PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR O IGUAL A 10 MICRÓMETROS (PM_{10}) SEGÚN LA RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO EN EL CAMPUS SAN FERNANDO DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META – UNIMETA

PRESENTADO POR:
CIELO KATHERINE GUACARAPARE HIGUERA
MARIA FERNANDA BAYONA BOHÓRQUEZ

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito para optar el título de Ingenieras Ambientales

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META- UNIMETA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO META
2022

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRÓMETROS (PM_{10}) EN EL CAMPUS SAN FERNANDO DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META – UNIMETA

PRESENTADO POR:
CIELO KATHERINE GUACARAPARE HIGUERA
MARIA FERNANDA BAYONA BOHÓRQUEZ

DIRECTOR DISCIPLINAR:
Ing. Camilo Andrés Peralta Riaño

DIRECTOR METODOLOGICO:
Ing. René Ricardo Cuéllar Rodríguez

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito para optar el título de Ingenieras Ambientales

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META- UNIMETA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO META
2022

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO MENOR O IGUAL A 10 MICRÓMETROS (PM_{10}) SEGÚN LA RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO EN EL CAMPUS SAN FERNANDO DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META – UNIMETA

PRESENTADO POR:
CIELO KATHERINE GUACARAPARE HIGUERA
MARIA FERNANDA BAYONA BOHORQUEZ

APROBADO

_____	_____
Firma	**Firma**
Nombre:	Nombre:
Jurado 1	Jurado 2
_____	_____
Firma	**Firma**
Director Disciplinar	Director Metodologico

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo, mi carrera y todos mis logros a quien siempre ha creído en mí, a quien ha estado dé comienzo a fin en todo momento bajo cualquier circunstancia apoyándome y no dejándome rendir; a mi ejemplo de valentía y perseverancia; a quien le debo todo lo que soy. A mi hermosa madre Angela Rosa Higuera Guadrón.

Cielo Katherine Guacarapare Higuera

Primeramente, le dedico este logro a Dios, a mi tío que fue mi ángel durante este camino, a mis abuelos que con su amor y paciencia me han motivado a ser una excelente persona y a quien les debo lo que soy, a mi hermano quien ha sido mi motor y a mis padres que me dieron el ímpetu para superarme.

María Fernanda Bayona Bohórquez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme las fuerzas y sabiduría de llegar hasta este punto; a mi padre Mario Guacarapare Carrero (mi ángel) por haberse convertido en mi mayor motivación desde el cielo, de lograr ser una profesional. A mi madre Angela Rosa Higuera Guadrón por querer siempre lo mejor para mí y brindarme una buena educación. A mi novio por brindarme todo su apoyo y no dejarme sola en todo este proceso.

Finalmente agradezco a cada persona que de una u otra forma aportaron en mi formación académica y vida personal; criticas buenas y malas, ya que con esto contribuyeron en la formación de mi carácter y me ayudaron hacer cada vez mejor. Gracias a mi compañera de investigación y a las personas que con su voz de aliento me motivaron y no me dejaron desfallecer.

Cielo Katherine Guacarapare Higuera

Doy gracias a Dios por permitirme vivir esta experiencia, por ser una profesional en el área que siempre soñé y por cada ángel que me puso en el camino a lo largo de esta etapa.

Gracias a mi familia por la paciencia que me tuvieron ante muchas situaciones, por que aun sin ellos entenderlo, siempre estaban al pendiente, mientras yo en silencio trabajaba para darles este logro y hacerlos sentir orgullosos de esta mujer que con valentía y esfuerzo se convierte en profesional.

Agradezco a mi grupo de colegas, que durante semestres vivimos experiencias inolvidables que forjaron nuestra amistad en medio de parciales y trabajos y que sin duda alguna me apoyaron en esta última etapa de mi carrera.

A los profesores que durante cada semestre que me brindaron su conocimiento y me exigieron al máximo para ser mejor profesional, a quienes me brindaron información de más y atendieron cada una de mis preguntas en el aula de clases.

Gracias a mi compañera de investigación, porque durante este proceso nos unimos con el mismo ideal, trabajando juntas para sacar adelante esta investigación y por último a las personas que en su momento nos apoyaron y nos motivaron a continuar con este proceso.

María Fernanda Bayona Bohórquez

Tabla de contenido

1. Resumen 1
2. Abstract 3
3. Introducción 5
4. Planteamiento del problema 7
5. Justificación 11
6. Objetivos 13
6.1 Objetivo General: 13
6.2 Objetivos específicos: 13
7. Antecedentes 14
8. Marco de referencia 17
8.1 Marco geográfico 17
8.2 Marco histórico 21
8.3 Marco conceptual 23
8.4 Marco teórico 27
8.4.1 Contaminación del aire 27
8.4.2 Condiciones a contemplar en el monitoreo 29
8.4.3 Instalación del equipo Hi-Vol. 30
8.4.5 Calibración del equipo Hi-Vol. 30
8.4.6 Cálculos de calibración 31
8.4.7 Procedimiento para dar inicio al muestreo 33
8.4.8 Procedimiento después del muestreo 35
8.4.9 Procedimiento de instalación y manejo de información de la estación meteorológica Ambient Weather 2902 36
8.4.10 Método de aforo vehicular 38
8.4.11 Procedimiento de cálculos con los resultados obtenidos de la investigación 39
8.4.12 Cálculos de la concentración de PM_{10} 41
8.4.13 Incertidumbre de la masa 43
8.4.14 Incertidumbre del flujo 43
8.4.15 Cálculos Índice de Calidad de Aire (ICA) 43
8.5 Marco legal 44

9. Metodología 49
9.1 Tipo de investigación 49
9.1.1 Analítico 49
9.2 Enfoque de investigación 49
9.2.1 Cuantitativo 49
9.3 Método de investigación 50
9.3.1 Fases 50
9.3.2 Fase I: 50
9.3.3 Fase II 50
9.3.4 Fase III 52
9.3.5 Fase IV 52
9.3.6 Fase V 53
10. Resultados 53
10.1 Resultados de concentración PM_{10} 53
10.2 Rosas de los vientos 62
10.3 Incertidumbre de la medición y regla de decisión 79
10.4 Análisis datos Meteorológicos 81
10.5 Índice De Calidad Del Aire ICA 88
10.6 Análisis aforo vehicular y relación con concentraciones de PM_{10} 100
11. Discusión 106
12. Conclusiones 114
13. Recomendaciones 116
14. Limitaciones 116
13. Bibliografía 118
14. Anexos 127

Lista de tablas

Tabla 1 Marco legal 45
Tabla 2. Protocolo de Calidad del aire 47
Tabla 3. EPA 48
Tabla 4 *Resultados de concentración* $PM10$ 55
Tabla 5 Datos para la proyección de la rosa de los vientos 62
Tabla 6 Cálculo de la incertidumbre 79
Tabla 7 Incertidumbre de la medición 80
Tabla 8 *Datos meteorológicos de temperatura en relación con la concentración de* $PM10$ 82
Tabla 9 *Datos meteorológicos Punto de roció y la relación con la concentración de* $PM10$ 83
Tabla 10 Relación punto de roció y humedad 85
Tabla 11 Relación de la precipitación y la concentración de pm10 87
Tabla 12 Rangos Calidad del Aire 89
Tabla 13 Concentración para el cálculo de Ip 90
Tabla 14 Cálculos de Ip, ICA 90
Tabla 15 Resultados ICA Pm10 91
Tabla 16 Descripción general del Índice de Calidad del Aire 92
Tabla 17 Acciones preventivas de acuerdo con el rango y al valor de Calidad de Aire 93
Tabla 18 Resultados aforo vehicular calle 33 y carrera 32 100
Tabla 19 *Total de flujo vehicular calle 33 y carrera 32 más la concentración de PM10* 103

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación del lugar de estudio en la ciudad de Villavicencio 20
Figura 2 Parte zona centro de Villavicencio calle 33 y carrera 32 20
Figura 3 Ubicación exacta del punto de muestreo dentro de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA..... 21
Figura 7 *Demolición de local*..... 57
Figura 8 Demolición de casa 58
Figura 9 Retiro de escombros 58
Figura 10 Carta de flujo evidenciando estado de funcionamiento del equipo Hi-Vol 60
Figura 11 Escobillas desgastadas..... 61
Figura 12 Cambio de escobillas..... 61
Figura 13 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 1 de diciembre del 2021 64
Figura 14 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 2 de diciembre del 2021. 65
Figura 15 . Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 3 de diciembre del 2021. 66
Figura 16 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 4 de diciembre del 2021. 67
Figura 17 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 5 de diciembre del 2021. 68
Figura 18. Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 6 de diciembre del 2021. 69
Figura 19 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 7 de diciembre del 2021 70
Figura 20 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 8 de diciembre del 2021. 71
Figura 21 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 9 de diciembre del 2021. 72
Figura 22 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 10 de diciembre del 2021. 73
Figura 23 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 11 de diciembre del 2021 74
Figura 24 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 12 de diciembre del 2021. 75
Figura 25 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 13 de diciembre del 2021. 76
Figura 26 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 14 de diciembre del 2021. 77
Figura 27 Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 15 de diciembre del 2021. 78

Lista de gráficos

Gráfico 1 Incertidumbre PM10 80
Gráfico 2 Relación de temperatura y la concentración de $PM10$ 83
Gráfico 3 Relación de punto de roció y la concentración de $PM10$ 84
Gráfico 4 Relación humedad y concentración de $PM10$ 86
Gráfico 5 Relación de precipitación con la concentración de pm10..... 88
Gráfico 6 Flujo vehicular parque carrera 32 vs calle 33 102
Gráfico 7 relación de flujo vehicular parque carrea 32 y calle 33 y concentración de PM10 ... 104
Gráfico 8 *Comportamiento de la dirección y la velocidad del viento durante el 1 de diciembre al 15 de diciembre del 2021* 106
Gráfico 9 Concentraciones de material particulado inferior a 10 micrómetros de las estaciones de la UNIMETA y el SVCA de Villavicencio..... 108
Gráfico 10 Promedio de concentraciones reportadas por SVCA de Villavicencio durante el 1de diciembre al 15 de diciembre del 2021. 109
Gráfico 11 Comparación de µg/m3 del promedio de las concentraciones del SVCA y la UNIMETA. 110

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Caudal actual o real ($m3$/min) 31
Ecuación 2 Presión de estancamiento (mm Hg) 31
Ecuación 3 Relación de presiones según la temperatura ambiente 32
Ecuación 4 Diferencia porcentual (%) 32
Ecuación 5 Diferencia entre el caudal real y el caudal de diseño 33
Ecuación 6 Tiempo de duración de cada muestreo 39
Ecuación 7 Temperatura promedio 39
Ecuación 8 Caudal estándar ($m3$/min) 40
Ecuación 9 Volumen de muestreo ($m3$) 40
Ecuación 10 Volumen total de aire muestreado, en unidades de volumen estándar m3 40
Ecuación 11 Concentración másica de material particulado suspendido total, ug/$m3$ 41
Ecuación 12 Incertidumbre de la masa 43
Ecuación 13 Índice de Calidad de Aire 44

Lista de anexos

Anexo N° 1 Registro fotográfico 127
Anexo N° 2 Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010 133
Anexo N° 3 SVCA tipo I 137
Anexo N° 4 Resultados de laboratorio 140
Anexo N° 5 Cálculos para la concentración de $Pm10$ 143
Anexo N° 6 Cadena de custodia 144
Anexo N° 7 Hoja de calibración 146
Anexo N° 8 Cálculos de la desviación estándar 149
Anexo N° 9 Datos del aforo vehicular 150

Glosario

Material particulado PM_{10}: Son las partículas inhalables para el ser humano, por lo general son de 10 micrómetros y menores a este [1].

Contaminación atmosférica: Es el aire que contiene partículas pequeñas y/o productos secundarios gaseosos, que representan un riesgo para las personas, los animales y las plantas [2].

Fuente móvil: Son una fuente de emisión que es producida por la quema de combustibles fósiles, ya que los vehículos son los principales emisores de contaminantes como lo es el nitrógeno, monóxido de carbono, dióxidos de azufre y otros compuestos volátiles [3].

ICA: Se entiende por las siglas ICA, al índice de la calidad del aire, el cual es un valor adimensional de acuerdo con un código de colores, que es utilizado para entregar el reporte de la calidad del aire [4].

microgramos/metro cúbico ($\mu g/m^3$): Es una unidad de medida, en esta unidad están representadas la mayor parte de los valores de los contaminantes, en la legislación de la calidad del aire, y así mismo se expresan los resultados de estas concentraciones para la información entregada al público [5].

Estación de Monitoreo de Calidad del Aire: Una estación de monitoreo para la calidad del aire, es aquella que contiene diferentes equipos que permiten medir la concentración de uno o más contaminantes en el aire y los parámetros meteorológicos de la zona, estas estaciones son clasificadas de acuerdo con la manera en la que operan y la movilidad que puede variar entre manuales, automáticas, móviles o mixtas [6].

Concentración: La concentración de un contaminante se representa numéricamente y proporciona una estimación de la concentración de un contaminante en función del tiempo, es decir, la cantidad de contaminante que es emitida en determinado tiempo o por su altura de emisión, por la velocidad o la dirección de los vientos que predominan en el área o el comportamiento químico del contaminante en la zona [7].

1. Resumen

El material particulado es una mezcla compleja de partículas clasificadas como finas y gruesas, las cuales se encuentran en estado sólido o líquido y contribuyen a la contaminación de la calidad del aire y a la salud de las personas; las partículas finas contienen nitratos, sulfatos, carbonatos, orgánicos, amonio y plomo; a diferencia de las partículas gruesas que contienen óxidos de silicio, hollín, hierro, aluminio entre otros. Su origen es de diferentes fuentes, tanto naturales como antropogénicos.

El material particulado PM_{10}, es aquel ≤ 10 µm y trae consigo afectaciones a la salud humana, debido a su inhalación este contaminante ingresa fácilmente por las vías respiratorias llegando de tal manera a los pulmones y depositándose en las paredes alveolares, provocando así enfermedades cardiovasculares y pulmonares.

Debido a las consecuencias que causa el material particulado, se pretende que en la investigación teórico-practica se determine, de acuerdo a la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo, la calidad del aire que existe en la zona de estudio del campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA de Villavicencio Meta, a través de una estación de monitoreo con un equipo Hi-Vol, el monitoreo duro 14 días consecutivos. La estación de monitoreo fue ubicada específicamente diagonal al edificio Raúl y Lucia, siendo este punto apto dentro de la Universidad cumpliendo con los requisitos estipulados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Una vez se cumplieron los 14 días de monitoreo, se enviaron todas las muestras a un laboratorio acreditado para ser analizadas, posteriormente a estos análisis el laboratorio envió los respectivos

resultados, de acuerdo a estos resultados se hicieron los cálculos de concentración de material particulado $\leq 10\ \mu m$ (PM_{10}), y los cálculos del Índice de Calidad del Aire (ICA), para determinar el cumplimiento con la resolución 2254 de 2007 por la cual es adopta la norma de calidad de aire ambiente y se dictan otras disposiciones y el cumplimiento de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Teniendo en cuenta estos resultados, a través del ICA la calidad del aire se clasifica buena en la zona de investigación, y no pasa los límites permisibles de la resolución y la OMS, lo cual indica que no hay riesgo en la salud para la comunidad Unimetense.

Palabras clave: Material particulado, enfermedades cardiovasculares y pulmonares, calidad de aire, contaminación atmosférica, PM_{10}, muestreo.

2. Abstract

Particulate matter is a complex mixture of particles classified as fine and coarse, which are in a solid or liquid state and contribute to the pollution of air quality and human health; fine particles contain nitrates, sulfates, carbonates, organics, ammonium and lead; unlike coarse particles containing oxides of silicon, soot, iron, aluminum among others. Its origin is from different sources, both natural and anthropogenic.

The particulate matter, PM_{10}, is that less than 10 μm and brings with it affectations to human health, due to its inhalation this pollutant enters easily through the respiratory tract reaching the lungs in such a way and depositing in the alveolar walls, thus causing cardiovascular and pulmonary diseases.

Due to the consequences caused by particulate matter, it is intended that theoretical practical research will determine, according to Resolution 2254 of 2017 of the Ministry of Environment and Development, the air quality that exists in the study area of the San Fernando campus of the University Corporation of Meta – UNIMETA of Villavicencio Meta, through a monitoring station with a Hi-Vol equipment, the monitoring lasted 14 consecutive days. This monitoring station was located specifically diagonally to the Raúl y Lucia building, being this suitable point within the University complying with the requirements stipulated in the Protocol for the Monitoring and Follow-up of Air Quality.

Once the 14 days of monitoring were completed, all the samples were sent to an accredited laboratory to be analyzed, after these analyzes the laboratory sent the respective results, according to these results the calculations of particulate matter concentration less than ten microns (PM-10.), and the calculations of the Air Quality Index (ICA) were made, to determine compliance with

resolution 2254 of 2007 by which the ambient air quality standard is adopted and other provisions are issued and compliance with the guide values recommended by the World Health Organization (WHO). Taking into account these results, through the ICA the air quality is classified well in the research area, and does not exceed the permissible

Keywords: Particulate matter, cardiovascular and pulmonary diseases, air quality, air pollution, PM_{10}, sampling.

3. Introducción

La presencia de material particulado ha traído consecuencias a la salud humana, confirmado por estudios epidemiológicos [8], siendo una amplia evidencia del riesgo de los problemas respiratorios y cardiovasculares, las cuales se deben a la inhalación de material particulado. Este proceso suele afectar en gran magnitud a niños debido al estado de maduración de sus pulmones y adultos mayores, que suelen poseer enfermedades que le contribuyan al desmejoramiento de su salud.

En zonas como el centro de diferentes ciudades, donde las actividades comerciales, algunas veces industriales y la cantidad de flujo vehicular suele ser demasiado alta, es importante monitorear la calidad del aire por medio de una estación que se deberá contemplar para un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire - SVCA en las diferentes ciudades y puntos críticos que no cuentan con estos.

Por ello, si el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire –SVCA de Villavicencio contará con una estación en la zona centro de la ciudad, sería fundamental, ya que esta permitiría monitorear la calidad del aire y los diferentes tipos de contaminantes, como el PM_{10}, así permitiendo evaluar el riesgo a la salud humana y determinar los posibles riesgos para el medio ambiente. Teniendo en cuenta que las fuentes móviles son el primer factor que deberían tomarse en consideración, debido al alto flujo vehicular y a las aglomeraciones que se presentan, así mismo para dar cumplimiento a las normas nacionales de la calidad del aire en Colombia.

A partir de lo anterior, surge el tema de investigación de calidad de aire, específicamente sobre el contaminante PM_{10}, ya que el desconocimiento y la falta de investigaciones sobre este

contaminante en la zona centro de la ciudad de Villavicencio, impulsó a que se llevara a cabo esta investigación a través de un muestreo, el cual permitiera conocer la concentración de partículas de diámetro $\leq$ 10 µm (PM_{10}) dentro del campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA, la cual es concurrida en este momento solamente por la comunidad administrativa, y las demás personas que por allí transitan para desempeñar sus actividades a diario por la pandemia debido al Covid-19.

Así se pretenderá evaluar así la afectación que podría generar por el flujo vehicular de la calle 33 y la carrera 34 las cuales se encuentran a cada costado del campus y las demás actividades que se realizan en la zona, evaluando así el rango por medio del cálculo del ICA, el cual indica si la calidad del aire es buena, aceptable, dañina, muy dañina o peligrosa; para la salud de acuerdo como lo estipula Resolución 2254 de 2017 [4].

4. Planteamiento del problema

En Colombia, se han realizado estudios sobre contaminación atmosférica en las principales ciudades como Bogotá, Medellín, Cali entre otras, ya que es uno de los principales problemas ambientales, pues debido a la diversidad de cada departamento se desarrollan actividades industriales diferentes, y en la mayoría de las ciudades principales se puede evidenciar el alto flujo vehicular, que también contribuye a tener una gran cantidad de material particulado en el aire que se respira a diario. Por esto, la Resolución 2254 de 2017 del Min Ambiente, obliga a que los municipios con más de 50.000 habitantes a contar con un sistema de vigilancia y monitoreo de calidad del aire [4]

Por otro lado, en el artículo de la revista de la Universidad EAFIT "Una oportunidad para mejorar la calidad del aire en Colombia", Guerrero Rodríguez junto a otros profesionales relata la contingencia en Medellín, lo cual conllevo a que la mayoría de las universidades de la ciudad comenzaran a debatir y a desarrollar acciones para contrarrestar la contaminación en Medellín y en Bogotá. A partir de esto, se implementó un Plan decenal para la descontaminación del aire, desarrollado por la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), las universidades de Cundinamarca, La Nacional, La Salle y Los Andes. De acuerdo con lo anterior, Cadena Gaitán coordinador académico del Centro de Estudios Urbanos Ambientales (Urban), expresa que la academia es quien tiene la responsabilidad sobre la actual generación de juventud del siglo XXI de hacerlas interesar más por el tema de contaminación para que esto posibilite avanzar hacia soluciones efectivas [9].

La línea del aire debe ser un factor importante de investigación, ya que actualmente el desmejoramiento de esta ha venido trayendo consecuencias a la salud. Uno de los contaminantes que ocasiona daños en la salud como las enfermedades respiratorias, son las partículas de diámetro $\leq$ 10 µm (PM_{10}) siendo estas inhalables, es decir, que por su tamaño pueden mantenerse suspendidas y ser transportadas a distancias muy grandes. De tal forma que pueden entrar con gran facilidad a los pulmones, provocando afectación en mayor proporción a niños y adultos mayores. Algunos estudios demuestran que la mortalidad a causa de enfermedades respiratoria y cardiovascular han aumentado a medida que las partículas de PM_{10} van incrementándose en el aire que se respira a diario [10]. No obstante, se resalta que el material particulado no es un factor causante de enfermedades o muertes de manera directa, por lo tanto, se vincula a la combinación de este con otros componentes que provocan el aumento de las enfermedades respiratorias [11].

La quema de biomasa no es la única que causa contaminación al aire, sino que también la ocasiona uno de los subproductos generados por la quema de combustibles fósiles, como lo son aquellas partículas transportadas por chimeneas de restaurantes, industrias y en especial de vehículos que funciona a Diesel que son en resultado material particulado. Este proceso depende de variables como la composición del combustible, el tipo de máquina, tipo de catalizador y las condiciones de reacción [12]. Sin importar el origen natural o antrópico del PM_{10} y más allá de las enfermedades y los problemas que pueda traer al medio ambiente, es importante identificar cuáles son las áreas más afectadas y el por qué están expuestas a los altos niveles de concentración. Incluso, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que la concentración en las zonas urbanas es mayor que en las zonas rurales, pero dependiendo de la actividad diaria que se realiza en cada una

de las zonas, por consiguiente, la concentración de estas partículas conlleva a efectos sanitarios [13].

De acuerdo a lo anterior, Rodríguez C, et al afirman que en Villavicencio se encontró un registro del seguimiento de la calidad del aire desde el año 2017 al 2020, en donde los meses de febrero hasta abril se obtuvieron resultados de concentraciones más altas de PM_{10}, es decir, superando los niveles máximos recomendados por la OMS [14]. De forma similar, otro estudio llevado a cabo en Villavicencio por la empresa K2[15], arroja una mayor incidencia de estas partículas en las vías más transitadas de la ciudad, lo cual podría indicar que el aporte estaría siendo generado en las vías altamente transitadas [16].

En Villavicencio se cuenta con 3 estaciones de calidad del aire, todas operadas por CORMACARENA. Una se encuentra instalada en el Parque de la Vida COFREM, la segunda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la Esmeralda y la tercera por la vía a Acacias, en la estación de servicio Montealegre.

Por lo tanto, en Villavicencio se cuenta con una gran cantidad de flujo vehicular en algunas áreas específicas: como la Avenida 40, la vía a Acacias, especialmente en la zona centro. En esta última es, donde se encuentra ubicada la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, en inmediaciones de la calle 33 y la carrera 34, vías altamente transitadas con alto flujo vehicular en la que circulan vehículos privados y de servicio público dado que es un corredor que comunica al centro de la ciudad [17]. Por consiguiente, se considera parte del problema el desconocimiento de la cantidad de material particulado en el aire en inmediaciones de la zona centro, debido a que no

se evidencia la realización de estudios al respecto y que la zona no cuenta con un punto especifico que contribuya al Sistema de Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Aire de Villavicencio.

Teniendo en cuenta el alto flujo vehicular que transita alrededor de la Corporación Universitaria del Meta, campus San Fernando y por medio de un aforo vehicular se podrá determinar si el flujo vehicular de la zona representa un problema o no para la salud de la comunidad académica y a la comunidad villavicense que se desplazan por las vías internas de la Corporación Universitaria del Meta. Cabe aclarar que el material particulado también puede ser proveniente de otras actividades como construcciones, las cuales se están desarrollando justo al frente del Edificio Héroes del Pantano de Vargas, en el Coliseo Álvaro Mesa Amaya diagonal a la Corporación Universitaria del Meta, la obra del edificio Carlina, perteneciente a la Corporación Universitaria del Meta y por último la demolición de una casa aledaña a las instalaciones de la Corporación Universitaria del Meta, entre otras actividades. Con relación a lo anterior, es importante conocer el grado de contaminación atmosférica, a partir de un muestreo con el equipo Hi-Vol, para determinar si el grado de concentración de material particulado $\leq$ 10 μm es representativo o no y así mismo conocer si está afectando o no la salud pública por medio del ICA.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el nivel de concentración de PM_{10} a la cual está expuesta la población en la sede San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta?

5. Justificación

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y su informe "Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental" las enfermedades agudas y crónicas, como el cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares, son producidas por partículas finas de material particulado, teniendo un estimado de que el 8% de las muertes son producidas por cáncer de pulmón, el 5% por muertes cardiopulmonares y el 3% por muertes de infecciones respiratorias a nivel mundial [18].

Por lo tanto, las fuentes móviles son una de las principales emisoras de material particulado a la atmósfera debido a su composición y su pequeño tamaño siendo de esta manera fáciles de inhalar y provocando consigo grandes afectaciones en la salud humana de adultos mayores y personas con antecedentes de enfermedades respiratorias[19]. Es importante tener en cuenta la concentración del contaminante PM_{10} que pueden ser emitidas, ya que en el índice de calidad de aire (ICA) existe un rango donde se define que tan perjudicial puede ser para la salud y el medio ambiente.

Al no contar con estudios previos en la zona centro de la ciudad ni en la Corporación Universitaria del Meta, se inicia una investigación exploratoria, en donde se evidenciara por primera vez el rango en el que se encuentra la calidad de aire en inmediaciones de campus de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, en el barrio San Fernando, con el fin de conocer el grado de afectación que tendría la salud de las personas que conforman la comunidad administrativa de este lugar y las personas externas que por allí transitan, de acuerdo con la Resolución 2254 de 2017, donde se encuentran establecidos los rangos del ICA y las afectaciones a la misma, teniendo en cuenta las actividades que producen el material particulado a diario, como lo es el alto flujo

vehicular, las construcciones y/o demoliciones en lugares aledaños a la estación de monitoreo de calidad del aire instalada en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

En relación con lo mencionado, la población del Campus San Fernando se incrementa en las horas de la mañana, medio día y noche, horas en las que se presentan los picos de tráfico vehicular, y donde la población se encuentra expuesta a dichas emisiones y a posibles efectos acumulativos, ya que las instalaciones se ubican entre 100 m y 150 m de distancia de las vías Calle 33 y Carrera 32 respectivamente. La investigación es importante ya que permite evaluar si la contaminación generada por el tráfico vehicular podría afectar a la población del Campus san Fernando.

No obstante, la investigación se realiza en épocas de pandemia, donde ya se tenía habilitado el movimiento vehicular y peatonal, donde posiblemente las personas afectadas serían las pertenecientes a la comunidad del área administrativa de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA y las personas externas que desarrollan sus actividades en el sector.

Por lo tanto, dentro de este contexto la comunidad afectada no sería la totalidad de las personas que conforman la institución, puesto que hace falta la comunidad estudiantil, la cual en el año 2021 no estaba asistiendo a sus actividades presenciales a causa de la pandemia por COVID 19.

Los aportes teóricos radicaran en conocer la dirección de incidencia del material particulado según la dirección del tiempo en diferentes épocas del año y el modelo de cálculo del contaminante. Los aportes prácticos radican en la selección de criterios para la ubicación y calibración del equipo de muestreo.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General:

- Evaluar la contaminación atmosférica por material particulado ≤ 10 µm (PM_{10}), según la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo en el Campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta – Unimeta.

6.2 Objetivos específicos:

- Estimar la concentración del material particulado con diámetro ≤ 10 µm (PM_{10}) que existe en el área del campus San Fernando y en las instalaciones de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, mediante un equipo Hi-Vol.

- Aplicar el método de aforo vehicular manual para conocer la cantidad de vehículos que transitan en la intersección de la calle 33 y carrera 32 que queda alrededor del área del campus San Fernando y de las instalaciones de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA.

- Comparar los límites permisibles y el posible riesgo a la salud humana a través de los resultados obtenidos del muestreo y el aforo vehicular, con la resolución 2254 de 2017 del MADS y el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA), debido al material particulado con diámetro ≤ 10 µm (PM_{10}) en el área de estudio.

7. Antecedentes

Mundialmente diferentes países sufren de un problema en común por la contaminación atmosférica. Esta contaminación consiste en la presencia de variedades de sustancias que quedan con un alto grado de concentración en la atmósfera; hasta provocar daños irremediables a los seres vivos, a la salud del hombre y su calidad de vida [20]. Incluso, el material particulado es uno de los contaminantes que trae consigo esos daños anteriormente mencionados, el cual ha cobrado gran interés para los inventarios de emisiones de calidad de aire que se realizan en el mundo, debido al alto riesgo que este ocasiona en la salud de las personas [21].

Las fuentes móviles también son una de las principales emisoras de contaminación al aire, a través de automóviles, buses, motocicletas, entre otros; debido a los gases y residuos que se generan por el proceso de combustión en los motores de cada vehículo. Es por esta razón que el transporte es un tema de suma importancia en investigaciones de calidad de aire, para poder conocer la concentración de contaminantes, que están emitiendo estos vehículos y así buscar soluciones para disminuir esta problemática que afecta tanto a la salud como al ambiente [22].

Es más, el material particulado proveniente de los vehículos contiene hollín y partículas de nucleación, estas se producen debido a la descomposición térmica del combustible y también al enfriamiento de los gases de escape [23].

A causa del aumento de la contaminación atmosférica, múltiples estudios científicos como, el estudio EMECAM sobre los efectos de la contaminación atmosférica[24] y el análisis científico del material particulado y sus impactos[25], entre otro estudios, vincularon que la exposición al material particulado debido a su composición y tamaño, tiene acceso más rápido a las vías

respiratorias, provocando posiblemente la aparición e incremento de enfermedades tanto leves, como graves [21].

Por otra parte, otros contaminantes que afectan la calidad del aire son las partículas gruesas y finas, las cuales son originadas por diferentes fuentes. Adicionalmente, tienen un comportamiento diferente en la atmósfera, pero no significa que dejen de ser perjudiciales para la salud y el ambiente [20].

En cuanto al transcurso de los años, la calidad del aire se ha deteriorado cada vez más por las diferentes actividades del hombre y por la poca implementación de tecnologías limpias en las actividades productivas. En consecuencia, no se han podido aplicar estas tecnologías en algunos países; debido a altos costos, económicos y tecnológicos, de esta manera es difícil tener una mejora en la calidad del aire [26].

No obstante, Colombia es un país en donde se han observado concentraciones altas de material particulado con $\leq$ 10 µm (PM_{10}.) en la atmósfera, principalmente en las ciudades de Bogotá y Medellín, aunque también existen otras ciudades donde hay tendencia atenuada hacia concentraciones altas de PM_{10}. Estos contaminantes son producto de diferentes actividades como el transporte público, cementeras, quemas orgánicas, entre otras; provocando grandes afectaciones en la salud, como enfermedades pulmonares, cardiovasculares y cáncer; por su cotidiana exposición a estos contaminantes [27].

Con base en la ciudad de Villavicencio Meta, se ha evidenciado a través de algunas investigaciones el déficit que también ha tenido en la calidad del aire, especialmente en el sur oriente de la ciudad, por la mayor presencia de fuentes contaminantes de PM_{10}, por el desarrollo e incremento de la industria. Además, en esta parte de la ciudad se encuentran ubicadas empresas y actividades de

fuentes emisoras como el molino de Arroz Roa, el centro maderero Vergel, la funeraria Inversiones La Paz, y el elevado número de diferentes automóviles que ocasionan un alto tráfico diario y constante, en la vía Villavicencio – Acacias debido a la construcción de la doble calzada [28].

Por ello se han hecho algunas investigaciones en Villavicencio para percibir cómo se encuentra la calidad del aire. Estas investigaciones han sido realizadas por Carrero Mateus y Rodríguez Guevara, quienes investigaron sobre la evaluación de la eficiencia de los líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en el kilómetro 3 al 4 de la vía Villavicencio – Acacias. A través de esta investigación determinaron que, los líquenes han sido de gran importancia para llevar a cabo estudios sobre la calidad del aire en Villavicencio, pues estos permiten conocer cuales zonas están siendo más afectadas por los contaminantes [29].

Por otra parte, Trujillo Gonzales investigó sobre la evaluación ambiental del municipio de Villavicencio, mediante el análisis del contenido y variabilidad espacial de metales pesados en polvo vial urbano y de los suelos irrigados con aguas residuales, con el fin de determinar su concentración. En el estudio se escogieron 3 zonas de la ciudad, con diferentes actividades: zona residencial, zona comercial y zona de carretera. De acuerdo a los resultados se conoció que la zona más contaminada es la comercial [30].

Por el contario Peña Becerra y Afanador Gutiérrez realizaron el estudio de calidad del aire en el sur occidente de Villavicencio: influencia del material particulado generado por el molino de Arroz Roa Flor Huila. En este estudio se determinó la concentración del PM_{10}, de acuerdo con los resultados obtenidos y analizados a partir de la normatividad vigente, del art 2 de la resolución 2254 y también teniendo en cuenta el índice de calidad del aire (ICA). En base a este análisis se

conoció que la clasificación está en un estado bueno, esto quiere decir que esta zona de industria no estaría generando ningún impacto negativo en cuanto calidad de aire [31].

En cambio, Gonzales Pérez desarrolló su investigación en la valoración económica y social de los efectos generados por la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes en el área urbana de Villavicencio. A través de esta investigación y por el método de encuestas a los habitantes de cinco sectores de esta ciudad, pudo conocer las respuestas de estas personas, donde la mayoría afirman que la principal fuente de deterioro de la calidad del aire, es a causa de las fuentes móviles [32].

Incluso Gonzales también pudo determinar el costo que tienen que pagar los Villavicenses para, disminuir la contaminación atmosférica como alternativa de descontaminación. Este costo fue de $16.800 correspondiente al valor per cápita dispuesto a pagar los habitantes de la ciudad de Villavicencio con el fin de tener buena calidad de aire [32].

8. Marco de referencia

8.1 Marco geográfico

La zona de estudio de esta investigación está situada en Villavicencio, la capital del departamento del Meta. La ciudad se encuentra ubicada en el piedemonte de la cordillera oriental, es de gran importancia ya que es la primera fuente de abastecimiento de la región con mayor núcleo económico, cultural, poblacional y administrativo de los llanos orientales debido a su agricultura, ganadería, explotación de petróleo y gas. Según el DANE en esta ciudad hay 452.472 personas [33].

Si bien, Villavicencio se conoce popularmente como la puerta al llano y se encuentra a una distancia de 86 kilómetros vía terrestre de la capital de Colombia que es Bogotá; la carretera que conecta a Villavicencio - Bogotá es de suma importancia, debido a que por esta se transporta gran parte de los productos que se comercializan en la Orinoquia y también da paso para que muchas personas puedan dirigirse al centro del país y diferentes destinos [34].

