



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**COMPARACIÓN DE MEDICIONES DE PM 2,5 Y CALIDAD DE AIRE EN LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA MEDIANTE DATOS OBTENIDOS
POR EQUIPO DE ALTO VOLUMEN, UN SENSOR DE BAJO COSTO Y LA
ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE GUAMANÍ**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: ANDREA CELESTE INTRIAGO SANDOVAL

TUTOR: CARLOS ANDRÉS ULLOA VACA

Quito - Ecuador

2023

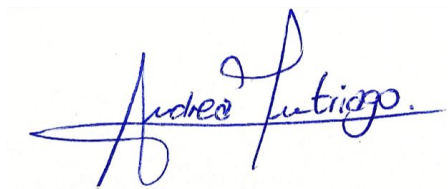
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Andrea Celeste Intriago Sandoval con documento de identificación N°
1315998367 manifiesto que:

Soy la autora responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 14 de Septiembre del año
2023

Atentamente,



Andrea Celeste Intriago Sandoval
1315998367

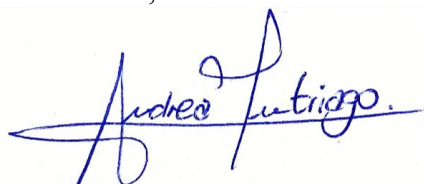
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Andrea Celeste Intriago Sandoval con documento de identificación No. 1315998367, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo Experimental: “Comparación de mediciones de PM 2,5 y calidad de aire en la Universidad Politécnica Salesiana mediante datos obtenidos por equipo de alto volumen, un sensor de bajo costo y la Estación de Monitoreo Atmosférico de Guamaní”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 14 de Septiembre del año
2023

Atentamente,



Andrea Celeste Intriago Sandoval
1315998367

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: COMPARACIÓN DE MEDICIONES DE PM 2,5 Y CALIDAD DE AIRE EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA MEDIANTE DATOS OBTENIDOS POR EQUIPO DE ALTO VOLUMEN, UN SENSOR DE BAJO COSTO Y LA ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE GUAMANÍ, realizado por Andrea Celeste Intriago Sandoval con documento de identificación N° 1315998367, 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, 14 de septiembre del año
2023

Atentamente,



Bioq. Carlos Andrés Ulloa Vaca, M.Sc
1716457971

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Cathy y Douglas quienes de alguna u otra manera han estado presentes en toda mi carrera profesional siendo ellos un ejemplo de perseverancia y lucha personal, profesional y laboral.

A mis hermanos Shady y Didy a quienes quiero inculcarles que el camino no es facil pero con perseverancia y mucho amor a lo que uno elige realizar se pueden lograr grandes objetivos, y sobre todo que cualquier meta que se sueñen la pueden cumplir si confian en si mismos.

A mi esposo Ricky, fuiste un apoyo muy importante durante esta etapa y durante los 11 años que hemos vivido una montaña rusa juntos, porque aun estando a 3793Km de distancia nunca dejaste de confiar en mí, tú sabias que yo lo iba a lograr, gracias por no soltar mi mano.

Y a mi Mamita Jonita mi ángel, un poquito tarde mamita, pero logre cumplir tu deseo una profesional más en la familia, espero que de donde me veas te sientas orgullosa de mí.

Andrea Celeste Intriago Sandoval

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por los conocimientos brindados, no solo por ser maestros si no también guías en este camino estudiantil y profesional

Al Bioq. Carlos Andrés Ulloa tutor del presente trabajo experimental por su paciencia, conocimientos y amistad brindada durante todos mis años de carrera.

Y sobre todo quiero agradecerte a ti querida Andy por no darte por vencida y seguir luchando para obtener tu título profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Problema	3
1.2 Antecedentes	5
1.3 Justificación	6
1.4 Línea Base	7
1.4.1 Ubicación	7
1.5 Pregunta de la investigación	8
1.6 Objetivos	8
1.6.1 Objetivo General.....	8
1.6.2 Objetivo Específico	8
1.7 Hipótesis	9
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
2.1 Atmósfera Terrestre	10
2.2 Aire	10
2.3 Contaminación del aire	10
2.4 Fuentes de contaminación del aire	10
2.4.1 Por su origen.....	10
2.4.2 Por su estado físico.....	11
2.4.3 Por su Naturaleza Química	11
2.5 Emisiones de combustión	11
2.6 Material Particulado	11
2.7 Material Particulado 2,5 (PM 2,5)	11
2.8 Material Particulado 10 (PM 10)	12
2.9 Monitoreo de emisiones	12
2.9.1 Tecnología y técnicas para monitoreo de emisiones.....	12
2.9.1.1 Sensores.....	12
2.9.2 Utilización de sensores Bajo Costo	12
2.10 Control de emisiones	12
2.11 Calidad de aire Organización Mundial de la Salud OMS	12
2.11.1 Parámetros de Calidad de Aire por la OMS	13
2.12 Normativa Calidad de Aire en Ecuador	14
2.13 Índice Calidad de Aire	14
2.14 Muestreador High-Volumen	15
2.15 Red de Monitoreo Atmosférico de DMQ	15
2.16 Meteorología	15
2.16.1 Temperatura	16
2.16.2 Humedad	16
2.16.3 Presión Atmosférica.....	16
2.16.4 Viento	16
2.16.5 Radiación	16
2.16.6 Nubosidad.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17

3.1 Materiales	17
3.1.1 Monitoreo y Pesaje.....	17
3.2 Fase de Campo	18
3.2.1 Monitoreo y Obtención de datos PM2,5	18
3.2.2 Metodo Gravimetrico para determinación de PM2,5	19
3.3 Fase Estadística	20
3.3.1 Diseño Experimental.....	20
3.3.1.1 Sensor Bajo Costo	20
3.3.1.2 High-Volumen.....	21
3.3.1.3 Estación Atmosférica de Guamaní.....	22
3.3.2 Diseño Estadístico.....	22
3.3.2.1 Analisis estadísticos descriptivo: Se obtiene el promedio, desviación estándar, medianas de PM 2,5 entre los tres métodos aplicados sensor bajo costo, High-volumen y estacion atmosférica.....	22
3.3.2.2 Analisis estadístico correlacionar: Se realizó relaciones entre las diferentes condiciones meteorológicas (temperatura y humedad relativa) entre los tres métodos aplicados sensor bajo costo, High-volumen y estacion atmosférica. Para esto se utilizó la formula de PEARSON por medio de la calidad de aire IQ.	23
3.3.2.2.3 Cálculo de varianza (ANOVA)	24
3.3.2.2.3 Cálculo de la prueba de TUKEY.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 Sensor Bajo Costo EC_QUITO_SALESIANA_SUR_6d5984.	25
4.1.1 Material Particulado PM 2,5.....	25
4.1.2 Índice Calidad de Aire	27
4.2 Concentración PM 2,5 High-Volumen	28
4.3 Concentración de PM 2,5 Estación de Monitoreo de Guamaní	31
4.4 Relación de comparacion Sensor Bajo Costo, High Volumen y Estacion de Monitoreo	32
4.5 Discusión	33
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
5.1 Conclusiones	34
5.2 Recomendaciones	34
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35
7. ANEXOS.....	39
ANEXO A: Instalación Sensor Bajo Costo en la Puerta Principal Bloque A de la Universidad Politécnica Salesiana.	39
Figura 1 Parámetros de calidad de aire por la OMS	13
Figura 2 Fuentes emisoras de PM10 Y PM2,5	13
Figura 3 Niveles del ICA	14
Figura 4 Ubicación del sensor en mapa digital.....	19
Figura 5 Monitoreo aire ciudadano.....	21
Figura 6 Materiales Hi-Vol.....	22
Figura 7 Concentraciones diarias PM 2,5	26
Figura 8 ICA Universidad Politécnica Salesiana.....	28
Figura 9 Comparación relación Concentración PM2,5 por tres métodos	32
Figura 10 Comparación estadistica entre los métodos bajo ANOVA/TUKEY.....	33

Tabla 1 Concentración de contaminantes según periodo de tiempo.....	14
Tabla 2 Equipos para el monitoreo y pesaje de PM2,5.....	17
Tabla 3 Materiales para la medición de PM2.5	18
Tabla 4 Plataformas	18
Tabla 5 Especificación Puntos de Monitoreo	18
Tabla 6 Concentraciones medias diarias PM 2.5 EC_QUITO_SALESIANA_SUR_6d5984.	25
Tabla 7 Resultados Monitoreo Sensor	26
Tabla 8 Calculos ICA Sensor Bajo Costo.....	27
Tabla 9 Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2.5	28
Tabla 10 Concentracion PM 2,5 Estacion de Monitoreo	31
Ecuación 1 Peso Real del filtro en el High-Volumen.....	21
Ecuación 2 Concentración PM 2,5.....	21
Ecuación 3 Promedio	22
Ecuación 4 Mediana.....	23
Ecuación 5 Desviacion Estandar.....	23
Ecuación 6 Coeficiente Pearson.....	23
Ecuación 7 Indice Calidad del Aire	24

RESUMEN

En la investigación presentada a continuación, se realizó la relación de comparación de datos obtenidos mediante tres métodos de monitoreo: Sensor bajo costo, High-Volumen y Estación de Monitoreo de Guamaní en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur.

Los puntos de Monitoreo fueron elegidos estratégicamente debido a la gran concentración vehicular y peatonal. El estudio se realizó en un periodo trimestral desde abril a junio tomando datos durante 7 horas 5 días a la semana.

