos permisibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentraciones calculadas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Sulfatos	187.5	69.67

Nota. La presente tabla demuestra que las concentraciones calculadas por nuestra autoría se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en normativas nacionales e internacionales. Elaborado por: Autoras.

4.7.Discusión

Tomando en cuenta los análisis en los cuales se evidencia la presencia de metales con mayores concentraciones como cromo ($1.4437 \mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 0.00068 \text{ ppm}$), cadmio ($0.0423 \mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 0.000009 \text{ ppm}$) y plomo ($3.5486 \mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 0.00042 \text{ ppm}$) además como metal no detectado está el cobalto (Quijano et al., 2013), comparando con los análisis realizados en investigación de nuestra autoría se evidencia una diferencia considerable ya que los resultados reflejan que si hay presencia de concentraciones de plomo (0.00011 ppm, cobalto (0.003 ppm), cobre (0.002 ppm), mas no de cromo (0.00004 ppm) y cadmio (0.00004 ppm), estos datos son resultado de las sumatorias de las medias mismas que se dividen para los 80 días de muestreo en los tres puntos descritos.

Por lo cual se establece que la presencia de metales en el aire depende en su mayoría de los lugares en donde se realiza el muestreo de estos, considerando las fuentes que pueden emitir metales pesados al aire.

De acuerdo con (Noriega et al., 2008) la concentración de plomo en el sur de la ciudad en el año 2008 es de $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (equivalente a 0.0010 ppm), sin embargo, la concentración de plomo en la actualidad (2022) es de $2.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (equivalente a 0.00030 ppm) en promedio de los puntos de muestreo en la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, lo que representa 55.61% de disminución de la concentración en el año 2008. De lo mencionado anteriormente se puede atribuir a la implementación de pico y placa para disminuir el tránsito vehicular masivo de Quito, también por mayor concientización ambiental aplicando planes de gestión ambiental para reducir la emisión de contaminantes. En la actualidad, la sociedad se inclina hacia una alternativa favorable al ambiente como es el uso de transporte ecológico (bicicletas, motos y automóviles eléctricos), ya que no aportan con emisiones de gases tóxicos que afectan al ambiente

El plomo catalogado como un metal de alto índice de contaminación, representó un problema a nivel mundial. En 1921, General Motors descubrió que el tetraetilo de plomo evitaba el golpeteo del motor de los vehículos, pero se ignoró la repercusión que tenía tanto en la salud humana como en el ambiente. El 1 de febrero de 1923, tres empresas estadounidenses en conjunto crearon Ethyl Corporation con la finalidad de generar plomo tetraetílico e introducirlo como un aditivo en el combustible.

En 1923, inició la producción a escala comercial del tetraetilo de plomo. Tras analizar las elevadas cantidades de plomo en el ambiente (que aún siguen presentes debido a que nunca se va) se determinó que el 90% de este metal provenía de tubos de escape de automóviles, lo cual iba de

la mano con el elevado índice de envenenamiento y muerte que se presentaba en los trabajadores de Ethyl Corporation, por ello, en 1970 se aprobó la Ley de aire limpio consiguiendo erradicar completamente el combustible con aditivos de plomo en Estados Unidos en el año de 1986. (Bill Bryson, 2003)

Petroecuador desmontó la planta de tetraetilo de plomo que cesó su funcionamiento durante 15 años en la refinería Esmeraldas. El tetraetilo de plomo se utilizó en Ecuador, hasta el año 1997 con la finalidad de elevar el octanaje del combustible y como compuesto antidetonante. (El Telégrafo, 2013)

Finalmente, en 2021, Argelia elimina la gasolina con plomo, siendo el último país del mundo en dejar de suministrar gasolina con plomo. (Antonio Cerrillo, 2021)

Para entender las concentraciones de iones sulfato del punto de muestreo de bloque G debemos conocer las características de este mismo punto, ya que su ubicación geográfica está cerca de una de la calle principal (Av. Moran Valverde) y al tener un gran flujo vehicular provocará mayor emisión de iones sulfato, se utiliza combustible y aceites lubricantes determinándose como fuentes principales de emisión de dichos iones.

