



Análisis de confiabilidad de datos de un dispositivo de bajo costo frente a uno de referencia para la medición de material particulado (PM2.5) en el interior de una vivienda ubicada en la localidad de Usaquén

Luisa Fernanda Arias Berrio
Sebastian Rodriguez Carreño

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C, Colombia

2023

Análisis de confiabilidad de datos de un dispositivo de bajo costo frente a uno de referencia para la medición de material particulado (PM2.5) en el interior de una vivienda ubicada en la localidad de Usaquén

Luisa Fernanda Arias Berrio
Sebastian Rodriguez Carreño

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
Robinson Alexis Rodríguez Vasquéz
Co-director:
Hector Adolfo Rueda Cadena

Línea de Investigación:
Grupo de investigación del Instituto de Salud y Ambiente (ISA)

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
20223

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción	11
2. Planteamiento del problema	13
3. Justificación	14
4. Pregunta de Investigación	15
5. Objetivos generales y específicos	16
5.1 General	16
5.2 Específicos	16
6. Marco de referencia	17
6.1 Antecedentes	17
6.2 Estado del arte	17
6.3 Marco Conceptual	20
6.3.1 Contaminación atmosférica	20
6.3.2 Estado de la calidad del aire	22
6.3.3 Monitoreo de la calidad del aire	22
6.3.4 Sistema de vigilancia de calidad del aire (SVCA)	23
6.3.5 Equipos de medición para la calidad del aire utilizados	24
6.3.6 Calidad del aire en el interior	25
6.3.7 Métodos estadísticos	26
6.4 Marco teórico	26
6.5 Marco normativo	27
6.6 Marco Geográfico	29
6.7 Marco Institucional (organigrama).	29
7. Metodología	31
7.1 Etapas del proceso de investigación	32
7.1.1 Etapa I: Revisión bibliográfica:	33
7.1.2 Etapa II: Selección de punto y puesta en marcha del monitoreo al interior:	35
7.1.3 Etapa III: Recopilación y análisis de los datos recolectados:	36
7.1.4 Etapa IV Resultados y análisis estadístico:	41
7.2 Plan de trabajo	43
7.3 Presupuesto	44
8. Resultados	45
9. Análisis y discusión de resultados	56
10. Conclusiones	59
11. Recomendaciones	60
Referencias bibliográficas	61

Listado de Tablas

Tabla 1: Normatividad calidad del aire en Colombia

Tabla 2. Componentes metodológicos

Tabla 3. Presupuesto

Tabla 4. Correlación de las series con base a las métricas

Listado de Figuras

Figura 1: Mapa de la Localidad Usaquéen

Figura 2: Organigrama de actores involucrados en la realización del proyecto

Figura 3: Diagrama del proceso cuantitativo

Figura 4. Partes y funciones de la estructura interna del Dispositivo de Bajo Costo realizado por el ISA

Figura 5. Estructura externa del Dispositivo de Bajo Costo realizado por el ISA

Figura 6. Equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor

Figura 7. Ubicación exacta del Aeroqual serie 500 y el Dispositivo de Bajo Costo

Figura 8. Muestra de consolidado de datos del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Figura 9. Muestra de consolidado de datos del Dispositivo de Bajo Costo

Figura 10. Estadística de los datos de PM2.5 del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Figura 11. Estadística de los datos de PM2.5 del DBC

Figura 12. Comparación del promedio de los datos por hora del Dispositivo de Bajo Costo con el Aeroqual calculando la diferencia del periodo uno

Figura 13. Tabla y gráfica de valores A por serie

Figura 14. Tabla y gráfica de valores B por serie

Figura 15. Tabla para comparar los valores de la gráfica A con la gráfica B

Figura 16. Cálculo con la ecuación en el algoritmo DTW

Figura 17. Sucesión de valores calculados con la ecuación

Figura 18. Ruta de valores mínimos en el algoritmo

Figura 19. Algoritmo para relacionar los valores del eje x y eje y

Figura 20. Cronograma de actividades

Figura 21. Datos específicos del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Figura 22. Datos específicos del Dispositivo de Bajo Costo

Figura 23. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (10- 11 octubre de 2023)

Figura 24. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (11- 12 octubre de 2023)

Figura 25. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (12- 13 octubre de 2023)

Figura 26. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (13- 14 octubre de 2023)

Figura 27. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (14- 15 octubre de 2023)

Figura 28. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (15- 16 octubre de 2023)

Figura 29. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (16- 17 octubre de 2023)

Figura 30. Desviación estándar del Dispositivo de Bajo Costo de todos los periodos

Figura 31. Desviación estándar del equipo de referencia Aeroqual serie 500 de todos los periodos

Figura 32. Gráfico de la metodología DTW

Listado de anexos

Anexo 1: Pasos para descargar los datos del Dispositivo de Bajo Costo

Anexo 2: Pasos para usar y configurar el equipo de referencia Aeroqual serie 500

Anexo 3: Consolidado total de los datos del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Anexo 4: Consolidado total de los datos del Dispositivo de Bajo Costo

Anexo 5: Estadística de los datos de PM2.5 del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Anexo 6: Estadística de los datos de PM2.5 del DBC

Anexo 7: Comparación del promedio de los datos por hora del Dispositivo de Bajo Costo con el Aeroqual calculando la diferencia de todos los periodos

Resumen

En la actualidad podemos ver que la contaminación atmosférica se ha convertido en una problemática ambiental con gran relevancia debido a las diversas afecciones negativas que tiene sobre la salud humana, ésta ha sido un problema a tratar a nivel mundial por la cantidad de contaminantes que respiramos y de los cuales desconocemos sus concentraciones, como es el caso del material particulado. Con base en lo anterior, adicionalmente a los monitoreos de carácter ambiental, surge la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo de calidad del aire en ambientes interiores, teniendo en cuenta que después de la pandemia los estilos de vida de muchas personas cambiaron, no obstante, los altos costos de los dispositivos de medición de calidad del aire, hoy en día dificultan la realización de pruebas para cumplir con las necesidades de población. De acuerdo a esta problemática, actualmente, aunque es poca la información que se tiene de los Dispositivos de Bajo Costo (DBC), han tomado un auge importante y se han convertido en una importante posibilidad para obtener información del recurso aire y su aplicación tiende a ser más confiable. El presente trabajo tiene como objetivo general, analizar la confiabilidad de los datos de material particulado inferior a 2.5 micras (PM2.5) generados por un Dispositivo de Bajo Costo desarrollado por el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque frente a un equipo de referencia “Aeroqual serie 500 monitor”, para lo cual se planteó la medición de los monitoreos de manera simultánea en una vivienda ubicada en Usaquén. Los resultados de PM2.5 obtenidos por el DBC se compararon con los obtenidos por el equipo de referencia, con el fin de evaluar su confiabilidad y determinar si es procedente su implementación futura de monitoreo o estudios de investigación, para lo cual, se utilizó la metodología de “Distorsión Dinámica del Tiempo (DTW)”, que permitió identificar la correlación en los datos obtenidos para realizar una comparación y análisis de las mediciones que realizó el DBC frente al equipo de referencia “Aeroqual serie 500 monitor”, en donde se encontraron patrones de coincidencias entre las secuencias, y en su mayoría se pudo reflejar que las concentraciones de PM2.5 arrojadas por el DBC tienen una sobreestimación del 23,3% frente al equipo de referencia, por tanto, con una serie de ajustes y calibración el DBC sería un método viable para la medición de calidad del aire.

Palabras clave: *Dispositivo de Bajo Costo (DBC), Aeroqual serie 500, Material Particulado PM2.5 Y Calidad de aire en interiores.*

Abstract

Currently we can see that air pollution has become an environmental problem with great relevance due to the various negative effects it has on human health. This has been a problem to be treated worldwide due to the amount of pollutants we breathe and of which we do not know their concentrations, as is the case of particulate matter. Based on the above, in addition to environmental monitoring, there is a need to strengthen air quality monitoring systems in indoor environments, taking into account that after the pandemic the lifestyles of many people changed, however, the high costs of air quality measurement devices today make it difficult to carry out tests to meet population needs. According to this problem, currently, although there is little information about Low Cost Devices (LCD), they have gained significant popularity and have become an important possibility to obtain information on the air resource and its application. be more reliable. The general objective of this work is to analyze the reliability of data on particulate matter less than 2.5 microns (PM_{2.5}) generated by a Low Cost Device developed by the Institute of Health and Environment of the Universidad El Bosque against a team reference “Aeroqual series 500 monitor”, for which the measurement of monitoring was proposed simultaneously in a home located in Usaquén. The PM_{2.5} results obtained by the DBC were compared with those obtained by the reference team, in order to evaluate their reliability and determine if future implementation of monitoring or research studies is appropriate, for which the “Dynamic Time Distortion (DTW)” methodology, which allowed identifying the correlation in the data obtained to carry out a comparison and analysis of the measurements made by the DBC against the reference equipment “Aeroqual series 500 monitor”, where they were found coincidence patterns between the sequences, and for the most part it could be reflected that the PM_{2.5} concentrations returned by the DBC have an overestimation of 23,3% compared to the reference equipment, therefore, with a series of adjustments and calibration the DBC would be a viable method for air quality measurement.

Keywords: *Low Cost Device, Aeroqual 500 series, PM_{2.5} Particulate Matter and Indoor Air Quality.*

1. Introducción

En la actualidad podemos ver que la contaminación atmosférica se ha convertido en una problemática ambiental con gran relevancia, debido a las diversas afecciones negativas que tiene sobre la salud humana (OMS, 2018), éste ha sido un problema a tratar a nivel mundial debido a que el aire que respiramos a diario está lleno de agentes contaminantes como el material particulado con diámetros de 10 micras a 2,5 micras, éste se genera de manera natural (erupción de volcanes, incendios forestales, biogénicas, etc) o de manera antropogénica (industrias, vehículos, quemas a cielo abierto, etc) afectando así a la calidad del aire.

De acuerdo con estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los nuevos datos revelan un vínculo más estrecho entre la exposición a la contaminación atmosférica en general y la del aire de interiores, con las enfermedades cardiovasculares, como los accidentes cerebrovasculares y las cardiopatías isquémicas, así como entre la contaminación atmosférica y el cáncer, en donde se distribuyen las muertes por la contaminación atmosférica, un 40% por cardiopatía isquémica, 40% accidente cerebrovascular, 11% neumopatía obstructiva crónica, 6% cáncer de pulmón, 3% infección aguda de las vías respiratorias inferiores en niños; y por otro lado, muertes debidas a la contaminación del aire en interiores siendo el 34% accidente cerebrovascular, 26% cardiopatía isquémica, 22% neumopatía obstructiva crónica, 12% infección aguda de las vías respiratorias inferiores en los niños y el 6% cáncer de pulmón (OMS, 2014).

Conforme con lo anterior surge la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo de calidad del aire tanto en ambientes exteriores como interiores, teniendo en cuenta que después de la pandemia (Covid 19) los estilos de vida de muchas personas cambiaron, ya que hoy en día, aproximadamente el 90% de las personas permanecen en ambientes cerrados (Chojer, H et al., 2020), así mismo, los altos costos de los dispositivos de medición de calidad del aire dificultan la realización de que se realicen pruebas para cumplir con la necesidades que demanda la población.

Debido a esta problemática con el pasar del tiempo, los dispositivos de bajo costo han tomado un auge importante en el desarrollo de la necesidad, ya que el uso de estas tecnologías de bajo costo como es el DBC en evaluación, han presentado ventajas de aplicación dentro de las cuales se encuentran economizar, reducir costos de operación y mantenimiento, y presentar información en tiempo real

generando datos en volumen suficiente y disponibles en todo momento. Sin embargo, es importante mencionar que los dispositivos de bajo costo también tienen limitaciones, pueden ser menos precisos y confiables que los equipos de monitoreo tradicionales utilizados por agencias gubernamentales y organizaciones que efectúan monitoreo ambiental, debido a que aún no se cuenta con protocolos de calibración y operación estandarizados (Navarrete, G. et al., 2020), es por ello que se hace necesario medir la confiabilidad de los DBC con dispositivos ya estandarizados que cuenten con la certificación o el aval de la EPA (Perna, L. et al., 2021).

La presente investigación tiene como objetivo fundamental analizar la confiabilidad de los datos generados por el dispositivo de bajo costo (DBC) diseñado por el Instituto de Salud y Ambiente (ISA) de la Universidad El Bosque para medir las concentraciones de PM_{2.5} en comparación con un equipo de referencia ampliamente aceptado (Aeroqual serie 500 monitor). La confiabilidad de los datos es esencial para tomar decisiones informadas sobre la calidad del aire en zonas interiores ya que contribuye a brindar información precisa dirigida a proteger la salud de las personas que ocupan estos espacios.

A medida que la conciencia sobre los riesgos asociados con la exposición a partículas suspendidas en el aire crece, es fundamental comprender si los DBC y en particular el Dispositivo de Bajo Costo fabricado por el ISA de la Universidad El Bosque, pueden proporcionar mediciones precisas y confiables de PM_{2.5} en comparación con los dispositivos de referencia tradicionales (más costosos). Este proyecto busca abordar esta cuestión crítica y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de la calidad del aire en interiores. Es por ello, que a lo largo de esta investigación se llevaron a cabo pruebas rigurosas y análisis comparativos para evaluar la confiabilidad de los datos generados por ambos tipos de dispositivos con las mismas condiciones ambientales para su uso en zonas interiores. Los resultados de este estudio contribuirán al perfeccionamiento del DBC del ISA de la Universidad El Bosque, así como el desarrollo de estrategias alternativas para el monitoreo de la calidad del aire interior, pudiendo convertirse en un apoyo a las redes de monitoreo de calidad del aire en el futuro.

2. Planteamiento del problema

En la actualidad la contaminación del aire en espacios interiores y exteriores es uno de los problemas más grandes del mundo, debido a que afecta a todos los seres vivos del planeta en especial a los seres humanos, ya que, en su mayoría puede causar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer, las cuales pueden llegar a desencadenar hasta la muerte. De acuerdo con lo anterior podemos decir que, la mala calidad del aire afecta directamente a la salud de los individuos. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, se estima que el 90% de las personas de todo el mundo respiran aire contaminado. (OMS, 2018).

Existen barreras que no permiten que la calidad del aire sea medida y estudiada de la forma en la que se debería, uno de los aspectos más relevantes es el económico, ya que, los instrumentos tradicionales de monitoreo de la calidad del aire y las estaciones de monitoreo en tiempo real son costosas en términos de adquisición, instalación y mantenimiento. Por otra parte, el bajo patrocinio y los altos costos que conlleva el plantear y desarrollar investigaciones con relación a otras alternativas de medición de contaminantes atmosféricos, dificultan su desarrollo. (Munir, Mayfield, Coca, Jubb, & Osammor, 2019).

El presente estudio tiene como objetivo central explorar la confiabilidad de datos de los dispositivos de bajo costo en el ámbito de espacios interiores, para ello, se realizará mediante el análisis de los datos obtenidos por la medición de un DBC elaborado en el Instituto de Salud y Ambiente de La Universidad El Bosque y un dispositivo tradicional (Aeroqual serie 500 monitor) de manera que se pueda evaluar si la calidad de los resultados obtenidos por el DBC son equivalentes a los obtenidos por el equipo de referencia y se pueda demostrar que la medición del aire puede llegar a ser igual de confiable mediante el uso del dispositivo de bajo costo DBC, lo cual permitirá minimizar los costos y gastos al momento de monitorear la calidad del aire, además, de tener mayor monitoreo y promoción del control de la contaminación del aire en interiores.

3. Justificación

De acuerdo con Pineda (2019), para abordar y resolver los diversos problemas ambientales causados por la actividad humana, es esencial y urgente fomentar la conciencia en las distintas comunidades sobre la cruda realidad ambiental que empeora día a día, por lo cual, es crucial implementar programas educativos sobre cuestiones ambientales dirigidos a todas las comunidades. Estos programas deben establecer sólidos fundamentos para una opinión pública bien informada, lo que a su vez fomentará un sentido de responsabilidad en cada individuo hacia la protección del medio ambiente. (Gallego, 2011).

En la actualidad estudios como el de Maldonado, A., & Rojas, N. (2019). Nos muestran que a pesar de la disponibilidad de dispositivos para monitorear la calidad del aire en entornos exteriores, su aplicación en espacios interiores es limitada, y existe una escasa o nula investigación sobre este tema debido a la falta de disponibilidad de equipos para su implementación. En algunos otros estudios como el de Solá, X. G (2019) y el de Jovašević-Stojanović (2015) se encontró que los altos costos de los equipos de calidad del aire generan dificultades económicas para su implementación y estos deben estar estandarizados según normativas, para su correcta calibración y validación por medio de equipos de referencia certificados por la EPA. Por su parte, Franco, J. F. (2012) encontró que la falta de monitoreo y control de la calidad del aire en diversos espacios afecta los estilos de vida actuales debido a su impacto en el ambiente y en la salud de los seres vivos.

Asimismo, alrededor del 20% de las muertes se encuentran asociadas con la exposición a elevados niveles de contaminación del aire en espacios cerrados (UN, 2010) además en un análisis del Banco Mundial, se encontró que en Colombia ocurren unas 6.000 muertes en el año a causa de la contaminación del aire (Banco Mundial, 2018). A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. Adicionalmente, los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1% del PIB de 2009 (\$5,7 billones de pesos) a 1,59% del PIB de 2014 (\$12 billones de pesos) y del 1,93% del PIB en 2015 (\$15.4 billones de pesos), lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir implementando estrategias para controlar, evaluar y monitorear estas sustancias (IDEAM, 2015).

La investigación planteada contribuirá a generar un análisis de confiabilidad que permita dar veracidad

sobre el uso de dispositivos de bajo costo en espacios interiores, teniendo en cuenta que este será probado y medido con un dispositivo que está avalado normativamente y certificado por la EPA. Asimismo, los resultados del estudio ayudarán a crear un aporte a los estudios de confiabilidad de los dispositivos de bajo costo siendo de gran valor en diversos campos y puede contribuir significativamente a la sociedad y al ambiente, además de que alimentarán e impulsarán en un futuro la red de monitoreo de calidad del aire, debido a que se podrán tomar como referencia estos DBC y ayudarán a ampliar el control y monitoreo en zonas que hoy en día no se tiene acceso. Por otro lado, mediante la investigación se desarrollará un método estadístico utilizado para medir las variables del estudio para dar mayor confiabilidad y certeza al mismo.

4. Pregunta de Investigación

¿Cuál es la confiabilidad de los datos de concentración de PM_{2.5} obtenidos por el DBC desarrollado por Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque, frente a los obtenidos con el equipo de referencia “Aeroqual serie 500 monitor”?

5. Objetivos generales y específicos

1.1 5.1 General

Analizar la confiabilidad de los datos generados de PM2.5 por el dispositivo de bajo costo (DBC) desarrollado por el Instituto de Salud y Ambiente (ISA) de la Universidad El Bosque, frente a los resultados de un equipo de referencia (Aeroqual serie 500 monitor) en el interior de una vivienda ubicada en la ciudad de Bogotá en la localidad de Usaquén.

1.2 5.2 Específicos

1. Analizar los resultados obtenidos para determinar las posibles causas de los niveles de concentración en el punto de monitoreo establecido.
2. Comparar las mediciones de la calidad del aire realizadas con un equipo de bajo costo y un equipo de referencia.

6. Marco de referencia

1.3 6.1 Antecedentes

Desde el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque, en conjunto con el semillero de investigación "Tecnologías de la Información Geográfica aplicadas a la salud, ambiente y economía circular" (TeGes). En 2019 se llevó a cabo un proyecto denominado "Evaluación de la calidad del aire interior mediante el uso de dispositivos de bajo costo y su relación con la presencia de síntomas de infecciones respiratorias agudas en el personal de la Universidad El Bosque", el cual tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire al interior de viviendas ubicadas en diferentes sitios de Bogotá a través de dispositivos de bajo costo que midieron el material particulado. Este proyecto se realizó en tres fases, en las cuales se construyó un dispositivo que utiliza sensores ópticos para tomar datos de material particulado PM10 y PM2.5, y sensores piezoeléctricos que toman los datos de temperatura y humedad relativa. Se requiere que el dispositivo esté conectado a una fuente de energía, que idealmente cuente con una memoria de almacenamiento de datos, una batería interna, y envíe datos a un servidor web.

Teniendo en cuenta lo anterior y en relación al proyecto realizado en 2014, se decidió llevar a cabo un análisis de la confiabilidad de los datos que arroja el Dispositivo de Bajo Costo elaborado por el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque frente a un dispositivo tradicional para medir la calidad del aire en interiores específicamente.

1.4 6.2 Estado del arte

En los últimos años, se ha reconocido la importancia de estudiar la calidad del aire en entornos tanto interiores como exteriores, en base a la estrecha relación entre la calidad del aire en las ciudades y la salud de sus habitantes. Los monitores de calidad del aire se han convertido en herramientas cruciales para identificar diversos contaminantes y medir sus concentraciones, debido a que estas sustancias nocivas pueden tener efectos adversos en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, y también se han relacionado con enfermedades crónicas como el asma y el cáncer.

Debido a la problemática expuesta y la creciente población mundial se tiene registro que el primer progreso sobre dispositivos de bajo costo lo realizó la Agencia de Protección Ambiental de los Estados

Unidos - EPA, en el año 2013, siendo este un importante paso en dirección al desarrollo de dispositivos de bajo costo para medir la calidad del aire. A su vez, en 2015 en Atlanta, Georgia, EE. UU, se da a conocer el proyecto CARSENSE, el cual fue pionero en probar la efectividad de los DBC, tanto así que se creó una estación de monitoreo con estos dispositivos en el mismo lugar.

En Colombia, el primer registro sobre monitoreo de calidad del aire fue en Bogotá, desde 1997 la ciudad presenta una amplia red de monitoreo de calidad del aire, la cual hoy en día cuenta con 20 estaciones ubicadas estratégicamente en toda la ciudad y es operada por la Secretaria Distrital de Ambiente. Desde el 2018, la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá (RMCAB) se rige por lo establecido en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión (GOV, s.f.). De acuerdo con el último reporte de la RMCAB en el Informe Anual de Calidad del Aire en Bogotá del año 2021, en general, se observó que las concentraciones se mantuvieron similares al año anterior, debido a que la temporada de mayor contaminación que corresponde al primer trimestre del año, tuvo influencia del fenómeno de la Niña, con precipitaciones en el mes de febrero, que influyeron en la reducción de contaminantes. Sin embargo, el mes de diciembre tuvo las concentraciones más altas en la mayoría de las estaciones, por la reactivación de varias fuentes de emisión, y aumento del tráfico vehicular (RMCAB, 2022).

Por otro lado, se cree que desde hace más de cien años la calidad del aire en interiores es muy importante, ya que pasamos la mayor cantidad del tiempo en espacios cerrados, desde comienzos de 1850 se empezó a tener en cuenta las condiciones de vida de la población y la salud, hasta que las problemáticas ambientales sobre el aire libre entraron en colación y se convirtieron en cuestiones cruciales alrededor de 1960 (Sundell, 2004). De acuerdo con investigaciones de los autores Xilei Dai, Junjie Liu, Xiangdong Li y Lei Zhao de China, se puede decir que los contaminantes interiores más comunes incluyen el PM2.5 y el monóxido de carbono (CO), que son especialmente importantes ya que sus concentraciones en espacios interiores son indicadores clave de la calidad del aire. Además, su presencia elevada puede tener efectos potenciales negativos tanto en la salud de las personas que ocupan esos espacios como en su rendimiento laboral. Por lo tanto, es fundamental prestar especial atención a la monitorización y control de estos contaminantes en entornos interiores para garantizar un ambiente más saludable y productivo.

Un destacado referente a nivel nacional en el ámbito del monitoreo de la calidad del aire en interiores es

un proyecto implementado por SIATA y financiado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Este proyecto ofrece a los ciudadanos sensores de calidad del aire de bajo costo junto con una aplicación móvil, que sirven como herramientas educativas para aprender sobre meteorología y calidad del aire. El proyecto se basó en la instalación de sensores asequibles, denominados "nubes", en hogares y lugares de trabajo. Estos sensores miden la concentración de material particulado en el entorno y transmiten datos para su recopilación y análisis de la calidad del aire. Esta iniciativa ha brindado una visión completa de la distribución de contaminantes a nivel local y ha contribuido al desarrollo tecnológico local, al aprovechamiento de datos por parte de grupos ambientales y al aumento de la conciencia ambiental entre los habitantes del Valle de Aburrá. Además, ha personalizado la importancia del entorno y cómo las actividades cotidianas pueden afectar la calidad del aire, educando así a la comunidad sobre estos temas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2021).

Por otro lado, existe el proyecto CanAirIO, del que hace parte Daniel Bernal (Ingeniero electrónico, activista y experto en temas como humedales, biodiversidad urbana y calidad del aire) y fue implementado en el sur de Bogotá, parques, humedales y colegios, en 2017. Este proyecto se centra en la participación de la comunidad ciudadana, que utiliza estaciones móviles y fijas de monitoreo usando sensores de bajo costo y celulares bajo la filosofía del software libre y licencias abiertas para medir indicadores de la calidad del aire como el PM_{2.5}; adicionalmente, se basa en mediciones tanto en interiores como en exteriores, y su objetivo principal es establecer una red colaborativa de ciudadanos que contribuyan a la creación de un mapa de calidad del aire. Este mapa tiene el propósito de proporcionar información sobre la calidad del aire en tiempo real y ayudar a identificar cómo se puede mejorar la calidad de vida de la comunidad en general (Bernal, D., 2021). Aunque también se puede decir que busca promover el uso y la instalación de equipos de monitoreo de calidad del aire de bajo costo a través de talleres educativos. Estos talleres tienen como objetivo instruir a los participantes sobre la instalación, el funcionamiento y la interpretación de los datos recopilados por estas estaciones de monitoreo, fomentando así la participación activa de la comunidad en la mejora de la calidad del aire en su entorno.

También existen algunos otros estudios como el realizado por la Universidad Católica de Bogotá, Colombia Titulado “*Desarrollo de un prototipo para la medición de partículas pm_{2.5} en la ciudad de Bogotá*”. Este estudio se centró en el desarrollo de un prototipo para medir las partículas PM_{2.5} en la ciudad de Bogotá. La principal metodología utilizada consistió en la creación de un dispositivo de bajo

costo, diseñado y fabricado por el equipo de investigación, que luego fue sometido a pruebas en un entorno interior de la universidad. Los resultados obtenidos fueron comparados con sensores tradicionales disponibles en el mercado (Temtop M2000C). Como resultado de este estudio, indicaron que se obtuvo un coeficiente de correlación general de 0.7 entre los datos obtenidos con el prototipo desarrollado y los datos proporcionados por el sensor tradicional. Estos hallazgos son destacables, ya que demuestran la viabilidad y la eficacia de la tecnología de bajo costo desarrollada por el equipo de investigación de la Universidad Católica. (Martinez, W, 2020).