Así mismo, esta ciudad conecta y limita con los siguientes municipios: al norte con Restrepo y el Calvario; al Oriente con el municipio de Puerto López; al Sur con los municipios de Acacias y San Carlos de Guaroa y al Occidente con el departamento de Cundinamarca [34].

Por otra parte, esta ciudad se encuentra a 467 m.s.n.m, presenta una temperatura media de 27°C, con periodos de lluvia en el mes de abril hasta noviembre y periodos secos de diciembre hasta marzo. Su humedad relativa es de 80% y los vientos más fuertes son del 22% con dirección de sur a norte, según datos del IDEAM [35].

Por consiguiente, la zona de estudio se define más específicamente en La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, la cual está ubicada en la carrera 32 No 35 – 19, del centro de la ciudad, zona institucional, comercial y urbana. Esta institución queda cerca al parque de los estudiantes y al parque banderas, delimitada por la carrera 32 y la calle 33 de la ciudad de Villavicencio Meta y se extiende aproximadamente en las siguientes coordenadas 4°0,8’53” N, 73°38’11” W.

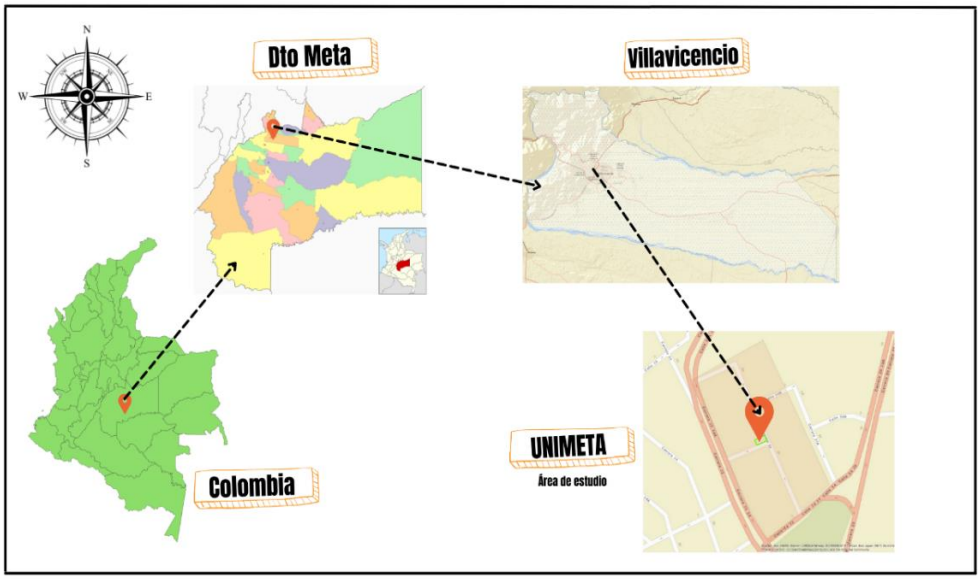
Además, esta Universidad está conformada por un campus donde hay un edificio de Rectoría; un consultorio jurídico llamado Guillermo Fernández Luna; una importante Biblioteca llamada Juan Nepomuceno Mojica Angarita donde su infraestructura es cómoda y elegante teniendo una

capacidad para 120 estudiantes; así mismo está el edificio de Pantano de Vargas, el edificio de Bienestar Universitario lugar de recreación y descanso para todos los estudiantes de este lugar, existe también el Paraninfo Fernando Soto Aparicio; el edificio de Marachuare donde se encuentra el instituto de informática, el auditorio de Carlos Javier Sabogal Mojica y el laboratorio de redes y mantenimiento de computadoras. A su vez está el edificio Narciso Matus, el edificio Hermana Alfredo De San Marcos, edificio Carlina Orjuela y las sedes de Hernán Villamarin Gutiérrez, Mayuya, Narciso Matus las cuales están conformadas por aulas de clase[36].

Sin embargo, uno de los edificios más importantes de este campus es el Raúl y Lucia, el cual está conformado por 6 pisos, del 1 al 5 son aulas de clases y en el último piso se encuentran 2 modernos y amplios auditorios donde se realizan diferentes eventos, entre esos las ceremonias de grado de los estudiantes Unimetenses.

Aunque existen otras sedes que no están dentro del campus, pero hacen parte importante de la Universidad y es la sede campestre San Rafael lugar de recreación para los estudiantes, la sede del centro de convenciones Buena Vista y la sede del parque metropolitano María Lucia lugar donde se realizan diferentes investigaciones, prácticas y estudios.

Figura 1 *Ubicación del lugar de estudio en la ciudad de Villavicencio*

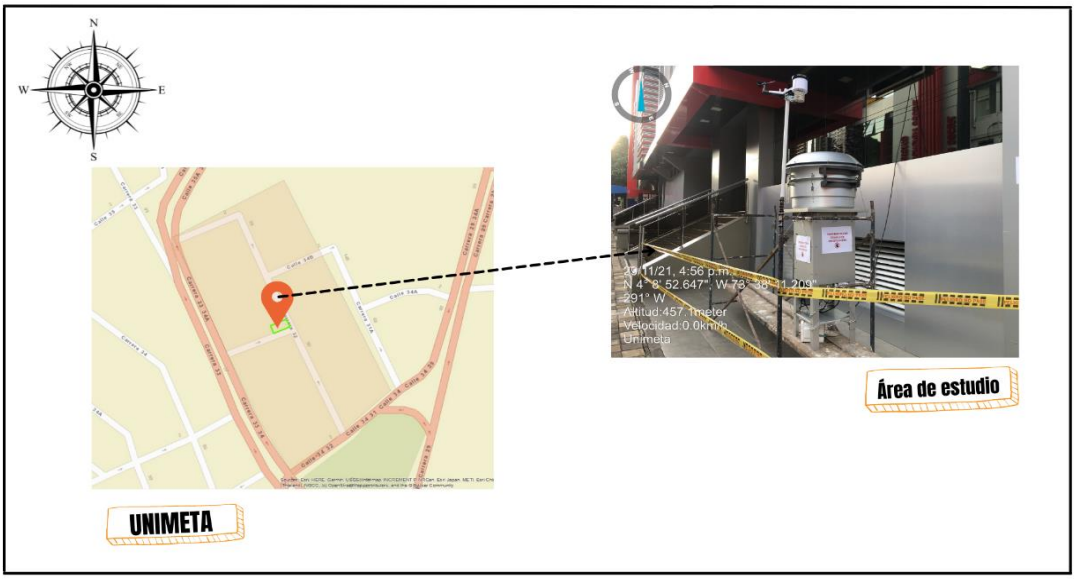


Fuente: *Elaboración en base a Google Maps.*

Figura 2 *Parte zona centro de Villavicencio calle 33 y carrera 32*

Fuente: *Elaboración en base a Google Earth.*

Figura 3 *Ubicación exacta del punto de muestreo dentro de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA*



Fuente: *Elaboración en base a Google Maps.*

8.2 Marco histórico

La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA fue fundada el 5 de agosto del año 1985 por Rafael Mojica García, Nancy Leonor Espinel Riveros y Ramiro Mojica García, en el barrio el triunfo.

Dado que el rector inicial fue el Dr. Rafael Mojica García, quien nació en Soata (Boyacá-Colombia) el 1° de mayo de 1944, fue economista, especialista en organización y métodos en el CIESS, especialista en administración de servicios médicos, hizo diplomado en seguridad social, técnico en ahorro y crédito social, adicionalmente doctorante en ciencias pedagógicas y en ciencias de la educación. También ocupo importantes cargos siendo profesor universitario desde el año 1975 y rector nacional de la universidad cooperativa Indesco y de la Corporación Universitaria del

Meta – UNIMETA, así mismo fue autor de numerosos artículos en los diarios, el espectador y el tiempo; publico 9 libros y fue muy reconocido por tener más de 30 condecoraciones [37].

Sin embargo, para el año 2015 falleció el Dr. Rafael Mojica García, de modo que su sucesora es la Dra. Leonor Cristina Mojica Sánchez, quien se posesionó el 14 de enero del año 2016 como rectora y representante legal de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

Mojica Sánchez es abogada de esta misma institución, tiene estudios superiores en especializaciones en derecho administrativo y contratación estatal y doctorado en educación, adicionalmente ha tenido diecisiete publicaciones y ha participado como ponente en diferentes instituciones de investigaciones [37]**.**

De acuerdo a lo anterior la Dra. Leonor ha tenido un reto desde que ocupó el cargo de rectora de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA y es lo que contempla la divisa de 2016, UNIMETA "Una nueva generación" donde busca formar profesionales competentes en sus diferentes áreas, a partir de programas formulados sobre las realidades del sector social, ambiental y económico donde los profesionales formados trabajen fuertemente por el desarrollo productivo y la investigación de toda la región [38]**.**

Por ello la Unimeta es una Institución de Educación Superior, en la que se forman personas integralmente competentes fundamentadas en criterios socio humanísticos comprometidos con el desarrollo sostenible de toda la región de la Orinoquia, por esta razón en sus 36 años de fundación se ha convertido a través del tiempo, en una de las entidades de Educación Suprior más importantes de la región, teniendo una amplia oferta formativa con 14 programas de pregrado y 14 de postgrados, en la actualidad esta institución cuenta con más de 8.000 egresados que se identifican

como Unimetenses. Por otra parte, la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, para el año 2025 se visiona como una institución reconocida por la calidad de todos sus programas y su aporte pédagico a la educación superior [38]**.**

Incluso actualmente la universidad se ha venido remodelando en toda la parte de infraestructura, de tal manera que el campus vaya quedando más amplio y pueda brindar más espacios íntegros y cómodos para toda la comunidad Unimetense. A pesar de que La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, no cuenta con un campus cerrado, su campus es totalmente abierto donde puede pasar cualquier tipo de persona y su alrededor está rodeado de avenidas principales con un alto flujo vehicular, en el que transitan diferentes modelos de carros y motocicletas.

Por lo tanto, esta investigación se llevará a cabo en la zona centro de Villavicencio, donde se encuentra ubicada la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA y donde se desarrollará gran parte comercial de la ciudad.

Contemplando lo anterior, el equipo muestreador de PM_{10} se localizará justo al lado del edificio Raúl y Lucia de la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA, en las coordenadas 4º 8’ 53” N y 73º 38’ 10” W, el cual cumple con las condiciones aptas y constantes en términos de electricidad y vigilancia, aspectos primordiales para el funcionamiento del equipo.

8.3 Marco conceptual

La contaminación atmosférica es la suspensión de partículas que se encuentran contaminando el aire. De acuerdo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las principales fuentes de contaminación atmosférica son producto de los procesos y desarrollo industrial de actividades de explotación de áridos, pétreos y deforestación[39]. Además, al estar

expuestas las partículas, ocasionan daños perjudiciales a la salud como: cáncer pulmonar, muertes prematuras y deficiencia en el sistema respiratorio[40]. También producen daños al medio ambiente como: afectación a la capa de ozono, aumento de la temperatura, efecto invernadero y la lluvia acida, entre otras[41].

Las partículas suspendidas tienen una composición de material líquido, sólido con una combinación de diferentes contaminantes así mismo, se caracterizan por su número, tamaño, composición química, concentración y forma. Todas tienen un diámetro diferente, las partículas suspendidas totales (PST) tienen un diámetro de 1000 micras; las respirables e inhalables (PM_{10}) su diámetro es menor o igual a 10 micras, las suspendidas finas (PM2.5) el diámetro es de 2.5 micras y las partículas ultrafinas (PM1) su diámetro es igual o inferior a 1 micra [40].

De acuerdo a las características anteriormente mencionadas, el Sistema de Información del Medio Ambiente; Argarete [42], señala que el promedio anual de las concentraciones de las partículas suspendidas, se pueden expresar como la masa total de partículas para un volumen determinado de aire, dada por la sumatoria de las concentraciones diarias registradas, luego divididas por el número de concentraciones diarias registradas en todo el año.

Por otro lado existe el material particulado, de acuerdo a Arciniegas[43], se define como uno de los contaminantes atmosféricos más preocupantes para la salud por su mezcla de partículas sólidas y/o liquidas, que están presentes en suspensión en la atmósfera siendo este también uno de los contaminantes más estudiados en el mundo. Al mismo tiempo La organización Mundial de la Salud (OMS) especificó que, una de cada ocho muertes en todo el mundo está relacionada con la mala calidad de aire debido a la contaminación atmosférica[44].

Además, Aguirre[45], ratifica expresando que el material particulado puede incrementar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y desarrollar efectos de otras enfermedades como las cardiovasculares y la pérdida de visión; ocasionando deterioro cada vez más en la salud de adultos mayores y de personas que padecen algún problema respiratorio.

Con base en lo anterior, es muy importante considerar la concentración de este contaminante, si se encuentra en 250 $\mu g/m^3$ habrá un aumento de enfermedades en ancianos y niños y su impacto de alguna manera será moderado. Si la concentración se encuentra en 400 $\mu g/m^3$ toda la población se verá afectada y su impacto va hacer de manera grave y si ya se observa una concentración de 500 $\mu g/m^3$ va haber un aumento de mortalidad en adultos mayores y personas enfermas y se generará una afectación mayor[45].

Cabe señalar, que el material particulado suele clasificarse de acuerdo al tamaño de las partículas, por lo que en esa clasificación se encuentra el PM_{10}, el cual posee un diámetro aerodinámico $\leq$ 10 μm micrómetros nominales[46]. Incluso el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)[18], asegura que el PM_{10} es uno de los contaminantes que no sedimentan en tiempos cortos, sino que estos permanecen suspendidos en el aire por su tamaño y la densidad.

No obstante, una de las fuentes que emite el material particulado, son las móviles, siendo estas las principales emisoras de contaminantes a la atmósfera como el PM_{10}. Estas se producen por la combustión de carburantes fósiles en los vehículos automotores, siendo estos los principales emisores de óxidos de nitrógeno (NO_X), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quedamos, dióxidos de azufre (SO_2) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) [47].

De acuerdo al IDEAM[35]**,** para poder conocer la estimación de las emisiones por fuentes móviles en ruta, se hace una caracterización de vehículos y a partir de ahí poder conocer las emisiones correspondientes [48].

Aun así, es importante saber que las fuentes móviles son las principales generadoras de material contaminante en la atmósfera, independientemente si son fuentes móviles en ruta como los automóviles, buses, motocicletas, vehículos pesados; o fuentes móviles fuera de ruta como las maquinarias agrícolas, constructoras y aeronaves [49] En base a Martínez [50]**,** se puede deducir que la mayor contaminación al aire se da por fuentes móviles, debido al gran número de automóviles que existen y que circulan diariamente emitiendo plomo y ciertos elementos de traza de algunos contaminantes peligrosos.

Por lo tanto, con el transcurso del tiempo, se ha podido evidenciar el deterioro de la calidad del aire, de manera que es necesario hacer monitoreos acertados y constantes para poder conocer cuáles son los contaminantes que están causando mayor afectación; como el PM_{10}, TSP y $PM_{2.5}$, los cuales son perjudiciales para la salud de las personas.

A causa de esta problemática es necesario realizar muestreos a través de equipos de PM_{10} siguiendo lo establecido en la US-EPA[51], donde indica el método de referencia adecuado para la determinación de material particulado en la atmosfera y en el cual se proporciona la medición de la masa de la concentración, de este mismo contaminante en el aire ambiente en un tiempo de 24 horas; de tal manera dándole un cumplimento a las normas nacionales de calidad de aire en Colombia [52].

En relación con lo anterior, para realizar muestreos de calidad del aire, específicamente al contaminante PM_{10}, se utiliza el equipo Hi-Vol. Este es un equipo de alto volumen que fue diseñado para muestrear y hacer la recolección de partículas en el aire con un diámetro aerodinámico ≤ 10 µm. Este equipo está conformado por una entrada selectiva de tamaño para poder separar la materia en partículas que son $>$ a $10\mu m,$ de esta manera garantizando que solo las fracciones de PM_{10} son las que se depositaran sobre el filtro[53]. Hay que mencionar que cuenta también con un dispositivo de control de flujo, donde su función esta sobre el circuito eléctrico que va conectado al motor, en el que regula su velocidad y su capacidad de succión.

Por consiguiente, la calibración del equipo Hi-Vol, se basa en la posición del dispositivo de control de flujo anteriormente mencionado, el cual permite una succión de aire en el rango que es deseado; de 1,1 a 1,7 m^3/min. Es decir que la calibración del equipo consiste básicamente en una verificación de flujo [54].

8.4 Marco teórico

8.4.1 Contaminación del aire

En el trascurso del tiempo la contaminación en el aire se ha ido convirtiendo en un tema preocupante para la salud de las personas. Según un informe de contaminación elaborado por la Universidad de los Andes, afirman que dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, se reconocieron 5 contaminantes criterio que afectan a la salud desde el momento que son inhalados. Los contaminantes son: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), ozono troposférico (O3) y el material particulado con diámetro aerodinámico ≤ 10 µm (PM_{10}) [47].

De acuerdo, a los 5 contaminantes criterio que están afectando a la salud se seleccionó el ultimo contaminante, el PM_{10} para analizar su comportamiento y su posible grado de afectación a la salud de las personas que transitan el campus San Fernando y las instalaciones de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

Por otro lado, una de las industrias que más presentan impactos ambientales atmosféricos a nivel local, es la industria arrocera, debido a la cantidad de molinos que se emplean para las distintas fases del proceso. Una de las actividades que presenta grandes alteraciones al medio ambiente es durante el proceso de pilado del arroz, donde son emitidos a la atmósfera material particulado (polvillo) y gases contaminantes, los cuales causan efectos negativos en la población circundante o aledaña al molino.

Es por esto que en Villavicencio se realizó una investigación en el molino de arroz Roa Flor Huila determinando la calidad del aire en las inmediaciones de la comuna 8 al sur occidente de Villavicencio, donde recopilaron diferentes tipos de información basados en datos de la estación de Catumare y estudios antiguos supervisados por CORMACARENA y también datos del monitoreo en el molino Roa Flor Huila en un tiempo de 18 días.

De acuerdo a los impactos negativos al medio ambiente durante el proceso de pilado del arroz y al posterior análisis de los resultados del monitoreo de 18 días se evidencio en esta investigación que los valores no se pasaron de los límites permisibles de la resolución 2254 del 2017. Cabe aclarar que una de las industrias con más impacto ambiental es la arrocera, debido a la cantidad de molinos que existen y los procesos que manejan, emitiendo de tal manera material particulado al aire y provocando enfermedades como pulmonares, neumonía, articulares y cardiovasculares [31].

8.4.2 Condiciones a contemplar en el monitoreo

Dentro de las condiciones que se contemplan no debe haber estructuras mayores de 1m de alto en un radio de 20m de ancho del soporte, el equipo debe estar retirado de fuentes locales de contaminación y de objetos, por ejemplo: árboles, escapes de aire y canales de ventilación que puedan afectar la sedimentación de la materia; la elevación hasta objetos más altos de 20m no deben exceder 30 grados de la horizontal. El sitio para el muestreo deberá estar a más de 10 veces de longitud de un conducto en funcionamiento y contra el viento con la dirección más frecuente de este [55].

La distinción del árbol más cercano debe ser > 20 m de la circunferencia que marca el follaje o las raíces y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como obstáculo; la distancia del muestreador a obstáculos como edificios, debe ser mínimo, el doble de la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m; el equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, 270º alrededor de la toma de muestra y/o un ángulo de 120º libre por encima del equipo; tampoco podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos y si los hay se recomienda 20 m de distancias del sitio de muestreo [55].

También es de gran importancia para el muestreo, cuestiones tales como la seguridad, accesibilidad y la prevención contra el vandalismo, se deben registrar eventos tales como incendios, trabajos de construcción y demolición y desvíos del tráfico. Los registros de lluvias también pueden ser de utilidad en la interpretación de los resultados de este trabajo y se debe registrar la presencia de actividad inusual en el área vecina que arroje al aire una cantidad considerable de material particulado [55].

8.4.3 Instalación del equipo Hi-Vol.

De acuerdo a las condiciones a contemplar se instala el equipo Hi-Vol en el punto seleccionado, verificando que sea el lugar apropiado, esta instalación se debe hacer en una sección de andamios de tal manera que quede el equipo estable y asegurado, para no correr el riesgo de que se caiga o pueda ser robado. Debe tener una distancia mínima de 2 m medidos desde la superficie del suelo hasta la entrada de la muestra al equipo [54].

8.4.5 Calibración del equipo Hi-Vol.

Después de la instalación del equipo, se procede hacer la calibración que es fundamental para dar inicio al muestreo, el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire indicia, que la calibración del equipo se debe hacer cuando este instalado y se cambie de sitio de muestreo. La calibración del equipo se basó en la posición del dispositivo de control de flujo el cual permitió una aspiración de aire en un rango de 1.02 a 1.21 m^3/min a condiciones estándar. Esta calibración se desarrolló con la ayuda de un sistema de resistencia de flujo variable, llamado también kit de calibración, el cual consiste en un tubo metálico con un par de discos de orificios críticos que permiten obtener varias aberturas al girar uno de los discos (protocolo 2008) [54]**.**

De acuerdo a lo anterior se registra en un formato de calibración en Excel el lugar de la calibración, la fecha, el responsable, la identificación del equipo, la temperatura ambiente en grados °K, °F y °C, seguido por la presión barométrica (mm Hg) y la elevación (msnm) [54].

Posteriormente se instala el kit de calibración y se verifica que no se estén presentando fugas se registra en diferentes posiciones de apertura, la caída de presión en los manómetros de agua, donde uno de los manómetros registra la caída de presión en el calibrador y el otro manómetro lo que hace es registrar la presión de estancamiento. Después se verifica los datos y se realizan los

cálculos del caudal actual y se compara con los datos de flujo de la tabla de calibración del equipo Look Up Table, utilizando la relación de presión de estancamiento [54].

8.4.6 Cálculos de calibración

Los cálculos para la calibración se realizan de la siguiente manera, se calcula la rata de flujo a condiciones reales a través del calibrador para cada punto utilizando la siguiente ecuación [54].

Ecuación 1 *Caudal actual o real (m^3/min)*

$$Q_a = \frac{1}{m * \sqrt{\Delta H(\frac{Ta}{Pa}))} - b}$$

Donde

$\Delta \mathrm{H} = \text{Presión en el calibrador (pulg de H2O)(Orificio H2O)}$

M= Pendiente

B= Intercepto

Ta= Temperatura (°K)

Pa= Presión atmosférica ambiente (mm Hg)

Este caudal debe estar en el rango de 1,02 a 1,24 m^3/min al menos en tres puntos. Luego se convierte la presión de estancamiento de in de agua a mm Hg.

Ecuación 2 *Presión de estancamiento (mm Hg)*

$$pf = 25{,}4 * \frac{(\Delta H\ Pulg\ H2O\ inicial + \ \Delta h\ Pulg\ H2O\ final)}{(2 * 13{,}61)}$$

Donde:

$\Delta \mathrm{H\ Pulg\ H2O} = \text{Presión por el manómetro}$

$$\text{pf} = \text{Presión de estancamiento (mm Hg)}$$

Después se calcula y se registra la relación entre la presión de radio (Po) y la presión atmosférica del sitio (Pa) a partir de la siguiente ecuación[55].

Ecuación 3 *Relación de presiones según la temperatura ambiente*

$$\frac{P_o}{P_a} = \frac{1 - Pf}{Pbarom}$$

Donde:

Pf = Presión de estancamiento (mm Hg)

Pa= Presión atmosférica (mm Hg)

Po= Presión de radio (mm Hg)

Po/Pa= Relación de presiones según la temperatura ambiente

Ya finalizando la ecuación se calcula la diferencia porcentual entre los caudales Qr y Qa. Este porcentaje de diferencia deber dar valores inferiores a ± 4% para que la calibración de fábrica sea válida. En caso de que suceda lo contrario se debe revisar el equipo, las conexiones y repetir la calibración. Este procedimiento compara la rata de flujo normal de operación del muestreador con la rata de flujo de diseño $1{,}13 m^3/min$ [55].

Ecuación 4 *Diferencia porcentual (%)*

$$\%\, dif = \left(\frac{Qr - Qa}{Qa}\right) * 100$$

Donde:

Qa = Caudal actual o real (m^3/min)

Qr = Caudal de aire (m^3/min)

Se determina el valor del caudal real del equipo $(Q_a(muestreador))$ que corresponde al valor de P_1/P_a utilizando la tabla de calibración del equipo.

Calcular la diferencia porcentual entre el caudal real del equipo $(Q_a(muestreador))$ y el valor del caudal de diseño $1{,}13m^3/min$ [55].

Ecuación 5 *Diferencia entre el caudal real y el caudal de diseño*

$$\%\ dif = [(Q_a(muestreador)) = -1{,}13)/1{,}13] * 100$$

Este porcentaje de diferencia debe dar valores inferiores al 10% y preferiblemente inferior a 7% con el fin de permitir variaciones en la temperatura ambiente. Si se presenta el caso de no contar con la tabla de calibración del equipo (Look Up Table), se procederá a construir la curva de calibración del equipo en primero lugar se calcula para cada punto la relación [55].

$$Q_a/(T_a)^{1/2}$$

Construir la curva de calibración del equipo graficando la pendiente (m) la cual es la sumatoria de X siendo esta = $Qa/(Ta)^{1/2}$ en el eje x, seguido con el eje de intersección (b) y la sumatoria de las columnas de caudal de aire (Qr) y X. Finalizando con el coeficiente de correlación de la curva. r≥ $0{,}990$ por medio de la sumatoria de Qr y Po/Pa [55].

8.4.7 Procedimiento para dar inicio al muestreo

Una vez se haya realizado la correcta calibración del equipo y con el fin de captar la mayor cantidad de material particulado representativo, se da inicio al muestreo, durante 14 días basado en el anexo 3 del protocolo, con un intervalo de 24 horas ± 1 hora, teniendo un total de 336 horas muestreadas[56].

El procedimiento cuando se empieza el monitoreo, inicialmente se prepara el equipo, aflojando las tuercas que están asegurando la base, luego se inclina suavemente la parte superior o cabezote del

equipo hacia atrás de tal manera que permita el acceso a la pantalla donde se ubica y se hace el cambio del filtro [56].

Posteriormente al tener el equipo listo para dar inicio al muestreo, se hace una revisión de los filtros que se usarán durante el muestreo, para conocer el estado en el que se encuentran. Esta revisión se hace utilizando guantes de nitrilo, se toma un filtro que este previamente pesado en un laboratorio y enumerado consecutivamente con los demás, de acuerdo con esto se observa que no vaya a estar en malas condiciones como por ejemplo arrugado, ni doblado y que no esté con partículas o alguna otra imperfección[56].

Se coloca el filtro en el equipo, directamente en la pantalla con el lado áspero hacia arriba y verificando que esté adecuadamente alineado; ya realizados estos pasos se coloca el pisa filtro y se aprietan las cuatro tuercas manualmente para no generar tanta presión, ya que si se ajustan demasiado podría estar dañando el filtro. Las tuercas se aprietan uniformemente en esquinas alternas para poder alinear y asentar el empaque correctamente, todo este aseguramiento se hace para impedir alguna fuga y para que el filtro quede asegurado correctamente[56].

Después, se instala cuidadosamente una carta de flujo observando que se encuentre en perfecto estado y que tenga en la parte de atrás el número de identificación del filtro, la localización del sitio y la respectiva fecha. También, se debe verificar que la posición de la carta de flujo sea la correcta tanto en la parte del centro como en sus límites, es importante dejarla fijada en la hora de encendido del equipo y corroborar que el lapicero funcione adecuadamente sobre ella para poder registrar el flujo durante las 24 horas de funcionamiento del equipo[56].

Luego se procede a encender el equipo dejándolo funcionar durante cinco minutos para que se pueda establecer el equilibrio térmico y también para poder comprobar que el registrador de flujo

esté operando correctamente. El siguiente paso es hacer la revisión y ajuste del manómetro, este se inspecciona antes de ser utilizado, se quita la tapa de vacío del puerto de presión de estancamiento situado al lado de la base del muestreador y se conecta el manómetro a esta, dejando el otro lado abierto a la presión atmosférica. Utilizando el manómetro diferencial se lee y se registra en la planilla de campo la indicación de la rata de flujo inicial a través del punto de estancamiento, luego se apaga el muestreador se desconecta el manómetro y se vuelve a colocar la tapa de vacío en el puerto de presión de estancamiento. Enseguida se ajusta el cronometro, se fija el temporizador para empezar el muestreo en el horario, la fecha deseada y para finalizar 24 horas después[56].

8.4.8 Procedimiento después del muestreo

Los procedimientos por seguir después del muestreo son los siguientes: se enciende el muestreador, se deja equilibrar cinco minutos, se registra el tiempo total del monitoreo en la planilla de campo, la temperatura ambiente y la presión barométrica del lugar al final del monitoreo. Luego se remueve la carta de flujo y se observa y se registra cualquier cambio abrupto en el flujo de aire. Seguidamente se hace la revisión y ajuste del manómetro para poder hacer la medición del flujo final, la cual se hace por medio de una conexión de manguera al orificio del punto de estancamiento a un manómetro de agua; para poder leer y registrar la caída de presión que está generando el motor en operación al finalizar las 24 horas de muestreo[57].

Luego se procede a retirar el filtro, este procedimiento se hace cuidadosamente con guantes de látex, se observa si hay algún tipo de fuga de aire. Se quitan las tuercas de la misma forma que al inicio, se retira el filtro y se almacena en bolsas de cierre hermético para su posterior análisis y se registra cualquier dato representativo que se observe. Finalmente se instala un nuevo filtro así

mismo una nueva carta de flujo para registrar un nuevo periodo de monitoreo, siguiendo el mismo procedimiento hasta que finalice el muestreo[57]**.**

8.4.9 Procedimiento de instalación y manejo de información de la estación meteorológica Ambient Weather 2902

Durante el muestreo de PM_{10} también, se instalará una estación meteorológica de marca Ambient Weather 2902. Según el manual de esta estación [58], se debe hacer una comprobación previa a la instalación, es decir, antes de ser instalada en una ubicación permanente, recomiendan operar la estación meteorológica durante unos días antes en una ubicación con fácil acceso; todo esto con el fin de corroborar que este en un buen funcionamiento y de esta manera también familiarizarse con la estación y todos sus procedimientos de calibración.

El lugar donde se va a instalar la estación meteorológica, debe ser revisado para observar si cumple con las recomendaciones que están en el manual de esta misma. También se debe tener en cuenta unos meses antes, limpiar el pluviómetro para que no vaya a interferir la medición de la precipitación; las baterías se deben cambiar cada 2 a 3 años. La estación meteorológica debe tener un fácil acceso; se debe instalar el conjunto de sensores al menos a 5 metros de cualquier edificio, estructura, suelo o techo; importante evitar las obstrucciones del viento y la lluvia. El conjunto de sensores debe ir montado directo a la luz solar, para registrar lecturas de temperatura y humedad precisas; es preferible instalar la estación meteorológica en zonas de vegetación natural y no artificial ya que alteraría el valor del registro de las lecturas.[59].

Para la comunicación por radio entre el receptor y el transmisor en un campo abierto, el alcance inalámbrico puede alcanzar hasta 330 pies, desde que no haya obstáculos que interfieran como por ejemplo edificios, arboles, vehículos y líneas de alto voltaje. Además, Es fundamental asegurar

que la consola o panel de visualización este al menos a cinco pies de distancia de cualquier dispositivo electrónico para evitar algún tipo de interferencia.

Cuando la estación meteorológica ya haya sido armada e instalada se procede hacer en la consola el ensamble, se enciende la matriz de sensores, se enciende la consola de visualización y se sincroniza con la matriz de sensores. Después se monta la matriz de sensores, se establece la fecha y hora en la consola, se calibra la presión relativa a las condiciones del nivel del mar, se restablece la lluvia a cero en la consola. Luego se configura con la red Wi-Fi, posteriormente se registran los datos y se cargan en los servidores meteorológicos en la cuenta que se haya creado.

La estación meteorológica Ambient Weather WS-2902, está compuesta por 1 veleta donde su función es medir la dirección del viento, tiene un sensor de velocidad del viento que mide este mismo, también están los sensores UV, que son los mismos sensores de luz; el sensor termómetro-higrómetro los cuales miden la temperatura y humedad, el colector de lluvia; el nivel de burbuja.

Una vez ya se hayan registrado todos los datos que arroje la estación meteorológica durante el muestreo, se procede hacer un modelamiento, donde se entenderá la relación que tuvo el viento y las áreas que posiblemente intervinieron para que el contaminante llegara al equipo Hi-Vol PM_{10} [60]. Cabe resaltar que las primordiales fuentes son los vehículos automotores, pero también se podrá ver afectado por las obras de construcción que se llevan a cabo alrededor del sitio del muestreo.

Para poder conocer la dirección del viento se deben ingresar los datos obtenidos de la estación meteorológica en el programa WRPlot, este programa es un software gratuito para la construcción de rosas de viento para datos meteorológicos, proporciona una vista de gráficas de rosas de viento, análisis de frecuencias, así como gráficas para diversos formatos de datos de meteorología [58].

8.4.10 Método de aforo vehicular

Los conteos vehiculares son una manera de diferenciar o caracterizar el tránsito, así mismo su composición vehicular y la dirección que toman en un determinado lugar. Según Blair Sierra y Guevara Aristizábal, indican que estos procedimientos de aforos se deben realizar en días típicos, es decir; días laborales, no laborales, fines de semana, y festivos para poder obtener resultados representativos en cuanto al tránsito vehicular de la zona seleccionada y en días determinados [61]. De tal manera existen diferentes métodos para realizar los aforos vehiculares como: aforos mecánicos, contadores portátiles, método del vehículo en movimiento y aforos manuales. Los aforos manuales consisten en el registro manualmente de vehículos a través de personas. Este es uno de los métodos más efectivos ya que permite obtener datos precisos que otros métodos no logran obtener concretamente[62].

El método de aforo manual permite clasificar todos los vehículos por modelo, tipo y ocupantes. Se pueden dividir los recuentos en 30 o incluso hasta 15minutos [63], cuando el transito es muy denso, antes de iniciar el método de muestreo se deben preparar las planillas de campo y todo el material que sea necesario.

Los aforos vehiculares se hacen por lo general para contabilizar el volumen de giro y volúmenes clasificados, la duración de los aforos cambia con el propósito que tenga el aforo; algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas; el equipo usado también es variado desde marcando cada vehículo en planillas en físico hasta contadores periodos de tránsito alto, es importante tener en cuenta que es necesario tener más de una persona aforando[62].

Para tener un adecuado aforo vehicular depende de la exactitud y confiabilidad de los aforadores, el número de personas que vayan a realizar este método, las instrucciones que se les dé para realizar

este método, la supervisión que se les haga en el momento del aforo y la cantidad de información obtenida por cada aforador [64]**.**

8.4.11 Procedimiento de cálculos con los resultados obtenidos de la investigación

Después de haber ejecutado los métodos anteriormente mencionados, se procede a realizar el procedimiento de cálculos. Es importante tener en cuenta que las medidas de concentración del material particulado en la atmósfera se expresan en unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) [54]. debido a que de esta manera es posible hacer una comparación de forma directa con los valores límites establecidos en las normas de calidad de aire.

Para la concentración de PM_{10} se calculó mediante la masa de partículas colectadas y el volumen de aire que fue succionado por el equipo durante el tiempo establecido de muestreo que fueron 24 horas. Dando inicio con el hallazgo del tiempo de duración de cada muestreo a través de la siguiente ecuación.

Ecuación 6 *Tiempo de duración de cada muestreo*

$$Horas\ muestreo = tiempo, horas\ final - tiempo, horas\ inicial$$

Posteriormente se registró la temperatura final del muestreo en °C y se halló la temperatura promedio.