Por medio de este estudio se obtuvo datos como el promedio, punto medio, punto máximo, desviación estándar para posteriormente realizar las comparaciones necesarias.

Tras la obtención y tratamiento de los datos por los tres métodos al realizar la Inter comparación, se pudo concluir que la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de material particulado PM 2,5 detectado por la estación de Guamaní y el sensor de bajo costo instalado en la Universidad Politécnica Salesiana campus Sur son semejantes en cuanto a medición de concentración de Material Particulado y de esta forma constatamos que la utilización de un sensor bajo costo es de gran ayuda para validar datos

Así mismo pudimos contrastar los cambios de concentración que se evidencian dentro de los puntos de monitoreo ya sea por causas físicas, químicas o ambientales.

Palabras Clave: PM 2,5, Sensor Bajo Costo, High- Volumen.

ABSTRACT

In the present investigation, a comparison of data obtained by three low-cost sensor monitoring methods, High-Volume and Guamaní Monitoring Station at the Universidad Politecnica Salesiana, Sede Quito, Campues Sur, was carried out, the monitoring points were strategically chosen due to the high vehicular and pedestrian concentration.

The study was carried out in a period of three months from April to June taking data during 7 hours 5 days a week. by means of this study we obtained data such as the average, midpoint, maximum point, standard deviation to later make the necessary comparisons. after obtaining the necessary amount of data to make the necessary comparison between the three monitoring methods and obtain the results studied.

It was possible to conclude the concentration of particulate matter PM 2,5 present in the Salesian Polytechnic University and also to know which of the three methods is better in its use for future studies. likewise we could see the changes in concentration that are evident within the monitoring points either by physical, chemical or environmental causes.

Keys words: PM 2,5, Low-Cost Sensor, High-Volumen

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

Entre los años 1750 y 1800 llega a Inglaterra el diseño de procesos productivos bajo la utilización de energía y maquinaria para fabricar productos que procedían de una fuente diferente a la natural, a este proceso se lo conoció como Revolución Industrial. La contaminación del aire es un problema que se examinó hace varios años, sin embargo, las medidas necesarias para hacer frente a este problema fueron escasas (García, 2015). Una consecuencia que el Reino Unido tuvo que asumir debido a un evento por la quema excesiva de combustibles fósiles llamado la Gran Niebla de Londres propulsor del uso industrial que ocurrió en diciembre 1952. Pasaron 18 años después, hasta que en 1970 se publicó por primera vez los Estándares Nacionales de Calidad de Aire en el Continente Americano específicamente en Estados Unidos, conocidos con las siglas NAAQS, los estándares fueron efectuados desde el año 1971 hasta el año 1976, los mismos que están revisados y actualizados constantemente para prevenir catástrofes ambientales y mejorar la calidad del aire.

A pesar de existir esta iniciativa, el daño ambiental derivado de la contaminación del aire es afrontado a pasos lentos, ya que no se ha conseguido que a nivel mundial se pueda erradicar este problema, no obstante, algunas ciudades se han propuesto crear medidas y leyes para mejorar la calidad del aire mediante la utilización de herramientas digitales y análisis de laboratorios que permiten conocer el porcentaje de contaminación de diferentes elementos tóxicos y la fuente de generación. Los contaminantes con mayor criterio de contaminación (PM_{10} , $PM_{2,5}$, ozono, CO_2 , CO, Metano) son generados en gran cantidad por las industrias, maquinarias de transporte y sector ganadero, siendo estas áreas las principales responsables del cambio y destrucción ambiental, así como también problemas de salud. Los problemas de salud son causados por la exposición a estas partículas. Múltiples estudios científicos vincularon la contaminación por partículas a una variedad de problemas, que incluyen: muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas, pulmonares y respiratorias, entre otros (EPA, 2022).

En Ecuador se recalca el trabajo público realizado por el Municipio de Quito el mismo que ha implementado nueve estaciones de monitoreo fijo y en tiempo real. Consiguiendo de este modo datos de los contaminantes comunes del aire y que son comparados con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (Pérez, 2012).

1.2 Antecedentes

En el Distrito Metropolitano de Quito DMQ la contaminación del aire se ha considerado como un problema crítico dentro de la ciudad y de gran importancia investigativa como tema ambiental y de salud pública. La entidad encargada de investigación, análisis y monitoreo atmosférico de Quito es la Secretaría de Ambiente, misma que anualmente da a conocer mediante informes los índices de calidad de aire.

El último informe elaborado en el año 2019, donde se resaltó lo siguiente: El estudio de la calidad del aire el año 2019, basado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), da a conocer que el 12% de los días del año el aire, se mantiene en condiciones deseables (bajo el 25% de NECA), el 78% se conserva en estado aceptable (bajo el 50% NECA), y apenas el 10% de los días, la calidad del aire se ha reportó como en estado de precaución (\geq al valor NECA) (Secretaria del Ambiente , 2019).

En este mismo informe se detalla que dentro de los episodios de precaución se encuentra dióxido de azufre, PM 10 y PM 2,5.

La OMS señala que la exposición a la contaminación del aire tiene un enorme impacto para la salud humana en todo el mundo: se calcula que la morbilidad por exposición causa cada año millones de muertes (OMS, 2021).

Al existir una gran circulación vehicular y presencia de industrias cercanas a la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, hace que el estudio realizado tenga importancia en el ámbito ambiental y de salud pública de la ciudad.

1.3 Justificación

La presente investigación se orientó en el estudio de las concentraciones y mediciones de PM 2,5 con la aplicación de tres herramientas: un equipo de alto volumen, un sensor de bajo costo y la Estación de Monitoreo atmosférico del DMQ. Este trabajo permitió mostrar en el área de la Universidad Politécnica Salesiana la calidad de aire durante un periodo de estudio de 3 meses consecutivos.

El material particulado de un diámetro inferior a 2,5 unidades o también conocido como PM 2,5 se ha relacionado estrechamente con problemas de salud especialmente con enfermedades respiratorias, cardíacas, y otras que se siguen investigando. A la vez, el material particulado también provoca daños al medio ambiente ya que afecta a los entornos debido a que puede contener partículas de metales pesados, gases inorgánicos, compuestos orgánicos volátiles, que afecta a especies de organismos vivos, además el carbono negro que contiene presenta un forzamiento radiactivo positivo sobre el efecto invernadero que ocasiona calentamiento global y largo plazo, cambio climático (OMS, 2021).

En la realización del trabajo experimental mediante la utilización de herramientas actuales y modernas para la medición de calidad de aire y PM 2,5 se consideran de gran ayuda para para crear un avance en futuras investigaciones sobre contaminación atmosférica cercana al área de estudio actual y a su vez ayudar a crear trabajos sobre evaluación, mitigación y gestión de la calidad ambiental.

1.4 Línea Base

1.4.1 Ubicación

El presente trabajo de investigación tomó como referencia la estación de Red de Monitoreo Atmosférico de Guamaní ubicado en el extremo sur de la Ciudad de Quito a una altitud de 3066 m s.n.m un sensor de bajo Costo (Marca Sensirion, Modelo SEN5X) y un equipo Hi-Volumen (Marca HI-Q, Modelo PM2,5-5300 AFC) ubicados en el campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana a una altitud aproximada de 2850 m s.n.m, en los anexos se observa la ubicación satelital tanto de la Estación de Monitoreo Atmosférico, como de los sensores bajo costo y el Hi-Volumen.

1.5 Pregunta de la investigación

¿Se pueden obtener mediciones similares de concentración de PM 2,5 entre el sensor de bajo costo, el equipo de alto volumen ubicados en la UPS Campus Sur y la estación de monitoreo de la Red de Monitoreo atmosférico de Guamaní en la Ciudad de Quito?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Comparar las mediciones obtenidas de PM_{2,5} y calidad de aire utilizando equipo de alto volumen, un sensor de bajo costo y una estación de monitoreo de la Red de Monitoreo atmosférico de la Ciudad de Quito.

1.6.2 Objetivo Específico

- Monitorear la calidad del aire en la Universidad Politécnica Salesiana utilizando un sensor de bajo costo, equipo de alto volumen y la estación de monitoreo atmosférico de Guamaní durante un periodo de 3 meses.
- Identificar cuál de los 3 equipos de monitoreo a utilizar alcanza una mayor fiabilidad en la medición de PM_{2,5}.
- Determinar la concentración de PM_{2,5} presente en la Universidad Politécnica Salesiana en un periodo de 3 meses.

1.7 Hipótesis

Ho: El promedio de concentración de PM 2,5 obtenidas entre el sensor de bajo costo, el equipo de volumen alto y la red de Monitoreo atmosférico de Guamaní durante el monitoreo de abril 2023 a junio 2023 tienen un comportamiento similar.

Ha: El promedio de concentración de PM 2,5 obtenidas entre el sensor de bajo costo, el equipo de volumen alto y la red de Monitoreo atmosférico de Guamaní durante el monitoreo de abril 2023 a junio 2023 tienen un comportamiento diferente.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Atmósfera Terrestre

La atmósfera terrestre es un manto de aire que permanece rodeando a la Tierra a causa de su gravedad. La mayor parte de aire se concentra en esta, cuyo espesor es de alrededor de 10 km y se denomina tropósfera (Barragán Gómez & Núñez Trejo, 2007).

2.2 Aire

El aire está compuesto por: 78% Nitrógeno, 21% Oxígeno, 1% Argón, vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases y partículas que puede considerarse como contaminantes (Manual de educación Ambiental IV, 2018).

2.3 Contaminación del aire

Es la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, que afectan nocivamente la comodidad, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente (NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA DE FUENTES FIJAS (NT001), 2001).