Además, podemos mencionar otros estudios recientes, como el realizado por la Universidad del Norte en Barranquilla, Colombia, en 2021, Titulado “*Gestión del riesgo a la salud humana debido a los contaminantes atmosféricos PM10 y PM2,5 mediante la integración de sensores de bajo costo*”. El propósito principal de este estudio fue evaluar el rendimiento de sensores de bajo costo tanto en ambientes interiores como exteriores, y posteriormente comparar sus mediciones con las de equipos de referencia tradicional y los equipos empleados por la Autoridad Ambiental en la ciudad de Barranquilla. El objetivo central de esta investigación fue desarrollar un sistema de alerta temprana al que la comunidad pudiera acceder. De esta manera, se buscaba reducir la exposición de la población a niveles elevados de material particulado. Además, se llevó a cabo un análisis estadístico que incluyó correlaciones lineales, y se aplicaron diversos modelos de Spline para lograr ajustes precisos, en relación con los resultados obtenidos en el estudio se menciona que se tuvo una correlación del 0,77 entre las variables tomadas respecto a ambientes interiores (Rugeles, S. 2020).

1.5 6.3 Marco Conceptual

Los siguientes conceptos son esenciales para comprender y avanzar en el desarrollo de este proyecto:

- 6.3.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se puede describir como la presencia de sustancias nocivas, concentraciones de partículas o productos secundarios gaseosos en la atmósfera que conllevan un riesgo significativo, causan daños, o generan molestias graves tanto para las personas como para los seres vivos que se encuentran expuestos a tal ambiente (IDEAM, s.f.). La emisión de sustancias químicas o materiales peligrosos en la atmósfera constituye una amenaza significativa que puede tener efectos

devastadores tanto en el medio ambiente como en la salud pública. Esta problemática ha sido responsable de causar cientos de millones de muertes anuales debido a su impacto.

- *Dispersión de contaminantes:* Esta ocurre en la atmósfera cuando sustancias contaminantes son transportadas por el aire después de su liberación desde fuentes específicas. Este fenómeno se ve influenciado por factores como la dirección y velocidad del viento, la precipitación y otros parámetros meteorológicos (Ni, 2015).
- *Material Particulado PM 2.5:* Se refiere a las partículas con un diámetro inferior a 2.5 micrómetros, las cuales son notablemente pequeñas, incluso más pequeñas que el grosor de un cabello humano. Esta característica las distingue como una de las partículas más diminutas presentes en el aire, pero también como una de las más peligrosas para la salud pública. Estas partículas son generadas por diversas fuentes, que incluyen vehículos, instalaciones industriales, quema de madera y otras actividades (EPA, 2017). Es importante destacar que estas partículas pueden tener efectos perjudiciales significativos en la salud, como la reducción de la capacidad pulmonar, el agravamiento de los ataques de asma, la muerte prematura en personas con afecciones pulmonares y la irritación de las vías respiratorias.
- *Fuentes móviles:* Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, pueden ser categorizados como fuentes de emisión los vehículos como camiones, autobuses y automóviles, motores y equipos, todo lo relacionado con carreteras, así como fuentes no relacionadas con carreteras, como locomotoras, embarcaciones marinas, equipos de construcción, entre otros. Estas fuentes emiten diversos contaminantes a la atmósfera, dependiendo de su fuente de energía. Estos contaminantes pueden incluir gases de efecto invernadero, material particulado, compuestos orgánicos volátiles y otros (DEC, s.f.).
- *Fuentes fijas:* Son aquellas fuentes de emisión que manejadas por seres humanos o por su intervención, emiten contaminantes a la atmósfera desde un lugar determinado, por ejemplo una caldera, una cabina de pintura o un proceso de corte en una carpintería (GOV, s.f).
- *6.3.2 Estado de la calidad del aire*

Con un estudio de la calidad del aire se puede conocer la concentración y composición de los múltiples gases y partículas que se encuentran dispersos en la atmósfera. Estos elementos deben hallarse en una proporción determinada, con el fin de cumplir con un equilibrio y una calidad que permita a todos los seres vivos mantener una vida saludable. Los factores que afectan de manera directa e indirecta a la

calidad del aire son muy diversos, dentro de los que se encuentran las reacciones químicas de los elementos presentes en la atmósfera y las variables meteorológicas (AQUAE, 2022). Una evaluación precisa de la calidad del aire nos proporciona información sobre sus componentes clave, los cuales son esenciales para el sustento de la vida y, al mismo tiempo, para prevenir factores contribuyentes al cambio climático en nuestro planeta (Querol, 2012).

Sustentando lo anterior, hacemos mención a la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá RMCAB, que opera desde 1997 y se encarga de vigilar las concentraciones de contaminantes criterio (material particulado de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de azufre - SO2 y dióxido de nitrógeno - NO2 y monóxido de carbono - CO), de black carbón y variables meteorológicas (precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento), por medio de las veinte estaciones instaladas en diferentes lugares de la ciudad. Las estaciones de monitoreo están conformadas por monitores, analizadores y sensores automáticos que recolectan datos cada hora sobre el estado de la calidad del aire en Bogotá. Esta información es almacenada y enviada vía internet hacia el servidor central de la Secretaría de Ambiente. En este se prevalece para, posteriormente, ser publicada en tiempo real en la página web de la entidad (GOV, s.f.)

- *6.3.3 Monitoreo de la calidad del aire*

En virtud de la Resolución 2254 de 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo actualizó los estándares nacionales de calidad del aire ambiental, su actualización tiene como propósito salvaguardar la salud de la población y el bienestar humano. Estos estándares se aplican a una serie de contaminantes criterio, incluyendo el ozono (O3), el material particulado menor a 10 micras (PM10), el material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO2) y el dióxido de azufre (SO2) (Ministerio de Ambiente, 2017). Para llevar a cabo el monitoreo de estos contaminantes criterio y, a su vez, comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos por la legislación nacional, se requiere la implementación de métodos de referencia o métodos equivalentes. Estos métodos están respaldados por las agencias ambientales como la Environmental Protection Agency (US-EPA) y la European Environment Agency (EEA), conforme a lo establecido en el numeral correspondiente.

- *Método automático:* Estos métodos sobresalen debido a su capacidad para realizar mediciones de alta resolución de manera continua, permitiendo llevar a cabo un seguimiento horario con una

mayor precisión temporal. Además, estos métodos son versátiles y pueden abordar un amplio espectro de contaminantes que incluyen desde los contaminantes criterio (PM10-PM2.5, CO, SO2, NO2, O3) hasta contaminantes tóxicos presentes en el aire, como el mercurio y diversos compuestos orgánicos volátiles (Instituto Nacional de Ecología de México, 2012).

- *Método óptico de percepción remota:* Este método se fundamenta en la emisión de un haz de luz con una longitud de onda específica hacia la atmósfera y la subsiguiente medición de la energía absorbida. Esta técnica, denominada espectroscopía, permite llevar a cabo mediciones en tiempo real de la concentración de contaminantes y proporciona datos integrados de múltiples componentes a lo largo de una trayectoria particular en la atmósfera. Los dispositivos empleados en este proceso se conocen como sensores remotos (Instituto Nacional de Ecología de México, 2012).
- *6.3.4 Sistema de vigilancia de calidad del aire (SVCA)*

Estos sistemas se componen de equipos que se adhieren a los métodos de referencia o métodos equivalentes aprobados por las agencias ambientales como la US-EPA, y su operación recae en entidades como las Corporaciones Autónomas Regionales, las de Desarrollo Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y las autoridades ambientales establecidas según la Ley 768 de 2002. Su finalidad es evaluar las concentraciones de contaminantes de acuerdo con lo dispuesto en la Resolución 2254 de 2017. Los SVCA generalmente requieren de instrumentación altamente sofisticada y ampliamente reconocida para cumplir con los exigentes requisitos de precisión en las mediciones. Además, se aplican una serie de procedimientos rigurosos para asegurar que la calidad de los datos obtenidos sea adecuada. Sin embargo, estos sistemas enfrentan desafíos debido a los altos costos de adquisición de equipos, su constante necesidad de mantenimiento y la calibración permanente (Ministerio de Ambiente, 2010).

- *6.3.5 Equipos de medición para la calidad del aire utilizados*

Se emplean diversos instrumentos tecnológicos y procedimientos operativos para recopilar información sobre la calidad del aire, enfocándose en la presencia y concentración de diversos gases y partículas. Estos recursos permiten establecer un sistema de monitoreo de la calidad del aire, verificar el cumplimiento de las regulaciones vigentes y, en última instancia, tomar decisiones destinadas a reducir la exposición de la población y, por ende, las enfermedades relacionadas con la contaminación del aire. Existen una variedad de monitores comerciales disponibles para llevar a cabo esta tarea, y es esencial

que destaquen por su capacidad de proporcionar datos precisos y consistentes (Groeber, Maloney, Koucky, & Hemmer, 2002).

- *Aeroqual serie 500 monitor:*

Es un dispositivo diseñado para medir y monitorear la calidad del aire. Este sensor utiliza una tecnología avanzada para detectar diversos contaminantes atmosféricos, incluyendo gases y partículas PM2.5 Y PM10, con el fin de proporcionar datos precisos sobre la concentración de estos contaminantes. Está equipado con una pantalla que muestra los valores de concentración de contaminantes en tiempo real, posee una memoria interna para registro de datos, tiene la capacidad de transmitir estos datos a través de conexión inalámbrica que pueden ser descargados a una PC; y para garantizar la precisión de las mediciones, los sensores Aeroqual deben ser calibrados regularmente.

- *Dispositivo de Bajo Costo:*

En tiempos recientes, han emergido numerosos estudios sobre sensores portátiles de bajo costo que han revolucionado el monitoreo de la calidad del aire al proporcionar mediciones con una frecuencia que puede ser de minutos o incluso segundos. Esta tecnología permite detectar cambios en la calidad del aire a lo largo del día y satisface una amplia gama de necesidades, ya que son capaces de detectar y medir tanto contaminantes gaseosos como partículas en el aire. Tienen la versatilidad de monitorear la calidad del aire en interiores y exteriores, e incluso son portátiles, lo que facilita su movilidad.

Es importante destacar que, si bien estos sensores aún se encuentran en una etapa inicial de desarrollo tecnológico y muchos de ellos aún no han sido completamente evaluados para determinar la precisión de sus mediciones (U.S EPA, 2014). Cada día se dispone de más información sobre sensores de calidad del aire de bajo costo, Es relevante tener en cuenta que el mercado de tecnología de sensores de aire está en constante expansión, con más empresas ofreciendo monitores portátiles asequibles para el público.

El término "bajo costo" hace referencia al precio de adquisición de los sensores en comparación con el costo de adquisición y operación de los equipos de medición que cumplen con los métodos de referencia o métodos equivalentes establecidos por las agencias US-EPA o EEA. Es un término relativo y puede variar según el autor y el propósito específico. En el contexto de este trabajo, se definió un sensor de bajo costo como un módulo sensor cuyo precio es inferior a diez millones de pesos (Kortoçi, 2022).

En el mercado existen tres tipos de sensores de partículas de bajo costo, a saber, los sensores gravimétricos, mecánicos y ópticos. Los sensores de tipo mecánico y gravimétrico miden directamente la masa de partículas en un volumen determinado, mientras que los sensores ópticos registran la cantidad de partículas en un volumen dado. En el caso de los sensores ópticos, el usuario debe realizar una conversión de "cantidad de partículas" a "masa de partículas", lo cual es un cálculo aproximado y puede variar según la naturaleza de las partículas (Canu et al., 2018).

- *6.3.6 Calidad del aire en el interior*

Según Sáez Cifre, E. en el 2017, la calidad del aire en interior se determina mediante tres factores: agentes biológicos, agentes químicos y agentes físicos. A mayor concentración de agentes biológicos y químicos menor será la calidad del aire y muchos de estos agentes se crearían en el interior de los edificios, puesto que, a una menor ventilación, mayor exposición a contaminantes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que el aire de los espacios interiores puede llegar a estar de cinco a diez veces más contaminado que el aire exterior. Un hecho que no se puede obviar ya que la mala calidad del aire genera irritación y, a su vez incomodidad, además de efectos negativos sobre la salud de las personas que lo respiran. Algunos contaminantes del aire interior proceden del exterior, pero la mayoría se liberan dentro, mediante actividades como la limpieza, quema de combustibles para cocinar o producir calor, el mobiliario y los materiales de construcción también pueden emitir contaminantes (Sáez Cifre, E. 2017).

- *6.3.7 Métodos estadísticos*

Se refiere a un conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan en estadística para analizar datos, obtener conclusiones y tomar decisiones basadas en evidencia numérica. En estadística, las

correlaciones se enfocan en examinar la relación entre dos o más variables con el objetivo de responder preguntas sobre el grado de independencia o dependencia entre una variable y otra.

- *Coeficiente de correlación de Pearson:* También denotado como "r" o "r de Pearson, esta es una medida que cuantifica la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Es útil para evaluar si existe una asociación entre estas variables y para medir la fuerza y dirección de esa asociación. En el caso de que la dependencia lineal sea perfecta, el $\rho(X, Y) = \pm 1$. La correlación de Pearson es +1 la correlación es positiva y en el caso de ser -1 la correlación es negativa (Santos et al., 2013).
- *Distorsión Dinámica del tiempo (DTW):* Es el nombre de una clase de algoritmos para comparar series de valores entre sí, este algoritmo puede medir la similitud entre dos secuencias que permite obtener un buen ajuste incluso frente a un desfase en la velocidad o en el tiempo. (Giorgino T., 2009).

1.6 6.4 Marco teórico

Se encuentran diversas teorías sobre la contaminación atmosférica, de las cuales podemos decir que todas hacen referencia a la presencia de sustancias químicas nocivas en grandes cantidades en la atmósfera como lo son PM10, PM2.5, Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), entre otros. Estos causan daño o riesgo a la seguridad o salud humana y a los diferentes ecosistemas. La calidad del aire se ve afectada por la contaminación atmosférica que se presenta afectando la salud humana debido a que estos agentes contaminantes perjudican el aire puro el cual se encuentra compuesto de oxígeno (21%), nitrógeno (78%) y otros gases en menor proporción (Castillo, M., 2014).

La calidad del aire interior se determina mediante tres factores: agentes biológicos, agentes químicos y agentes físicos. La concentración de estos agentes afecta directamente la calidad del aire, especialmente en lugares con poca ventilación. Los agentes físicos, como la ventilación, la temperatura y la humedad, también desempeñan un papel importante en la calidad del aire interior, ya que no son visibles a simple vista por el ojo humano. Aunque la calidad del aire en interiores está relacionada con la contaminación del aire exterior (gases de vehículos, humo de industrias), no depende exclusivamente de ella. Muchos contaminantes se generan internamente debido a actividades como la limpieza, la cocción con

combustibles, y los materiales de construcción y muebles también pueden liberar sustancias contaminantes al ambiente interior. Por lo tanto, es fundamental considerar tanto las fuentes externas como las internas para evaluar la calidad del aire en espacios interiores.

Para determinar a ciencia cierta la calidad del aire en espacios interiores y exteriores, se utilizan equipos de medición que puedan ser capaces de captar agentes contaminantes como lo es el material particulado y arrojar información fácil de interpretar. Es por esto que se utilizan los dispositivos de bajo costo debido a por métodos de calibración se pueden mantener y son mucho más accesibles a nivel económico que los dispositivos tradicionales para medir la calidad del aire, sin embargo estos dispositivos de bajo costo deben ser sometidos a estudios de confiabilidad en donde se garantice que puedan ser utilizado, los cuales se realizan midiendo datos desde un DBC y un dispositivo tradicional en un mismo espacio, para luego realizar su correspondiente análisis (Caro, S. D., et al., 2021).

1.7 6.5 Marco normativo

Para el desarrollo de la investigación, se consideraron diversas normativas relacionadas con los límites máximos permitidos de calidad del aire, así como las responsabilidades y funciones del Ministerio del Medio Ambiente. Estas normativas establecen la coordinación de actividades de vigilancia y control de la calidad del aire como parte de las obligaciones y competencias del Ministerio.

Tabla 1: Normatividad calidad del aire en Colombia

Acto Normativo	Emitido por	Relación con el proyecto
Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible	El artículo 2, establece los niveles máximos permisibles en el aire a condiciones de referencia para contaminantes.
Resolución 2154 de 2010	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible	Es el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010.

Ley 99 de 1993.	Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA).	El artículo 31, delega las responsabilidades de las Corporaciones Autónomas Regionales, las cuales incluyen la evaluación, control y seguimiento ambiental del aire y otros recursos.
Resolución 2410 de 2015	Secretaría Distrital de Ambiente	El artículo 14, adopta el Índice Bogotano de Calidad del Aire IBOCA para la definición de niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá; el cual operará como indicador para la gestión y articulación de las acciones conjuntas entre los sectores de ambiente y salud.
Decreto 623 de 2011	Alcaldía Mayor de Bogotá	Adopta la clasificación de áreas fuente de contaminación atmosférica en clase I, II, y III, así también establece las medidas para disminuir la contaminación generada por fuentes fijas, entre otras disposiciones finales. Como antecedente normativo se encuentra el Decreto 417 de 2006 y el Decreto 174 de 2006.

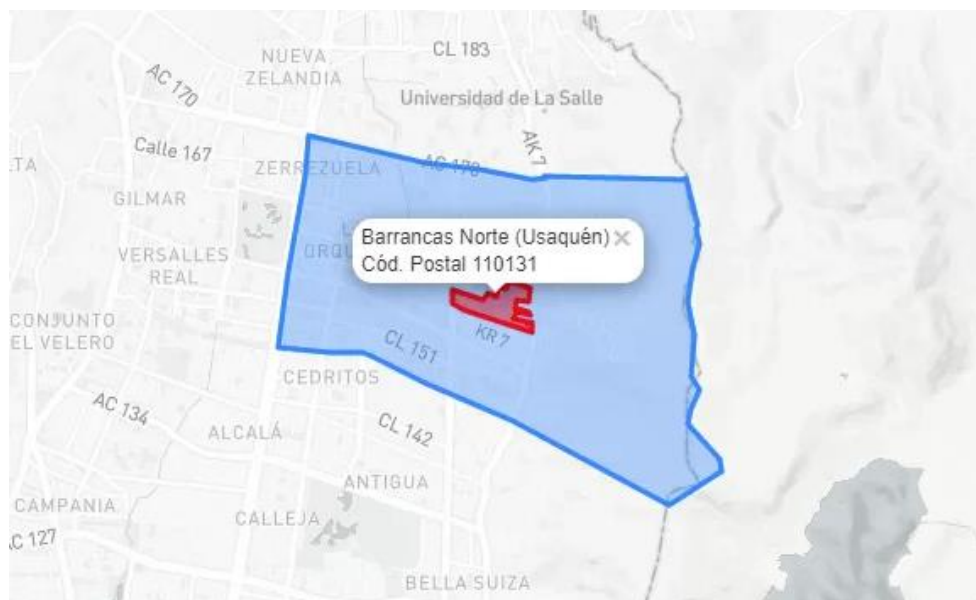
Fuente: Autores, 2023

1.8 6.6 Marco Geográfico

La toma de datos se registró en el interior de una vivienda ubicada en la ciudad de Bogotá en la localidad de Usaquén, más específicamente en el barrio Barrancas, ubicado en el nororiente de la ciudad de Bogotá, se resalta que el área es una zona residencial donde se encuentran en su mayoría casas y apartamentos, cuenta con diversos establecimientos y zonas comerciales, además de tener cercanía con la Carrera 7, en la cual se presenta gran cantidad de tráfico vehicular, tanto pesado como liviano y existe gran flujo de transporte público, por lo cual, podemos decir que los niveles de

contaminación del aire externo pueden afectar directamente la calidad de aire en el interior de las viviendas.

Figura 1. Mapa del barrio Barrancas en la localidad de Usaquén

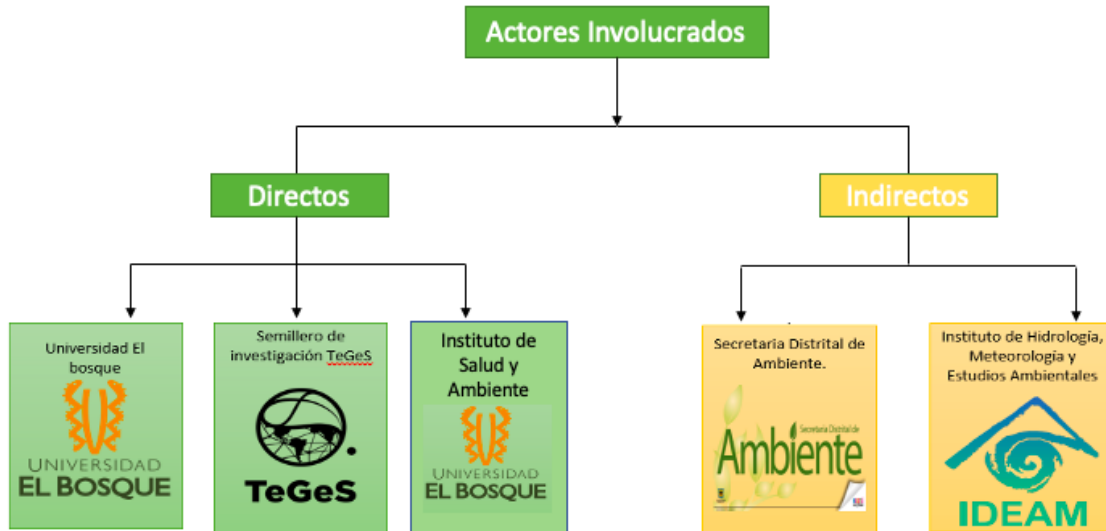


Fuente: Google maps. Ubicación del barrio Barrancas en la localidad de Usaquén, Bogotá, Colombia.

1.9 6.7 Marco Institucional (organigrama).

A continuación, se muestran los actores que se involucraron en el desarrollo de este trabajo, algunos de ellos con un rol directo y otros con una contribución indirecta, tal como se ilustra en la figura 3.

Figura 2. Organigrama de actores involucrados en la realización del proyecto



Fuente: Autores, 2023

La Universidad El Bosque La Universidad El Bosque es una institución privada de educación superior con Acreditación de Alta Calidad ha logrado niveles de calidad suficientes, hecho que ha sido reconocido públicamente a través del acto formal de acreditación mediante Resolución 13172 del 17 de julio de 2020 del Ministerio de Educación Nacional.

El Instituto de Salud y Ambiente Es un grupo interdisciplinario interesado en analizar la relación entre la salud y el ambiente por medio de la ejecución de proyectos de investigación que mejoren la calidad de vida de las comunidades urbanas y rurales, en la cual tienen un semillero de Investigación llamado **Semillero de investigación de TeGes** donde se desarrollan varias líneas de investigación como el diseño y desarrollo de aplicaciones web y móviles, Sistemas de información geográfica, Salud Ambiental (Calidad del aire, calidad del agua, suelos) y entornos saludables.

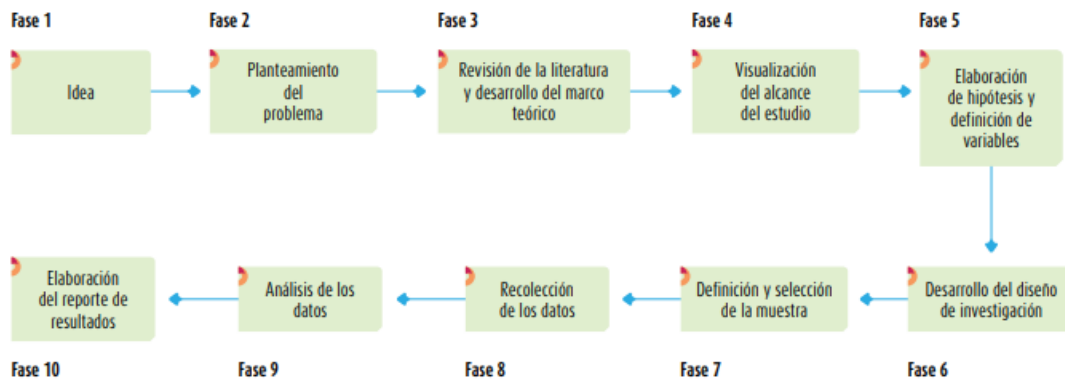
La Secretaría Distrital de Ambiente propende por el desarrollo sostenible de la ciudad, formulando promoviendo y orientando políticas, planes y programas que permitan la conservación, protección y recuperación del ambiente y de los bienes y servicios naturales.

IDEAM El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales es una entidad del gobierno de Colombia dependiente del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Se encarga del manejo de la información científica, hidrológica, meteorológica en Colombia.

7. Metodología

El enfoque metodológico formulado para el proyecto corresponde a una investigación de tipo descriptiva ya que se miden conceptos, se definen variables, se considera el fenómeno estudiado y sus componentes con el fin de realizar un análisis, lo que da claridad al objetivo uno. A su vez, es considerada cuantitativa con un proceso secuencial y probatorio que se caracteriza por medir fenómenos, utilizar estadística y realizar una comparación conforme a los datos arrojados por el Dispositivo de Bajo Costo y el equipo de referencia frente a la similitud de resultados, lo cual dará cumplimiento al segundo objetivo. Los pasos del proceso cuantitativo de acuerdo con R. Hernández (2014) tiene diez fases, las cuales son:

Figura 3. Diagrama del proceso cuantitativo



Fuente: Metodología de la investigación sexta edición (P. 5) por R. Hernández 2014

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto pretende analizar y comparar los datos de los sensores a partir de las mediciones de material particulado PM2.5 tanto del Dispositivo de Bajo Costo creado por el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque como del equipo de referencia Aeroqual series 500 monitor, con la finalidad de evaluar su comportamiento y confiabilidad al realizar un estudio de ambos equipos funcionando en paralelo en el interior de una vivienda, para lo cual se presenta la tabla 2, en donde se resumen los componentes metodológicos para cada objetivo propuesto, antes de entrar en el detalle del proceso realizado.