Ecuación 7 *Temperatura promedio*

$$Tp = Promedio\ (Temperatura\ inicial: Temperatura\ final)$$

Donde:

Tp = Temperatura promedio (°C)

Luego se utilizó el Qa= caudal actual o real (m^3/min) obtenido inicialmente en el proceso de calibración con los datos de temperatura (Ta) y presión ambiente (Pa) para hallar el Qstd = caudal estándar (m^3/min) a condiciones de temperatura y presión estándar [55].

Ecuación 8 *Caudal estándar (m^3/min)*

$$Q_{std} = Q_a * \frac{Pbarom}{760\ mmHg} * \frac{298°K}{(Temperatura\ promedio + 273)}$$

Donde:

Pbarom = Presión barométrica

Qa = Caudal actual o real (m^3/min)

Qstd = Caudal estándar (m^3/min)

También se halló el volumen de muestreo (m^3) de acuerdo con la siguiente ecuación.

Ecuación 9 *Volumen de muestreo (m^3)*

$$Volumen\ de\ muestreo\ (m^3) = (Qstd * Horas\ muestreo) * 60$$

Donde:

Qstd = Caudal estándar (m^3/min)

Luego a partir de que se determine la velocidad de flujo referencia promedio o caudal estándar se procedió a calcular el volumen total de aire muestreado con la siguiente ecuación.

Ecuación 10 *Volumen total de aire muestreado, en unidades de volumen estándar m3*

$$V = Q_{std} * t$$

V= Volumen total de aire muestreado a condiciones estándar en m^3

Q_{std}= Caudal de aire muestreado a condiciones estándar en m^3/min

t = Tiempo total de muestreo en min

8.4.12 Cálculos de la concentración de PM_{10}

También se hace el cálculo de la concentración de PM_{10}, a través de la siguiente ecuación[54].

Ecuación 11 *Concentración másica de material particulado suspendido total, ug/m³*

$$C_{PM_{10}} = (W_f - W_i) * 10^6/V$$

Donde:

$C_{PM_{10}}$= Concentración de PM_{10} en $\mu g/m^3$

W_i= Peso inicial del filtro limpio de exposición en g

Wf= Peso final expuesto en g

V = Volumen total de aire muestreado a condiciones estándar en m^3.

8.4.13 Incertidumbre de la medición y regla de decisión

La incertidumbre es aquel parámetro asociado con el resultado de una medición, la cual caracteriza la dispersión de los valores, que podrían ser razonable atribuirlos al valor a medir [65].

La regla de decisión es aquella que describe como se tiene en cuenta la incertidumbre de medición cuando se declara la conformidad con un requisito especificado. Existe una regla de decisión binaria cuando el resultado está limitado a dos opciones (pasa o no pasa), también existe una regla de decisión no binaria cuando el resultado se puede expresar mediante múltiples términos (pasa, pasa acondicionado, no pasa acondicionado, no pasa) [65].

De acuerdo con lo anterior, cuando el resultado medido está por debajo del límite de aceptación dentro de la zona de seguridad pasa indicando aceptación; cuando el resultado medido está por encima del límite de aceptación no pasa indicando rechazo.

Donde:

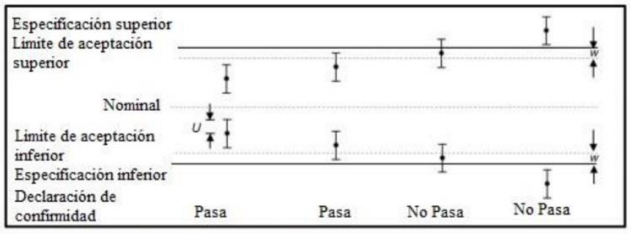
AL = Límite de aceptación

TL = Nivel máximo permisible según norma

W = Se tomará como el mínimo valor de incertidumbre de medida expandida, que se puede

Para este caso, el valor de la incertidumbre corresponde a 0,02.

Gráfico 2. Representación gráfica de una declaración binaria con zona de seguridad



Fuente: *ILAC-G8:09/2019. Guía para establecer reglas de decisión en la declaración de conformidad.*

En base a la incertidumbre y a la regla de decisión la comparación normativa se realiza a partir de lo siguiente:

- Se definirá cumplimiento normativo cuando el valor promedio de concentración (µg/m^3)) no supere el límite máximo permisible y tampoco su límite máximo de incertidumbre ±.
- Se definirá incumplimiento normativo cuando el valor promedio de concentración (µg/m^3) y el límite mínimo de incertidumbre superen el límite permisible de la norma.
- No se podrá aseverar concepto normativo cuando el valor promedio de concentración (µg/m^3) cumpla con el límite máximo permisible pero su límite máximo de incertidumbre supere dicho nivel o en caso contrario, cuando el valor promedio de concentración (µg/m^3) sobrepase la

norma, pero su nivel de incertidumbre mínima se encuentre por debajo. Esto teniendo en cuenta que el valor µg/m^3 puede incrementar o disminuir ± el nivel de incertidumbre

8.4.13 Incertidumbre de la masa

La incertidumbre de la masa hace referencia a la incertidumbre que presenta la balanza con la que son pesados los filtros. Esta incertidumbre se calcula de la siguiente manera [66].

Ecuación 12 *Incertidumbre de la masa*

$$Promedio\ de\ Incertimdumbre\ expandida\ relativa * \frac{\Delta P(\mu g)}{100}$$

8.4.14 Incertidumbre del flujo

La incertidumbre del flujo hace referencia a la variación en la medición por medio de un manómetro diferencial que se basa en la conservación de la masa y la energía donde combinando ambas leyes es posible relacionar el flujo volumétrico a la caída de presión que se presenta. Dicho esto, la incertidumbre es dada como una desviación estándar S σ, una desviación estándar relativa o un coeficiente de variación CV (%) sin especificar la distribución, esta incertidumbre es de 0,01 m^3/min [67].

8.4.15 Cálculos Índice de Calidad de Aire (ICA)

Adicionalmente a la metodología de cálculo de los niveles de concentración de PM_{10}, están los cálculos de Índice de Calidad de Aire (ICA), el cual permite hacer la comparación de los niveles de contaminación de la calidad del aire. El ICA corresponde a una escala numérica donde se asignan unos colores, los cuales tienen una relación con los efectos a la salud [68]. Esta escala numérica es de la siguiente manera: el color verde oscila de 0 a 100 su estado es bueno, el color amarillo oscila entre 101 a 150 y es desfavorable para grupos sensibles, el color naranja oscila

entre 151 a 200 indica ser desfavorable, el color rojo es muy desfavorable oscila entre 201 a 300 y el color purpura oscila entre 301 a 500 indica ser peligroso [54].

El ICA se calcula a partir de la ecuación 13.

Ecuación 13 *Índice de Calidad de Aire*

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}}(C_P - BP_{LO}) + I_{LO}$$

Donde:

$\boldsymbol{I_p}$: Índice para el contaminante p.

$\boldsymbol{C_P}$: Concentración medida para el contaminante p.

$\boldsymbol{BP_{HI}}$**:** Punto de corte mayor o igual a C_P.

$\boldsymbol{BP_{LO}}$**:** Punto de corte menor o igual a C_P.

$\boldsymbol{I_{Hi}}$**:** Valor del índice de calidad del aire correspondiente al BP_{HI}.

$\boldsymbol{I_{LO}}$: Valor correspondiente del índice de calidad del aire correspondiente al BP_{LO}.

8.5 Marco legal

Para la ejecución de este trabajo de grado es fundamental mencionar la normatividad vigente que rige los lineamientos correspondientes, enfocando esta normatividad en la mejora del estado del medio ambiente, la calidad del aire su vigilancia y control.

Tabla 1 *Marco legal*

NORMA	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
Resolución 0601 de 2006	Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.	La presente resolución en su artículo 9 presenta la elaboración de los programas de reducción de la contaminación, por el cual se deberá identificar el contaminante que sobrepase los niveles de la norma de calidad del aire, se procede a elaborar el programa en este caso, se elaboraría principalmente por fuentes móviles alrededor de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.
Resolución 610 de 2010	Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión para el territorio nacional. Además, se instauran niveles permitidos de contaminantes en el aire, entre esos, PM10 y PM2.5.	La presente resolución establece los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para el contaminante criterio como lo es el PM_{10}, donde su nivel máximo permisible es 100 $\mu g/m^3$ en un tiempo de exposición de 24 horas. Con este nivel máximo permisible de la

NORMA	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
		resolución se determinará dentro de los monitoreos de calidad de aire si se sobrepasa de los 100 µg/ m^3 en el tiempo establecido de exposición.
Resolución 650 de 2010	Protocolo para el monitoreo y seguimiento de calidad del aire.	La resolución en su generalidad establece los niveles máximos permisibles para PM_{10} y por otro lado también establece que las autoridades ambientales, deben declarar la contaminación de aire en estado de prevención, alerta y emergencia durante24 horas para $PM_{10.}$
Resolución 2254 de 2017	Norma principal de calidad del aire.	El capítulo I establece los niveles máximos de referencia de PM_{10} cada 24 horas y el capítulo IV de la presente resolución, se establece el índice de calidad del aire (ICA) donde este se reportará ante el estado con un rango y un color especifico, con el fin

NORMA	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
		de evitar que la población se exponga a la mala calidad del aire, determinada por un color marrón, purpura, rojo, naranja, amarillo y verde, siendo el marrón la categoría más peligrosa y el verde la categoría más buena de calidad del aire. Además, muestra los $\mu g/$ m^3 para el punto de corte de PM_{10} para cada color y cada rango en 24 horas.

Fuente: *Normatividad Colombiana de calidad del aire.*

Tabla 2. *Protocolo de Calidad del aire*

PROTOCOLO	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire 2008	Método de monitoreos desarrollados por particulares para estandarizar y aumentar la calidad de la información de este tipo de monitoreos para incluirlos en el	El protocolo es la guía de cómo se deben llevar a cabo el monitoreo en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, permitiendo que, por medio de este, se pueda lograr tener información e incluirlo en el Sistema

PROTOCOLO	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
	Sistema de Información sobre Calidad del Aire.	de Información de Calidad del Aire. A su vez el proceso de los cálculos a desarrollar para obtener las concentraciones en μg/ m^3 de los días monitoreados los cuales son utilizados para calcular el ICA.

Fuente: *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*

Tabla 3*. EPA*

EPA	TEMA CENTRAL DE LA NORMATIVIDA	APLICABILIDAD A LA INVESTIGACION
Apéndice J de la parte 50 de la EPA	Método de referencia para la determinación de material particulado Pm_{10} en la atmósfera.	Este método permitirá establecer la concentración de la masa de material particulado PM_{10} en un periodo de 24 horas para determinar la obtención y el mantenimiento de las normas nacionales tanto primarias como secundarias de calidad del aire.

Fuente: *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*

9. Metodología

La metodología de este trabajo de investigación está compuesta de la siguiente manera:

1. Se encontrará el tipo de investigación, el cual pretende dar a entender del por qué o la causa del comportamiento de algún fenómeno y el enfoque de la investigación permitirá describir, explicar y/o comprobar fenómenos.
2. Se exponen las cinco fases y los procesos que se desarrollan dentro de cada una de estas, permitiendo entender el paso a paso de la puesta en marcha del muestreo, el aforo vehicular y el análisis de los dos procesos.

9.1 Tipo de investigación

9.1.1 Analítico

El estudio analítico trata de explicar y dar a entender por qué o la causa del comportamiento de algún fenómeno, así mismo permite entender una relación o la asociación entre varias variables. Se considera estudio analítico, ya que con esta investigación se hizo el muestreo de PM_{10} en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, con el fin de conocer el índice de calidad del aire de esta área y las posibles afectaciones a la salud de la comunidad Unimetense, contando con la instalación de 1 equipo Hi-Vol en una zona representativa de la Universidad.

9.2 Enfoque de investigación

9.2.1 Cuantitativo

El enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, que requieren un orden riguroso, en donde la realidad no cambiaría por las observaciones o las mediciones que se realicen y finalmente permite describir, explicar y/o comprobar fenómenos. Los datos provienen del muestreo de PM_{10} a realizar con 1 equipo Hi-Vol, durante 14 días, en las fechas correspondientes, donde se realizarán

curvas de resultados y adicional a esto se comparará la variación de lo muestreado por el equipo Hi-Vol de PM_{10} dentro de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

9.3 Método de investigación

9.3.1 Fases

9.3.2 Fase I: Visitar y realizar un recorrido por el área total de estudio e instalaciones de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA para definir el punto correcto de instalación de la estación meteorológica, considerando la gran importancia de la meteorología para determinar no solo la ubicación geográfica del sitio de monitoreo, sino también factores como la altura, la dirección y la extensión de las sondas de muestreo ya que los factores meteorológicos pueden influir en gran medida en la dispersión de contaminantes, según lo estipula el Handbook.

Posteriormente al lugar seleccionado para la instalación de la estación meteorológica Ambient Weather, se realiza la selección del lugar para la instalación del equipo Hi-Vol, teniendo en cuenta que el área seleccionada de investigación sea de fácil acceso, cuente con seguridad y con un buen y constante suministro de energía; según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, la instalación debe tener una distancia mínima de 2 metros medidos desde la superficie del suelo y a una distancia mayor a 20 m desde la parte exterior de los árboles, cuando estos actúan como obstáculo la distancia debe ser de 10 m para que no existan alteraciones y se presente una medición incorrecta del material particulado PM_{10}, según el Protocolo de Calidad de Aire.

9.3.3 Fase II: El alistamiento se realizara por parte del área de laboratorio, el desplazamiento del Equipo Hi-Vol, se realizara por parte del área de infraestructura, teniendo en cuenta que esté totalmente completo y en condiciones óptimas, la instalación también será llevada a cabo por parte del área de infraestructura, los cuales deberán subir el equipo Hi-Vol en andamios donde se

atornillará y anclara para que quede bien asegurado en el sitio establecido, cumpliendo con los 2 m de altura, según lo estima el Protocolo de Monitoreo y Calidad del Aire, luego se realiza las conexiones eléctricas, se encenderá el equipo y se aplicara la metodología de calibración conveniente a el equipo Hi-Vol PM_{10}, como se determina en el apéndice J de la parte 50 de la EPA, con el fin de garantizar el flujo del equipo, esta calibración se realizará una vez sea entregado e instalado el equipo Hi-Vol , el cual entrara en un periodo de prueba durante 4 días con el fin de que mantenga en funcionamiento 24 horas y poder identificar si el flujo de succión varia o no, dado que el equipo no es usado hace varios meses, en este se relacionará las tasas de flujo conocidas con relación de presión de estancamiento, que es aquella presión del aire dentro del muestreador y la presión barométrica. Se deberá registrar la caída de presión en in de agua y la presión de estancamiento.

Importante calcular el caudal real para cada punto a través del calibrador, se tendrá que calcular la presión de estancamiento absoluta y la relación de presión de estancamiento, calculando la diferencia (%) entre los diferentes caudales.

Para la verificación de la rata de flujo operacional, se comparará la rata de flujo normal de operación del muestreador con la rata de flujo de diseño y se realizaran los siguientes pasos: Se determinará el valor del caudal real, utilizando la tabla de calibración antes calculadas, se calculara la diferencia porcentual del caudal real del equipo, este porcentaje de diferencia debe estar en valores inferiores a ± 10%, y preferiblemente inferior a ± 7% con el fin de permitir variaciones en la temperatura ambiente.

La estación meteorológica Ambient Weather se instalara a un lado del equipo Hi-Vol, con el fin de que se registren las variables meteorológicas del punto de muestreo, las cuales se ven reflejadas

a diario en un portal web, que finalizado el muestreo será descargado durante los 14 días, se evidenciara los valores registrados de temperatura, precipitación, velocidad del viento, dirección del viento entre otras variables, permitiendo así analizar si influye directamente o indirectamente en la investigación.

9.3.4 Fase III: Se pondrá en marcha el muestreo, realizando la instalación los filtros a diario, los cuales ya han pasado por un pre-pesaje en el laboratorio, luego el retiro de filtro para poder realizar la recolección de datos de PM_{10}, durante 24 horas por 14 días, para ser enviadas a laboratorio de nuevo y realizar el post pesaje de cada uno de ellos.

Se desarrollará el procedimiento para el muestreo de Material Particulado (PM_{10}) en base a la US-EPA e-CFR Título 40, Parte 50 Apéndice J, en el cual se evidencia el método de referencia para la determinación de material particulado en la atmósfera por medio de este, se proporciona la medición de la masa de concentración de material particulado en el aire ambiente durante un periodo de 24 horas, dándole así cumplimiento a las normas nacionales de calidad del aire, y soportado bajo el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual deberá ser aplicado en esta investigación, poniendo en marcha los lineamientos básicos para llevar a cabo las actividades de monitoreo, seguimiento, análisis, interpretación y presentación de los datos obtenidos en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

9.3.5 Fase IV: Se realizará un aforo vehicular, por el método manual, durante los 14 días de muestreo, en las horas pico de la zona cada 15 minutos, en los horarios de 7:00 am a 9:00 am, 12:00 am a 2:00 pm y 5:00 pm a 7:00 pm, ya que estas horas son de mayor incidencia diaria, esto con el fin de observar el comportamiento de los vehículos que transitan por la carrera 32 y la calle

33, el cual será llevado a cabo por medio de formatos, que se dividirán entre el servicio público, que comprende: los buses y los taxi y los de servicio privado que son: vehículos como :automóviles y camionetas, motos y camiones. Se registrarán la cantidad de vehículos contadas por 4 personas, que estarán repartidas de la siguiente manera:

- 2 personas se ubicarán en la carrera 32 sentido Centro – Unicentro.
- 1 persona a la derecha de la calle 33 sentido Unicentro - Centro.
- 1 persona a la izquierda de la calle 33 en sentido Centro – Unicentro.

9.3.6 Fase V: Procesamiento y correlación de los datos obtenidos en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, para el posterior análisis, determinando el grado de afectación a la salud de la comunidad educativa de la Unimeta y el reporte de la investigación a través de un informe.

10. Resultados

10.1 Resultados de concentración PM_{10}

La ubicación de la estación de monitoreo fue de gran importancia para llevar a cabo la investigación, al igual que el monitoreo realizado 24 horas al día (**ver anexo N°1** registro fotográfico del muestreo), el aforo vehicular ejecutado en horas pico cada 15 minutos en la calle 33 y carrera 32 y la ubicación de la estación meteorológica, durante los 14 días que correspondieron del 1 de diciembre hasta el 15 de diciembre, del año 2021, para poder determinar la concentración de PM_{10}; y el estado de la calidad del aire de esta zona de estudio seleccionada

Se escogieron 14 días para el monitoreo de 24 horas basado en lo que esta especificado en el anexo 3 del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010, **(ver anexo N°2** Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010**)** donde

explican el número de días en que se debe realizar un monitoreo; este número de días depende del objetivo que tenga el monitoreo. Si el objetivo es verificar el cumplimiento normativo, se deberá medir el número mínimo requerido en el presente protocolo de acuerdo para la norma anual al menos el 75% del tiempo [69].

Con respecto al caso de comparación con la norma de 24 horas se deben tener en cuenta las condiciones establecidas en el diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire específicamente en el tipo I, el cual es de tipo indicativo y específica que debe tener una población mayor o igual a 50.000 habitantes y menor a 150.000 habitantes [69].

Considerando que en esta investigación se hará la comparación con la norma cada 24 horas muestreadas y que se cumple con las condiciones establecidas en el SVCA tipo I [69] en cuanto al número de habitantes, fue que se escogieron los 14 días de monitoreo en la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA. (**ver anexo N°3** SVCA tipo I).

Por otro lado, es importante aclarar que probablemente el contaminante PM_{10} sea proveniente de las fuentes móviles que transita alrededor de esta Universidad o de las construcciones y demoliciones que se llevaron a cabo dentro y fuera de dicha zona de estudio.

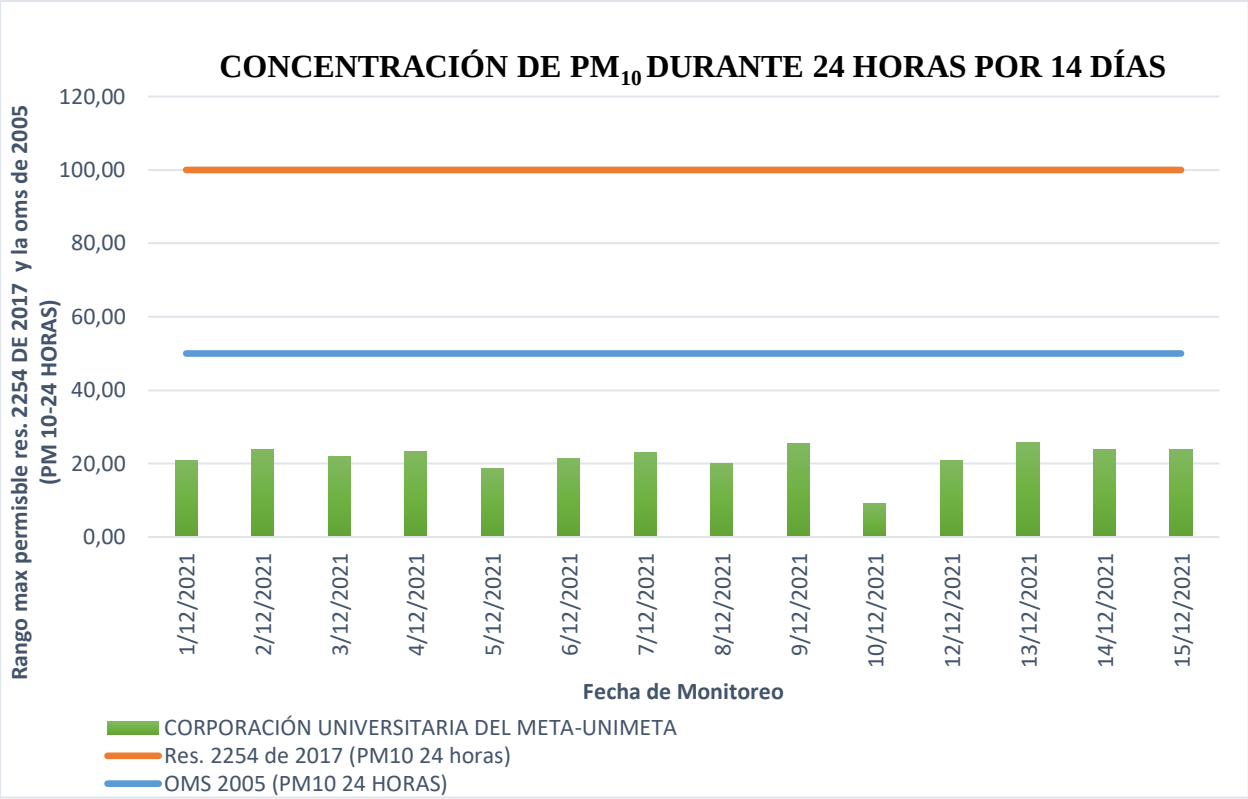
En la tabla 2 se puede evidenciar los resultados de las concentraciones de PM_{10}, los cuales fueron obtenidos de la ecuación $C_{PM_{10}} = (W_f - W_i) * 10^6/V$, durante los 14 días monitoreados. Los resultados de esta investigación corresponden únicamente a la muestra y punto de medición relacionado a el monitoreo. (**ver Anexo N°4** resultados de laboratorio), (**ver anexo N°5** cálculos de concentración de PM_{10}), (**ver anexo N°6** cadena de custodia de muestras), (ver **anexo N°7** hoja de calibración).

Tabla 4 *Resultados de concentración* PM_{10}

FECHA	Concentración PM_{10} (µg/m^3) UNIMETA	Res. 2254 de 2017 (PM_{10} 24 horas)	OMS 2005 (PM_{10} 24 horas)
1/12/2021	20,78	100	50
2/12/2021	23,82	100	50
3/12/2021	21,93	100	50
4/12/2021	23,34	100	50
5/12/2021	18,59	100	50
6/12/2021	21,49	100	50
7/12/2021	22,98	100	50
8/12/2021	20,13	100	50
9/12/2021	25,49	100	50
10/12/2021	9,12	100	50
12/12/2021	20,95	100	50
13/12/2021	25,67	100	50
14/12/2021	23,72	100	50
15/12/2021	23,90	100	50
PROMEDIO	**21,565**		
MÁXIMO	**25,673**		
MÍNIMO	**9,119**		

Fuente *Elaboración propia 2022*

Gráfico 1. Concentración PM_{10} (24 Horas) del 1 al 15 de diciembre



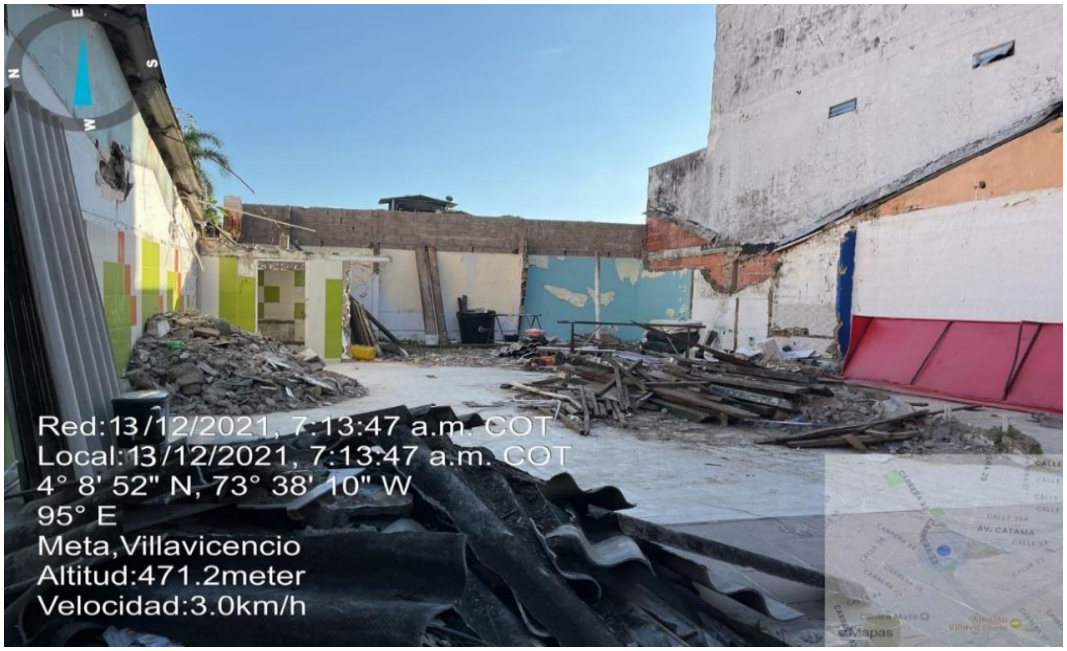
Fuente: *Elaboración propia 2022*

De acuerdo al gráfico 1 se puede evidenciar la relación diaria del material particulado PM_{10}, del 1 al 9 de diciembre no varió mucho la concentración a excepción del día 10 que, si hubo una gran diferencia debido a que el equipo no muestreó las 24 horas, por ende, en este día se presentó el menor pico de concentración del contaminante con un 9,12 µg/m^3; del día 12 de muestreo al 14 también hubo similitud en la concentración, presentando su pico más alto el día 13 de diciembre con 25,67 µg/m^3.

El cálculo de la desviación estándar da como resultado un valor de 4,11 y las concentraciones de PM_{10} de 21, 57 µg/m^3 las cuales se encuentran dentro del rango de la desviación estándar a

diferencia del día 10 de diciembre, por lo tanto, se evidencia que las concentraciones no varían mucho con respecto a la desviación estándar. (**ver anexo N°8** cálculos de desviación estándar) Conforme a estos resultados los picos más altos de concentración de PM_{10}, fue el 9 de diciembre debido al alto flujo vehicular y en el día 13 también hubo alta concentración de PM_{10}. Posiblemente estos resultados fueron ocasionados por las construcciones y demoliciones que se estaban llevando a cabo los últimos días de muestreo dentro de la zona de estudio y cerca a la estación de monitoreo, y adicionalmente las fuentes móviles y la dirección de los vientos predominantes del noreste. En las ilustraciones 4, 5 y 6 se evidencia las actividades de demoliciones y construcciones.

Figura 4 *Demolición de local*



Fuente: *Propia 2021*

Figura 5 *Demolición de casa*

Fuente: *Propia 2021*

Figura 6 *Retiro de escombros*

Fuente: *Propia 2021*

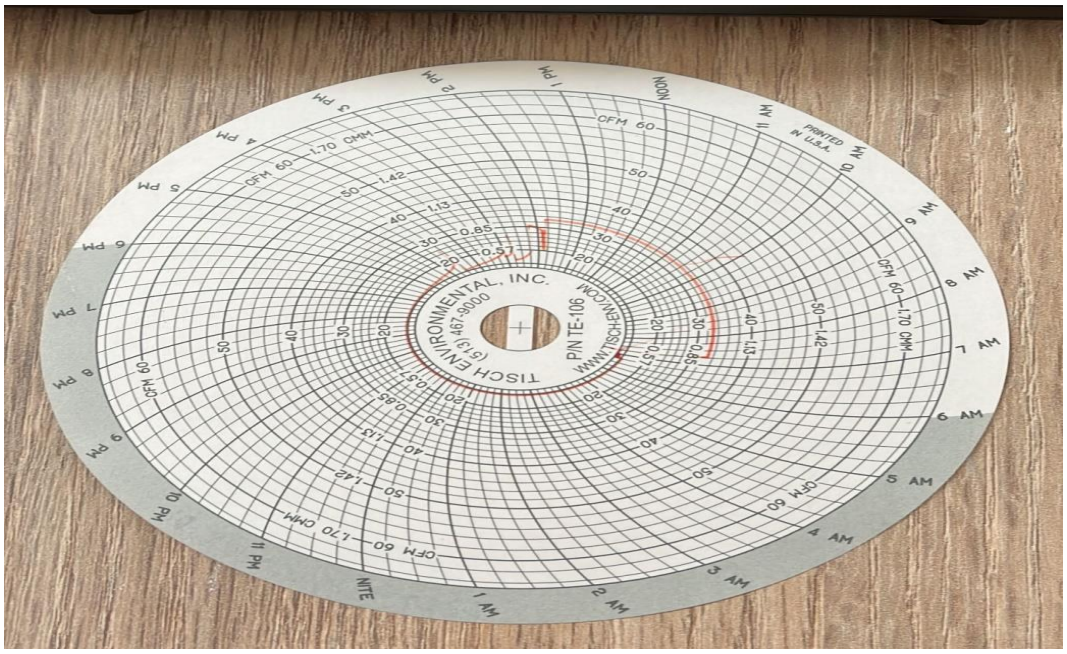
Por otro lado, la concentración mínima fue presentada el 10 de diciembre, debido a los inconvenientes técnicos que ocurrieron con el equipo Hi-Vol de la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA. El equipo presentó un desgaste de escobillas ese mismo día, las cuales tienen como función ser el elemento que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación en el eje del motor del equipo, de manera que si las escobillas no están en buenas condiciones el equipo no va a trabajar adecuadamente, por tal motivo, este dejó de funcionar en horas de la tarde, evidenciado en la carta de flujo figura 7, el día 10 de diciembre y no pudo monitorear las 24 horas contempladas.

En base a esta falla técnica el día 11 de diciembre se hizo la gestión de unas escobillas nuevas con la jefe de laboratorio de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, estas fueron entregadas e instaladas el mismo día en el equipo Hi-Vol en horas de la tarde. Hecha ya la instalación se prendió el equipo nuevamente para verificar que funcionara de manera correcta, se dejó prendido con un filtro y una carta de flujo alterna a las del muestreo. No se utilizó el filtro destinado para ese día por el motivo de la hora de muestreo, ya que se venía realizando el cambio de filtro a las 7:00 am todos los días, tampoco se utilizó dicho filtro para poder corroborar que no hubiese más fallas y este no fuese quedado perdido, ya que los filtros por parte del laboratorio habían sido entregados completos para los 14 días.

De acuerdo con lo anterior, la situación presentada se desarrolló la actividad ese día, de esa manera para poder retomar el muestreo apropiadamente el 12 de diciembre. Por esta razón fue pertinente correr un día de muestreo finalizándolo el 15 de diciembre y no el 14, teniendo en cuenta un total de 14 días de muestreo, como estuvo estipulado desde un comienzo.

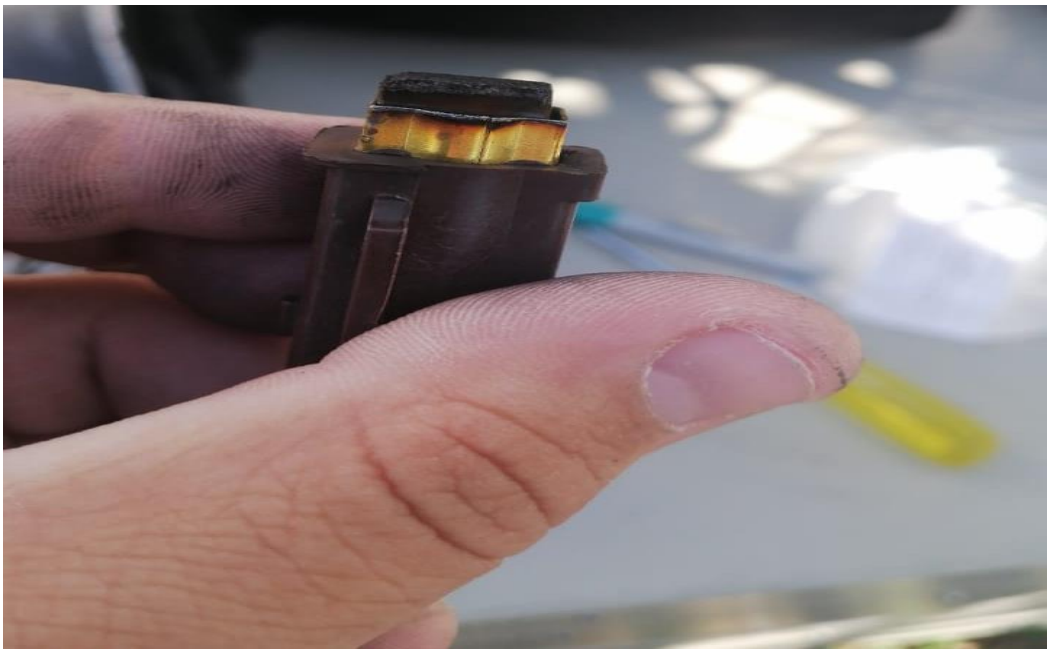
De acuerdo con la falla técnica anteriormente mencionada, es importante aclarar que el equipo fue revisado por la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA, antes de haber sido entregado para comenzar a operar, la respuesta ante la revisión del equipo fue que se encontraba en óptimas condiciones para operar; cabe esclarecer que el equipo no era utilizado frecuentemente, por tal motivo pudo haberse presentado esta falla técnica. En las figuras 10, 11 y 12 y se evidencia dicha falla.

Figura 7 *Carta de flujo evidenciando estado de funcionamiento del equipo Hi-Vol*



Fuente: *propia 2021*

Figura 8 *Escobillas desgastadas*



Fuente: *Propia 2021*

Figura 9 *Cambio de escobillas*

Fuente: *propia 2021*

10.2 Rosas de los vientos

A continuación, se muestra la relación entre la dirección y la velocidad del viento durante los 14 días de monitoreo en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, con el fin de evidenciar de donde provienen los vientos y los porcentajes de frecuencia de distribución de cada una de las velocidades en el área de influencia. Este análisis se realizó por medio del programa WRPLOT View v.8.0.3, en el cual se importan los datos de un archivo Excel (.xls), el cual contiene la estación, día, mes, año, hora, dirección del viento y velocidad del viento como se muestra en la tabla 3, durante las 24 horas de cada día.