Según la bibliografía (Zegarra et al., 2020), la temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y ambos tipos de radiación solar no presentaron un comportamiento definido con las concentraciones de los contaminantes. Las concentraciones de los metales pesados presentaron correlaciones poco significativas con las variables meteorológicas. En comparación con los datos analizados de nuestra autoría debido a que las concentraciones de los metales son mínimas no se consideran datos significativos para obtener un análisis de correlación óptimo, por lo cual la

correlación entre las concentraciones de metales pesados y las variables meteorológicas son poco significativas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En conclusión, se realizó la caracterización química de material particulado 2,5, evidenciándose la presencia de metales pesados, tales como Plomo (0.00011 ppm), Cobalto (0.003 ppm), Cobre (0.002 ppm), Cromo (0.00004 ppm), Cadmio (0.00004 ppm) y finalmente la concentración de iones sulfato es de ($69.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$), destacando que el metal de mayor concentración dentro de las muestras de PM 2.5 es el Plomo, debido a que es un componente principal para la mejora de octanaje de los combustibles fósiles, a su vez, la combustión de gasolina es una de las principales fuentes de contaminación del aire. Por el contrario, se evidencia una mínima concentración de metales como Cromo (Cr) y Cadmio (Cd).

Basado en el método de correlación de Pearson, podemos definir que no existe una correlación positiva entre las condiciones meteorológicas analizadas en este trabajo experimental como son temperatura, velocidad de viento y nivel de radiación con respecto a la concentración de los metales analizados como son Cobre (Cu), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Plomo (Pb) e iones sulfato.

5.2. Recomendaciones

Para un correcto análisis mediante el equipo de espectrofotometría de absorción atómica se debe tener en consideración que los rangos de correlación deberían estar aproximados a 0.99 para que el proceso sea de mayor confiabilidad, de esta manera se evitara un margen de error elevado en los resultados, generando una investigación de mayor precisión.

Utilizar una metodología acreditada internacionalmente la cual cuente con un correcto procedimiento para que la digestión de la muestra y sus componentes sea adecuada.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2004). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2021). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)* .
<https://Espanol.Epa.Gov/Espanol/Conceptos-Basicos-Sobre-El-Material-Particulado-Pm-Por-Sus-Siglas-En-Ingles>.
- Agencia de protección ambiental (EPA). (2012). *Air Quality Index (AQI)*.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-05/documents/zell-aqi.pdf>
- Agency for toxic substances and disease registry. (2008). *Case studies in environmental medicine (CSEM) chromium toxicity* . <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/chromium/docs/chromium.pdf>
- Alfonso Quijano, Saury Thomas, & Belisario Peña. (2013). Determinación de metales y material particulado PM 2.5 en muestras del aire de Villa del Rosario-Norte de Santander. *Revista de La Facultad de Ciencias Básica*, 49.
https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/download/847/545
- Análí Machado, Neyma García, César García, Lorena Acosta, Alberto Córdova, María Linares, Debora Giraldoth, & Harvi Velásquez. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista Internacional Contaminación Ambiental.*, 179.
- Antonio Cerrillo. (2021). El mundo dice adiós a la gasolina con plomo, peligrosa amenaza para la salud. *La Vanguardia*.
<https://www.lavanguardia.com/natural/contaminacion/20210830/7688776/adios-gasolina-plomo-gran-amenaza-salud.html#:~:text=El%20a%C3%B1o%202021%20marca%2C%20pues,agua%20potable%20y%20los%20cultivos>