Tabla 2. Componentes metodológicos

Componente	Analizar los resultados obtenidos para determinar las posibles causas de los niveles de concentración en el punto de monitoreo establecido.	Comparar las mediciones de la calidad del aire realizadas con un equipo de bajo costo y un equipo de referencia.
Método	Deductivo	
Enfoque	Cuantitativo	
Alcance	Descriptivo	Correlacional
Unidad de análisis	Medición del material particulado inferior a 2.5 micras (PM 2.5)	
Recolección de información	DBC y Equipo de referencia Aeroqual serie 500	
Organización y tabulación	Excel, Rstudio	
Sistematización y análisis	Documentos	Método DTW “Distorsión dinámica del tiempo”
Interpretación	Documentos	Tabla comparativa

Fuente: Autores, 2023

1.10 7.1 Etapas del proceso de investigación

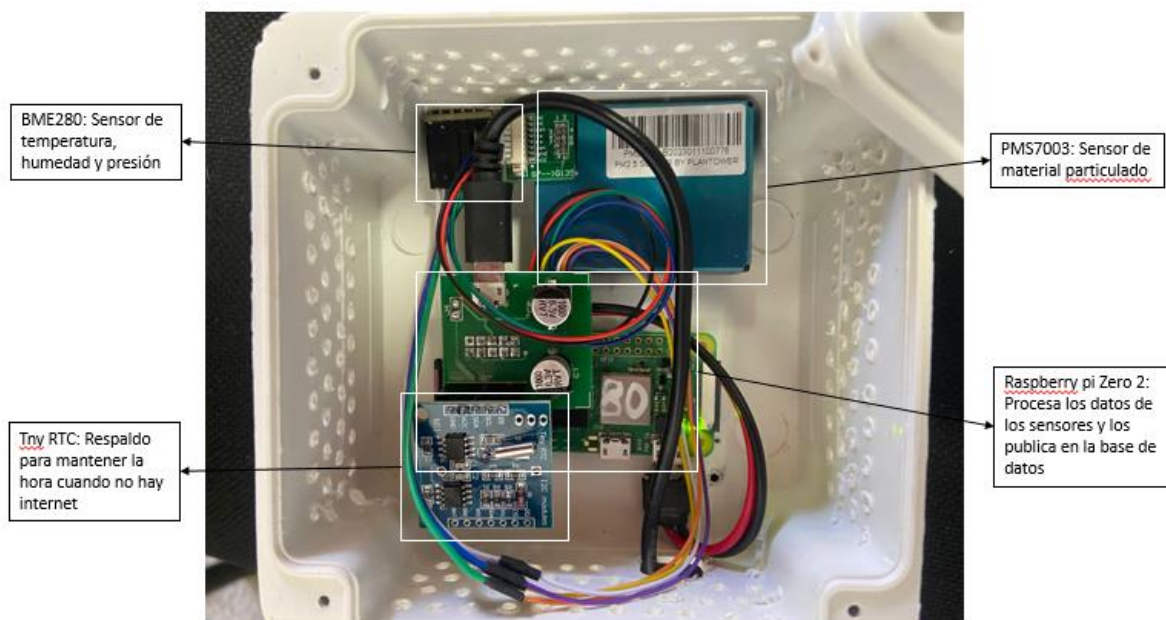
La investigación se realizó en cuatro etapas para alcanzar los objetivos planteados, las cuales se describen de la siguiente forma:

7.1.1 Etapa I: Revisión bibliográfica:

En primera instancia se realizó una búsqueda de literatura sobre la calidad del aire a nivel local, nacional y mundial, en donde se realizan mediciones con dispositivos de referencia y Dispositivos

de Bajo Costo, se identificó que hay poca literatura sobre los Dispositivos de Bajo Costo lo cual dificultó su desarrollo. También, se tuvo en cuenta la identificación de partículas PM 2.5 en estudios relacionados con la medición de la calidad del aire tanto en exteriores como en interiores, y como afecta la medición de los dispositivos por diversos factores ambientales. Además, se identificó que la medición con dispositivos de referencia es muy costosa, por lo cual, se hace aún más necesaria la búsqueda de alternativas de monitoreo periódico que resulten más económicas. Por último, se estudió el Dispositivo de Bajo Costo desarrollado por el Instituto de Salud y Ambiente (ISA) de la Universidad El Bosque (figura 4 y 5) para saber cómo funciona y las similitudes que tiene en la medición frente al equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor (figura 6).

Figura 4. Partes y funciones de la estructura interna del Dispositivo de Bajo Costo realizado por el ISA



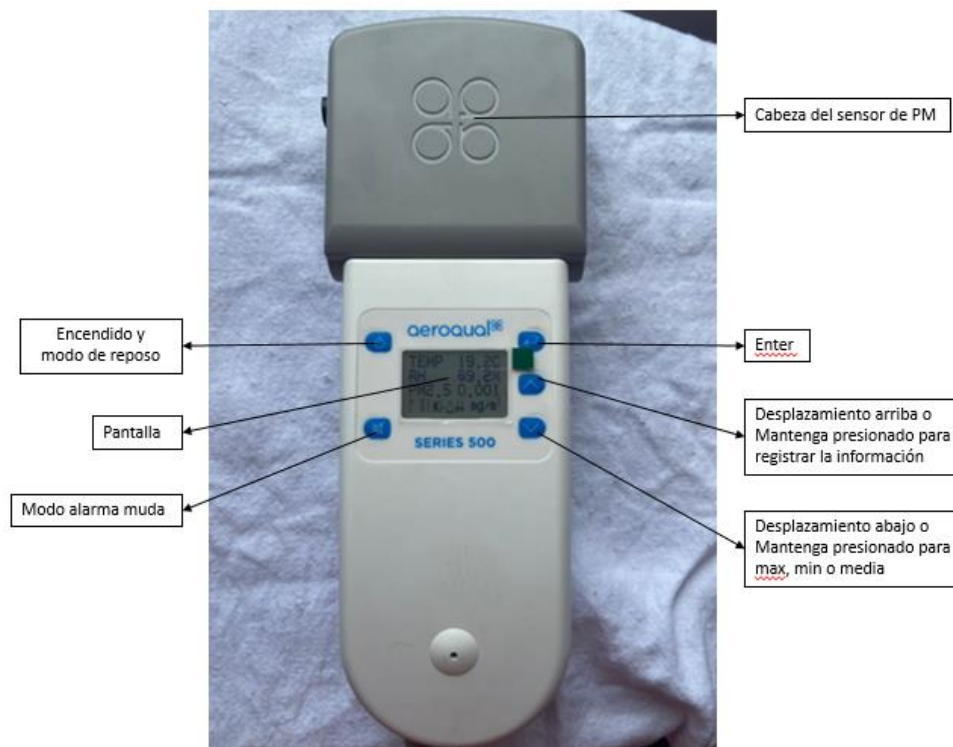
Fuente: Archivo personal

Figura 5. Estructura externa del Dispositivo de Bajo Costo realizado por el ISA



Fuente: Archivo personal

Figura 6. Partes del equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor

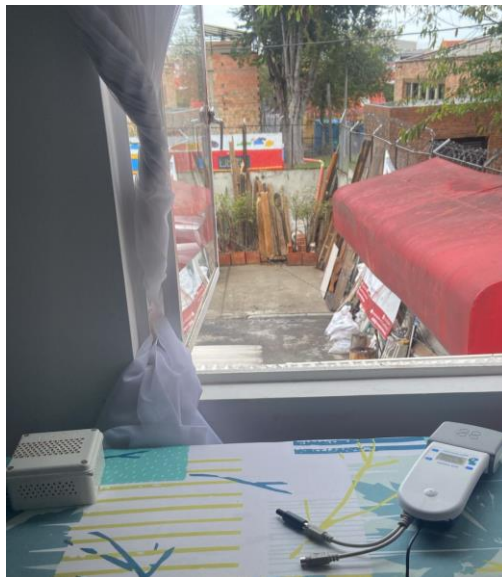


Fuente: Archivo personal

7.1.2 Etapa II: Selección de punto y puesta en marcha del monitoreo al interior:

Se escogió como punto estratégico para la realización de las mediciones el interior de la vivienda de una integrante del proyecto de investigación que se encuentra ubicada en la localidad de Usaquén, específicamente el barrio Barrancas, donde se realizó la medición al mismo tiempo en el Dispositivo de Bajo Costo y en el Aeroqual serie 500 monitor ubicados uno al lado del otro aproximadamente a medio metro de distancia, frente a la ventana de la habitación principal, la cual da al exterior la Carrera 7 bis (figura 7), resaltando que no se colocaron los dispositivos en otro espacio debido a que hay mascotas en la casa y podían alterar los resultados al moverlos o dañarlos.

Figura 7. Ubicación del Aeroqual serie 500 y el Dispositivo de Bajo Costo



Coordenadas 4^a43'54'' N 74^a01'45'' W

Fuente: Archivo personal

El monitoreo de las concentraciones de PM_{2.5} se realizó durante 7 días, inició el 10 de octubre a las 8:00 am y finalizó el 17 de octubre a las 8:00 am. Se distribuyó en periodos de 24 horas: el periodo uno se establece del 10 de octubre a las 8:00 am al 11 de octubre a las 8:00 am, el periodo dos del 11 de octubre al 12 de octubre, el periodo tres del 12 de octubre al 13 de octubre, el periodo cuatro del 13 de octubre al 14 de octubre, el periodo cinco del 14 de octubre al 15 de octubre, el periodo seis del 15 de octubre al 16 de octubre, y el periodo siete del 16 de octubre al 17 de octubre en los mismos horarios establecido del periodo uno; estos arrojaron

simultáneamente resultados de la medición del material particulado PM2.5, humedad y temperatura. Es importante resaltar que de 8:00 am a 8:00 pm se abría la ventana en pro de captar la variabilidad en los datos de la calidad del aire en esas 12 horas frente a las siguientes 12 horas (8:00 pm a 8:00 am) en las que se cerraba la ventana.

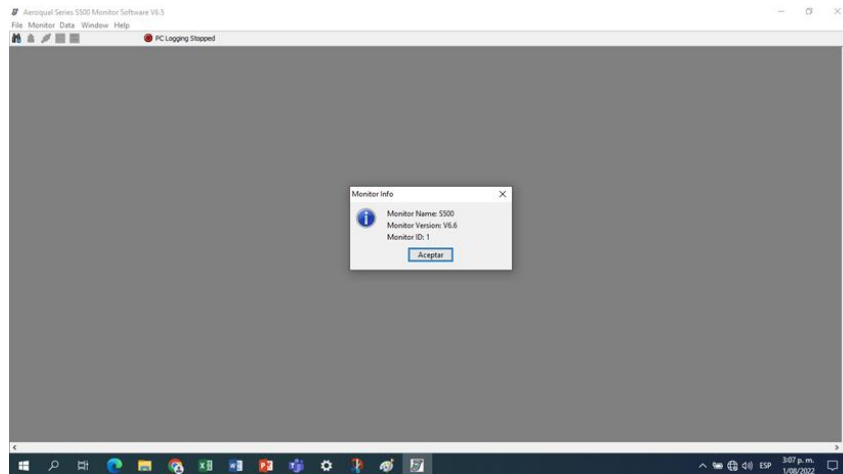
Las instrucciones de manejo que se tuvieron en cuenta para la medición de las partículas PM2.5 con el Dispositivo de Bajo Costo según especificaciones de algunos participantes que elaboraron el dispositivo, de diversas carreras como Estadística, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Sistemas, entre otros, pertenecientes al Semillero de Investigación, se encuentran estructuradas en el anexo 1.

Los pasos detallados que se realizaron para la medición de las partículas PM2.5 con el equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor fueron los plasmados en el “Instructivo para manejo del Equipo de calidad del aire Aeroqual” realizado por el Semillero de Investigación Tecnologías de la Información Geográfica aplicadas a la Salud (TeGeS), descritos en el anexo 2.

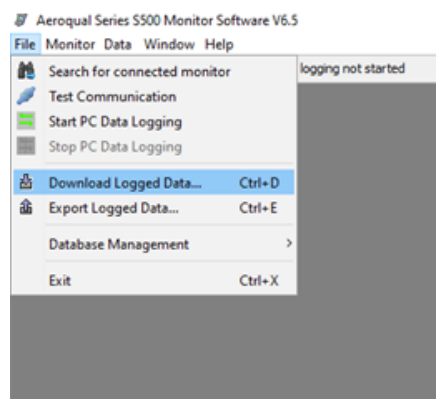
7.1.3 Etapa III: Recopilación y análisis de los datos recolectados:

En el caso del equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor se recolectaba un dato cada tres minutos durante 24 horas, cumplidas las 24 horas, se pausaba el monitoreo durante unos minutos para descargar los datos en el computador portátil y se iniciaba de nuevo el proceso para la medición durante los 7 periodos de 24 horas. El paso a paso para la recopilación de los datos fue:

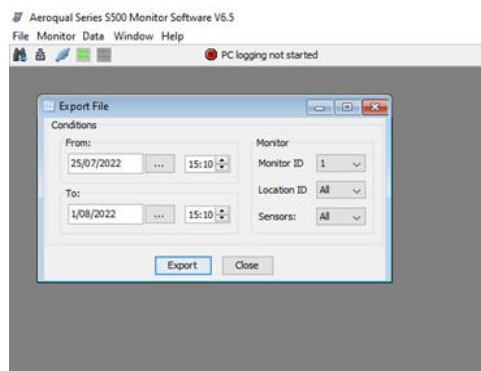
1. Conectar el dispositivo al computador.
2. Abrir la aplicación de Aeroqual.
3. Buscar en la barra superior izquierda el icono de los binoculares.
4. Se escuchará un sonido (tipo pito) y en la ventana del computador aparecerá la siguiente ventana de información damos aceptar.



5. Para pasar los datos del dispositivo al computador se oprime el botón de FILE y DOWNLOAD.



6. Luego se oprime nuevamente el icono de FILE y EXPORT.



7. Se seleccionó el nombre que se va a dar al archivo y se revisa que la información haya quedado guardada con la hora correspondiente.

Por otro lado, el Dispositivo de Bajo Costo se encontraba calculando los datos continuamente cada 3 min, las 24 horas del día durante los 7 periodos, se solicitó la colaboración de un Ingeniero de Sistemas, quien mediante un software denominado VNC Viewer tenía acceso a los valores registrados por el DBC, para descargarlos al final de la medición y transferir la información, como se evidencia al final del anexo 1.

Posterior a la recopilación y descarga de los datos de ambos dispositivos en el computador se crearon dos archivos en Excel para organizar y hacer una validación y depuración de toda la información. El primer archivo se denominó “Aeroqual consolidado 19102023” donde se encuentran los datos que arrojó el equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor, y el segundo archivo se denominó “Consolidado memoria interna de DBC”, donde se encuentran los datos que arrojó el Dispositivo de Bajo Costo de manera organizada por fecha, hora, datos del material particulado PM2.5, humedad y temperatura (figura 8 y 9).

Figura 8. Muestra de consolidado de datos del equipo de referencia Aeroqual serie 500 (Anexo 3)

No	FECHA	HORA	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Humedad relativa(%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	10-oct-23	8:06	1	67,7	19,2
2	10-oct-23	8:09	1	68,8	18,9
3	10-oct-23	8:12	2	69,8	18,8
4	10-oct-23	8:15	2	68,7	18,6
5	10-oct-23	8:18	1	68	18,5
6	10-oct-23	8:21	1	68,6	18,3
7	10-oct-23	8:24	1	68,8	18,2
8	10-oct-23	8:27	1	69,8	18,4
9	10-oct-23	8:30	2	68,4	18,2
10	10-oct-23	8:33	2	68,9	18,1
11	10-oct-23	8:36	2	70,4	18
12	10-oct-23	8:39	2	69,8	18
13	10-oct-23	8:42	2	70,6	18,1
14	10-oct-23	8:45	2	69,4	18,2
15	10-oct-23	8:48	2	69,3	18,1
16	10-oct-23	8:51	2	70,6	18,2
17	10-oct-23	8:54	2	70,1	18,2
18	10-oct-23	8:57	2	70,2	18,3
19	10-oct-23	9:00	2	69	18,6
20	10-oct-23	9:03	2	69	17,8
21	10-oct-23	9:06	2	69,1	17,7
22	10-oct-23	9:09	2	69,8	17,7
23	10-oct-23	9:12	2	69	18,1
24	10-oct-23	9:15	2	70,3	18
25	10-oct-23	9:18	1	69	18,7

Fuente: Autores, 2023

Figura 9. Muestra de consolidado de datos del Dispositivo de Bajo Costo (Anexo 4)

No	Fecha	Hora	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Presión (Pa)
1	10/10/2023	8:00:03	0	1,94E+16	7,48E+15
2	10/10/2023	8:00:03	0	1,93E+16	7,48E+15
3	10/10/2023	8:03:05	0	1,95E+16	7,48E+15
4	10/10/2023	8:06:07	0	1,95E+16	7,48E+14
5	10/10/2023	8:09:08	0	1,97E+15	7,49E+15
6	10/10/2023	8:12:10	0	1,96E+16	7,48E+15
7	10/10/2023	8:15:13	0	1,96E+16	7,55E+14
8	10/10/2023	8:18:14	1	1,93E+16	7,55E+14
9	10/10/2023	8:21:16	1	1,93E+16	7,55E+15
10	10/10/2023	8:24:18	0	1,94E+16	7,55E+15
11	10/10/2023	8:27:20	0	1,94E+16	7,55E+15
12	10/10/2023	8:30:21	0	1,94E+15	7,55E+15
13	10/10/2023	8:33:23	1	1,95E+16	7,55E+15
14	10/10/2023	8:36:25	1	1,96E+15	7,55E+15
15	10/10/2023	8:39:28	1	1,97E+15	7,55E+15
16	10/10/2023	8:42:31	0	1,96E+16	7,55E+15
17	10/10/2023	8:45:32	1	1,97E+16	7,55E+15
18	10/10/2023	8:48:34	1	2,00E+16	7,55E+15
19	10/10/2023	8:51:36	0	2,01E+16	7,55E+15
20	10/10/2023	8:54:38	0	2,04E+16	7,55E+15
21	10/10/2023	8:57:42	3	2,04E+16	7,55E+15
22	10/10/2023	9:00:43	2	1,93E+16	7,55E+15
23	10/10/2023	9:03:45	1	1,94E+16	7,55E+15
24	10/10/2023	9:06:47	1	1,95E+16	7,55E+15
25	10/10/2023	9:09:48	0	1,97E+16	7,55E+15

Fuente: Autores, 2023

Con los datos registrados de PM2.5 se realizó un cuadro para tabular y centrar la información en el que se evidencia los periodos, la fechas que los comprenden, la hora inicial, la hora final, la cantidad de datos que se obtuvieron en una hora, el promedio de los datos de la partícula PM2.5, el dato mínimo, máximo y la desviación estándar, con el fin de realizar la depuración correspondiente y necesaria para obtener los resultados cada hora durante periodos de 24 horas, como se muestra en los anexos 5 y 6.

Figura 10. Estadística de los datos de PM2.5 del equipo de referencia Aeroqual serie 500 (Anexo 5)

Periodos	Fecha	Hora inicial	Hora final	No de datos	Promedio PM2.5 (µg/m3)	Min PM2.5 (µg/m3)	Max PM2.5 (µg/m3)	Desviación estándar
PERIODO 1	10/10/2023	8:06	8:57	18	1,67	1	2	0,49
	10/10/2023	9:00	9:57	20	1,4	1	2	0,5
	10/10/2023	10:00	10:57	20	1,35	1	2	0,49
	10/10/2023	11:00	11:57	20	2	1	3	0,32
	10/10/2023	12:00	12:57	20	2,05	2	3	0,22
	10/10/2023	13:00	13:57	20	2,2	2	3	0,41
	10/10/2023	14:00	14:57	20	1,75	1	2	0,44
	10/10/2023	15:00	15:57	20	2,15	1	4	0,59
	10/10/2023	16:00	16:57	20	2,25	2	3	0,44
	10/10/2023	17:00	17:27	10	2,5	2	3	0,53
	10/10/2023	18:54	18:57	2	3	3	3	0
	10/10/2023	19:00	19:57	20	3	3	3	0
	10/10/2023	20:00	20:57	20	3,85	3	5	0,81
	10/10/2023	21:00	21:57	20	4,35	4	5	0,49
	10/10/2023	22:00	22:57	20	3,1	3	4	0,31
	10/10/2023	23:00	23:57	20	3,9	3	4	0,31
	11/10/2023	0:00	0:57	20	4	4	4	0
	11/10/2023	1:00	1:57	20	3,95	3	4	0,22
	11/10/2023	2:00	2:57	20	4	4	4	0
	11/10/2023	3:00	3:57	20	3,85	3	4	0,37
	11/10/2023	4:00	4:57	20	4	4	4	0
	11/10/2023	5:00	5:57	20	4,95	4	6	0,39
	11/10/2023	6:00	6:57	20	6	5	7	0,46
11/10/2023	7:00	7:57	20	5,8	5	7	0,52	

Fuente: Autores, 2023

Figura 11. Estadística de los datos de PM2.5 del DBC (Anexo 6)

Periodos	Fecha	Hora inicial	Hora final	No de datos	Promedio PM2.5 (µg/m3)	Min PM2.5 (µg/m3)	Max PM2.5 (µg/m3)	Desviación estandar
PERIODO 1	10/10/2023	8:00 a.m	9:00 a.m	21	0,48	0	3	0,75
	10/10/2023	9:00 a.m	10:00 a.m	20	0,60	0	2	0,68
	10/10/2023	10:00 a.m	11:00 a.m	20	0,50	0	3	0,83
	10/10/2023	11:00 a.m	12:00 a.m	19	0,79	0	4	1,32
	10/10/2023	12:00 a.m	1:00 p.m	20	1,25	0	2	0,64
	10/10/2023	1:00 p.m	2:00 p.m	20	0,85	0	4	1,23
	10/10/2023	2:00 p.m	3:00 p.m	19	0,16	0	1	0,37
	10/10/2023	3:00 p.m	4:00 p.m	20	0,80	0	2	0,70
	10/10/2023	4:00 p.m	5:00 p.m	20	0,70	0	2	0,57
	10/10/2023	5:00 p.m	6:00 p.m	20	1,25	0	4	0,57
	10/10/2023	6:00 p.m	7:00 p.m	19	1,63	0	6	1,57
	10/10/2023	7:00 p.m	8:00 p.m	20	1,60	0	4	1,10
	10/10/2023	8:00 p.m	9:00 p.m	20	2,50	0	5	1,24
	10/10/2023	9:00 p.m	10:00 p.m	19	2,47	1	4	0,77
	10/10/2023	10:00 p.m	11:00 p.m	20	1,35	0	2	0,67
	10/10/2023	11:00 p.m	12:00 a.m	19	2,00	0	3	0,88
	11/10/2023	12:00 a.m	1:00 a.m	20	1,65	0	3	0,75
	11/10/2023	1:00 a.m	2:00 a.m	20	2,30	1	4	0,92
	11/10/2023	2:00 a.m	3:00 a.m	20	2,35	1	4	0,88
	11/10/2023	3:00 a.m	4:00 a.m	19	2,21	1	4	0,98
	11/10/2023	4:00 a.m	5:00 a.m	20	2,25	0	4	1,12
11/10/2023	5:00 a.m	6:00 a.m	20	3,75	2	6	1,07	
11/10/2023	6:00 a.m	7:00 a.m	19	5,68	3	9	1,57	
11/10/2023	7:00 a.m	8:00 a.m	20	5,95	4	8	1,15	

7.1.4 Etapa IV Resultados y análisis estadístico:

A partir de la data depurada anteriormente, se toma el promedio de datos por hora tanto del Dispositivo de Bajo Costo como del Aeroqual serie 500 se realizan las tablas correspondientes por cada periodo de 24 horas, con las cuales se obtuvieron las gráficas donde se refleja la comparación del promedio de las concentraciones de PM2.5 obtenidas por el DBC y el Aeroqual. Asimismo, se obtiene la diferencia entre el promedio del DBC y el promedio del Aeroqual cada hora por periodo, para determinar la subestimación que tiene el DBC frente al Aeroqual serie 500, como ejemplo se presenta en la figura 12 el análisis correspondiente al periodo uno (10 de octubre al 11 de octubre de 2023), el análisis completo de todos los periodos puede ser consultado en el anexo 7.

Figura 12. Comparación del promedio de los datos por hora del Dispositivo de Bajo Costo con el Aeroqual calculando la diferencia del periodo uno

PERIODO	HORA	AEROQUAL	DBC	DIFERENCIA
PERIODO 1	8:00- 9:00	1,67	0,48	1,19
	9:00- 10:00	1,40	0,60	0,80
	10:00- 11:00	1,35	0,50	0,85
	11:00- 12:00	2,00	0,79	1,21
	12:00- 13:00	2,05	1,25	0,80
	13:00- 14:00	2,20	0,85	1,35
	14:00- 15:00	1,75	0,16	1,59
	15:00- 16:00	2,15	0,80	1,35
	16:00- 17:00	2,25	0,70	1,55
	17:00- 18:00	2,50	1,25	1,25
	18:00- 19:00	3,00	1,63	1,37
	19:00- 20:00	3,00	1,60	1,40
	20:00- 21:00	3,85	2,50	1,35
	21:00- 22:00	4,35	2,47	1,88
	22:00- 23:00	3,10	1,35	1,75
	23:00- 0:00	3,90	2,00	1,90
	0:00- 1:00	4,00	1,65	2,35
	1:00- 2:00	3,95	2,30	1,65
	2:00- 3:00	4,00	2,35	1,65
	3:00- 4:00	3,85	2,21	1,64
	4:00- 5:00	4,00	2,25	1,75
	5:00- 6:00	4,95	3,75	1,20
	6:00- 7:00	6,00	5,68	0,32
	7:00- 8:00	5,80	5,95	-0,15

Fuente: Autores, 2023

Para identificar la confiabilidad de los valores de PM2.5 del Dispositivo de Bajo Costo en comparación con el equipo de referencia se hace una búsqueda de métodos que sustenten el grado de correlación existente entre los datos de ambos dispositivos, en la que se encontraron cuatro métricas denominadas: Coeficiente de correlación de Pearson, Kendall, Spearman y la Distorsión Dinámica del Tiempo (DTW). Por medio del programa R el cual es utilizado por los estudiantes del Semillero de Estadística de la Universidad El Bosque se evaluaron estadísticamente las métricas con el fin de identificar las coincidencias entre los datos.

Se realizó una comparación entre los métodos y nos centramos en el método DTW, ya que nos permitió comparar la similitud entre los valores arrojados por el DBC y el Aeroqual; buscando una alineación óptima entre las secuencias, lo cual, se confirma con lo expresado por Giorgino,

T (2009), quien indica en el artículo “Computación y visualización de deformación dinámica del tiempo Alineaciones en R: El paquete dtw” que la “Distorsión Dinámica del Tiempo (DTW)” es una clase de algoritmos para comparar series de valores entre sí, suponiendo que se tienen dos series de tiempo: una prueba o consulta y una de referencia, como lo es en este caso.