Tabla 5 *Datos para la proyección de la rosa de los vientos*

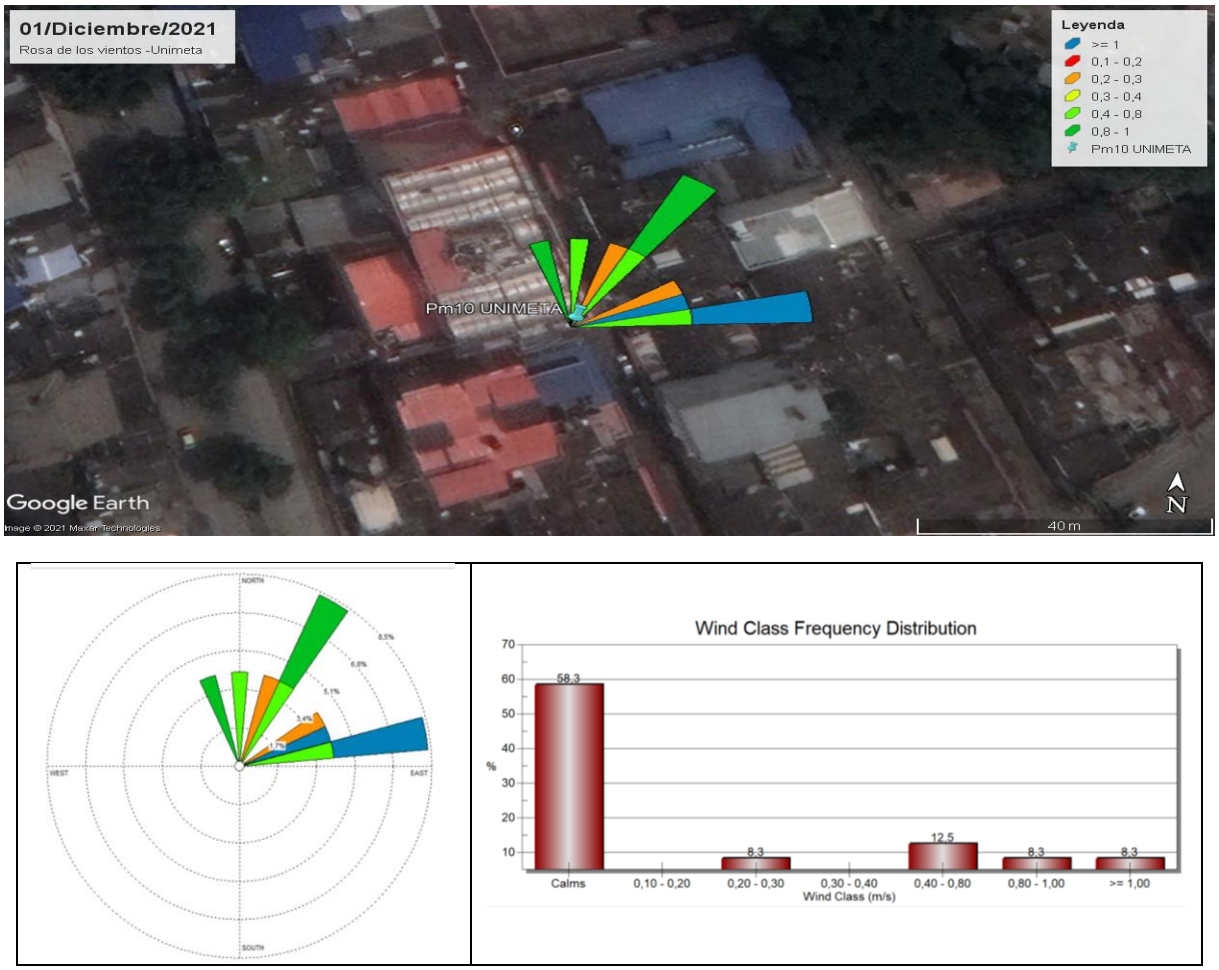
ESTACIÓN	DÍA	MES	AÑO	HORA	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO
UNIMETA	1	12	2021	0	143	0
UNIMETA	1	12	2021	1	93	0
UNIMETA	1	12	2021	2	33	0,7
UNIMETA	1	12	2021	3	31	0,9
UNIMETA	1	12	2021	4	58	0
UNIMETA	1	12	2021	5	78	0,7
UNIMETA	1	12	2021	6	145	0
UNIMETA	1	12	2021	7	145	0
UNIMETA	1	12	2021	8	339	0
UNIMETA	1	12	2021	9	50	0
UNIMETA	1	12	2021	10	66	0
UNIMETA	1	12	2021	11	339	0,9

ESTACIÓN	DÍA	MES	AÑO	HORA	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO
UNIMETA	1	12	2021	12	79	2,2
UNIMETA	1	12	2021	13	355	0,4
UNIMETA	1	12	2021	14	51	0
UNIMETA	1	12	2021	15	128	0
UNIMETA	1	12	2021	16	67	1,1
UNIMETA	1	12	2021	17	62	0
UNIMETA	1	12	2021	18	67	0
UNIMETA	1	12	2021	19	55	0,2
UNIMETA	1	12	2021	20	16	0,2
UNIMETA	1	12	2021	21	74	0
UNIMETA	1	12	2021	22	0	0
UNIMETA	1	12	2021	23	0	0

***Fuente**: Elaboración propia 2022*

01 diciembre 2021

Figura 10 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 1 de diciembre del 2021*

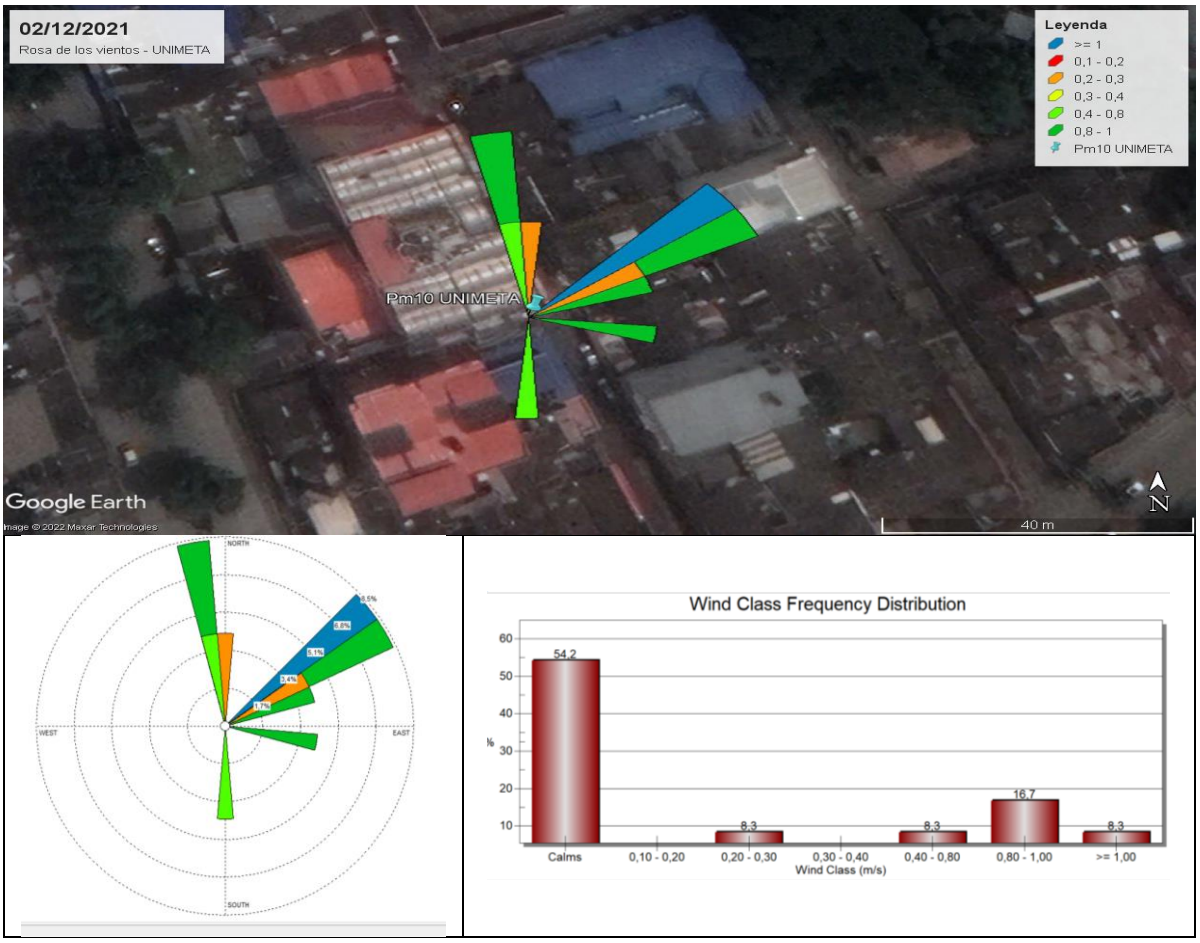


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 1 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 y 0,30 m/s, la mayor frecuencia de distribución es de 12,50% con velocidades entre 0,40 m/s y 0,80 m/s, la dirección de los vientos predominante, es provenientes del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 58,33%.

02 diciembre 2021

Figura 11 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 2 de diciembre del 2021.*

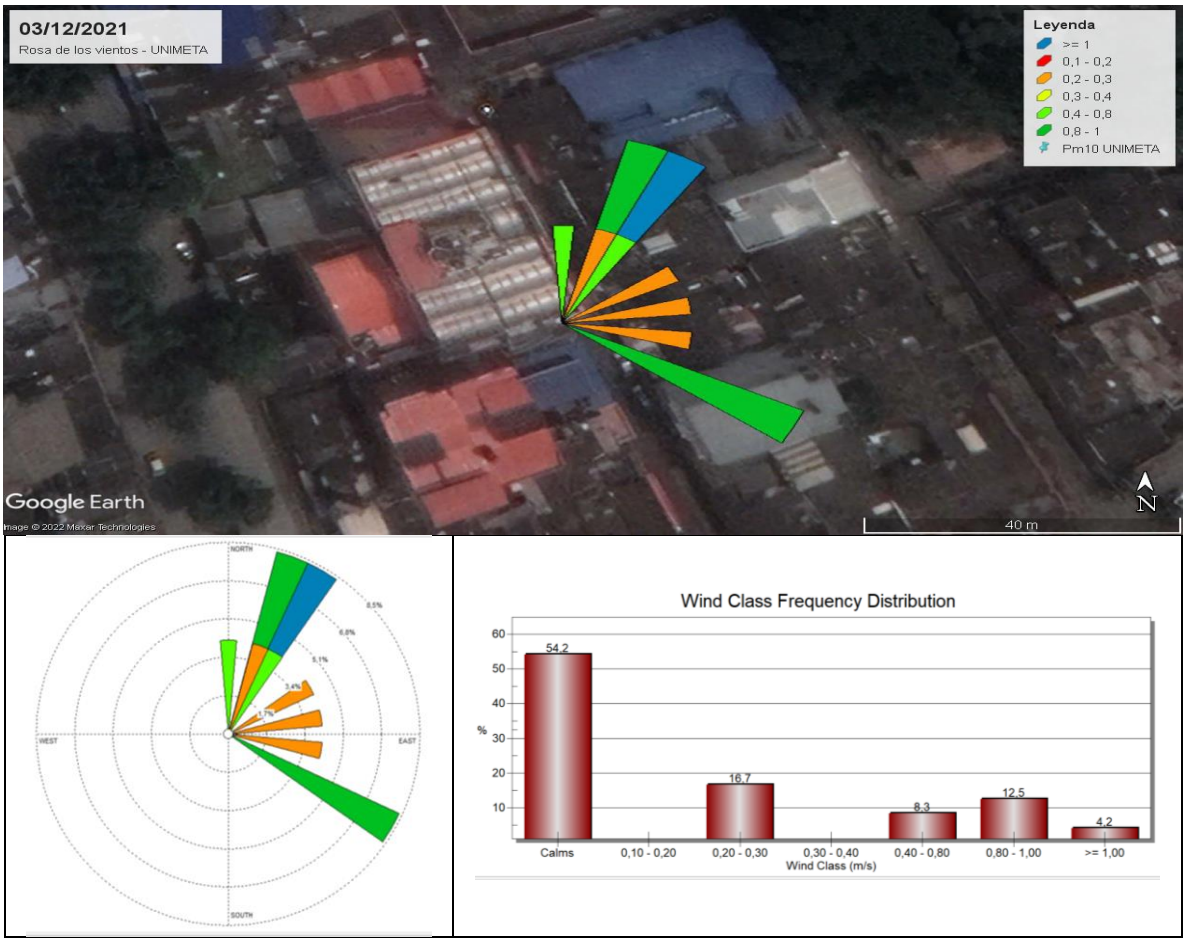


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 2 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, la mayor frecuencia de distribución se mantuvo entre 0,80 m/s y 1 m/s con una frecuencia del 16,70%, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste, aunque otros fueron provenientes del noroeste con velocidades de 0,80 m/s y 1 m/s y por último con un porcentaje de calma de 54,20%.

03 diciembre 2021

Figura 12 *. Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 3 de diciembre del 2021.*

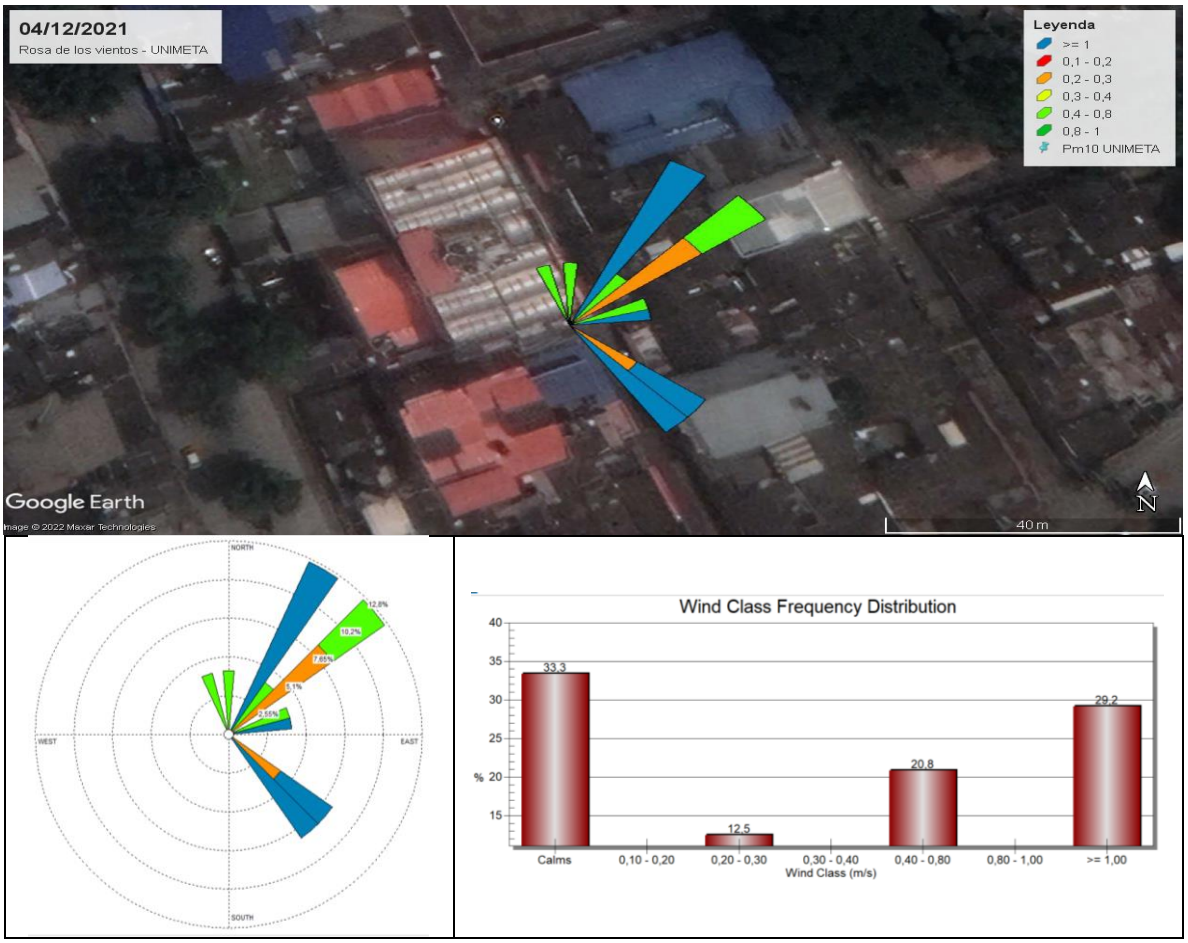


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 3 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s con un 4,2% de frecuencia de distribución y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s con un porcentaje de frecuencia del 16,70%, marcando la incidencia de dicho día, donde la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste con velocidades de 0,80 m/s y mayores a 1 m/s y del sureste un viento de 0,80 m/s a 1 m/s, obteniendo un porcentaje de calma del 54,20%.

04 diciembre 2021

Figura 13 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 4 de diciembre del 2021.*

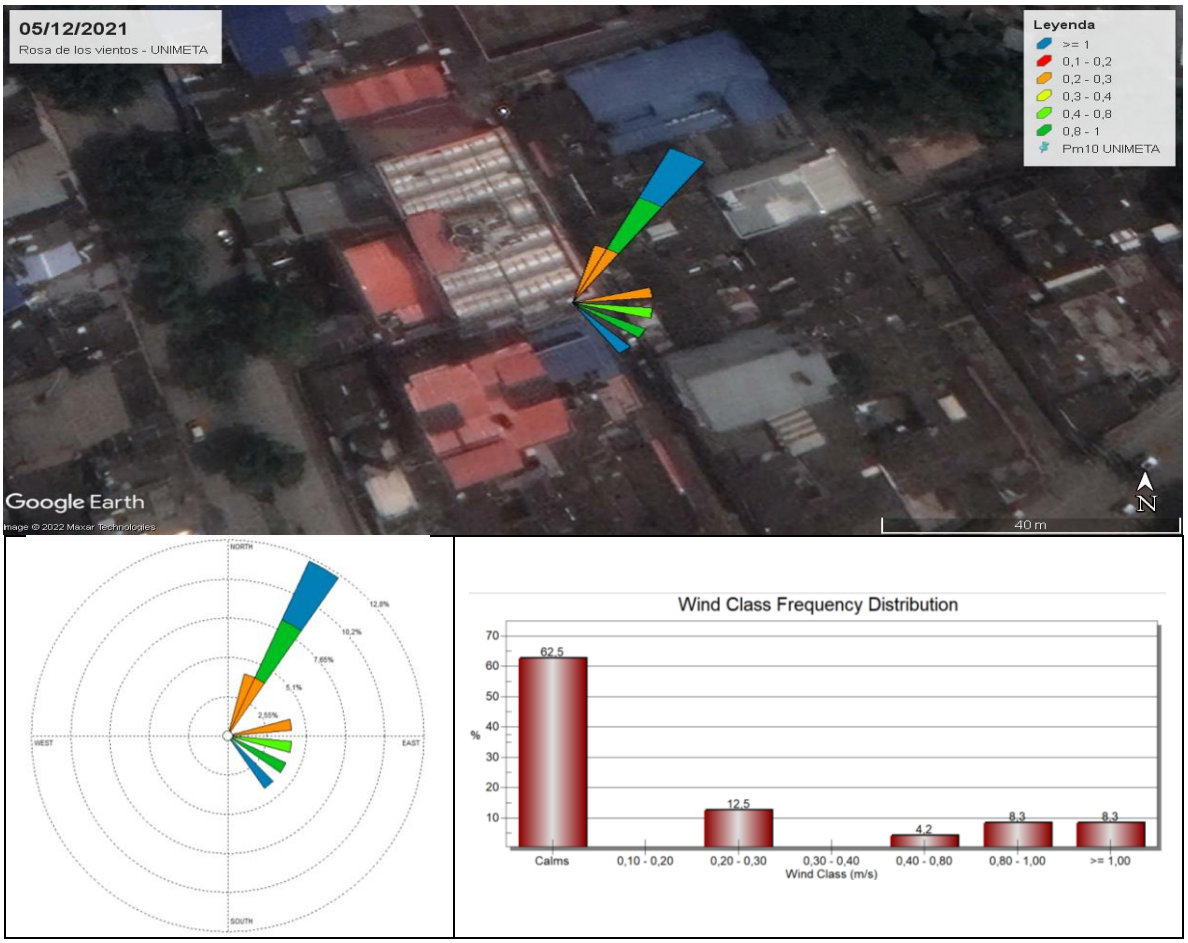


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 4 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s con una frecuencia de distribución de 29,20%, el porcentaje máximo de frecuencia de distribución durante este día y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s con muy poca presencia, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y algunos otros provienen del sureste en menor cantidad y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 33,30%.

05 diciembre 2021

Figura 14 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 5 de diciembre del 2021.*

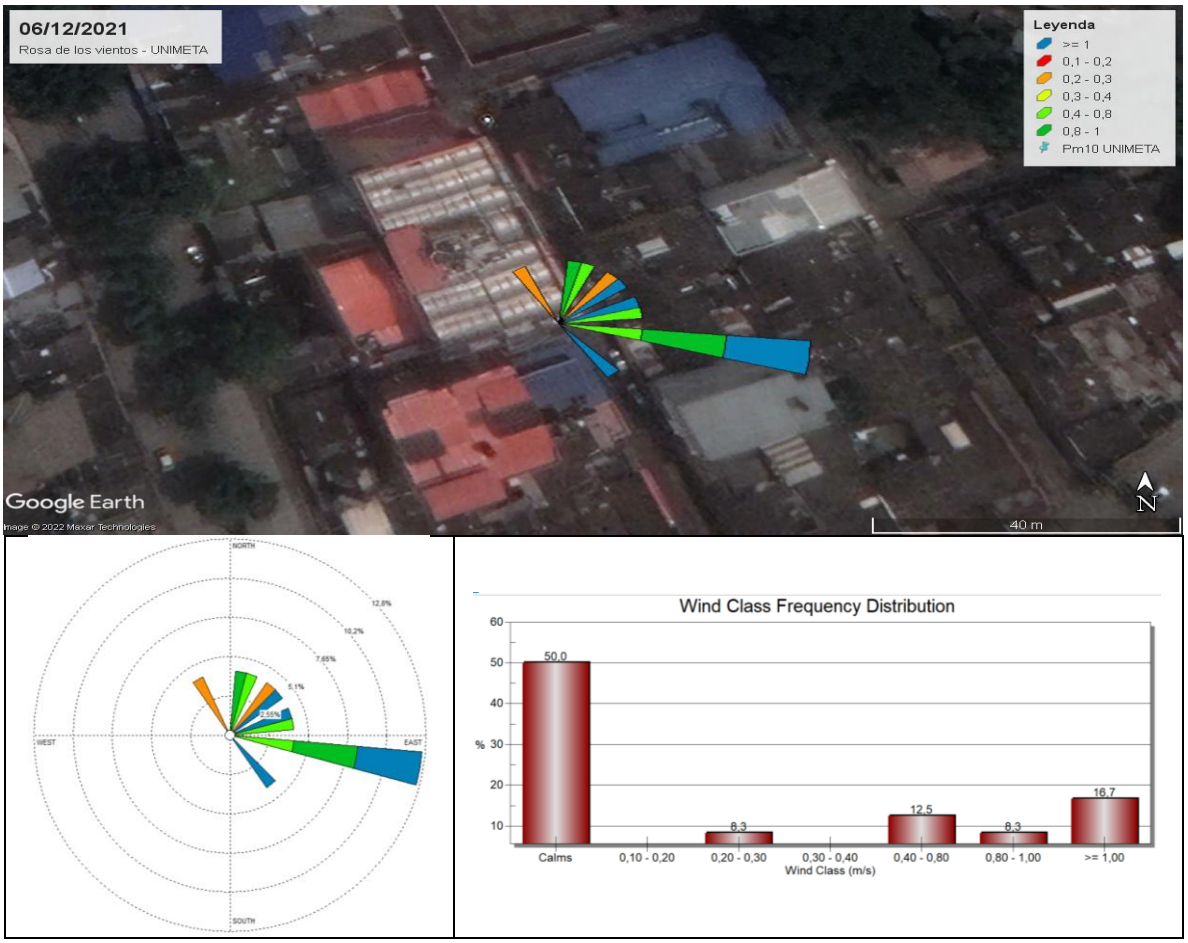


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 5 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 y 0,30 m/s, estas velocidades mínimas con una distribución de frecuencia de 12,50%, siendo así la velocidad más predominante durante este día, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 62,50%.

06 diciembre 2021

***Figura 15**. Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 6 de diciembre del 2021.*



***Fuente:** Elaboración propia 2022*

El 6 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s, teniendo un porcentaje de frecuencia del 16,70%, siendo el porcentaje que prevalece entre las demás y velocidades mínimas entre 0,20 y 0,30 m/s, la dirección de los vientos predominante, es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 50,00%.

07 diciembre 2021

Figura 16 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 7 de diciembre del 2021*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 7 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, la frecuencia de distribución arroja un 8,30% para velocidades de 0,40 m/s a 0,80 m/s y mayores o iguales a 1 m/s, la dirección de los vientos predominante, es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 25,00% durante el día

08 diciembre 2021

Figura 17 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 8 de diciembre del 2021.*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 8 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, siendo estas velocidades mínimas las de mayor frecuencia de distribución en este día con un 20,80%, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 50,00%.

09 diciembre 2021

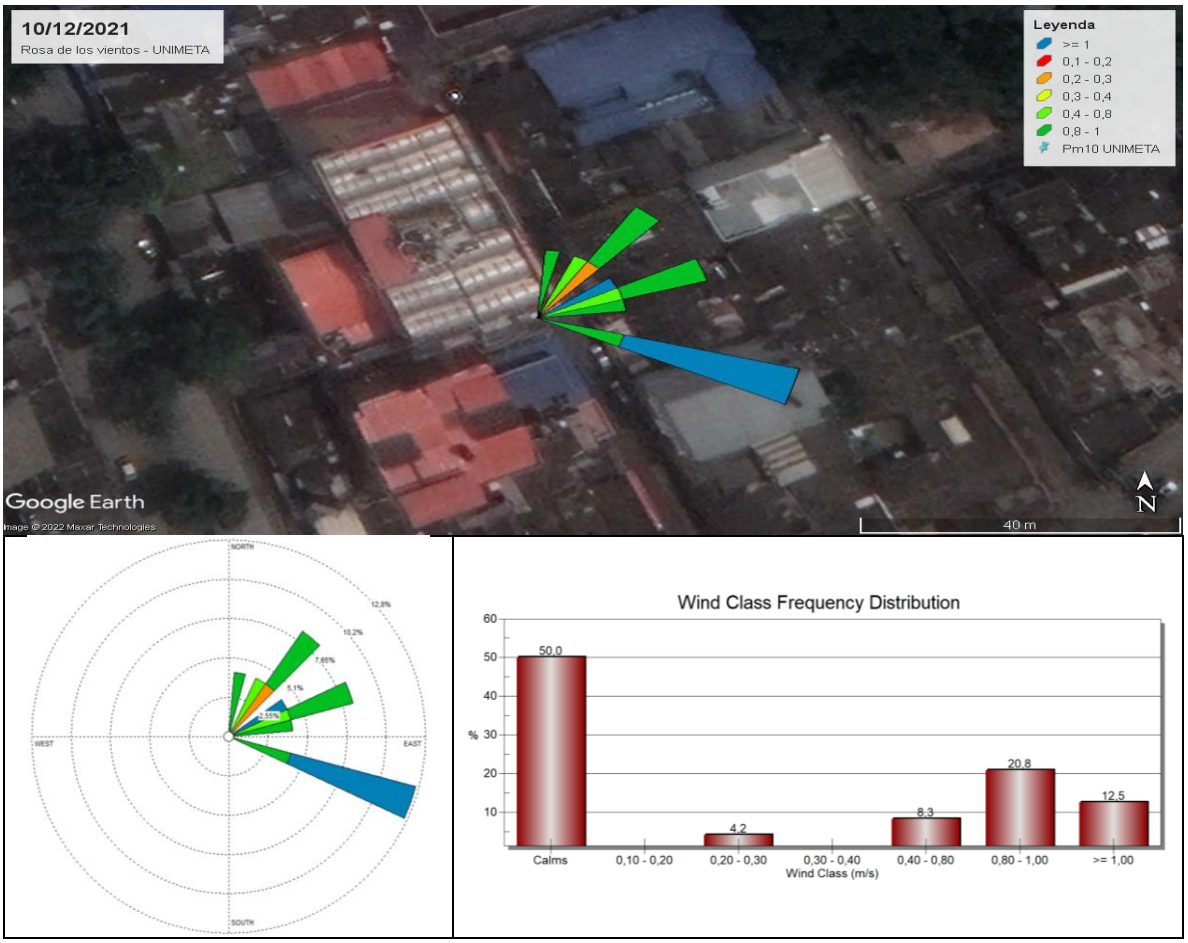
Figura 18 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 9 de diciembre del 2021.*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 9 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas de 0,40 m/s a 0,80 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, siendo estas velocidades mínimas las más frecuentes en este día con un porcentaje de frecuencia de distribución del 16,70%, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 70,80%.

10 diciembre 2021

Figura 19 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 10 de diciembre del 2021.*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 10 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, el porcentaje máximo de frecuencia de distribución fue de 20,80% para las velocidades de 0,80 m/s a 1 m/s, la dirección de los vientos predominante, es proveniente del noreste y con un porcentaje de calma del 50,00% para este día.

11 diciembre 2021

Figura 20 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 11 de diciembre del 2021*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 11 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, teniendo estas velocidades mínimas el porcentaje más alto en la frecuencia de distribución de este día con un 29,20%, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 50.00%.

12 diciembre 2021

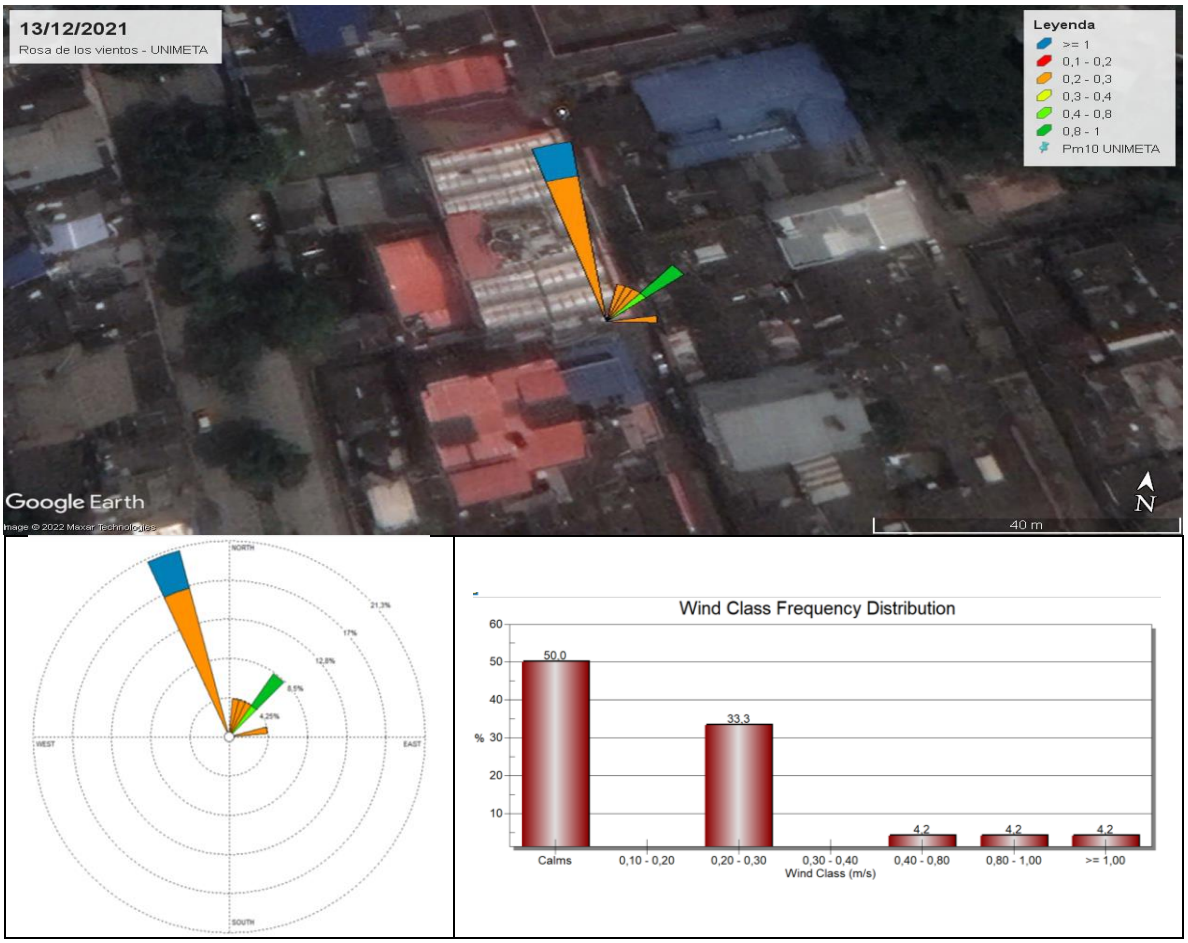
Figura 21 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 12 de diciembre del 2021.*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 12 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 y 0,30 m/s, siendo estas velocidades máximas y mínimas las más frecuentes durante este día, con un porcentaje del 12,50% como se evidencia en la gráfica de distribución de frecuencias, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma del 58,30%.

13 diciembre 2021

Figura 22 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 13 de diciembre del 2021.*

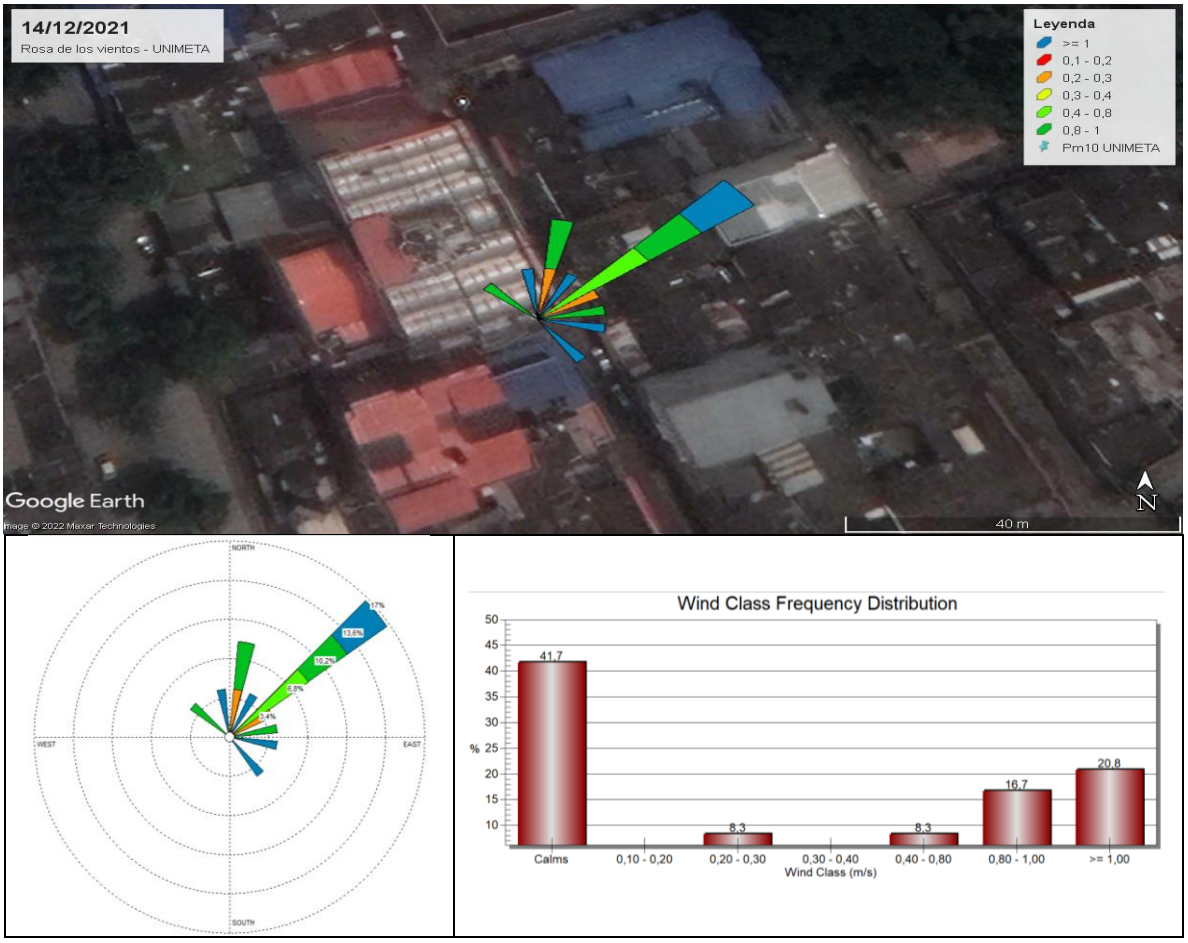


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 13 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 m/s y 0,30 m/s, siendo estas velocidades mínimas las más frecuentes en este día con el 33,30% de frecuencia de distribución, la dirección de los vientos predominante proviene del noreste y donde se obtuvo un porcentaje de calma de 50,00%.