- Arciniégas Suárez, C. A. (2011). *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable pm 10 **.
<http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Berghof Products. (n.d.). *Application Report Microwave Pressure Digestion Environment V 6.0 Application Report speedwave four / Environment*. <http://www.berghof-instruments.de>
- Bill Bryson. (2003). Una breve historia de casi todo. In *El plomo, los clorofluorocarbonos y la edad definitiva de la Tierra* (pp. 131–140).
https://mestreacasa.gva.es/c/document_library/get_file?folderId=500016765227&name=DLFE-1134538.pdf
- Campos, X. (2020, December 22). *Método de referencia para la determinación de plomo (Pb) en el material particulado suspendido, recolectado del aire ambiente*.
<https://prezi.com/p/thk8v7hlxsbz/metodo-de-referencia-para-la-determinacion-de-plomo-pb-en-el-material-particulado-suspendido-recolectado-del-aire-ambiente/>
- CeMCAQ. (n.d.). *Material particulado*. Retrieved June 16, 2022, from
<http://aire.cemcaq.mx/material-particulado/>
- Departamento de Medicina Legal, T. y Psiquiatría. (n.d.). *Determinación de metales por absorción atómica - horno de grafito*. Retrieved June 23, 2022, from
<https://www.ugr.es/~fgil/proyecto/grafito/fundamento3.html>
- El Telégrafo. (2013, February 19). *Petroecuador desmontó planta en desuso de tetraetilo de plomo de la Refinería de Esmeraldas*.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/petroecuador-desmonto-planta-en-desuso-de-tetraetilo-de-plomo-de-la-refineria-de-esmeraldas>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia – UNICEF Ecuador. (2019). *El aire que respiramos*. www.unicef.org/ecuador
- HANNA instruments. (n.d.). *Fotometría*. Retrieved June 23, 2022, from
<https://www.hannainst.es/blog/124/fotometria>

- Herrera, J., Rojas, J. F., Martínez, M., Avard, G., de Moore, M., Sáenz, W., Beita, V. H., Rodríguez, A., & Agüero, A. (2014). Comparación de la composición química de partículas PM10 y PM2,5 colectadas en ambientes urbanos y zonas volcánicas del área metropolitana de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 1(48). <https://doi.org/10.15359/rca.48-2.5>
- IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y E. A. (n.d.). *Radiación solar*.
- Instituto de Hidrología, M. y E. A.-I. (2012). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del aire (Versión 1,00)*. <http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/35-HM+%C3%8Dndice+calidad+aire+3+FI.pdf/6c0c641a-0c9a-430d-9c37-93d3069c595b>
- Instituto de hidrologia meteorologia y estudios ambientales –IDEAM. (2019). *Glosario meteorológico instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM*. <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>
- Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo. (2019). *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España*. <https://www.insst.es/documents/94886/188493/L%C3%ADmites+de+exposici%C3%B3n+profesional+para+agentes+qu%C3%ADmicos+2019/7b0b9079-d6b5-4a66-9fac-5ebf4e4d83d1>
- Jorge Dagnino. (2014). *Correlación*. 150–151. http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf
- Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., Giraldoth, D., & Velásquez, H. (2008). *Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular*.
- Ministerio del ambiente. (2011). *Norma ecuatoriana de calidad del aire*. http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica, G. de E. (2007). *Cu (cobre y compuestos)*.

- Mónica Salas, Carolina Mohamed, & César Romero. (2015). *Soluciones en química y sus aplicaciones prácticas*.
- Ondarse Álvarez, D. (2021, July 15). *Aire*. <https://concepto.de/aire/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021, September 22). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Paco Noriega, Alessandro Medici, Antón Murillo, J. B., Fernando Haro, & Galo Galecio. (2008). *Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores*. 20.
- Quijano Parra, A., Parra Hernandez, M., & Hernandez Hernandez, M. (2015). *Composición del material particulado-PM 2.5 del aire de Cucuta-Colombia: cuantificación de hidrocarburos aromáticos policíclicos*.
https://www.academia.edu/70958620/Composici%C3%B3n_del_material_particulado_PM_2_5_del_aire_de_Cucuta_Colombia_Cuantificaci%C3%B3n_de_Hidrocarburos_Aromaticos_Policiclicos
- Resolución ambiental, 2 (2001).
<http://www.ideam.gov.co/documents/41590/42475/inmision.pdf/1bdc2723-3bfc-4bb8-90c8-00c9bc169b16>
- Ronny Zegarra, Susana Andrade, Mayra Parra, Danilo Mejía, & Claudia Rodas. (2020). *Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca*.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/3036>
- Secretaría de Ambiente. (2015). *Índice de calidad de aire (IQCA)*. www.quitoambiente.gob.ec,
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, G. de M. (2018, June 16). *Fuentes de contaminación atmosférica*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>

Secretaria del Ambiente. (2011). *Norma ecuatoriana de calidad del aire.*

http://quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf

Servicio de salud pública agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2004).