2.4 Fuentes de contaminación del aire

La contaminación atmosférica se clasifica de acuerdo a su estructura, por su estado físico, por su origen o sus propósitos regulatorios y de gestión (Sosa, 2019).

Las fuentes de contaminación atmosférica son las siguientes:

2.4.1 Por su origen

2.4.1.1 Contaminantes Primarios: Son difundidos directamente hacia la atmósfera como resultado de un proceso natural o antropogénico. (Méndez,

López Castañares, & Figueroa, Daños a la salud por contaminación atmosférica, 2001).

2.4.1.2 Contaminantes Secundarios: Son aquellos que se forman en la atmósfera por ejemplo ozono y sulfatos (**Méndez, López Castañares, & Figueroa, Daños a la salud por contaminación atmosférica, 2001).**

2.4.2 Por su estado físico

2.4.2.1 Gases: Al difundirse permanecen en la atmósfera. Dentro de este grupo se encuentra también el vapor de agua siendo uno de los principales componentes de contaminación.

2.4.2.2 Partículas: Se las conoce por encontrarlas en estado líquidas o sólidas, polvo, humo y cenizas (**Méndez, López Castañares, & Figueroa, Daños a la salud por contaminación atmosférica, 2001).**

2.4.3 Por su Naturaleza Química

2.4.3.1 Orgánicos: Son los compuestos que contienen carbono e hidrógeno, por ejemplo, los hidrocarburos y sus derivados (**Méndez, López Castañares, & Figueroa, Daños a la salud por contaminación atmosférica, 2001).**

2.4.3.2 Inorgánicos: Se llama así a los compuestos que no contienen carbono, partículas metálicas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno (**Méndez, López Castañares, & Figueroa, Daños a la salud por contaminación atmosférica, 2001).**

2.5 Emisiones de combustión

Se conoce como la descarga de sustancias en la atmósfera. La emisión se describe a las concentraciones de descarga de sustancias derivadas de la combustión en fuentes fijas y móviles (NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA DE FUENTES FIJAS (NT001), 2001).

2.6 Material Particulado

Son partículas que se encuentran en estado líquido o sólido y se encuentran en suspensión en la atmósfera. El material particulado pueden ser de origen natural como son las esporas de hongos, polen de las plantas y efectos de erosión de los suelos (EPA, 2022).

En cuanto al proceso de formación de material particulado se tiene partículas primarias que son aquellas emitidas de forma directa a la atmósfera desde una fuente emisora, sin tener ninguna transformación física o química (Portal Ambiental de Andalucía, 2020).

2.7 Material Particulado 2,5 (PM 2,5)

El material particulado (PM_{2,5}) comprende “partículas inhalables finas que tienen diámetros de por lo general, 2,5 micrómetros y menores” (EPA, 2022).

Las partículas que corresponden a PM_{2,5} son “100 % respirables, rodeando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo” (Gil, 2008).

2.8 Material Particulado 10 (PM 10)

Es el material particulado respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida igual o inferior a los 10 µm o 10 micrómetros (Gil, 2008).

2.9 Monitoreo de emisiones

Es el proceso programado para recolectar muestras, verificar mediciones, y cumplir el registro de las emisiones de fuentes fijas, con el fin de dar cumplimiento a los límites de concentración de emisiones (NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA DE FUENTES FIJAS (NT001), 2001).

2.9.1 Tecnología y técnicas para monitoreo de emisiones

Existen métodos tradicionales normados como, por ejemplo, el método gravimétrico utilizando equipos Hi Vol.

Actualmente, las industrias y parque automotor utilizan laboratorios especialistas para medir la calidad del aire, estos generalmente utilizan la afinidad y el análisis de muestras empleando fenómenos físicos y químicos presentes en la atmósfera, que determinan la existencia de contaminantes que sobrepasen los límites permitidos.

2.9.1.1 Sensores

Los sensores de bajo costo se usan para delimitar puntos de muestreo de contaminación, identificar fuentes de contaminación, recolectar datos de monitoreo en sitios fijos, evaluar la exposición personal a los contaminantes, educar y perfeccionar la concienciación sobre la calidad del aire (Conner, Clements, & Williams, 2017).

2.9.2 Utilización de sensores Bajo Costo

Los sensores de bajo Costo son dispositivos que permiten identificar fuentes de contaminación, monitorear puntos fijos y/o móviles de muestreo, medir la exposición a contaminantes y obtener datos sobre la calidad de aire dentro de la localización del sensor.

2.10 Control de emisiones

Conjunto sistemático de equipos, elementos o maquinaria que se manipulan para el desarrollo de acciones designadas al logro de resultados cuantificables y verificables de disminución o mejoría de las emisiones atmosféricas generadas en una fase productiva (NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA DE FUENTES FIJAS (NT001), 2001).

2.11 Calidad de aire Organización Mundial de la Salud OMS

La OMS tiene como función efectuar medidas y directrices para desarrollar la calidad de vida y directamente mejorar la salud de la población a nivel mundial, es por este motivo que en el año de 1987 la Organización Mundial de la Salud publica su primera edición de las directrices sobre la calidad de aire.

Las directrices están relacionadas con la salud para ayudar a las entidades gubernamentales y a la población a disminuir la exposición humana a la contaminación del aire y sus efectos adversos (OMS, 2021).

El objetivo primordial de la creación de esta guía es brindar recomendaciones para la salud frente a la presencia a corto o largo plazo de Material Particulado PM 2,5, PM 10, ozono, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, entre otros contaminantes atmosféricos.

2.11.1 Parámetros de Calidad de Aire por la OMS

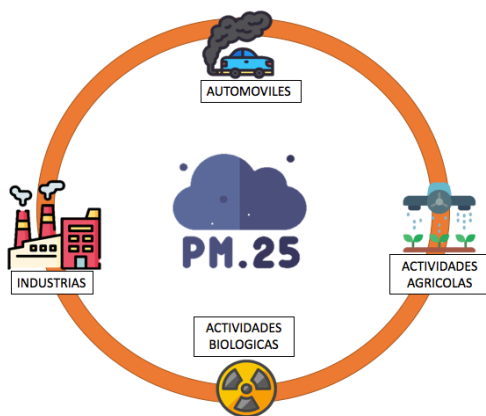
Figura 1
Parámetros Calidad de Aire por a OMS

CONTAMINANTE	TIEMPO PROMEDIO
$PM_{2,5}$ ug/m ³	Anual 24 horas
PM_{10} ug/m ³	Anual 24 horas

Nota: Tomado de (OMS, 2021)

Las partículas de PM 10 y PM 2,5 son producidas por la quema de desechos, generadoras de energía eléctrica a base de carbón; estas partículas en forma de polvo, humo y aerosoles son causantes de problemas mundiales de salud entre los cuales se encuentran enfermedades en el sistema respiratorio leves o crónicas, cáncer de pulmón, accidentes cardiovasculares ACV, e incluso la muerte causada por los problemas de salud antes mencionados.

Figura 2
Fuentes emisoras de PM10 Y PM2,5



Nota: La ilustración constituye los generadores naturales e industriales de Material Particulado a la salud y al ambiente.

Fuente: Realizado por Autora

2.12 Normativa Calidad de Aire en Ecuador

Dentro del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) registrado el 7 de junio del año 2011 en la sección Anexo 4 del Libro VI; se destaca el nivel aceptable para cada uno de los contaminantes como lo son: PM 2,5, PM10, Óxido de Nitrógeno (NO y NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO) y Ozono (O₃).

Tabla 1
Concentración de contaminantes según periodo de tiempo

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	ALARMA
Monóxido de carbono concentración promedio en ocho horas (µg/m ³)	15000	30000	40000
Ozono concentración promedio en ocho horas (µg/m ³)	300	600	800
Dióxido de nitrógeno concentración promedio en una hora (µg/m ³)	1200	2300	3000
Dióxido de azufre concentración promedio en veinticuatro horas (µg/m ³)	800	1600	2100
Material particulado PM10 concentración en veinticuatro horas (µg/m ³)	250	400	500
Material particulado PM2,5 concentración en veinticuatro horas (µg/m ³)	150	250	350

Nota: Los valores descritos de concentración se encuentran a condiciones de ambiente de 25 °C y 760 mm Hg.
Fuente: (MAATE, 2011)

2.13 Índice Calidad de Aire

El Índice de Calidad de Aire (ICA) expone los niveles de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, gracias a una extensa red de monitoreo que admite calcular un valor del índice diario para los contaminante (Área Metropolitana del Valle de Aburrá).

El ICA que va desde 0 a 300 se describe por medio de 6 niveles de contaminación que se muestran en la siguiente ilustración:

Figura 3
Niveles del ICA

ICA	CALIDAD DEL AIRE	PROTEJA SU SALUD
0-50	Buena	No se anticipan impacto a la salud cuando la calidad del aire se encuentra en este intervalo
51-100	Moderada	Las personas extraordinariamente sensitivas deben considerar limitación de los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.
101-150	Dañina a la salud de los grupos sensitivos	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.

151-200	Dañina a la salud	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre; las demás persona, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre.
201-300	Muy dañina a la salud	Los niños y adultos activos, y personas con enfermedades respiratorias tales como el asma, deben evitar los esfuerzos físicos excesivos y prolongados al aire libre; las demás persona, especialmente los niños, deben limitar los esfuerzos físicos excesivos al aire libre.
300+	Arriesgado	

Nota: Valores referenciales del ICA

Fuente: (Área Metropolitana del Valle de Aburrá)

2.14 Muestreador High-Volumen

Los muestreadores de aire de alto volumen son empleados para recoger partículas suspendidas en el aire. Estos son los muestreadores para material particulado con un diámetro menor de 10 μ m (PM10), material particulado de 2,5 μ m (PM2,5) y para material orgánico semivolátil (GARCIA LEA & MARTIN RIVERA, 2021).