14 diciembre 2021

Figura 23 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 14 de diciembre del 2021.*

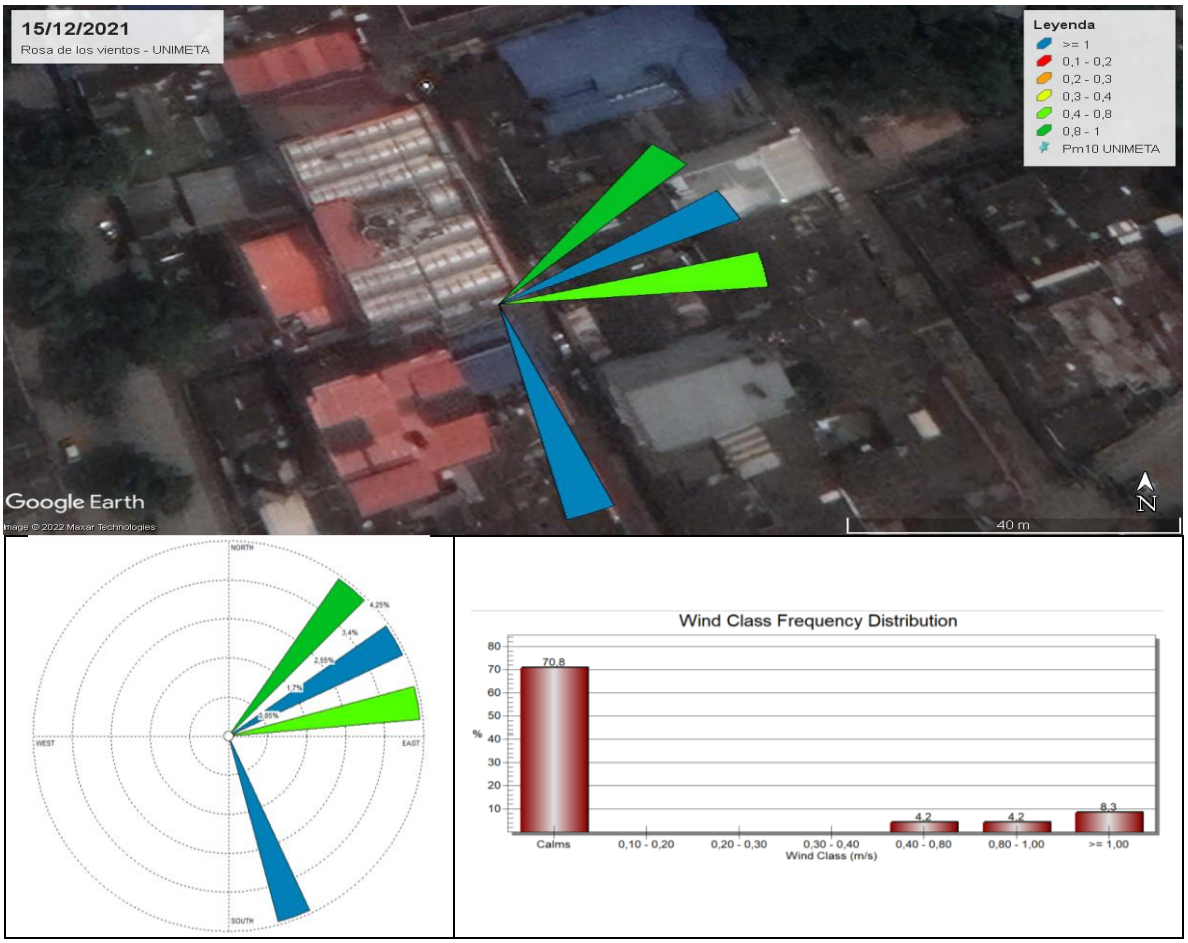


Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 14 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,20 y 0,30 m/s, siendo las velocidades máximas las más frecuentes durante este día con un porcentaje de 20,80% de frecuencia de distribución, la dirección de los vientos predominante proviene del noreste y con un porcentaje de calma de 41,70%.

15 diciembre 2021

Figura 24 *Rosa de los vientos en la zona de estudio y la frecuencia de distribución de las clases de viento 15 de diciembre del 2021.*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

El 15 de diciembre de 2021 se obtuvo velocidades máximas mayores o iguales a 1 m/s y velocidades mínimas entre 0,40 m/s a 0,80 m/s, siendo las velocidades máximas las más frecuentes durante este día, con un porcentaje de 8,30% de frecuencia de distribución, la dirección de los vientos predominante es proveniente del noreste y con un porcentaje de calma de 70,80%.

10.3 Incertidumbre de la medición y regla de decisión

En esta investigación se tendrá en cuenta el método de análisis de muestra del laboratorio de acuerdo con el parámetro de medición, de tal forma que las concentraciones obtenidas puedan presentar una variación donde serán contempladas a la hora de hacer la comparación con la resolución 2254 de 2017 y la OMS de 2005.

Tabla 6 *Cálculo de la incertidumbre*

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE			
Incertidumbre de la masa	Incertidumbre del Flujo	Volumen e incertidumbre	Incertidumbre expandida de la medición
0,25160969 μg	0,01 m^3/min	13,5m^3	$= \frac{0{,}25160969\ \mu g}{13{,}5 m^3/min}$
			= 0,02 $\boldsymbol{\mu m/m^3}$

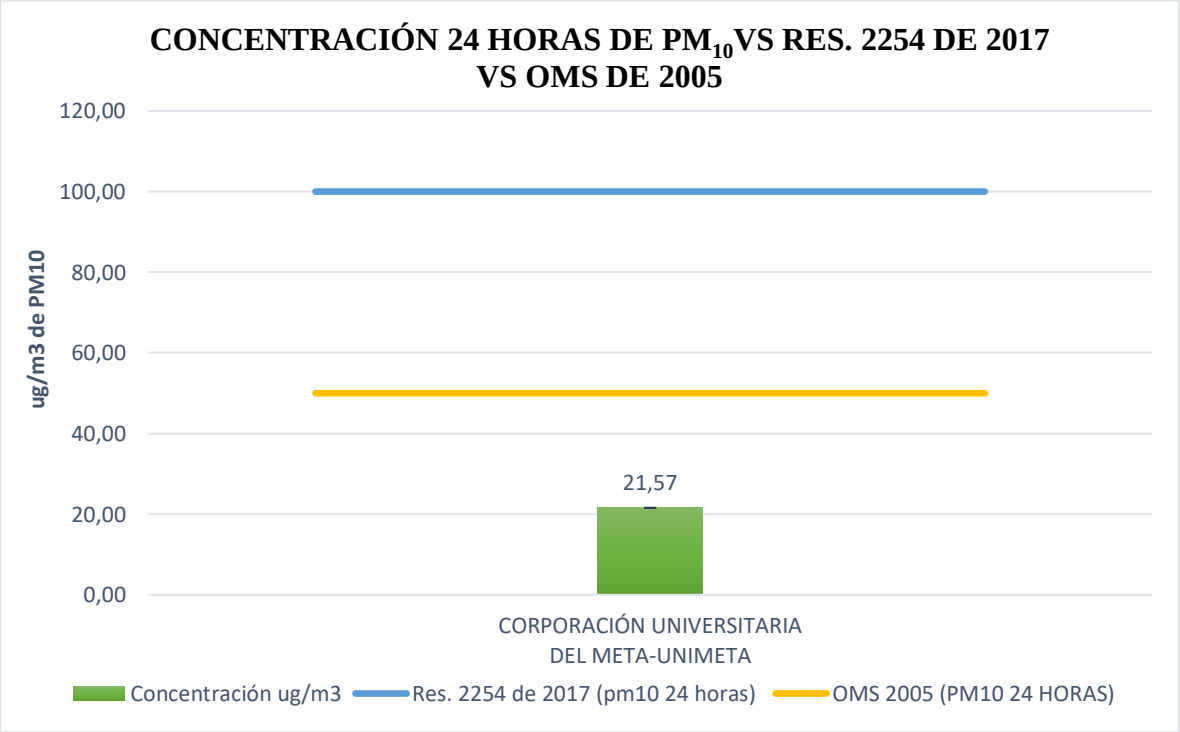
Fuente: *Elaboración propia 2022*

Tabla 7 *Incertidumbre de la medición*

PM_{10}						
Identificación del punto	Concentración $\mu g\ /m^3$	Incertidumbre	Limite Res. 2254/2017	Valor + incertidumbre	Res. 2254 de 2017 (PM_{10} 24 horas)	OMS 2005 (PM_{10} 24 horas)
Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA	21,57	0,02	100	21,58	100	50

Fuente, *Elaboración propia 2022*

Gráfico 1 *Incertidumbre PM10*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

De acuerdo al gráfico 1 se evidencian las concentraciones promedio de material particulado menor o igual a 10 micrometros PM_{10}, en la estacion de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, donde fue inferior al limite maximo permisible de 100 $\mu g/m^3$ de la resolución 2254 de 2017 [4] y el limite permisible de 50 $\mu g/m^3$ de la OMS de 2005 [70], con una concentración de 21,57 $\mu g/m^3$. Por lo tanto, al aplicar la incertidumbre expandida se evidencia que este no logra sobre pasar las normas y se aprecia el cumplimiento normativo.

10.4 Análisis datos Meteorológicos

Se muestra la meteorología reportada durante los 14 días de monitoreo, con la estación meteorológica Ambient Weather 2902, obteniendo como resultado diferentes variables, como lo son: la temperatura, el punto de roció, la lluvia y el porcentaje de humedad.

Imagen 1. *Estación Meteorológica Ambient Weather 2902C*

Fuente: *Elaboración propia 2022*

Como se observa en la tabla 6 y el gráfico 2, la temperatura mínima durante los días de muestreo fue de 25,83 ºC, el 9 de diciembre del 2021 y la máxima de 28,59 ºC, reportada el 1 de diciembre de 2021, además se evidencia que la concentración no tiene una relación directa, puesto que como se observa, algunos días que presentan altas temperaturas presentan bajas concentraciones y aquellos que presentan temperaturas bajas, presentan altas concentraciones para los dos casos.

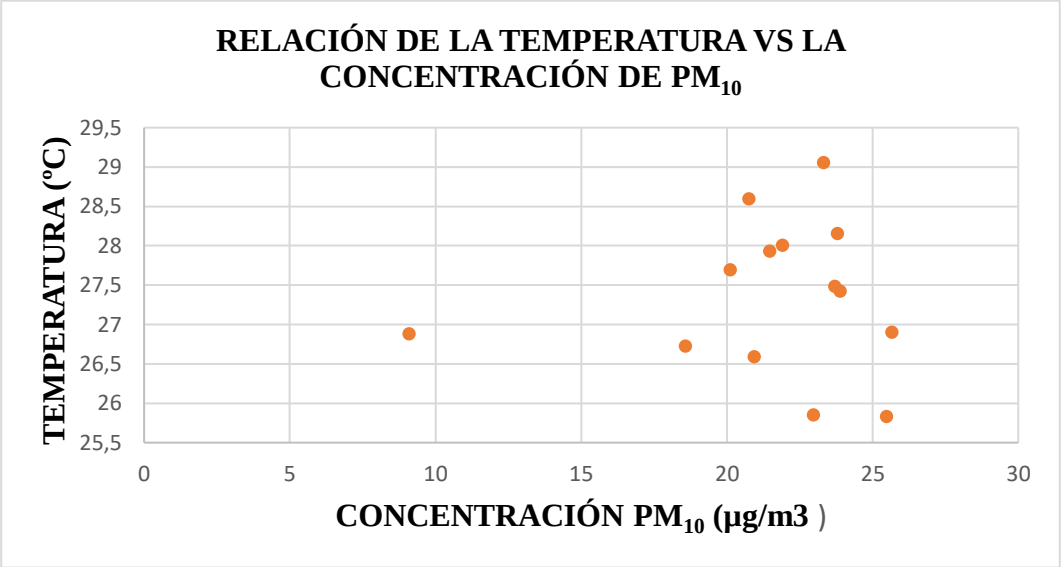
Claramente se puede observar que la temperatura y la concentración sí estuvieron en rangos cercanos, a excepción del día 10 de diciembre, donde se observa que la concentración está a una distancia mayor a la temperatura, esto debido a que este día se presentó un daño, el cual no permitió que el equipo recogiera material particulado en las 24 horas del día.

Tabla 8 *Datos meteorológicos de temperatura en relación con la concentración de* PM_{10}

FECHA	TEMPERATURA °C	C PM_{10}
1/12/2021	28,59	20,7815
2/12/2021	28,15	23,8153
3/12/2021	28,00	21,9314
4/12/2021	29,05	23,3364
5/12/2021	26,72	18,5922
6/12/2021	27,93	21,4861
7/12/2021	25,85	22,9821
8/12/2021	27,69	20,1285
9/12/2021	25,83	25,4905
10/12/2021	26,88	9,1195
12/12/2021	26,59	20,9482
13/12/2021	26,90	25,6730
14/12/2021	27,48	23,7226
15/12/2021	27,42	23,9043

Fuente: *Elaboración propia 2022*

Gráfico 2 *Relación de temperatura y la concentración de* PM_{10}



Fuente: *Elaboración propia 2022*

En la tabla 7, se observa otra variable meteorológica importante, el punto de roció, la cual tuvo el comportamiento en la gráfica 3, donde se evidencia que, durante los 14 días de muestreo, las temperaturas máximas y mínimas fueron de 17,41 ºC y 21,20 ºC, temperaturas a las cuales a diario tuvo que descender el aire para realizar el proceso de condensación del vapor de agua presente en este.

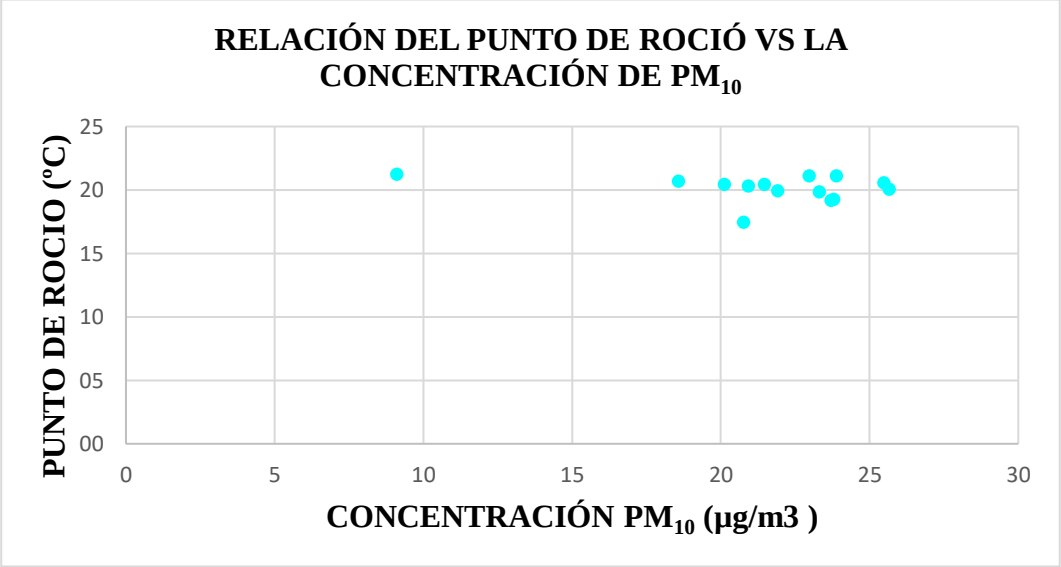
Tabla 9 *Datos meteorológicos Punto de roció y la relación con la concentración de* PM_{10}

FECHA	PUNTO ROCIO °C	PM_{10}
1/12/2021	17,41	20,7815
2/12/2021	19,25	23,8153
3/12/2021	19,93	21,9314
4/12/2021	19,84	23,3364
5/12/2021	20,67	18,5922
6/12/2021	20,42	21,4861

FECHA	PUNTO ROCIO °C	PM_{10}
7/12/2021	21,08	22,9821
8/12/2021	20,42	20,1285
9/12/2021	20,56	25,4905
10/12/2021	21,20	9,1195
12/12/2021	20,27	20,9482
13/12/2021	20,03	25,6730
14/12/2021	19,16	23,7226
15/12/2021	21,10	23,9043

Fuente, *Elaboración propia 2022*

Gráfico 3 *Relación de punto de roció y la concentración de* PM_{10}



Fuente: *Elaboración propia 2022*

La variable meteorológica anterior, es dependiente del porcentaje de humedad que hubo en el día, por lo tanto, como se muestra en la tabla 8 y en el gráfico 4, la humedad tiene relación, puesto que las partículas se unen por electroestática, siendo así que cuando la temperatura ambiente llegue al

punto de roció como se observa en el gráfico 3, se tendrá la humedad relativa, ya que el aire se condensa, por saturación se obtendrá el punto de roció, es decir que durante los 14 días de muestreo se relacionan como en la tabla 8.

Tabla 10 Relación punto de roció y humedad

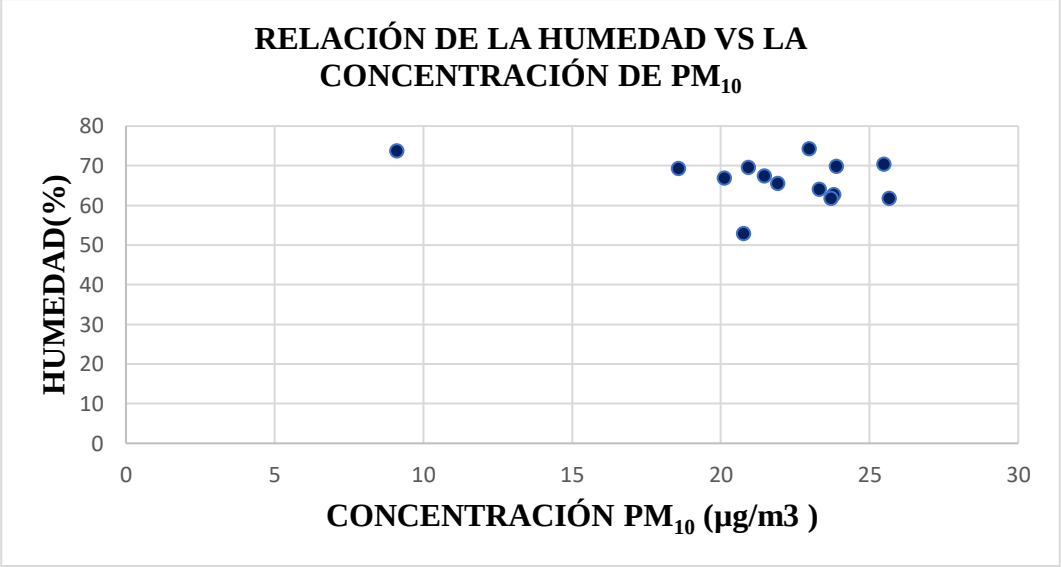
FECHA	PUNTO ROCIO °C	% HUMEDAD
1/12/2021	17,41	52,85
2/12/2021	19,25	62,58
3/12/2021	19,93	65,52
4/12/2021	19,84	63,97
5/12/2021	20,67	69,20
6/12/2021	20,42	67,36
7/12/2021	21,08	74,21
8/12/2021	20,42	66,76
9/12/2021	20,56	70,25
10/12/2021	21,20	73,67
12/12/2021	20,27	69,48
13/12/2021	20,03	61,64
14/12/2021	19,16	61,73
15/12/2021	21,10	69,73

Fuente: *Elaboración propia 2022*

Se observa el comportamiento de la humedad, siendo esta producida cuando se alcanza el 100% y se produce el fenómeno de la condensación, por lo tanto, el vapor de agua se encuentra en estado gaseoso y en este proceso pasa a estado líquido.

El gráfico 4 evidencia que el mayor porcentaje de humedad fue de 74,21% el día 7 de diciembre y el menor porcentaje de humedad fue de 52,85% el día 1 de diciembre coincidiendo este día con los ºC a los que llego el punto de roció, de acuerdo con esta humedad.

Gráfico 4 *Relación humedad y concentración de* PM_{10}



Fuente: *Elaboración propia 2022*

Es decir que el primero de diciembre se obtuvo el punto de roció mínimo, para que esto sucediera, la temperatura debió llegar a 17,41 °C y el porcentaje de humedad del aire fue del 52,85 % generando así la condensación, donde se obtuvo un valor máximo de 21,20 °C y un porcentaje de humedad de 73,67%.

Por último, está la variable meteorológica, que es la precipitación, la cual se observa en la tabla 9 y evidencia su comportamiento en el gráfico 5, en donde es evidente los pocos milímetros de lluvia

durante los días de muestreo, teniendo como resultado 5 días de lluvia entre 0,01milímetros y 0,59 milímetros.

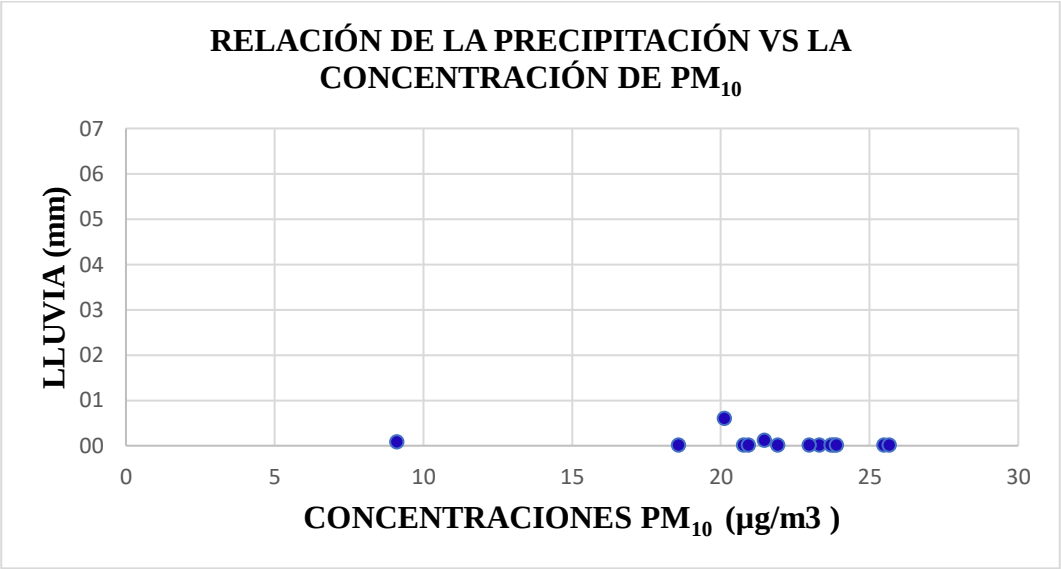
Tabla 11 *Relación de la precipitación y la concentración de pm10*

FECHA	LLUVIA mm	PM10
1/12/2021	0,00	20,7815
2/12/2021	0,00	23,8153
3/12/2021	0,00	21,9314
4/12/2021	0,01	23,3364
5/12/2021	0,01	18,5922
6/12/2021	0,11	21,4861
7/12/2021	0,00	22,9821
8/12/2021	0,59	20,1285
9/12/2021	0,00	25,4905
10/12/2021	0,08	9,1195
12/12/2021	0,00	20,9482
13/12/2021	0,00	25,6730
14/12/2021	0,00	23,7226
15/12/2021	0,00	23,9043

Fuente: *Elaboración propia 2022*

Como se evidencia en la gráfica 5, los mm de precipitación son muy bajos, y se puede decir que está más relacionada a la condensación que hubo ciertos días a ciertas horas, lo cual no se podría retribuir a días de lluvia como tal, por lo tanto, no se observa una relación directa con la concentración.

Gráfico 5 *Relación de precipitación con la concentración de pm10*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

10.5 Índice De Calidad Del Aire ICA

El Índice de Calidad del Aire (ICA) está relacionado en una escala numérica donde se asigna un código de colores, este índice es adimensional y su valor oscila entre 0 y 500 donde reporta el estado en el que se encuentra la calidad del aire asociándolo a unos efectos en general, importante de resaltar y tener en cuenta para reducir la exposición de la población y los ecosistemas a las altas concentraciones de los contaminantes[71].

En relación a los contaminantes el ICA de forma independiente calcula seis, estos contaminantes criterios contemplados en la normatividad nacional son: Ozono (O3), Material particulado menor a 10µm (PM_{10}), Material particulado menor a 2.5µm ($PM_{2.5}$), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO2) y Dióxido de Nitrógeno (NO2) [54].

Tabla 12 *Rangos Calidad del Aire*

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O_3 8h ppm	O_3 1h Ppm (1)	PM_{10} 24h µg/m³	$PM_{2.5}$ 24h µg/m³	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

Fuente*: Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010*

El ICA se calcula a partir de la siguiente ecuación, correspondiente a la metodología utilizada por la EPA para el cálculo del AQI y de esta manera se reporta el mayor valor que se obtenga del cálculo del contaminante medido que corresponde al PM_{10} donde sus unidades se conservan en $\mu g/m^3$.

En base del indicador este permite establecer el estado de la calidad del aire de acuerdo con el rango establecido para el contaminante criterio asociado al rango de valores y la tabla de colores

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}}(C_P - BP_{LO}) + I_{LO}$$

Donde:

IP= Índice para el contaminante P

CP= Concentración medida para el contaminante P

BPHi= Punto de corte mayor o igual a CP

BPLo= Punto de corte menor o igual a CP

IHi= Valor del índice de Calidad del Aire correspondiente al BPHi

ILo= Valor del índice de Calidad del Aire correspondiente al BPLo

Tabla 13 *Concentración para el cálculo de Ip*

ESTACIÓN	PM_{10} (24h) µg/m^3
Corporación Universitaria del Meta-Unimeta	21,565

Fuente: *propia 2022*

Tabla 14 *Cálculos de Ip, ICA*

ESTACIÓN	Índice para PM_{10} (24h) µg/m^3
Corporación Universitaria del Meta-Unimeta	$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}}(C_P - BP_{LO}) + I_{LO}$ $I_P = \frac{50 - 0}{50 - 0} * (21{,}565 - 0) + 0$ $\boldsymbol{I_p} = 19{,}97\ \mu m/m^3$

Fuente: *propia 2022*

De acuerdo a los resultados de los cálculos del ICA, como está basado en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010, se obtuvo la clasificación y los efectos en la salud humana de la calidad del aire, del campus San Fernando de la Corporación universitaria del Meta – UNIMETA.

Según los resultados de los cálculos el Índice para el contaminante p (Ip) es de 19,97 $\mu m/m^3$, lo cual indica que se encuentra en un rango de 0-50, como se puede evidenciar en la tabla 4, esto demuestra una clasificación buena, sin efecto ninguno a la salud ni acciones preventivas.

Tabla 15 *Resultados ICA Pm10*

ICA PM_{10} µg/m3 (24horas)				
Punto monitoreado	**ICA calculado**	**ICA clasificación**	**PM10 µg/m^3**	
			Efectos a la salud	**Acciones preventivas**
Corporación Universitaria del Meta-Unimeta		0-50 Buena	Ninguno	Ninguna

Fuente: *Elaboración propia 2022*

Tabla 16 *Descripción general del Índice de Calidad del Aire*

Rango	Color	Estado	Efectos
0-50	Verde	Buena	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud.
51-100	Amarillo	Aceptable	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles.
101-150	Naranja	Dañino a la salud de los grupos sensibles	Los grupos poblacionales sensibles como las personas con enfermedades pulmonares, niños, adultos mayores pueden presentar efectos sobre la salud. 1) Ozono Troposférico: Debe reducir su exposición a los contaminantes del aire. 2) Material particulado: Se consideran sensibles y por lo tanto en mayor riesgo.
151-200	Rojo	Dañino para la salud	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud
201-300	Purpura	Muy dañino para la salud	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
301-500	Marrón	Peligrosa	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud

Fuente*: Resolución 2254 de 2017, Articulo 18 – Tabla No. 5.*

Tabla 17 *Acciones preventivas de acuerdo con el rango y al valor de Calidad de Aire*

ICA	**O_3 8h ppm**	**O_3 1h ppm**	**PM10 24h µg/m^3**	**PM2.5 24h µg/m^3**	**CO 8h ppm**	**SO_2 24h ppm**	**NO_2 1h ppm**
0-50	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
51-100 Moderada			Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como	Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar			

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
			asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada	como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada			
101-150 Dañina para grupos sensibles	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben		Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire	

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
	reducir la actividad física al aire libre		fuerte o prolongada	fuerte o prolongada	deben reducir la actividad física y las fuentes de CO como el tráfico pesado	libre	
151-200 Dañina a la salud	Niños y adultos activos y personas con enfermedades respiratorias, deben reducir la actividad física prolongada al aire libre,		Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina, deben reducir	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades	

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
	especialmente los niños.				moderadamente el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	cardiacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre	
201-300 Muy dañina a la salud	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma, deben		Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben	Personas con enfermedades cardiovasculares como la angina,	Niños, asmáticos y personas con enfermedades	Niños y personas con enfermedades respiratorias como

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
	reducir la actividad física al aire libre; especialmente		evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada	evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada	deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado	cardiacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre; todos los demás deben reducir el esfuerzo al aire libre	asma deben reducir el esfuerzo al aire libre
301-500 Peligrosa	Todas las personas deben evitar el		Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire	Personas con enfermedades	Niños, asmáticos y	Niños y personas

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
	esfuerzo al aire libre		libre	libre	cardiovasculares como la angina, deben reducir el esfuerzo y evitar la exposición a fuentes de CO como el tráfico pesado; todos los demás deben limitar el	personas con enfermedades cardiacas o pulmonares no deben estar al aire libre; todos los demás deben evitar el esfuerzo al aire	con enfermedades respiratorias como asma, deben reducir el esfuerzo moderado o pesado al aire libre.

ICA	O_3 8h ppm	O_3 1h ppm	PM10 24h µg/m^3	PM2.5 24h µg/m^3	CO 8h ppm	SO_2 24h ppm	NO_2 1h ppm
					esfuerzo	libre	

Fuente: *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, 2010*

10.6 Análisis aforo vehicular y relación con concentraciones de PM_{10}

Junto al método de muestreo con el equipo Hi-Vol y a la recolección de datos en la estación meteorológica, se llevó a cabo otro método importante en la investigación, el cual fue un aforo vehicular en los mismos días que inicio y finalizó el muestreo.

Se realizó un aforo vehicular de tránsito diario (TD) que circula durante todo el día por la calle 33 (parque de los estudiantes) y carrera 32 (parque banderas de La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA), con el fin de poder conocer qué relación tiene con las concentraciones de PM_{10} monitoreadas durante los 14 días.

El aforo vehicular se llevó a cabo desde el 1 de diciembre, hasta el 15 de diciembre, igual que el monitoreo. El procedimiento fue ejecutado por medio de conteos cada 15 minutos por un periodo de cada 2 horas pico (7 am a 9 am, 12pm a 2 pm y 5 pm a 7 pm) durante 14 días seguidos y fue ejecutado por María Fernanda Bayona, María José Jiménez, Katherine Guacarapare y Stephany Montoya. Se hizo desde el edificio Héroes del pantano de Vargas de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, debido a la seguridad, teniendo en cuenta que si se realizaba fuera de las instalaciones de la Universidad se corría el riesgo de exponerse ante la delincuencia.

En la tabla 14 se observan los resultados del aforo vehicular realizado en los 14 días. En la carrera 32, el día que tuvo mayor flujo vehicular fue el sábado 4 de diciembre y, en la calle 33, el mayor flujo vehicular fue el jueves 9 de diciembre. (**ver anexo N°9** datos de aforo vehicular).

Tabla 18 *Resultados aforo vehicular calle 33 y carrera 32*

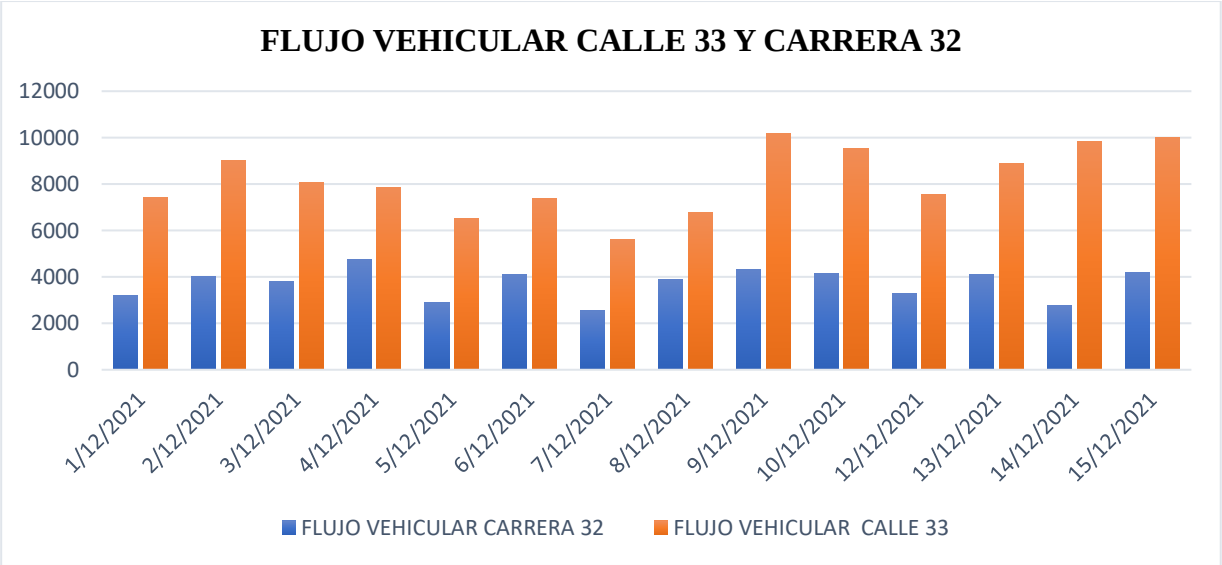
FECHA	FLUJO VEHICULAR CARRERA 32	FLUJO VEHICULAR CALLE 33
1/12/2021	3178	7440
2/12/2021	4021	9025

FECHA	FLUJO VEHICULAR CARRERA 32	FLUJO VEHICULAR CALLE 33
3/12/2021	3814	8069
4/12/2021	4752	7853
5/12/2021	2882	6527
6/12/2021	4120	7392
7/12/2021	2538	5623
8/12/2021	3894	6785
9/12/2021	4304	10195
10/12/2021	4152	9530
12/12/2021	3287	7534
13/12/2021	4113	8893
14/12/2021	2767	9847
15/12/2021	4183	10018

Fuente: *Elaboración propia 2022*

De acuerdo con la gráfica y la relación de flujo vehicular de la calle 33 y carrera 32 se puede evidenciar que hay un flujo más alto en la calle 33 debido a que hay un total de 4 carriles, es decir, 2 carriles por cada sentido a diferencia de la carrera 32 que tiene 4 carriles correspondientes al sentido Sur Norte.