Cobalto (Co) CAS # 7440-48-4 división de toxicología ToxFAQs TM.

https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts33.html

TISCH Environmental. (2019). *Muestreador de aire de bajo volumen PM2.5.*

7. ANEXOS

Anexo 1.

Disco giratorio portador de muestras del equipo EAA.



Anexo 2.

Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica.



Anexo 3.

Equipo muestreador de aire de Alto Volumen (Hi-Vol).



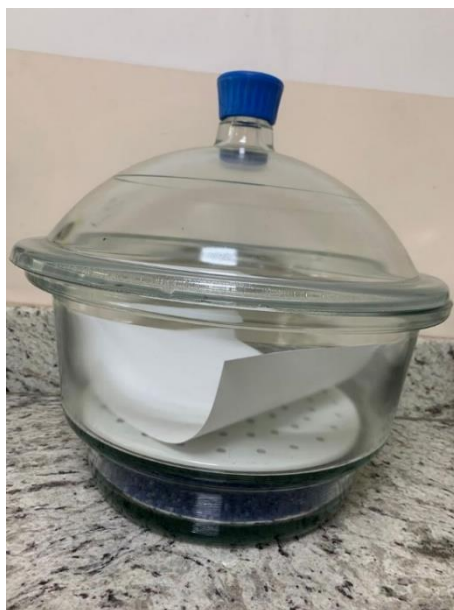
Anexo 4.

Estufa



Anexo 5.

Desecador con esferas de sílica gel.



Anexo 6.

Balanza analítica.



Anexo 7.

Sorbona.



Anexo 8.

Microondas digestor.



Anexo 9.

Recipientes de digestión.



Anexo 10.

Equipo de filtración y bomba de vacío.



Anexo 11.

Almacenamiento de muestras en frascos ámbar



Anexo 12.

Destilador de agua tipo 1.



Anexo 13.

Destilador de ácido.



Anexo 14.

Fotómetro multiparámetros.



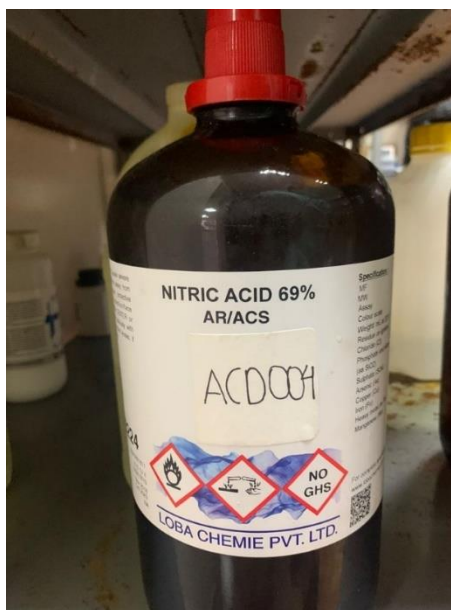
Anexo 15.

Ácido nítrico destilado.



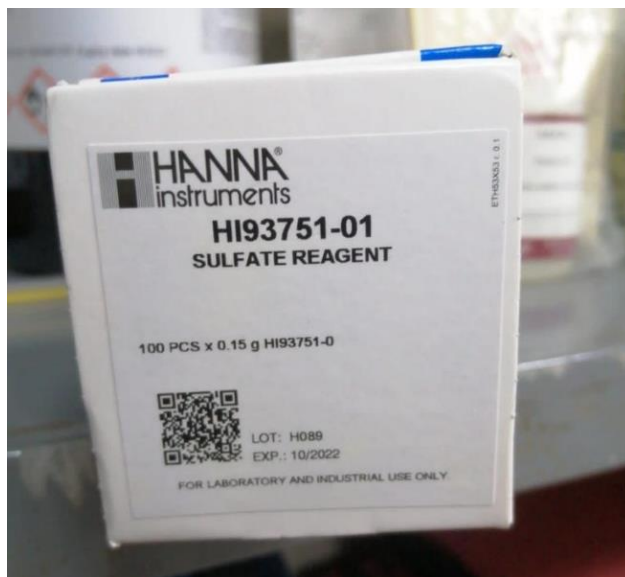
Anexo 16.