Para entender el método DTW nos basamos en la ejemplificación que dió Kamper en 2021 “Deformación dinámica del tiempo 1: Motivación” y “Deformación dinámica del tiempo 2: algoritmo”, donde nos explica inicialmente la siguiente ecuación estadística con la cual se obtienen los datos que se representarán en la gráfica:

$$D_{i,j} = d(x_i, y_j) + \min \begin{cases} D_{i-1,j-1} & \text{(match)} \\ D_{i-1,j} & \text{(insertion)} \\ D_{i,j-1} & \text{(deletion)} \end{cases}$$

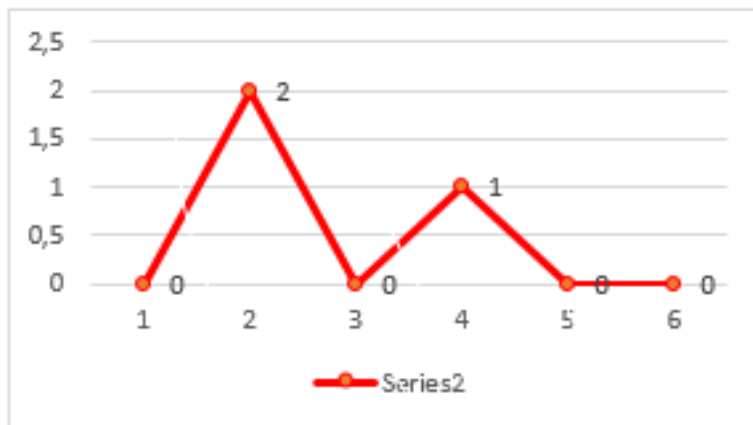
X_i : Valor absoluto de datos del eje x

Y_i : Valor absoluto de datos del eje y

Min: Número mínimo entre los datos cercanos

Teniendo en cuenta esto, se explica a profundidad su uso en el siguiente ejemplo, donde se tienen dos gráficas y la tabla que explica los valores que se le da a cada serie.

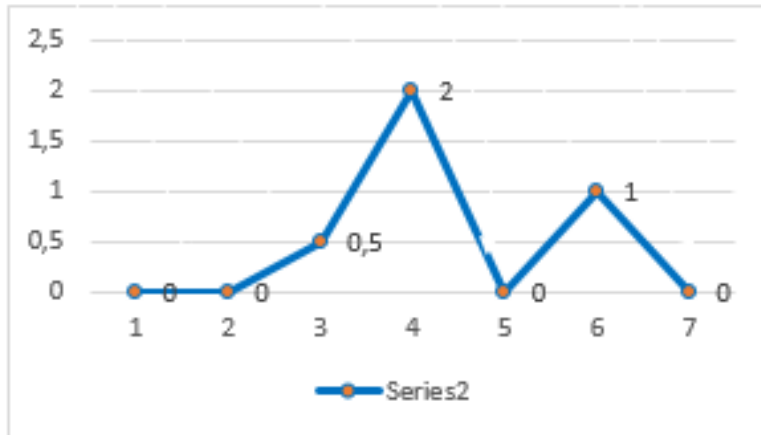
Figura 13. Tabla y gráfica de valores A por serie



Serie	Valores
1	0
2	2
3	0
4	1
5	0
6	0

Fuente: Kamper, 2021

Figura 14. Tabla y gráfica de valores B por serie



Serie	Valores
1	0
2	0
3	0,5
4	2
5	0
6	1
7	0

Fuente: Kamper, 2021

Teniendo los datos anteriores se ubican los datos en la siguiente tabla para realizar la comparación entre los valores A que se ubican en el eje y, y los valores B que se ubican en el eje x, con el fin de buscar la alineación de las dos series.

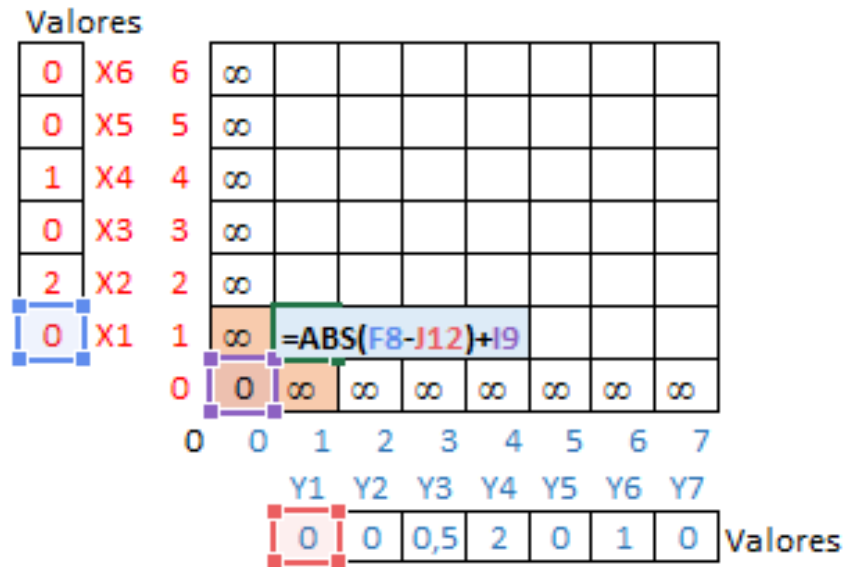
Figura 15. Tabla para comparar los valores de la gráfica A con la gráfica B

Valores										
0	X6	6								
0	X5	5								
1	X4	4								
0	X3	3								
2	X2	2								
0	X1	1								
		0								
		0	0	1	2	3	4	5	6	7
			Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	
			0	0	0,5	2	0	1	0	Valores

Fuente: Kamper, 2021

Se le da valores de ∞ a la primera fila horizontal y vertical, exceptuando la intersección, posteriormente, en la casilla de color azul se aplica la ecuación = *Valor absoluto* ($X1 - Y1$) + valor menor de las tres casillas que lo rodean a la izquierda (indicado con color rojo), de la siguiente forma:

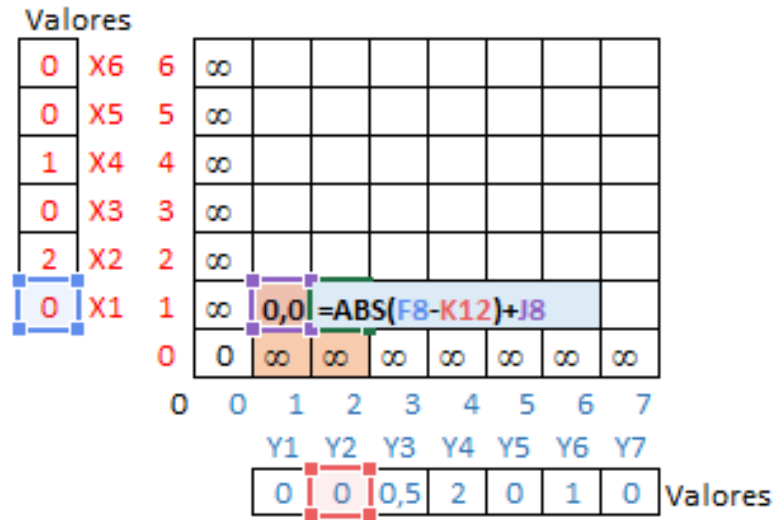
Figura 16. Cálculo con la ecuación en el algoritmo DTW



Fuente: Autores, 2023

Y se realiza el mismo procedimiento con cada cuadro para darle valores numéricos a la tabla en su totalidad:

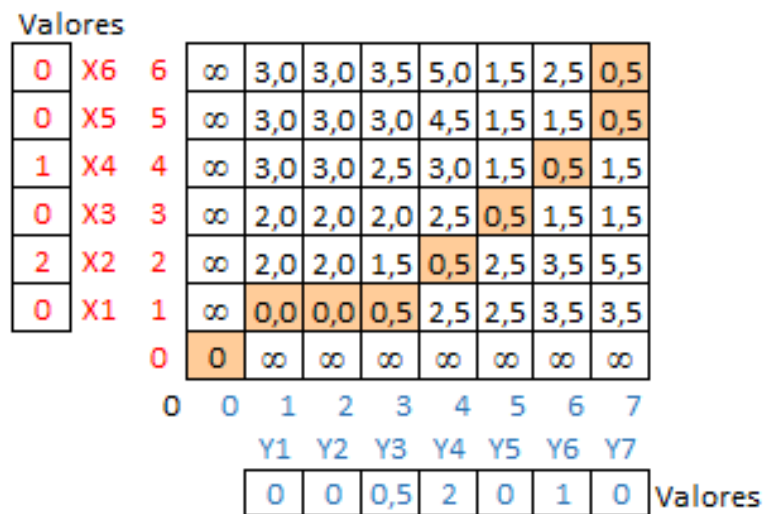
Figura 17. Sucesión de valores calculados con la ecuación



Fuente: Autores, 2023

Después de hallar cada dato y completar el algoritmo, se identifica desde la esquina superior derecha el valor mínimo de cada fila y columna formando un camino hasta la esquina inferior izquierda, como se muestra a continuación:

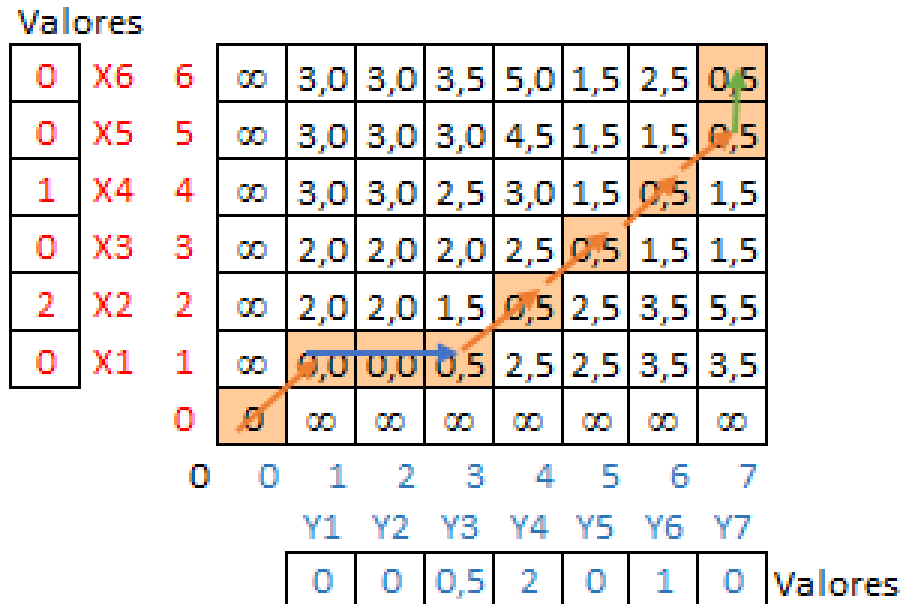
Figura 18. Ruta de valores mínimos en el algoritmo



Cuando se tiene marcada la ruta de valores mínimos como se muestra en la figura 18, se le da una denominación: match que son los valores en diagonal (identificados con la flecha naranja),

deletion que son los valores en horizontal (identificados con la flecha azul) e insertion que son los valores en vertical (identificados con la flecha verde).

Figura 19. Algoritmo para relacionar los valores del eje X y Y



Fuente: Autores, 2023

En la gráfica anterior se muestra la relación que existe entre los valores tanto del eje x como del eje y, es decir, X_1 se relaciona con $Y_1 Y_2 Y_3$, X_2 se relaciona con Y_4 , X_3 se relaciona con Y_5 , y así sucesivamente.

Con base a lo anterior, puedo identificar qué puntos no son relevantes y eliminar alguno de los datos que se encuentran denominados como “deletion” para hacer coincidir una serie con la otra y/o para darles similitud; los datos denominados “match” no se modifican ya que coinciden; y los datos “insertion” se pueden insertar datos con el fin de que las series queden igual.

Finalmente, para identificar el costo de alineación se suman todos los datos mínimos (que se encuentran de color naranja en la figura19, en este caso el resultado es 3,0. Para concluir que entre más cercano a 0 sea el costo de alineación más es la similitud de la serie a estudiar frente a la de referencia.

Es importante resaltar que aunque utilizamos el método DTW, para el caso particular del cálculo de la diferencia entre los datos arrojados por el Dispositivo de Bajo Costo y el equipo de referencia Aeroqual serie 500, dado que los datos recopilados están alrededor de 4000 registros

se optó por utilizar el programa R con la ayuda de los estudiantes de Semillero de Estadística, para calcular el algoritmo automáticamente.

1.11 7.2 Plan de trabajo

Se elaboró un cronograma donde se establecieron las actividades necesarias para el cumplimiento del trabajo de grado.

Figura 20. Cronograma de actividades

Actividades	2023			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Revisión bibliografica	x			
Análisis de los artículos relacionados	x	x		
Monitoreo del punto seleccionado		x		
Capacitación del manejo de L DBC y Aeroqual			x	
Mediciones de los 7 días			x	
Consolidación de los Resultados			X	
Comparación de las mediciones del DBC y Aeroqual			x	
Elaboración del documento de trabajo de grado final	x	x	x	
Sutentación				x

Fuente: Autores, 2023

1.12 7.3 Presupuesto

Se presenta un presupuesto el cual se observa en la tabla 3 identificando dos elementos como lo es la tecnología y gastos de los estudiantes, dando a conocer el valor de los equipos utilizados.

Tabla 3. Presupuesto

ELEMENTO	NOMBRE	CANTIDAD	PRESUPUESTO POR UNIDAD	PRESUPUESTO TOTAL
Tecnología	Dispositivo de Bajo Costo	1	250.000	250.000
	Equipo de referencia	1	35.000.000	35.000.000
Otros	Fotocopias guías de información	50	300	15.000
	Transporte	30	2.750	82.500
		TOTAL		35.347.500

Fuente: Autores, 2023

8. Resultados

Para establecer un análisis de las posibles causas de los niveles de concentración del material particulado PM2.5 en el interior de la vivienda y de la correlación en los valores de este contaminante arrojados por el Dispositivo de Bajo Costo frente al equipo de referencia Aeroqual serie 500, se establece un resumen de las variables obtenidas en el registro tanto del DBC como del equipo de referencia, donde se realiza una comparación de los datos registrados con el fin de identificar si se encuentran dentro del nivel máximo permisible según la Resolución 2254 de 2017, se evalúan qué factores intervinieron en el aumento o disminución del material particulado y se pone en evidencia la viabilidad de uso del Dispositivo de Bajo Costo.

Figura 21. Datos específicos del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Dispositivo	Equipo de referencia
Fuente de datos	Aeroqual s500
Día de inicio	10/10/2023
Hora de inicio	8:00:00 a.m.
Tiempo de registro	7 periodos de 24 horas
Toma de datos	3 minutos
Día de terminación	17/10/2023
Hora de terminación	9:02
No de datos	3328
Variable 1	PM2.5
Min total 2.5	1
Max total 2.5	34
Variable 2	Humedad relativa
Variable 3	Temperatura
	Variable de importancia

Fuente: Autores, 2023

Figura 22. Datos específicos del Dispositivo de Bajo Costo

Dispositivo	Dispositivo de Bajo Costo (DBC)
Fuente de datos	Memoria Interna del DBC
Día de inicio	10/10/2023
Hora de Inicio	8:00 a. m.
Tiempo de registro	7 periodos de 24 horas
Toma de datos	Cada 3 minutos
Día de terminación	17/10/2023
Hora de terminación	9:06 a. m.
No de datos	3326
Variable 1	PM2.5
Min total 2.5	0
Max total 2.5	49
Variable 2	HUMEDAD RELATIVA
Variable 3	TEMPERATURA
	Variable de interes

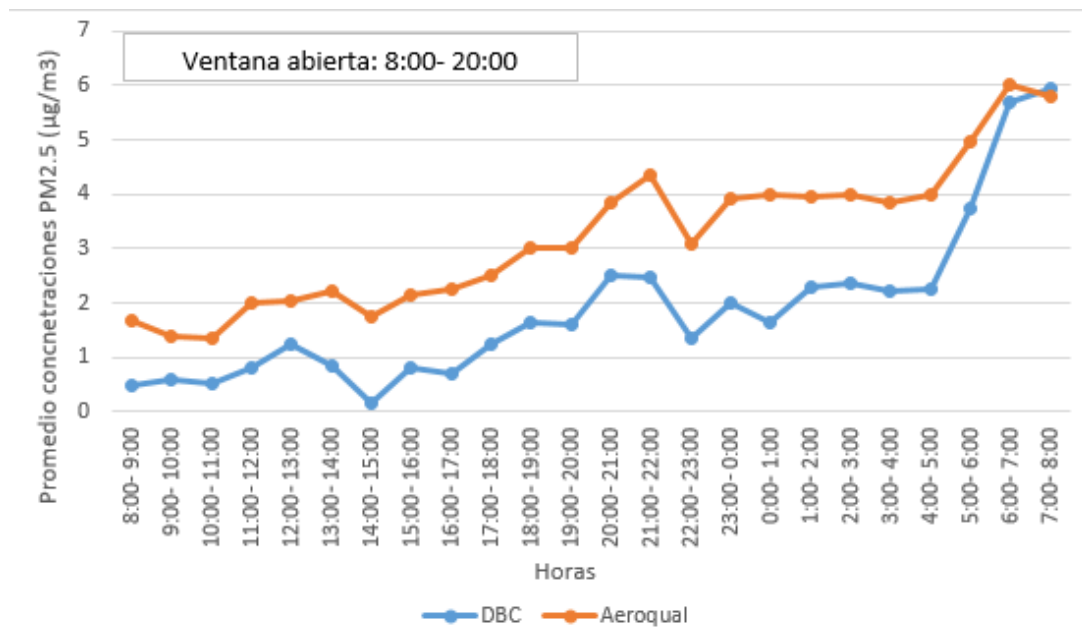
Fuente: Autores, 2023

Las figuras 21 y 22 reflejan los datos de base que se utilizaron para realizar la medición de la calidad del aire del Dispositivo de Bajo Costo y el equipo de referencia Aeroqual serie 500, donde se evidencia que ambos dispositivos empezaron a medir simultáneamente el 10 de octubre de 2023 a las 8:00 am, arrojan un valor cada 3 minutos en 24 horas durante 7 períodos, teniendo en cuenta tres variables específicas (PM_{2,5}, humedad relativa y temperatura), no obstante, la variable en la que se centró la investigación fue el material particulado PM_{2.5}. Es importante recordar que de 8:00 am a 8:00 pm estaba la ventana abierta, mientras que de 8:00 pm a 8:00 am se mantuvo cerrada, donde se identificó cambios de comportamientos en las concentraciones de PM_{2.5} con este factor.

Como se mencionó en la metodología se realizó un consolidado de todos los datos arrojados tanto por el Dispositivo de Bajo Costo como por el equipo de referencia Aeroqual serie 500 (Ver anexos 3 y 4) para calcular el promedio, el mínimo, el máximo y las desviación estándar de las concentraciones de PM_{2.5} cada hora por periodo durante los 7 períodos de medición.

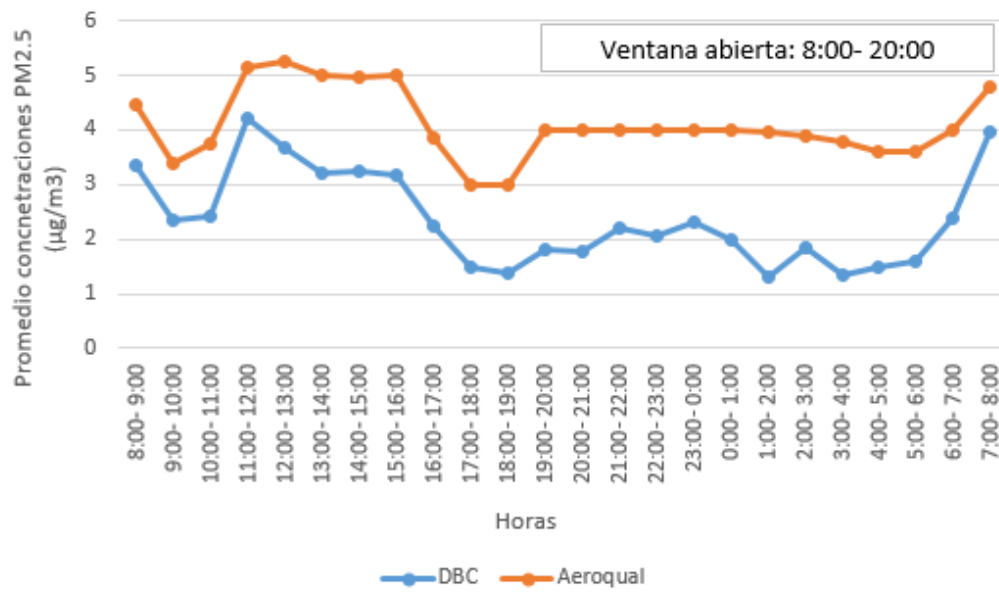
Para evidenciar la tendencia que tienen los datos arrojados por el DBC y el Aeroqual serie 500 se obtuvieron los promedios de concentraciones de PM_{2.5} por hora de los 7 periodos, los cuales pueden ser observados en su totalidad en el anexo 7, se grafican los promedios de cada periodo (figura 23 a 29), y para calcular el valor aproximado de subestimación o sobreestimación que tiene un dispositivo sobre el otro se toma la diferencia de los promedios por hora de cada dispositivo en cada periodo y se identifica el valor que más se repite. Al tener la moda identificada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tomamos el valor máximo que equivale al 100%, y se realiza una regla de tres para encontrar el porcentaje del dato de subestimación o sobreestimación.

Figura 23. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo uno (10- 11 octubre de 2023)



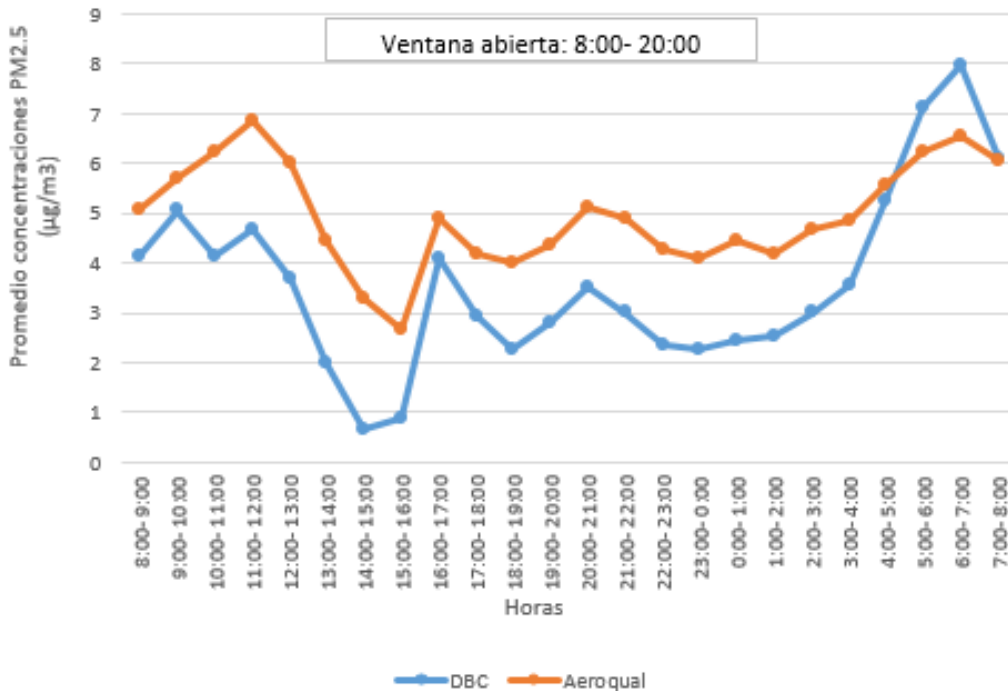
Fuente: Autores, 2023

Figura 24. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo dos (11- 12 octubre de 2023)



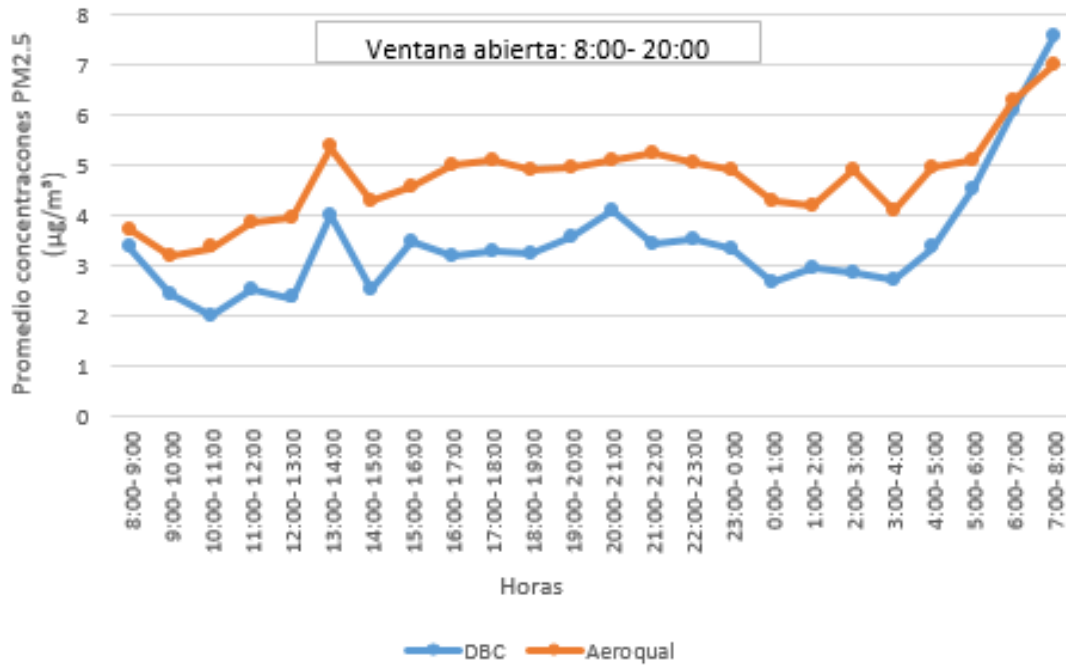
Fuente: Autores, 2023

Figura 25. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo tres (12- 13 octubre de 2023)



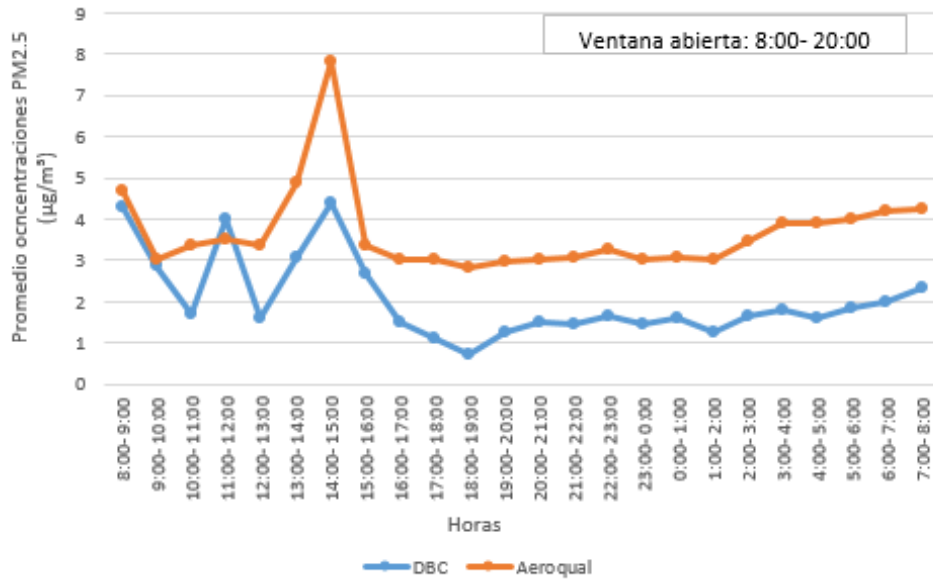
Fuente: Autores, 2023.