Gráfico 6 *Flujo vehicular parque carrera 32 vs calle 33*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

En el día 7 de diciembre se evidencia una de las festividades más tradicionales de Colombia, donde se celebra el dogma de la Inmaculada Concepción de la Virgen María, por parte de la Alcaldía de la ciudad de Villavicencio, donde cerraron la vía en la calle 33 y la carrera 32 a las 5 pm, volviendo a dar paso vehicular a las 10 pm. De acuerdo con esta hora del cierre de la vía y que estaban dentro de las horas pico contempladas para aforar, no se registraron datos por ende dio un menor número de flujo vehicular a diferencia de los otros días.

El sábado 11 de diciembre no se registró ningún dato, debido a que ese día no se aforó, por el daño ocurrido con las escobillas que presentó el equipo Hi-Vol de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA. Ese día se estuvo solucionando esta falla técnica y gestionando el arreglo de este equipo para continuar con todos los procedimientos establecidos en esta investigación. En la tabla 11 se evidencia el total de flujo vehicular de la calle 33 y la carrera 32, más la concentración

de PM_{10}, donde en la mayoría de los resultados del flujo vehicular va acorde con los resultados de las concentraciones de PM_{10}.

Tabla 19 *Total de flujo vehicular calle 33 y carrera 32 más la concentración de PM10*

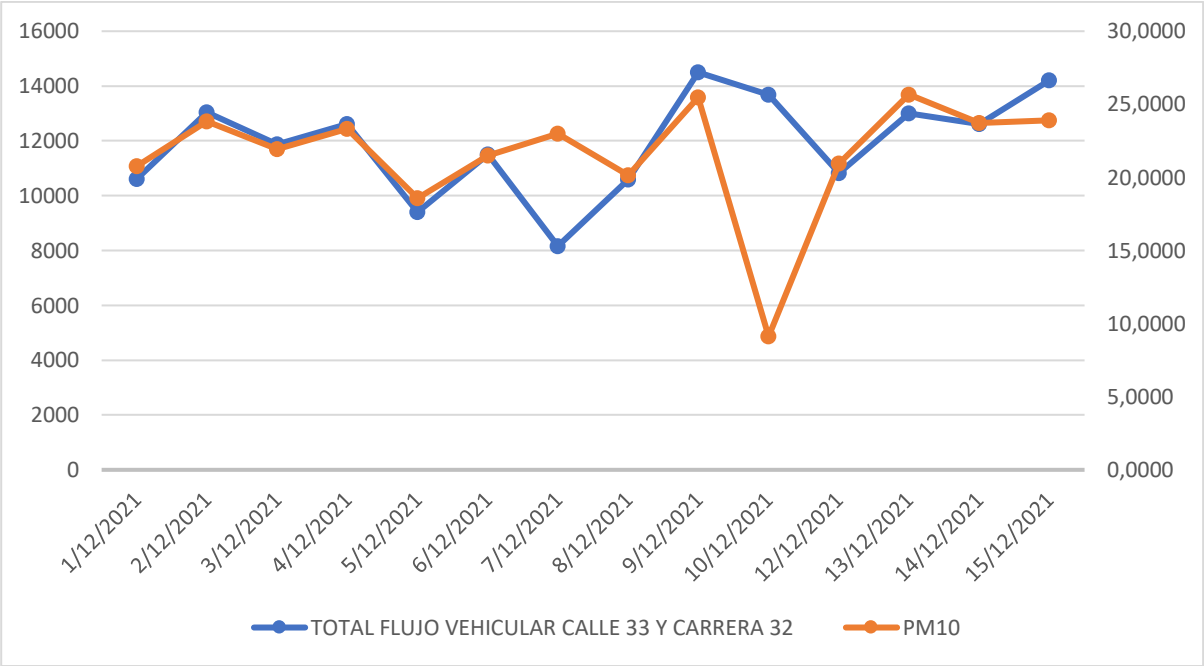
FECHA	TOTAL, FLUJO VEHICULAR CALLE 33 Y CARRERA 32	PM_{10}
1/12/2021	10618	20,7815
2/12/2021	13046	23,8153
3/12/2021	11883	21,9314
4/12/2021	12605	23,3364
5/12/2021	9409	18,5922
6/12/2021	11512	21,4861
7/12/2021	8161	22,9821
8/12/2021	10589	20,1285
9/12/2021	14499	25,4905
10/12/2021	13682	9,1195
12/12/2021	10821	20,9482
13/12/2021	13006	25,6730
14/12/2021	12614	23,7226
15/12/2021	14201	23,9043

Fuente: *Elaboración propia 2022*

En base a la relación de los resultados de flujo vehicular y la concentración de PM_{10}, del miércoles 1 de diciembre, hasta el lunes 6 de diciembre van acorde los resultados, significando cierta relación; pero en el día 7 de diciembre donde se presenta un resultado de 8161 vehículos transitando, siendo este el más bajo de los 14 días aforados, como esta en la gráfica 7, se observa que en este día no hay ninguna relación con el resultado de la concentración de PM_{10} que fue de 22,9821 $\mu g/m^3$ siendo este resultado alto para el número de vehículos tan bajo. Como se explicaba

anteriormente este resultado del aforo del día 7 sucedió por el cierre vías entre ellas la calle 33 y carrera 32 debido a las actividades de la celebración de la Inmaculada Concepción (Noche de las Velitas).

Gráfico 7 *relación de flujo vehicular parque carrea 32 y calle 33 y concentración de PM10*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

Por otra parte, pasa lo contrario con el día viernes 10 de diciembre, donde se presentó un resultado de 13682 número de vehículos y una concentración de PM_{10} de 9,1195 $\mu g/m^3$; presentando gran diferencia en la relación de vehículos y la concentración del contaminante PM_{10}, por tal motivo se observa de esa manera en la gráfica 7, esta diferencia de relación sucedió debido a los hechos ocurridos en cuanto al daño del equipo que no operó las 24 horas contempladas, por el desgaste de escobillas que presentó, ocasionando que el filtro no recogiera el suficiente material particulado para que la concentración fuera mayor en este mismo día 10 de diciembre.

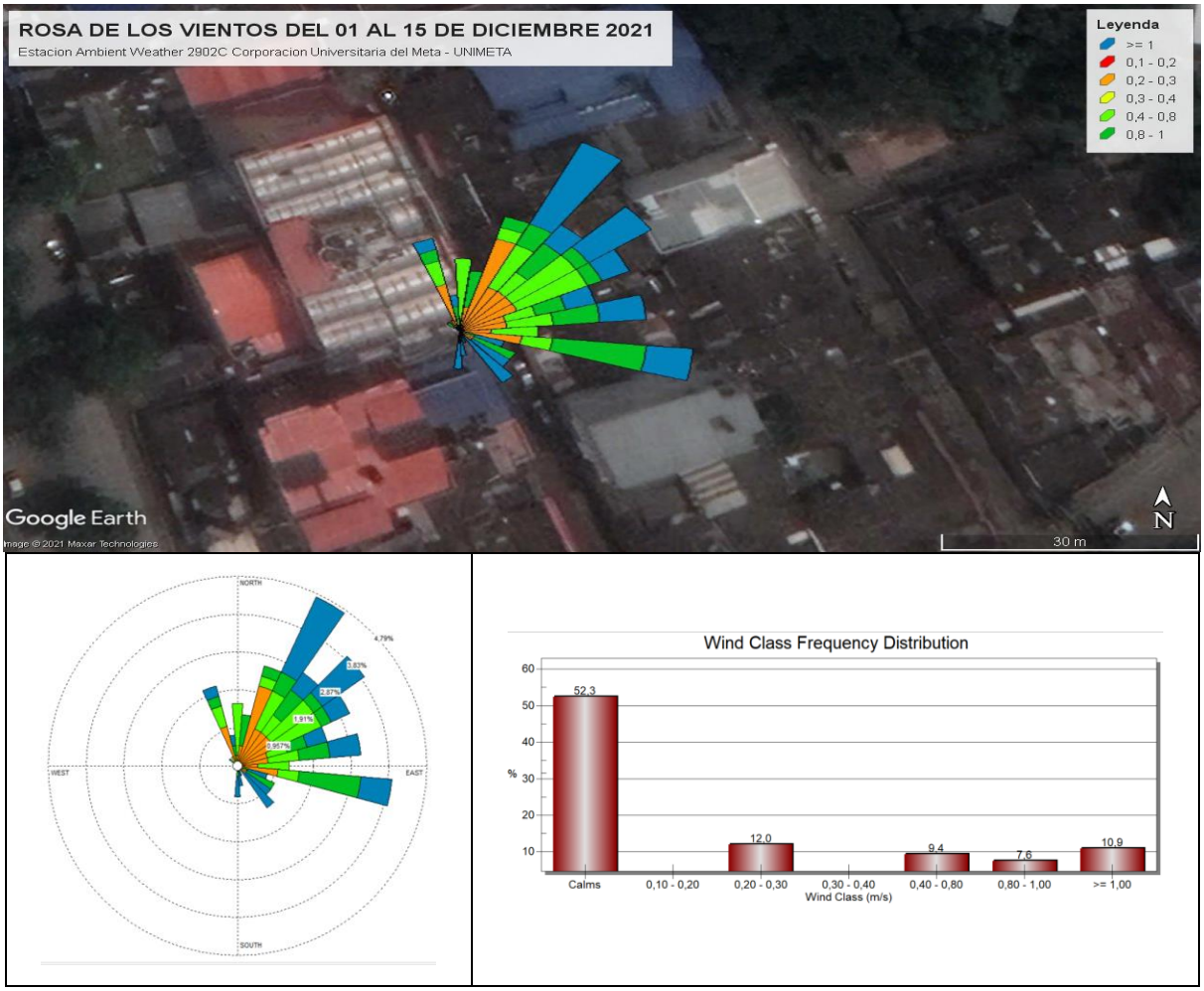
El día de mayor flujo vehicular se presentó el jueves 9 de diciembre, donde tuvo una relación acorde con la concentración de PM_{10} que fue de 25,4905 $\mu g/m^3$, uno de los días más altos en concentraciones de PM_{10} junto al lunes 13 de diciembre con una concentración de 25,6730 $\mu g/m^3$. De acuerdo con los resultados y al análisis de la gráfica 7, se puede deducir que el flujo vehicular si influye en la calidad del aire generando PM_{10}, ya que en la mayoría de los primeros días se evidencia una relación existente. Pero al mismo tiempo se concluye que no solamente las fuentes móviles son las que ocasionan este contaminante, ya que en los últimos días la concentración de PM_{10} esta un poco más alta a la del valor del flujo vehicular, esta concentración pudo ser ocasionada no solamente por las fuentes móviles, sino también por las construcciones y demoliciones que se estaban llevando a cabo fuera y dentro de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA.

El total de vehículos presentado anteriormente corresponde a las horas pico de la zona de estudio, es decir, que son los valores máximos de flujo vehicular diarios durante los 14 días de muestreo, así pues no se presenta una estadística de la totalidad del flujo vehicular diario, debido a que sería inviable, fraccionar los vehículos en cantidades iguales en las diferentes horas día faltantes, puesto que la cantidad de vehículos que transitan disminuye bastante en horas de la madrugada y en horas de la noche, como también varia un poco el flujo vehicular en la zona los fines de semana, dado qué parte de la población suele desplazarse a municipios o ciudades aledañas los fines de semana[17] .

11. Discusión

Durante la dispersión del $Pm_{10,}$ se contempló el uso de una estación meteorológica, tal como lo solicita el Protocolo de Calidad del Aire y lo estipula el manual de diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, especialmente para determinar las condiciones del viento (dirección y velocidad), por esto la importancia de la está, ubicada exactamente en el mismo punto del equipo [55].

Gráfico 8 *Comportamiento de la dirección y la velocidad del viento durante el 1 de diciembre al 15 de diciembre del 2021*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

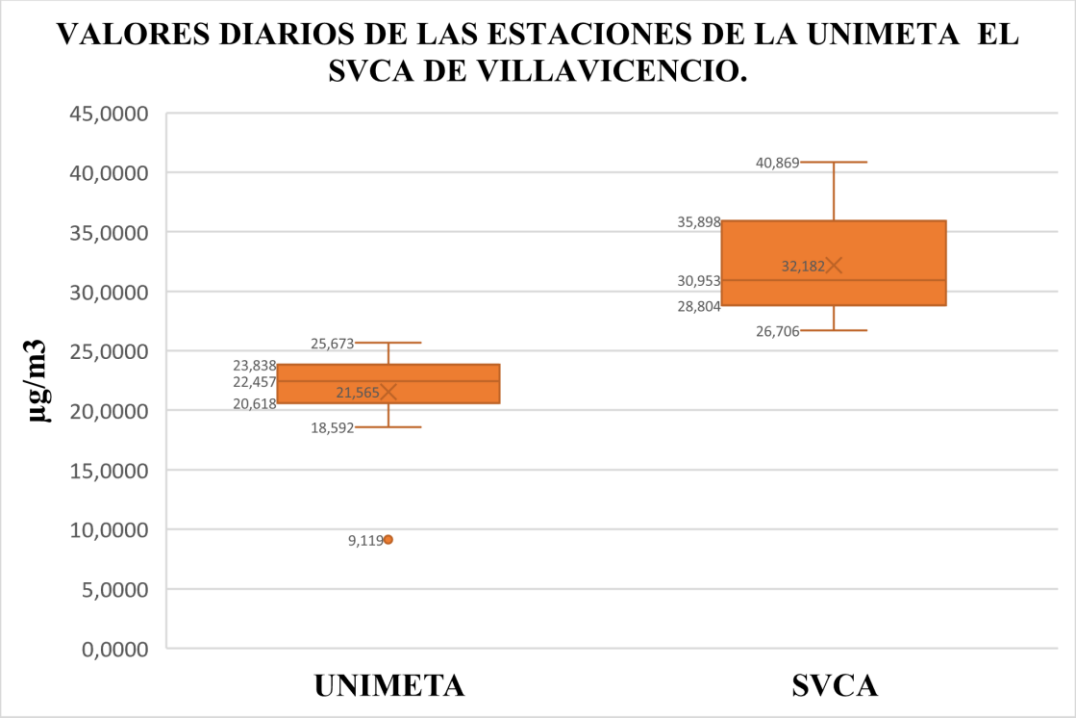
Las variables más importantes, fueron la dirección y la velocidad del viento, los cuales arrojaron una rosa de los vientos durante los 14 días de muestreo como se observa en el gráfico 8, en donde se tuvo como resultado, un promedio del 52,3% de calma, las velocidades predominaron entre 0,20 a 0,30 m/s, 0,40 a 0,80 m/s, 0,80 a 1 m/s y mayores o iguales a 1 m/s, siendo todos los vientos provenientes del noreste en mayor cantidad y manteniendo temperaturas entre los 25ºC y los 28ºC, con un bajo porcentaje de precipitación durante los días de muestreo.

Las concentraciones de material particulado (Pm_{10}) capturado por las diferentes estaciones de calidad del aire que componen el sistema de vigilancia y monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Villavicencio, fueron útiles para realizar una comparación junto con el punto de muestreo de calidad del aire en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

De acuerdo a lo anterior, Villavicencio cuenta con un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, el cual está conformado por 3 estaciones en diferentes puntos de la ciudad, de estas 3 estaciones, solo 2 (Catumare y Cofrem) reportan material particulado igual o inferior a 10 micrómetros en el Subsistema de Información Sobre Calidad del Aire –SISAIRE del 01 de diciembre al 12 diciembre del año 2021 [72] y los valores reportados en esta investigación por la estación ubicada en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

En el graficó 9, de tipo cajas y bigotes, se evidencia que el valor mínimo de la estación de UNIMETA fue de 9,119 $\mu g/m^3$, siendo un valor atípico, el cual fue reportado el 10 de diciembre del 2021, este resultado bajo se presenta debido al daño que tuvo el equipo, mientras que el valor más alto reportado es de 25,673 $\mu g/m^3$ y el SVCA de Villavicencio tuvo un valor mínimo de 26,706 $\mu g/m^3$ y un valor máximo de 40,869 µg/m3, siendo los valores del SVCA más elevados por el promedio de los datos arrojados de las estaciones de Catumare y Cofrem.

Gráfico 9 *Concentraciones de material particulado inferior a 10 micrómetros de las estaciones de la UNIMETA y el SVCA de Villavicencio.*

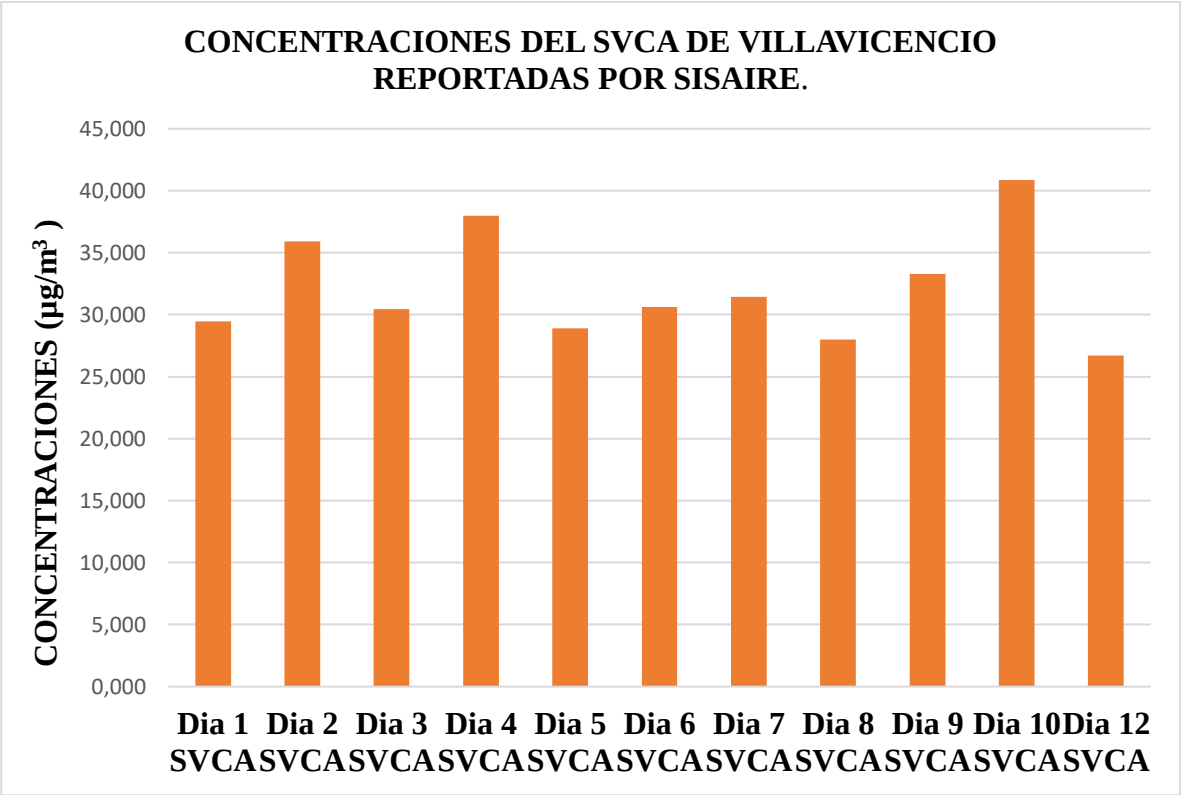


Fuente, *Elaboración propia 2022*

Adicional a esto, el gráfico de Cajas y bigotes muestra la variabilidad de los valores de las concentraciones de PM_{10} tanto de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, como las del Sistema de Vigilancia y Calidad del Aire de Villavicencio. Teniendo como resultado las concentraciones de la estación de la UNIMETA entre los rangos de 20,618 µg µg/m^3, siendo este el cuartil 1 y 23,838 µg/ µg/m^3 el cuartil 3; mientras para el sistema de vigilancia de calidad del aire presenta valores entre 28,804 µg/m^3, es decir, el cuartil 1 y 35,898 µg/ µg/m^3, siendo el cuartil 3, interpretando así que los cuartiles 1 y 3 representan el rango de la variabilidad de los datos obtenidos.

Así mismo se evidencia el cuartil 2, teniendo en cuenta que este representa la mediana, es decir, que el 50% de los datos son menores y el otro 50% son mayores a los siguientes valores en cada estación. Para la estación de la UNIMETA es de 22,457 µg/m^3 y para el SVCA es de 30,953 µg/m^3.

Gráfico 10 *Promedio de concentraciones reportadas por SVCA de Villavicencio durante el 1de diciembre al 15 de diciembre del 2021.*



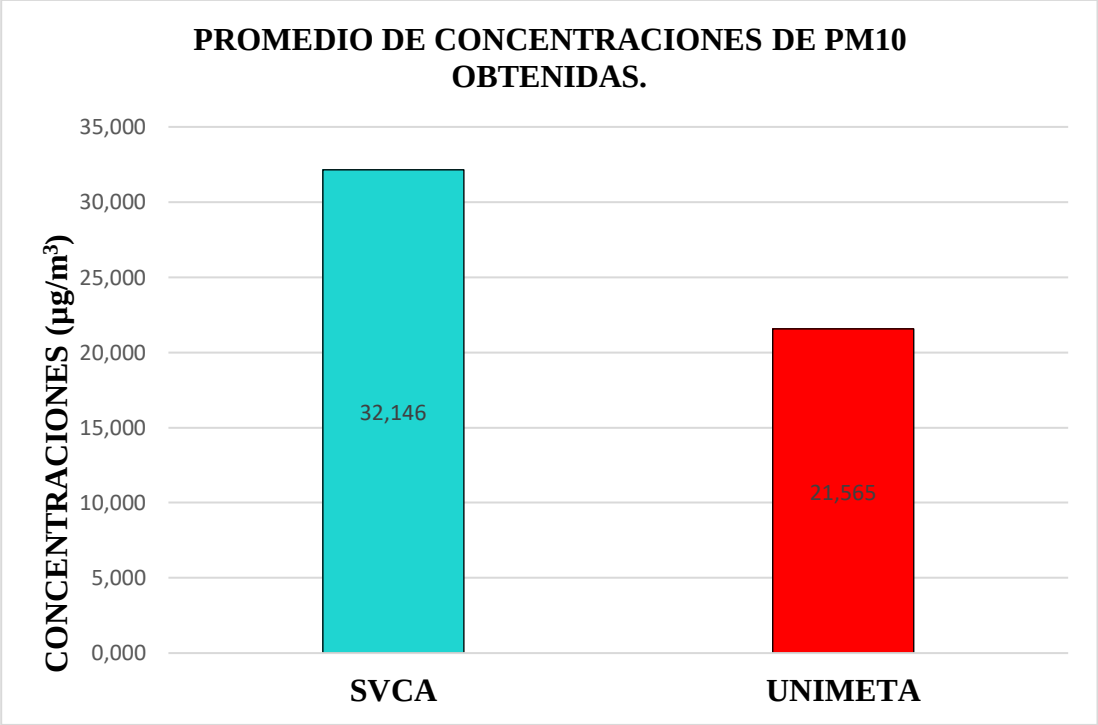
Fuente: *Elaboración propia 2022*

El gráfico 10 demuestra el promedio de los datos obtenidos cada hora durante las 24 horas del día, registrados desde el día 1 de diciembre al 12 de diciembre de 2021 de las estaciones de Catumare y Cofrem, las cuales componen el sistema de vigilancia de calidad del aire de Villavicencio. El SVCA refleja el comportamiento de las concentraciones, teniendo como resultado la concentración

más elevada el día 10 de diciembre de 2021 de 40,869 µg/m^3 y reportando el día 12 de diciembre la concentración más baja de 26,706 µg/m^3.

El grafico 11, se expresa la comparación del promedio de las concentraciones obtenidas por el SVCA y el punto de muestreo del campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA, evidenciando que la cantidad acumulada de material particulado es mayor en el SVCA, debido a que se promediaron los µg/m^3 de 2 estaciones que pertenecen a este (Catumare y Cofrem).

Gráfico 11 *Comparación de µg/m3 del promedio de las concentraciones del SVCA y la UNIMETA.*



Fuente: *Elaboración propia 2022*

Finalmente, se evidencia la comparación de las concentraciones en µg/m^3 de cada punto de medición, contemplando que las estaciones del SVCA son automáticas y por lo tanto los métodos utilizados en su manejo son diferentes al equipo que se implementó para la medición de las concentraciones en la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA, el cual fue operado de manera manual, de acuerdo con su método de referencia recomendado.

Por otra parte, en Villavicencio se realizaron estudios de calidad del aire como se ha mencionado anteriormente en los antecedentes de este documento, con respecto a las concentraciones de Pm_{10} a través de equipos Hi-Vol. Una de estas investigaciones, se realizó en el Molino de Arroz Roa Flor Huila, donde se llevó a cabo un muestreo para conocer la influencia del material particulado generado por este molino en la comuna 8, específicamente en la comuna 8 de Villavicencio, en el cual obtuvieron un nivel máximo de 21,80 µg/m^3 y un valor mínimo de 6,48 µg/m^3 en el lugar de estudio. Cabe resaltar que dicha investigación se realizó en una fuente fija, como el molino de arroz y que contaban con una estación del SVCA de Villavicencio cerca, que para este estudio se encontraba ubicada en la estación Montealegre, por la vía Acacias, la cual sirvió para una comparación más exacta de sus valores obtenidos y los emitidos por CORMACARENA [31].

Es decir, que son estudios que se llevaron a cabo usando el mismo método de referencia, con equipos iguales, pero que tiene como resultado concentraciones provenientes de fuentes fijas como en este caso es el molino de arroz y por otro lado se encuentran provenientes de fuentes móviles, ya que la zona centro suele ser muy concurrida por diferentes tipos de vehículos. Dependiendo del lugar de ubicación, se podrán identificar el tipo de fuentes que se tienen para identificar las fuentes provenientes de material particulado.

A diferencia de la investigación que se realizó en el Molino Roa Flor Huila, existen otras investigaciones sobre calidad del aire donde los resultados no fueron diferentes. Como en la

investigación ambiental en el municipio de Villavicencio mediante el análisis del contenido y variabilidad espacial de metales pesados en polvo vial urbano y de los suelos irrigados con aguas residuales, con el fin de determinar su concentración, donde se escogieron 3 zonas de la ciudad, con diferentes actividades: zona residencial, zona comercial y zona de carretera. Donde se conoció la zona comercial como la más contaminada. Otra investigación realizada en la ciudad de Villavicencio es la valoración económica y social de los efectos generados por la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes en el área urbana de Villavicencio, en esta investigación la mayoría de habitantes afirman que la principal fuente de deterioro de la calidad del aire, es a causa de las fuentes móviles. También en la investigación de valoración económica y social de los efectos generados por la contaminación atmosférica en la salud de los habitantes en el área urbana de Villavicencio se determinó el costo de $16.800 que tiene que pagar los Villavicenses para, disminuir la contaminación atmosférica como alternativa de descontaminación.

En concordancia con estos estudios realizados se evidencia que son pocas las investigaciones que cumplen con los valores límites permisibles respecto a la resolución de 2254 de 2017, en la ciudad de Villavicencio.

Adicional a esto, en el marco teórico, se hace referencia al informe elaborado por la Universidad de los Andes, en donde se ratifica que uno de los contaminantes criterio es el material particulado con diámetro $\leq$ 10 µm, que hace parte de uno de los 5 contaminantes criterio que existen en la atmosfera y que afectan la salud al ser inhalados, sin importar la fuente de emisión.

Finalmente, debido a la ubicación del equipo Hi-Vol instalado en el campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta- UNIMETA, no se puede estimar con claridad la afectación a la salud para la población administrativa y aledaña en su totalidad, puesto que este equipo tuvo que instalarse en un punto central por cuestiones de vigilancia y seguridad del mismo, ya que la

zona centro suele ser muy desolada en las noches y las madrugadas, por lo tanto, se debió ajustar a las condiciones de vigilancia que la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA ofrecía. De acuerdo con las condiciones y según el Artículo 18 de la Resolución 2254 de 2017, la concentración promedio de PM_{10} para esta zona supone un riesgo bajo para la salud de las personas.

12. Conclusiones

De acuerdo con la investigación que se realizó en el área de estudio relacionada al campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta - UNIMETA en la ciudad de Villavicencio se concluye lo siguiente:

Al determinar los niveles de concentración de material particulado $\leq$ 10 µm (PM_{10}) en el área seleccionada, durante un tiempo determinado de 14 días, entre el 01 de diciembre y el 15 de diciembre del año 2021, con ayuda del equipo Hi-Vol de esta Universidad, se estimó que la concentración del contaminante alcanzó un valor máximo de 25,6730 µg/m^3 y valor promedio de 21,565 µg/m^3.

Adicionalmente se evidencio en relación al método aplicado de conteo vehicular manual en horas pico, que se ejecutó junto al monitoreo, en la zona de estudio, se conoció que el total de vehículos que transitaron en la intersección de la calle 33 y la carrera 32 fue de 163.961 vehículos. De acuerdo a estos resultados se evidencio que si hubo presencia de PM_{10}, por fuentes móviles, influyendo de cierta manera a la calidad del aire.

De acuerdo a la concentración de PM_{10}, a los resultados del aforo vehicular y a la normatividad colombiana en cuanto a la calidad del aire, se establece que el contaminante no sobrepasó el límite máximo permisible durante el tiempo muestreado (100 µg/m^3 durante 24 horas). En ese sentido, la salud de la comunidad Unimetense no estaría corriendo ningún riesgo en contaminación atmosférica relacionada al PM_{10} y se tendría cumplimiento de las disposiciones sobre aire ambiental de acuerdo a la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo y también se estaría cumpliendo lo establecido en la Organización Mundial de la Salud de 2015 (OMS).

Por otra parte, conforme a los gráficos de dispersión realizados para las condiciones meteorológicas (humedad, precipitación, temperatura y punto de roció) tomadas de la estación Ambient Weather, se identifica que, aunque estas variables meteorológicas habitualmente guardan una relación con los niveles de concentración de PM_{10}, para el caso de la investigación éstas no demuestran una tendencia a guardar relación directa. De acuerdo a lo representado en los gráficos, algunos días se evidencia una relación inversamente proporcional entre las condiciones meteorológicas y las concentraciones de PM_{10}, como también se encuentra una relación directamente proporcional de estas variables en otros días, por lo que no se identificó una tendencia clara de comportamiento para la relación de las variables analizadas. Así pues, las condiciones meteorológicas presentan una baja medida de influencia en la concentración de material particulado emitido, de acuerdo a los resultados obtenidos durante los 14 días de muestreo.

En el gráfico 7 se observa la relación directamente proporcional del volumen de flujo vehicular alrededor del área de estudio y la concentración del contaminante en la mayoría de los primeros días de muestreo. No obstante, se resalta que no solamente las fuentes móviles son las que ocasionan este contaminante ya que, en los últimos días de estudio, la proporción de concentración de PM_{10} esta un poco más alta a la proporción del flujo vehicular relacionado. Esto indica que la concentración del contaminante no solamente pudo ser generada por las fuentes móviles, sino también por las construcciones y demoliciones que se estaban llevando a cabo fuera y dentro del campus San Fernando; pues el viento estaría transportando el material particulado correspondiente a estas actividades y estaría siendo captado por el esquipo muestreador, como se observa en los gráficos de las rosas de los vientos.

En definitiva, teniendo en cuenta las fuentes móviles identificadas y la influencia de las posibles fuentes fijas dentro y alrededor del área de estudio, la concentración obtenida de este contaminante

no sobrepasó los niveles máximos permisibles de la Resolución 2254 de 2017 y la OMS de 2015. Consecuentemente, para el caso de la concentración máxima, el resultado del cálculo del ICA fue de 19,97 y, por lo tanto, la calidad del aire se clasifica como buena en el campus San Fernando de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA.

Es importante continuar realizando estudios de calidad de aire en la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, ya que esta investigación se efectuó en época de pandemia por el Covid-19, cuando no estaba asistiendo toda la comunidad Unimetense, debido al confinamiento que existía en ese momento, de tal manera solo estaba asistiendo una parte del personal administrativo y no había afluencia de la comunidad estudiantil. Por consiguiente, sería pertinente hacer un seguimiento a la calidad del aire con la totalidad de la comunidad Unimetense asistiendo todos presencialmente al campus San Fernando y así poder conocer que tanto varia la concentración de PM_{10}.

13. Recomendaciones

Así mismo, se espera que se continúe la investigación teniendo en cuenta la normalidad de asistencia presencial de todos los estudiantes y del personal administrativo, de esta manera el número de personas aumentaría y por consiguiente también aumentaría el flujo vehicular de la zona, provocando posiblemente un incremento de material particulado en la Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

14. Limitaciones

- El tiempo fue una gran limitación para la gestión de entrega del equipo Hi-Vol de la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA y de los demás materiales que se

necesitaban para iniciar el monitoreo, debido a que no se había trabajado con el equipo Hi-Vol ni se había hecho antes una investigación en el tema de calidad del aire dentro de la universidad y tocaba seguir un respectivo procedimiento para solicitar todo lo que se necesitaría.

- También se presentó una falla técnica durante la investigación ya que se creía que por no tener tanto uso el equipo y por haber sido revisado antes de la entrega, este funcionaría al cien por ciento, afortunadamente no fue una falla grave y se le dio una pronta solución para que el monitoreo no se viera afectado.

- El laboratorio fue un limitante para poder terminar el documento de investigación, se demoró mucho tiempo en enviar los resultados de la concentración de Pm_{10}, ya que sin esos resultados no se podía tener el documento completo para ser presentado.

- El covid-19 a través del confinamiento hizo que no se permitiera la presencialidad total de estudiantes a la Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA, limitando de realizar una investigación en un tiempo de normalidad.

- Los temas personales interfirieron en terminar pronto el documento de la investigación.

13. Bibliografía

[1] "Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés) | US EPA." https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles (accessed Jul. 12, 2022).

[2] "CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA - IDEAM." http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/contaminacion-atmosferica (accessed Jul. 12, 2022).

[3] "EMISIONES POR FUENTES MOVILES - IDEAM." http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/emisiones-por-fuentes-moviles (accessed Jul. 12, 2022).

[4] "Resolución 2254 de 2017 - Niveles Calidad del Aire, Ministerio De Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible." p. 11, 2017. [Online]. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resolución+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f

[5] "Troposfera.org || Portal de Calidad del Aire - Unidades de Medición Empleadas en Calidad del Aire." https://www.troposfera.org/conceptos/unidades-de-medicion-empleadas-en-calidad-del-aire/ (accessed Jul. 12, 2022).

[6] "Conceptos de calidad del aire – PPDA." https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/ (accessed Jul. 12, 2022).

[7] "TEMA 2. 'MODELOS DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS' 2.1. Introducción a los modelos de concentración y tipos principales".

[8] C. Gaviria G, P. Benavides C, and C. Tangarife, "Contaminación por material particulado (PM2, 5 y PM10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009)," *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, pp. 2008–2009, 2011, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v29n3/v29n3a04.pdf

[9] "Una oportunidad para mejorar la calidad del aire en Colombia - Revista Universidad EAFIT edición 170 - Universidad EAFIT." https://www.eafit.edu.co/investigacion/revistacientifica/edicion-170/Paginas/colmbia-aire-

oportunidades.aspx (accessed Mar. 15, 2022).

[10] O. G. Manuel, “Contaminación aérea y sus efectos en la salud,” *Rev. Chil. Enfermedades Respir.*, vol. 26, no. 1, pp. 16–25, 2010.