Ácido nítrico al 69%.



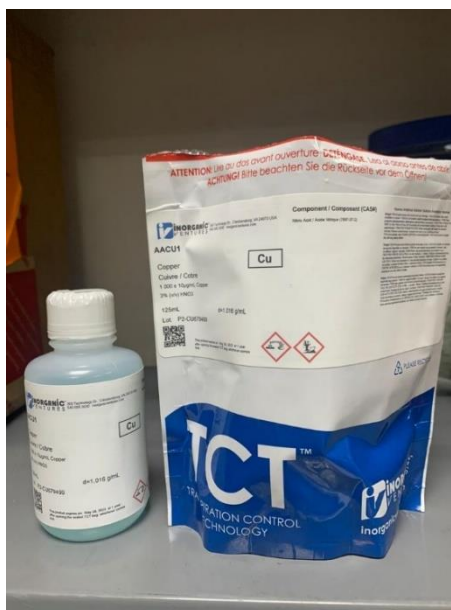
Anexo 17.

Reactivo sulfato.



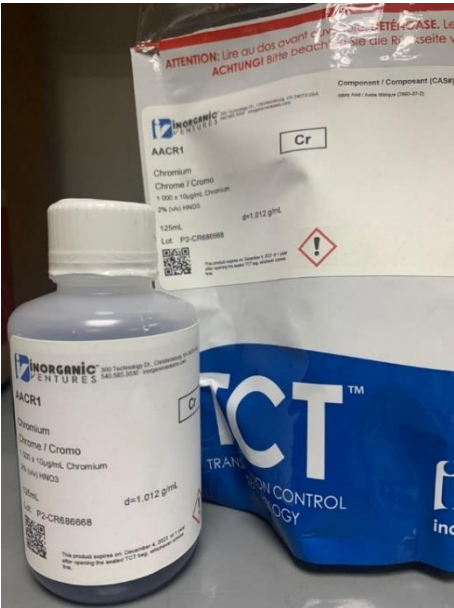
Anexo 18.

Estándar para Cobre.



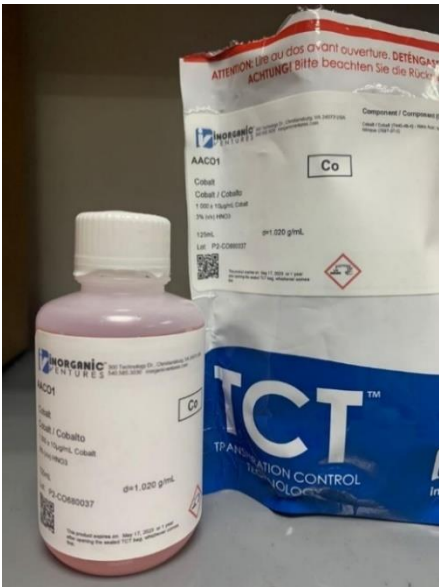
Anexo 19.

Estándar para Cromo.



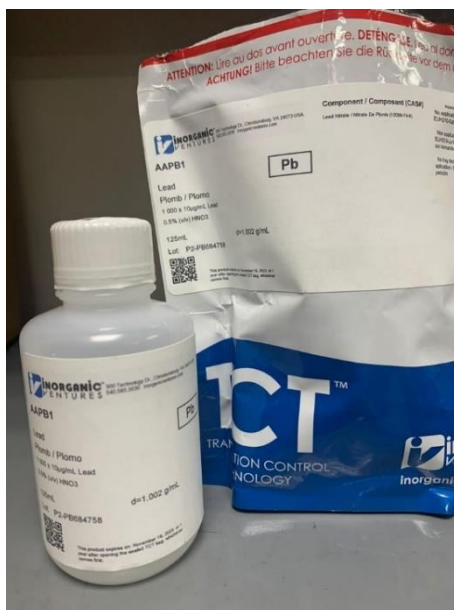
Anexo 20.