Figura 26. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo cuatro (13- 14 octubre de 2023)



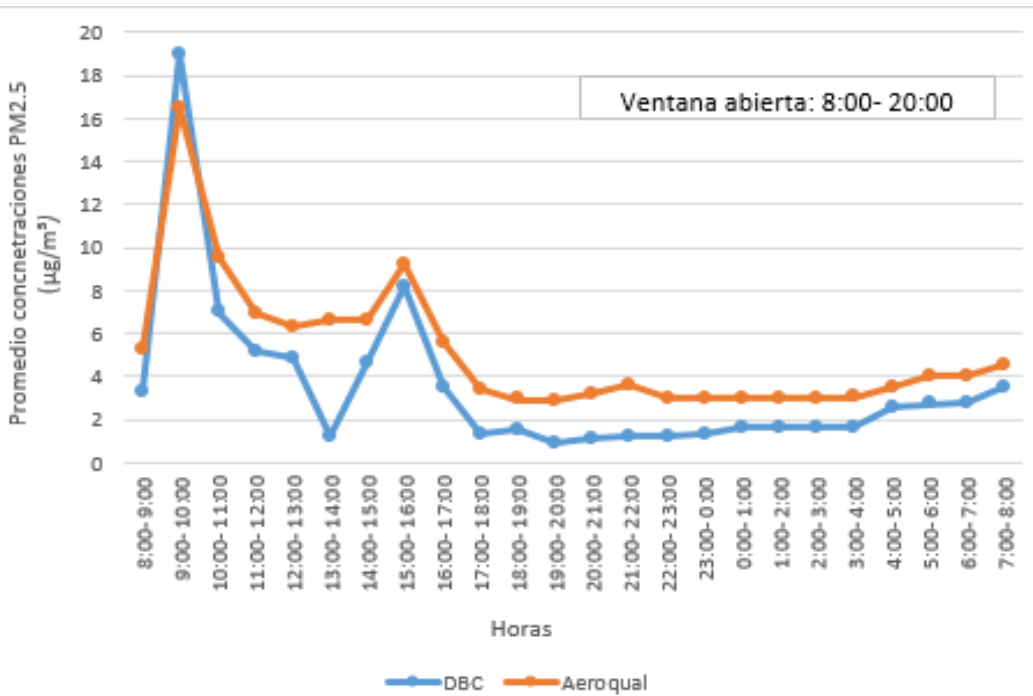
Fuente: Autores, 2023

Figura 27. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo cinco (14- 15 octubre de 2023)



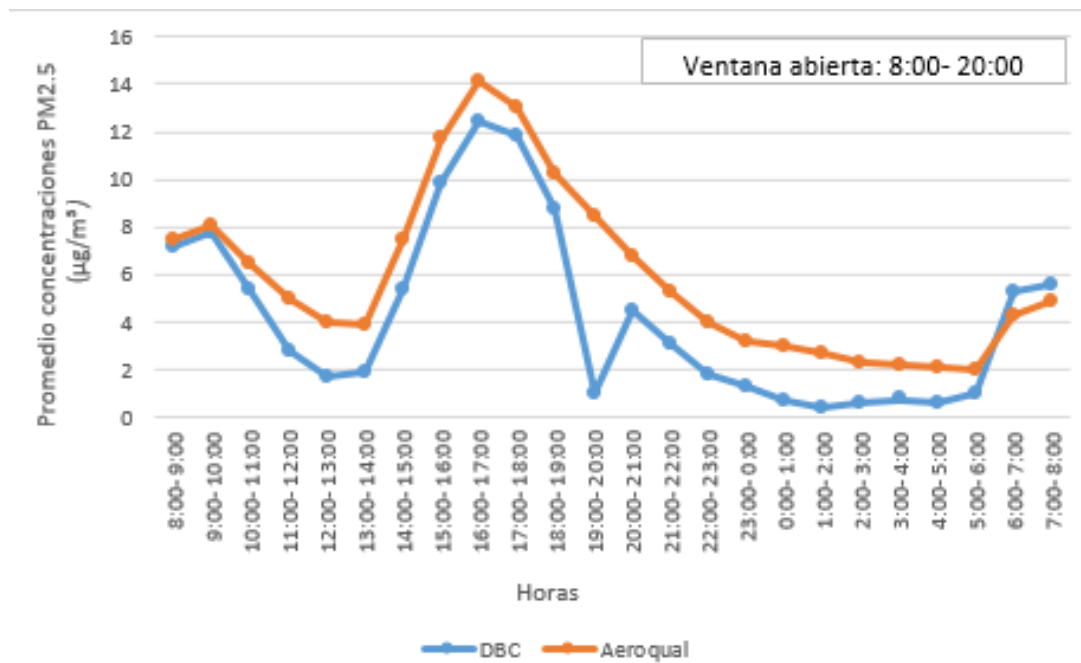
Fuente: Autores, 2023

Figura 28. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo seis (15- 16 octubre de 2023)



Fuente: Autores, 2023

Figura 29. Promedio horario de las concentraciones de PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) del DBC y del Aeroqual serie 500 del periodo siete (16 - 17 octubre de 2023)



Fuente: Autores, 2023

En las gráficas anteriores se evidencia que los datos del Dispositivo de Bajo Costo en los siete períodos presentan una subestimación frente a los datos del equipo de referencia Aeroqual serie 500, por lo cual, se calculó la subestimación tomando el valor que más se repite de la diferencia calculada entre el DBC y el Aeroqual que es $1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el valor máximo de diferencia en promedios es de $7,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (anexo 7), lo que da como resultado una subestimación de 23,3%.

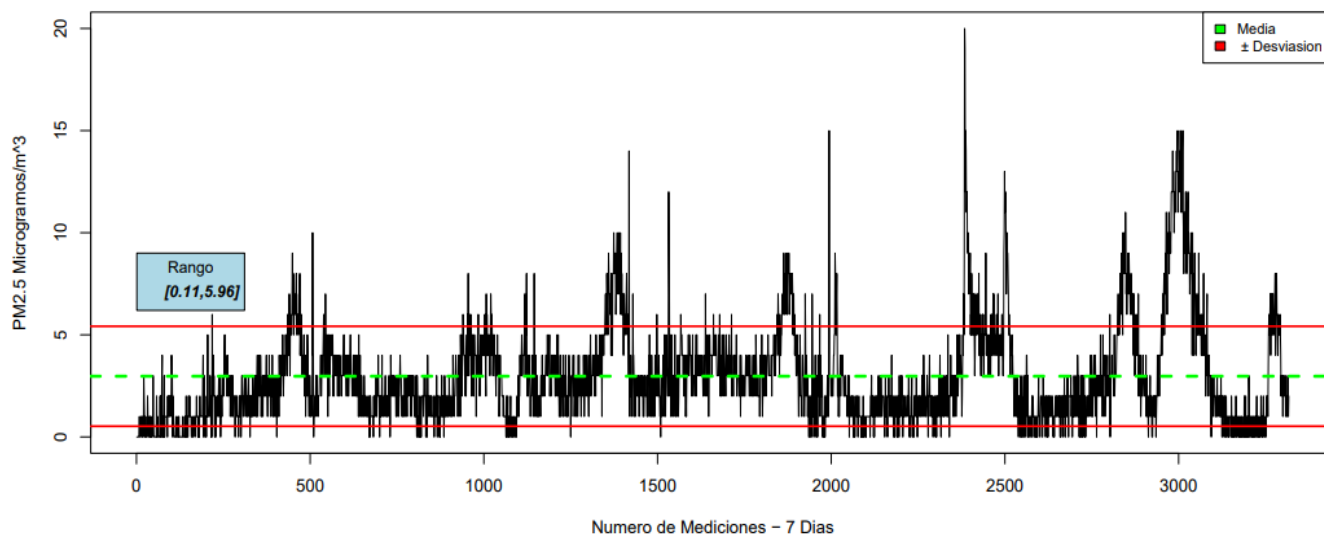
Adicionalmente, teniendo en cuenta que en el periodo de medición se abría la ventana de la habitación de 8:00 de am a 8:00 pm para permitir la entrada de aire, mientras que durante las 12 horas posteriores (8:00 pm a 8:00 am) la ventana permanecía cerrada, se identificó en qué horarios específicamente hubo cambios en las concentraciones de PM2.5 y así determinar qué posibles causas generaron este fenómeno, como se visualiza en las figuras 23 a la 29.

Es importante indicar que uno de los factores que influye en los niveles de concentración de las partículas PM2.5 es la calidad del aire del exterior, ya que al lado de la vivienda hay dos talleres de mecánica en

donde se presenta un considerable flujo de carros que tendría relación con las concentraciones de PM2.5 variables en el transcurso de la mañana y hasta la hora pico.

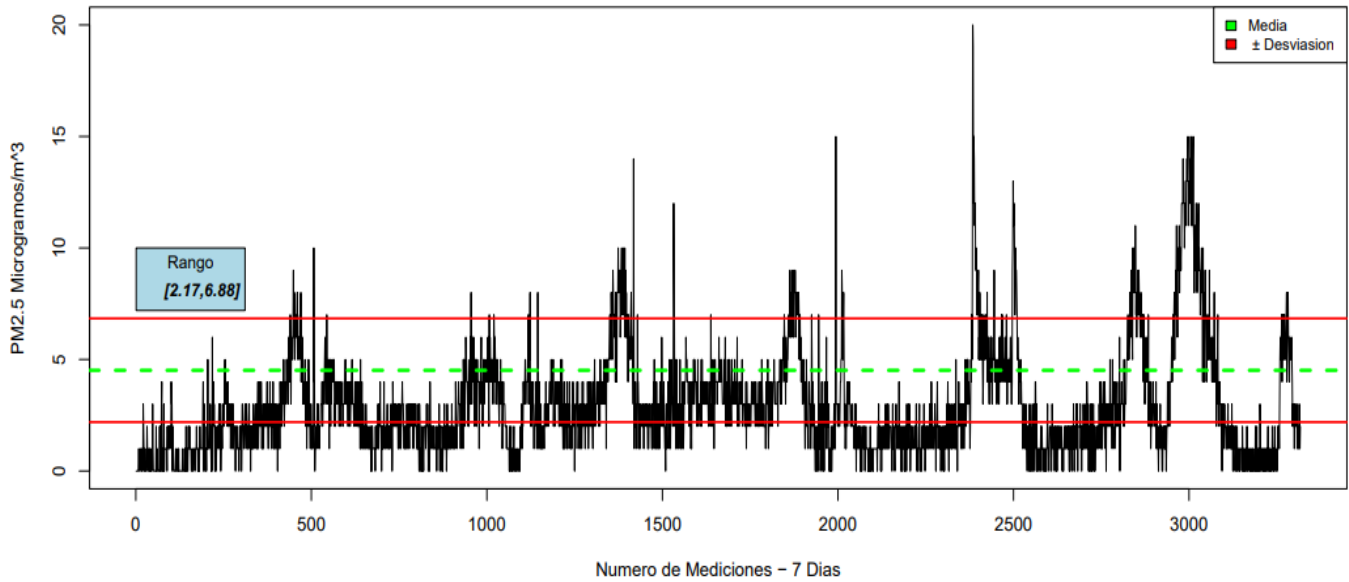
Con los datos obtenidos de la concentración de PM2.5 del Dispositivo de Bajo Costo y del equipo de referencia Aeroqual serie 500, se calculó la desviación estándar por períodos teniendo en cuenta que los datos estaban por hora, como se muestra en los anexos 5 y 6, con el fin de calcular la variación de los datos de los dispositivos frente a la media, como se observa a continuación:

Figura 30. Desviación estándar del Dispositivo de Bajo Costo de todos los periodos



Fuente: Autores, 2023

Figura 31. Desviación estándar del equipo de referencia Aeroqual serie 500 de todos los periodos



Fuente: Autores, 2023

Consideramos importante identificar la desviación estándar tanto del Dispositivo de Bajo Costo como del equipo de referencia Aeroqual serie 500, por tal razón, las gráficas 30 y 31 representan el comportamiento de la serie temporal durante los 7 periodos, donde la línea verde significa la media y la roja el rango de desviación estándar, esto muestra el intervalo donde se presenta la mayor cantidad de mediciones. Obteniendo un rango de $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $5,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por el Dispositivo de Bajo Costo y un rango de $2,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $6,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que confirma que hay una subestimación por parte del Aeroqual con relación al DBC en los rangos.

Como se explicó en la metodología, para dar un mayor soporte frente a la diferencia en los datos obtenidos durante los 7 periodos del DBC y el equipo de referencia, se realizó una revisión bibliográfica y tabulación de datos en donde se comparó cada métrica y la viabilidad que presentaron frente al grado de confiabilidad entre el Dispositivo de Bajo Costo y el equipo de referencia Aeroqual serie 500, para determinar su correlación.

Tabla 4. Correlación de las series con base a las métricas

MÉTRICA	RESULTADOS	VIABILIDAD
Pearson	0,61	Si, aceptable
Kendall	0,56	Si, aceptable
Spearman	0,66	Si, aceptable

Fuente: Autores, 2023

Como podemos observar en la tabla anterior, los datos obtenidos mediante las métricas son aceptables, teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación osciló entre 0,5 y 0,6, y el rango estimado se encuentra entre +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva, es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye” (Ortega, C., 2023).

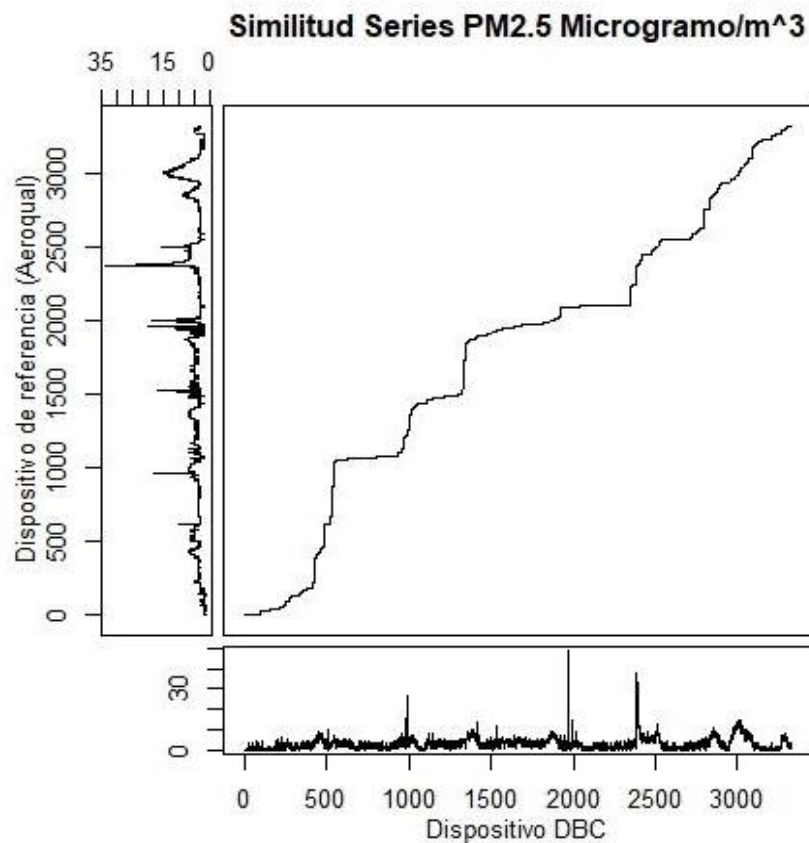
Sin embargo, se compararon las métricas anteriores más conocidas con un método menos implementado, el cual fue la Distorsión Dinámica del tiempo (DTW), por el que nos decidimos después de hacer revisión de la literatura para identificar la correlación entre la serie de datos del Dispositivo de Bajo Costo y la serie del equipo de referencia Aeroqual serie 500.

Como fue explicado en la metodología, para identificar la confiabilidad del DBC frente al Aeroqual se efectuó el cálculo del algoritmo por medio del programa R, esto arrojó un valor denominado “costo de alineación” equivalente a un valor de 3.006 (valor adimensional), el cual fue obtenido con los datos de los 7 períodos de medición. Es de resaltar que este valor se convertirá en un valor de referencia o punto de partida para futuros desarrollos, ajustes o investigaciones que se desarrollen con el equipo DBC por parte de la Universidad. Asimismo, vale la pena mencionar que los futuros ajustes al equipo DBC en pro de mejorar su representatividad deberán arrojar valores menores al encontrado con la metodología DTW, que como se mencionó fue 3.006.

Con base en lo anterior, el DBC, dado que los resultados obtenidos se encuentran lejos del cero (0), hacen que el equipo solo se pueda catalogar como un equipo de referencia para futuras investigaciones o ajustes que adelante la universidad, las cuales deberán buscar que sus resultados se acerquen a la obtención de un costo de alineación cercano a cero (metodología DTW).

A continuación, se presenta el gráfico de resultado del método DTW obtenido por el algoritmo, donde el eje X representa la gráfica (datos) de las series tomadas durante los 7 periodos por el DBC que fueron 3.326 datos, y el eje Y representa la gráfica (datos) de las series arrojadas por el equipo de referencia que fueron 3.328 datos.

Figura 32. Gráfico de la metodología DTW



Fuente: Semillero de investigación en Estadística Aplicada y Ciencia de Datos, 2023

9. Análisis y discusión de resultados

Según la Resolución 2254 de 2017 por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones, se establece que a partir del 1 de julio de 2018 los niveles máximos permisibles de PM_{2.5} para un tiempo de exposición de 24 horas es menor a 37µg/m³; por tanto, en esta investigación se identificó que los valores arrojados tanto del Dispositivo de Bajo Costo como del equipo de referencia Aeroqual serie 500 en el interior de una vivienda, se encuentran en el rango permitido de exposición durante los 24 horas.

Con el fin de dar soporte a los resultados obtenidos frente a las posibles causas de aumento en las partículas PM_{2.5}, hacemos mención a un artículo del Ministerio del Medio Ambiente de Chile, el cual establece las normas primarias de la calidad ambiental para material particulado fino respirable PM_{2.5}, y hace alusión a que dicho contaminante “se produce por emisiones directas de los procesos de combustión de combustibles fósiles, a partir de la condensación de gases, de reacciones químicas en la atmósfera a partir de gases precursores como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, amoníaco, y otros compuestos; y a través de procesos de nucleación y coagulación de partículas ultrafinas. En ese contexto, las principales fuentes del PM_{2,5} son los automóviles, buses y camiones, tanto a diesel como a gasolina, plantas termoeléctricas, calderas, procesos industriales, hornos, fundiciones, proceso metalúrgicos, la combustión de biomasa, como la calefacción residencial a leña, las quemas agrícolas e incendios forestales, y emisiones de amonio de las operaciones agrícolas” (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

A pesar de que lo anterior hace referencia a PM_{2.5} en el exterior, se establece una relación en el aumento de concentración de PM_{2.5} en el interior de la vivienda proveniente de los autos, combustibles y materiales relacionados con los mismos, ya que se encuentra en cercanías de la carrera séptima y adicionalmente, a la vuelta de la casa se encuentra un taller de autos, el cual tiene una gran afluencia vehicular durante el día, con base a lo anterior, se tiene en cuenta que de 8 am a 8 pm se abrieron las ventanas permitiendo la entrada de material particulado, polvo y otros contaminantes, como se refleja en la mayoría de las gráficas precisamente los picos de concentración de PM_{2.5} se encuentran en el horario en el que se abre la ventana.

Con el fin de comparar las mediciones de la calidad del aire realizadas con el Dispositivo de Bajo Costo y con el equipo de referencia Aeroqual serie 500, se emplearon las métricas de Pearson, Kendall y Spearman, las cuales reprodujeron una tendencia de la concentración de PM_{2.5}, no obstante, al analizar con el método DTW se encontró que identificado el costo de alineación, el equipo puede ser solamente utilizado como equipo de referencia o punto de partida en futuras mediciones, ajustes o investigaciones que se desarrollen con el DBC por parte de la Universidad El Bosque.

10. Conclusiones

Se puede concluir que los datos del DBC en los siete períodos tiende a subestimar los datos frente a los arrojados por el equipo de referencia Aeroqual serie 500, se calculó una subestimación cercana del 23,3% de los datos.

Al realizar una comparación de los diferentes métodos estadísticos de correlación, se puede concluir que el Dispositivo de Bajo Costo muestra una tendencia en los datos de las concentraciones de PM_{2.5} similares al equipo de referencia Aeroqual serie 500, sin embargo, aunque las correlaciones son positivas y superiores al 50%, no son lo suficientemente altas para determinar que los datos del DBC se puedan tomar exactamente como los datos que arroje un equipo de referencia.

El equipo que se está desarrollando solo se puede catalogar como un equipo de referencia para futuras investigaciones, dado que se deberán buscar que sus resultados se acerquen a la obtención de un costo de alineación cercano a 0., bajo el método DTW.

Se encontraron que los niveles máximos de concentración de PM_{2.5} comprenden entre las 8:00 am y 8:00 pm, lo que justifica como la causa más válida para explicar las concentraciones de PM_{2.5} en el interior de la vivienda, cuando la ventana está abierta por la entrada de material particulado proveniente del alto flujo de vehículos por la ubicación de la vivienda y el taller de autos ubicado a la vuelta.

11. Recomendaciones

Se debería continuar trabajando en los resultados de los datos arrojados por el DBC, ya que al tener una subestimación los resultados no serían los más adecuados para calcular la calidad del aire tanto en exteriores como en interiores.

Se recomienda hacer una prueba de aleatoriedad y reproducibilidad de los datos con un tiempo más prolongado de 1 mes o 2 meses, para ver qué tan confiables son los datos que arroja el DBC frente al de referencia.

Realizar más investigaciones con Dispositivos de Bajo Costo en zonas interiores ya que la información que se encuentra de calidad de aire en interiores es muy limitada debido al costo que tienen los equipos de referencia.

Estudiar un modelo de calibración para el DBC para corregir los datos brutos sobre este modelo y volver a mirar el método DTW y otras correlaciones.

Para el Dispositivo de Bajo Costo se recomienda que el sensor que mide PM_{2.5} está asociado a la humedad relativa y a la temperatura ya que son factores ambientales que influyen en el material particulado.