2.15 Red de Monitoreo Atmosférico de DMQ

Dentro de la ciudad de Quito, se puede encontrar 9 estaciones de monitoreo atmosférico. La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico se encargan de registrar datos de los contaminantes atmosféricos en el aire y mostrar datos actualizados diariamente.

Las 9 estaciones se encuentran en:

- ✓ Cotocollao
- ✓ Carapungo
- ✓ Belisario
- ✓ Jipijapa
- ✓ El Camal
- ✓ Centro de Quito
- ✓ Guamaní
- ✓ Tumbaco
- ✓ Los Chillos

Los datos de concentración de PM2,5 utilizados en esta investigación se obtuvieron de la estación de monitoreo atmosférico de Guamaní (GUA), ubicada a una altitud de 2887 m s.n.m

2.16 Meteorología

La meteorología se encarga de estudiar y predecir varios fenómenos que se producen en la atmósfera, para comprender su funcionamiento, estructura y evolución (Euroinnova).

Entre los elementos que se estudian dentro de la meteorología tenemos:

- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad
- ✓ Presión Atmosférica
- ✓ Viento
- ✓ Radiación
- ✓ Nubosidad

2.16.1 Temperatura

La temperatura se considera un índice del nivel de calor que se transfiere de un cuerpo a otro con mínima temperatura (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

2.16.2 Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua adjunto en la atmósfera y el porcentaje mínimo y máximo que puede contener, si el porcentaje es 0% el aire está completamente seco, por el contrario, si la humedad se encuentra en 100% significa la presencia de formación de niebla (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

La ciudad de Quito registra una humedad anual del 75%

2.16.3 Presión Atmosférica

Fuerza ejecutada por el peso del aire-presión sobre la superficie de la tierra, de modo que, cuanto mayor es la altitud en correlación con el suelo, menor es la presión (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

2.16.4 Viento

El aire induce diferencias de presiones en múltiples lugares con una dirección y velocidad formada a lo cual se lo conoce como viento (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

2.16.5 Radiación

Es considerada como la recopilación de radiaciones electromagnéticas expuestas por el sol hacia la superficie terrestre (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

El DMQ al encontrarse situado en la línea ecuatorial provoca que sus rayos solares sean de forma perpendicular.

2.16.6 Nubosidad

Porción del cielo cubierta por nubes de un género, una especie, una dualidad o una capa dadas o por una composición particular de nubes (Andrades Rodriguez & Múñez León, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio realizado tuvo como metodología implementada la medición, recolección, comparación y análisis de los datos obtenidos de las tres herramientas como lo fueron un sensor de bajo costo PM 2,5 (Sensor de marca Sensirion modelo SPS30 para PM2,5), equipo de alto volumen y la estación de monitoreo atmosférico de Guamaní.

El trabajo se realizó durante los meses de abril a junio 2023 y estuvo desarrollado dentro del área de la Universidad Politécnica Salesiana sede Sur donde se ubicó el sensor de bajo costo PM 2,5 el mismo que pudo trabajar de forma móvil o fija mediante una fuente de carga y señal de internet.

El equipo de alto volumen ha sido transformado para llevar muestreo de partículas menores a 10 y 2,5 micrómetros. Estos ajustes consistieron en la construcción de un cabezal que fracciona las partículas para permitir únicamente el paso de aquellas con diámetros menores (Equipos de Monitoreo de calidad de Aire, 2018).

El ultimo equipo a utilizarse para la medición es la estación de monitoreo atmosférico de Guamaní la funciona dentro de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ). La estación atmosférica busca reproducir datos reales y confiables sobre los contaminantes atmosféricos presentes dentro de un territorio determinado.

Su proceso de medición se basa en Índice de Calidad del Aire, Air Quality Index (AQI) en inglés, es un índice empleado por varias agencias gubernamentales para medir e informar al público la calidad del aire. Muestra el grado de pureza o contaminación atmosférica y los efectos para la salud de la población relacionados con dicha contaminación (Kasetsu).

3.1 Materiales

3.1.1 Monitoreo y Pesaje

Tabla 2
Equipos para el monitoreo y pesaje de PM2,5

Equipo	Marca	Modelo
Sensor Bajo Costo	Sensirion	SEN5X
High- Volumen	HI-Q	PM2,5-5300 AFC
Balanza	METTLER TOLEDO	NewClassic ML

Nota: Equipos utilizados en Monitoreo y pesaje de los PM_{2,5}

Fuente: Autora/Investigación

Tabla 3
Materiales para la medición de PM2,5

Materiales	Cantidad	Medida	Unidad
Filtros PM 2,5	80	24,8 x 22	cm
Vaso de precipitación	1	100	ml

Nota: Materiales utilizados en Monitoreo y pesaje de los PM_{2,5}
Fuente: Autora/Investigación

Tabla 4
Plataformas

Plataformas digitales	Nombres
Software	Aire Ciudadano
Red de Monitoreo Atmosférico	Secretaria del Ambiente

Nota: Plataformas utilizadas en la investigación
Fuente: Autora/Investigación

3.2 Fase de Campo

3.2.1 Monitoreo y Obtención de datos PM_{2,5}

A continuación, se explica la tabla 5 donde se puede observar los puntos de monitoreo y la información referente a cada uno de ellos:

Tabla 5
Especificación Puntos de Monitoreo

Puntos de Monitoreo	Ubicación	Coordenadas	Equipo Instalado
P1_PM2,5_BLOQUE_A	Av. Rumichaca Ñan	0° 16'56"S 78°32'58"O	Sensor Bajo Costo
P2_PM2,5_BLOQUE_A	Av. Rumichaca Ñan	0° 16'56"S 78°32'58"O	High-Volumen
P3_PM2,5_ESTACION_GUAMANÍ			Estación Atmosférica

Nota/Fuente: Autora/Investigación

Los puntos de monitoreo P1_PM2,5_BLOQUE_A y P2_PM2,5_BLOQUE_A, fueron elegidos debido a la gran afluencia automovilística y peatonal debido a que se encuentra en una Avenida Principal. El P3_PM2,5_ESTACION_GUAMANÍ es un punto de monitoreo fijo dentro del estudio.

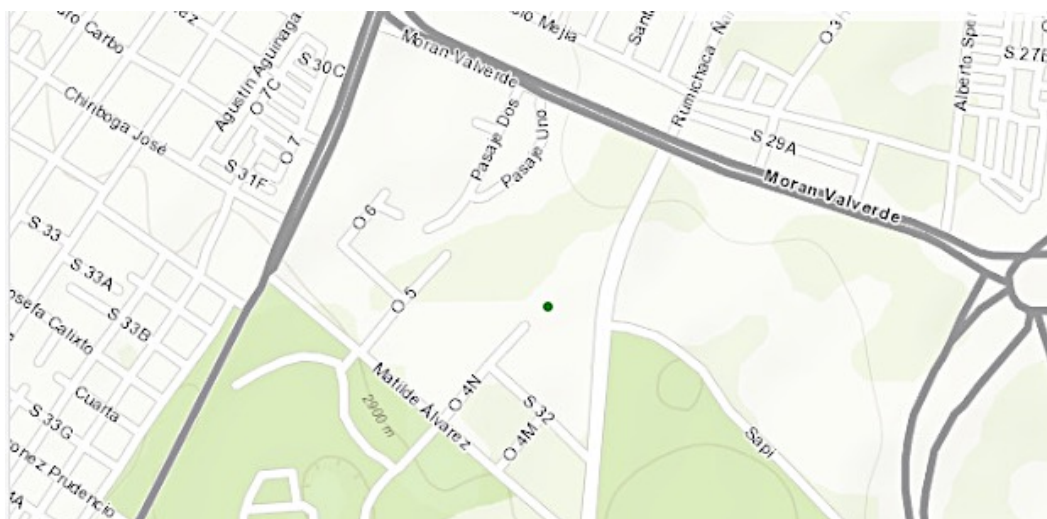
La recopilación de datos sobre la concentración diaria y mensual de PM_{2,5} se realizó mediante la plataforma Aire Ciudadano por un periodo de 8:00 de la mañana a 15:00 por la tarde con un total de 7 horas durante 5 días a la semana para el sensor de bajo Costo. Esta plataforma permite descargar los datos programando el periodo en tiempo que se requiere.

En el caso del High-Volumen se puso en funcionamiento para la toma de muestras en el mismo horario y tiempo que el sensor de bajo costo.

De los datos intervenidos en la plataforma de la Red de Monitoreo Atmosférica de Guamaní son de utilidad los que se encuentren registrados del mes de abril hasta el mes de junio del 2023.