[11] IDEAM, “Informe del estado de la Calidad del Aire en Colombia 2018,” *Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.*, p. 61, 2019, [Online]. Available: http://www.uasf.edu.pe/includes/archivos_pre/20112/1035_370101_20112_SEPARATA_Calidad_de_Aire.doc

[12] J. Merkisz, P. Bielaczyc, and A. Szczotka, “an Investigation of Influence of Diesel Fuel Sulphur Content on Particulates Emissions From Direct Injection Common Rail Diesel Vehicle,” *J. KONES Intern. Combust. Engines*, no. 3, pp. 214–123, 2002, [Online]. Available: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.604.2958&rep=rep1&type=pdf

[13] “Calidad Del Aire y Salud OMS 2018 | PDF | La contaminación del aire | Ozono.” https://es.scribd.com/document/463999739/Calidad-del-aire-y-salud-OMS-2018 (accessed Mar. 15, 2022).

[14] G. Jiménez-Sánchez, P. M. Markowski, G. S. Young, and D. J. Stensrud, “The Orinoco Low-Level Jet: An Investigation of Its Mechanisms of Formation Using the WRF Model,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 125, no. 13, p. e2020JD032810, Jul. 2020, doi: 10.1029/2020JD032810.

[15] C. K. CORMACARENA, “DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AIRE PARA EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO,” 2015, [Online]. Available: http://grupogesp.org/joomla/docs/svigilancia.pdf

[16] “AUTORIDAD DE LICENCIAS AMBIENTALES CORMACARENA.” 26 abril 2017, Colombia. [Online]. Available: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/res_cert_0472_m_26042017_ct_0746.pdf

[17] C. A. C. P. Ruby Lorena Alvarez Vanegas, “DIAGNOSTICO DE LA MOVILIDAD VEHICULAR DE LAS INTERMEDIACIONES DE LA CARRERA 33 CON LA CARRERA 29 Y LA CARRERA 33 CON LA CALLE 34 LOCALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, DEPARTAMENTO DEL META,” vol. 4, no. 1, pp. 1–210, 2019.

[18] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “Diagnostico nacional de salud ambiental.,” *https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf*, p. 368, 2012, [Online]. Available: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/inec/igub/diagnostico de salud ambiental compilado.pdf

[19] “Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente | US EPA.” https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente (accessed Mar. 21, 2022).

[20] Paulina Alejandra Salinas Vio, “Contaminación atmosférica por Material Particulado y consultas de urgencias por morbilidad respiratoria en menores de 5 años en la Ciudad del Valdivia, período mayo-julio, año 2010,” *Univ. Austral Chile, Fac. Med. Esc. Enfermería*, vol. 9, no. 1, pp. 1–42, 2012, [Online]. Available: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fms165c/doc/fms165c.pdf

[21] W. J. Shaughnessy, M. M. Venigalla, and D. Trump, “Health effects of ambient levels of respirable particulate matter (PM) on healthy, young-adult population,” *Atmos. Environ.*, vol. 123, pp. 102–111, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.ATMOSENV.2015.10.039.

[22] F. Karagulian *et al.*, “Contributions to cities’ ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level,” *Atmos. Environ.*, vol. 120, pp. 475–483, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.

[23] M. Guevara, “Emissions of Primary Particulate Matter,” *Issues Environ. Sci. Technol.*, vol. 2016-January, no. 42, pp. 1–34, Jul. 2016, doi: 10.1039/9781782626589-00001.

[24] J. Sunyer, “El estudio EMECAM sobre los efectos de la contaminación atmosférica,” *Rev. Esp. Salud Publica*, vol. 73, no. 2, pp. 105–107, 1999, doi: 10.1590/s1135-57271999000200001.

[25] Coordinadora por la Defensa del Río Loa, “Análisis científico del material particulado y sus impactos”.

[26] P. Córdova-mendoza, “primera caracterizacion de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica Perú,” vol. 33, no. 1, pp. 138–153, 2021, [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v33n1/2224-5421-ind-33-01-138.pdf

[27] S. CANDANOZA, L. GORIBAR, and F. GARCÍA, “RELACIÓN PARTICULAS RESPIRABLES (PM10)/ PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) EN SANTA MARTA (COLOMBIA),” *DYNA*, vol. 80, no. 179, pp. 165–175, May 2013, Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/32239

[28] C. Peña, J. Afanador, and UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, “Calidad Del Aire En El Sur Occidente De Villavicencio: Influencia Del Material Particulado Generado Por El Molino De Arroz Roa Flor Huila,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1–65, 2013, [Online]. Available: https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19430

[29] L. A. Calidad, D. Aire, D. Kilómetro, D. E. La, and V. Villavicencio, “EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE,” pp. 1–77, 2019, Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19514/2019thaliarodriguez?sequen

[30] J. M. T. Gonzales, “Evaluación ambiental del municipio de Villavicencio, (Colombia), mediante el análisis del contenido y variabilidad espacial de metales pesados en polvo vial urbano y de los suelos irrigados con aguas residuales,” 2018. https://repositorio.uam.es/handle/10486/688248 (accessed Mar. 15, 2022).

[31] C. E. P. BECERRA and J. F. A. GUTIÉRREZ, “Calidad del aire en el sur occidente de Villavicencio: influencia del material particulado generado por el molino de Arroz Roa Flor Huila,” 2019. https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19430 (accessed Mar. 15, 2022).

[32] ALEJANDRA GONZÁLEZ PÉREZ, “VALORACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL DE LOS EFECTOS GENERADOS POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA SALUD DE LOS HABITANTES EN EL ÁREA URBANA DE VILLAVICENCIO – META, COLOMBIA,” UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL, Villavicencio, 2017. Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12381/2017alejadragonzález.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[33] “Información del Municipio de Villavicencio Meta.”

http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx (accessed Mar. 15, 2022).

[34] "META-VILLAVICENCIO." http://www.colombiaturismoweb.com/DEPARTAMENTOS/META/MUNICIPIOS/VILLAVICENCIO/VILLAVICENCIO.htm (accessed Mar. 21, 2022).

[35] "IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales." http://www.ideam.gov.co/ (accessed Mar. 15, 2022).

[36] "Corporación Universitaria del Meta." http://campusvirtual.unimeta.edu.co/ (accessed Mar. 21, 2022).

[37] "Corporación Universitaria del Meta - Unimeta - Historia." https://unimeta.edu.co/index.php/historia (accessed Mar. 15, 2022).

[38] "Corporación Universitaria del Meta - Unimeta - Investigaciones." https://unimeta.edu.co/index.php/investigaciones-unimeta-villavicencio (accessed Mar. 15, 2022).

[39] L. E. Reina Jiménez, "Diagnóstico Ambiental De La Actividad Minera De Materiales Pétreos En Las Canteras Del Sector De Calderón, Provincia De Pichincha.," p. 239, 2013.

[40] M. L.-R. H Pérez-Vidal, "ANÁLISIS DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) Y PARTÍCULAS FRACCIÓN RESPIRABLE (PM10), EN CUNDUACÁN, TABASCO," *Univ. y Cienc. Trop. Humed.* , vol. 26, no. 151, pp. 151–162, Apr. 2010, Accessed: Mar. 21, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n2/v26n2a3.pdf

[41] M. R. Placeres, F. D. Olite, and M. Á. Toste, "La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud," *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 44, no. 2, 2006.

[42] N. M. U. S. M. Z. A. V. V. Ramón Argarate Maiztegi, "Sistemas informaticos y medio ambiente." Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ud_fp_ea/es_def/adjuntos/UD_FP_Sistemas informaticos y medio ambiente_2004HR.pdf

[43] C. A. A. SUÁREZ, "DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM 10 *," 2011, Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available:

http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf

[44] JONATHAN RAFAEL RUBIO BAUTISTA, "MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2,5 EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA 'CAMPUS SUR,'" UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2019. Accessed: Mar. 15, 2022. [Online]. Available: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17086/1/UPS-ST004034.pdf

[45] L. Maber and A. Gómez, "DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO DE MUESTREO DE MATERIAL PARTICULADO, CON BASE EN LA NORMA ISO 9001:2000," 2008. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/a67b2986-312f-4a8d-b82f-723f622f745a/content

[46] "Resolución 610 de 2010 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - Colombia," 2010. https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_610_de_2010_ministerio_de_ambiente,_vivienda_y_desarrollo_territorial.aspx#/ (accessed Mar. 16, 2022).

[47] Jorge Acevedo Bohórquez, Juan Pablo Bocarejo Suescún, and Juan Miguel Velásquez, "Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia." Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterización-de-la-contaminación-atmosférica-en-Colombia.pdf

[48] Miniambiente, *GUÍA PARA ELABORACIÓN O ACTUALIZACIÓN DE INVENTARIOS DE EMISIONES DE GEI EN CIUDADES COLOMBIANAS*. 2021. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/guia_para_elaboracion_o_actualizacion_de_inventarios_de_emisiones_de_gei_en_ciudades_.pdf

[49] J. Manuel Santos Calderón *et al.*, "CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL CONPES María Ángela Holguín Cuéllar Ministra de Relaciones Exteriores".

[50] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, and Western Governors' Association, "Guia de elaboracion y usos de invetarios de emisiones

,” 2005. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/447321/Guia_Inventario_de_Emisiones.pdf

[51] A. U. S. G. I. GPO, “40 Appendix L to Part 50 - Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere,” *Authenticated U.S. Goverment Inf. GPO*, vol. 40, no. Pt. 50, App. M, pp. 74–118, 1997, [Online]. Available: https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2011-title40-vol2/CFR-2011-title40-vol2-part50-appL/context

[52] “Muestreador de Partículas HI-VOL para PM10, TSP y PM2.5 - Sanambiente.” https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/equipos-para-medicion-de-particulas/9-muestreador-de-particulas-hi-vol-para-pm10-tsp-y-pm2-5 (accessed Mar. 16, 2022).

[53] Jorge Enrique Arenas and Hernández., “ MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS PM10 HI- VOL UTILIZADOS EN LA MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO,” 2017. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/MEDICION AMB/FORMATOS/MANUAL_MANTENIMIENTO_SVCA_v1.pdf

[54] V. Y. D. T. MINISTERIO DE AMBIENTE, *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*. 2008. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88

[55] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire,” p. 287, 2008, [Online]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Operación.pdf

[56] E. Alvarez, “Manual De Mantenimiento De Los Equipos Pm10 Hi- Vol Utilizados En La Medición De Material Particulado,” *Procede del Padre y del Hijo*, pp. 1–39, 2016.

[57] J. L. Vasquez, “MUESTREO CALIDAD DEL AIRE PST Y”.

[58] Ambient weather, “Ambient Weather WS-2902A WiFi OSPREY Solar Powered Wireless Weather Station User Manual,” 2019. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available:

https://ambientweather.com/mwdownloads/download/link/id/600

[59] IDEAM, “Guía Para El Emplazamiento De Las Estaciones Meteorológicas Convencionales Instituto De Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales –Ideam,” p. 27, 2021, [Online]. Available: http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/561097/M-GDI-M-G006+Guía+para+el+emplazamiento+de+las+estaciones+V1/db5a31c3-79a2-4fce-884a-905751fbd8b2?version=1.0

[60] ANGIE MAGALY BUITRAGO MORENO and JOSE MIGUEL TEJEIRO MAHECHA, “INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN LA CONCENTRACIÓN DE PST Y PM10 EN INMEDIACIONES DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE LOMA LINDA,” UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO, 2019. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15598/2019migueltejeiro

[61] CATALINA BLAIR SIERRA and DANIEL ALEJANDRO GUEVARA ARISTIZÁBAL, “EVALUACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 70 CON LA CALLE 9 POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA SUBTERRÁNEA EN EL AEROPUERTO ENRIQUE OLAYA HERRERA,” ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA, Envigado, 2012. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/380/BlairCatalina_2012_EvaluacionFlujoVehicular.pdf?sequence=7&isAllowed=y

[62] J. J. Heckman, R. Pinto, and P. A. Savelyev, “Estructuracion Tecnica del Tramo 1 de la primera linea del metro de Bogotá,” *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11), 951–952.*, 2020.

[63] G. Montoya, “Ingeniería de Transito,” *Univ. Nac. Ing.*, p. 34, 2005, [Online]. Available: https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf

[64] J. Monetti, M. Contreras, M. Navarro, and G. Sevillano, “Propuesta De Recolección De Datos Para Aforo Vehicular,” *XX Work. Investig. en Ciencias la Comput. - WICC 2018 Libr. actas*, p. 5, 2018, [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10915/67063

[65] ilac, “Guía para establecer reglas de decisión en la declaración de conformidad,” 2019. Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: https://www.enac.es/documents/7020/6687b5b1-5dbd-4b7a-8f01-

e9ccd71ca202?version=1.0

[66] A. Maroto, R. Boqué, J. Riu, and F. X. Rius, “Medida De Una Masa,” pp. 1–7, 1993.

[67] R. A. Romero, “Placa De Orificio,” *Cent. Nac. Metrol.*, 2001.

[68] IDEAM, “República de Colombia Índice de Calidad del Aire (ICA) (Hoja metodológica versión 1,1).” Accessed: Mar. 16, 2022. [Online]. Available: http://ideam.gov.co/documents/11769/641368/2.01+HM+Indice+calidad+aire.pdf/5130ffb3-a1bf-4d23-a663-b4c51327cc05

[69] Ministerio de Ambiente Vivivenda y Desarrollo Territorial, “Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire,” *Protoc. para el Monit. y Seguim. la Calid. del Aire*, p. 137, 2010, [Online]. Available: file:///C:/Users/hp/Desktop/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Diseno.pdf

[70] OPS/OMS, “Actualización mundial 2005,” *Guías Calid. del aire la OMS relativas al Mater. Part. el ozono, el dióxido nitrógeno y el dióxido azufre Actual.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–21, 2005.

[71] M. y E. A. IDEAM, Instituto de hidrología, “República de Colombia Índice de calidad del aire (ICA),” no. 571, p. 2013, 2012, [Online]. Available: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/641368/2.01+HM+Indice+calidad+aire.pdf/5130ffb3-a1bf-4d23-a663-b4c51327cc05

[72] “SISAIRE - IDEAM.” http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/consultas.xhtml (accessed Mar. 16, 2022).

14. Anexos

Anexo N° 1 Registro fotográfico

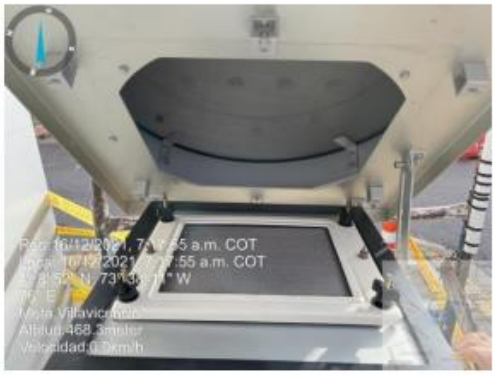
REGISTRO FOTOGRAFICO	
DESCRIPCIÓN	**FOTOGRAFIA**
Equipo Hi-Vol	
Estación meteorológica Ambient Weather	
Instalación del equipo Hi Vol en la Corporación Universitaria del Meta UNIMETA	

Calibración del equipo Hi Vol el 30 de noviembre de 2021	
Revisión de la carta de flujo del equipo en los días de prueba.	
Procedimiento para comenzar el muestreo el 1 de diciembre del 2021	

Retiro y cambio de filtro	
Registro del horómetro y la carta de flujo	
Cambio de filtro y medición de la presión	

Instalación de filtro nuevo	
Retiro de filtro y proceso para guardarlo.	
Retiro de los tornillos y el marco para proceder a retirar el filtro.	

Cambio de filtro	
Filtro nuevo para nuevo día de muestreo	
Retiro de filtro de la bolsa cipro para su uso	

Implementación de filtro nuevo	
Filtro usado doblado para contener todas las partículas para no alterar la muestra.	
Recolección del último filtro.	

Desinstalación y entrega del equipo al departamento de Laboratorio	
Intersección de la calle 33 y la carrera 34 donde se realizó el aforo vehicular.	

Anexo N° 2 Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del año 2010

ANEXO 3. VALIDEZ DE MUESTRAS EN SVCA TIPO I - INDICATIVO

El número de días en que se debe realizar un monitoreo en las actividades industriales a las cuales se lo requiera la autoridad ambiental, depende del objetivo de la medición. Si el objetivo es verificar el cumplimiento normativo se debería medir el número mínimo requerido en el presente protocolo, es decir, para la norma anual al menos el 75% del tiempo y sin baches continuos.

En el caso de comparación con la norma de 24 horas, se deben tener en cuenta las condiciones establecidas en el diseño de sistemas de vigilancia de calidad del aire Tipo I.

Si el objetivo es describir una situación determinada, se debe buscar que las mediciones realizadas sean estadísticamente representativas de la situación. En este sentido, el número de mediciones depende del comportamiento de dichas mediciones y de la probabilidad de error definida. Un nivel de confianza del 95% es ampliamente aceptado (es decir, una probabilidad de error del 5%).

El tamaño de la muestra juega un papel importante para determinar la probabilidad de error así como en la precisión de la estimación. Una vez que se ha seleccionado el nivel de confianza, dos factores importantes influyen en el tamaño muestral:

1. La varianza de la población σ^2.
2. El tamaño del error tolerable que se está dispuesto a aceptar.

Mientras que el primer factor está más allá del control del estudio (no hay nada que se pueda hacer sobre la varianza de la población), sí es posible limitar el tamaño del error.

El tamaño del error que se puede tolerar depende de qué tan crítico es el trabajo. Algunas tareas extremadamente delicadas requieren resultados exactos: los procedimientos médicos vitales de los cuales dependen vidas humanas, o la producción de piezas de una máquina que debe cumplir medidas precisas, pueden tolerar sólo un pequeño error. En otros casos, los errores más grandes pueden tener consecuencias menos graves.

TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA ESTIMAR UNA MEDIA (μ)

Vale la pena recordar que la distribución normal de una población (Z) puede expresarse como:

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Esto puede reescribirse algebraicamente como:

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{(\bar{x} - \mu)^2}$$

En donde la diferencia entre la media muestral y la media poblacional ($\bar{x} - \mu$) es el error.

El valor de Z depende del nivel de confianza requerido. Esto deja por determinar sólo σ^2 para calcular el tamaño muestral apropiado. En caso de que σ^2 sea desconocida, puede estimarse

mediante la desviación estándar muestral (s), utilizando una muestra piloto de cualquier tamaño razonable (n ≥ 30). La varianza calculada de esta muestra preliminar puede entonces utilizarse en la fórmula.

Ejemplo: Un industrial quiere determinar la línea base de su entorno antes de iniciar un nuevo proceso productivo. Un estudio previo de línea base con 10 mediciones mostró que la desviación estándar de las mediciones es de 12,2 $\mu g/m^3$. ¿Qué tan grande debe ser la muestra para que el industrial tenga el 95% de confianza de que el error en su estimación sea máximo 4 $\mu g/m^3$?

Solución: $n = \frac{\sigma^2 \cdot Z^2}{(\bar{x} - \mu)^2} = \frac{(12.2)^2 \cdot (1.96)^2}{(4)^2} = 35.736 \cong 36$

Nótese que si la desviación estándar de las mediciones fuera de 6 $\mu g/m^3$ la muestra debería ser tan solo de 9 mediciones.

TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA COMPARACIÓN DE DOS MEDIAS

Si el objetivo es verificar el efecto de una actividad específica (como por ejemplo la instalación de un sistema de control), se debe buscar que las mediciones realizadas antes y después de la actividad específica sean estadísticamente representativas de la situación. En este sentido, el número de mediciones depende del comportamiento de dichas mediciones antes y después del evento y de la probabilidad de error definida. Un nivel de confianza del 95% es ampliamente aceptado (es decir, una probabilidad de error del 5%). De manera similar a la determinación del tamaño de muestra para encontrar una media, la fórmula utilizada para encontrar el tamaño de la muestra para comparación de dos medias está dado por:

$$n = \frac{2 \cdot (Z_\alpha + Z_\beta)^2 \cdot \sigma^2}{(\bar{x} - \mu)^2} = \frac{2 \cdot (Z_\alpha + Z_\beta)^2 \cdot \sigma^2}{d^2}$$

Donde:
n = sujetos necesarios en cada una de las muestras
Z_α = Valor Z correspondiente al intervalo de confianza (1-α)
Z_β = Valor Z correspondiente a la potencia o poder del estudio (1-β)
σ^2 = Varianza de la variable cuantitativa que tiene el grupo control o de referencia
d = Valor mínimo de la diferencia que se desea detectar (datos cuantitativos)

En general, siempre que se van a realizar comparaciones estadísticas con datos obtenidos experimentalmente, existen dos tipos de errores conocidos como error tipo I ó nivel de significancia (α) y error tipo II (β) donde α y β corresponden a la probabilidad de que ocurra cada uno de dichos errores respectivamente. El intervalo de confianza está relacionado con el error tipo I (α), corresponde a la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad y se define como 1-α, mientras que para β ó error tipo II, se tiene como complemento el poder o potencia del estudio y se define como 1-β.

Algunos de los valores de Z según el intervalo de confianza y según la potencia se indican en la Tabla 48, donde se denota como Z_α, al valor estadístico determinado a partir de la definición del intervalo de confianza (1-α) y Z_β al valor estadístico determinado a partir de la definición del poder del estudio (1-β).

Tabla 48. Valores Z_α y Z_β empleadas comúnmente

VALORES DE Z_α Y Z_β MÁS FRECUENTEMENTE UTILIZADOS		
Z_α		
α	TEST UNILATERAL	TEST BILATERAL
0.200	0.842	1.282
0.150	1.036	1.440
0.100	1.282	1.645
0.050	1.645	1.960
0.025	1.960	2.240
0.010	2.326	2.576
POTENCIA		
β	$(1-\beta)$	Z_β
0.01	0.99	2.326
0.05	0.95	1.645
0.10	0.90	1.282
0.15	0.85	1.036
0.20	0.80	0.842
0.25	0.75	0.674
0.30	0.70	0.524
0.35	0.65	0.385
0.40	0.60	0.253
0.45	0.55	0.126
0.50	0.50	0.000

Fuente: Argimón Pallas J.M., Jiménez Villa J. Métodos de investigación aplicados a la atención primaria de salud. 2ª ed. Barcelona: Mosby-Doyma; 1994.

Ejemplo: Un industrial quiere mostrar que un sistema de control mejora la calidad del aire en su entorno en más de 10 $\mu g/m^3$. El estudio previo de línea base mostró que la desviación estándar de las mediciones es de 12,2 $\mu g/m^3$. ¿Qué tan grande debe ser la muestra para que el industrial tenga un 95% de confianza y un poder estadístico del estudio de 90%?

Solución:

Teniendo en cuenta que el intervalo de confianza es del 95% y sabiendo que este porcentaje corresponde a $1-\alpha$, entonces α es igual a 0,05 o lo que es equivalente a 5%. El valor de Z_α, entonces corresponde a 1,645, debido a que en esta oportunidad solo se trata de una prueba unilateral (valores de concentración de contaminantes inferior a la media) y el valor de Z_β es 1,282 ya que se desea que la potencia del estudio sea del 90%, es decir $1-\beta$ debe ser igual a 0,90.

$$n = \frac{2\cdot(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \cdot \sigma^2}{(\bar{x}-\mu)^2} = \frac{2\cdot(1.645+1.282)^2\cdot(12.2)^2}{(10)^2} = 25.50 \cong 26$$

Nótese que entre más grande es la diferencia que se quiere comprobar, más pequeña será la muestra requerida.

Anexo N° 3 SVCA tipo I

5.2. SVCA TIPO I: INDICATIVO

5.2.1. OBJETIVOS

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos, aunque estos deben ser definidos de acuerdo a la necesidad de la jurisdicción de la autoridad ambiental:

- Evaluar el riesgo para la salud humana
- Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
- Estudiar fuentes e investigar quejas concretas
- Soportar investigaciones científicas

5.2.2. APLICACIÓN

Este sistema aplica a poblaciones de 50.000 a menos de 150.000 habitantes en donde no existan problemáticas ambientales identificadas (ausencia de zonas industriales, mineras, otras fuentes relevantes) o no se hayan detectado quejas por deterioro en la calidad del aire de parte de la comunidad. Para este tipo de poblaciones el diagnóstico inicial solo incluirá inventario de emisiones, análisis meteorológico y campaña de medición. Opcionalmente se puede recurrir a la modelación.

Poblaciones con problemáticas ambientales especiales, con cualquier número de habitantes, se regirán por el diseño de Sistemas Especiales de Vigilancia de la Calidad del Aire -SEVCA-.

Tabla 2. Características SVCA Tipo I

CARACTERÍSTICA	PARÁMETRO	OBSERVACIONES
TECNOLOGÍA DE MEDICIÓN	Muestreo activo.	
TIEMPO DE MONITOREO	Mínimo tres meses en época seca.	Podrá monitorearse también en combinación de época seca y húmeda (mínimo 1,5 meses en época seca)
PERIODICIDAD DEL MONITOREO	Máximo cada 3 años se deberá repetir la campaña.	Se variará el periodo de acuerdo al análisis normativo descrito abajo.
PARÁMETROS A MEDIR	PM10	
NUMERO DE ESTACIONES	Mínimo 2 estaciones.	
TIPO DE ESTACIONES17	FONDO FONDO URBANA EPE[18]	
UBICACIÓN ESTACIONES	Una estación ubicada vientos arriba de la localidad sin influencia de las fuentes estudiadas y otra, vientos abajo de las fuentes de mayor influencia.	Otras estaciones serán ubicadas de acuerdo a la rosa de vientos en sitios con población afectada por otras fuentes vientos abajo de ellas.
PERIODICIDAD DEL MUESTREO	Mediciones de 24 horas, cada tercer día	Se deben completar como mínimo 30 muestras en cada estación.
INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS	Precipitación Manual Estación meteorológica automática portátil en caso de no existir información simultánea.	

Ver Tipos de estaciones
EPE: Estación de Propósito Especifico: En caso de existir una fuente significativa que amerite monitoreo permanente.

5.2.3. OBJETIVOS DE LA UBICACIÓN DE ESTACIONES DE UN SVCA INDICATIVO

Las estaciones ubicadas para este tipo de SVCA deben responder a las siguientes características[19]:

- Estaciones localizadas para determinar las concentraciones más altas en el dominio del SVCA.
- Estaciones localizadas para determinar concentraciones generales de fondo.
- Estaciones localizadas para determinar el impacto en la calidad del aire ocasionado por fuentes significativas.

5.2.4. MONITOREO DE OTROS PARÁMETROS

En este tipo de sistemas de vigilancia no se requiere la medición de contaminantes diferentes a PM10, a menos que se tengan quejas sobre otros contaminantes. En este caso, se deberá hacer una revisión de los tipos de fuentes presentes en el área y los posibles contaminantes emitidos. Posteriormente, se debe realizar un diagnóstico preliminar por un periodo no menor a dos meses, incluyendo la medición del contaminante a evaluar. La frecuencia se definirá bajo los mismos criterios descritos a continuación. Se requerirá monitoreo permanente del contaminante cuando los valores medidos en la campaña de medición superen los estándares establecidos en la Resolución 601 de 2006 o en la que la modifique, adicione o sustituya.

5.2.5. VARIACIONES DEL SVCA INDICATIVO RELACIONADOS CON LA LEGISLACIÓN VIGENTE

Para verificar el cumplimiento de los estándares de PM10 establecidos en la Resolución 601 de 2006 o en la que la modifique, adicione o sustituya, en cuanto a promedios anuales, teniendo como base información indicativa (periodos inferiores a un año), después de realizado el control y aseguramiento de la calidad de la información, se debe realizar el siguiente análisis:

- Para establecer la tendencia anual se calcula el promedio de las mediciones de 24 horas. Este promedio permite evaluar de forma indicativa el comportamiento anual del contaminante teniendo en cuenta las condiciones de precipitación que se dieron durante el monitoreo suponiendo iguales comportamientos para periodos lluviosos o secos[20].
- Con el fin de establecer una relación entre el SVCA Tipo I y áreas fuente de contaminación que trata la Resolución 601 de 2006 y el Decreto 979 de 2006[21] (Ver forma de cálculo en el Anexo 2), se debe realizar el siguiente análisis de acuerdo a los niveles detectados durante la campaña de monitoreo:

  - Se revisan los valores de PM10 hallados durante la campaña de monitoreo.
  - Si al realizar el cálculo de excedencias de los valores monitoreados, menos del 10% de los datos válidos supera la norma anual, la campaña de monitoreo del SVCA se deberá realizar cada 3 años.
  - Si al realizar el cálculo de excedencias de los valores monitoreados se tienen condiciones de área fuente marginal, la campaña de monitoreo deberá realizarse nuevamente al año siguiente.
  - Si al realizar el cálculo de excedencias se encuentran valores que corresponden a Área-fuente moderada, media o alta, se debe pasar a un SVCA Básico. En el último caso esta decisión se toma una vez se revisen posibles eventos puntuales que hayan causado los

[19] Adaptado de: Appendix D to Part 58—Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring
[20] Se debe tener en cuenta que la filosofía de los SVCA Indicativos es establecer panoramas y tendencias no valores absolutos.
[21] Por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Planes de contingencia y Áreas fuente de contaminación

niveles observados y la posibilidad de repetición de dicho evento.

- En caso de existir una fuente significativa o específica en la zona (ej. cementera, planta de asfalto, troncal vial de alto tráfico, etc.), temporalmente la estación de fondo podría realizar mediciones indicativas trasladándola el tiempo necesario al área de influencia de la fuente. En caso de encontrar valores cercanos en un 80% a la norma de 24 horas se deberá constituir una estación Indicativa adicional en dicho punto en las campañas del SVCA Indicativo.

5.2.6. COMPONENTE DE METEOROLOGÍA

- Se podrá realizar el análisis a partir de estaciones meteorológicas existentes de otras instituciones (ejemplo IDEAM) siempre que sean representativas
- En caso de no existir una estación meteorológica cercana se deberá utilizar una estación meteorológica portátil.
- Se deberá conocer la presión atmosférica del sitio con fines de calibración de los equipos utilizados.
- En cada estación se deberá ubicar un pluviómetro manual.

5.2.7. COMPONENTES DEL SVCA INDICATIVO

Hardware:

- Estaciones de calidad del aire indicativas
- Estación Meteorológica Portátil tipo I con parámetros básicos (Dirección y Velocidad del Viento, Pluviómetro y Temperatura)
- Pluviómetros manuales

Software:

- Hoja de Cálculo para manejo de información de calidad del aire y meteorológica con capacidad para realizar graficas, de acuerdo a los requerimientos establecidos en el SISAIRE.

Reportes:

- Un reporte a la comunidad de la campaña de monitoreo realizada
- Pagina Web General de la autoridad ambiental
- Reporte de la información en el SISAIRE

5.2.8. CONSIDERACIONES ESPECIALES DE ESTE TIPO DE SVCA

Es poco probable que se requiera medición de gases; excepto en aquellas poblaciones pequeñas que sean vecinas de regiones que se caractericen por alta presencia de fuentes contaminantes, en especial fuentes móviles y fijas puntuales. Para estos casos, es necesario que se incluya la recolección de muestras para la determinación de los niveles de concentración de ozono, debido a que por efectos de condiciones meteorológicas como velocidad, dirección del viento y radiación solar, se promueva la formación del ozono troposférico en sitos diferentes y generalmente alejados a donde se encuentran las fuentes generadoras de los precursores de esta reacción química.

Tabla 3. Justificación de ubicación de estaciones de O_3

TÉCNICA	CRITERIO	ACCIÓN
Pasiva	Si al menos uno de los valores medios semanales de concentración alcanza 27μg/m^3	Se debe realizar monitoreo indicativo con muestreo automático durante tres meses.
Pasiva	Si al menos uno de los valores medios semanales de concentración alcanza 30μg/m^3	Se debe instalar una estación fija con muestreo automático.
Automática Indicativa	Si durante los tres meses de operación de la estación indicativa automática se detecta un sobrepaso a la norma horaria y de 8 horas.	Se debe instalar una estación fija con monitoreo automático.

Según análisis realizados por Monn y Hangartner (1990)[22], superar la norma horaria de ozono (120μg/m^3) es equivalente a obtener valores medios semanales de concentración de este contaminante iguales o superiores a 30 μg/m^3, por esta razón, se establece este valor como parámetro de comparación con los valores que pueden llegar a obtenerse semanalmente con el muestreo con tubos pasivos en las campañas de monitoreo.

Se deberá revisar el diseño de este tipo de SVCA cada 3 años o de acuerdo a lo expresado en los parámetros arriba expuestos.

Anexo N° 4 Resultados de laboratorio

Laboratorio Ambiental

LABORATORIO CALIDAD DEL AIRE
REPORTE DE RESULTADOS CA-13220

IDEAM

LABORATORIO ACREDITADO NTC ISO/IEC 17025:2005
El alcance de la acreditación es el detallado en las Resoluciones 1419 del 26 de Noviembre de 2019 y 0046 del 15 de Enero de 2021.

Pagina: 1 de 1

Bogotá D.C., 2022-01-13

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre del Cliente	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	**Fecha de muestreo**	2021-12-01 a 2021-12-15
		Fecha de recepción de muestras	2021-11-26
NIT	1121926776	**Fecha de inicio de análisis**	2021-11-26
Dirección	Calle 24 Sur 44#04 Villa del rio II	**Fecha de finalización de análisis**	2022-01-05
		Proyecto N°	Trabajo de Grado
Contacto	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	**Muestreo a Cargo de**	Katherine Gacarapare y María Fernanda Bayona
		Plan de muestreo CIMA	14 días
Télefono	3156544143	**Localización del muestreo: Departamento / Ciudad**	Villavicencio-Meta
Correo Electrónico	cielo.guacarapare@academia.unimeta.edu.co	**Versión Reporte de Resultados**	1
		N° de Anexos	1

Información Punto de Muestreo:		**Corporación Universitaria del Meta UNIMETA**			**Parámetro:**	**PM10**	**Tipo de Análisis:**		**AC**
N° Muestra Laboratorio CIMA	**N° Muestra Cliente**	**Identificación de la Muestra**	**Toma de Muestra**		**Numero de Filtro**	**Peso Inicial (g)**	**Peso Final (g)**	**Masa (g)**	**Incertidumbre (g)**
			Fecha	**Hora**					
71188	1	RYL-PM10-001	2021-12-01	7:00	001	4,8181	4,8469	0,0288	0,0008
71189	2	RYL-PM10-002	2021-12-02	7:00	002	4,8373	4,8704	0,0331	0,0009
71190	3	RYL-PM10-003	2021-12-03	7:00	003	4,8088	4,8394	0,0306	0,0009
71191	4	RYL-PM10-004	2021-12-04	7:00	004	4,8221	4,8549	0,0328	0,0009
71192	5	RYL-PM10-005	2021-12-05	7:00	005	4,8504	4,8766	0,0262	0,0007
71193	6	RYL-PM10-006	2021-12-06	7:00	006	4,8302	4,8604	0,0302	0,0008
71194	7	RYL-PM10-007	2021-12-07	7:00	007	4,8033	4,8356	0,0323	0,0009
71195	8	RYL-PM10-008	2021-12-08	7:00	008	4,8372	4,8652	0,0280	0,0008
71196	9	RYL-PM10-009	2021-12-09	7:00	009	4,8481	4,8838	0,0357	0,0010
71197	10	RYL-PM10-010	2021-12-10	7:00	010	4,8466	4,8592	0,0126	0,0004
71198	11	RYL-PM10-011	2021-12-12	7:00	011	4,8132	4,8426	0,0294	0,0008
71199	12	RYL-PM10-012	2021-12-13	7:00	012	4,8158	4,8514	0,0356	0,0010
71200	13	RYL-PM10-013	2021-12-14	7:00	013	4,8288	4,8615	0,0327	0,0009
71201	14	RYL-PM10-014	2021-12-15	7:00	014	4,8143	4,8478	0,0335	0,0009
Observaciones		N/A							

N.E.: No establecido.; N.A: No aplica; N.R.: No reportado.; V.A.: Ver Anexos. N.D.= No detectable; N.C.: No Cuantificable; A.C.: Análisis acreditado realizado por CIMA.; N.A.C.: Análisis no acreditado realizado por CIMA.; A.S.X.: Análisis acreditado subcontratado.; N.S.X.: Análisis no acreditado subcontratado.