Referencias bibliográficas

1. Aranguez et al. (2019). Monitoreo del aire a partir de sensores de bajo costo [Video]. Consultado el 29 de agosto de 2019, desde: <https://www.youtube.com/watch?v=nZ7w-SbBeRA>
2. AQUAE. (2023). ¿Cómo se mide la calidad del aire?. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/como-se-mide-calidad-aire/>

3. Banco Mundial (BM) (2018). Prioridades Ambientales para la Reducción de la Pobreza en Colombia: un análisis ambiental del país para Colombia. Versión en español: Editorial Mayol
4. Bernal, D. (2021). Historia personal del activismo por la Calidad del Aire. Recuperado de: <https://aireciudadano.com/historia-propia-del-activismo-por-la-calidad-del-aire-aire-ciudadano-y-canairio/>
5. Canales, M., Quintero, M., Castro, T., y García, R. (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *SciELO*. 6(25).
6. Caro, S. D., Montero, E. Y. A., Consuegra, A. D. S. A., & Montero, A. S. (2021). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SENSOR DE BAJO COSTO PARA MEDIR LA CALIDAD DEL AIRE. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
7. Castillo Landa, M. C. (2014). Análisis del diseño de la política de la calidad del aire de la Municipalidad Metropolitana de Lima: 2010-2012.
8. Canu, M., Galvis, B., Morales, R., Ramírez, O., & Madelin, M. (2018). Comprender el sensor de polvo de bajo costo Shinyei PPD24NS. *Ieeexplore.ieee.org*. Consultado el 29 de agosto de 2022, desde <https://ieeexplore.ieee.org/document/8385268>.
9. DEC. (s.f.). Mobile Sources. Recuperado de: <https://dec.vermont.gov/air-quality/mobile-sources>
Departamento Nacional de Planeación de Colombia. (2017). Los Costos en la Salud Asociados a la Degradación Ambiental en Colombia. Recuperado de: [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costosen-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costosen-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)
10. EEA, 2019, Air quality in Europe — 2019 report, EEA Report No 10/2019, European Environment Agency. Fischer García, F. L. (2020). Análisis espacial del material particulado en relación con la percepción de la calidad de vida en tres localidades de Bogotá-Colombia.
11. EPA. (2017). Conceptos básicos sobre el material particulado. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglasen-ingles>

12. European Environment Agency. (2019). Assessing air quality through citizen science. Copenhagen: Publications Office of the European Union
13. Franco, J. F. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. Revista EAN, (72), 193-204.
14. Gallego, L. (2011). Propuesta de Plan de Aire Limpio para la Universidad El Bosque (tesis de pregrado). (pp. 4). Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia.
15. GOV. (s.f.). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB. Recuperado de: <https://www.ambientebogota.gov.co/red-de-monitoreo-de-calidad-del-aire-de-bogota-rmcab>
16. Groeber, M., Maloney, D., Koucky, W., & Hemmer, P. M. (2002). US EPA - environmental Protection Agency. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/files/cs2ch4-s.pdf>
17. Hernández R. 2014. *Metodología de la investigación sexta edición*, Bogota, INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V
18. IDEAM. (2015). Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia. IDEAM, Bogotá, Colombia, pp. 4
19. IDEAM. (2022). Calidad del aire – Ideam. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
20. Instituto Nacional de Ecología de México. (2012). Sinaica. Principios de Medición de la Calidad del Aire. Disponible en: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.p>
21. Jovašević-Stojanović, M., Bartonova, A., Topalović, D., Lazović, I., Pokrić, B., & Ristovski, Z. (2015). On the use of small and cheaper sensors and devices for indicative citizen-based monitoring of respirable particulate matter. En *Environmental Pollution* (Vol. 206, pp. 696–704). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.035>
22. Kamper. (2021). Dynamic time warping 1: Motivation. Recuperado de: <https://youtu.be/ERKDHZYZDwA?si=1DgAgvUwm-b0vBgB>
23. Kamper. (2021). Dynamic time warping 2: Algorithm. Recuperado de: <https://youtu.be/9GdbMc4CEhE?si=Qf45AWfdKchJkmJk>

24. Kortoçi, P., Motlagh, N. H., Zaidan, M. A., Fung, P. L., Varjonen, S., Rebeiro-Hargrave, A., Niemi, J. V., Nurmi, P., Hussein, T., Petäjä, T., Kulmala, M., & Tarkoma, S. (2022). Air pollution exposure monitoring using portable low-cost air quality sensors. *Smart Health*, 23, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100241>
25. Maldonado, A., & Rojas, N. (2019). Calibración y validación de dos equipos de bajo costo para la medición de material particulado a partir de los modelos de regresión lineal simple y múltiple. Repositorio Universidad El Bosque https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2089/Maldonado_Maya_Andes_Camilo_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
26. Martínez, W. (2020). Desarrollo de un prototipo para la medición de partículas pm2.5 en la ciudad de bogotá. Repositorio Universidad Católica <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/94fd1cd2-bd0c-48d2-bf27-0b3308ecef5a/content>
27. Ministerio de Ambiente (2011). Decreto 12. ESTABLECE NORMA PRIMARIA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE PM2,5. Chile. Recuperado de: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chi102757.pdf>
28. Ministerio de Ambiente (2016). Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Consultado el 29 de agosto de 2022, desde: http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/1.+Protocolo_Calidad_del_aire+-+Manual_de_dise%C3%B1o_SVCA.pdf/9bf8bc96-8a35-4cd8-99cd-cb4fb7e95d6b
29. Ministerio de Ambiente (2017). Resolución 2254 de 2017. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>.
30. Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Jubb, S. A., & Osammor, O. (2019). Analysing the performance of low-cost air quality sensors, their drivers, relative benefits and calibration in cities—a case study in Sheffield. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 191, No 2
31. Navarrete, G. & Soto, K. (2020). SENSORES DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE. Recuperado de: <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/108/143#toc>

32. Ni, J. (2015). Research and Demonstration to Improve Air Quality for the U.S. Animal Feeding Operations in the 21st Century – A Critical Review. Elsevier, vol. 200, 105-109.
33. Organización mundial de la salud OMS. (2013). Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado, Sin embargo, cada vez hay más países que toman medidas. <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-peopleworldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>
34. OMS. (2014). OMS estima que 7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica. Ginebra. Recuperado de: https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9406:2014-7-million-deaths-annually-linked-air-pollution&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0
35. OMS. (2016). La OMS publica estimaciones nacionales sobre la exposición a la contaminación del aire y sus repercusiones para la salud. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire#:~:text=La%20exposición%20a%20altos%20niveles,vulnerable%2C%20niños%2C%20adultos%20mayores%20y>
36. OMS. (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes>
37. Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2005). Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsea/fulltext/contaminacion/indice.pdf>
38. Perna, L. & Rodríguez, D. (2021). VARIACIÓN Y CORRELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PM₁₀ EN UN ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE CON DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE MEDICIÓN. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/29393/PernaVanegasLauraMarcela2021Rodr%C3%ADguezBetancourtDayannaKatherine2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. Pineda, J. (2019). Despertar Conciencia Ambiental ante los Problemas Ambientales. Temas Ambientales. Recuperado de: <https://encolombia.com/medio-ambiente/interesa/despertarconciencia-ambiental-problemas-ambientales/>

40. Pineda, B., Muñoz, C. & Gil, H. (2018). *Aspectos relevantes de la movilidad y su relación con el medio ambiente en el Valle de Aburrá: una revisión*. Revista SCIELO. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612018000200489
41. Procuraduría General de Colombia. (2019, 5 junio). Procuraduría y ONU Ambiente alertan ante la falta de planes de prevención, reducción y control de contaminación en más de 1000 municipios del país. Disponible en: <https://www.procuraduria.gov.co/portal/procuraduria-onu-ambiente-alertas-planesreduccion-contaminacion-colombia.news>
42. Querol, X. (2018). *La Calidad del Aire en las Ciudades, un Reto Mundial*. Fundación Gas Natural Fenosa, Barcelona, España
43. RMCAB. (2022). Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá Año 2021. Recuperado de: http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Pagesfiles/informe%20anual%202021_.pdf
44. Rugeles, S. (2019). Gestión del riesgo a la salud humana debido los contaminantes atmosféricos pm10 y pm2,5 mediante la integración de sensores de bajo costo. Repositorio Universidad del norte https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/9960/TESIS_RUGELES%2020210817.pdf?sequence=1&isAllowed=y
45. Sáez Cifre, E. (2017). Análisis de la calidad de aire interior en función de la tipología de ventilación. Aplicación al prototipo E3 (edificación eco-eficiente) de la UPV
46. Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) (2009) Informe Anual de Calidad del Aire de Bogotá 2008. Alcaldía Mayor de Bogotá. Disponible en: <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/InformeAnual/Informe2008.pdf>
47. SIATA. (2018). Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá. Recuperado de: https://siata.gov.co/sitio_web/ Sigma Electrónica. (14 de abril de 2019). Raspberry Pi 3B. Recuperado de: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/raspberry-pi-3/>
48. SIATA. (s.f.). *Monitoreo de la calidad del aire a partir de sensores de bajo costo*. Area Metropolitana Valle de Aburrá. Recuperado de: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Sensores-Bajo-Costo-Calidad-del-Aire.pdf>

49. Solá, X. G., Crump, D., Berenguer, M. J., Hoffmann, D., Wynder, E. L., ...& Flannigan, B. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR RIESGOS GENERALES. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1, 44-1.
50. Sundell (2014). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Revista luna azul, (34), 195-213.
51. Suria, C. (s.f). Barcelona.PM25: MATERIAL PARTICULADO. Recuperado de: <https://www.carlessuria.com/toxicos/pm25-material-particulado/>
52. United Nations Population Division (UN) (2010). World Urbanization Prospects: The 2009 Revision. Disponible en: http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf
53. U.S EPA (2014). Air Sensor Guidebook. Disponible en: <http://file:///C:/Users/david/Downloads/GUIDEBOOK%20-%20FINAL.PDF>

ANEXOS

ANEXO 1: Pasos para descargar los datos del Dispositivo de Bajo Costo

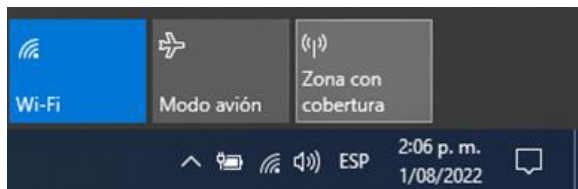
1. Conectar el Dispositivo de Bajo Costo a un computador
2. Verificar que el computador no cuente con una red de internet fija



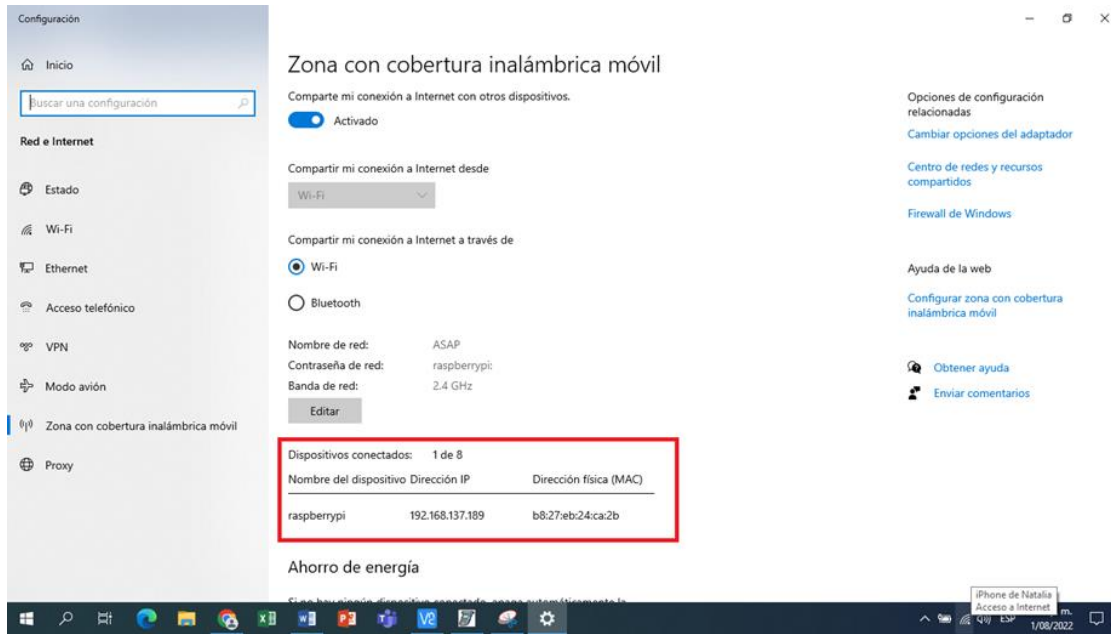
3. Conectar el computador a una red de internet desde otro dispositivo



4. Seleccionar la opción de zona de cobertura, dar click derecho e ir a configuraciones



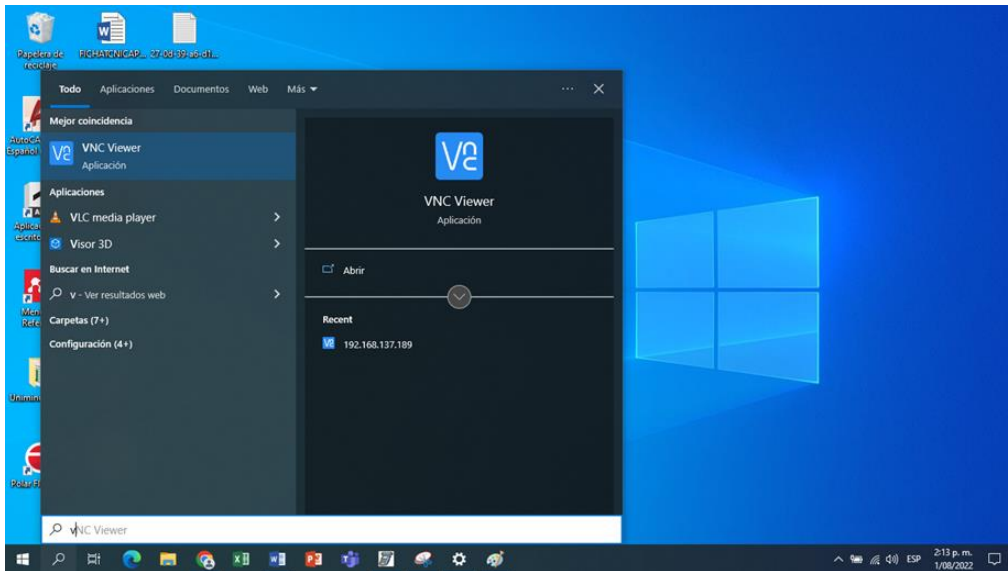
5. Al aparecer la ventana identificar la información seccionada en el cuadro rojo que se muestra en la imagen



- Una vez identificada la información del cuadro, copiar la dirección IP, como se observa en el cuadro verde

Dispositivos conectados: 1 de 8		
Nombre del dispositivo	Dirección IP	Dirección física (MAC)
raspberrypi	192.168.137.189	b8:27:eb:24:ca:2b

- Buscar en el dispositivo la aplicación VNC Viewer y abrirla



8. Pegar la información IP copiada anteriormente en la barra, como se observa en la imagen



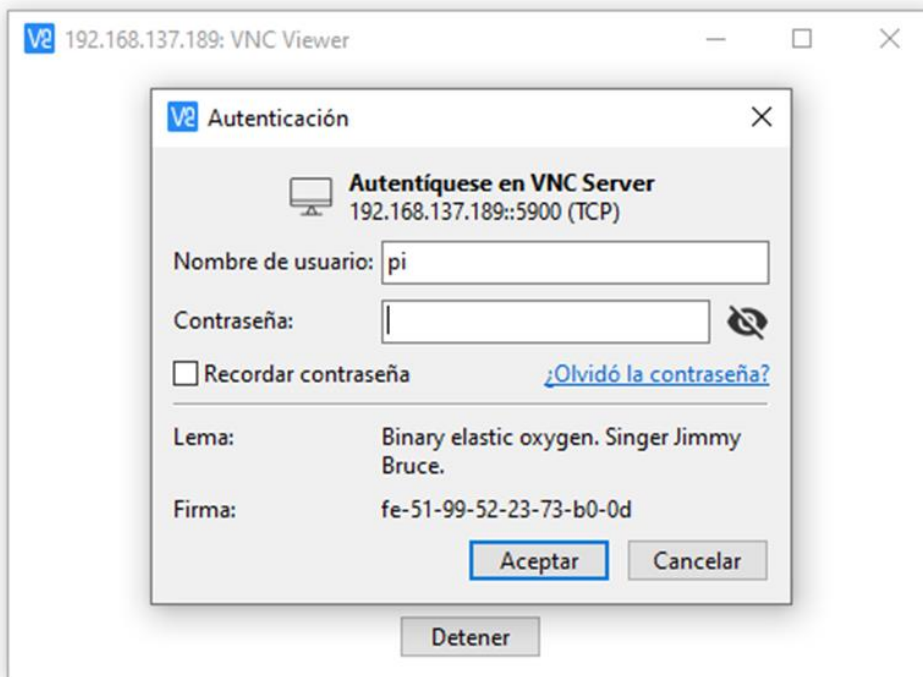
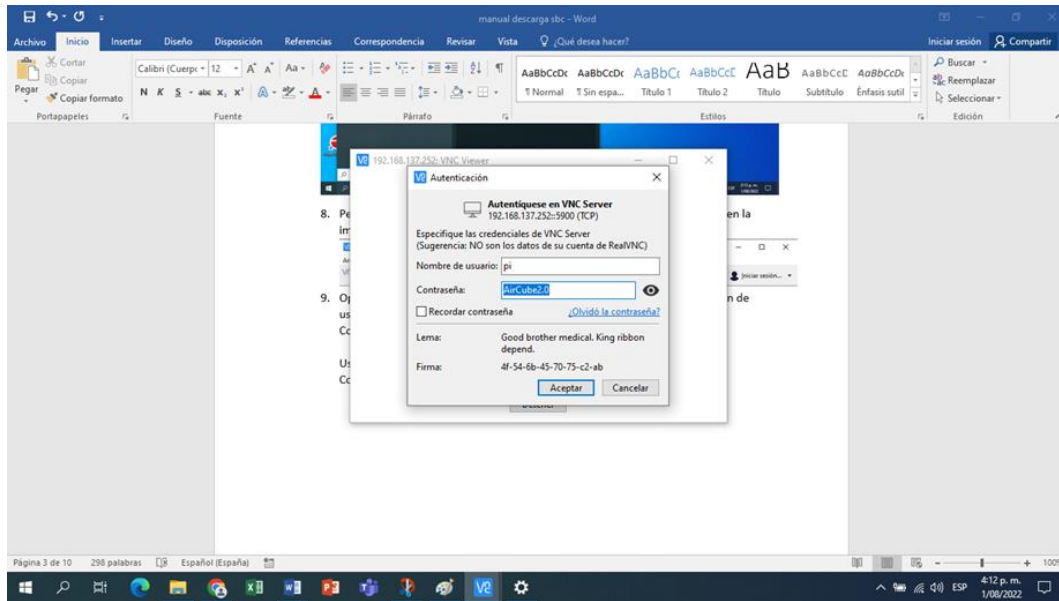
9. Oprimir la tecla enter y le aparece la siguiente ventana; lo que indicará la opción de Otras direcciones MAC

- Usuario: pi
- Contraseña: raspberry

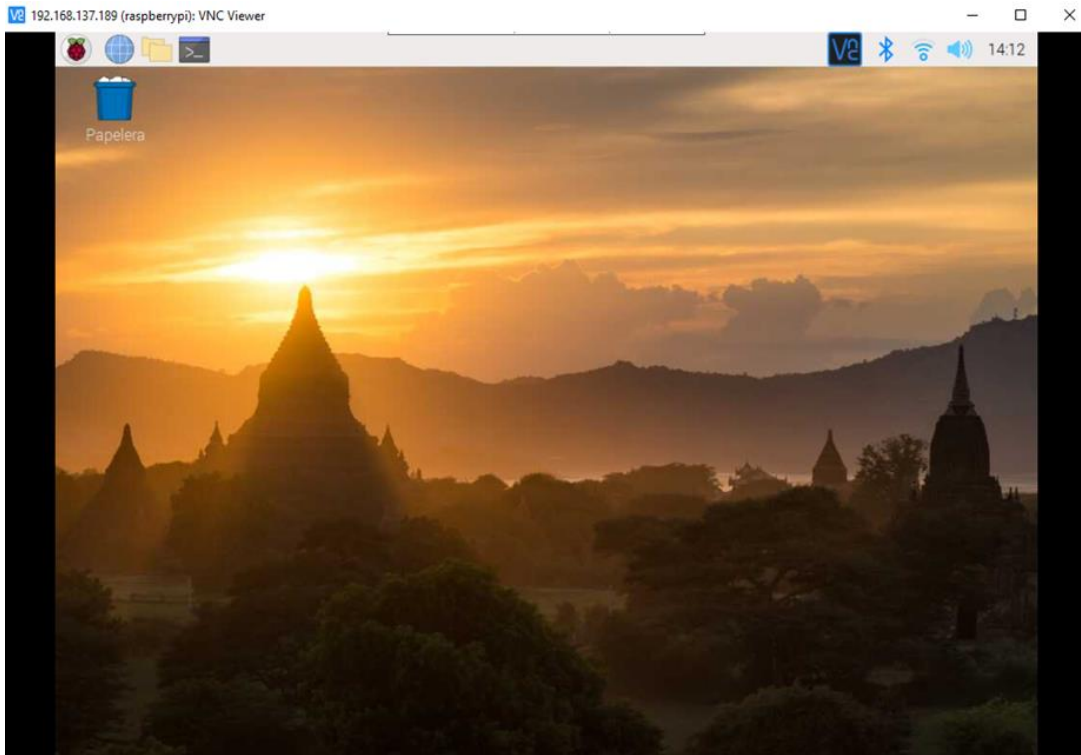
Direccion MAC

b8:27:eb:21:b9:b9

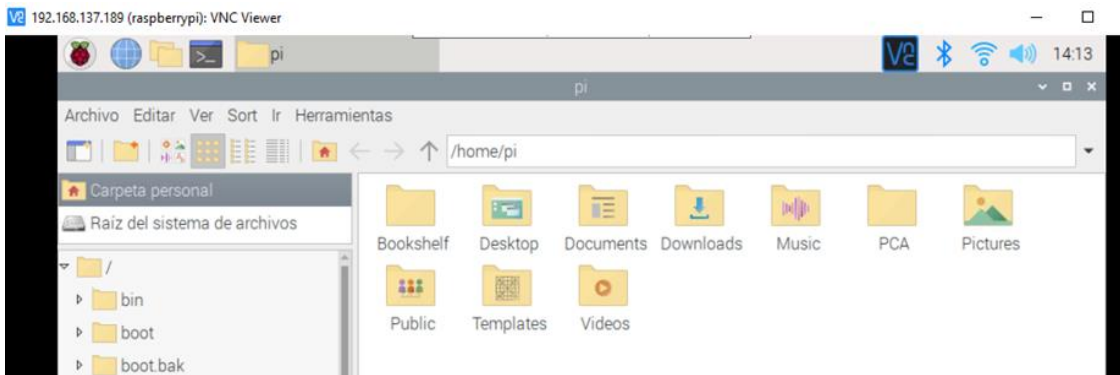
- Usuario: pi
- Contraseña: AirCube2.0



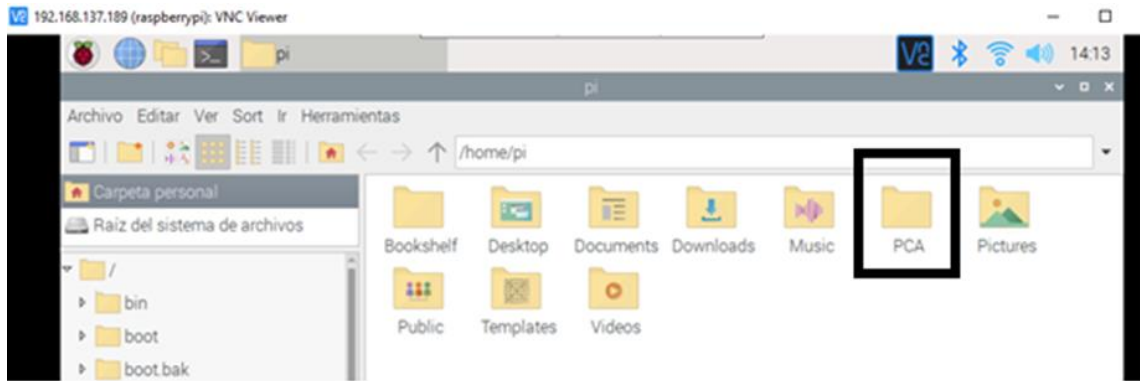
10. Se le abrirá la siguiente ventana de información



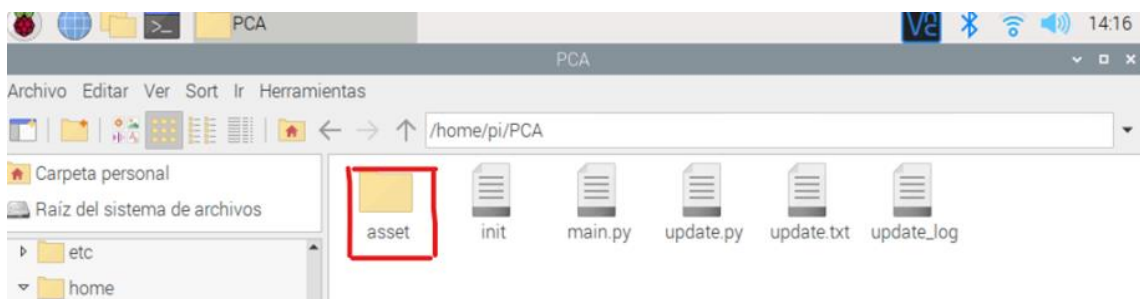
11. Para descargar la información del DBC se selecciona la siguiente opción de la carpeta amarilla ubicada en la parte superior izquierda



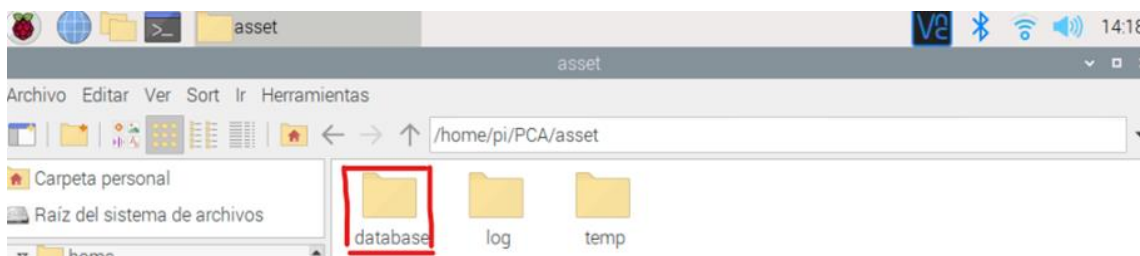
12. Seleccionar la carpeta de PCA



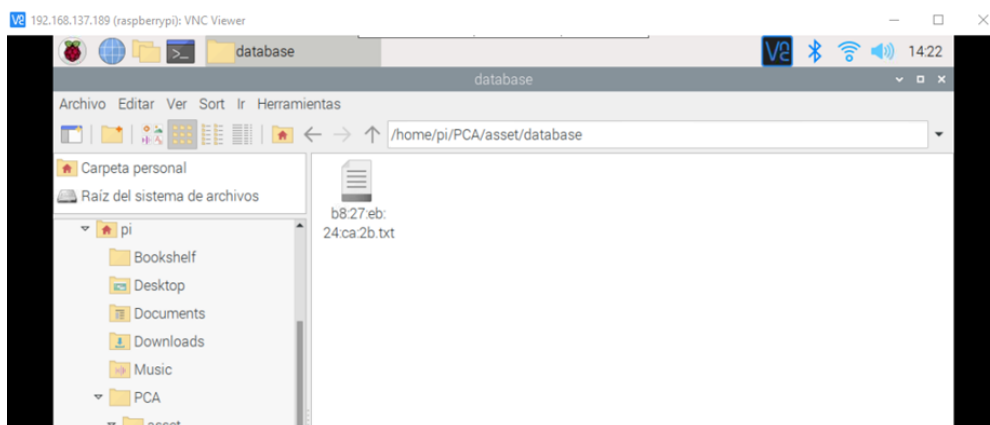
13. Una vez seleccionada la carpeta le aparecerá la siguiente opción, seleccionar:



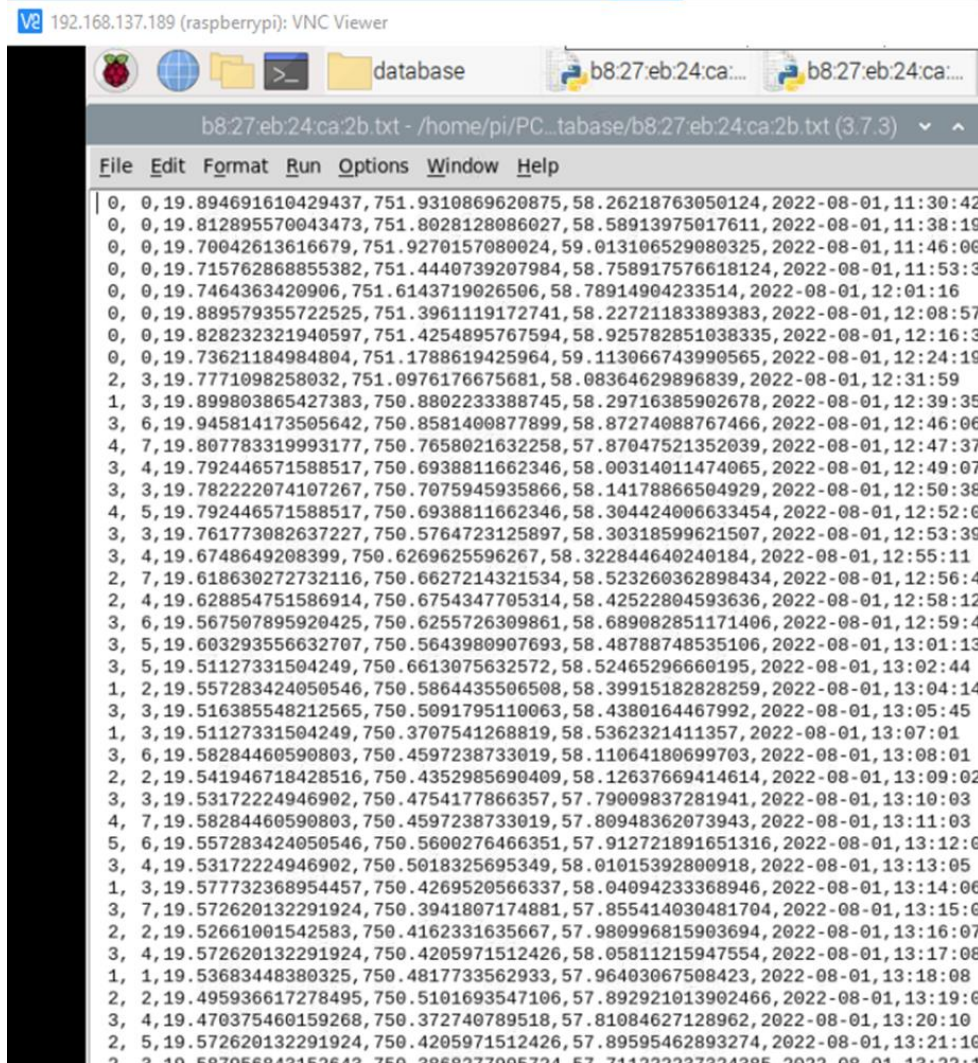
14. Y seleccionar nuevamente de la siguiente manera:



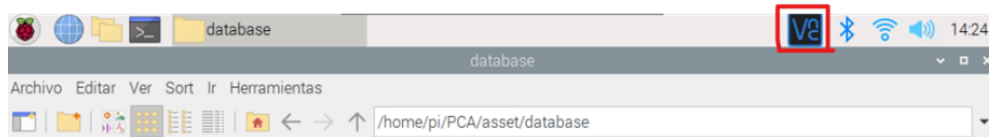
15. Se encontrarán los dispositivos asociados



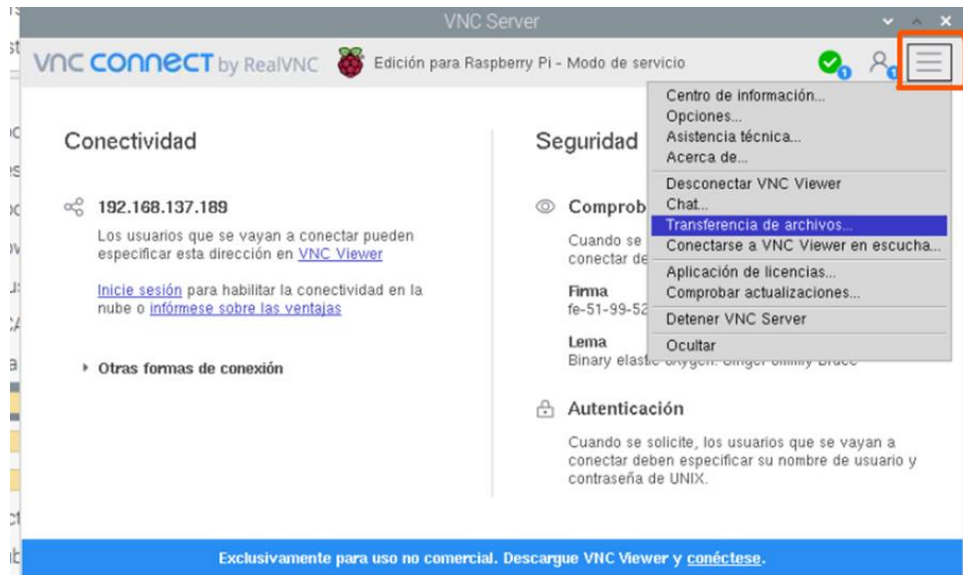
16. Al seleccionar esto aparecerá la información recolectada



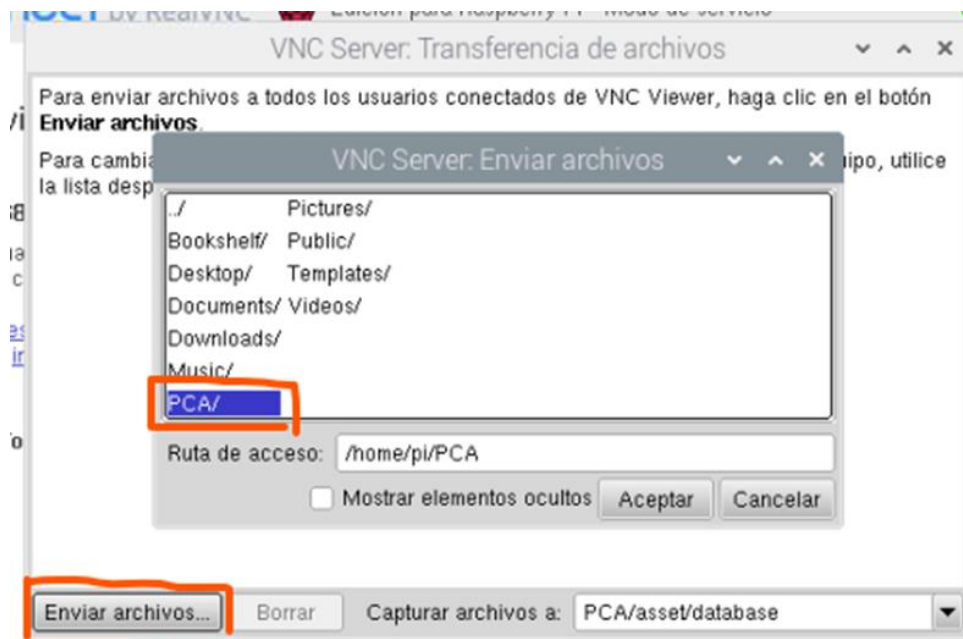
17. Para descargar la información se selecciona el siguiente icono



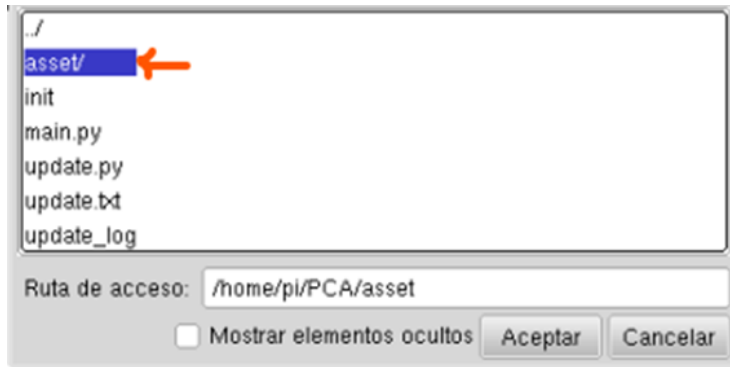
18. Se abrirá la siguiente ventana donde seleccionará el menú y la opción transferencia de archivo



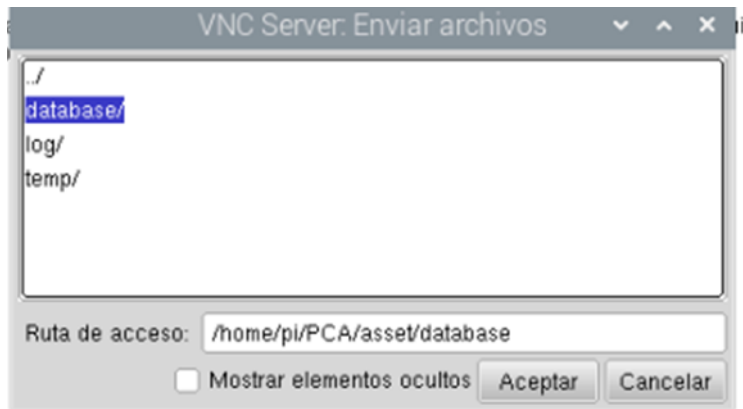
19. Seleccionar la opción “enviar archivos” y saldrá la carpeta con nombre PCA



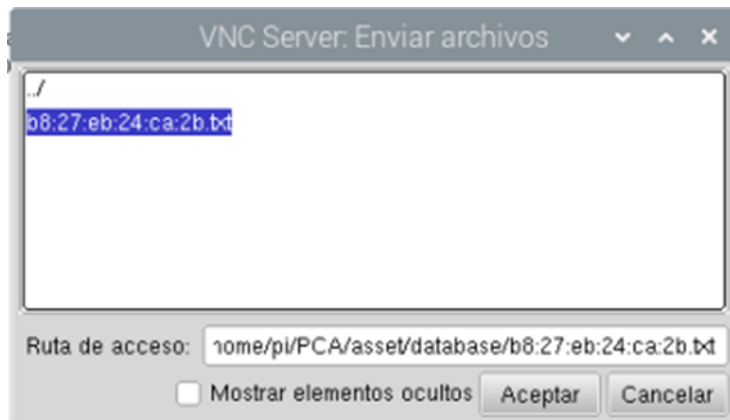
20. Seleccionar:



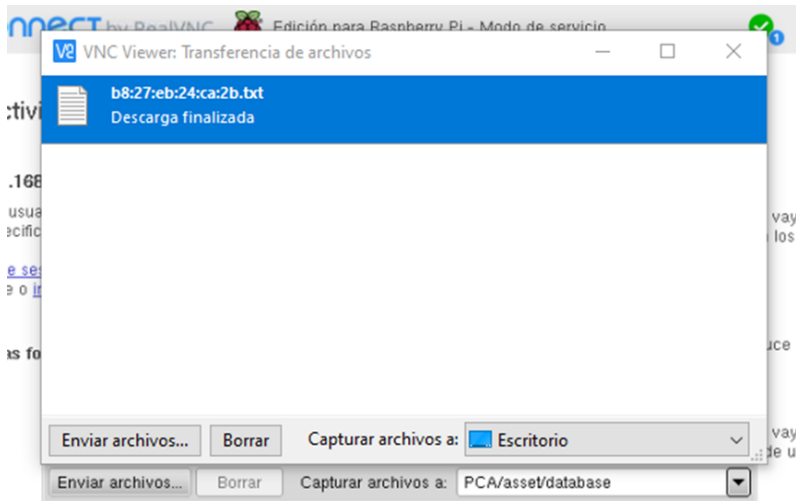
21. Seleccionar:



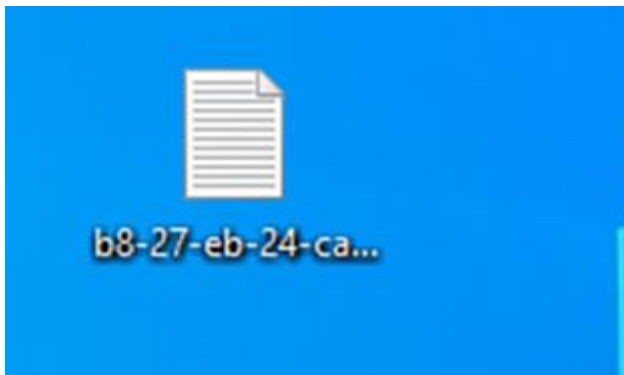
22. Se selecciona como en la imagen y le das aceptar



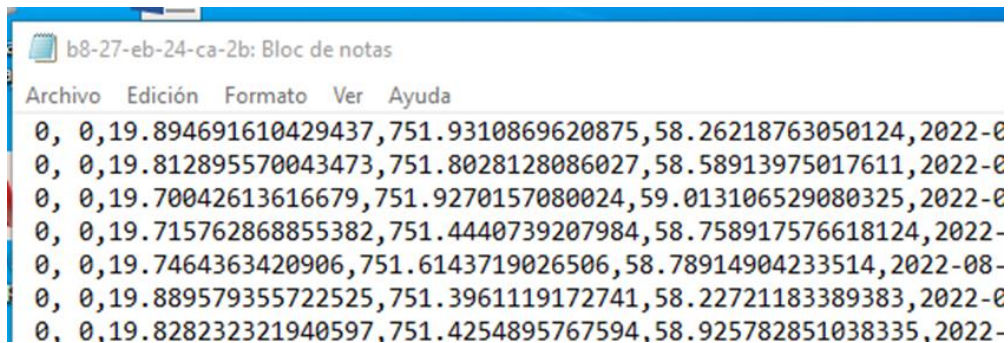
23. Descarga finalizada



24. En el escritorio encuentra la descarga



25. Si desea verificar la información abra el documento descargado



ANEXO 2: Pasos para usar y configurar el equipo de referencia Aeroqual serie 500








1. Verificar que el sensor de humedad y temperatura esté apagado en “fijo para no perder información” antes de prender el sensor.
2. Quitarle la tapa al cabezal y colocar en un lugar seguro (es importante que el cable de poder también esté fijo, preferiblemente sobre una superficie horizontal).
3. Prender el equipo con el botón de encendido .
4. Antes de comenzar verificar que el triángulo ▲ (icono que aparece al encender el equipo) esté vacío para tomar los datos, si está lleno puede haber un problema de almacenamiento.
5. Esperar 3 minutos mientras hace ajuste de actualización.
6. Aparecen las unidades de PM2.5 y PM10, está en mg/m3, es decir, son registrados tres decimales.
7. Para ingresar al menú de configuración presione , aparecerá el siguiente menú:



Figura 8. Menú del equipo de referencia Aeroqual serie 500 monitor











Fuente: TeGeS, 2021

- Presionar las flechas () para desplazarse al menú deseado.
- EXIT  para **salir** del menú.
- CLOCK SETUP  para **ajustar la hora**, usar las flechas y presionar  para alternar entre horas, minutos, segundos, y la fecha.

Se debe tener en cuenta que la fecha y hora están ubicadas de acuerdo a la situación actual de toma de datos.


- LOGGING SETUP  para **ajustar la frecuencia del registrador**, usar las flechas y presionar  para volver al menú principal.

Se encuentran los siguientes pasos

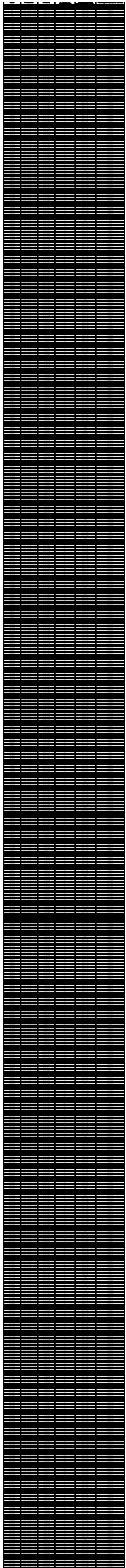
- Log freq: Se selecciona la frecuencia en la que se quieren tomar los datos:
Se deja en 1 minuto.
 - Clear log: Oprimir el botón enter hasta que de la opción de NO.
 - Logging: Oprimir el botón enter hasta que de la opción de “ok” para comenzar a tomar datos.
-
- ALARM POINTS  para **ajustar los puntos de alarma** usar las flechas y presionar  para alternar entre alarma alta, alarma baja, y “pitido” activado/desactivado. Se deja la que está por defecto en el equipo.
-
- CONTROL POINTS  para el **ajuste de los puntos de control**, usar las flechas se presionar  para alternar entre control alto o control bajo.
-
- UNITS  para **cambiar las unidades de medida** usar las flechas, y presionar  para volver al menú principal. Se encuentran las unidades de mg/m³ y ppm. Se dan también las unidades de temperatura en Centígrados y Fahrenheit. Se dejan las unidades de mg/m³ y grados centígrados.
-
- MAX/MIN AV  para **ajustar MAX/MIN/MEDIA**, presionar  para alternar entre encendido y apagado.
-
- ZERO CAL: No usar esta opción al menos que sea necesaria ya que puede descalibrar la unidad si se maneja incorrectamente.

9. OPCIÓN PARA GRABAR

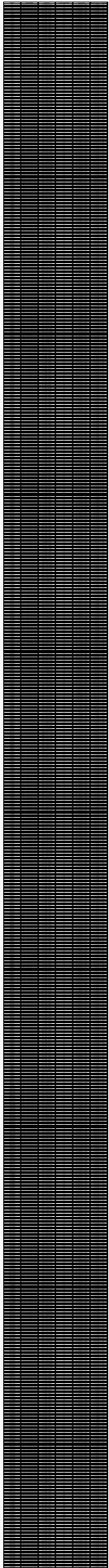
Teniendo en cuenta las consideraciones del equipo explicadas anteriormente:

- Se verifica que los cables estén conectados.
- Se prende el equipo.
- Se espera 3 minutos a que inicie el proceso.
- Darle click al botón de entrada  donde se ingresa al menú del equipo, y para guardar la información seleccionada.
- Diríjase a la opción de LOGGING SETUP

ANEXO 3: Consolidado total de los datos del equipo de referencia Aeroqual serie 500



ANEXO 4. Consolidado total de los datos del Dispositivo de Bajo Costo



ANEXO 5. Estadística de los datos de PM2.5 del equipo de referencia Aeroqual serie 500

Periodo s	Fecha	Hora inicial	Hora final	No de datos	Promedio PM2.5 (µg/m3)	Min PM2.5 (µg/m3)	Max PM2.5 (µg/m3)	Desvia ción estánd ar
PERIO DO 1	10/10/2 023	8:06	8:57	18	1,67	1	2	0,49
	10/10/2 023	9:00	9:57	20	1,4	1	2	0,5
	10/10/2 023	10:00	10:57	20	1,35	1	2	0,49
	10/10/2 023	11:00	11:57	20	2	1	3	0,32
	10/10/2 023	12:00	12:57	20	2,05	2	3	0,22
	10/10/2 023	13:00	13:57	20	2,2	2	3	0,41
	10/10/2 023	14:00	14:57	20	1,75	1	2	0,44
	10/10/2 023	15:00	15:57	20	2,15	1	4	0,59
	10/10/2 023	16:00	16:57	20	2,25	2	3	0,44
	10/10/2 023	17:00	17:27	10	2,5	2	3	0,53

10/10/2 023	18:54	18:57	2	3	3	3	0
10/10/2 023	19:00	19:57	20	3	3	3	0
10/10/2 023	20:00	20:57	20	3,85	3	5	0,81
10/10/2 023	21:00	21:57	20	4,35	4	5	0,49
10/10/2 023	22:00	22:57	20	3,1	3	4	0,31
10/10/2 023	23:00	23:57	20	3,9	3	4	0,31
11/10/2 023	0:00	0:57	20	4	4	4	0
11/10/2 023	1:00	1:57	20	3,95	3	4	0,22
11/10/2 023	2:00	2:57	20	4	4	4	0
11/10/2 023	3:00	3:57	20	3,85	3	4	0,37
11/10/2 023	4:00	4:57	20	4	4	4	0
11/10/2 023	5:00	5:57	20	4,95	4	6	0,39

	11/10/2 023	6:00	6:57	20	6	5	7	0,46
	11/10/2 023	7:00	7:57	20	5,8	5	7	0,52
PERIO DO 2	11/10/2 023	8:00	8:59	15	4,47	4	6	0,74
	11/10/2 023	9:02	9:59	20	3,4	3	4	0,5
	11/10/2 023	10:02	10:59	20	3,75	3	5	0,85
	11/10/2 023	11:02	11:59	20	5,15	5	6	0,37
	11/10/2 023	12:02	12:59	20	5,25	5	6	0,44
	11/10/2 023	13:02	13:59	20	5	5	5	0
	11/10/2 023	14:02	14:59	20	4,95	4	6	0,51
	11/10/2 023	15:02	15:59	20	5	5	5	0
	11/10/2 023	16:02	16:59	20	3,85	3	10	1,66
	11/10/2 023	17:02	17:59	20	3	3	3	0

11/10/2 023	18:02	18:59	20	3	3	3	0
11/10/2 023	19:02	19:59	20	4	4	4	0
11/10/2 023	20:02	20:59	20	4	4	4	0
11/10/2 023	21:02	21:59	20	4	4	4	0
11/10/2 023	22:02	22:59	20	4	4	4	0
11/10/2 023	23:02	23:59	20	4	4	4	0
12/10/2 023	0:02	0:59	20	4	4	4	0
12/10/2 023	1:02	1:59	20	3,95	3	4	0,22
12/10/2 023	2:02	2:59	20	3,9	3	4	0,31
12/10/2 023	3:02	3:59	20	3,8	3	4	
12/10/2 023	4:02	4:59	20	3,6	3	4	
12/10/2 023	5:02	5:59	20	3,6	3	4	

	12/10/2 023	6:02	6:59	20	4	4	4
	12/10/2 023	7:02	7:59	20	4,8	4	5
PERIO DO 3	12/10/2 023	8:08	8:59	18	5,06	4	6
	12/10/2 023	9:02	9:59	20	5,7	4	18
	12/10/2 023	10:02	10:59	20	6,25	5	9
	12/10/2 023	11:02	11:59	20	6,85	6	7
	12/10/2 023	12:02	12:59	20	6	6	6
	12/10/2 023	13:02	13:59	20	4,45	3	6
	12/10/2 023	14:02	14:59	20	3,3	2	6
	12/10/2 023	15:02	15:59	20	2,65	2	3
	12/10/2 023	16:02	16:59	20	4,9	3	7
	12/10/2 023	17:02	17:59	20	4,2	3	7

12/10/2 023	18:02	18:59	20	4	3	7	
12/10/2 023	19:02	19:59	20	4,35	4	6	
12/10/2 023	20:02	20:59	20	5,1	5	6	
12/10/2 023	21:02	21:59	20	4,9	4	5	
12/10/2 023	22:02	22:59	20	4,25	4	5	
12/10/2 023	23:02	23:59	20	4,1	4	5	
13/10/2 023	0:02	0:59	20	4,45	4	5	0,51
13/10/2 023	1:02	1:59	20	4,2	4	5	0,41
13/10/2 023	2:02	2:59	20	4,65	4	5	0,49
13/10/2 023	3:02	3:59	20	4,85	4	5	0,37
13/10/2 023	4:02	4:59	20	5,55	5	6	0,51
13/10/2 023	5:02	5:59	20	6,25	6	7	0,44

	13/10/2 023	6:02	6:59	20	6,55	6	7	0,51
	13/10/2 023	7:02	7:59	20	6,05	5	7	0,6
PERIO DO 4	13/10/2 023	8:02	8:59	18	3,72	3	5	0,75
	13/10/2 023	9:02	9:59	20	3,2	2	4	0,52
	13/10/2 023	10:02	10:59	20	3,35	3	4	0,49
	13/10/2 023	11:02	11:59	20	3,85	3	7	1,04
	13/10/2 023	12:02	12:59	20	3,95	2	7	1,32
	13/10/2 023	13:02	13:59	20	5,35	3	17	3,22
	13/10/2 023	14:02	14:59	20	4,3	3	7	1,13
	13/10/2 023	15:02	15:59	20	4,55	3	7	1,15
	13/10/2 023	16:02	16:59	20	5	4	6	0,56
	13/10/2 023	17:02	17:59	20	5,1	5	6	0,31

13/10/2 023	18:02	18:59	20	4,9	4	5	0,31
13/10/2 023	19:02	19:59	20	4,95	4	5	0,22
13/10/2 023	20:02	20:59	20	5,1	5	6	0,31
13/10/2 023	21:02	21:59	20	5,25	5	6	0,44
13/10/2 023	22:02	22:59	20	5,05	5	6	0,22
13/10/2 023	23:02	23:59	20	4,9	4	5	0,31
14/10/2 023	0:02	0:59	20	4,3	4	5	0,47
14/10/2 023	1:02	1:59	20	4,2	4	5	0,41
14/10/2 023	2:02	2:59	20	4,9	4	5	0,31
14/10/2 023	3:02	3:59	20	4,1	4	5	0,31
14/10/2 023	4:02	4:59	20	4,95	4	5	0,22
14/10/2 023	5:02	5:59	20	5,1	5	6	0,31

	14/10/2 023	6:02	6:59	20	6,3	5	7	0,66
	14/10/2 023	7:02	7:59	20	7	6	8	0,32
PERIO DO 5	14/10/2 023	8:17	8:59	15	4,67	4	6	0,62
	14/10/2 023	9:02	9:59	20	3	2	6	0,97
	14/10/2 023	10:02	10:59	20	3,35	2	11	2,23
	14/10/2 023	11:02	11:59	20	3,5	2	20	3,93
	14/10/2 023	12:02	12:59	20	3,35	2	9	1,66
	14/10/2 023	13:02	13:59	20	4,9	3	11	2
	14/10/2 023	14:02	14:59	20	7,8	3	19	4,19
	14/10/2 023	15:02	15:59	20	3,35	3	5	0,59
	14/10/2 023	16:02	16:59	20	3	3	3	0
	14/10/2 023	17:02	17:59	20	3	3	3	0

14/10/2 023	18:02	18:59	20	2,8	2	3	0,41
14/10/2 023	19:02	19:59	20	2,95	2	3	0,22
14/10/2 023	20:02	20:59	20	3	3	3	0
14/10/2 023	21:02	21:59	20	3,05	3	4	0,22
14/10/2 023	22:02	22:59	20	3,25	3	4	0,44
14/10/2 023	23:02	23:59	20	3	3	3	0
15/10/2 023	0:02	0:59	20	3,05	3	4	0,22
15/10/2 023	1:02	1:59	20	3	3	3	0
15/10/2 023	2:02	2:59	20	3,45	3	4	0,51
15/10/2 023	3:02	3:59	20	3,9	3	4	0,31
15/10/2 023	4:02	4:59	20	3,9	3	4	0,31
15/10/2 023	5:02	5:59	20	4	4	4	0

	15/10/2 023	6:02	6:59	20	4,2	4	5	0,41
	15/10/2 023	7:02	7:59	20	4,25	4	5	0,44
PERIO DO 6	15/10/2 023	8:02	8:59	12	5,25	5	6	0,45
	15/10/2 023	9:00	9:57	20	16,5	5	34	7,42
	15/10/2 023	10:00	10:57	20	9,55	8	12	1,57
	15/10/2 023	11:00	11:57	20	6,9	6	8	0,45
	15/10/2 023	12:00	12:57	20	6,35	6	7	0,49
	15/10/2 023	13:00	13:57	20	6,65	6	7	0,49
	15/10/2 023	14:00	14:57	20	6,6	6	8	0,6
	15/10/2 023	15:00	15:57	20	9,2	6	16	3,27
	15/10/2 023	16:00	16:57	20	5,55	4	7	1
	15/10/2 023	17:00	17:57	20	3,4	3	4	0,5

15/10/2 023	18:00	18:57	20	2,95	2	4	0,39
15/10/2 023	19:00	19:57	20	2,85	2	3	0,37
15/10/2 023	20:00	20:57	20	3,25	2	4	0,85
15/10/2 023	21:00	21:57	20	3,65	3	4	0,49
15/10/2 023	22:00	22:57	20	3	3	3	0
15/10/2 023	23:00	23:57	20	3	3	3	0
16/10/2 023	0:00	0:59	20	3	3	3	0
16/10/2 023	1:00	1:59	20	3	3	3	0
16/10/2 023	2:00	2:57	20	3	3	3	0
16/10/2 023	3:00	3:57	20	3,05	3	4	0,22
16/10/2 023	4:00	4:57	20	3,55	3	4	0,51
16/10/2 023	5:00	5:57	20	4	4	4	0