Además de representar geográficamente por medio de coordenadas la ubicación de los puntos de muestreo, en el caso del sensor bajo costo dentro de la Plataforma Aire ciudadano se puede observar la ubicación del mismo en un mapa digital representado con un punto verde como lo podemos observar en la ilustración 4

Figura 4
Ubicación del sensor en mapa digital



Nota: Representación Geográfica del sensor
Fuente: (AIRE CIUDADANO)

Los datos recopilados de las tres fuentes de comparación el sensor de bajo costo, High-Volumen y la estación de monitoreo fueron en un horario desde las 8:00 am hasta las 15:00 pm cumpliendo 7 horas de muestreo durante los tres meses de estudio

3.2.2 Metodo Gravimetrico para determinación de PM_{2,5}

Según la revista “Tropical Journal of Environmental Sciences” la metodología comprende:

- Colocar los filtros de cuarzo en un desecador a condiciones normales durante 24 horas para acondicionarlos
- Pesar los filtros en una balanza con ayuda de un vaso de precipitación con anterioridad al muestreo

- Insertar los filtros acondicionados al High- Volumen durante 7 horas, es importante no abrir la tapa del equipo para no provocar daños durante el muestreo.
- Luego de 7 horas, pesar el filtro utilizado para el muestreo con ayuda de la balanza digital y el vaso de precipitación

Se establece la concentración de partículas, por medio de la balanza analítica. (HERRERA, MARTINEZ, ROJAS, AVARD, & AGUERO, 2014) y conociendo el flujo de aire.

Ecuación 1
Concentración Material Particulado

$$PM_{2,5} = \frac{\text{Peso Filtro después del muestreo (g)} - \text{Peso Filtro seco (g)}}{\text{Flujo gas (m}^3\text{)}}$$

$$PM_{2,5} = \frac{\text{Cantidad (g)}}{1000000(\text{ug})}$$

3.3 Fase Estadística

3.3.1 Diseño Experimental

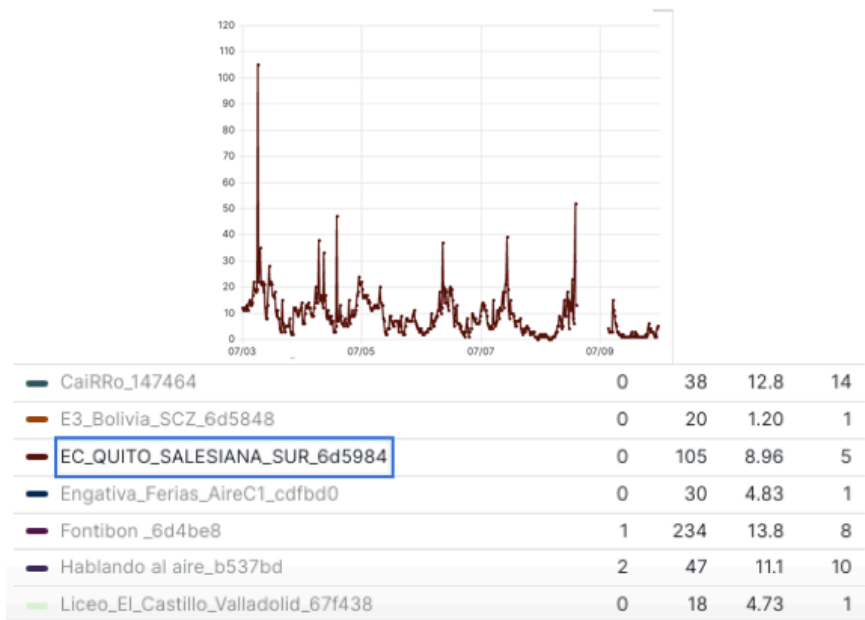
3.3.1.1 Sensor Bajo Costo

Para obtener las concentraciones de PM 2,5 del sensor bajo costo, se procedió a instalar el sensor SEN5X en la puerta principal del Bloque A de la Universidad Politécnica Salesiana sede sur (ver en ANEXO A) con una conexión eléctrica de 110V y Red Wifi para su correcto funcionamiento.

En la pagina web de aire ciudadano se procede a configurar el sensor con las coordenadas de donde estará ubicado y el nombre EC_QUITO_SALESIANA_SUR_6d5984.

Los datos de concentración PM 2,5 se representan por medio de gráficas cargadas automáticamente con las concentraciones de PM 2,5 obtenidas por cada hora en unidades ug/m³ y al mismo tiempo se puede observar datos meteorológicos de temperatura (°C) y humedad relativa (%).

Figura 5
Monitoreo Aire Ciudadano



Nota: Grafica de la concentración PM 2,5
Fuente: (AIRE CIUDADANO)

3.3.1.2 High-Volumen

En este proceso se realizó el pesaje inicial de los filtros utilizados en el High-Volumen en la balanza digital, después de 7 horas de recolección de datos se volvió a pesar el filtro con ayuda de un vaso de precipitación obteniendo así un peso final por medio de una diferencia de pesos consiguiendo el peso real del monitoreo del filtro expresado en ug.

Para la obtención del peso real concentración se utilizó la siguiente formula:

Ecuación 2
Peso Real del filtro en el High-Volumen

$$Peso\ Real = Peso\ Final - Peso\ Inicial$$

Ecuación 3
Concentración PM 2,5

$$Concentracion = \frac{Peso\ Real\ (ug)}{Volumen\ del\ aire\ (m^3)}$$

Figura 6
Materiales Hi-Vol



Nota: Materiales utilizados en el High-Volumen
Fuente: Autora

3.3.1.3 Estación Atmosférica de Guamaní

Los datos obtenidos por medio de la estación de Guamaní son cargados automáticamente en la página de la secretaria del Ambiente. En este caso obtuvo un valor promedio por cada hora durante 7 horas.

3.3.2 Diseño Estadístico

Dentro del diseño estadístico se tabuló los datos y graficó mediante la utilización del software EXCEL con los datos obtenidos se procedió a efectuar:

3.3.2.1 Analisis estadísticos descriptivo: Se obtiene el promedio, desviación estándar, medianas de PM 2,5 entre los tres métodos aplicados sensor bajo costo, High-volumen y estacion atmosférica.

3.3.2.1.1 Promedio: *Es el valor promedio de un conjunto de datos numéricos, calculada como la suma del conjunto de valores dividida entre el número total de valores (Economipedia, 2019)*

Ecuación 4
Promedio

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_n}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.3.2.1.2 Medianas: *Valor de posición central que parte la distribución en dos, es decir, deja la misma cantidad de valores a un lado que a otro (Economipedia, 2019).*

*Ecuación 5
Mediana*

$$Med = L_{i-1} \frac{\frac{n}{2} - N_{i-1}}{n_i} \times A$$

3.3.2.1.3 Desviación Estándar: Es una medida de la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero.

*Ecuación 6
Desviación Estandar*

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

3.3.2.2 Analisis estadístico correlacionar: Se realizó relaciones entre las diferentes condiciones meteorológicas (temperatura y humedad relativa) entre los tres métodos aplicados sensor bajo costo, High-volumen y estacion atmosférica. Para esto se utilizó la formula de PEARSON por medio de la calidad de aire IQ.

3.3.2.2.1 Coeficiente de Pearson: *Es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1 (COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON).*

*Ecuación 7
Coeficiente Pearson*

$$R_{xy} = \frac{\sum Z_X Z_Y}{N}$$

Donde:

- ✓ x : Variable numero 1
- ✓ y : Variable numero 2
- ✓ Zx : Desviación estándar de la variable 1
- ✓ Zy : Desviación estándar de la variable 2
- ✓ N : Numero de datos

3.3.2.2.2 Índice Calidad de Aire

Ecuación 8
Índice Calidad del Aire

$$IP = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Donde:

- ✓ IP: Índice del contaminante p
- ✓ Cp: Concentración medida del contaminante p
- ✓ BP_{Hi}: Punto de corte de la concentración mayor o igual a Cp
- ✓ BP_{Lo}: Punto de corte de la concentración menor o igual a Cp
- ✓ I_{Hi}: Valor del AQI correspondiente a BP_{Hi}
- ✓ I_{Lo}: Valor del AQI correspondiente a BP_{Lo}

(PRANA AIR, 2021)

3.3.2.2.3 Cálculo de varianza (ANOVA)

La aplicación del análisis de la varianza (ANOVA) por medio de una fórmula estadística se utilizó para la comparación la varianza entre el promedio (medias) de diversos grupos de datos. Dentro de la investigación nos permitió comparar las medidas obtenidas por la Red de Monitoreo de Guamaní, el sensor bajo costo y el High-Volumen en el cual se quiere verificar si concurre diferencias entre los diferentes datos obtenidos por medidas de concentración PM_{2,5}.

3.3.2.2.3 Cálculo de la prueba de TUKEY

La prueba de TUKEY se utiliza conjuntamente con ANOVA creando intervalos de confianza y una tasa de error por cada grupo de medidas tomadas ajustando en cada intervalo el nivel de confianza.