Estándar para Cobalto.



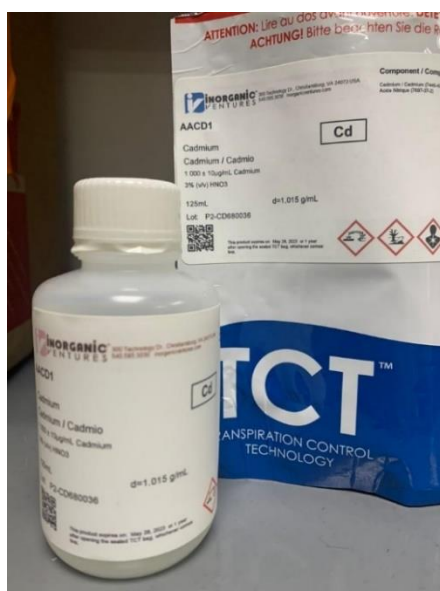
Anexo 21.

Estándar para Plomo.



Anexo 22.

Estándar para Cadmio.



Anexo 23.

Pipetas.



Anexo 24.

Vasos de precipitación.



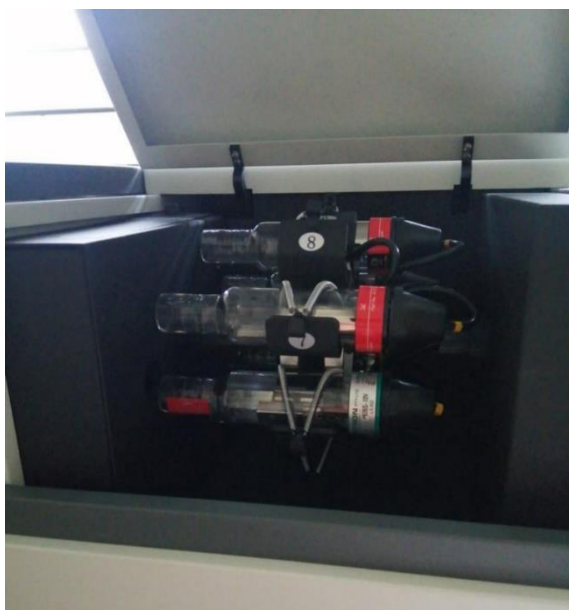
Anexo 25.

Filtros de celulosa para PM 2.5.



Anexo 26.

Lámparas para análisis de metales del equipo de EAA.



Anexo 27.

Metodología para la digestión de papel.

Application Report		speedwave four / Environmen				
MICROWAVE DIGESTION OF SHREDDED PAPER						
Summary	Shredded paper is digested in an acid solution using a Berghof microwave digestion system.					
Equipment	Type	Manufacturer				
	speedwave four	Berghof Products + Instruments, Germany				
	DAP-60+	Berghof Products + Instruments, Germany				
Reagents	HNO ₃ 65%	10 ml				
Procedure	Weigh 500 mg of the sample into the digestion vessel and add 10 ml of nitric and shake the mixture carefully or stir with a clean teflon or glass bar. Wait at least 10 minutes before the vessel is closed. Heat in the microwave oven with the following program.					
Temperature Program	Step	1	2	3	4	5
	T [°C]	150	170			
	P [bar]	40	40			
	Power [%]	70	80			
	Ta [min.]	5	1			
	Time [min]	5	5			
<small>To avoid foaming and splashing wait until the vessels have cooled to room temperature (about 20 min). Carefully open the digestion vessel in a fume hood wearing hand, eye and body protection since a large amount of gas will be produced during the digestion process.</small>						