APROBACIÓN | **REVISIÓN**

DIRECTOR LABORATORIO | **COORDINADOR LABORATORIO AGUAS Y SUELOS**

FIN DEL REPORTE

Los resultados expuestos en el presente reporte son únicamente válidos para las muestras analizadas, su reproducción total o parcial queda prohibida salvo previa autorización escrita por parte de CIMA.

Sede Laboratorio: Carrera 32 No 8-93 Sur Sede Administrativa: Carrera 35A No. 1C-29
Tel (571) 7444148
E-mail: cima@laboratoriocima.com; www.laboratoriocima.com

Código: FL-028
Versión N°: 5,0-00
Fecha: 2020-10-26

Laboratorio Ambiental

LABORATORIO ACREDITADO NTC ISO/IEC 17025:2005
El alcance de la acreditación es el detallado en las Resoluciones 1419 del 26 de Noviembre de 2019 y 0046 del 15 de Enero de 2021.

LABORATORIO CALIDAD DEL AIRE
REPORTE DE RESULTADOS CA-13220

ANEXO A (Métodos de Análisis - Límite de Cuantificación)		
Parámetro	**Método de Análisis**	**Límite de Cuantificación**
PM10	US EPA CFR 40 PART 50 Appendix J, "Reference Method For The Determination Of Particulate Matter As PM10 In The Atmosphere".	0,0017 g

Los resultados expuestos en el presente reporte son únicamente válidos para las muestras analizadas, su reproducción total o parcial queda prohibida salvo previa autorización escrita por parte de CIMA.

Sede Laboratorio: Carrera 32 No 8-93 Sur Sede Administrativa: Carrera 35A No. 1C-29
Tel (571) 7444148
E-mail: cima@laboratoriocima.com; www.laboratoriocima.com

Anexo N° 5 Cálculos para la concentración de Pm_{10}

ECUACIÓN PARA HALLAR LA CONCENTRACIÓN MÁSICA DE MATERIAL PARTICULADO SUSPENDIDO TOTAL, UG/ M^3					
Cpm10= (Wf-Wi) *10^6/ Vstd m^3					
Wf	**Wi**	**Resta (wf-wi)**	***10^6**	**/Vstd m^3**	**Cpm10**
4,8469	4,8181	0,0288	28800	1385,85	20,78
4,8704	4,8373	0,0331	33100	1385,85	23,88
4,8394	4,8088	0,0306	30600	1395,26	21,93
4,8549	4,8221	0,0328	32800	1405,53	23,34
4,8766	4,8504	0,0262	26200	1409,19	18,59
4,8604	4,8302	0,0302	30200	1405,56	21,49
4,8356	4,8033	0,0323	32300	1405,44	22,98
4,8652	4,8372	0,028	28000	1391,06	20,13
4,8838	4,8481	0,0357	35700	1400,52	25,49
4,8592	4,8466	0,0126	12600	1381,66	9,12
4,8426	4,8132	0,0294	29400	1403,46	20,95
4,8514	4,8158	0,0356	35600	1386,67	25,67
4,8615	4,8288	0,0327	32700	1378,43	23,72
4,8478	4,8143	0,0335	33500	1401,42	23,90
					21,57

Anexo N° 6 Cadena de custodia

CIMA Laboratorio Ambiental

CADENA DE CUSTODIA

Código: FL-015
Versión N°: 3.0-00
Fecha: 2020-03-02
Página 1 de 2

1. INFORMACIÓN DEL CLIENTE (Monitoreo - Esta información será la consignada en el reporte de resultados)		2. INFORMACIÓN DEL CLIENTE (Datos para facturación)		3. INFORMACIÓN DEL MONITOREO	
Nombre	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	Nombre	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	Proyecto	Trabajo de grado
NIT	1121926776	NIT	1121926776	Departamento/Municipio	Villavicencio- Meta
Dirección	Calle 24 Sur 44#04 Villa del rio II	Dirección	Calle 24 Sur 44#04 Villa del rio II	Lugar de Monitoreo	Corporacion Universitaria del Meta UNIMETA
Persona de Contacto	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	Persona de Contacto	Cielo Katherine Guacarapare Higuera	Muestreo Realizado por	Katherine Guacarapare y Maria Fernanda Bayona
Teléfono	3156544143	Teléfono	3156544143	Plan de Muestreo	14 dias
E-mail	cielo.guacarapare@academia.unimeta.edu.co	E-mail	cielo.guacarapare@academia.unimeta.edu.co	N° de Cotización	476A-21

4. DATOS DE LA MUESTRA

N° LAB. CIMA	N° Campo o N° de Muestra Cliente	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	TIPO MUESTREO	TIPO MUESTRA	TOMA DE MUESTRA FECHA AAAA-MM-DD AAAA	MM	DD	HORA HH:MM	N° RECIPIENTES (Cliente) Fisicoquímico	pH Ácido	Cr +6	Cianuro	Grasas y Aceites Hidrocarburos	Sulfuros	Microbiología	Huevos Helminto	Hidrobiológico	Suelo (Frasco Vidrio)	Filtro	NO_2	SO_2	O_3	Tubo Absorbente	Otros	RECEPCIÓN DE MUESTRA (Laboratorio) No. Total Envases	T. Refrigeración °C Muestra	Envase de Muestra Adecuado	Volumen de Muestra Adecuado
	1	RYL-PM10-001	B	14	2021	12	1	7:00											1						1	4	SI	SI
	2	RYL-PM10-002	B	14	2021	12	2	7:00											1						1	4	SI	SI
	3	RYL-PM10-003	B	14	2021	12	3	7:00											1						1	4	SI	SI
	4	RYL-PM10-004	B	14	2021	12	4	7:00											1						1	4	SI	SI
	5	RYL-PM10-005	B	14	2021	12	5	7:00											1						1	4	SI	SI
	6	RYL-PM10-006	B	14	2021	12	6	7:00											1						1	4	SI	SI
	7	RYL-PM10-007	B	14	2021	12	7	7:00											1						1	4	SI	SI
	8	RYL-PM10-008	B	14	2021	12	8	7:00											1						1	4	SI	SI
	9	RYL-PM10-009	B	14	2021	12	9	7:00											1						1	4	SI	SI
	10	RYL-PM10-010	B	14	2021	12	10	7:00											1						1	4	SI	SI
	11	RYL-PM10-011	B	14	2021	12	12	7:00											1						1	4	SI	SI
	12	RYL-PM10-012	B	14	2021	12	13	7:00											1						1	4	SI	SI
	13	RYL-PM10-013	B	14	2021	12	14	7:00											1						1	4	SI	SI
	14	RYL-PM10-014	B	14	2021	12	15	7:00											1						1	4	SI	SI

OBSERVACIONES

CIMA Laboratorio Ambiental

CADENA DE CUSTODIA

Código: FL-015
Versión N°: 3.0-00
Fecha: 2020-03-02
Página 2 de 2

5. TIPO DE MUESTREO

Integrado	A		
Puntual	B	Otro:	D
Compuesto	C	Cuál:	

6. TIPO DE MUESTRA

1. Calidad del Aire	4. Agua Residual Doméstica	7. Agua Marina	10. Suelos	13. Lixiviados
2. Emisiones	5. Agua Potable	8. Agua Subterránea	11. Residuos Peligrosos	14. Otros
3. Agua Superficial	6. Agua Residual No Doméstica	9. Hidrobiológicos	12. Salud Ocupacional	Cuál: Pre pesaje

7. TRANSPORTE DE MUESTRAS

TRANSPORTE:	Terrestre	x	No. de neveras:	
RESPONSABLE:	Aéreo		No. de Guía:	
EMPRESA:				

8. ESTADO DE LA MUESTRA

Envase suministrado por CIMA	SI		NO		N.A.	
Sello de seguridad	SI	X	NO		N.A.	
Refrigerado	SI		NO		N.A.	

OBSERVACIONES

9. DATOS DE ENTREGA

Documentos Anexos:	
Firma Supervisor o interventor (si aplica)	
Fecha entrega al Laboratorio (AAAA-MM-DD):	17/12/2021
Firma quien entrega (Cliente):	María Fernanda Bayona Bohorquez

DATOS DE ENTREGA INTERNA EN EL LABORATORIO

Muestras entregadas por:	
Hora entrega:	
Firma quien recibe:	

10. ENSAYOS A REALIZAR

AGUAS															
		Clorofila b		E. Coli		Nitratos		Sodio Total		CALIDAD DE AIRE		Cobre Total	
Acidez		Clorofila c		E. Coli UFC		Nitritos		Sólidos Disueltos Totales		NO2		Conductividad	
Alcalinidad Total		Cloruros		Estaño Total		Nitrógeno Amoniacal		Sólidos Sedimentables		SO2		Densidad Aparente	
Aluminio Total		Cobalto Total		Fenoles Totales		Nitrógeno Kjeldalh Total - NKT		Sólidos Suspendidos Totales		OZONO, O_3		Densidad Real	
Antimonio Total		Cobre Total		Fluoruros		Olor		Sólidos Suspendidos Volátiles		HTC's		Fósforo Total	
AOX		Coliformes Fecales		Formaldehido		Ortofosfatos		Sólidos Totales		VOC's		Granulometría	
Arsénico Total		Coliformes Fecales UFC		Fósforo Inorgánico		Oxígeno Disuelto		Sólidos Totales Volátiles		PM10	x	Grasas y Aceites	
Bacterias Heterótrofas (Mesófilos)		Coliformes Totales		Fósforo Orgánico		PCB´s		Sulfatos		PST		Hierro Total	
Bario Total		Coliformes Totales UFC		Fósforo Total		pH		Sulfuros		Formaldehído		Humedad	
Berilio Total		Color a 3 longitudes de onda		Giardia y cryptosporidium		PHAS		Titanio Total		Amoniaco		Magnesio Total	
Bicarbonatos		Color Aparente		Grasas y Aceites		Plag. Organoclorados		TPH DRO		Sulfuro de Hidrógeno		Mercurio Total	
Boro Total		Color Verdadero o Real		Hidrocarburos Totales		Plag. Organofosforados		TPH GC		FUENTES FIJAS		Níquel Total	
BTEX		Color Verdadero o Real (1/20)		Hidróxidos		Plata		TPH GRO		NO_x		Nitratos	
Cadmio Total		Compuestos Semivol. fenólicos		Hierro Total		Plomo		Trihalometanos		SO_x		Nitrógeno Amoniacal	
Calcio disuelto		Conductividad		Huevos de Helminto		Potasio Soluble		Turbiedad		H_2SO_4		Nitrógeno Total Kjeldahl	
Calcio Total		Cromo hexavalente		Litio Total		Potasio Total		Vanadio Total		Neblinas Acidas		pH	
Capacidad Buffer		Cromo Total		Magnesio Soluble		RAS		Zinc Total		Material Particulado		Plata Total	
Carbamatos Totales		DBO5		Magnesio Total		SAAM (Tensoactivos)		HIDROBIOLÓGICOS		SUELOS / SEDIMENTOS		Plomo Total	
Carbonatos		DBO5 filtrada		Manganeso Total		Sabor		Perifiton		Aluminio Total		Porosidad	
Carbono Inorgánico Total		DBO7 o ultima		Material flotante		Salinidad		Fitoplancton		Arsénico Total		Potasio Total	
Carbono Orgánico Total		Dióxido de Carbono		Mercurio Inorgánico		Salinidad Efectiva		Zooplancton		Bario Total		Sodio Total	
Cianuro Disociable		DQO		Mercurio Orgánico		Salinidad Potencial		Macrófitas		Cadmio Total		Sulfatos	
Cianuro Libre		DQO Filtrada		Mercurio Total		Selenio		Ictiofauna		Capacidad de Intercambio Catiónico		Textura	
Cianuro Total		Dureza Cálcica		Molibdeno Total		Silicio Total		Bentos		Carbono Orgánico		Vanadio Total	
Clorofila a		Dureza Total		Níquel Total		Sodio Soluble		Peces		Cobalto Total		Zinc Total	

OTROS ENSAYOS:

OBSERVACIONES: Se envian 14 filtrosen respectivamente marcados con un numero consecutivo, los filtros son de cuarzo y son para realizar el pos pesaje, estos filtros se utilizaron para un trabajo de grado en la ciudad de villavicencio, el titulo del trabajo de grado es EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO CON DIÁMETRO INFERIOR A 10 MICRÓMETROS (PM_{10}) EN LAS INSTALACIONES LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META – UNIMETA

DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO

1. Ingrese los datos correspondientes de la persona o empresa a la que se le realiza el monitoreo: nombre, NIT, dirección, teléfono, persona de contacto y correo electrónico. Esta información sera la consignada en el reporte de resultados.
2. Ingrese los datos de la persona o empresa a quien se le notifica el ingreso de muestras al laboratorio y se realiza la facturación.
3. Ingrese los datos correspondientes al monitoreo: N° de proyecto, localización de la toma de muestra (Departamento, Municipio y Sitio de Muestreo), Persona que realiza el monitoreo (Cliente interno o externo), N° de plan de muestreo y N° de la cotización del servicio.
4. Datos de la Muestra: Diligencia los siguientes ítems: N° Campo o N° de Muestra Cliente; Identificación de la Muestra; Tipo de Muestreo (Letra de acuerdo a numeral 4.); Tipo de Muestra (Número de acuerdo a numeral 5.); Toma de Muestra (Fecha y Hora) y N° de recipientes
7. Datos transporte de la muestra: se escribe la forma de envío de las muestras al Laboratorio (aéreo o terrestre), la empresa que realiza dicho traslado y el número de neveras enviadas.
8. Marque con una "X" si los envases del muestreo fueron suministrados por CIMA o no, si traen sello de seguridad o no y si vienen refrigerados o no al momento de la entrega.
9. Diligenciar la fecha de entrega al Laboratorio, la firma de quien entrega(cliente) y el e-mail de contacto(cliente). Los demás datos de éste numeral se diligencian en el laboratorio.
10. Marcar con una "X" los parámetros a analizar en la muestra.

Anexo N° 7 Hoja de calibración

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META UNIMETA

HOJA DE CALIBRACIÓN E INFORMACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

FECHA
30-11-2021

CALIBRADOR HI - VOL (Volumetrico) PM10								
IDENTIFICACIÓN CALIBRADOR	HI -VOL COND estándar (PM10)			HI- VOL Verificación (PM10)			FECHA DE CERTIFICADO	FECHA DE VIGENCIA
	PENDIENTE	INTERCEPTO	COEF. CORR.	PENDIENTE	INTERCEPTO	COEF. CORR.		
2674	1,6874	-0,0443	0,99996	1,05662	-0,02754	0,99996	26/02/2021	11/02/2022

TISCH Environmental

RECALIBRATION DUE DATE:
February 26, 2022

Certificate of Calibration

Pá ágina 2

Calibration Certification Information

Cal. Date: February 26, 2021 Rootsmeter S/N: d38320 Ta: 294 °K
Operator: Jim Tisch Pa: 746.76 mm Hg
Calibration Model #: TE-5028A Calibrator S/N: 2674

Run	Vol. Init (m3)	Vol. Final (m3)	AVol. (m3)	ATime (min)	AP (mm Hg)	AH (in H2O)
1	1	2	1	1.3170	4.2	1.50
2	3	4	1	1.0240	6.9	2.50
3	5	6	1	0.9350	8.2	3.00
4	7	8	1	0.8720	9.5	3.50
5	9	10	1	0.6580	16.4	6.00

Data Tabulation

vstd (m3)	Qstd (x-axis)	) -i '—) (y-axis)	Va	q_a (x-axis)	H Ta/Pa (y-axis)
0.9903	0.7520	1.2223	0.9944	0.7550	0.7685
0.9867	0.9636	1.5779	0.9908	0.9675	0.9921
0.9850	1.0535	1.7285	0.9890	1.0578	1.0868
0.9833	1.1276	1.8670	0.9873	1.1322	1.1739
0.9741	1.4804	2.4445	0.9780	1.4864	1.5369
QSTD	m=	1.68046	OA	m=	1.05228
	b=	-0.03913		b=	-0.02460
	r=	0.99990		r=	0.99990

Calculations

Vstd=|AVol((Pa-AP)/Pstd)(Tstd/Ta)
Qstd=(Vstd/ATime

Va=|AVol((Pa-AP)/Pa)
Qa=|Va/ATime

For subsequent flow rate calculations:

Qstd=t 1/m((√ΔH (Pa \/ Tstd / Pstd /\ Ta / b)

Qa-- 1/m H Ta/Pa -b

Standard Conditions	
Tstd:	298.15 °K
Pstd	760 mm Hg
Key	
AH: calibrator manometer reading (in H2O)	
AP: rootsmeter manometer reading (mm Hg)	
Ta: actual absolute temperature (°K)	
Pa: actual barometric pressure (mm Hg)	
b: intercept	
m: slope	

RECALIBRATION

US EPA recommends annual recalibration per 1998 40 Code of Federal Regulations Part 50 to 51, Appendix B to Part 50, Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere, 9.2.17, page 30.

Tisch Environmental, Inc. www.tisch.env.com

HOJA DE CALIBRACIÓN E INFORMACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META- UNIMETA

FECHA
30 /11 /2021

METODO DE REFERENCI	EPA c CFR TITULO 40, PARTE 50 APENDICE J ALTO VOLUMEN				
EQUIPO DE MUESTREO	Equipo Hi-Vol	**PARAMETRO MUESTREA**	PM10 HI-VOL		
ID. PUNTO DE MUESTRE	Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA	**COORDENADA NORTE N**	4°8'52.647"	**COORDENADA OESTE W**	73°38'11.209"
FECHA	1/12/2021	**RESPONSABLE**	Maria Fernanda Bayona y Cielo Katherine Guacarapare Higuera		

Caudal de diseño PM10	**1,02 - 1,24 m3/min**

DATOS CALIBRADOR DE FLUJO	
Marca	TISH
Modelo	TE-5028A
Id. Calibrador	2674
Pendiente (m)	1,05662
Intercepto (b)	-0,02754
Coef. Correlacion	0,99996
VFC G-Factor:	0,02

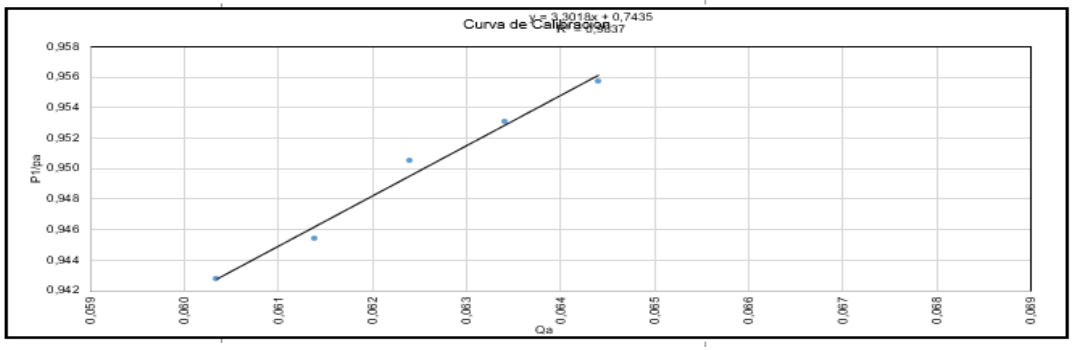
CONDICIONES ATMOSFERICAS DE LA ZONA			
Ta (° F):	**83**	**Elevacion (msnm)**	467
Ta (° K):	**302**	**Pa (in Hg):**	**28,5**
Ta (° C):	28,50	**Pa (mm Hg):**	**725**

UMPLE PRUEBA DE FUGA	
Si	**NO**
X	

Prueba No.	**ΔH Variflow (pulg H20)**	**Q Actual m3/min**	**Validacion de Qa**	**ΔPstg (pulg H20)**	**ΔPstg Corregido**	**ΔH (mm Hg)**	**ΔPstg (mm Hg)**	**P1**	**P1/Pa**	**Qa(Orificio)/Ta^0,5**	**Look up table calculado m3/min**	**% Dif**	**Verificacion**
1	2,8	1,0479	Cumple	22,2	2,9034	5,229	41,462	683,0	0,943	0,060	1,157	10,4	valido
2	2,9	1,0660	Cumple	21,2	2,8378	5,416	39,594	684,9	0,945	0,061	1,161	8,9	valido
3	3	1,0838	Cumple	19,2	2,7019	5,603	35,859	688,6	0,951	0,062	1,167	7,7	valido
4	3,1	1,1013	Cumple	18,2	2,6313	5,790	33,991	690,5	0,953	0,063	1,171	6,3	valido
5	3,2	1,1185	Cumple	17,2	2,5587	5,976	32,124	692,4	0,956	0,064	1,174	5,0	valido

Pendiente (m)	3,30180335342	
Intercepto (b)	0,7434946	
Coef. Correlacion	0,9918	Cumple

Lecturas del Vary Flow Recomendadas	
1	3,95
2	3,63
3	3,33
4	3,04
5	2,65



SET POINT
3,3

Presion Max Operacion
4,0

Presion Min Operación
2,6

UNIMETA

HOJA DE CALIBRACIÓN E INFORMACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE LA COPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL META- UNIMETA

FECHA
01-12-2021

METODO DE REFERENCIA	EPA e CFR TITULO 40, PARTE 50 APENDICE J ALTO VOLUMEN				
EQUIPO DE MUESTREO	Equipo Hi-Vol	PARAMETRO MUESTREADO	PM10- HI-VOL		
ID. PUNTO DE MUESTREO	Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA	COORDENADA NORTE N	4°8'52.647''	COORDENADA OESTE	73°38'11.209''
FECHA	1/12/2021	RESPONSABLE	Maria Fernanda Bayona Bohorquez y Cielo Katherine Guacarapare Higuera		

CONDICIONES ATMOSFERICAS ZONA			
Ta (° F):	83,30	Elevacion (msnm)	457
Ta (° K):	301,65	Pa (in Hg):	28,6
Ta (° C):	28,50	Pa (mm Hg):	725,3
a (°C) Referencia:	25,00	Pa referencia (mm Hg)	760,0

m	3,30180335
b	0,74349458
r	0,99181551

Caudal de diseño PM10	Un flujo aceptable es aquel que se encuentre entre un 90 y 110% del flujo de diseño (1.13 m3/min ± 10%)

Página 3 Página 5 Página 7

No. De Dia	Id. de filtro	INICIAL			FINAL			PRESION DEL MOTOR PUNTO DE ESTANCAMIENTO					Volumen Referencia de Operación							
								Pulgadas de Agua ("H20)												
		FECHA	HORA	HOROMETRO	FECHA	HORA	HOROMETRO	INICIAL in H2O	FINAL in H20	MEDIA in H20	MEDIA mm Hg	P1/Pa	Tiempo min	Cumple Tiempo Operacion	T-amb. Promedio °C	Caudal m3/min Actual	%dif caudal diseño	Cumple Operacion	Caudal m3/min Ref	Volumen m3 Ref
1	71188	1/12/2021	7:00	300,61	2/12/2021	6:47	324,21	22,8	23,1	23,0	42,86	0,941	1416	Cumple	28,5	1,038	-8,130	Cumple	0,979	1385,85
2	71189	2/12/2021	7:00	324,21	3/12/2021	6:46	348,00	23,7	24,1	23,9	44,64	0,938	1427,4	Cumple	24,1	1,018	-9,933	Cumple	0,974	1389,86
3	71190	3/12/2021	7:00	348,00	4/12/2021	6:39	371,68	22,7	23,6	23,2	43,24	0,940	1420,8	Cumple	24,9	1,029	-8,918	Cumple	0,982	1395,26
4	71191	4/12/2021	7:00	371,68	5/12/2021	6:45	395,5	22,6	23,3	23,0	42,86	0,941	1429,2	Cumple	25,6	1,033	-8,572	Cumple	0,983	1405,53
5	71192	5/12/2021	7:00	395,50	6/12/2021	6:44	419,33	22,6	23,3	23,0	42,86	0,941	1429,8	Cumple	24,3	1,031	-8,772	Cumple	0,986	1409,19
6	71193	6/12/2021	7:00	419,33	7/12/2021	6:53	443,22	22,9	23,6	23,3	43,42	0,940	1433,4	Cumple	25	1,028	-9,022	Cumple	0,981	1405,56
7	71194	7/12/2021	7:00	443,22	8/12/2021	6:50	467,03	22,7	23,3	23,0	42,96	0,941	1428,6	Cumple	25	1,031	-8,724	Cumple	0,984	1405,44
8	71195	8/12/2021	7:00	467,03	9/12/2021	6:45	490,72	23,1	23,7	23,4	43,70	0,940	1421,4	Cumple	25	1,026	-9,201	Cumple	0,979	1391,06
9	71196	9/12/2021	7:00	490,72	10/12/2021	6:48	514,54	23,1	23,5	23,3	43,52	0,940	1429,2	Cumple	25	1,027	-9,081	Cumple	0,980	1400,52
10	71197	10/12/2021	7:00	514,54	11/12/2021	6:51	538,07	23,5	23,3	23,4	43,70	0,940	1411,8	Cumple	25	1,026	-9,201	Cumple	0,979	1381,66
11	71198	12/12/2021	7:00	556,89	13/12/2021	6:45	580,76	23,7	23,5	23,3	43,52	0,940	1432,2	Cumple	25	1,027	-9,081	Cumple	0,980	1403,46
12	71199	13/12/2021	7:00	580,76	14/12/2021	6:48	604,5	23,7	23,9	23,8	44,45	0,939	1424,4	Cumple	25	1,021	-9,677	Cumple	0,974	1386,67
13	71200	14/12/2021	7:00	604,50	15/12/2021	6:53	628,13	23,7	24,1	23,9	44,64	0,938	1417,8	Cumple	25	1,019	-9,796	Cumple	0,972	1378,43
14	71201	15/12/2021	7:00	628,13	16/12/2021	6:42	652,17	23,7	24,2	24,0	44,73	0,938	1442,4	Cumple	25	1,019	-9,856	Cumple	0,972	1401,42

Página 2 Página 4 Página 6 Página 8

Anexo N° 8 Cálculos de la desviación estándar

DESVIACIÓN ESTANDAR			
	Concentración PM10 (µg/m³) Corporación Universitaria del Meta-UNIMETA xi	**xi-X**	**(xi-X)2**
	20,78	-0,785	0,616225
	23,82	2,255	5,085025
	21,93	0,365	0,133225
	23,34	1,775	3,150625
	18,59	-2,975	8,850625
	21,49	-0,075	0,005625
	22,98	1,415	2,002225
	20,13	-1,435	2,059225
	25,49	3,925	15,405625
	9,12	-12,445	154,878025
	20,95	-0,615	0,378225
	25,67	4,105	16,851025
	23,72	2,155	4,644025
	23,9	2,335	5,452225
Numero de datos	14		
Valor medio	**21,57**		
Suma			219,51195
Desviación estándar			**4,11**

Anexo N° 9 Datos del aforo vehicular

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.												
FECHA	**HORA**	**LUGAR**	**AFORADOR**	**DIRECCION**	**UBICACIÓN**	**SERVICIO PUBLICO**		**CAMIONES**	**SERVICIO PRIVADO**		**TOTAL HORAS PICO**	**TOTAL DIA**
						BUSETAS	**TAXIS**	**CAMIONES**	**AUTOMOVILES Y CAMIONETAS**	**MOTOS**		
1/12/2021 MIERCOLES	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	210	204	3	269	236	922	3178
	12-02 pm					181	280	4	312	384	1161	
	05-07 pm					127	235	5	376	352	1095	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	63	259	8	289	314	933	7440
	12-02 pm					85	470	5	643	634	1837	
	05-07 pm					78	312	3	389	347	1129	
	07-09 am			C -------> U		1	151	3	239	313	707	
	12-02 pm					2	337	11	557	635	1542	
	05-07 pm					3	298	5	454	532	1292	
2/12/2021 JUEVES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	0	379	23	484	478	1364	9025
	12-02 pm					0	374	22	736	747	1879	
	05-07 pm					7	310	14	568	609	1508	
	07-09 am					64	234	18	306	435	1057	
	12-02 pm					93	281	14	576	631	1595	
	05-07 pm					101	366	19	560	576	1622	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	163	166	21	282	358	990	4021
	12-02 pm					196	220	18	605	675	1714	
	05-07 pm					145	174	9	379	610	1317	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
3/12/2021 VIERNES	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	112	190	30	197	272	801	3814
	12-02 pm					213	329	19	460	623	1644	
	05-07 pm					192	195	15	436	531	1369	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	119	351	20	413	764	1667	8069
	12-02 pm					182	290	15	484	555	1526	
	05-07 pm					125	290	8	505	769	1697	
	07-09 am			C -------> U		1	326	11	263	325	926	
	12-02 pm					0	208	12	292	355	867	
	05-07 pm					0	186	10	555	635	1386	
4/12/2021 SABADO	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	145	230	4	238	210	827	7853
	12-02 pm					169	247	2	318	363	1099	
	05-07 pm					139	230	5	328	312	1014	
	07-09 am					0	478	5	432	598	1513	
	12-02 pm					1	480	8	589	517	1595	
	05-07 pm					2	453	10	608	732	1805	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	165	278	18	428	516	1405	4752
	12-02 pm					203	435	17	398	725	1778	
	05-07 pm					182	398	20	494	475	1569	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
5/12/2021 DOMINGO	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	110	166	10	192	216	694	2882
	12-02 pm					142	279	5	380	304	1110	
	05-07 pm					90	256	6	417	309	1078	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	122	268	5	314	300	1009	6527
	12-02 pm					101	422	6	617	780	1926	
	05-07 pm					115	272	4	459	446	1296	
	07-09 am			C -------> U		1	142	13	225	235	616	
	12-02 pm					2	292	8	325	364	991	
	05-07 pm					1	226	11	256	195	689	
6/12/2021 LUNES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	1	234	19	347	428	1029	7392
	12-02 pm					0	312	16	425	467	1220	
	05-07 pm					0	224	14	468	538	1244	
	07-09 am					122	342	21	510	543	1538	
	12-02 pm					107	234	10	342	392	1085	
	05-07 pm					139	264	18	421	434	1276	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	272	271	17	312	371	1243	4120
	12-02 pm					228	287	23	431	443	1412	
	05-07 pm					212	313	16	412	512	1465	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
7/12/2021 MARTES	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	152	247	9	296	435	1139	2538
	12-02 pm					202	256	6	434	501	1399	
	05-07 pm					0	0	0	0	0	0	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	71	220	17	262	409	979	5623
	12-02 pm					92	267	14	422	474	1269	
	05-07 pm					56	120	1	206	316	699	
	07-09 am			C -------> U		1	315	29	372	432	1149	
	12-02 pm					2	377	31	605	512	1527	
	05-07 pm					0	0	0	0	0	0	
8/12/2021 MIERCOLES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	47	160	2	202	248	659	6785
	12-02 pm					55	217	4	359	295	930	
	05-07 pm					41	151	2	390	236	820	
	07-09 am					0	145	10	179	223	557	
	12-02 pm					0	747	20	613	593	1973	
	05-07 pm					5	405	7	981	448	1846	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	131	159	14	452	450	1206	3894
	12-02 pm					194	258	7	352	739	1550	
	05-07 pm					213	252	24	251	398	1138	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
9/12/2021 JUEVES	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	173	255	19	343	492	1282	4304
	12-02 pm					220	281	7	379	640	1527	
	05-07 pm					262	180	19	390	644	1495	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	150	296	18	410	546	1420	10195
	12-02 pm					104	267	13	521	687	1592	
	05-07 pm					198	295	12	514	797	1816	
	07-09 am			C -------> U		5	366	15	397	872	1655	
	12-02 pm					1	421	26	581	780	1809	
	05-07 pm					4	433	26	628	812	1903	
10/12/2021 VIERNES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	0	326	22	417	550	1315	9530
	12-02 pm					2	299	21	540	518	1380	
	05-07 pm					2	310	25	609	820	1766	
	07-09 am					108	268	17	611	958	1962	
	12-02 pm					121	295	14	454	642	1526	
	05-07 pm					106	308	11	498	658	1581	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	203	306	20	305	435	1269	4152
	12-02 pm					276	421	11	381	409	1498	
	05-07 pm					158	246	14	470	497	1385	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
11/12/2021 SABADO	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas						0	0
	12-02 pm										0	
	05-07 pm										0	
	07-09 am										0	
	12-02 pm										0	
	05-07 pm										0	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas						0	0
	12-02 pm										0	
	05-07 pm										0	
12/12/2021 DOMINGO	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	189	161	4	282	375	1011	3287
	12-02 pm					213	287	3	291	382	1176	
	05-07 pm					140	259	4	319	378	1100	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	68	378	6	289	298	1039	7534
	12-02 pm					91	418	6	507	635	1657	
	05-07 pm					59	234	4	438	484	1219	
	07-09 am			C -------> U		2	289	5	298	392	986	
	12-02 pm					1	334	13	461	591	1400	
	05-07 pm					2	281	6	494	450	1233	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
13/12/2021 LUNES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	108	368	21	385	589	1471	8893
	12-02 pm					100	243	9	480	519	1351	
	05-07 pm					116	336	12	592	791	1847	
	07-09 am					0	340	17	435	507	1299	
	12-02 pm					2	263	20	524	462	1271	
	05-07 pm					1	398	27	615	613	1654	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	132	195	20	246	320	913	4113
	12-02 pm					218	267	23	377	540	1425	
	05-07 pm					195	316	16	423	825	1775	
14/12/2021MARTES	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	162	123	3	134	205	627	2767
	12-02 pm					178	267	6	286	378	1115	
	05-07 pm					130	250	8	322	315	1025	
	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez	U <------- C	Edificio Pantano de Vargas	200	458	14	513	625	1810	9847
	12-02 pm					162	210	12	394	514	1292	
	05-07 pm					165	246	10	406	527	1354	
	07-09 am			C -------> U		1	481	25	487	603	1597	
	12-02 pm					0	354	13	657	513	1537	
	05-07 pm					1	434	15	760	1047	2257	

Evaluación de la contaminación atmosférica por material particulado con diámetro inferior a 10 micrómetros (PM_{10}) en las instalaciones La Corporación Universitaria del Meta – UNIMETA.

FECHA	HORA	LUGAR	AFORADOR	DIRECCION	UBICACIÓN	SERVICIO PUBLICO		CAMIONES	SERVICIO PRIVADO		TOTAL HORAS PICO	TOTAL DIA
						BUSETAS	TAXIS	CAMIONES	AUTOMOVILES Y CAMIONETAS	MOTOS		
15/12/2021 MIERCOLES	07-09 am	PARQUE ESTUDIANTES	Katherine Guacarapare Higuera y Sthepany Montoya		Edificio Pantano de Vargas	127	368	28	485	879	1887	10018
	12-02 pm					138	349	18	546	737	1788	
	05-07 pm					125	285	9	320	286	1025	
	07-09 am					3	402	19	469	603	1496	
	12-02 pm					2	399	19	654	721	1795	
	05-07 pm					2	551	18	731	725	2027	
	07-09 am	PARQUE BANDERAS	Maria Fernanda Bayona y Maria José Jiménez		Edificio Pantano de Vargas	158	247	31	296	380	1112	4183
	12-02 pm					231	280	16	407	517	1451	
	05-07 pm					219	283	19	415	684	1620	
						12230	**36671**	**1662**	**52877**	**63296**	**166736**	**166736**