En el estudio se realizó la prueba de TUKEY para poder constatar cual, de todos los datos obtenidos del sensor bajo costo, la Red de Monitoreo y el High-Volumen Son diferentes entre sí.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluido el monitoreo durante los 3 meses consecutivos se obtuvieron los siguientes resultados de cada método de monitoreo:

4.1 Sensor Bajo Costo EC_QUITO_SALESIANA_SUR_6d5984.

4.1.1 Material Particulado PM 2,5

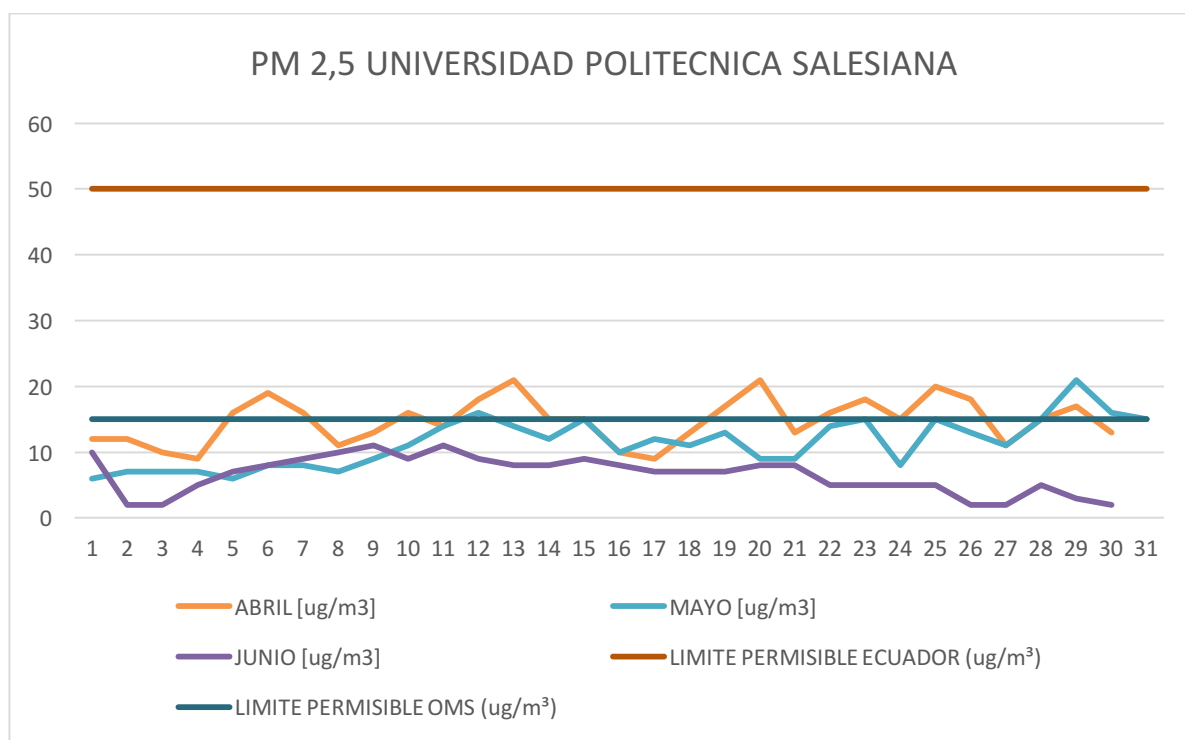
Tabla 6

Concentraciones medias diarias PM 2,5 EC_QUITO_SALESIANA_SUR_6d5984.

DIAS	CONCENTRACION PM 2,5		
	ABRIL [ug/m ³]	MAYO [ug/m ³]	JUNIO [ug/m ³]
1	12	6	10
2	12	7	2
3	10	7	2
4	9	7	5
5	16	6	7
6	19	8	8
7	16	8	9
8	11	7	10
9	13	9	11
10	16	11	9
11	14	14	11
12	18	16	9
13	21	14	8
14	15	12	8
15	15	15	9
16	10	10	8
17	9	12	7
18	13	11	7
19	17	13	7
20	21	9	8
21	13	9	8
22	16	14	5
23	18	15	5
24	15	8	5
25	20	15	5
26	18	13	2
27	11	11	2
28	15	15	5
29	17	21	3
30	13	16	2
31		15	

Nota: La tabla contiene las medidas de concentración diaria de PM 2,5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana, puerta de ingreso. Fuente: Autora/Investigación

Figura 7
Concentraciones diarias PM 2,5



Nota: Representación gráfica de las medidas de concentración diaria de PM 2,5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana, puerta de ingreso. Fuente: Autora/Investigación

En la Ilustración 7 se representa gráficamente las concentraciones de PM 2,5 en el punto de monitoreo de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, las mismas que corresponden a los meses de abril, mayo y junio. Las medidas diarias fueron verificadas con una comparación realizada con los límites permisibles de la OMS y el TULSMA, en donde se puede observar que las concentraciones de PM 2,5 de los meses Abril y Mayo no cumplen con los límites permisibles de la OMS, es decir superan los 15 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tabla 7
Resultados Monitoreo Sensor

PM 2,5	ABRIL	MAYO	JUNIO
MEDIANA($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15	11	7
DESVIACION	3,420862296	7,398963145	2,824563846
MAXIMO($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21	21	11
FECHA	13 de abril	29 de Mayo	9 y 11 de junio

Nota: La tabla contiene las medidas de concentración diaria de PM 2,5 en el punto de monitoreo correspondiente a la Universidad Politécnica Salesiana, puerta de ingreso. Fuente: Autora/Investigación

En la tabla 7 se representa los valores obtenidos de PM 2,5 correspondientes a mediana, desviación estandar y concentración máxima. De acuerdo con las concentraciones registradas se observa que los meses de abril y mayo presentan valores máximos de 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y solo el

mes de junio presenta un valor máximo de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor de concentración mediana obtenida en el mes de abril es mayor con un valor de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ es mayor a la obtenida en los meses Mayo y Junio.

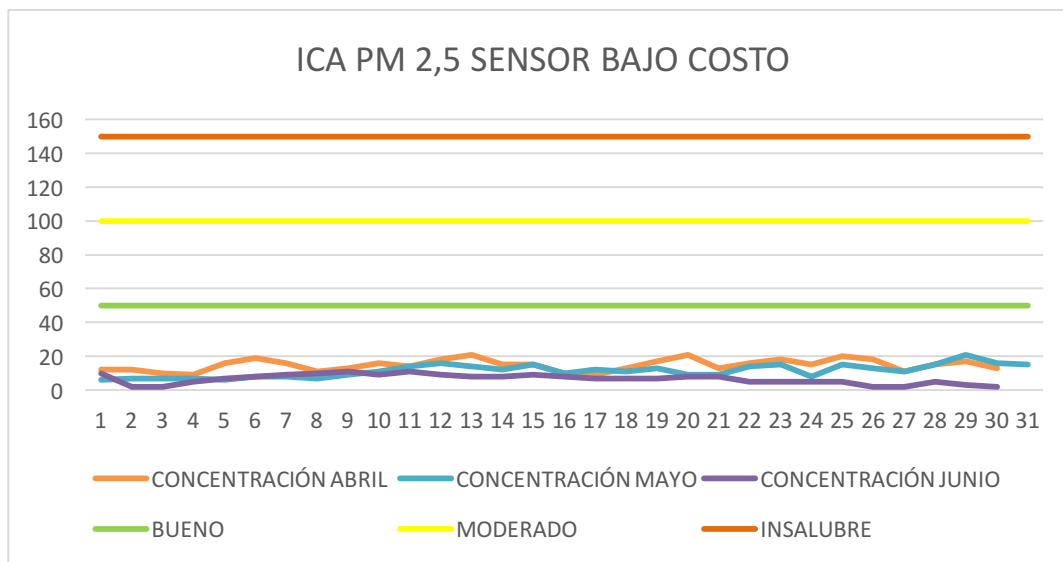
4.1.2 Índice Calidad de Aire

Tabla 8
Cálculos ICA Sensor Bajo Costo

DIAS	REDCA		
	ABRIL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	MAYO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	JUNIO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1	21	18	30
2	17	18	11
3	16	21	11
4	17	17	30
5	18	14	21
6	24	18	12
7	30	18	13
8	24	30	12
9	46	13	12
10	56	25	13
11	21	17	12
12	12	12	13
13	16	16	13
14	16	16	12
15	18	16	13
16	18	18	30
17	21	18	21
18	24	18	21
19	11	25	21
20	11	21	13
21	13	56	13
22	13	30	13
23	18	30	13
24	18	29	13
25	14	13	18
26	11	33	13
27	29	21	12
28	21	11	13
29	13	12	16
30	12	11	11
31		13	

Nota: La tabla representa los resultados obtenidos del cálculo diario del índice de calidad del aire en el punto de Monitoreo Universidad Politécnica Salesiana, puerta de ingreso. **Fuente:** Autora/Investigación

Figura 8
ICA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA



Nota: Se representa gráficamente la ICA en el punto de Monitoreo Universidad Politécnica Salesiana, puerta de ingreso.
Fuente: Autora/Investigación

En la gráfica 8 se explica los resultados del cálculo del Índice de Calidad de Aire en el punto de Monitoreo de la Universidad Politécnica Salesiana durante abril, mayo y junio. Los resultados indican que las concentraciones medidas se mantienen en un rango bueno de 0 a 50 de calidad de aire.