	16/10/2 023	6:00	6:57	20	4	4	4	0
	16/10/2 023	7:00	7:57	20	4,6	4	6	0,68
PERIO DO 7	16/10/2 023	8:08	8:59	18	7,44	6	9	0,98
	16/10/2 023	9:02	9:59	20	8,1	7	9	0,55
	16/10/2 023	10:02	10:59	20	6,45	5	8	0,69
	16/10/2 023	11:02	11:59	20	4,95	4	6	0,51
	16/10/2 023	12:02	12:59	20	3,95	3	4	0,22
	16/10/2 023	13:02	13:59	20	3,85	3	6	0,88
	16/10/2 023	14:02	14:59	20	7,5	6	10	1,28
	16/10/2 023	15:02	15:59	20	11,7	9	14	1,22
	16/10/2 023	16:02	16:59	20	14,15	13	15	0,67
	16/10/2 023	17:02	17:59	20	13,05	12	15	1,15

16/10/2 023	18:02	18:59	20	10,25	9	12	0,97
16/10/2 023	19:02	19:59	20	8,45	8	10	0,6
16/10/2 023	20:02	20:59	20	6,8	6	8	0,7
16/10/2 023	21:02	21:59	20	5,3	4	6	0,66
16/10/2 023	22:02	22:59	20	3,95	3	4	0,22
16/10/2 023	23:02	23:59	20	3,15	3	4	0,37
17/10/2 023	0:02	0:59	20	3	3	3	0
17/10/2 023	1:02	1:59	20	2,65	2	3	0,49
17/10/2 023	2:02	2:59	20	2,25	2	3	0,44
17/10/2 023	3:02	3:59	20	2,2	2	3	0,41
17/10/2 023	4:02	4:59	20	2,05	2	3	0,22
17/10/2 023	5:02	5:59	20	2	2	2	0

17/10/2023	6:02	6:59	20	4,3	2	5	1,03
17/10/2023	7:02	7:59	20	4,9	4	5	0,31

ANEXO 6. Estadística de los datos de PM2.5 del DBC

Periodos	Fecha	Hora inicial	Hora final	No de datos	Promedio PM2.5 (µg/m3)	Min PM2.5 (µg/m3)	Max PM2.5 (µg/m3)	Desviación estándar
PERIODO 1	10/10/2023	8:00 a.m	9:00 a.m	21	0,48	0	3	0,75
	10/10/2023	9:00 a.m	10:00 a.m	20	0,60	0	2	0,68
	10/10/2023	10:00 a.m	11:00 a.m	20	0,50	0	3	0,83
	10/10/2023	11:00 a.m	12:00 a.m	19	0,79	0	4	1,32
	10/10/2023	12:00 a.m	1:00 p.m	20	1,25	0	2	0,64
	10/10/2023	1:00 p.m	2:00 p.m	20	0,85	0	4	1,23
	10/10/2023	2:00 p.m	3:00 p.m	19	0,16	0	1	0,37
	10/10/2023	3:00 p.m	4:00 p.m	20	0,80	0	2	0,70
	10/10/2023	4:00 p.m	5:00 p.m	20	0,70	0	2	0,57
	10/10/2023	5:00 p.m	6:00 p.m	20	1,25	0	4	0,57
	10/10/2023	6:00 p.m	7:00 p.m	19	1,63	0	6	1,57
	10/10/2023	7:00 p.m	8:00 p.m	20	1,60	0	4	1,10

10/10/20 23	8:00 p.m	9:00 p.m	20	2,50	0	5	1,24	
10/10/20 23	9:00 p.m	10:00 p.m	19	2,47	1	4	0,77	
10/10/20 23	10:00 p.m	11:00 p.m	20	1,35	0	2	0,67	
10/10/20 23	11:00 p.m	12:00 a.m	19	2,00	0	3	0,88	
11/10/20 23	12:00 a.m	1:00 a.m	20	1,65	0	3	0,75	
11/10/20 23	1:00 a.m	2:00 a.m	20	2,30	1	4	0,92	
11/10/20 23	2:00 a.m	3:00 a.m	20	2,35	1	4	0,88	
11/10/20 23	3:00 a.m	4:00 a.m	19	2,21	1	4	0,98	
11/10/20 23	4:00 a.m	5:00 a.m	20	2,25	0	4	1,12	
11/10/20 23	5:00 a.m	6:00 a.m	20	3,75	2	6	1,07	
11/10/20 23	6:00 a.m	7:00 a.m	19	5,68	3	9	1,57	
11/10/20 23	7:00 a.m	8:00 a.m	20	5,95	4	8	1,15	
<hr/> PERIOD O 2	11/10/20 23	8:00 a.m	9:00 a.m	20	3,35	1	6	1,23
	11/10/20 23	9:00 a.m	10:00 a.m	20	2,35	0	10	2,08
	11/10/20 23	10:00 a.m	11:00 a.m	19	2,42	1	4	0,84
	11/10/20 23	11:00 a.m	12:00 a.m	20	4,20	1	7	1,28
	11/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	19	3,68	2	5	1,00

11/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	20	3,2	2	4	0,70
11/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	20	3,25	2	5	0,85
11/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	19	3,16	2	5	0,83
11/10/20 23	4:00 p.m	5:00 p. m.	20	2,25	1	5	1,21
11/10/20 23	5:00 p.m	6:00 p. m.	20	1,50	0	3	0,76
11/10/20 23	6:00 p.m	7:00 p. m.	19	1,37	0	3	0,76
11/10/20 23	7:00 p.m	8:00 p. m.	20	1,8	0	4	1,01
11/10/20 23	8:00 p.m	9:00 p. m.	19	1,79	1	3	0,71
11/10/20 23	9:00 p. m.	10:00 p. m.	20	2,20	0	4	0,95
11/10/20 23	10:00 p.m	11:00 p.m	19	2,05	1	4	0,91
11/10/20 23	11:00 p.m	12:00 a.m	20	2,30	1	3	0,73
12/10/20 23	12:00 a.m	1:00 a.m	20	2,00	0	3	0,97
12/10/20 23	1:00 a.m	2:00 a.m	20	1,30	0	3	0,92
12/10/20 23	2:00 a.m	3:00 a.m	19	1,84	0	4	0,96
12/10/20 23	3:00 a.m	4:00 a.m	20	1,35	0	3	0,75
12/10/20 23	4:00 a.m	5:00 a.m	20	1,50	0	3	0,89
12/10/20 23	5:00 a.m	6:00 a.m	19	1,58	1	3	0,61

	12/10/20 23	6:00 a.m	7:00 a.m	20	2,40	1	4	1,05
	12/10/20 23	7:00 a.m	8:00 a.m	20	3,95	1	6	1,15
PERIOD O 3	12/10/20 23	8:00 a.m	9:00 a.m	19	4,16	2	8	1,64
	12/10/20 23	9:00 a.m	10:00 a.m	20	5,05	1	27	5,32
	12/10/20 23	10:00 a.m	11:00 a.m	20	4,15	2	6	0,93
	12/10/20 23	11:00 a.m	12:00 a.m	19	4,68	2	7	1,38
	12/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	20	3,7	2	5	0,92
	12/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	19	2,00	1	4	0,94
	12/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	20	0,65	0	2	0,75
	12/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	20	0,90	0	3	0,91
	12/10/20 23	4:00 p.m	5:00 p. m.	20	4,10	2	7	1,12
	12/10/20 23	5:00 p.m	6:00 p. m.	19	2,95	1	8	1,51
	12/10/20 23	6:00 p.m	7:00 p. m.	19	2,26	1	8	1,69
	12/10/20 23	7:00 p.m	8:00 p. m.	20	2,8	1	4	0,83
	12/10/20 23	8:00 p.m	9:00 p. m.	19	3,53	2	5	0,84
	12/10/20 23	9:00 p. m.	10:00 p. m.	20	3,00	1	5	1,21
	12/10/20 23	10:00 p.m	11:00 p.m	19	2,37	1	4	1,07

	12/10/20 23	11:00 p.m	12:00 a.m	20	2,25	0	4	1,02	
	13/10/20 23	12:00 a.m	1:00 a.m	20	2,45	1	4	1,00	
	13/10/20 23	1:00 a.m	2:00 a.m	20	2,55	1	4	0,94	
	13/10/20 23	2:00 a.m	3:00 a.m	19	3,00	1	5	1,05	
	13/10/20 23	3:00 a.m	4:00 a.m	20	3,55	2	5	0,83	
	13/10/20 23	4:00 a.m	5:00 a.m	20	5,25	1	8	1,45	
	13/10/20 23	5:00 a.m	6:00 a.m	19	7,11	4	10	1,70	
	13/10/20 23	6:00 a.m	7:00 a.m	20	7,95	6	10	1,36	
	13/10/20 23	7:00 a.m	8:00 a.m	20	6,10	4	8	1,12	
<hr/>	PERIOD O 4	13/10/20 23	8:00 a.m	9:00 a.m	20	3,35	1	14	2,89
	13/10/20 23	9:00 a.m	10:00 a.m	19	2,42	1	3	0,61	
	13/10/20 23	10:00 a.m	11:00 a.m	20	2,00	1	4	0,92	
	13/10/20 23	11:00 a.m	12:00 a.m	19	2,53	1	5	1,22	
	13/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	20	2,35	0	6	1,35	
	13/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	20	4,00	1	12	2,71	
	13/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	19	2,53	1	5	1,35	
	13/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	20	3,45	1	6	1,39	

13/10/2023	4:00 p.m	5:00 p.m.	20	3,20	1	5	1,20	
13/10/2023	5:00 p.m	6:00 p.m.	20	3,3	2	5	0,98	
13/10/2023	6:00 p.m	7:00 p.m.	19	3,21	2	4	0,63	
13/10/2023	7:00 p.m	8:00 p.m.	20	3,55	1	7	1,28	
13/10/2023	8:00 p.m	9:00 p.m.	20	4,10	3	6	0,72	
13/10/2023	9:00 p.m.	10:00 p.m.	19	3,42	2	6	1,17	
13/10/2023	10:00 p.m	11:00 p.m	20	3,5	2	5	0,83	
13/10/2023	11:00 p.m	12:00 a.m	19	3,32	2	6	1,00	
14/10/2023	12:00 a.m	1:00 a.m	20	2,65	1	4	0,75	
14/10/2023	1:00 a.m	2:00 a.m	20	2,95	2	4	0,69	
14/10/2023	2:00 a.m	3:00 a.m	20	2,85	2	5	0,93	
14/10/2023	3:00 a.m	4:00 a.m	19	2,68	1	5	1,06	
14/10/2023	4:00 a.m	5:00 a.m	20	3,35	2	5	0,75	
14/10/2023	5:00 a.m	6:00 a.m	20	4,50	3	7	1,00	
14/10/2023	6:00 a.m	7:00 a.m	19	6,11	3	9	1,66	
14/10/2023	7:00 a.m	8:00 a.m	20	7,55	6	9	0,94	
PERIOD O 5	14/10/2023	8:00 a.m	9:00 a.m	20	4,3	1	7	1,72

14/10/20 23	9:00 a.m	10:00 a.m	20	2,85	1	7	1,60
14/10/20 23	10:00 a.m	11:00 a.m	19	1,68	0	7	1,83
14/10/20 23	11:00 a.m	12:00 a.m	20	4,00	0	49	10,69
14/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	20	1,60	0	6	1,54
14/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	19	3,05	1	15	3,05
14/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	20	4,40	1	9	2,54
14/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	20	2,70	2	4	0,80
14/10/20 23	4:00 p.m	5:00 p. m.	20	1,50	0	3	0,83
14/10/20 23	5:00 p.m	6:00 p. m.	19	1,11	0	2	0,66
14/10/20 23	6:00 p.m	7:00 p. m.	20	0,70	0	2	0,57
14/10/20 23	7:00 p.m	8:00 p. m.	19	1,26	0	3	0,73
14/10/20 23	8:00 p.m	9:00 p. m.	20	1,5	0	3	0,83
14/10/20 23	9:00 p. m.	10:00 p. m.	20	1,45	0	3	0,76
14/10/20 23	10:00 p.m	11:00 p.m	19	1,63	0	4	1,01
14/10/20 23	11:00 p.m	12:00 a.m	20	1,45	0	3	0,89
15/10/20 23	12:00 a.m	1:00 a.m	20	1,60	0	3	0,75
15/10/20 23	1:00 a.m	2:00 a.m	20	1,25	0	3	0,97

	15/10/20 23	2:00 a.m	3:00 a.m	19	1,63	0	3	0,76	
	15/10/20 23	3:00 a.m	4:00 a.m	20	1,80	0	4	0,89	
	15/10/20 23	4:00 a.m	5:00 a.m	20	1,60	0	4	0,94	
	15/10/20 23	5:00 a.m	6:00 a.m	19	1,84	0	4	1,07	
	15/10/20 23	6:00 a.m	7:00 a.m	20	2,00	0	5	1,17	
	15/10/20 23	7:00 a.m	8:00 a.m	20	2,35	1	4	0,81	
<hr/>	PERIOD O 6	15/10/20 23	8:00 a.m	9:00 a.m	20	3,35	1	5	1,14
	15/10/20 23	9:00 a.m	10:00 a.m	19	18,9	5	38	1,65	
	15/10/20 23	10:00 a.m	11:00 a.m	20	7,00	5	10	1,65	
	15/10/20 23	11:00 a.m	12:00 a.m	20	5,20	3	8	1,40	
	15/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	19	4,89	3	9	1,29	
	15/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	20	1,25	0	3	0,97	
	15/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	19	4,63	3	7	0,90	
	15/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	20	8,15	3	13	3,05	
	15/10/20 23	4:00 p.m	5:00 p. m.	20	3,55	1	6	1,28	
	15/10/20 23	5:00 p.m	6:00 p. m.	20	1,35	0	3	0,88	
	15/10/20 23	6:00 p.m	7:00 p. m.	19	1,53	0	4	1,35	

15/10/2023	7:00 p.m	8:00 p.m.	20	0,95	0	2	0,79	
15/10/2023	8:00 p.m	9:00 p.m.	19	1,11	0	3	0,88	
15/10/2023	9:00 p.m.	10:00 p.m.	20	1,25	0	3	0,79	
15/10/2023	10:00 p.m	11:00 p.m	19	1,26	0	2	0,65	
15/10/2023	11:00 p.m	12:00 a.m	20	1,35	0	2	0,67	
16/10/2023	12:00 a.m	1:00 a.m	20	1,60	0	3	0,94	
16/10/2023	1:00 a.m	2:00 a.m	20	1,65	0	3	0,81	
16/10/2023	2:00 a.m	3:00 a.m	20	1,60	0	4	1,27	
16/10/2023	3:00 a.m	4:00 a.m	19	1,63	0	3	0,90	
16/10/2023	4:00 a.m	5:00 a.m	20	2,55	0	4	1,23	
16/10/2023	5:00 a.m	6:00 a.m	19	2,74	1	5	0,99	
16/10/2023	6:00 a.m	7:00 a.m	20	2,75	0	6	1,10	
16/10/2023	7:00 a.m	8:00 a.m	20	3,55	2	6	1,10	
PERIOD O 7	16/10/2023	8:00 a.m	9:00 a.m	19	7,16	5	10	1,21
	16/10/2023	9:00 a.m	10:00 a.m	20	7,75	6	11	1,21
	16/10/2023	10:00 a.m	11:00 a.m	20	5,40	3	7	1,31
	16/10/2023	11:00 a.m	12:00 a.m	19	2,74	1	4	0,93

16/10/20 23	12:00 a.m	1:00 p.m	20	1,70	0	4	0,98
16/10/20 23	1:00 p.m	2:00 p.m	20	1,85	0	4	1,23
16/10/20 23	2:00 p.m	3:00 p.m	19	5,37	2	9	1,95
16/10/20 23	3:00 p.m	4:00 p.m	20	9,85	6	12	1,63
16/10/20 23	4:00 p.m	5:00 p. m.	20	12,5	10	15	1,23
16/10/20 23	5:00 p.m	6:00 p. m.	19	11,9	8	15	1,97
16/10/20 23	6:00 p.m	7:00 p. m.	20	8,80	4	12	1,77
16/10/20 23	7:00 p.m	8:00 p. m.	20	0,95	0	2	1,24
16/10/20 23	8:00 p.m	9:00 p. m.	20	4,50	2	8	1,58
16/10/20 23	9:00 p. m.	10:00 p. m.	19	3,05	0	7	0,65
16/10/20 23	10:00 p.m	11:00 p.m	19	1,74	1	3	0,65
16/10/20 23	11:00 p.m	12:00 a.m	20	1,25	0	3	0,85
17/10/20 23	12:00 a.m	1:00 a.m	20	0,70	0	2	0,57
17/10/20 23	1:00 a.m	2:00 a.m	19	0,42	0	2	0,61
17/10/20 23	2:00 a.m	3:00 a.m	20	0,55	0	2	0,69
17/10/20 23	3:00 a.m	4:00 a.m	19	0,74	0	3	0,81
17/10/20 23	4:00 a.m	5:00 a.m	20	0,55	0	2	0,60

17/10/20 23	5:00 a.m	6:00 a.m	20	0,95	0	2	0,76
17/10/20 23	6:00 a.m	7:00 a.m	19	5,32	1	7	1,49
17/10/20 23	7:00 a.m	8:00 a.m	20	5,60	2	8	1,54
					0	49	

ANEXO 7. Comparación del promedio de los datos por hora del Dispositivo de Bajo Costo con el Aeroqual calculando la diferencia de todos los periodos

PERIODO	HORA	AEROQUAL	DBC	DIFERENCI A
PERIODO 1	8:00- 9:00	1,67	0,48	1,19
	9:00- 10:00	1,40	0,60	0,80
	10:00- 11:00	1,35	0,50	0,85
	11:00- 12:00	2,00	0,79	1,21
	12:00- 13:00	2,05	1,25	0,80
	13:00- 14:00	2,20	0,85	1,35
	14:00- 15:00	1,75	0,16	1,59
	15:00- 16:00	2,15	0,80	1,35

16:00- 17:00	2,25	0,70	1,55
17:00- 18:00	2,50	1,25	1,25
18:00- 19:00	3,00	1,63	1,37
19:00- 20:00	3,00	1,60	1,40
20:00- 21:00	3,85	2,50	1,35
21:00- 22:00	4,35	2,47	1,88
22:00- 23:00	3,10	1,35	1,75
23:00- 0:00	3,90	2,00	1,90
0:00- 1:00	4,00	1,65	2,35
1:00- 2:00	3,95	2,30	1,65
2:00- 3:00	4,00	2,35	1,65
3:00- 4:00	3,85	2,21	1,64
4:00- 5:00	4,00	2,25	1,75
5:00- 6:00	4,95	3,75	1,20
6:00- 7:00	6,00	5,68	0,32

	7:00- 8:00	5,80	5,95	-0,15
PERIODO	8:00- 9:00	4,47	3,35	1,12
2	9:00- 10:00	3,40	2,35	1,05
	10:00- 11:00	3,75	2,42	1,33
	11:00- 12:00	5,15	4,20	0,95
	12:00- 13:00	5,25	3,68	1,57
	13:00- 14:00	5,00	3,20	1,80
	14:00- 15:00	4,95	3,25	1,70
	15:00- 16:00	5,00	3,16	1,84
	16:00- 17:00	3,85	2,25	1,60
	17:00- 18:00	3,00	1,50	1,50
	18:00- 19:00	3,00	1,37	1,63
	19:00- 20:00	4,00	1,80	2,20

	20:00- 21:00	4,00	1,79	2,21
	21:00- 22:00	4,00	2,20	1,80
	22:00- 23:00	4,00	2,05	1,95
	23:00- 0:00	4,00	2,30	1,70
	0:00- 1:00	4,00	2,00	2,00
	1:00- 2:00	3,95	1,30	2,65
	2:00- 3:00	3,90	1,84	2,06
	3:00- 4:00	3,80	1,35	2,45
	4:00- 5:00	3,60	1,50	2,10
	5:00- 6:00	3,60	1,58	2,02
	6:00- 7:00	4,00	2,40	1,60
	7:00- 8:00	4,80	3,95	0,85
PERIODO	8:00- 9:00	5,06	4,16	0,90
3	9:00- 10:00	5,70	5,05	0,65
	10:00- 11:00	6,25	4,15	2,10
	11:00- 12:00	6,85	4,68	2,17

12:00- 13:00	6,00	3,70	2,30
13:00- 14:00	4,45	2,00	2,45
14:00- 15:00	3,30	0,65	2,65
15:00- 16:00	2,65	0,90	1,75
16:00- 17:00	4,90	4,10	0,80
17:00- 18:00	4,20	2,95	1,25
18:00- 19:00	4,00	2,26	1,74
19:00- 20:00	4,35	2,80	1,55
20:00- 21:00	5,10	3,53	1,57
21:00- 22:00	4,90	3,00	1,90
22:00- 23:00	4,25	2,37	1,88
23:00- 0:00	4,10	2,25	1,85
0:00- 1:00	4,45	2,45	2,00

	1:00- 2:00	4,20	2,55	1,65
	2:00- 3:00	4,65	3,00	1,65
	3:00- 4:00	4,85	3,55	1,30
	4:00- 5:00	5,55	5,25	0,30
	5:00- 6:00	6,25	7,11	-0,86
	6:00- 7:00	6,55	7,95	-1,40
	7:00- 8:00	6,05	6,10	-0,05
PERIODO	8:00- 9:00	3,72	3,35	0,37
4	9:00- 10:00	3,20	2,42	0,78
	10:00- 11:00	3,35	2,00	1,35
	11:00- 12:00	3,85	2,53	1,32
	12:00- 13:00	3,95	2,35	1,60
	13:00- 14:00	5,35	4,00	1,35
	14:00- 15:00	4,30	2,53	1,77
	15:00- 16:00	4,55	3,45	1,10

16:00- 17:00	5,00	3,20	1,80
17:00- 18:00	5,10	3,30	1,80
18:00- 19:00	4,90	3,21	1,69
19:00- 20:00	4,95	3,55	1,40
20:00- 21:00	5,10	4,10	1,00
21:00- 22:00	5,25	3,42	1,83
22:00- 23:00	5,05	3,50	1,55
23:00- 0:00	4,90	3,32	1,58
0:00- 1:00	4,30	2,65	1,65
1:00- 2:00	4,20	2,95	1,25
2:00- 3:00	4,90	2,85	2,05
3:00- 4:00	4,10	2,68	1,42
4:00- 5:00	4,95	3,35	1,60
5:00- 6:00	5,10	4,50	0,60
6:00- 7:00	6,30	6,11	0,19

	7:00- 8:00	7,00	7,55	-0,55
PERIODO	8:00- 9:00	4,67	4,30	0,37
5	9:00- 10:00	3,00	2,85	0,15
	10:00- 11:00	3,35	1,68	1,67
	11:00- 12:00	3,50	4,00	-0,50
	12:00- 13:00	3,35	1,60	1,75
	13:00- 14:00	4,90	3,05	1,85
	14:00- 15:00	7,80	4,40	3,40
	15:00- 16:00	3,35	2,70	0,65
	16:00- 17:00	3,00	1,50	1,50
	17:00- 18:00	3,00	1,11	1,89
	18:00- 19:00	2,80	0,70	2,10
	19:00- 20:00	2,95	1,26	1,69

	20:00- 21:00	3,00	1,50	1,50
	21:00- 22:00	3,05	1,45	1,60
	22:00- 23:00	3,25	1,63	1,62
	23:00- 0:00	3,00	1,45	1,55
	0:00- 1:00	3,05	1,60	1,45
	1:00- 2:00	3,00	1,25	1,75
	2:00- 3:00	3,45	1,63	1,82
	3:00- 4:00	3,90	1,80	2,10
	4:00- 5:00	3,90	1,60	2,30
	5:00- 6:00	4,00	1,84	2,16
	6:00- 7:00	4,20	2,00	2,20
	7:00- 8:00	4,25	2,35	1,90
PERIODO	8:00- 9:00	5,25	3,35	1,90
6	9:00- 10:00	16,50	18,95	-2,45
	10:00- 11:00	9,55	7,00	2,55
	11:00- 12:00	6,90	5,20	1,70

12:00- 13:00	6,35	4,89	1,46
13:00- 14:00	6,65	1,25	5,40
14:00- 15:00	6,60	4,63	1,97
15:00- 16:00	9,20	8,15	1,05
16:00- 17:00	5,55	3,55	2,00
17:00- 18:00	3,40	1,35	2,05
18:00- 19:00	2,95	1,53	1,42
19:00- 20:00	2,85	0,95	1,90
20:00- 21:00	3,25	1,11	2,14
21:00- 22:00	3,65	1,25	2,40
22:00- 23:00	3,00	1,26	1,74
23:00- 0:00	3,00	1,35	1,65
0:00- 1:00	3,00	1,60	1,40

	1:00- 2:00	3,00	1,65	1,35
	2:00- 3:00	3,00	1,60	1,40
	3:00- 4:00	3,05	1,63	1,42
	4:00- 5:00	3,55	2,55	1,00
	5:00- 6:00	4,00	2,74	1,26
	6:00- 7:00	4,00	2,75	1,25
	7:00- 8:00	4,60	3,55	1,05
PERIODO	8:00- 9:00	7,44	7,16	0,29
7	9:00- 10:00	8,10	7,75	0,35
	10:00- 11:00	6,45	5,40	1,05
	11:00- 12:00	4,95	2,74	2,21
	12:00- 13:00	3,95	1,70	2,25
	13:00- 14:00	3,85	1,85	2,00
	14:00- 15:00	7,50	5,37	2,13
	15:00- 16:00	11,70	9,85	1,85

16:00- 17:00	14,15	12,45	1,70
17:00- 18:00	13,05	11,89	1,16
18:00- 19:00	10,25	8,80	1,45
19:00- 20:00	8,45	0,95	7,50
20:00- 21:00	6,80	4,50	2,30
21:00- 22:00	5,30	3,05	2,25
22:00- 23:00	3,95	1,74	2,21
23:00- 0:00	3,15	1,25	1,90
0:00- 1:00	3,00	0,70	2,30
1:00- 2:00	2,65	0,42	2,23
2:00- 3:00	2,25	0,55	1,70
3:00- 4:00	2,20	0,74	1,46
4:00- 5:00	2,05	0,55	1,50
5:00- 6:00	2,00	0,95	1,05
6:00- 7:00	4,30	5,32	-1,02

7:00- 8:00 4,90 5,60 -0,70