4.2 Concentración PM 2,5 High-Volumen

En la siguiente tabla se registra los datos obtenidos de concentración $PM_{2,5}$ por medio del High-Volumen durante doce semanas en los meses Abril, Mayo y Junio

Tabla 9
Resultado de monitoreo y cálculo de concentraciones PM 2,5

SEMANA	DIAS	FILTROS DE AIRE			VOLUMEN AIRE	CONCENTRACION N ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		PESO INICIAL (mg)	PESO FINAL (mg)	DIFERENCIA (ug)	VOLUMEN TOTAL (m^3)	
1	Lunes	210028,7	210043,7	15000	269	55,76208178
	Martes	205450,2	205467,2	17000	324,4	52,40443896
	Miércoles	210028,8	210040,8	12000	293	40,9556314
	Jueves	210028,7	210043,7	15000	354	42,37288136
	Viernes	-----	-----	-----	-----	-----
2	Lunes	210028,8	210043,8	15000	293,1	51,17707267
	Martes	205450,2	205458,2	8000	269	29,73977695
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	250	60
	Jueves	210028,8	210043,8	15000	350,8	42,75940707
	Viernes	205450,2	205465,2	15000	353	42,49291785
3	Lunes	205450,2	205457,2	7000	333,1	21,0147103

	Martes	210028,8	210043,8	15000	300	50
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	324,4	46,23921085
	Jueves	210028,7	210043,7	15000	320	46,875
	Viernes	205450,2	205465,2	15000	269	55,76208178
4	Lunes	210028,8	210053,8	25000	250,9	99,64129135
	Martes	210028,8	210043,8	15000	239,5	62,63048017
	Miércoles	210028,7	210043,7	15000	293,1	51,17707267
	Jueves	210028,8	210043,8	15000	267,6	56,05381166
	Viernes	210028,8	210043,8	15000	250,4	59,90415335
5	Lunes	-----	-----	-----	-----	-----
	Martes	210028,8	210043,8	15000	324	46,2962963
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	324,2	46,26773597
	Jueves	205450,2	205465,2	15000	333.1	45,0315221
	Viernes	210028,7	210033,7	5000	269	18,58736059
6	Lunes	205450,2	205465,2	15000	280,6	53,45687812
	Martes	205450,2	205465,2	15000	269	55,76208178
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	234.6	63,9386189
	Jueves	210028,7	210043,7	15000	293,1	51,17707267
	Viernes	205450,2	205465,2	15000	333.1	45,0315221

SEMANA	DIAS	FILTROS DE AIRE			VOLUME N AIRE	CONCENTRACION (ug/m ³)
		PESO INICIAL (mg)	PESO FINAL (mg)	DIFERENCIA (ug)	VOLUME N TOTAL (m ³)	
7	Lunes	210028,7	210043,7	15000	355,75	42,16444132
	Martes	210028,7	210043,7	15000	340	44,11764706
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	251	59,76095618
	Jueves	210028,7	210043,7	15000	324	46,2962963
	Viernes	210028,7	210043,7	15000	320	46,875
8	Lunes	210028,7	210043,7	15000	269	55,76208178
	Martes	205450,2	205465,2	15000	250,5	59,88023952
	Miércoles	210028,7	210043,7	15000	324	46,2962963
	Jueves	205450,2	205465,2	15000	290	51,72413793
	Viernes					
9	Lunes	210028,5	210043,5	15000	251	59,76095618
	Martes	210028,7	210043,7	15000	355,75	42,16444132
	Miércoles	210028,5	210043,5	15000	327,9	45,74565416
	Jueves	210028,5	210037,5	9000	250,5	35,92814371
	Viernes	210028,7	210043,7	15000	293,6	51,08991826
10	Lunes	210028,5	210043,5	15000	355,75	42,16444132
	Martes	205450,2	205465,2	15000	333.1	45,0315221
	Miércoles	205450,2	205477,2	27000	251	107,5697211
	Jueves	210028,5	210043,5	15000	269	55,76208178
	Viernes	210028,7	210043,7	15000	324,4	46,23921085
11	Lunes	210028,5	210043,5	15000	269,7	55,61735261
	Martes	205450,2	205465,2	15000	293,4	51,12474438
	Miércoles	205450,2	205465,2	15000	251	59,76095618
	Jueves	210028,5	210043,5	15000	250,5	59,88023952
	Viernes	210028,7	210033,7	5000	355	14,08450704
12	Lunes	210028,5	210043,5	15000	269,1	55,74136009
	Martes	205450,2	205465,2	15000	251	59,76095618
	Miércoles	210028,7	210043,7	15000	324,4	46,23921085
	Jueves	210028,7	210043,7	15000	269	55,76208178
	Viernes	205450,2	205460,2	10000	250,5	39,92015968

Nota: En la tabla se evidencia los datos de diferencias obtenidos considerando los pesos iniciales y finales de los filtros para PM 2,5, los valores del volumen del aire y la diferencia de pesos para obtener la concentración final de material particulado 2,5.

Fuente: Autora/Investigación

4.3 Concentración de PM 2,5 Estación de Monitoreo de Guamaní

Tabla 10

Concentración PM 2,5 Estación de Monitoreo

CONCENTRACION PM 2,5 ESTACION DE MONITOREO			
DIAS	ABRIL (ug/m ³)	MAYO (ug/m ³)	JUNIO (ug/m ³)
1	3,68	5,63	9,03
2	5,19	5,98	5,91
3	3,34	3,68	17,43
4	3,15	8,31	17,28
5	7,87	4,33	22,31
6	4,01	12,07	23,99
7	5,14	16,54	31,36
8	7,7	3,37	29,45
9	7,42	17,68	28,25
10	12,61	13,51	22,83
11	9,12	9,09	8,16
12	10,46	14,48	10,41
13	13,42	26,63	8,88
14	12,06	18,22	3,56
15	8,2	28,5	2,76
16	3,44	12,92	4,12
17	5,51	19,42	5,63
18	11,79	18,82	8,89
19	8,47	10,65	15,11
20	20,6	5,57	7,06
21	15,86	5,08	10,66
22	10,49	4,24	6,67
23	8,9	6,74	10,56
24	2,98	2,76	2,74
25	6,94	9,73	8,37
26	4,49	5,04	12,28
27	4,14	6,41	5,41
28	5,46	10,58	4,17
29	9,89	11,76	9,03
30	10,48	5,23	14,28
31		13,18	

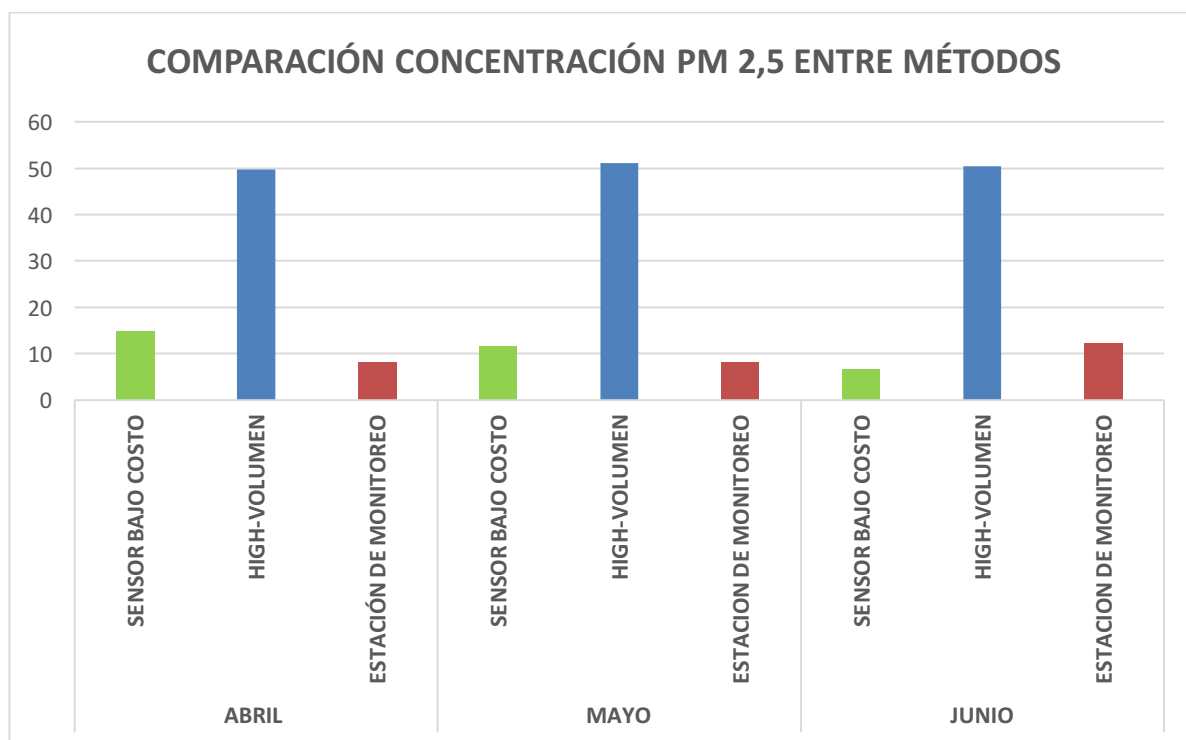
Nota: En la tabla se evidencia los datos de Monitoreo de la Estación de Guamaní durante los tres meses.

Fuente: Autora/Investigación

En la tabla 10 se observa los datos obtenidos por la medición de concentración de Material Particulado de la estación meteorológica de Guamaní, donde se registra que el día 13 de Mayo existió una alta concentración de $PM_{2,5}$.

4.4 Relación de comparación Sensor Bajo Costo, High Volumen y Estacion de Monitoreo

Figura 9
Comparación Relación Concentración $PM_{2,5}$ por tres métodos



Nota: Gráfica comparativa concentración $PM_{2,5}$
Fuente: Autora/Investigación

En la gráfica 9 se observa la comparación de los tres métodos durante los meses de abril, mayo y junio del sensor bajo costo, High-volumen y estación de monitoreo. Como se refleja en la ilustración los datos de concentración $PM_{2,5}$ obtenidos por el High-volumen son mayores a los que se obtuvieron por medio del sensor de bajo costo y la estación de monitoreo donde se aprecia que es similar la relación de la cantidad de material particulado encontrado en el aire.

Figura 10
Comparación estadística entre los métodos bajo ANOVA/TUKEY

**DIFERENCIAS ABSOLUTA DE PROMEDIOS ENTRE LOS
DISTINTOS MÉTODOS**

a)

COMPARACIONES	P-VALUE	CRITERIO BAJO NIVEL SIGNIFICANCIA (5%)
SENSOR HIGH-BAJO COSTO VOLUMEN	0,0002%	SI HAY DIFERENCIA
SENSOR ESTACIÓN DE BAJO COSTO MONITOREO	60,41%	NO HAY DIFERENCIA
HIGH- ESTACIÓN DE VOLUMEN MONITOREO	0,0002%	SI HAY DIFERENCIA

b)

	SENSOR BAJO COSTO	HIGH-VOLUMEN	ESTACIÓN DE MONITOREO
SENSOR BAJO COSTO	-	39,00	1,96
HIGH-VOLUMEN	-	-	40,95
ESTACIÓN DE MONITOREO	-	-	-

Nota: Gráfica comparativa diferencia absoluta entre promedios PM2,5
Fuente: Autora/Investigación

En la ilustración 10 se determina la comparación entre el sensor bajo costo, High-Volumen y la estación de monitoreo por medio de la aplicación de un análisis estadístico conocido como ANOVA. En la gráfica podemos observar las diferencias absolutas de promedio que es de gran ayuda para determinar cuál método es el mejor y aceptar o rechazar la hipótesis.

4.5 Discusión

En el trabajo realizado en la ciudad de Huancayo-Perú (Ninahuamán, 2022) menciona que: Las oscilaciones horarias rastrearon dos crestas de importancia: el primero desde las 06h00 hasta las y 08h00 horas de la mañana, fase durante el cual el tráfico se incrementa, dado a que la población se moviliza hacia sus centros de estudio y/o trabajo. En el caso de estudio realizado en la Universidad Politécnica Salesiana, se observa que, durante los meses de abril y mayo, existe un aumento en la concentración de PM2,5 debido a la gran afluencia de personas asistentes a centros de estudio, mientras que, en del mes de Julio se ve una la disminución por periodo de vacaciones.

Por otro lado, en investigaciones relacionadas anteriormente (GARCIA & REASCOS, 2022)se menciona que por causa del alto tráfico vehicular hay alta concentración de metales pesados y material particulado, sin embargo, ahora observamos que en el estudio realizado en el mes de Julio existe una disminución de concentración de material particulado y esto puede deberse a que en las calles aledañas a la Universidad Politécnica Salesiana se encuentran

cerradas y sin un alto porcentaje de tránsito vehicular, por este motivo puede ser una causa de la disminución de la concentración de PM 2,5.

En la actualidad existen nuevas formas de obtener datos sobre la calidad de aire como se indica en la siguiente investigación (SERAQUIVE & MOROCHO, 2023) donde la utilización de sensores de bajo costo resulta una forma más sencilla de obtener datos de PM 2,5 sin la necesidad de la utilización de herramientas más pesadas como High-volumen y obtener datos más certeros y concretos, como fue el caso del estudio realizado en esta ocasión los datos obtenidos por medio del sensor bajo costo fueron muy comprables con la estación de Monitoreo del DMQ.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ✓ En base al monitoreo durante los 3 meses de estudio se concluye que la utilización de monitoreo por medio del High-volumen no se obtiene datos confiables a comparación del sensor bajo costo y la red de monitoreo atmosférico, esta conclusión se da por medio de la aplicación del método de TUKEY.
- ✓ La concentración de PM 2,5 oscila entre los 2 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al día obteniendo una calidad de aire buena en cuanto a los límites permisibles del TULSMA, sin embargo para los límites permisibles de la OMS los días que llegan a superar los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentración están fuera de lo aceptable por la normativa.
- ✓ Se concluye que la utilización de sensores de bajo costo son fiables al momento de arrojar información sobre la calidad de aire en el punto de monitoreo.

5.2 Recomendaciones

- ✓ En próximos estudios se recomienda utilizar sensores de bajo costo puesto que son más fáciles de manejar al contar con una fuente fija o móvil se pueden trasladar a diferentes puntos de monitoreo y hacer las pruebas de concentración más eficientes.
- ✓ Se recomienda a futuras investigaciones aumentar el tiempo de estudio con el sensor bajo costo para sacarle mayor provecho y obtener nuevos métodos de estudio más actualizados a nivel nacional.

6. BIBLIOGRAFÍA

EPA. (2022). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente*. Retrieved from Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos: <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

(2001). *NORMA TÉCNICA PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA DE FUENTES FIJAS (NT001)*.

(2018). *Manual de educación Ambiental IV*. Línea Verde .

AIRE CIUDADANO. (n.d.). *PORTAL SENSORES AIRE CIUDADANO*. Retrieved 2023, from PORTAL SENSORES AIRE CIUDADANO: <https://sensor.aireciudadano.com/d/xTDbNb87z/general?orgId=1&refresh=30s>

Andrades Rodriguez, M., & Muñoz León, C. (2012). *FUNDAMENTOS DE CLIMATOLOGÍA*. Bogota.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (n.d.). *CALIDAD DEL AIRE*. Retrieved 2023, from QUE ES EL ICA: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/ICA.aspx>

Barragán Gómez, A., & Núñez Trejo, H. (2007). *Física II Un enfoque constructivista*. Mexico: Pearson Educación de México.

Bernal, D. (2021). *Aire Ciudadano*. Retrieved junio 20, 2023, from Historia propia del activismo por la Calidad del Aire, Aire Ciudadano y CanAirIO: <https://aireciudadano.com/historia-propia-del-activismo-por-la-calidad-del-aire-aire-ciudadano-y-canairio/>

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON.

Conner, T., Clements, A., & Williams, R. (2017). *Cómo evaluar sensores de bajo costo mediante la colocación con monitores del método de referencia federal*. Laboratorio Nacional de Investigación de la Exposición, Oficina de Investigación y Desarrollo - EPA, Estados Unidos.

Economipedia. (2019). *Medidas de tendencia central*. Retrieved from economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/medidas-de-tendencia-central.html>

Equipos de Monitoreo de calidad de Aire. (2018). *Equipos de Monitoreo de calidad de Aire*. Retrieved from INECC: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/623/equipos.pdf>

Euroinnova. (n.d.). *Conoce sobre la Meteorología*. Retrieved from ¿Qué es la meteorología?: <https://www.euroinnova.ec/blog/que-es-la-meteorologia>

GARCIA LEA, S. A., & MARTIN RIVERA, J. (2021). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA INMISIÓN EN CUANTO A MATERIAL PARTICULADO (PM10 - PM2.5 - PARTÍCULAS UF) EN LA ESTACIÓN PAIBA DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*. TESIS, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, BOGOTÁ.

GARCIA, C. J., & REASCOS, L. D. (2022). *CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FRACCIÓN RESPIRABLE PM 2,5 DEL CAMPUS SUR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, QUITO.

García, S. (2015). *El Financiero*. Retrieved from Contaminación Industrial: <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-industrial/>

Gil, C. L. (2008). *Ecologistas en Acción*. Retrieved from ¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud?: <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>

HERRERA, J., MARTINEZ, M., ROJAS, J., AVARD, G., & AGUERO, 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. *REVISTAS DE CIENCIAS AMBIENTALES*, 54-64.

Kasetsu, N. (n.d.). *Índice de Calidad de Aire*. Retrieved from Nihon Kasetsu Europe Monitoring & Water Clarification: [https://nihonkasetsu.com/es/el-indice-de-calidad-del-aire-aqi/#:~:text=EI%20%20C3%8Dndice%20de%20Calidad%20del%20Aire%2C%20Air%20Quality%20Index%20\(AQI,humana%20asociados%20con%20dicha%20contaminaci%C3%B3n](https://nihonkasetsu.com/es/el-indice-de-calidad-del-aire-aqi/#:~:text=EI%20%20C3%8Dndice%20de%20Calidad%20del%20Aire%2C%20Air%20Quality%20Index%20(AQI,humana%20asociados%20con%20dicha%20contaminaci%C3%B3n)

MAATE. (2011). TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE. ECUADOR.

Méndez, F., López Castañares, R., & Figueroa, E. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Méndez, F., López Castañares, R., & Figueroa, E. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*. Universidad Autónoma del Estado de México.

Ninahuamán, J. U. (2022, Agosto). Low-cost sensors for fine particulate matter (PM2.5) characterization in a high Andean city. *Revista de Investigaciones Altoandinas* .

OMS. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono*. Retrieved 2023, from OMS: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OMS. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire*. Resumen ejecutivo, Organización Mundial de la Salud.

OMS. (2021). *Organización Mundial de la Salud*. Retrieved from Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire: <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Pérez, C. P. (2012). *GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA URBANA: EL CASO DE QUITO*. Quito.

Portal Ambiental de Andalucía. (2020). Retrieved from Portal Ambiental de Andalucía: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/guest/areas-tematicas/atmosfera>

PRANA AIR. (2021). *PRANA AIR*. Retrieved from ¿Qué es el índice de calidad del aire (AQI) y cómo se calcula?: <https://www.pranaair.com/es/blog/what-is-air-quality-index-aqi-and-its-calculation/>

Secretaria del Ambiente . (2019). *REPORTE ANUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DMQ - 2019*. Secretaria del Ambiente, INVESTIGACIÓN ANÁLISIS Y MONITOREO RED METROPOLITANA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE QUITO, Quito.

SERAQUIVE, K. N., & MOROCHO, D. N. (2023). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE MATERIAL PARTICULADO 2.5, EN SIETE COLEGIOS DEL SECTOR DE CHILLOGALLO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON SENSORES DE BAJO COSTO EN EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2022*. UPS, Quito.

Sosa, G. (2019). *Transversalidad de la política de la calidad del aire en México*. (I. Mora, Ed.) Mexico.

Zegarra-Peña, R. (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. *Maskana* .

7. ANEXOS

ANEXO A: Instalación Sensor Bajo Costo en la Puerta Principal Bloque A de la Universidad Politécnica Salesiana.

